

# CONTENTS

## 巻頭言/Preface

ジヤトコのモノづくり技術.....	1
JATCO's Monozukuri technologies	ウィリアム クルーガー William J. Krueger

## 寄稿/Contribution

電動化によるPT技術の合理的進化の考察.....	3
Consideration of Rational Evolution of Powertrain Technologies through Electrification	平井 俊弘 Toshihiro HIRAI

## 特集:モノづくり革新技術

### Special Feature: Innovation of Monozukuri Technologies

モノづくりの革新に向けて.....	11
Toward Innovation in Monozukuri	芦刈 照夫 Teruo ASHIKARI

## 車両評価技術の革新/Innovation in Vehicle Evaluation Technologies

新ベンチマーク解析ツール(J-BAT)の開発.....	15
The development of new Benchmarking Analysis Tool: J-BAT	ルフッサン ギヨーム アルフレッド マツ LE FESSANT Guillaume ALFRED Mats 吉見 和幸 小倉 圭太 Kazuyuki YOSHIMI Keita OGURA
Jatco CAN Recorder /iシステムの開発.....	23
Development of the Jatco CAN Recorder/i System	三井 浩幸 木下 美樹 Hiroyuki MITSUI Miki KINOSHITA

## コンポーネント・部品設計の革新/Innovation in Design of Components and Parts

潤滑配分予測シミュレーション手法の開発.....	33
Development of a Lubrication Prediction Simulation Method	尹 斗熙 李 春美 孟 成鎬 Doohee YOON Chunmei LI Sungheo MAENG 李 智善 俵 裕貴 金 柱城 Jiseon LEE Yuki TAWARA Jusei KIN
効率的なCVT開発のための解析自動化システム.....	41
Automatic Simulation System for Efficient CVT Development	宋 昊盛 李 俊才 金 珉澈 Hosung SONG Junoh LEE Mincheol KIM 朝原 健仁 金 昌鉉 Takehito ASAHARA Changhyun KIM
流体解析を活用したコントロールバルブスプールの形状最適化.....	49
Shape Optimization of Control Valve Spool using Computational Fluid Dynamics	島田 勝 Masaru SHIMADA
PIV及び立体視によるトルクコンバータ内の非定常流動可視化.....	57
Visualization of Unsteady Flows in a Torque Converter by PIV and Stereopsis	佐野 明彦 川島 一訓 Akihiko SANO Kazunori KAWASHIMA 岡田 克彦 高橋 祐二 Katsuhiko OKADA Yuji TAKAHASHI

## 制御開発の革新／Innovation in Control Technologies

SE手法を用いた新発進スリップロックアップ制御開発 Development of New Start-off Slip Lockup Control using Systems Engineering	遠藤 泰弘 Yasuhiro ENDO	神谷 光平 Kohei KAMIYA	65
FF-HEV用CVT協調回生制御のMBD適用による効率的開発 Application of MBD for Efficient Development of Cooperative Regeneration Control for a FWD-HEV CVT	宮石 広宣 Hironori MIYAISHI	米田 健児 Kenji YONEDA	71
操作パターン自動生成と異常自動検知によるソフトウェア品質保証 Quality Assurance by Automatic Abnormal Behavior Detection and Test Pattern Generating System	岩佐 大城 Hiroki IWASA	河合 恵介 Keisuke KAWAI	79
	芹澤 謹男 Norio SERIZAWA	篠原 一 Hajime SHINOHARA	
	神代 洋記 Hiroki KUMASHIRO	森 晃賢 Akimasa MORI	

## 計測手法の革新／Innovation in Measurement Methods

非接触での動体挙動計測を可能とする新手法の開発 New Non-contact Measurement Method for Moving Parts	金山 義輝 Yoshiteru KANAYAMA	塘 健志 Kenji TSUTSUMI	三浦 吉孝 Yoshitaka MIURA	85
--	-----------------------------	------------------------	--------------------------	----

## 生産の革新／Innovation in Production

異音検出システムの実用化 Implementation of an Abnormal Noise Detection System		御手洗 睦 Mutsumi MITARAI	高岡 史和 Fumikazu TAKAOKA	91
プロセス革新による新商品立ち上がり品質の向上 Improvement of New Product Launch Quality through Process Innovation			川合 顕央 Akihisa KAWAI	97
JATCO クリーンネス活動 JATCO's Cleanliness Activity		秋山 智宏 Tomohiro AKIYAMA	横山 太郎 Taichirou YOKOYAMA	101
CVT G#11ラインへの新規生産技術導入 Implementation of New Production Technologies on the Global #11 CVT Line			小笠原 寛 Hiroshi OGASAWARA	107
iFactory活動 モデルラインへの稼働監視システム導入 iFactory Project: Implementation of an Equipment Operation Monitoring System on a Model Line	齋藤 渉 Wataru SAITO	池田 英一 Eiichi IKEDA	谷島 豪 Tsuayoshi TANISHIMA	113

## 先行開発・プロジェクトマネージの革新／Innovation in Advance Engineering and Project Management

VR, MR, 3Dプリンタを用いた先行技術開発 Advanced Technology Development using VR, MR and 3D Printing	伊藤 寛隆 Hirotaka ITO	及川 翔太 Shota OIKAWA	鹿内 建志 Takeshi SHIKAUCHI	119
車両適用検討支援NAVIシステムの開発 Development of a NAVI Support System for Vehicle Application Studies		鈴木 圭介 Keisuke SUZUKI	原 陽平 Yohei HARA	129

VA & THANKSコラボレーション活動の目的と目指す姿 Aims and Desired Form of VA and THANKS Collaboration Activity				金子 忠司 Tadashi KANEKO	137
--	--	--	--	-------------------------	-----

TdC活動の推進によるモノづくり革新 Monozukuri Innovation through the Promotion of TdC Activities	一言 大輔 Daisuke HITOKOTO	小川 英二 Eiji OGAWA	鈴木 孝次郎 Kohjiro SUZUKI		143
---	---------------------------	---------------------	--------------------------	--	-----

## 商品紹介／Introduction on Products

裕隆自動車向けLUXGEN S3 (Sedan 3) 用Jatco CVT7 (JF015E) の紹介 Introducing the Jatco CVT (JF015E) for Yulon Motor's Luxgen S3 Sedan					149
日産自動車向けKicks用Jatco CVT7 (JF015E) の紹介 Introducing the Jatco CVT7 (JF015E) for the Nissan Kicks					150
東風裕隆自動車向けLUXGEN S3 (Sedan 3) 用Jatco CVT7 (JF015E) の紹介 Introducing the Jatco CVT7 (JF015E) for Dongfeng Yulon's Luxgen S3 Sedan					151
日産自動車向けKicks用Jatco CVT7 W/R (JF020E) の紹介 Introducing the Jatco CVT7 W/R (JF020E) for the Nissan Kicks					152
日産自動車向け TITAN用 7速AT JR711Eの紹介 Introducing the Jatco JR711E 7-speed Automatic Transmission for the Nissan Titan					153
日産自動車向け セレナ用 Jatco CVT8 (JF016E) の紹介 Introducing the Jatco CVT8 (JF016E) for the Nissan Serena					154
日産自動車向けInfiniti Q50/Infiniti Q60用 7速AT JR710Eの紹介 Introducing the JR710E 7-speed Automatic Transmission for Nissan's Infiniti Q50/Q60					155
ルノー三星自動車向けQM6用Jatco CVT8 (JF017E) の紹介 Introducing the Jatco CVT8 (JF017E) for Renault Samsung's QM6					156

## トピックス／Topics

ジヤトコ 一年間のトピックス Highlights of the Past Year					157
---	--	--	--	--	-----

## 特許紹介／Patents

自動変速機の油圧制御装置 Hydraulic control system for automatic transmission					163
自動変速機の制御装置 Control system of automatic transmission					165



# ジヤトコのモノづくり技術

JATCO's Monozukuri technologies

副社長 ウィリアム クルーガー  
Executive Vice President William J. Krueger

2016年11月のアメリカ大統領選挙の結果より、共和党の今後の政権運営が注目される。加えてNAFTAをはじめとする貿易政策、シェールサンドに代表されるエネルギー政策、為替や燃費規制などの変化がアメリカ自動車産業に大きく影響を与えることが考えられ、ジヤトコとしては2ペダルが大部分を占めるアメリカ自動車市場の変化を察知して対応していくことが求められる。しかしながら、ジヤトコはグローバルな生産実績により、このような不確実な状況に対応できると考える。

2005年にジヤトコメキシコはアメリカ市場向けにCVTの現地生産を開始した。これはジヤトコにとっては初めてのCVTの海外現地生産であった。現地生産に合わせてサプライヤ様の多大なご協力とご支援により、NAFTA圏での現地調達率目標を達成することができた。物流や生産コストの削減による競争力強化とともに、ジヤトコメキシコは着実に生産能力を拡大し、また品質を高めてきた。2016年に現地生産11年目を迎えたジヤトコメキシコは、ジヤトコグループ内でも最大の生産能力を有しており、アメリカ、メキシコ、欧州、そしてアジア各国への供給を行っている。現在までにジヤトコは、ジヤトコメキシコで培ったジヤトコのモノづくり技術をグローバルスタンダードとして、ジヤトコ広州、ジヤトコタイランドと現地生産の拡大を行ってきた。CVTの生産には、高度なスキルを持った人財と最先端の生産技術が要求される。現地スタッフにより高品質なCVTを大量生産できる先進的なモノづくり技術がジヤトコの財産である。

ジヤトコのモノづくり技術の肝要は、長年日本で培った知識を現地メンバーと共有すること、現地で持続可能な生産システムを確立させることである。これを解決するにはハード、ソフトの両面からのアプローチが必要である。

The United States presidential election was held November 2016. With Republicans holding all three branches of the US government, the next few years in the United States are sure to be interesting. More importantly, the US automotive market will be heavily influenced by any changes of NAFTA, oil exploration, FX, trade, and fuel economy standards. Since the US market is primarily a two peddle market, JATCO needs to carefully observe and react to any potential market environmental changes. Fortunately with JATCO's global manufacturing footprint, JATCO is uniquely positioned for this uncertainty.

In 2005, JATCO Mexico began production of CVTs for the US market. This was our first local production outside of Japan. In parallel, the NAFTA local production ratio target has been achieved due to complimentary supplier localization support which has been crucial for CVT production. With the enhancement of competitiveness by the reduction of production and logistic cost, JATCO Mexico has steadily expanded production capacity and also reinforced quality. JATCO Mexico has now celebrated 11 years of local production and has the largest production volume among JATCO group, delivering globally to the US, Mexico, Europe, and Asia. At the moment, JATCO has expanded localization globally to JATCO Guangzhou and JATCO Thailand with JATCO's Monozukuri technology as a global standard. CVT production requires a highly skilled workforce and advanced manufacturing technologies. Advanced key Monozukuri technologies for manufacturing high quality CVT with high volume by local production members is our JATCO's proprietary.

The key point is how to share with local members the many years of knowledge from Japan, and how to realize and develop a local, sustainable production system. This requires a two way approach, both the hard

ソフト面では、人の育成、特に現地の現場監督者の育成である。現地リーダーをスキル継承者として日本で教育し、メキシコに帰任後、生産のオペレーター一人一人に技術を伝承した。ハード面では、ジヤトコメキシコは信頼性の高い設備の導入とそれをベストの状態に維持する保全システムを合わせて導入した。ジヤトコメキシコは自立に成功して、スムーズな生産プロセスは現地の生産管理によって維持されている。

この生産ラインは、その製品であるCVT自身と多くの共通点を見出すことができる。CVTの最大の特長は、スムーズでかつフレキシブルに変速できる性能である。CVTの運転状態においては、車両とCVTが相互にさまざまな情報を伝達しており、CVTをよりきめ細かく効率的に制御している。また、CVTは故障予防のために全てのコンディションをモニターしている。生産現場においても、同様にセンサー機器により設備の状況をモニターしている。その情報は、ラインストップや故障を防止するための予防保全に活用されている。この種の予防保全は、現地工場での安定した生産ならびに生産量の変動に対するフレキシブルな対応にとって大切な活動であり、その活動も現地スタッフによって自立的に行われている。

市場動向が不透明な中、ジヤトコは安定したグローバルなモノづくりの実績を積み上げ続けている。ジヤトコは、高品質かつ革新的な製品や生産技術を、現地スタッフによる現地生産により効果的、効率的に実現できると考えている。変化に柔軟にかつ迅速に対応することが、顧客重視のトランスミッション供給を高い品質で維持継続するために必要不可欠である。ジヤトコは、将来のチャレンジングな課題に 대응するために、さらなるモノづくり技術の進化を続けていきたい。

and soft aspects to solve it. For the soft element - human development, local leadership was assigned as a skill successor and trained in Japan. Upon return to Mexico this expanded knowledge was transferred to each and every local operator. For the hard element, JATCO Mexico has adopted highly reliable and proven equipment with a maintenance system to manage the best quality and operation conditions. As JATCO Mexico has matured, a smooth flowing production process has been maintained by local production management.

A smooth flowing, CVT production line has a lot in common with the performance of a CVT itself. The greatest characteristic of a CVT is the smooth and flexible changes of speed ratio. During the operation of the CVT, several electrical signals are sent and received between the vehicle and CVT to control precisely and efficiently. The CVT is also monitoring all conditions to adjust and protect before any case of failure. The Production line also has several electric sensors monitoring equipment condition. This information is utilized for the preventive maintenance to avoid line stoppage due to malfunction. This kind of preventive maintenance is key to be stable and flexible production in local plant, and managed by local staffs themselves.

With the current market uncertainty, JATCO is fortunate to have a stable and well lead global Monozukuri footprint. With our experience and mature local management, JATCO has an opportunity to leverage our high quality and highly innovative product and production technologies. By responding flexibly and quickly to any change is absolutely imperative for sustainable, high quality, customer focused transmission supply. JATCO is making further monozukuri evolution to respond to any future challenges.





# 電動化による PT技術の合理的進化の考察

Consideration of Rational Evolution of Powertrain Technologies through Electrification

日産自動車(株)  
アライアンスグローバルダイレクター  
常務執行役員  
第一パワートレイン開発担当  
Alliance Global Director, Corporate Vice President  
Powertrain Engineering Division  
Nissan Motor Co., Ltd.

平井 俊弘  
Toshihiro HIRAI

## 1. 序章

## 1. Introduction

パワートレイン(以下PT)技術は、適切な動力性能を確保する、CO<sub>2</sub>削減に貢献するなど、多くの最重要課題を有している。

トランスミッションの技術はPTの一部としてこの役割を果たすために最も合理的な手段を選択すべく進化してきた。

内燃機関をベースとしたクルマの場合、内燃機関の機能限界から、広い車速をカバーするために回転数を変化させる機能が要求される。また、適切な駆動力を得るために、トルクを増幅させる機能も必要である。これらの機能を、最もAffordableかつ効果的に得るために、現在のトランスミッションは極めて有効である。

すなわち、現在のトランスミッションは、現有する内燃機関との組み合わせにおいて合理性を追求した結果のSolutionと言える。

さらにこれらの機能は、一般的に高度なトランスミッションほど有効に機能する(Fig. 1)。

Powertrain technologies involve many critical issues such as securing appropriate power performance and contributing to reducing carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions, among others. Transmission technologies have evolved through the selection of the most rational means for accomplishing these roles as one component of the powertrain. Vehicles based on an internal combustion engine (ICE) require a function for varying the engine speed in order to cover a wide range of vehicle speeds owing to the engine's functional limits. In addition, they also require a function for multiplying the engine torque in order to obtain suitable driving force. Existing transmissions are notably effective in providing these functions in the most affordable and efficient manner. In other words, existing transmissions can be regarded as solutions resulting from the pursuit of rationality in combination with currently available ICEs. Moreover, these functions are generally performed more effectively as the sophistication of the transmission increases (Fig. 1).

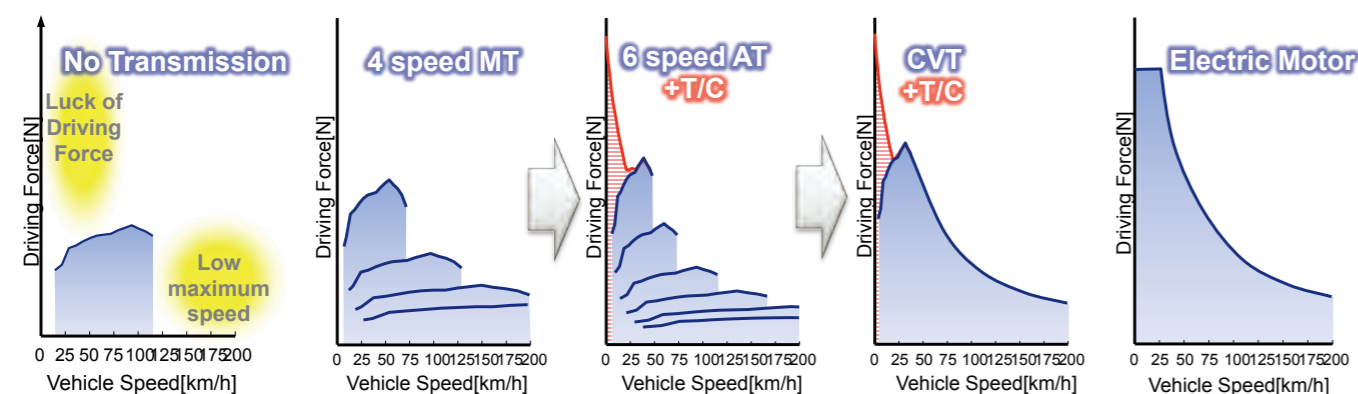


Fig. 1 Transmission evolution and driving force curves

ここで将来のさらなる進化を考えると、前提条件であるパワーソースが内燃機関ではなくなると、合理的な手段は当然変わる。

たとえば、バッテリーに蓄積した電力で走行する電気自動車(以下BEV)は、将来の環境対応車として最有力であるが、モーターはそれ自体で理想的な駆動力特性を有しており、この場合高度な変速機を持つ必要はなくなる。

しかし現時点で、すべてのクルマをBEVに置き換えることは、費用対効果的にも技術的にもまだ課題があると思われる。

例えば、既存のリチウムバッテリーのエネルギー密度は100wh/kg程度であり、長距離を走行するためには、大量の電池を搭載しなくてはならず、これはBEVの最も大きな課題の一つである。将来リチウムバッテリーのエネルギー密度は250wh/kg程度まで向上できる可能性があり<sup>(1)</sup>、さらに次世代の電池として期待される金属空気電池では、1000wh/kgを実現できる可能性もある<sup>(2)</sup>(Fig. 2)。しかし依然、長距離を走行するためには、重い電池を運び続けなくてはならないことは変わらず、ガソリンのエネルギー密度が12000wh/kg程度であることを考慮すると、長距離移動用のクルマとしてBEVを選択することが、合理性を得る時代はしばらく来ないと考えられる。

すなわち、BEVがAffordableになり一般化した将来においても、液体燃料で走るクルマは依然重要な役割を占めると考えられ、その進化も高いレベルで要求されるであろう。

そこで本稿では、以下ガソリンを燃料として走るクルマのPTの合理的進化を考える。

When we consider the further evolution of powertrain technologies in the future, the most rational means for obtaining these functions may naturally change if an ICE is no longer presupposed to be the power source. For example, a battery electric vehicle (BEV) that is propelled by electric energy stored in a battery pack is one of the most promising eco-friendly vehicles for the future. Because an electric motor itself possesses ideal driving force characteristics, it will not be necessary for BEVs to have a sophisticated transmission.

However, at present, trying to replace all vehicles with BEVs would presumably present issues with respect to both cost effectiveness and current levels of technology. For example, the energy density of lithium-ion batteries is currently around 100 Wh/kg. In order for BEVs to travel long distances, they must be equipped with large quantities of batteries. This is one of the most serious issues for BEVs. It is estimated that the energy density of lithium-ion batteries can probably be improved to around 250 Wh/kg in the future.<sup>(1)</sup> An example of a next-generation battery for which there are future expectations is the metal-air battery with the potential to achieve energy density of 1000 Wh/kg<sup>(2)</sup> as indicated in Fig. 2. Nonetheless, the need for BEVs to carry heavy batteries in order to travel long distances will still not change.

Considering that the energy density of gasoline is around 12000 Wh/kg, an era when rationality can be obtained by selecting a BEV as a vehicle for long-distance travel will probably not come for a long time yet. In other words, even if BEVs become affordable and generally available in the future, liquid-fuel-powered vehicles will presumably still continue to fulfill important transportation roles as before, and there will be strong demands for their high-level evolution.

Therefore, this article will consider the rational evolution of powertrain systems of vehicles powered by gasoline fuel.

## 2. Rational Powertrain Evolution through Electrification

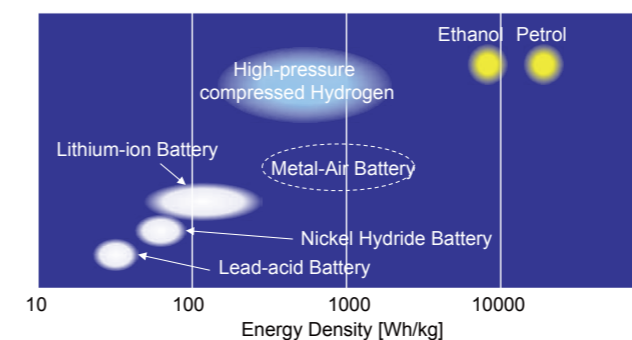


Fig. 2 Energy density comparison of secondary batteries and liquid fuels

There is certainly no doubt that electrification will be a key element in powertrain evolution, even if the end result is not BEVs. Generally speaking, it can be considered that electrification will gradually secure rationality from the low output power range and replace mechanical devices in turn, including the transmission. (Complete replacement would result in a BEV.) This scenario is envisioned from the fact that it is difficult for ICEs to operate efficiently at low output power levels and also the fact that the lower the power level of electric devices, the more readily they can be obtained at lower cost.



## 2. 電動化によるPTの合理的進化

BEVでなくても、電動化はPTの進化にとって重要な要素であることは疑う余地がない。

概して言うならば、「電動化は低出力側から順次合理性を獲得し、トランスミッションを含む機械要素 (Mechanical Devices) を順次代替していく。」と考えられる (全て代替すればBEVになる)。これは、内燃機関が低出力で効率良く作動することが苦手であると言う事実と、低出力の電動Deviceほど、安価に入手可能である、という事から想定される。

Fig. 3に、CセグメントSUVガソリンエンジン車がWLTP Modeを走行した場合のエンジンの出力と燃料消費率の関係をしめす。同じエンジンに対して、赤のプロットは6速AT、青のプロットがCVTを組み合わせた場合の作動点分布である。同じ出力でも燃料消費率は回転数によって変化するが、CVTは自由に変速比を選べるため、6速ATに対して、より最適な回転数を選定し、燃料消費率の低い状態で走行できていることがわかる。

しかし、先天的に内燃機関は低出力側での燃料消費率は悪く、最も極端な状態としては、出力を必要としない停止状態 (アイドリング) でも燃料を消費する。一方、電動Devicesは、出力に見合ったエネルギーしか消費せず、さらに要求出力が低くければ、システム全体を安価に装備することができる。特に、現行の自動車技術では、12V-Batteryで供給可能なレベルの電力であれば、十分Affordableに得ることができる。

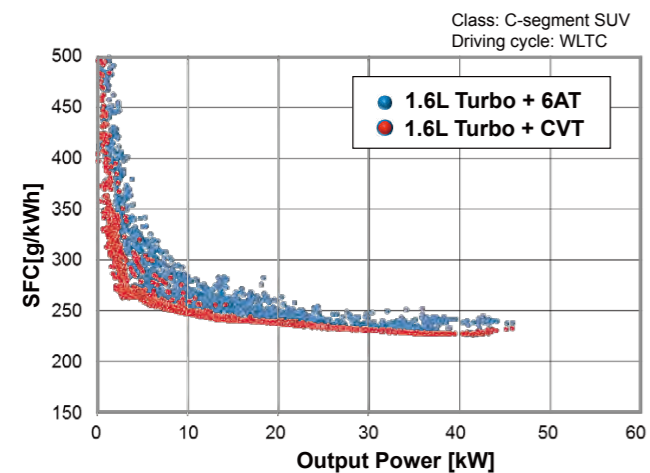


Fig. 3 Specific fuel consumption as a function of engine output power at CVT and 6-speed AT operating points

Figure 3 shows the specific fuel consumption (SFC) of two gasoline-engine C-segment sport-utility vehicles (SUVs) as a function of the engine's output power when driven under the Worldwide harmonized Light-duty Test Procedure (WLTP) mode. The figure shows the distribution of operating points when the same engine was combined with a 6-speed automatic transmission (6AT), represented by the red plots, and with a continuously variable transmission (CVT), represented by the blue plots. Even at the same level of output power, SFC varies according to the engine speed. Because the CVT allows flexible selection of transmission ratios, it enables more suitable engine speeds to be selected than the 6-speed AT. The results indicate that this flexibility facilitates vehicle operation at a lower SFC level.

However, because of their very nature, ICEs have poor SFC at low output power levels. As an example of an extreme condition, ICEs consume fuel even when a vehicle is at rest with the engine idling and does not require any motive power. In contrast to that, electric devices only consume energy in proportion to their output, and as the required output power level decreases, the overall system can be provided at a lower cost. In particular, with the present level of automotive technology, a sufficiently affordable system can be obtained if the required electric power can be supplied by a 12-volt battery.

For the above-mentioned reasons, under a condition of low output power, a rational system that takes into account overall efficiency can be obtained by stopping the engine and supplying the necessary energy from a 12-volt battery. This represents a stop-start system. As an extension of this concept, stop-start coasting and stop-start sailing are also rational technologies from the standpoint of not wasting fuel (Fig. 4(b)). Naturally, the transmission is required to provide the functionality that supports these technologies.

Next, let us consider a low output power situation that requires motive power. In this situation as well, electrification is a more rational approach for the same reasons up to a certain level. This "certain level" will change depending on the evolution of technology. Rationality also includes the perspective of cost effectiveness. Assuming that the cost of future electric devices will be sufficiently affordable, we will focus on rationality here purely from the perspective of energy efficiency. Electrification provides a function for regenerating deceleration kinetic energy as electricity. Using this regenerated energy in the low power range for motor drive with the engine turned off is effective in terms of reducing fuel consumption (Fig. 4(c)). This represents a

上記理由により、低出力の状態では、エンジンを止めて、12V-Batteryから必要なエネルギーを供給することが、全体効率を考慮したシステムとして合理的となる。これがいわゆるアイドルストップである。その延長上で、コーストストップ、セーリングストップといった技術も無駄な燃料を使用しない、という観点で合理的である (Fig. 4 (b))。トランスミッションにはそれに対応する機能が当然要求される。次に、低出力であるが、動力が必要な状態を考える。この状態でも、同じ理由により、ある一定レベルまで電動化した方が合理的となるが、この"ある一定レベル"は技術の進化によって変化する。合理性の中には、費用対効果の観点もあるが、将来的に電動Devicesのコストは十分にAffordableになると想定し、ここでは純粋に、エネルギー効率の観点での合理性に焦点を絞る。電動化は、減速エネルギーを回生する機能を獲得するが、この回生したエネルギーは低出力側からエンジンを止めてモーター走行に使用することが燃料消費量削減に観点では効果的である (Fig. 4 (c))。これがいわゆるハイブリッドカー (以下HEV) となる。さらに、減速回生したエネルギー以上のエネルギーをモーター走行で使用したい場合、内燃機関で発電した電力を駆動力に変換して使用するとこになるが、これはいわゆるシリーズ運転と称される状態であり、モーター走行で削減できる燃料が発電に使用する燃料を上回れば、効果的な方策となる (Fig. 4 (d))。そして全ての動力を内燃機関で発電した電力から得る場合、いわゆるシリーズHEVとなる。

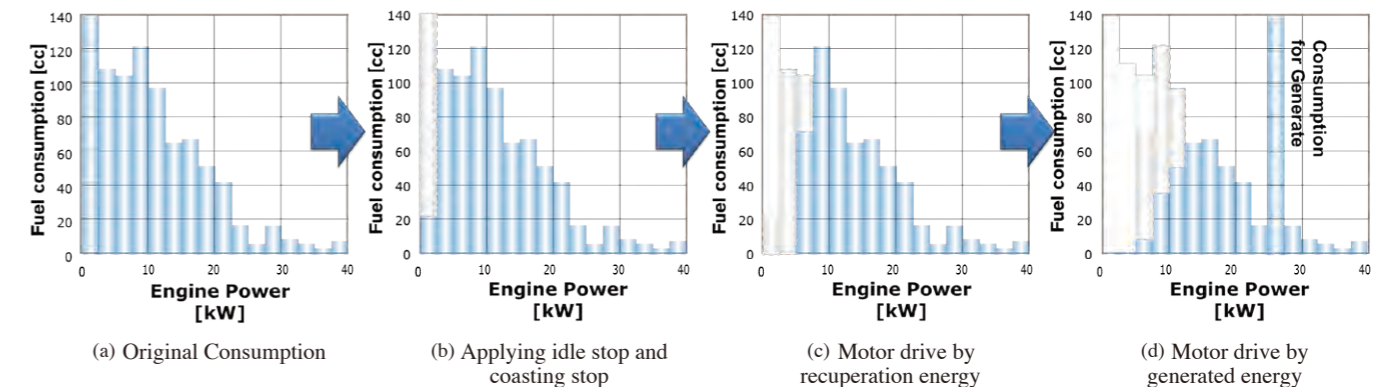


Fig. 4 Electrification steadily gains rationality from the low output power range

hybrid electric vehicle (HEV). Moreover, if we want to use more energy for motor drive than the amount of regenerated energy available, electricity generated by operating the ICE can be converted to driving force for propelling the vehicle. This condition represents what is called a series drive system. This approach is effective if the amount of fuel consumption reduced by motor drive exceeds the quantity of fuel used in generating electricity (Fig. 4(d)). A system where all the motive power is obtained from the electricity generated by running the ICE represents a series HEV.

Next, we will consider under what type of conditions a series drive system can be an effective solution. Basically, in a series drive system the operating state of the ICE is not constrained by the vehicle's operating condition, so electricity can be generated while the engine is always operating at its most efficient speed and load. The generated electrical energy is converted to motive power again via the drive motor for propelling the vehicle. If the efficiency of the electrical system components is close to 100% at that time, the series HEV is probably the most efficient system among ICE-based powertrain technologies. Unfortunately, however, the electrical system components suffer losses and charging/discharging operations of the battery as needed are also involved. Consequently, the actual efficiency of the series drive system may be equivalent to that of operation where efficiency is a certain percentage lower than the optimal operating efficiency of an ICE (Fig. 5).

For vehicle operation at a relatively low power level, the energy efficiency of a series drive system exceeds that of an ordinary ICE vehicle under many operating conditions, even taking this certain rate of decline in efficiency into account. The reason is that the thermal efficiency of ICEs is extremely poor in the low output power range.



それでは次に、シリーズ運転がどのような条件下で効果的なSolutionとなり得るかを考える。シリーズ運転は基本的に内燃機関の作動状態が車両走行状態に拘束されないため、常に最も効率の良い回転数と負荷で内燃機関を作動させ、発電することができる。発電した電気エネルギーはモーターを介して再び動力に変換されクルマを走行させるが、このとき、電気系要素の効率が100%に近ければ、シリーズHEVは内燃機関をベースとするPTの中で、最も効率の良いシステムとなるであろう。しかし残念ながら、電気系要素には損失があり、さらに必要に応じてバッテリーの充放電も介するため、システムとしての実効効率は内燃機関の最適点効率より、ある一定の割合悪化した効率で作動した状態と等価となる (Fig. 5)。

比較的低出力の走行状態では、この一定割合の悪化率を考慮しても、多くの作動条件下で、シリーズ運転のエネルギー効率は、通常の内燃機関車の効率を上回る。これは低出力側では内燃機関の熱効率が極端に悪化するためであり、高出力を要求しない市街地走行などの用途ではシリーズHEVが一つの合理的な解であることを意味している。一方、比較的输出力を必要とする高速走行や、加減速を伴う実用モードにおいては、電気システムを介さずに、機械的トランスミッションを介して内燃機関の出力を直接動力として走行したほうが効率は良い。

効率の観点で最適なシステムとは、走行状態に応じてこれらの作動状態を適切に切り替えることができるシステムといえる。

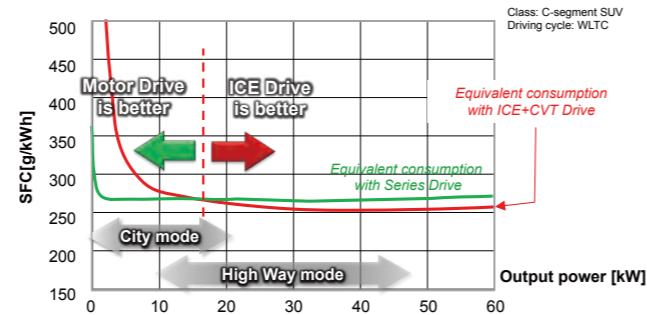


Fig. 5 Equivalent specific fuel consumption line for a series drive system

This means that the series HEV is a rational solution in applications such as city driving where high output power is not demanded. On the other hand, in high speed driving that requires relatively high output power and in actual driving modes involving acceleration and deceleration, better efficiency is obtained by using the power of an ICE to propel the vehicle directly via a mechanical transmission without going through the electrical system. From the perspective of efficiency, the optimal system is one that can switch suitably between these operating modes according to the driving conditions.

The losses suffered by electrical system components are being reduced every year through technological innovation (Fig. 6). As a result, the output power range in which the energy efficiency of the series drive system is superior is being expanded year by year toward the high power side.

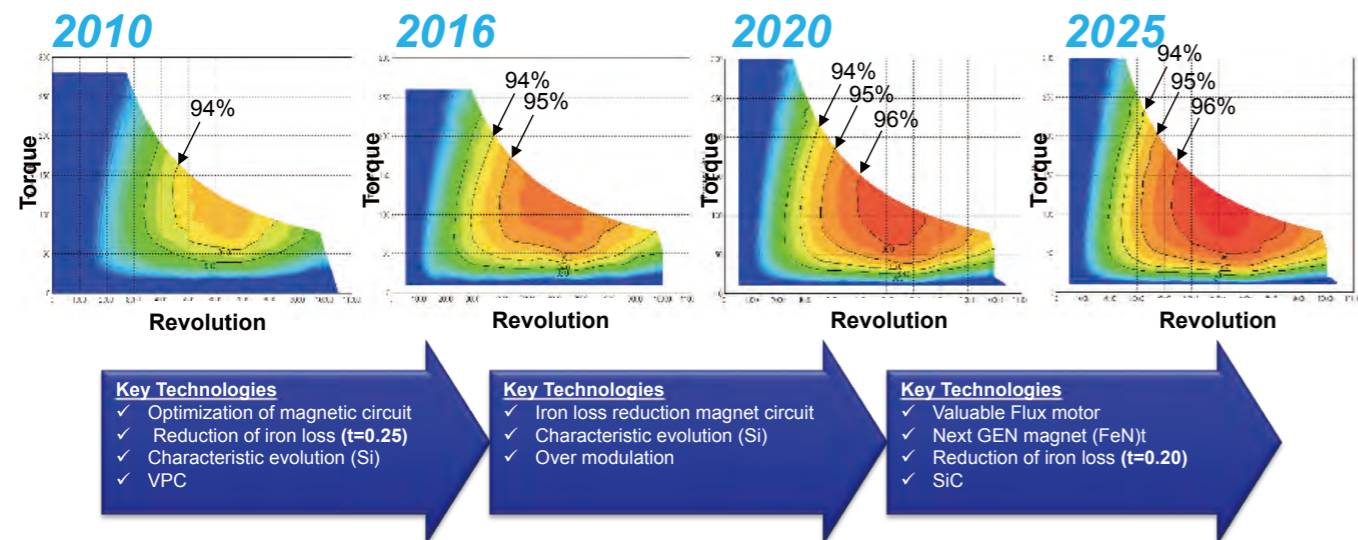


Fig. 6 Evolution of motor and inverter efficiencies

また、電気系要素には損失は技術革新によって年々削減されてきており (Fig. 6), その結果、シリーズ運転のエネルギー効率が優れている出力帯は、年々高出力側に拡大している。

### 3. さらなる技術進化を考慮した究極のSolutionの考察

#### 3.1 内燃機関

さらに飛躍的な効率向上を達成するためには、電動化されていてもPlug-inをしないパワートレインの場合、更なる内燃機関の熱効率向上が必須となる。

内燃機関の熱効率が40%を超え、さらに飛躍的な向上を目指すことは困難に思われるが、船用エンジン、発電所などでは、さらに高い熱効率を実現できている事例が既に存在する<sup>(4)</sup>。ポイントの一つが内燃機関の使われ方であり、一定負荷運転や、回転数を制限するなど、作動条件を絞り込むことによって、さらなる向上が期待できる。

自動車用電動化パワートレイン用内燃機関としては、例えば、より発電用に特化した仕様に見直すことが有効であると考えられる。仕様見直しの例としては、最高回転数を低回転化することによるFrictionの低減、低回転領域での応答性を犠牲にした更なるダウンサイジング、使用回転域制限による音振基準の緩和などが考えられる (Fig. 7)。この内燃機関を使う場合、必然的に基本構成はシリーズHEVとなるが、発電用に特化したことによる内燃機関の効率向上分が、電気系要素の損失を上回れば、十分に競争力のあるSolutionと成り得る。さらに電気系要素の損失もまた、削減されていくであろう事を考慮すると、将来このSolutionがより広範囲の使用条件下で合理性を得る可能性は十分にあると思われる (Fig. 8)。

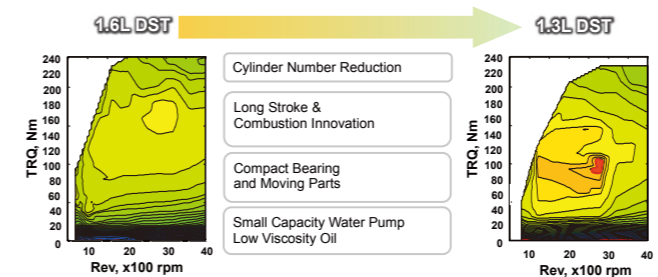


Fig. 7 ICE evolution specialized for electricity generation function

### 3. Consideration of the Ultimate Solution taking into account Further Technological Evolution

#### 3.1 ICE

For electrified powertrains of the non-plug-in type, further improvement of the thermal efficiency of ICEs will be absolutely necessary in order to further improve efficiency dramatically. After the thermal efficiency of ICEs exceeds 40%, it is thought to be very difficult to aim for any further dramatic improvement. However, there are already examples of marine engines, power plants and other engines that achieve even higher thermal efficiency.<sup>(4)</sup> One key factor here is how ICEs are operated. Further improvement can be expected by narrowing down the operating conditions such as by operating under a certain constant load or limiting the operating speed, among other ways.

For ICEs of electrified automotive powertrains, it is thought, for example, that reviewing the engine specifications so as to specialize in electricity generation would be effective in improving efficiency. Some examples of specification reviews that can be considered include reducing friction by lowering the top operating speed, further engine downsizing that sacrifices response in the low speed region, and relaxing noise and vibration criteria by limiting the speed range used (Fig. 7). When using an ICE, the fundamental system configuration invariably becomes a series HEV, but if specializing in electricity generation improves ICE efficiency to a greater extent than the total loss incurred by the electrical system components, it would result in a solution with ample competitiveness. In addition, considering that the losses incurred by the electrical system components will probably be reduced in the coming years, it is assumed that this solution has sufficient potential to be a rational option in the future under an even wider range of operating conditions (Fig. 8).

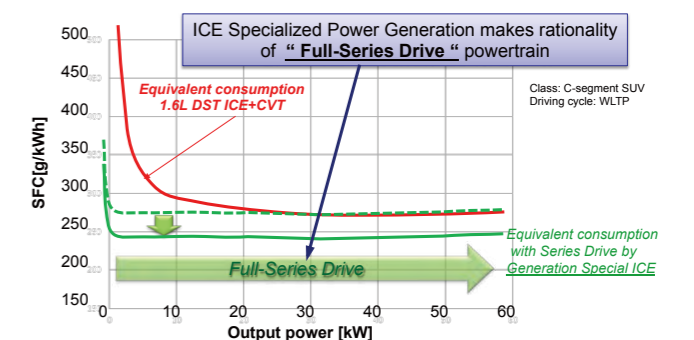


Fig. 8 Potentiality assuming a dedicated ICE for series HEV application



### 3.2 トランスミッション

しかし、いかに削減されていったとしても電気系要素の損失やはり無視できない。発電用に特化した内燃機関であっても、機械的に接続して走行したほうが、効率が良い状況は存在する。この状況を想定することは比較的容易である。すなわち、比較の変動の少ない一定の負荷状態で走行する高速巡航などが、この状況に相当する。それでは、シリーズHEVに高速巡航用の機械的直結機構を設けることが有効な策となるだろうか。残念ながらこの場合、固定ギア比の直結機構はあまり有効な手段とはならない。なぜならば、発電用に特化した内燃機関は、可能な限り一定負荷、一定回転数で作動させなくては本来の効率を発揮できないと思われるからだ。負荷変動はMotor/Generatorで吸収することが可能であるが、大きな回転変化は許容できない。その解決策としては、再度変速機を持つことが有効となるが、この場合ワイドレンジは要求されない。例えば、内燃機関の回転数を一定に保ち、60km/hから180km/hまでをカバーしようとする、変速比幅は3.0で足りることになる。ただし、内燃機関の回転数を可能な限り一定に保つという観点では、多段化は要求され、理想的にはCVTが最適解といえる。しかも、変速比幅を制限することによって、CVTの平均伝達効率は飛躍的に向上することができる<sup>(5)</sup>。変速比幅3.0で設計した場合、通常の歯車伝達に比べ、ほとんど遜色の無いレベルまで達成できる可能性がある(Fig. 9)。

以上より、将来的に電動Devicesのコストが十分にAffordableになった時代を想定して、ガソリンを燃料として走るクルマのPTの合理的進化を考察すると、“発電特化型内燃機関を備えたシリーズHEV+CVTの機械伝達機構”という構成を、ひとつの理想型として描くことができる。<sup>(6)</sup>

日産自動車は、2016年11月に日本市場でシリーズHEVである“e-POWER”を発売したが、これは上記理想型に向けた新化の大きな一歩と言える。

### 3.2 Transmission

However, no matter how much the losses of the electrical system components are reduced, such losses still cannot be ignored. Even for an ICE specialized for electricity generation, there will be conditions where it will be more efficient to connect the engine mechanically for propelling the vehicle. Such conditions are relatively easy to imagine. For example, high-speed cruising in which the vehicle is driven under a certain constant load with relatively little fluctuation would correspond to such a condition. In this case, would it be effective to equip a series HEV with a directly linked mechanical power transmission system for high-speed cruising? Unfortunately, in this case, the fixed transmission ratios of a directly linked power transmission system would not be a very effective measure. The reason is that an ICE specialized for electricity generation would presumably have to be operated at a certain constant load and constant speed as much as possible in order to elicit its inherent efficiency. Load fluctuations could be absorbed by the motor-generator, but large speed changes would not be tolerated.

One effective solution here would be to use a transmission once again. In this case, a wide ratio range would not be required. For example, a transmission ratio coverage of 3.0 would be sufficient to cover vehicle speeds from 60 to 180 km/h while keeping the ICE speed constant. However, multiple speed ranges would be required in order to maintain the ICE speed as constant as possible, so ideally a CVT would be the optimal solution. Moreover, the average power transmission efficiency of a CVT can be dramatically improved by limiting the transmission ratio coverage.<sup>(5)</sup> By designing a transmission ratio coverage of 3.0, it is possible to achieve transmission efficiency that is nearly comparable to the level obtained with ordinary gear sets (Fig. 9).

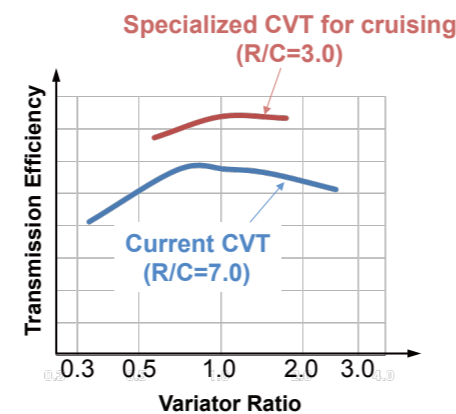


Fig. 9 Transmission efficiency of CVT by specializing for cruising

### 4. まとめ

- ・PT技術は要求性能を満足する最も合理的な手段を選択すべく進化してきた。これからも、合理性に従い進化続けるであろう。
- ・将来の進化：  
 〈電動化〉低出力側から順次合理性を獲得し、PTの機械要素を順次代替していく。電気系要素の損失低減により、シリーズ運転のエネルギー効率が優れている出力帯は、年々高出力側に拡大していく。  
 〈内燃機関〉内燃機関を発電能力に特化した仕様に見直すことによって、シリーズ運転の合理性はさらに高まる。  
 〈トランスミッション〉CVTは上記内燃機関と組み合わせ可能な唯一のトランスミッションであり、巡航性能に特化することによって、飛躍的に効率を向上させることが期待できる。
- ・全域電動駆動を実現している“e-POWER”は、上記技術進化によって、将来的に理想的な合理的なパワートレインに進化する可能性がある。

### 5. 参考文献/References

- (1) New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) Technology Strategy Center (TSC), TSC Foresight vol.5 “車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて”, 2015年10月
- (2) New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), NEDO二次電池技術開発ロードマップ2013 (Battery RM2013), 2013年8月
- (3) Hiroyuki Endo, “Technical trend of the large engine for marine application, generation”, ENGINE REVIEW vol.4 No.5, Society of Automotive Engineering of Japan, 2014
- (4) Andre Linnenbrugger, Andreas Englisch, Andreas Gotz, Emmanuel Simon, Andre Teubert, Martin Vornehm, “High Performance CVT Components by LuK”, CVT・HYBRID 2007 Yokohama, Society of Automotive Engineering of Japan, 2007
- (5) Toshihiro Hirai, Ryozo Hiraku “What is the future key function and value of transmissions?”, 15th International CTI Symposium, December 2016, Berlin

The foregoing discussion has considered the rational evolution of the powertrain for vehicles powered by gasoline fuel, assuming a future age when the cost of electric devices is sufficiently affordable. One ideal solution that can be envisioned here is “a configuration consisting of a series HEV equipped with an ICE specialized for electricity generation and the mechanical transmission system of a CVT”<sup>(6)</sup>.

In November 2016, Nissan Motor Company put its new e-POWER series hybrid system on the Japanese market. This system can be regarded as a major step in the evolution toward the aforementioned ideal solution

### 4. Conclusions

Powertrain technologies have evolved through the selection of the most rational means for satisfying the required performance. They will presumably continue to evolve in pursuit of rationality in the coming years.

Direction of future evolution:

Electrification: It will obtain rationality gradually from the low output power range and steadily replace the mechanical elements of powertrain systems. Owing to the reduction of the losses incurred by electrical system components, the output power range in which the series drive system has superior energy efficiency is expanding on the high output power side every year.

ICE: The rationality of the series drive system can be enhanced further by reviewing ICE specifications so as to specialize specifically in electricity generation.

Transmission: A CVT is the sole transmission capable of being mated to such an ICE. Designing a CVT specifically for cruising performance can be expected to improve efficiency dramatically.

The e-POWER system that provides motor drive in all vehicle speed ranges has the potential to evolve into an ideally rational powertrain in the future through the evolution of the technologies discussed here.



## モノづくりの革新に向けて

Toward Innovation in Monozukuri\*

常務執行役員 芦刈 照夫  
Corporate Vice President Teruo ASHIKARI

自動車産業界を取り巻く環境は日々変化しており、市場や社会環境からの要求、お客さま一人ひとりの要望など、多様なニーズに応えるべく、ゼロエミッションや高い燃費性能、耐久信頼性の向上、自動運転等による安全性や快適性、及び動力性能の向上など、自動車そのものの商品力も絶えず進化と革新を遂げている。

我々ジャトコが担う、自動変速機(AT・CVT)は、まさに自動車の商品力を左右する重要なシステム部品であり、この多様なニーズへの対応はもとより、今後、さらなるお客さま(自動車メーカー)の拡大、あるいは供給される地域の拡大に応じていくために、我々の商品やそのモノづくり技術もまた、進化と革新を果たさなければならない。

今回は、我々の商品に求められるニーズと、今チャレンジしているモノづくり技術の革新について、考えてみたい。

我々ジャトコは、CVTに代表される効率の良い、高品質な商品をグローバルに提供しており、お客さまの多様なニーズに応える一方で、新たな商品、技術をもって、さらなる市場の拡大にもチャレンジしている。

ハード面で求められる商品力としては、同じ性能を有する前提であれば、ベースとなるユニットが「軽量」、「コンパクト」、「安価」であるほど、より多くのお客さま、多様な車種へ搭載の可能性が高まるわけで、この状況は、競合他社も変わらないであろう。

また、燃費、運転性、快適性を高めるための変速比の拡大や制御ロジックの改良、あるいはエンジンやモータとの協調制御など、ソフト面の革新も各社しのぎを削っている状況である。マイクロプロセッサや半導体などの個々のパーツの性能は、飛躍的な進化を遂げている。また、昨今は、人工知能(AI)やVR、IoTなどの技術革新も目覚ましいものがある。

With the environment surrounding the automotive industry continually changing, the product appeal of vehicles themselves is constantly evolving and advancing in order to respond to diverse needs such as the requirements of the market and social environment as well as customers' demands. Among other things, this entails evolving towards zero emissions, higher fuel economy, better durability and reliability, enhanced safety and comfort through autonomous driving and other advanced technologies, and improved power performance.

The automatic transmissions (ATs and CVTs) by those JATCO contributes to automotive society are critical system components that decisively influence the product appeal of vehicles. Naturally, we must constantly evolve and innovate our products and monozukuri technologies to meet these diverse needs, as well as to achieve further future expansion of our customer base (vehicle manufacturers) and also expansion of the geographical regions to which our transmissions are supplied.

Let us consider here what is required of our products and the innovations in our monozukuri technologies that we are now endeavoring to accomplish.

At JATCO, we supply highly efficient, high quality products, as typified by our CVTs, on a global basis. While responding to our customers' diverse needs, we are also undertaking the challenge of expanding our markets further based on new products and technologies.

In terms of the product appeal required of our transmission hardware, assuming that the performance is identical, the lighter, smaller and lower-priced the base unit is, the greater its potential is for use by more customers on a wider variety of vehicle models. This situation is presumably the same for our competitors.

For the purpose of improving fuel economy, drivability and comfort, all transmission manufacturers are also competing furiously to achieve innovations in software, including expanding ratio coverage, enhancing control logic

商品企画や開発の段階で、設計、実験、試作、生産技術の各部署が連携し、これらの技術を、各種シミュレーションによる制御設計やシステム開発、性能評価などにいかに効果的に活用できるか、あるいは実際の走行中のユニット制御における、リアルタイムの演算処理など、我々の商品の競争力として使うことができるかが、今後のキーとなるであろう。

一方、我々の商品であるトランスミッションの宿命として、車両搭載への自由度を拡大するためには、前述のごとく、「軽量」、「コンパクト」、「低コスト」への追求を避けて通ることはできない。この競争力を決定づけるのも、モノづくり技術の革新にかかっている。

個々の構成部品でいえば、例えば、これまで削り出しで加工していた部品も、そのパーツ各部の役割に応じて、圧延鉄板や、鋳造材、合金鋼などそれぞれの材料の持つメリットを活かして、分割して成形し、その後しかるべき強度と精度で接合するような、超軽量高精度部品や、場合によっては異種材料の複合部品なども求められており、そこには、あらたな接合技術の革新なども必要となってくる。もちろん、これまでも取り組んでいる、プーリーや歯車部品等の精密表面加工技術に関しては、さらなる高機能化を目指す必要があり、この技術レベルの進化とグローバル展開も重要な取り組みのひとつである。

また、お客さまの拡大や需要の変動に柔軟に対応するためには、生産工程のフレキシブル化も必須である。これは、単に段取り替え作業の容易化や時間短縮にだけ取り組むのではない。プロセス1/2(工程数の半減活動)の活動や、グローバルに標準化を進めているJSL(Jatco Standard Line)の活動で目指している当社のモノづくり-JEPS(Jatco Excellent Production System)のあるべき姿は、極限までリードタイムを短縮し、中間在庫を排して、素材からユニットの最終出荷までの同期化を高めるところにあり、これがひいてはお客さまの需要に合わせた柔軟な生産を可能にすることになるのである。

さらに、ライン間、拠点間での柔軟な突発的生産補完をも視野に入れており、市場における需要変動や、車種ごとの販売動向にも、ミニマムなインシヤル費用、最短のリードタイムで、対応を図れる体制を目指している。

一方、そういった体制は、生産部門のみで構築できるものではない。開発と連携した、仕様の統廃合による部品種の削減や、グローバル生産を前提とした生産設計

and implementing collaborative control with the engine or the traction motor. Microprocessors, semiconductors and all of the electronic or mechatronic individual components are making dramatic advances in performance. Recently, there have been striking technological innovations in the areas of artificial intelligence (AI), virtual reality (VR) and the Internet of Things (IoT).

How effectively these technologies can be used in control software design based on various types of simulation, in system development, in performance evaluations and in other tasks at the product planning and development stage will be a key element in the future. It will be required closer teamwork by our design, testing, prototyping and production engineering departments. Or whether we will be able to use these technologies to give our products a competitive edge, such as in real-time computations for transmission control during actual driving, will also be a key element.

Meanwhile, as mentioned earlier, our transmission products must inevitably pursue lighter weight, smaller size and lower cost in order to have greater degrees of freedom for mounting on vehicles. Competitiveness in these aspects that cannot be avoided is also depends on innovation in monozukuri technologies.

Also, let us consider individual component parts. For example, take parts that so far have been cut out by machining. The merits of rolled steel sheet, castings, alloy steel and various other materials must be used effectively according to the function of each portion of the parts. Parts will be divided, the pieces formed and then subsequently joined together to have the requisite strength and accuracy, resulting in ultralight-weight, high-accuracy parts. In some cases, composite parts composed of dissimilar materials will also be needed. They will require new innovations and advances in joining technologies. To date, we have been working on precision surface machining technologies for pulleys, gears and other parts, and it will be necessary to aim for even high functionality in this area in the future. Efforts to advance our technical levels further and to deploy these technologies globally are also essential.

Achieving greater flexibility in our production capability is also necessary in order to expand our customer base and cope flexibly with fluctuations in demand. This does not simply mean efforts just to facilitate easier setup changes or to shorten production times. Rather, it means pursuing the ideal form of monozukuri in our Jatco Excellent Production System (JEPS). This is being done through activities to halve the number of processes, what we call "Process 1/2", and to implement the Jatco Standard Line (JSL) globally as standardized production operations. It involves shortening lead times to the ultimate limit, eliminating intermediate inventories and heightening the level of synchronization





# 新ベンチマーク解析ツール(J-BAT)の開発

The development of new Benchmarking Analysis Tool: J-BAT

ルフッサン ギヨーム\* アルフレッド マッツ\* 吉見 和幸\*\* 小倉 圭太\*

LE FESSANT Guillaume

ALFRED Mats

Kazuyuki YOSHIMI

Keita OGURA

**抄録** 近年、グローバル化が加速する自動車産業市場において、顧客要求とともに競合他社をより深く広く把握することがますます重要となっている。その方法の一つとして「ベンチマーキング活動(市場観察・測定・分析)」を行うことで、価値ある情報を入手し、遅れをとることなく最新技術開発を実施することができる。

運転性および動力性能の測定に関してジャトコフランス社(以下、JF)はデータ解析方法改善に機会があると考え、これを実現するためにベンチマーク活動業務の効率化、報告内容の質・量の向上及び報告までの時間短縮が可能なオートメーション・ツールを開発した。本稿では、新しいベンチマークテストデータ解析ツールJ-BAT(JATCO Benchmarking Analysis Tool)の詳細を紹介する。

## 1. ジャトコベンチマークテストの紹介

ベンチマーキング活動は、競合他社が採用する競争力のあるさまざまな非常に価値のある技術情報を得る最善の方法の一つである。それは、競合他社のビジネス戦略および性能測定結果、業界トレンドだけでなく、特にトップクラスおよび直接の競合他社の成功事例と比較できるということである。ジャトコベンチマークテスト活動の主たる目的は、以下の3つである。

- 直接競合する他社製品および業界トップクラス相当の製品と比較して、当社製品の競争力を知ること
- 将来の必要要件を予測するために、グローバルおよびさまざまな国や地域のトレンドを知ること
- 将来の新製品およびプロジェクトのために目標値を提案すること

当社が将来のトランスミッションを開発するにあたり、運転性と動力性能は重要な指標となる。ベンチマーキング活動のプロセスは、車両選択、社内基準による静的および

**Summary** Nowadays, in the globalized market, it has become of paramount importance to know as exhaustive as possible one's competitors as well as the customers' requirements, particularly in the automotive industry. This is where benchmarking comes in, providing valuable information obtained from observing the market, analysing measurements and keeping up with the latest technical developments.

In regards to drivability and performance measurements, Jatco France noticed there were opportunities for enhancing the way the measurements were analysed. In order to take advantage of these opportunities, we have been developing an automation tool that improves efficiency of benchmarking work, the quality and quantity of reporting and also saves time. In this paper, the new Jatco Benchmarking Analysis Tool –“J-BAT”– is described in detail.

## 1. Introduction of Benchmarking in JATCO

Among the different techniques used by companies to surpass their competitors, benchmarking is, by far, one of the best ways to obtain valuable information. It represents the process of comparing one's business practices and performance metrics to the industry standards as well as to the best practices of other companies, particularly the best in class and direct competitors.

At Jatco, the three main goals of benchmarking activities are being set as below:

- Knowing the competitiveness of Jatco products as alternatives to best in class and direct competitors
- Knowing the global & regional trends in order to predict future requirements
- Proposing target values for future products & projects to come.

For the development of future Jatco transmissions, some of the important criteria are drivability and performance. The process of benchmarking consists of selecting a vehicle, performing a static and dynamic evaluation following the

び動的評価、そして、評価データから結論を導き出すための評価結果分析から成る。全世界の走行シーンをカバーするために、ベンチマークされる車両およびパワートレインは、可能な限り多くの走行パターンを考慮し、さまざまな状況と操作条件のもとでテストされる。我々は、標高、低温、高温などのような車両の外的および内的条件だけでなく、平面や登降坂などの道路状態なども検討する。試験車両は、発進加速、減速、再加速およびアイドリングストップなど10種類を超える典型的な操作でテストされている。1回のベンチマークテストで、1000を超える測定データを解析する必要がある。

これは、国・地域のトレンドだけでなく運転性および動力性能の視点からの将来の新製品ののための目標値や、競争力創造に繋がる解析である。

## 2. 測定データ分析のオートメーション化(J-BAT)

もともと、ビッグデータ解析は主に手動で行われ最適化されておらず、さらにいくつかの指標において、解析結果が人によってばらつく可能性があった。効率向上とデータ解析結果を高品質に保つために、JFは、自動分析ツールJ-BAT(JATCO Benchmarking Analysis Tool)を開発し、業務アウトプット量の大幅な向上につながっている。

### 2.1 歴史

J-BATの開発は2015年2月にスタートした。その年、JFは立て続けに2人のインターン生を採用した。一人はITの学歴をもつ者(ENSEAと呼ばれるフランスのコンピュータと通信分野の専門大学)と、もう一人は自動車関連の学歴をもつ者(ISATと呼ばれるフランスの自動車関連の研究所)である。2016年にはMATLABの専門家と契約し、ツールの開発を加速することを決定した。

### 2.2 開発

J-BATの開発はMATLABプログラミング言語を使用し、次の2つのメインプログラムに分かれている。

- すべての汎用機能(データの入力及び解析結果の出力)に関係する基本プログラム
- すべての特殊機能(各種演算)にかかわる応用プログラム

standard Jatco model and then analysing the results so as to draw conclusions from the data.

In the aim to cover most of the global scene, the benchmarked vehicles and powertrains are tested in many different conditions and manoeuvres, taking into account various possible driving patterns. We consider conditions both external to the vehicle and internal, such as altitude, cold and warm temperature; as well as the profile of the road (flat, uphill, and downhill). The vehicle is tested using more than 10 typical manoeuvres, for example: Auto Up, Lift Foot Up-Shift, Reacceleration, Idle Stop, etc.

A single benchmarking session results in a collection of more than 1,000 measurement data per vehicle which should be analysed. This analysis leads to the creation of a report on the competitiveness, on the regional trends as well as of some proposals of target values for future products, in terms of drivability and performance.

## 2. Automation of Measurement Data Analysis (J-BAT)

Originally, the analysis of big data was not optimized, as it was mainly done manually. Moreover, depending on the person, different output values could appear for the same type of criteria. In order to enhance the efficiency and get higher quality of data analysis, Jatco France decided to start the development of the Jatco Benchmarking Analysis Tool (hereafter J-BAT). It has also lead to a significant increase in the total number of outputs obtained.

### 2.1 History

The development of J-BAT started in February 2015. In the same year, Jatco France consecutively hired two trainees; one with an IT background (University in France, specialized in Electronics, Computing and Telecommunications, called ENSEA) and another one with an automotive background (Automotive French Institute, called ISAT).

In 2016, Jatco France decided to accelerate the development of the tool, calling on a MATLAB specialist's service.

### 2.2 Development

The development of J-BAT is done using the MATLAB programming language and is divided in two main programs: the basic program, relating to all generic functions (such as importation of data & exportation of output) and the application program, containing all specific features for each type of manoeuvre.

\* ジャトコフランス社  
R&D, JATCO France SAS

\*\*実験部  
Experiment Department



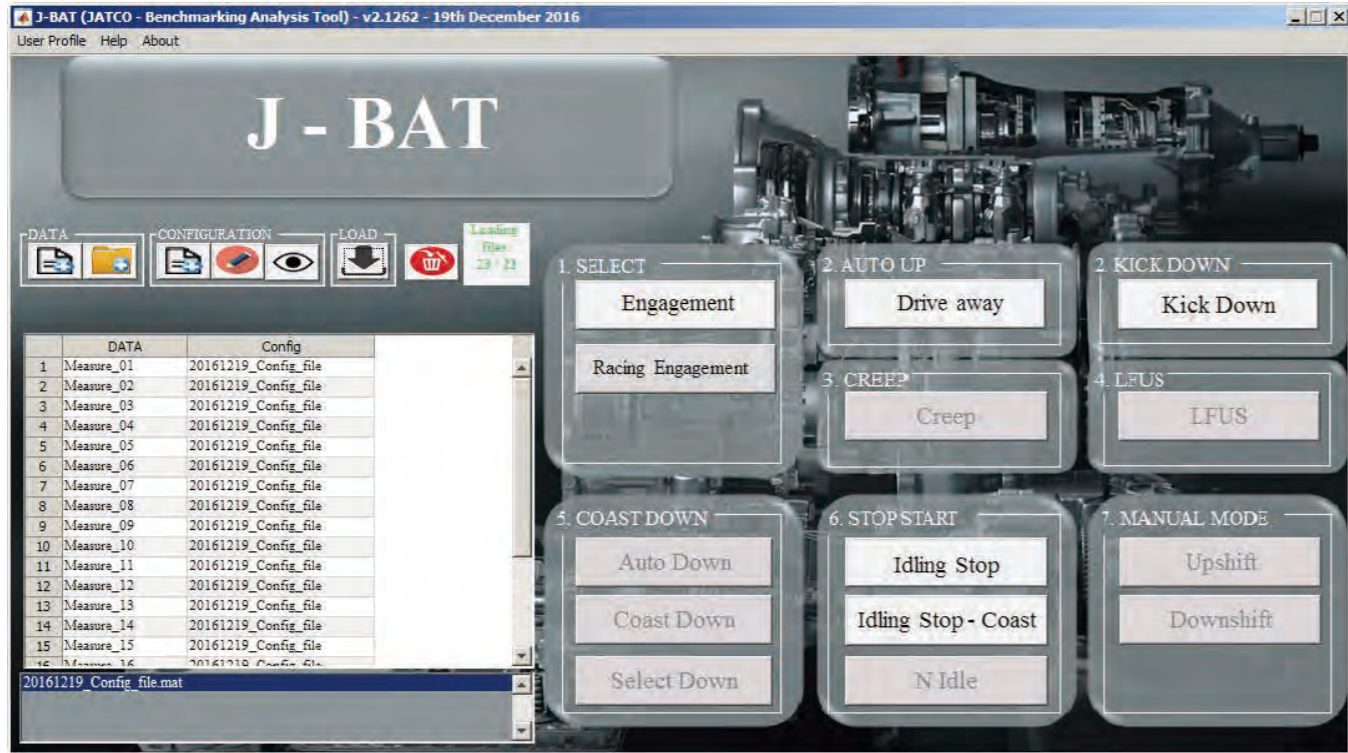


Fig. 1 J-BAT – Main interface display

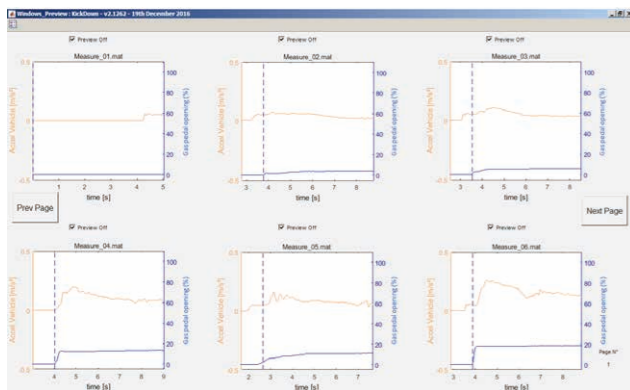


Fig. 2 J-BAT – Preview display

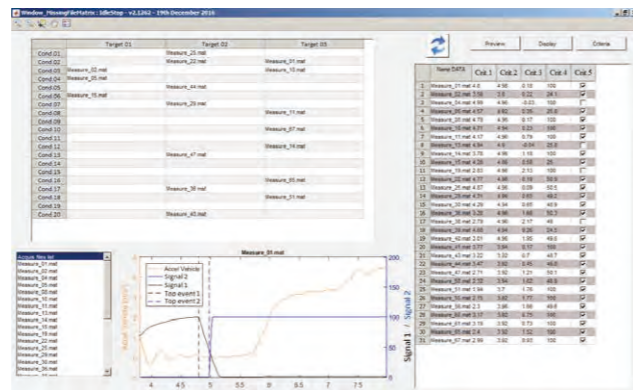


Fig. 3 J-BAT – Main display (Idling Stop)

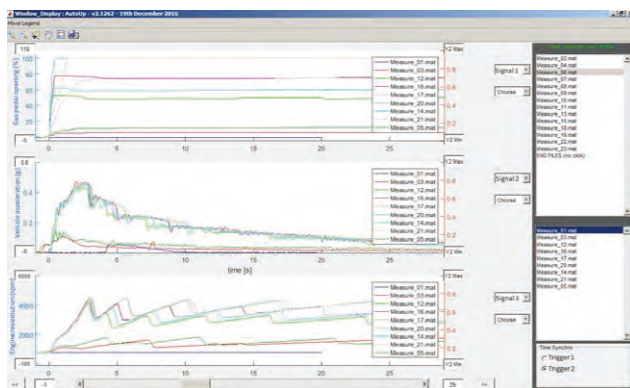


Fig. 4 J-BAT – Drive away display

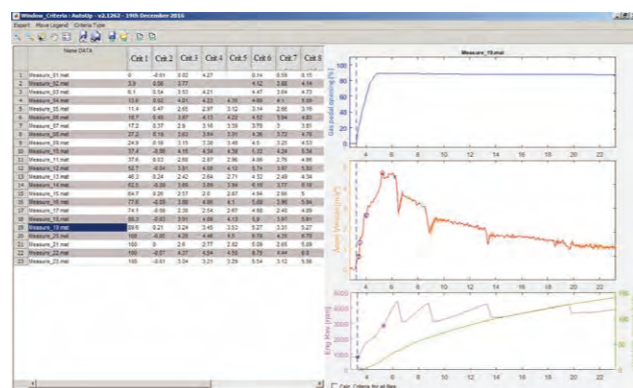


Fig. 5 J-BAT – Criteria display

将来の変更・追加要望に対応するために両方のプログラム仕様書を書くことが必要であり、このタスクはJFによって行われた。指標の定義はおもに日本のジャトコで行い、アルゴリズムのためにJFと協業した。問題がMATLABの機能に関して発生した場合、MATHWORKSのサポートを受けることができ、短期メンテナンスはMATLAB専門家によって実施された。最後に、J-BATのユーザーフィードバックにより更に完成度が高まった。PDCAを繰り返すことでソフトの改善が進み、より一層ユーザーの要望に沿ったJ-BATに近づいていった。

### 2.3 構成

J-BATはすべて、要求された結果に直接リンクした役割と機能に分かれたさまざまなウィンドウで構成されている。Fig. 1～5にその構成を示す。

### 2.4 展開

J-BATは、欧州、アメリカ、中国、日本、韓国の全てのジャトコ関係会社で使用されている。

### 2.5 入出力の形式

J-BATは、社内装置による計測データ、ETAS社のINCAやMATLABの測定データなどジャトコ社内で使用されるさまざまな種類のデータに対応している。

必要な入出力に関するフローチャートを、Fig. 6に示した。

In order to fulfil the future user requirements, it is necessary to write the specifications for both of the programs. This task is done by Jatco France.

The criteria definition is mainly done by Jatco Japan, with strong collaboration of Jatco France for the algorithm. The contributions of MATHWORKS are sometimes welcome when issues arise concerning MATLAB functions. The short term maintenance is done by the MATLAB specialist.

Finally, the users of J-BAT contribute to its development by giving feedback. Through several loops of PDCA, the code is well improved and the requirements are better fulfilled.

### 2.3 J-BAT: Composition

J-BAT is composed of many different interfaces which have separated roles and functions, all directly linked to the requested output. The following figures (Fig. 1 to Fig. 5) show how the information is displayed.

### 2.4 Deployment

J-BAT is presently used in all Jatco affiliates: in Europe, in USA, in China, in Japan & in Korea.

### 2.5 Type of inputs & outputs

J-BAT accepts different types of inputs for measurement data, issued from in-house tools, ETAS-INCA (Data acquisition tool) and MATLAB.

The overview of the flowchart concerning the required inputs and the outputs is described in the Fig. 6.

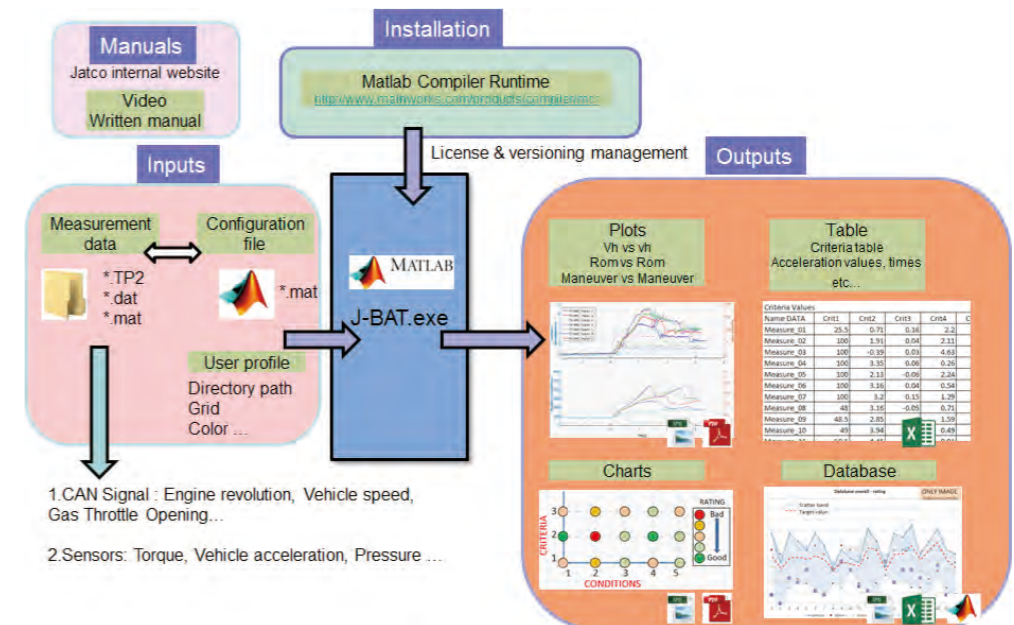


Fig. 6 Flowchart – Inputs & Outputs



J-BATは、比較グラフ(Fig. 7)、操作別指標による物理値比較一覧(Fig. 8)、評価値一覧表(Fig. 9)、グローバルデータベース(Fig. 10)の4つの異なる出力を提供することができる。

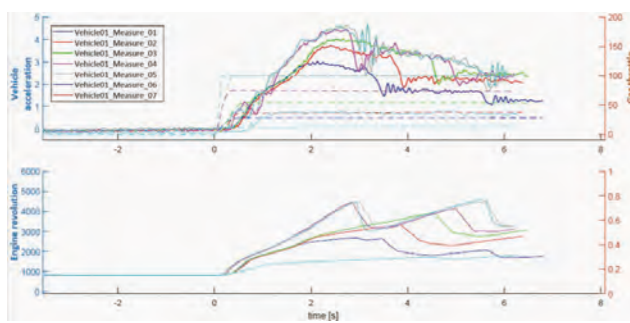


Fig. 7 Visual comparison

J-BAT can provide 4 different types of outputs: the visual comparison (Fig. 7), the comparison with DATA thanks to the physical value function of criteria (Fig. 8), the chart with rating (Fig. 9) and the global database (Fig. 10).

Criteria Values								
Name DATA	Crit1	Crit2	Crit3	Crit4	Crit5	Crit6	Crit7	Crit8
Measure_01	25.5	0.71	0.18	2.2	2.91	3.48	3.1	3.73
Measure_02	100	1.91	0.04	2.11	4.02	4.42	4.18	4.81
Measure_03	100	-0.39	0.03	4.63	4.24	5.16	4.91	5.41
Measure_04	100	3.35	0.06	0.26	3.61	4.68	4.44	4.99
Measure_05	100	2.13	-0.06	2.24	4.37	4.83	4.54	5.17
Measure_06	100	3.16	0.04	0.54	3.7	4.31	4.06	4.63
Measure_07	100	3.2	0.15	1.29	4.49	4.95	4.62	5.32
Measure_08	48	3.16	-0.05	0.71	3.87	4.49	4.23	4.75
Measure_09	48.5	2.85	0.08	1.59	4.44	4.92	4.59	5.25
Measure_10	49	3.94	0.09	0.49	4.43	4.92	4.55	5.33
Measure_11	50.5	4.45	0.14	0.01	4.46	4.93	4.6	5.32
Measure_12	50.5	4.18	0.22	0.19	4.37	4.93	4.61	5.36
Measure_13	26.5	3.95	0.07	0.02	3.97	4.52	4.14	4.69
Measure_14	26	2.49	0.05	1.88	4.37	4.92	4.54	5.1
Measure_15	25.5	3.26	0	1.46	4.72	5.26	4.88	5.39

Fig. 8 Table comparison

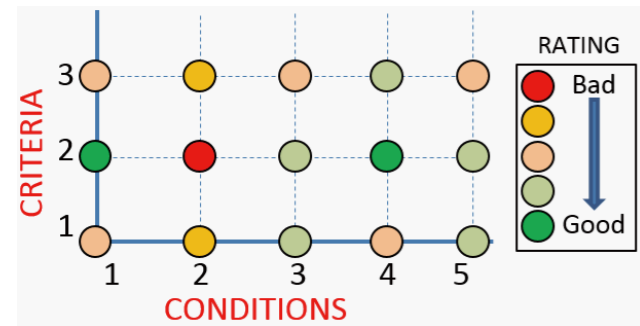


Fig. 9 Chart with rating

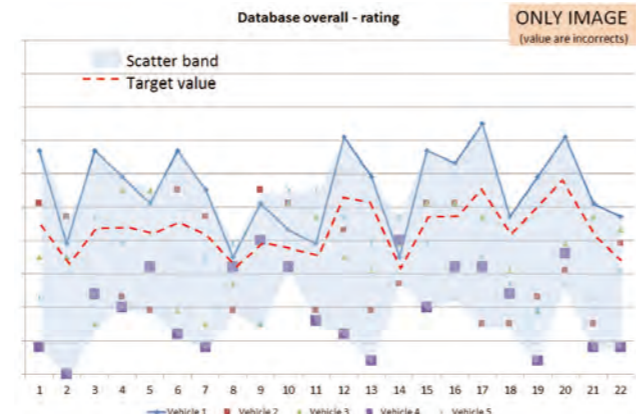


Fig. 10 Global database

ベンチマークテスト活動では、多くの場合、単一な2台(あるいはそれ以上)の競合他車比較だけではなく、異なる操作条件下、特定同一操作条件下で発生した現象の比較によって車両のコントロール性を表したいケースが非常に多い。また、プロジェクト開発においては、異なる状況下での挙動の確認だけでなく、パワートレインの性能セッティングおよびチューニングの改善代をチェックする必要性が高い。そのような用途で使用された場合のJ-BATの出力は、報告書をわかりやすくする視覚的な比較グラフ(Fig. 7)と、主に運転性の専門家が使う、性能判定基準から計算された物理値比較一覧(Fig. 8)の2つの出力方法で表現することができる。これら2つの結果を組み合わせることで、パワートレインを含んだ車両の目標値イメージを提供することができる。両方の活動において、我々は実車官能評価にも重点をおいている。各操作に対して2~3の評価ポイントがあるドライバーの感覚による評価は、主にドライバー操作に対する車両の加速度変化と応答性に配慮している。車両評価終了後、ドライバーによる詳細評価だけでなくJ-BATは評価値一覧表(Fig. 9)を提供することができる。

さらに前述のように、ベンチマーキング活動の3つの目的は、ジャトコ製品の競争力を知ること、グローバルと地域ごとのトレンドを知ること、将来の製品とプロジェクトの目標値を提案することである。このため、グローバルデータベース(Fig. 10)を現在開発中である。データベースを供給するプロセスを、Fig. 11に示す。

In benchmarking activities, it is often the case that we want to display the controllability of the vehicles, issued by a comparison between different manoeuvres; the preciseness of the behaviour of the powertrain for one specific manoeuver as well as simply the comparison between two (or more) competitor vehicles.

In project activities, there is a strong need to check the improvement of the settings and calibrations of the powertrain, as well as to check the result of its behaviour in different types of situations. The information concerning the above examples of the possible outputs of J-BAT can be displayed in 2 ways: either by visual comparison (Fig. 7), which clearly brightens up the reports, or by physical value in the table layout (Fig. 8) issued from calculation from criteria, which is mainly used by specialists for drivability. The combination of two output files give an image of objective values of vehicle and powertrain behaviour.

In both activities, we also focus on the subjective evaluation. Following a standard that associates a rating with the driver's feeling, there are a couple of ratings for each manoeuvres, mainly taking into account the vehicle acceleration fluctuations and the response of the vehicle with respect to the operation of the driver. Once the evaluation of the vehicle is done, J-BAT can provide in visually appealing way (Fig. 9) the overview, as well as the detailed information about the driver's feeling for some manoeuvres.

Furthermore, three of the main goals for benchmarking are to know the competitiveness of Jatco products, the global & regional trends, and to propose target values for future products & projects. The global database (Fig. 10) is in development for that reason. The process of feeding the database is described in Fig. 11.

### 3. J-BATの有効性

J-BATを使うことで、ビッグデータ解析の自動化と最適化を大幅に向上することができ、また作業負荷軽減とデータ解析時間短縮ができた。同時に、ヒューマンエラーを低減でき、明確なデータ解析プロセスを提供することでデータ解析の質および量の両方を高めることができた。さらに、J-BATはデータ解析時の使いやすさを増している。例えば、レバー操作やアクセルペダル操作の動きといったユーザーが指定した操作をJ-BATが自動的に検知ことができ、2つ以上の別々の測定データファイルと比較する場合に比べて操作が単純になった。これは、他のツールにはない機能である。

### 3. Benefits of using J-BAT

By the usage of J-BAT, as shown on Fig. 12, Jatco considerably enhanced the automatization and optimization of the analysis of big data, while also decreasing the workload and shorten the required duration of data analysis. At the same time, we increased both the quality and quantity of data analysis, which leads to a decrease in the possibility of human error and provides a clearer process for data analysis. Furthermore, J-BAT increased the user-friendliness of data analysis. For instance, since J-BAT automatically detect the requested event (move of lever, action on accelerator pedal...), the comparison between two or more data measurement is really simple, which is not the case with other tools.

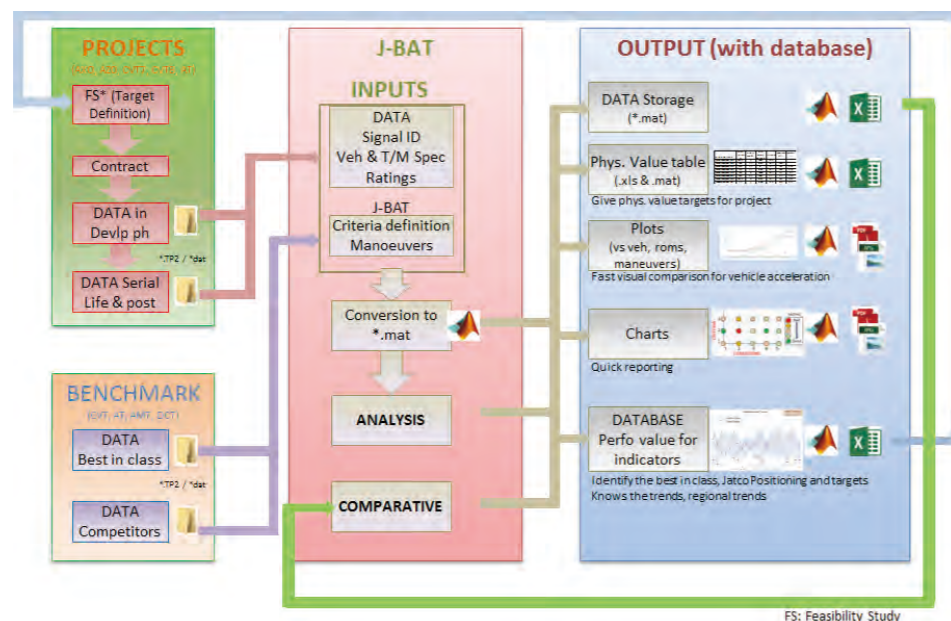


Fig. 11 Process to feed the database





# Jatco CAN Recorder /iシステムの開発

Development of the Jatco CAN Recorder/i System

三井 浩幸\*  
Hiroyuki MITSUI

木下 美樹\*  
Miki KINOSHITA

**抄 録** 実験計測業務の革新のために、iPhone®/iPad®を使い誰もが指先だけで簡単に車両実験データを計測、収録、解析できるJatco CAN Recorder/iシステム(以下JCRi)を自主開発した。本機はジャトコの車両実験を改革するため、過去の計測器で発生していた課題のフィードバックに加えて、最新のIoT技術を活用し、実験の開始からデータの解析までのスピードを革新的に高めた。本稿ではJCRiが持つ主な特徴と機能を紹介する。

**Summary** The Jatco CAN Recorder/i (JCRi) system was developed independently in-house as a new measurement system for facilitating innovations in experimental and measurement work. JCRi enables anyone to measure, record, and analyze vehicle test data easily by just using the fingertips to operate an iPhone®/iPad®. In addition to providing feedback on issues that were recorded with previously used measuring instruments, this system makes use of the latest Internet of Things (IoT) technology to dramatically speed up the entire process from the start of testing to the analysis of the data. This article describes the principal features and functions of JCRi that has been developed to reform JATCO's vehicle testing activities.

## 1. はじめに

近年、iPhone®をはじめとしたスマートフォンの普及により、誰もがインターネットと常時接続出来るようになった。人々はFacebook®やLINE®を始めとするSNSを使い、物理的な距離とは無関係なコミュニケーションを取り合う環境へと変化した。

車載ECUにおいては、ソフトウェアの大規模化が進んでいる。また、自動運転向けには、高速で大量に車両の状況をECU間で共有するための技術として、新しい車内LAN通信規格も登場してきている。

このような車両機能の増加に伴い、車載される電気電子システムの規模は数もサイズも増加傾向である。また、フリートテストを初めとした車両テストの台数も増加しつつある。さらに、開発のグローバル化により、遠隔地で実験が行われるケースも増えている。従って、1つの国で計測した大量のデータを他の国の開発拠点のスペシャリストの手元に届くまでのリードタイムの短縮を図る必要がある、という新たな課題が発生している。

\* 実験部  
Experiment Department

## 1. Introduction

The spread of smartphones such as the iPhone® in recent years has made it possible for anyone to always be connected to the Internet. The communication environment has changed to one in which people can communicate irrespective of physical distances by using social networking services (SNS) like Facebook® and LINE®.

In-vehicle electronic control units (ECUs) have come to incorporate large-scale software programs. New in-vehicle LAN communication protocols have also appeared as techniques for sharing large-volumes of data on vehicle conditions at high-speed among ECUs with an eye toward autonomous driving.

Accompanying this increase in vehicle functions, the scale of in-vehicle electric/electronic systems is tending to increase both in terms of number and size. The number of vehicles used in fleet testing and other types of vehicle tests is also continuing to increase. Moreover, as a result of the globalization of development work, there are more cases today where tests are conducted at remote locations. In this regard, a new issue that has also occurred is a need to shorten the lead time for delivery of large amount of data



Fig. 1 Jatco CAN Recorder/i

本開発ではこのような環境変化を受けて、最新のIoT技術を活用して、実験業務の革新的なスピードアップを実現するシステムの構築に取り組んだ。

以下、新システムの概要を紹介する。

## 2. コンセプトと機能

### 2.1 コンセプト

JCRiの開発にあたり、IoT時代にふさわしい機器であり、過去の計測器を圧倒的に凌駕する機能性能を有する機器、という目標を設定した。それを達成するため、5つのコンセプトを掲げ、システム構成の企画を行った。Fig. 2に、その5つのコンセプトを示す。図のように、見る、録る、貯める、繋ぐ、活用する、という、計測システムに要求される5大機能に着目し、革新的な改良を実現することをコンセプトとした。

以下、新システムに付与した5大機能の革新の詳細を紹介する。

### 2.2 機能革新の詳細

#### 2.2.1 “見る”機能の革新

従来当社で多用していたドライブレコーダーは、車両のロードテストを行っている最中に想定外の問題が発生した場合のデータを計測するための機器であった。運転や実験の邪魔にならないように出来るだけ小さく、目立たないように搭載することが常であった。そのため、モニターは無く、データの確認作業は、開発拠点までデータを持ち帰り、事務所でデータを解析するのが常であった。

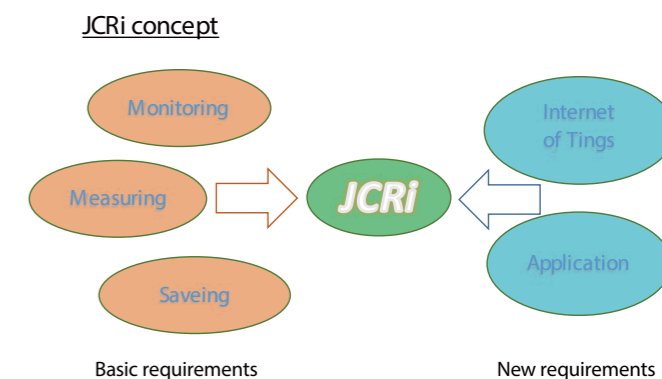


Fig. 2 JCRi system concepts

measured in one country to the hands of specialists at an R&D center in another country.

In view of these environmental changes, in this development project we set about to construct a system that would dramatically speed up experimental work by making effective use of the latest IoT technology.

The following sections present an overview of the new JCRi system.

## 2. Concept and Function

### 2.1 Concept

The aim set for the development of the JCRi system was to create a system suitable for the IoT era and one with functional performance that would overwhelmingly surpass previous measuring equipment. To accomplish that, we defined five concepts, as shown in Fig. 1, around which the system was planned. As indicated in the figure, attention was focused on five major functions required of the system, namely, monitoring, recording, saving, connection and utilization. This concept was designed to achieve dramatic improvements in experimental work.

The innovations made in the five major functions embodied in the new system are explained in detail below.

### 2.2 Details of functional innovations

#### 2.2.1 Innovation in monitoring function

At JATCO, we previously used many drive recorders as instruments for measuring data for subsequent examination in the event that some unexpected problem occurred while conducting a vehicle road test. In order not to interfere with driving operations and the test procedure, the recorders



しかしながら、昨今では車の車両電気電子システムの複雑化により、事務所で取得されたデータを解析するのみでは問題の原因がつかめないことも少なくない。そのような場合には、再現実験の実施が必要となるが、原因がわからない中での再現実験は困難を極めるものがあった。そこで、問題が発生した際に、その場で全ての関連データを“見る”ことを実現する計測システムを構築することとした。

JCRiでは新しく開発したiPad®専用の自主開発データ解析アプリ(Fig. 3)を用いることにより、実験中の車中で問題に関係する可能性のある全てのデータを見て、原因解析できるようにすることを実現した。この機能により、問題が発生したその場でデータ解析することで、解析スピードを革新的に向上させることが出来た。

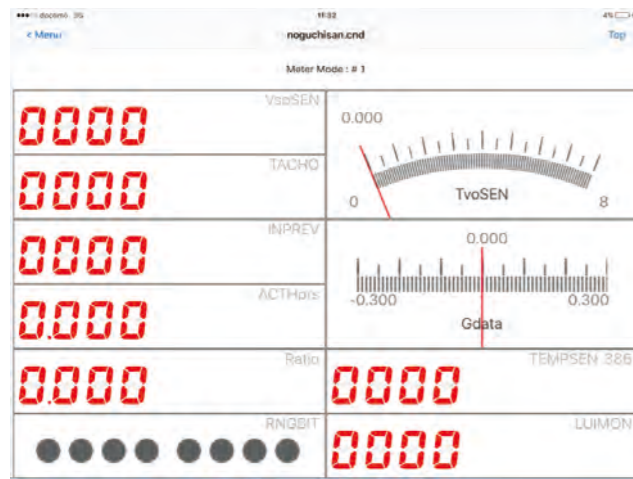


Fig. 3 Numerical display

また、車両実験を行う際には、テストドライバーが評価運転モードを正確に、繰り返し行うことが求められる。

例えば、アクセルペダルの踏み込み量をいくつかのパターンで正確に操作する実験を行うためには、アクセルペダルの踏み込み量を、リアルタイムに“見る”ための装備が必要となる。従来は、このアクセルペダル踏み込み量をモニターするツールとしてアナログメーター表示の特注機器を車両に搭載していた。しかし、この機材は非常に高価であったことに加えて、設計が2000年代初期であったため、今では機材に使用されている半導体部品の手入が困難となっており、新しく調達することが出来ないだけでなく、修理も出来ない状況となっていた。

JCRiではiPhone®/iPad®用にデータモニター用のアプリを開発することで、ナビゲーションの画面のようにアクセルペ

were always made as small as possible and installed where they would not be conspicuous. Consequently, the recorders were not fitted with a monitor, and the work of confirming the data always had to be done by taking it back to the office at the R&D center for analysis.

However, owing to the increased complexity of in-vehicle electric/electronic systems in recent years, there have been not a few times when the cause of a problem could not be pinpointed just by analyzing the recorded data in the office. In such cases, a replication test had to be conducted, but it was extremely difficult to conduct such a test without knowing the cause of the problem. Therefore, it was decided to construct a measurement system for monitoring all the related data on the spot whenever a problem occurred during testing.

A data analysis application was newly developed in-house specifically for the iPad® terminals used with JCRi (Fig. 2), making it possible to analyze the cause of a problem that occurs in a vehicle during testing by monitoring all the data possibly related to the incident. By enabling data to be analyzed on the spot when a problem occurs, this function has dramatically improved the speed of analysis.

When conducting a vehicle test, the test driver is required to execute accurately and repeatedly the driving mode being evaluated. For example, the driver must operate the accelerator pedal accurately according to the amount of pedal depression specified in several test patterns. To accomplish that, it is necessary to have a device for monitoring in real time the amount that the accelerator pedal is depressed. Previously, a custom-made analog meter was installed in a test vehicle as a tool for monitoring and displaying the amount of accelerator pedal depression. However, in addition to being extremely expensive, the meter was designed in the early 2000s, so it is now difficult to obtain semiconductor parts for it. Not only is it impossible to procure a new meter, it is no longer possible to repair the meter today.

An application for monitoring data via an iPhone®/iPad® was developed for JCRi, enabling a vehicle test to be conducted while visually checking the vehicle data, such as the accelerator pedal angle, in a manner similar to viewing a navigation system screen. Special care was taken regarding the switching of the screen displays of this application. Two types of screen displays were prepared; one type is a digital display for confirming values in real time (Fig. 2) and the other type shows time-history waveforms. Displays can be switched by simply swiping the screen with a fingertip. This

ダル開度などの車両情報データを目で確認しながら車両実験を行うことが出来るようにした。このアプリは、画面の切り替えについても工夫をこらし、リアルタイムにデジタル表示で数値を確認するための画面(Fig. 3)と、時系列波形を表示する画面の2つを用意し、その切り替えは指先で画面をスワイプするだけで済むようにした。この改良により、ドライバーはストレスなく、実験に必要な“見る”機能をフレキシブルに表示スタイルを切り替えて活用できるようになった。

### 2.2.2 “録る”機能の革新

ドライブレコーダーの“録る”機能として、最も一般的なことは、過去の現象に対してデータを残すという機能である。

いつ発生するかわからない問題を記録するため、常にデータを収録し続け、スイッチ等の収録トリガが発動しなかった場合には古い時間のデータから捨てていくというソフトウェア的な処理を常に動かし続けることになる。そのため、精度の良いデータを長時間保管するためには大容量のストレージを必要とする。

JCRiでは、本体内部に工業用の大容量のMicroSDカードを搭載することで、コストを抑えつつ大容量データの保管を実現することとした。

また、計測を行うためにはトリガをかける必要があるが、事前に設定しておいた条件が成立した際に作動する自動トリガだけではなく、ドライバーが異常を認知した際に押すマニュアルトリガが併用されることが一般的である。マニュアルトリガ用のスイッチについては、車両の中での置き場所が課題となる。本体は運転に邪魔にならない位置に配置すべきであるが、スイッチは押しやすいところに配置することが望ましい。そこで、ステアリング近傍にスイッチをテープで貼り付けるタイプが多く、ステアリング操作による脱落の課題や、客先向けのデモ走行における見栄えの悪さの課題が生じていた。

JCRiでは、インターフェース本体の形状を350mlの缶ジュースと同一の形状とし、車両のドリンクホルダーに合うよう円筒形状に設計した(Fig. 4)。そして、マニュアルスイッチを円筒の上部に見やすく配置した。ドリンクホルダーに収まる形状にしたことで、運転の邪魔にはならない。また、通常ドリンクホルダーはドライバーが取りやすい位置に配置されていることが多いので、この位置にスイッチを配置することにより、多種多様の車両モデルの実験評価において、使いやすい位置にスイッチを配置することを実現できた。



Fig. 4 JCRi setup

improvement enables a test driver to use the monitoring functions needed for a test by flexibly changing the screen display format in a stress-free manner.

### 2.2.2 Innovation in recording function

The most general measuring function of a drive recorder is to leave a record of data concerning phenomena that occurred in the past. In order to record problems whose time of occurrence is unknown, it is necessary to continuously record data at all times. In cases where the operation of a switch or some other recording trigger is not activated, a software-like process runs continuously in which the oldest recorded data are discarded. Consequently, a large-capacity storage device is needed to save highly accurate data for a long period of time.

JCRi has a large-capacity microSD card for industrial use installed in the main unit, enabling it to store large volumes of data while holding down the cost.

It is usually necessary to activate a trigger for making recording. Generally, a manual trigger that a test driver can push when abnormal behavior is perceived is also provided in addition to an automatic trigger, which is activated when certain preset conditions are met. One issue in this regard is where to locate the manual trigger switch in the vehicle. The main unit should be positioned where it does not interfere with driving operations, but it is desirable to locate the switch where the driver can easily push it. Many types have the switch taped somewhere near the steering wheel, but that has given rise to a problem that the switch might be knocked down when the driver executes steering operations. Another problem has been unsightly appearance in demonstration driving tests driven by customers.



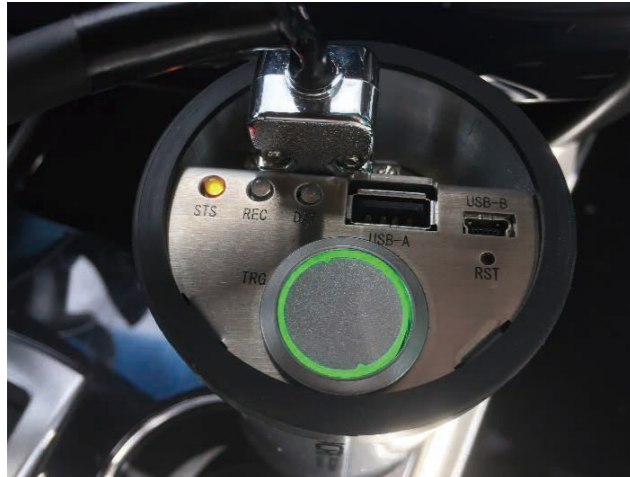


Fig. 5 Illuminated switch

さらに、このスイッチ仕様についても車両の中で使う観点での工夫を施した。運転しながら押すものであるため、指先の感触だけで確実にスイッチが押されたことがわかるスイッチとすることとした。これを実現するために、JCRiで採用したスイッチは、ゲームセンターのゲーム機で使われているスイッチを採用した。車両の問題をドライバーが感じ取った時には確実に大切なデータを取得できるようにする必要があるが、ゲーム機で進化を続けたスイッチは、押し時の指先へのクリック感に優れ、音が非常にわかりやすいため、押し損じが少なく、狙いとした確実性の向上に役立つのみならず、製作コストの抑制にも大きく寄与した。さらに、夜間実験中にスイッチを手探りで見つけられないシーンに対応するため、ゲーム用スイッチの中から外輪調光式のスイッチを取捨選択して採用することで、夜間でも短時間の視線移動で位置を確認することができるようにした(Fig. 5)。

### 2.2.3 “貯める”機能の革新

車両、トランスミッションの開発においては、多種多様な計測器を駆使して、実験データを計測する。そのデータの全てが大切なアウトプットであり、財産となり、それを関係者全員が、いつでも、どこでも読み出せて共有化できるようにすることが重要である。そこで、今回の開発では、この、“貯める”機能についても革新、進化させることにも取り組んだ。

通常ドライブレコーダーは、他の計測器に比べてデータの取得量が多い計測器である。一度の実験で、数ギガバイトを超えるデータを取得することも多く、計測している時間も長い。また、フリート実験といったような、実用走

For JCRi, the interface with the main unit has the same shape as a 350-ml juice can. This cylindrical shape is designed to fit in the drink holder in the center console (Fig. 3). The manual switch is located in an easy-to-see position on top of the cylinder. Fitting the interface in the drink holder eliminates any interference with driving operations. Since the drink holder is located where it is easy for the driver to reach, the switch is thus positioned where it can be operated easily in evaluation tests of a wide variety of vehicle models.

Care was also taken to design the switch specifications for ease of use in a vehicle. Because the test driver pushes the switch while driving, the switch has been designed such that the driver can reliably confirm that it has been pushed just by feeling it with the fingertips. To accomplish that, the switch adopted for JCRi is the same type as the switches used on game machines at game centers. It is necessary to ensure that valuable data can be reliably collected when a test driver perceives some problem in the vehicle. Game machine switches have continued to evolve into ones that impart to the fingertips an excellent feeling of clicking when pressed, and the clicking sound is very easy to perceive. Consequently, the adopted switch not only works to improve the aimed-for reliability with little operational error, it has also contributed significantly to holding down the manufacturing cost. In addition, to address situations where a test driver cannot find the switch by feeling for it during nighttime testing, a switch with an illuminated outer ring was selected for use among the game machine switches available. This feature makes it possible to confirm the position of the switch with just a brief eye movement during nighttime driving (Fig. 4).

### 2.2.3 Innovation in saving function

Many different types of measuring instruments are used to measure experimental data in the process of developing vehicles and transmissions. All the data represent valuable output and assets. It is essential for all the employees involved to be able to read out and share the data anywhere and at any time. Therefore, efforts were also made in this development project to innovate and advance the function for storing data.

Ordinarily, a drive recorder is capable of obtaining more data than other measuring instruments. In one test, a drive recorder often obtains more than several gigabytes of data over a long measurement period. Drive recorders are often used to detect a variety of problems that occur in widespread technical areas during actual driving such as in fleet testing. Consequently, at the time a test is planned

行中に発生する広い技術領域のさまざまな問題を検出することに用いられることが多いので、取得したデータをどの分野のエンジニアが見ることになるのか、テストを企画した時点では判別できないことも多々ある。そこで、誰もが、いつでも、どこでも容易に閲覧できるファイル形式で“貯める”機能を実現することにチャレンジした。

この課題を解決するために、JCRiではJCFというジャトコ独自のデータファイルフォーマットを採用した。JCFとは(JATCO common format)の略語であり、ジャトコで設定したデータ様式である。全ての実験データを統一のファイルフォーマットで“貯める”ために、Big DATA時代に向けて社内で構想づくりを進めていたJCFを採用することとした。

このJCFを用いて“貯める”ことにより、JCF用のデータ解析ソフトウェアさえ使いこなせば、エンジニアは計測器毎にソフトウェアのライセンス契約をする負担や、使い方を覚えなければならない負担から解放されることになる。実験データの比較を行う際にも、同じソフトウェアで比較することになるので、容易に比較ができることとなり、計測器ごとに仕様がアンマッチとなることに起因する分解能の差や、精度の差の問題も発生しない。さらには、過去のデータであっても、JCFに変換して“貯める”ことで、数年後にも有効に活用することができるようになった。

今回は、このJCF用のデータ解析ソフトウェアについても新しく自主開発を行った。使い方を覚えるための習熟や教育は必要となるが、多種の計測機器やデータ処理ソフトごとのさまざまな多種の習熟や教育を実施する必要性がなくなるため、トータルとして業務習熟効率やスピードを大幅に上げることができた。

新開発した解析ソフトウェアは、波形を表示する画面を横方向へ最大限に大きく表示するレイアウトとし、さらに解析に便利な機能を付け加えた解析ソフトウェアである(Fig. 6)。

この新解析ソフトにより、今後はJCRiで実験、計測したデータだけでなく、その他の実験についても、エンジニアの負担を軽減し、解析のスピードを飛躍的に向上することが期待できる。

また、このJCFを用いたデータ蓄積と、ジャトコ統合解析ソフトの普及により、世界中の開発拠点間でのデータ共有が可能となり、海外出張や海外への異動をした際にも同じ計測システムで計測できるように現地業務のスムーズな立ち上がりを実現することにも貢献している。

there are many cases when it is impossible to know which engineers in which fields will view the data obtained. Accordingly, a challenge was undertaken to develop a function for saving data in a file format that anyone would be able to view anywhere and at any time.

To resolve this issue, it was decided to adopt the JATCO common format (JCF) as the data file format for JCRi. JCF is JATCO's unique data format that was defined in-house. It was conceptualized independently for the era of big data and was adopted for JCRi in order to save all experimental data in one unified file format.

By using JCF to save data, engineers are freed from the burden of concluding a software licensing agreement for each measuring instrument and also the burden of remembering how to use such software, so long as they master the use of the data analysis software designed for JCF. Experimental data can also be easily compared because the same software is used in making the comparison. In addition, problems concerning differences in resolution or accuracy caused by imbalances in specifications between measuring instruments do not occur, either. Moreover, even past data can be converted to JCF files and saved for effective use several years in the future.

Data analysis software for JCF was also newly developed in-house in this project. While practice and education are needed to learn how to use this software, it is not necessary to conduct various types of training and education for each kind of measuring instrument and data processing software. Consequently, the efficiency and speed of training for analysis work have been markedly improved.

The screen layout of the newly developed analysis software displays waveforms across the screen to the maximum extent possible. In addition, new functions convenient for analysis have also been added to this analysis software (Fig. 5).

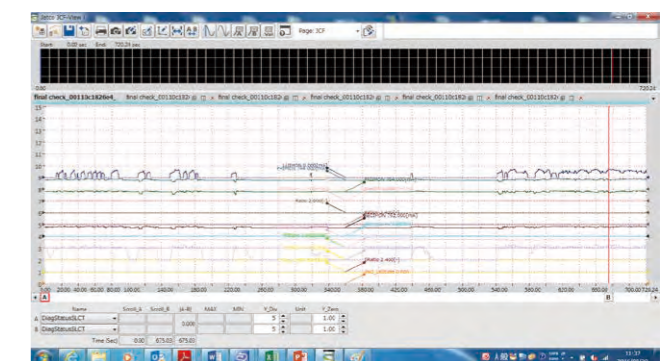


Fig. 6 New-view waveform display



### 2.2.4 “繋ぐ”機能の革新

“見る”、“録る”、“貯める”の3つの機能については、計測器の基本となる機能の向上であった。ここから説明する“繋ぐ”という機能は、計測器の基本となる機能とは一線を画したIoT時代を見据えた新しい機能である。

海外でフリート実験を行っている最中に何らかの問題が発生した場合、現地からは体感した現象だけがEメールで伝わってくることが多い。そのようなシーンでは実走中のデータをリアルタイムで見ることができないという理由で、現象解析に時間を要することも多々発生していた。新開発システムでは、現地での実走中に取得したデータを瞬時に、リアルタイムにインターネットで開発拠点に繋いで転送し、より多くの専門エキスパートが参画したデータ解析を実行することを可能とするシステムとした。また、新たに専用のインターネット接続機能を搭載させる機器を開発すると、高価なシステムとなってしまったため、iPhone®/iPad®を最大限に活用するシステムとした。

Fig. 7にJCRiシステムの構成を示す。

車両で取得されたデータはJCRi向けに開発したイン



Fig. 7 Configuration of JCRi system

ターフェースでiPhone®/iPad®が認識可能な信号へと変換されるようにした。iPhone®/iPad®へ送信されたデータはiPhone®/iPad®の画面でリアルタイムに表示されるとともに、蓄積されていく。このときに、iPhone®/iPad®のアプリケーションには専用のソフトウェアを組み込むことができるので、耐力計算や油圧の妥当性計算といった、今まではデータを計測した後に解析ソフトで処理していた解析を、リアルタイムに行うことが現地の実走中にも可能となった。見る機能の革新で述べた新機能によって、現地でもリアルタイムに取得した波形を解析可能であるが、これに加えて“繋ぐ”機能の革新で解析スピードを革新的に向上することをめざした。具体的には、計測された

It is expected in the future that this new analysis software will reduce the workload of engineers and dramatically speed up the work of analyzing not only data measured in experiments conducted with JCRi, but also data obtained in other experiments as well.

In addition, the accumulation of data using JCF and the spread of JATCO's unified analysis software will enable the sharing of data among the company's R&D centers worldwide. This will contribute to facilitating smooth launching of activities at JATCO's local subsidiaries when JATCO employees go abroad on business trips or are transferred overseas because it will be possible to make measurements using the same measurement system.

### 2.2.4 Innovation in connection function

The three functions of monitoring, measuring and storing represent the basic capabilities of measuring instruments. The connection function explained here is a new capability intended for the IoT era, and it is clearly different from the basic functions of conventional measuring instruments.

When some type of problem occurs while conducting a fleet test overseas, only the phenomena experienced locally are usually conveyed back to Japan by email. In such situations, it has often required a lot of time to analyze the phenomena because the data measured during the driving test could not be monitored in real time. With the newly developed JCRi system, the data obtained in driving tests conducted locally can be transmitted immediately in real time to the R&D centers connected via the Internet. The system thus enables a larger number of specialized experts to participate in analyzing the data. And the system is designed to allow maximum use of iPhones®/iPads® because it would become extremely expensive if devices having a dedicated Internet connection function were newly developed. Figure 6 shows the configuration of the JCRi system.

The data obtained in a vehicle test are converted to a signal recognizable by an iPhone®/iPad® via the interface developed for the JCRi system. The data sent by an iPhone®/iPad® are displayed in real time on the device screen and are also saved simultaneously. At that time, dedicated software can be downloaded to the iPhone®/iPad® application. This makes it possible to analyze the data in real time even during the local driving test, including performing calculations of strength and pressure suitability. Previously, analysis software was used to conduct such analyses after the data were measured.

データが、リアルタイムにクラウドサーバーへとアップロードされるようにした。車両は常に動いているため、電波状況の悪いところやトンネルといった環境も発生するが、JCRiは送信が完了するまでリトライを続けるので、テストドライバーは何も気にする必要はなく走り続ければよい仕様とした。

アップロードされたデータは、ジャトコサーバーへと転送され、開発センターの専門エキスパートによるリアルタイムの詳細解析を実施することが可能となり、開発センターのエキスパートと車上のドライバーとの電話交信による連携によって、解析を深めるためのいろいろな運転パターンでの追加運転をリクエストすることも容易にできるようになった。このように、世界中から集まってくるデータに専門家がすぐにアクセスすることが出来るシステムとすることができた。

また、“繋ぐ”を実現するためのiPhone®/iPad®であったが、この市場実績のあるモバイル機器を採用することには、他にも大きなメリットがあった。

iPhone®/iPad®は3軸の加速度センサーとGPSを標準で装備している。車両の運転性を評価するにあたっては、加速度センサーは必須の計測器であり、フリート実験におけるGPSは車両が何処を走っていたかを知るためには欠かせない機器である。複雑高価なシステムを組むことなく加速度センサーとGPSの機能を活用することが可能であり、車室内に要する計測器のスペースが極小で済み、実験スタンバイやセットアップも従来システムと比較して革新的に楽になり、複雑な配線も不要とできる、ということも大きなメリットとなった。

iPhone®/iPad®自身の進化や性能向上が実施された場合にも、その進化の恩恵を容易に享受できることも、大きなメリットであり、たとえばiPhone®/iPad®の音声録音の機能についてもJCRiシステムでは活用している。当初は音や振動と言った問題を解決するための簡易手段として実装したのだが、実際にはドライバーのメモ代わりに音声録音を行う用途で利用されている。たとえば、変速性能関連の異常現象の再現実験をしている最中に路面の悪いところに遭遇したとする。このときに、ドライバーが音声で、「ここは路面が悪い。」と録音しておけば、後でG波形が乱れている原因が路面であることを知ることができる。

Using the new function described earlier in the explanation of the innovation in the monitoring function, the waveforms obtained can also be analyzed in real time locally. However, the aim was to dramatically improve the speed of analysis by adding innovation in the connection function. Specifically, the measured data are uploaded to a cloud server in real time. Because the test vehicle is constantly moving, it encounters environments such as tunnels and other places where radio wave conditions are poor. The JCRi system continues to make retries until the communication session is completed, so the test driver can continue driving without having to worry about data transmission.

The uploaded data are transferred to JATCO's server, enabling specialist experts at the R&D center to conduct detailed analyses in real time. The experts at the R&D center can contact the test driver by telephone and easily request additional driving patterns in order to perform more in-depth analyses. This system now makes it possible for experts to promptly analyze data collected from around the world.

The use of iPhones®/iPads® facilitates this connection function, but there are also other significant advantages of adopting these mobile devices having excellent track records in real-world use.

Standard features of iPhones®/iPads® include a 3-axis accelerometer and GPS. An accelerometer is a necessary measuring instrument for evaluating the driveability of a vehicle, and GPS is an indispensable function for knowing where a vehicle is currently traveling in a fleet test. The accelerometer and GPS function available with these devices can be utilized without incorporating any other complex, expensive system. This minimizes the space needed in the test vehicle interior for installing measuring instruments, and test standby and setup activities are remarkably easy compared with the previous system. There is no need for complex wiring either, which is another significant advantage.

As the iPhone®/iPad® themselves further evolve and are improved in performance, the benefits of that progress can easily be enjoyed, which is still another major advantage. For instance, the JCRi system makes use of the voice recorder built into the iPhone®/iPad®. Initially, that voice recording function was used as a simple way of solving problems of noise and vibration, but voice recordings are now actually used in place of memos written by the test driver. As one example, during a test to reproduce abnormal



このように、iPhone®/iPad®を使うことで、実験データ入手までのスピードアップだけでなく、実験セットアップの革新的なスピードアップも実現することができた (Fig. 7)。そして、車両実験のために計測設備を導入するためのコストも1/10以下に圧縮することが可能となった。



Fig. 8 Faster data acquisition and analysis worldwide

### 2.2.5 “活用”する機能の革新

コンセプトの最後に掲げた“活用する”についてもBigデータの解析結果からの時期型モデル開発への活用等の革新が現在進行中であるが、ここでは今後のJCRiシステムの展望について紹介する。

Internet of things, Big data, Industry4.0・・・世界では製造業自体の様相が根本的に変わる転換期にさしかかっている。ジャトコの実験部においても、業務の革新のためにJCRiを投入したが、これもただの通過点であると考えている。今年度以降では、JCRiシステムで大量に収集した実験データを今までになかったような方法で“活用する”ことを考えていきたい。

従来はどちらかという問題が発生した後で対処する、というアプローチであった。もちろん、問題が発生しないよう、綿密な市場要件調査を行い、詳細な設計を行い、時間をかけてテストを繰り返して製品開発を行っている。それでも、フリート試験を実施して初めて問題に遭遇することが多々ある。多くの問題は、モノのバラつきや、何かしらの設計的、製造的な変化点によって発生するものか、実走要件を見誤った結果であり、何もないのにある日突然問題が発生しているわけではない。このような問題を未然に防ぐには、些細な違いや変化点に気付くことが出来るか否かが重要であると考えている。

この些細な違いや変化に気付くことを補助するためのツールとして、データマイニング等の手法を用いて、Bigデータとして蓄積された実験データを、今までに無かった

behavior related to shift performance, suppose the vehicle encounters a rough road surface. At that time, if the test driver records a voice message saying “rough road here,” it will be possible later to easily know that the disturbance in the G waveform was caused by the rough road surface.

The use of iPhones®/iPads® as described here not only enables test data to be acquired much faster, it also dramatically speeds up test setup work (Fig. 7). In addition, the cost of installing measuring equipment for vehicle tests has been compressed to less than 1/10 of the previous level.

### 2.2.5 Innovation in utilization function

Innovation is now under way concerning the use of the results of big data analysis in the development of next-generation models. This section describes the outlook for the JCRi system with regard to utilization, which is the final concept envisioned for the system.

As typified by Internet of things, Big data, Industry 4.0 and other recent trends, global manufacturing industries themselves are now in a transition period in which various aspects are undergoing fundamental changes. JATCO's Experiment Department implemented the JCRi system to reform our work processes, but we view this as just a transit point. Beginning from this fiscal year, we want to utilize the large volumes of test data collected with the JCRi system in ways that have not existed previously.

If anything, our approach heretofore has been to deal with problems after they occur. Naturally, we develop our products so as to preclude problems by meticulously investigating market requirements, executing detailed designs and conducting tests repeatedly over a long period of time. Nonetheless, there are many times when a problem is first encountered during fleet testing. Problems are often caused by some variation in things or by some change in design or manufacturing or as a result of misjudging the driving requirements. Problems do not suddenly occur one day where there was nothing wrong before. A key factor in preventing such problems from occurring is whether or not one is able to perceive these minor differences or changes.

We are now at the stage of starting to develop new methods of using JCRi as a tool for assisting us in discerning such slight differences or changes. For example, we want to apply new methods that have not existed previously to analyze the test data accumulated in the form of big data through the use of such techniques as data mining.

Additionally, we will continue to apply advanced, high-performance devices typified by the iPhone®. For example,



Fig. 9 JCRi system & vehicle setup

方法で解析していく等の、JCRiの新たな活用法の開発に着手している段階である。

他にも、iPhone®に代表されるような高機能で先進的な機器を“活用する”ことは引き続き行っていくことになる。たとえば、iPhone®/iPad®が気圧計を搭載したならば、JCRiシステムでも気圧を測定することができるようになるだろう。他にも社内実験用のアプリを開発するためのスキームを作り上げておくことで、開発だけではなく、品質保証サービスや営業のスピードアップやクオリティ向上に活用できる余地が多々ある。たとえば、顧客向けのデモカーにJCRiをトランスミッションの状態表示モニターとして搭載したりすることで、製品の魅力を分かり易くアピールすることは容易にできるはずである。このように、“活用する”というコンセプトは、アイデア次第でいくらでも広がる可能性があるコンセプトである。JCRiは、これらのアイデアを実現させるためのベースプラットフォームとして、今後もさらに進化発展を継続していきたい。

### 3. まとめ

自動車の駆動系主要部品の実験という、工業製品としては非常に歴史が長く、同じやり方を継続し続けがちな仕事のやり方であったが、それを変革していくためにJCRiを開発し、革新的な業務改善効果を得ることができた。今後も、今回掲げた5つの重要な機能の更なる進化を目指したい。特に、“活用する”機能をさらに進化させ、未来に向けて画期的で、エンジニアが活き活きと活躍するような提案をしていきたい。最後に、JCRi開発にあたり、多大な協力と支援をいただいた関係諸氏に、紙面を借りて深く感謝の意を表す。

if the Phone®/ iPad® were to incorporate a barometer, we would probably be able to measure the atmospheric pressure even with the JCRi system. We are also creating ideas for the development of other applications for in-house testing use that will not be just for R&D purposes. There will be flexibility for other uses such as in quality assurance service, speeding up sales activities and improving quality, among other applications. For example, installing JCRi as a monitor for displaying the status of the transmission in a demonstration car for use by customers would make it easy to emphasize the attractive features of the product in an easy-to-understand way. The concept of utilization is one that has any number of possibilities for such expansion depending on the ideas applied. We want to continue to evolve and expand JCRi further in the future as a base platform for turning ideas into reality.

### 3. Conclusion

Testing of the principal parts of the automotive powertrain has tended to be conducted using the same methods continuously, as the parts have a very long history as industrial products. The JCRi system was developed in order to reform the test methods, and it has been effective in bring about innovative improvements in work procedures. We aim to further evolve the five key functions that were defined for this system. In particular, we want to further evolve the utilization function and present epoch-making proposals for enabling engineers to pursue vigorous activities in the years ahead.

Finally, the authors would like to take this opportunity to express their deep appreciation to everyone concerned for their invaluable cooperation and support for the development of the JCRi system.

■ Authors ■



Hiroyuki MITSUI



Miki KINOSHITA



# 潤滑配分予測シミュレーション手法の開発

Development of a Lubrication Prediction Simulation Method

尹 斗熙\*  
Doohee YOON

李 春美\*\*  
Chunmei LI

孟 成鎬\*  
Sungho MAENG

李 智善\*  
Jiseon LEE

俵 裕貴\*\*\*  
Yuki TAWARA

金 柱城\*\*\*\*  
Jusei KIN

**抄 録** 当社では製品の競争力向上と顧客のニーズに沿うようにするためにモノづくり革新を目指している。その活動の一つとして、燃費向上と信頼性確保を目的とした自動変速機の潤滑配分最適化を狙っている。

本稿では潤滑配分最適化を実現するために、電算流体力学(Computational Fluid Dynamics, 以下CFDとする)を用いて潤滑配分量が予測できる技術について紹介する。

**Summary** At JATCO we are proceeding with efforts aimed at innovating our monozukuri technologies in order to improve the competitiveness of the company's products and meet customers' diverse needs. One activity in this regard is aimed at optimizing the lubricating oil distribution in automatic transmissions for the purpose of improving fuel economy and ensuring reliability. This article describes a method for predicting lubricating oil distribution rates using computational fluid dynamics simulations (CFD) in order to optimize the lubricating oil distribution.

## 1. はじめに

## 1. Introduction

AT, CVT等の自動変速機においては潤滑量を十分供給することによって信頼性を確保することが重要であるが、潤滑量が過多になるとオイルポンプの駆動損失や潤滑油の攪拌損失が増大するため、燃費への悪影響が発生する。本技術開発では、変速機内の潤滑配分を最適化することによって、信頼性確保と燃費向上を両立させることを目指し、CFDを用いたCVTとATの潤滑量を予測できるシミュレーション技術を開発した。

Supplying a sufficient quantity of lubricating oil is an important factor in ensuring the reliability of automotive transmissions such as ATs and CVTs. However, an excessive supply of lubricating oil has an adverse effect on fuel economy because it increases oil pump drive losses and oil churning losses. In this project, we developed a simulation method for predicting the quantity of lubricating oil in CVTs and ATs using computational fluid dynamics (CFD) calculations. This method is aimed at both ensuring reliability and improving fuel economy by optimizing the distribution of lubricating oil in the transmission.

## 2. 開発の背景

## 2. Development Background

自動変速機での潤滑油の機能は2つの摩擦面の間に油膜を形成して摩擦と摩耗を減少させる1次機能と、2つの摩擦面で発生する熱を冷却する機能、金属の表面の清浄性を維持する機能、2つの摩擦面を密封する機能のような2次機能で区分できる。自動変速機においてこれらの機能を十分発揮させるためには供給する潤滑油の量

Lubricating oil in an automatic transmission performs both primary and secondary functions. The primary function is to reduce friction and wear by forming an oil film between two frictional surfaces. Secondary functions include cooling the heat generated by two frictional surfaces, maintaining the cleanliness of metal surfaces, and

\* ジャトコ 韓国エンジニアリング社 第一技術開発室  
Technology Development Office No. 1, JATCO Korea Engineering Corp.

\*\*\* 部品システム開発部  
Hardware System Development Department

\*\* ジャトコ 韓国エンジニアリング社 商品開発室  
Product Development Office, JATCO Korea Engineering Corp.

\*\*\*\* 実験部  
Experiment Department

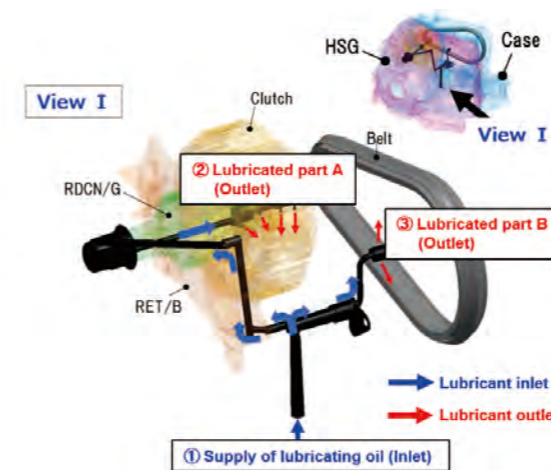


Fig. 1 Example of lubricating oil flow passages

を最適化する必要がある。たとえばCVTにおいてはFig. 1に示すような潤滑のための油路を特設して潤滑すべき部位AやBに潤滑油を供給する。

オイルポンプの仕事量を減らしFig. 2の左の図のように各摩擦部品への潤滑油が不足すると部品の冷却性の悪化と潤滑性能の悪化によって摩擦等の損失が増加し、自動変速機の耐久性に悪影響を与える。Fig. 2の右の図のように、必要以上の潤滑を供給するとオイルポンプの仕事量が過大となり燃費悪化に繋がり、Fig. 2の中央図のような適切な潤滑量を供給出来る設計が必要である。

従来の潤滑配分設計は自動変速機内の潤滑油路をオリフィスや曲り管路、直管路等の相当回路に近似して計算する1D設計方法であり、精度向上の余地が残っていた。そこで本開発では、実際の油路形状をより精度よく3Dで反映し、CFDシミュレーションを活用して、より精度の良い潤滑配分予測を実施できるようにすることを目標とした。これによって、実験確認の回数を減らすことも狙うこととした。

## 3. 解析手法の詳細

### 3.1 モデル化の考え方

CVTとATの潤滑配分率を予測するには各自動変速機の潤滑特性を考慮する必要がある。CVTの潤滑は潤滑経路の中で油のみであり、1つの流体運動方程式で計算可能である。しかしATの場合は入力軸の回転により空気が潤滑経路へ入り込むことになるため、入力軸の回転と気液混相流を考慮して計算することとした。

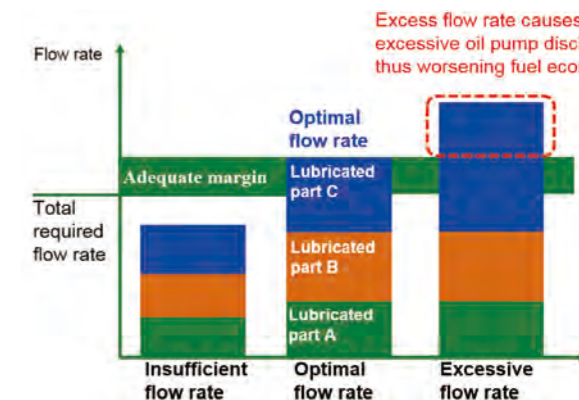


Fig. 2 Concept of optimal supply of lubricating oil

providing a seal between two frictional surfaces. In order for a transmission to perform these functions sufficiently, it is necessary to optimize the quantity of lubricating oil supplied. For example, in the case of a CVT, as shown in Fig. 1, oil flow passages are specifically provided to supply lubricating oil to parts A and B that require lubrication.

If the work done by the oil pump is reduced, the quantity of lubricating oil supplied to frictional parts may be insufficient as indicated on the left side of Fig. 2. That condition may worsen the cooling of parts and lubrication performance, resulting in greater friction and other losses that adversely affect the durability of an automatic transmission. And as indicated on the right side of the figure, supplying more lubricating oil than is necessary causes the oil pump to work excessively, which leads to poorer fuel economy. So it is necessary to design a system for supplying the optimal quantity of lubricating oil as indicated in the center of the figure.

Previously, the lubricating oil distribution design was executed using a one-dimensional (1D) design method. The lubricating oil flow passages in an automatic transmission were calculated by approximating the equivalent lubrication circuit consisting of orifices, curved pipes, straight pipes and other parts. With that method, there was still room for improving accuracy. The objective of this project was to be able to make more accurate predictions of the lubricating oil distribution by using CFD simulations in which the actual passage shapes are more accurately reflected in three dimensions (3D). As a result, another aim was to reduce the number of verification tests needed.



### 3.2 開発目標

開発目標値は既存1D設計方法の実験との誤差水準(約±10%)を考慮し, CVT ではバリエーター部の潤滑に対して, より高い精度が求められるため, 下記の目標設定とした.

- ・CVTの開発目標  
実験との潤滑配分率誤差±3%以内  
(旧手法から70%改善)
- ・ATの開発目標  
実験との潤滑配分率誤差±5%以内  
(旧手法から50%改善)

### 3.3 前提条件

解析の前提はCVTとATで同じであるが, ATの場合は入力軸の回転も考慮する必要があるため, CVTに対して1つの前提条件を追加して計算した.

- ・非圧縮性(潤滑圧が低いため圧縮影響は小とした)
- ・定常流
- ・流体の温度と物性値は一定
- ・リーク無し
- ・回転物の回転数は変動無し(ATのみの前提条件)

### 3.4 解析モデル

Navier-Stokes方程式を用いて先ほど仮定した内容を適用すると式(1)のようになる.

$$\nabla \cdot (\mathbf{u}_p \otimes \mathbf{u}_0) + \boldsymbol{\omega}_p \times \mathbf{u}_0 = -\nabla \left( \frac{p}{\rho} \right) + \nu \nabla \cdot \nabla \mathbf{u}_0 \quad (1)$$

$\mathbf{u}_p$  : relative velocity to the moving reference frame [m/s]

$\mathbf{u}_0$  : absolute velocity [m/s]

$\boldsymbol{\omega}_p$  : angular velocity [rad/s]

$p$  : pressure [pa]

$\rho$  : density [kg/m<sup>3</sup>]

$\nu$  : velocity [m/s]

$\otimes$  : kronecker product

$\nabla$  : gradient

$\nabla \cdot$  : divergence

そしてATの場合, 潤滑回路にATFとエアが流れている混相流のため, その影響も考慮した. ただ式(2)~(4)のように局部のATFとエアは同じ圧力場と速度場である

## 3. Details of New Simulation Method

### 3.1 Modeling concept

In order to predict the lubricating oil distribution rates in CVTs and ATs more accurately, it is necessary to consider the lubrication characteristics of each type of transmission. CVT lubrication involves only the oil in the flow passages, so it is possible to perform simulation calculations with one equation of fluid motion. However, in the case of AT lubrication, air is entrained in the oil flow passages by the rotation of the input shaft. Therefore, it was decided to perform the simulation calculations taking into account the rotation of the input shaft and multi-phases flow of gas and liquid flow.

### 3.2 Development objectives

The development objectives were defined as noted below, considering error level (ca. ±10%) of the existing 1D design method. For CVTs, it is necessary to achieve high prediction accuracy for variator lubrication.

- CVT development objective  
To predict lubricating oil distribution rates within error of ±3% of experimental data (a 70% improvement compared with the previous method)
- AT development objective  
To predict lubricating oil distribution rates within error of ±5% of experimental data (a 50% improvement compared with the previous method)

### 3.3 Assumptions

The same assumptions were made for both CVTs and ATs, except that one additional condition was assumed for ATs because input shaft rotation must also be considered in their case.

- Noncompressibility (Because the lubricating oil pressure is low, the effect of compression is regarded as being small.)
- Steady-state flow
- Constant fluid temperature and material properties
- No leakage
- Rotational speed of rotating parts does not vary (assumption for ATs alone)

と仮定して体積分率による物性値を計算して1つの流体運動方程式で計算することとした. (VOF: Volume of Fluidモデル)

$$\alpha_i = \frac{V_i}{V} \quad (2)$$

$$\rho = \sum_i \rho_i \alpha_i \quad (3)$$

$$\mu = \sum_i \mu_i \alpha_i \quad (4)$$

ここで $\alpha$ は体積分率[-],  $\rho$ は密度[kg/m<sup>3</sup>],  $\mu$ は粘度[Pa·s]である.

## 4. 解析手法の検証

Fig. 3とFig. 4のような実験設備を使用して検証実験を実施した. この実験設備は油温を一定に保つことを可能とし, 必要な流量を任意に吐出できる外部オイルポンプを使用した. さらにATの場合は入力軸を任意の回転数で回転させるため, モーターによって入力軸を制御できる設備とした. また, ユニット内部に隔壁を設置し, 潤滑配分先ごとの潤滑流量を部位ごとに分けて測定できるようにした.

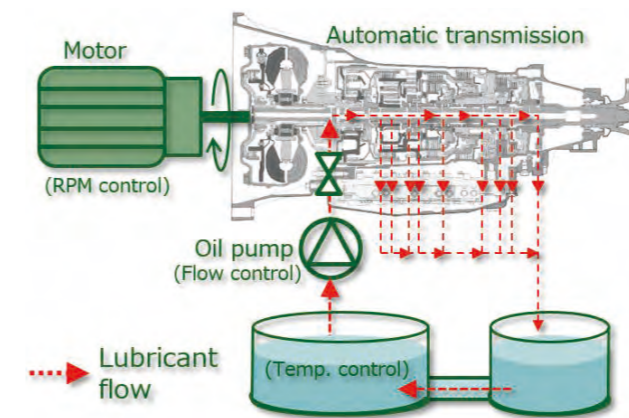


Fig. 4 Example of AT lubrication experiment

### 4.1 検証実験の条件

実験は一般的な実車運転条件を考慮した入力流量と油温を振って実施し, 極低温条件は除いた. ただ, ATの場合は入力軸の回転速度も1つのパラメータとして実験を行った.

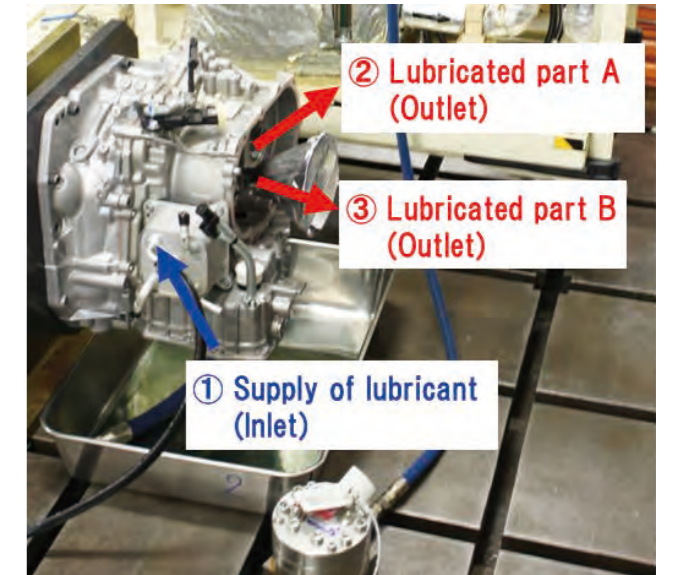


Fig. 3 Example of CVT lubrication experiment

### 3.4 Simulation model

Applying the assumptions above to the Navier-Stokes equations results in the following equation.

$$\nabla \cdot (\mathbf{u}_p \otimes \mathbf{u}_0) + \boldsymbol{\omega}_p \times \mathbf{u}_0 = -\nabla \left( \frac{p}{\rho} \right) + \nu \nabla \cdot \nabla \mathbf{u}_0 \quad (1)$$

In the case of ATs, the effect of the mixed-phase flow of the automatic transmission fluid (ATF) and air was also taken into account. However, as shown in Eqs. (2)-(4) below, it was hypothesized that the local pressure fields and velocity fields of the ATF and air were the same. Accordingly, the physical characteristics due to the volume fractions were calculated and the simulation calculations were performed with one equation of fluid motion. (A volume of fluid (VOF) model was used.)

$$\alpha_i = \frac{V_i}{V} \quad (2)$$

$$\rho = \sum_i \rho_i \alpha_i \quad (3)$$

$$\mu = \sum_i \mu_i \alpha_i \quad (4)$$

Here,  $\alpha$  is the volume fraction [-],  $\rho$  is the density [kg/m<sup>3</sup>], and  $\mu$  is the viscosity [Pa·s].

## 4. Verification of Simulation Method

Verification tests were conducted using the experimental equipment shown in Figs. 3 and 4. This experimental equipment was capable of keeping the oil temperature



4.2 検証結果

解析手法を実験で検証した結果、実験との誤差がCVT解析手法は±3%以内(Fig. 5), AT解析手法は±5%以内(Fig. 6)であり、目標精度を達成することができた。

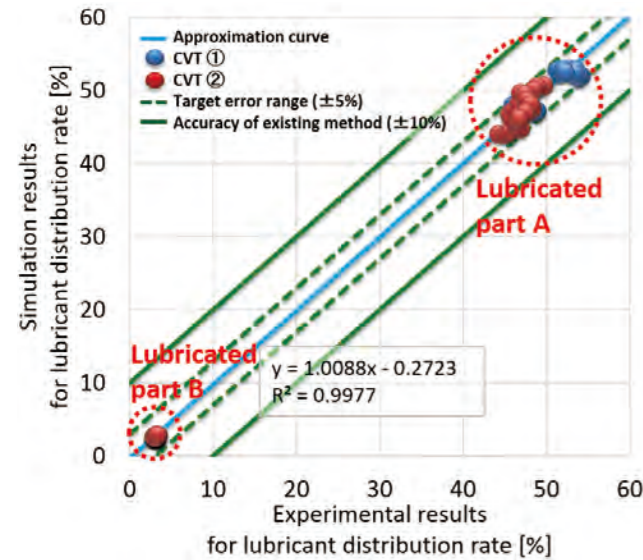


Fig. 5 Verification results for CVT

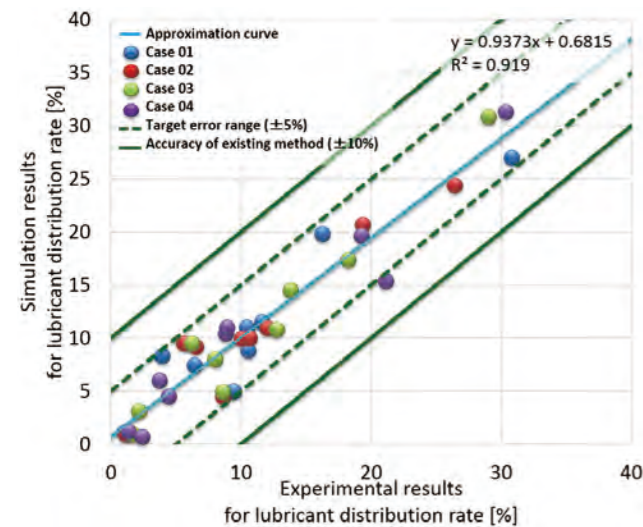


Fig. 6 Verification results for AT

constant. An external oil pump was used that discharged the arbitrary flow rate required. In addition, in the case of an AT, a motor was used to control the input shaft so that it rotated at the desired arbitrary speed. Partitions were provided inside the test transmission so that the lubricating oil flow rate could be measured separately for each part to which oil was distributed.

4.1 Verification Test Conditions

Tests were conducted in which the input flow rate and temperature of the oil were varied in consideration of test vehicle driving conditions in general. Extremely low temperature conditions were excluded. However, in the case of the test AT, the rotational speed of the input shaft was also one of the parameters considered in the tests.

4.2 Verification results

As a result of verifying the simulation method experimentally, it was found that the error of the CVT simulation method was within ±3% (Fig. 5) of the experimental data and that of the AT simulation method was within ±5% (Fig. 6). The results confirmed that the targeted accuracy was achieved.

5. Contribution to Improving Development Work Efficiency

This use of this simulation method has contributed to optimizing the amount of work done by the oil pump. As shown in Fig. 7, it is now possible to output the pressure distribution and flow rate distribution in a visual representation. This enables development engineers to grasp directly and specifically the points to be improved and the effects of measures taken, which has contributed greatly to resolving issues faster and to improving development work efficiency. In addition, for CVTs an automatic input system has also been established as a result of simplifying the simulation input process as indicated by the user interface in Fig. 8. This system helps improving the efficiency of vehicle application work.

The targeted prediction accuracy for lubricating oil distribution rates was attained by applying CFD simulations using a 3D model that was constructed to reflect complex lubricating oil flow passages. This newly developed simulation method is already being used in activities for transmissions currently under development. It is contributing to improving transmission development work

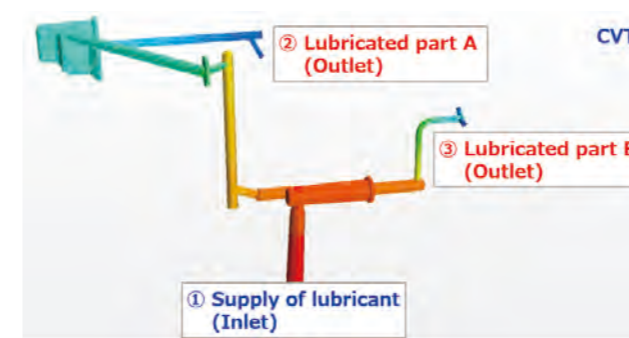


Fig. 7 Examples of simulation results

5. 業務効率向上への貢献

本手法の活用によりオイルポンプの仕事量の最適化へ寄与できた。Fig. 7に示すように圧力分布や流量分布をビジュアルに出力することも可能になった。開発者にとっては改良のポイントや効果がより直接的に、かつ具体的に把握できるようになり、課題解決のスピードアップや業務効率の向上に大きく寄与した。またCVTに関してはさらにFig. 8のようにシミュレーションインプットの簡易化による自動入力システムも確立し、適用業務の効率向上に貢献している。

複雑な潤滑経路を反映した3Dモデルを構築してCFDシミュレーションを適用することにより、目標とした潤滑配分予測精度を達成できた。現在開発中の変速機の業務でも既に本開発手法を活用中であり、最適な潤滑配分を手戻り少なく検討できる効果を発揮し、変速機開発の効率向上に貢献している。

6. まとめ

この技術開発により潤滑最適化ができることになり、部品の信頼性確保とともに、潤滑油吐出に要するオイルポンプの仕事量を減らして燃費向上へも寄与できるようになった。また、手戻りの少ない業務の実現も可能となり、業務効率化に大きく貢献することができた。本稿を借りて、関係諸氏の多大なご協力に感謝の意を表す。

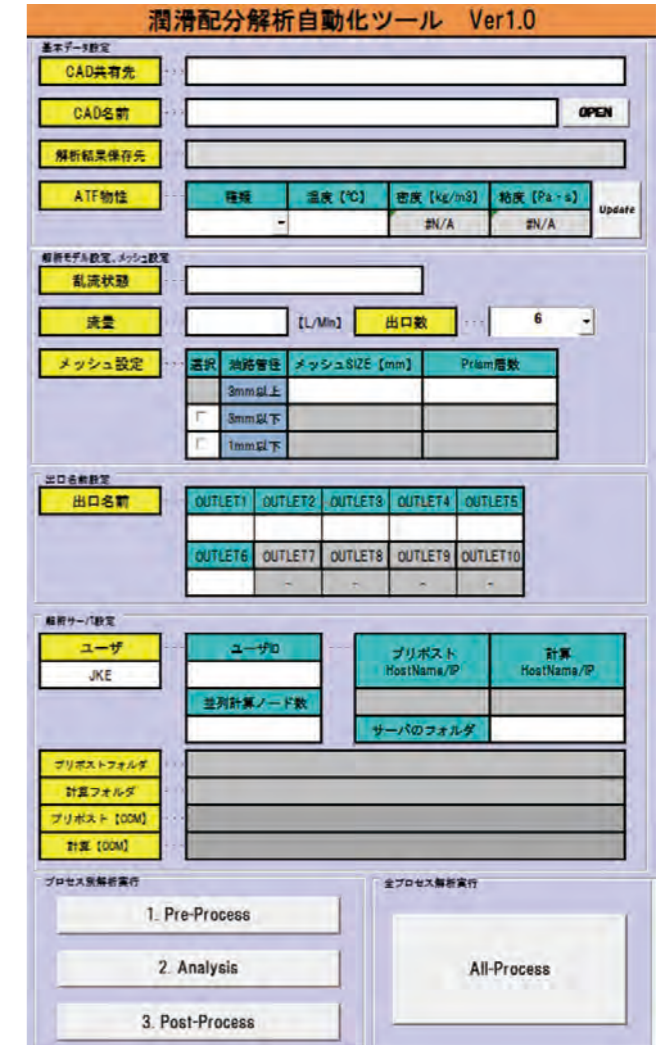


Fig. 8 User Interface of automation tool

by demonstrating its effectiveness in enabling studies of the optimal lubricating oil distribution with little reworking of the lubrication system design.

6. Conclusion

The development of this simulation technology now facilitates optimization of transmission lubrication. Along with ensuring the reliability of transmission parts, it also contributes to improving fuel economy by reducing the amount of work the oil pump must do to discharge the desired quantity of lubricating oil. It also facilitates development activities with little reworking needed, thereby contributing greatly to improving development work efficiency.

The authors would like to take this opportunity to express their appreciation to everyone involved in this project for their invaluable cooperation.





# 効率的なCVT開発のための解析自動化システム

Automatic Simulation System for Efficient CVT Development

宋 昊盛\*  
Hosung SONG

李 俊才\*  
Junoh LEE

金 珉澈\*  
Mincheol KIM

朝原 健仁\*  
Takehito ASAHARA

金 昌鉉\*  
Changhyun KIM

**抄 録** ジヤトコでは、開発初期段階から解析を積極的に活用してCVTの性能を予測し、その結果を設計に反映する形でより効率的な開発を進めている。近年開発プロジェクトが増加し、それとともに解析業務量が急激に増えてきている。これに対処するために、本開発では解析の自動化に取り組み、解析エキスパートに依頼することなく、設計者自らが直接解析できるシステムを構築した。

本稿では、その解析自動化システムを紹介する。

**Summary** At JATCO, we make active use of simulations from the initial stage of development to predict CVT performance and the results are reflected in the design to promote more efficient development work. Along with the increase in the number of development projects in recent years, the volume of simulation work has dramatically expanded. To deal with this situation, we endeavored to automate simulations in this project and developed a system that enables design engineers themselves to conduct simulations directly without requesting simulation experts to do the work. This article describes the newly developed automatic simulation system.

## 1. はじめに

グローバルな観点での乗用車の全需の拡大が進む中で、トランスミッション業界においても多くの顧客ニーズに早急に対応することの重要性が増している。また、開発期間のさらなる短縮も重要な課題であり、CAEを活用する動きが加速している。一方、昨今では、高度に発達した解析システムを十分理解した上でこれらのツールを使いこなす必要があるため、部品設計技術者から解析担当のエキスパートに解析を依頼して解析業務を遂行する方式が一般的となっている。しかしながら、このような分業方式ではそのプロセスが複雑化し、業務の依頼と受諾等の打ち合わせの時間も要するために、開発スピードの向上に限界があった(Fig. 1, 左)。これを解決するために、設計者自身が解析エキスパートへの業務依頼なしで解析ツールを直接操作することで解析が可能となるシステムを開発した(Fig. 1, 右)。

以下に本システムの詳細を紹介する。

## 1. Introduction

Amid the ongoing expansion of total passenger car demand worldwide, it is becoming increasingly important for the transmission industry as well to respond quickly to the needs of larger numbers of customers. Another critical issue is that the lead time for new product development must be shortened further, and the trend toward using computer-aided engineering (CAE) tools in this regard has been accelerating. At the same time, in order to make full use of these tools, it is necessary to have a sufficient understanding of simulation systems that have become highly advanced in recent years. For that reason, the general approach at many companies is for parts design engineers to ask simulation experts to conduct simulations for them. However, this division-of-labor approach involves a complicated process in which much time is spent in meetings for making and accepting such requests. Consequently, its usefulness in speeding up the development process is limited (left side of Fig. 1). In order to resolve this problem, we have developed a system that enables design engineers to run simulations by directly manipulating the simulation tools themselves without requesting simulation experts to do the work for them (right side of Fig. 1).

The following sections explain the system in detail.

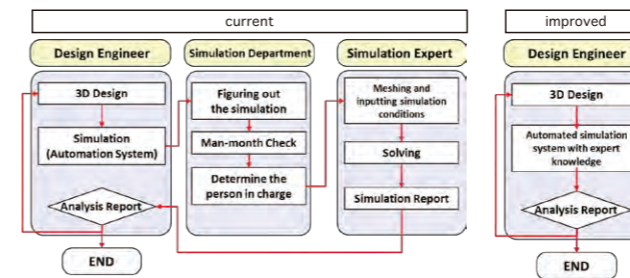


Fig. 1 Working process for running simulations

## 2. 構造解析の自動化

### 2.1 構造解析の種類

CVTの設計においてCVTが外部からの力によって機能/性能に影響が出ないような設計をすることが重要である。本開発では構造解析業務の約70%以上を占めている、静ねじり解析、パーク強度解析、マウント強度解析、真円度解析に着目した(Table 1)。

### 2.2 構造解析入力の容易化

自動化システムでは、エキスパートと同様なことが自動的に実現できるようにした。まず、設計者がメッシュ生成を指示すると、自動メッシュ機能を用いて、メッシュが生成されるようにした。Fig. 2に示すように設計者にとって理解しやすいメニュー画面の表示を行い、設計者は実施する作業項目をメニューから選定するのみで解析システムが稼働できるようにした。これによって、解析経験が浅い設計者でも理解しやすく、かつ使いやすくなるようにした。

### 2.3 構造解析自動化システムの特徴

#### (1) 詳細メッシュ自動化機能

構造シミュレーションのスピードを上げるため、まず粗いメッシュによる全体的な解析を短時間で行う。その結果を自動チェックして、一定の基準値以上の応力が発生する重要領域について、詳細メッシュを自動的に再生成して解析する機能を持たせた。これによりスピードを保ちつつ、かつ高い精度が得られるようにした。従来は解析エキスパートが高い応力が現れる位置を目で直接探して、重点部位を探し当てて詳細メッシュの再設定をする必要があったため、時間を要するのみでなく、抜け漏れがおきる懸念もあった。本機能の設定により、それを払拭できた。Fig. 3にこの機能の事例を示す。赤く囲んだ領域が応力の高い部位であり、この部位について自動的に詳細メッシュが再構築されている。

Table 1 List of structural simulations for calculating the strength of CVT case

	Type of simulation	Simulation results
1	Static torque analysis	Stress, displacement, pulley strength, etc.
2	Parking gear strength analysis	Stress, displacement
3	Mount strength analysis	Stress
4	Roundness analysis	Displacement

## 2. Automation of Structural Simulation

### 2.1 Types of structural simulation

It is essential to design a CVT so that its functionality and performance are not affected when external forces are applied to the unit. In this development project, we focused on static torque analysis, parking gear strength analysis, mount strength analysis and bearing roundness analysis, which together account for approximately 70% of structural simulation work (Table 1).

### 2.2 Simplification of structural simulation inputs

The automatic simulation system is designed to do automatically the same things as simulation experts. First, when a design engineer indicates a mesh is to be generated, the system uses its automatic mesh generator to create the specified mesh. A menu screen like that shown in Fig. 2 is displayed that is easy for the design engineer to understand. The design engineer simply selects from the

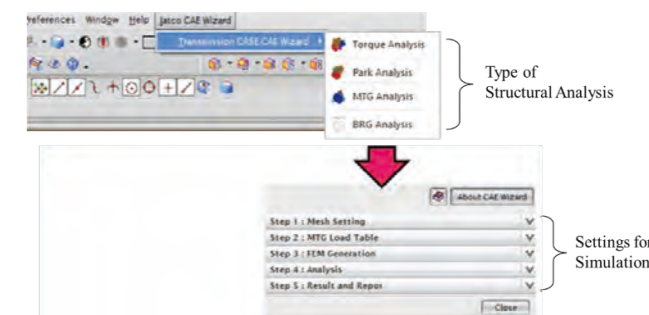
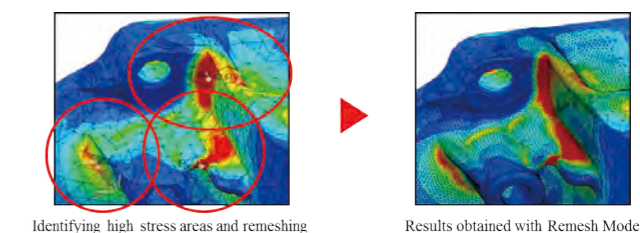


Fig. 2 Menu of automation system



Identifying high stress areas and remeshing Results obtained with Remesh Model

Fig. 3 Re-meshing example for high-stress area

\* ジヤトコ 韓国エンジニアリング社 第一技術開発室  
Technology Development Office No. 1, JATCO Korea Engineering Corp.

(2)境界条件入力の簡易化機能

従来はギア、プリーなどの内部の動力伝達部品（パワートレイン部品）モデルに、解析エキスパートの知見を活用して、最適な位置へ荷重条件を設定することが必要であったが、Excelを用いた簡易な入力のみで、最適荷重条件の設定が自動で行われるようにした。Fig. 4のように、指定されたExcelシートにパワートレイン部品の仕様と荷重条件を入力することで、エキスパート知見の適用によって自動的にパワートレイン解析モデルと最適荷重条件が生成されるようにした。

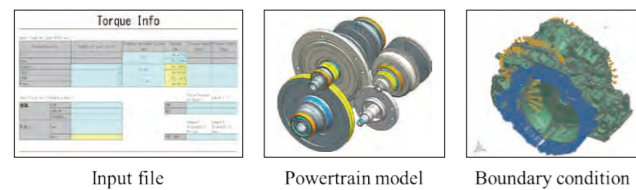


Fig. 4 Automatic model and boundary condition setting

(3)ミス防止のためのアラーム機能

前述のようにExcelシートによる入力方式と、より単純な境界条件の入力方式の採用によって、入力操作が簡易化されたが、解析経験が浅い設計者においては、条件入力が抜けたり、単位を誤解して入力するようなヒューマンエラーが発生する懸念が残る。この課題を解決するために、入力値の自動チェックが出来るようにした。経験が浅い設計者が起こしやすいミスを調査分析し、Table 2に示すような、起こり得る危険性の高いヒューマンエラーリストを構築した。それぞれのエラーについて自動ミスチェックロジックを考案し、自動化システムに織り込んだ。設計者が入力ミスを行ってしまった場合、画面にアラームメッセージを表示することで、設計者自身に警告し、その場で修正できるようにした。

Table 2 Check list based on expert knowledge

	Check items	Check details
1	Parts (housing, cases, side cover, oil pan)	Whether names are indicated or not
2	Mesh size	Whether values are in the allowable range
3	Load date	Not input
4	Number of bolts and holes of joints	Inconsistent
5	Bearing seat position	Not input
6	Setting of inner powertrain model	Any miss in the setting
7	Clearance between case and bearing	Whether interference exist or not

menu the task to be executed, and the simulation system carries out the selected operation. The system has been developed in this way so that it is easy to understand and simple to use even for design engineers who have little simulation experience.

2.3 Features of automatic structural simulation system

(1) Automatic fine mesh generation function

In order to increase the speed of a structural simulation, an overall simulation is run quickly using a coarse mesh, and the system automatically checks the results. For key areas where the generated stress exceeds a certain criterion, the system uses its remeshing function to automatically generate a fine mesh again and runs another simulation. This makes it possible to obtain high accuracy while maintaining the desired simulation speed. Previously, a simulation expert had to make a direct visual check for places where high stress occurred, locate the priority areas and then redefine a fine mesh for them. Not only was that very time-consuming, there was also the risk that some high stress places might be overlooked. The provision of this automatic fine mesh generation function has eliminated that risk. An example of the use of this function is shown in Fig. 3. The areas in the red circles are regions of high stress. A fine mesh is automatically redefined for such areas.

(2) Function for simplifying input of boundary conditions

Previously, it was necessary to draw upon the specialized knowledge of a simulation expert to order to define the loading conditions at the optimal places in the simulation model of the powertrain parts involved in transmitting power inside a CVT such as the gears, pulleys and so on. However, with the new simulation system, a design engineer only has to enter simple inputs in Excel, and the system automatically defines the optimal loading conditions. As shown in Fig. 4, the specifications and loading conditions of

(4)レポートの自動作成機能

解析が終わると、解析結果を用いて必要なデータを整理し、レポートすることになる。従来は、解析エキスパートがその知見を駆使して実施し、設計者だけでは容易に結果を出力することが困難であった。そこで、必要な位置の最大もしくは最小の主応力値をボタンクリック指示することで、容易に応力確認ができるようにした。また、アニメも自動作成され、部品の変形を目視確認可能とした (Fig. 5)。

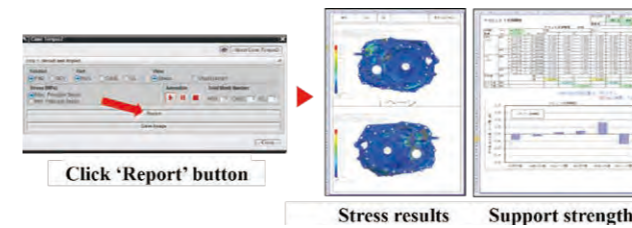


Fig. 5 Auto-report generating function

3. 流体解析の自動化

3.1 流体解析の種類

流体解析についてはATFのオイルレベルの検討に用いる解析の自動化に取り組んだ。CVT設計にとってATFの量（変速機内部のATFのレベル）を決定することが大変重要である。ATFはベアリングやクラッチなど部品を冷却および潤滑する役割を持っていると同時に、油膜を保持して摩擦を下げ、フリクションを減らす機能も有している。従って、CVTが車両に搭載された状態における種々の運転シーンにおいてATFの流れを確認し、必要なATFのレベルを決定することが重要となる。従来は実車実験を通じてそのATFの最適量を決めてきたが、最近CFD (Computational Fluid Dynamics) 技術を導入して、机上検討で最適化の検討が実施できるようになってきている。

Table 3に解析項目リストを表す。解析の自動化以前は、これらの各解析を実施するために長時間を要していたため、この3項目を自動化することとした。

Table 3 List of fluid simulations for deciding oil level

	Type of simulation	Simulation results
1	Flow analysis around strainer(steady)	Flow field
2	Analysis of fluid level change in sudden acceleration/braking	Fluid level, quantity of air incursion
3	Flow analysis around strainer(unsteady)	Flow field

the powertrain parts are input into the specified Excel sheet, and the system applies expert knowledge to automatically generate the powertrain simulation model and the optimal loading conditions.

(3) Alarm function for preventing error

As explained above, input work has been simplified by adopting the input method using an Excel sheet and a simpler method of inputting boundary conditions. However, the risk of human error occurring still remains, especially for design engineers with limited experience of simulation, who might omit inputting an essential condition or misunderstand the unit and enter an incorrect value. To resolve this problem, the system incorporates a function for automatically checking input values.

Mistakes that design engineers with limited simulation experience tend to make were researched and analyzed. As shown in Table 2, a list was created of the types of human error that are most likely to occur. A program for automatic error checking was devised for each type of error and incorporated into the automatic simulation system. In the event a design engineer makes an input error, the system displays an alarm message on the screen to alert the engineer directly so that the mistake can be corrected on the spot.

(4) Automatic report generation function

Upon completion of a simulation, the necessary data are compiled from the simulation results and a report is prepared. Previously, a simulation expert drew upon personal knowledge to prepare a report, and it was rather difficult for design engineers alone to output the results easily. To resolve that issue, with the automatic simulation system the maximum and minimum principal stress values at the necessary positions can be confirmed by simply making the button click. In addition, animations can also be generated automatically so that the deformation of parts can be confirmed visually (Fig. 5).



### 3.2 流体解析自動化システムの特徴

#### (1) 入力簡易化機能

流体解析においても構造解析と同様に、解析エキスパートの知見を自動で適用して、設計者自身が容易に解析ソフトを稼働させることができるようなシステム開発に取り組んだ。流体解析において実績があるソフトであるSTAR-CCM+は、流体解析のさまざまな種類の課題に関して解析できるようになっているために、多種多様な機能が盛り込まれている。設計担当者にとっては、大変理解しづらく、Fig. 6に示すように、入力インターフェース画面も簡単には習熟できないものとなっている。本開発では、解析エキスパートレベルではない設計担当者が使いやすくなるように、必要最低限の入力設定に絞り込むこみ、設定を簡略化したExcelのメニュー画面を構築した。このような方式とすることにより、解析エキスパート並の流体解析の知見がなくても、容易に迅速にシミュレーションができるようになった。

このようにして、流体解析の自動化としては、STAR-CCM+に慣れていない設計者にとっても使いやすいExcelをインターフェース画面として活用した自動化システムを構築することができた。解析に必要なデータをExcelに入力して、解析エキスパートの知見を自動的にSTAR-CCM+へ伝える方式でシミュレーションが行われるようにした。

#### (2) エキスパート知見活用による精度確保機能

流体解析は、メッシュの大きさおよびタイムステップの選択によって、その結果が大きく変わってしまい、計算が収束できないこともある。非定常シミュレーション(時間を

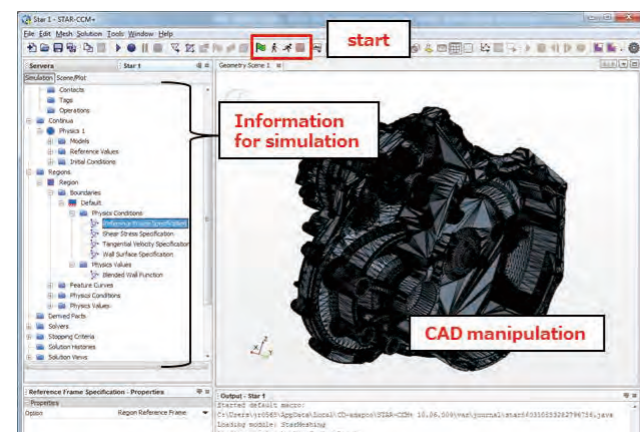


Fig. 6 Composition of menu in STAR-CCM+

### 3. Automation of Fluid Simulation

#### 3.1 Types of fluid simulation

Efforts were made to automate the fluid simulations that are used in studying the automatic transmission fluid (ATF) level. In the design of a CVT, the determination of the ATF quantity, i.e., ATF level, inside the transmission, is vitally important. Along with serving to cool and lubricate the bearings, clutches and other parts, the ATF also has the concurrent function of reducing friction by maintaining a suitable oil film for lowering friction. Consequently, it is essential to determine the necessary ATF level based on confirmation of ATF flow behavior inside the CVT when mounted in a vehicle that is operated in a wide range of driving situations. Previously, the optimum ATF quantity was determined on the basis of experiments conducted with a test vehicle. In recent years, the use of computational fluid dynamics (CFD) software has made it possible to examine the optimal ATF level in the concept design stage.

Table 3 lists the types of fluid simulation that are conducted for this purpose. Before simulations were automated, it took a long time to run each of these simulations individually. Therefore, it was decided to automate these three fluid simulations.

#### 3.2 Features of automatic fluid simulation system

##### (1) Function for simplifying inputs

Similar to the automation of structural simulation, efforts were made to develop a fluid simulation system that would enable design engineers themselves to easily run the simulation software in order to realize that the knowledge of simulation experts would be automatically applied. STAR-CCM+ simulation software is capable of running simulations of a wide range of fluid simulation issues and has a proven track record as a fluid simulation tool. However, because it includes such a wide range of diverse functions, it is very difficult for design engineers to understand. As can be seen in Fig. 6, the input interface screen is not something that can be mastered easily.

Therefore, in this development project we developed an Excel-based menu screen by narrowing down the input settings to the minimum necessary number and simplified the work of inputting them so that it would be easy to use even for design engineers who are not at the level of simulation experts. The adoption of this input interface enables design engineers, whose knowledge of fluid simulations does not match that of simulation experts, to conduct simulations easily and quickly.

考慮するシミュレーション)の収束可否は、CFL数と呼ばれる次の計算式によって予測ができる。

$$\frac{velocity \cdot time \ step}{mesh \ size} = CFL$$

一般的にCFLが1以下の場合、シミュレーションが収束する。自動化システムでは解析エキスパートの経験を活用して、収束条件に見合うメッシュの大きさとタイムステップを自動的に適用されるようにした。また、計算速度アップおよび精度向上のため、支配方程式の離散化方法、境界層の乱流モデル、各離散化方程式の緩和係数などを種々テストして、ATFレベル関連の解析に最適なものを自動で選定して使われることも可能とした。

##### (3) レポートの自動作成機能

構造解析の自動化システムと同様に、流体解析の自動化システムも解析終了後、レポートボタンを押すだけで検討レポートや流れの可視化アニメーションの自動作成をできるようにした(Fig. 7)。

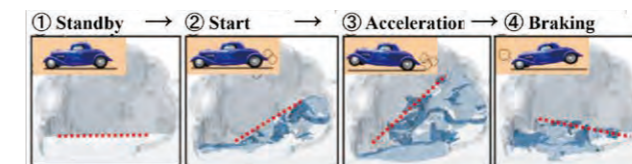


Fig. 7 Animation of analysis result

### 4. 解析自動化の効果

以上に述べた構造解析と流体解析の自動化によって、解析のリードタイムの大幅削減が可能となったと同時に、解析エキスパート不足の課題も解消できて、経験が浅い設計担当者でも容易に解析ができるようになった。この自動解析システムの効果を確認するために、解析エキスパート、解析としては初心者である設計担当者、および新入社員にたいして自動化システムのトライアルを実施した。解析エキスパートが従来作業に要していた時間の約23%の時間で実施できるようになり、解析エキスパートにとっても時間短縮効果が得られるシステムであることが確認できた。解析に不慣れな設計担当者や新人が数回テストするトライアルも実施した結果、解析エキスパートとほぼ同じ時間で目的の解析が完了できたことも確認できた。

An automatic fluid simulation system was therefore built that adopts Excel for the interface menu, which is easy to use for design engineers who are not familiar with STAR-CCM+. The data needed for running a simulation are input in Excel, and the system automatically transfers the knowledge of simulation experts to STAR-CCM+ for executing the simulation.

##### (2) Function for assuring accuracy by using simulation experts' knowledge

The results of fluid simulations differ greatly depending on the selected mesh size and time step, so there are times when the computations do not converge. Whether an unsteady-state simulation, i.e., one that considers time, will converge or not can be predicted on the basis of the CFL (Courant-Friedrichs-Lewy) number given by the following calculation formula:

$$\frac{velocity \cdot time \ step}{mesh \ size} = CFL$$

In general, if the CFL number is equal to or less than 1, the simulation will converge. The automatic simulation system is built such that it uses the experience of simulation experts to automatically apply a suitable mesh size and time step matching the convergence conditions. In addition, to increase the computational speed and improve accuracy, various tests were performed on the method of discretizing the governing equations, the turbulence model for the boundary layer, and the relaxation coefficient of each discretized equation, among other things. As a result, the system can automatically select the optimum elements involved for a simulation of the ATF level.

##### (3) Automatic report generation function

Like the automatic structural simulation system, the automatic fluid simulation system also enables reports of the results to be output by just making button click upon completion of a simulation. Animations that visualize the flow are also generated automatically (Fig. 7).

### 4. Benefits of Automatic Simulation

Automation of structural simulation and fluid simulation as described in the preceding sections has greatly shortened simulation lead time and simultaneously resolved the issue of a shortage of simulation experts. Even design engineers

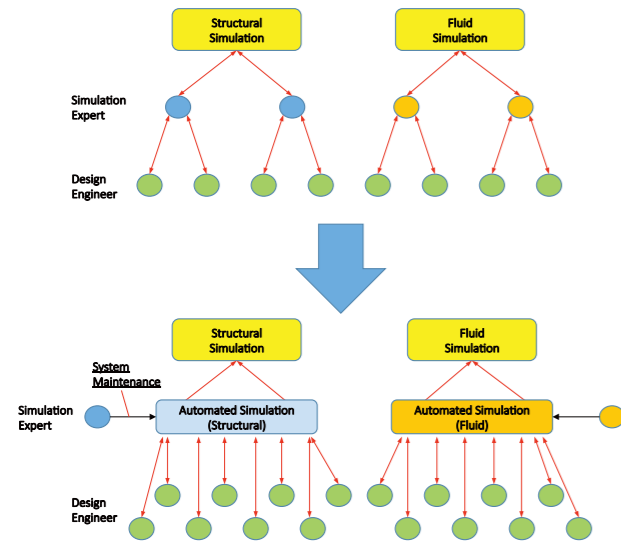


Fig. 8 Simulation work before and after automation

なお、本自動化システムでは入力条件が同じならば、同じ結果が出るようエキスパート知見を活かしながら構築した。これにより、解析エキスパートと初心者の解析結果が同一となり、解析結果の検証時間も節減できるようになった。

システムに組み込んだ解析エキスパートの種々の知見による重要な判断と最適な処置を自動で実施することができた。また入力ミスのチェックも自動で実施するシステムであり、より少ない解析エキスパートで、より大量の解析が、経験が浅い設計者自身で大量に同時実施できるようになった。かつ設計者と解析エキスパートの相談やりとりも大幅に削減できた(Fig. 8)。

### 5. まとめ

解析エキスパートの知見を自動化で適用して、解析に不慣れな設計者でも容易に正しい解析が実行できる自動解析システムを開発でき、下記に挙げた目標機能と性能を実現することができた。

- ・ 解析経験が少ない設計者でも使用できるツール
- ・ 解析エキスパートの経験に基づいた解析ができるツール
- ・ 設計者が使用する際に起こし得るエラーを未然に防止できるツール

今後は、自動化ツールを活用しながら、要所所で解析の考え方や、解析の詳細の理論や原理を自動で教育トレーニングしてくれるようなシステムも開発していきたい

with limited simulation experience can now easily conduct simulations using the automatic simulation system. In order to confirm the benefits of the automatic simulation system, trials of the system were conducted in which simulation experts, design engineers who were beginners with respect to simulations and new employees took part. A simulation expert was able to complete a simulation in about 23% of the time that it took to do it previously. This confirmed that the system is effective in shortening the simulation time even for simulation experts. As a result of conducting several simulation trials with the system, a design engineer unaccustomed to running simulations and a new employee were able to complete the specified simulation within approximately the same amount of time as the simulation expert.

It will be noted that this automatic simulation system makes effective use of experts' knowledge to produce the same results, provided that the input conditions are the same. This means that the simulation results obtained by a simulation expert and by a beginner will now be identical, which will also reduce the time needed to validate simulation results.

The system incorporates various types of knowledge of simulation experts, enabling it to make important judgments and to execute the optimal measures automatically. The system also automatically checks for input errors. Even design engineers with limited experience can concurrently conduct many larger scale simulations by themselves with the help of a smaller number of simulation experts. The consultations and exchanges that previously took place between design engineers and simulation experts have also been substantially reduced (Fig. 8).

### 5. Conclusion

This article has described a newly developed automatic simulation system that automatically applies the knowledge of simulation experts, thereby enabling design engineers unfamiliar with simulations to conduct simulations easily and correctly. The system achieves the following targeted functionality and performance as a simulation tool.

- It is easy to use even for design engineers with limited simulation experience.
- It enables design engineers to run simulations based on the experience of simulation experts.
- It precludes the types of errors that are apt to occur when design engineers use a simulation system.

While making full use of this automation tool, we also

と考えている。本システムのさらなる進化発展を目指して鋭意努力していきたい。本開発に関して、多大なる支援をいただいた関係各氏に深く感謝の意を表す。

intend to develop a system in future work for automatically training and educating employees in the key concepts and detailed theories and principles of simulation. Concerted efforts will also be made to further evolve and extend the automatic simulation system described here.

The authors would like to thank everyone involved for their invaluable support concerning the development of the automatic simulation system.

### 6. 参考文献/References

- (1) Pennings, Bert, "Recent Material Developments for further optimization of the pushbelt CVT", FISITA 2014 World Automotive Congress, Maastricht, 2014
- (2) Woo-Joo, Roh, et al, "Simulation of Sloshing in Fuel Tanks and Parametric Study on Noise Reduction by Decreasing Impact Pressure", SAE Technical Paper 2005-01-1913
- (3) Kazumasa Kiuchi, "et al, Innovation of CVT development by CAE application", 2014 JSAE Annual Congress (Autumn), 2014, 109(14):19-20

■ Authors ■



Hosung SONG



Junoh LEE



Mincheol KIM



Takehito ASAHARA



Changhyun KIM



# 流体解析を活用したコントロールバルブスプールの形状最適化

Shape Optimization of Control Valve Spool using Computational Fluid Dynamics

島田 勝\*  
Masaru SHIMADA

**抄 録** トランスミッションのコントロールバルブ開発における流体解析の活用事例を紹介する。

スプールバルブでは、油の流れによってスプールのバルブボディに押し付ける流体力が生じるが、調圧弁においてこの押し付け力が大きくなると、調圧をスムーズに行えなくなる危険性がある。そこで、流体解析によりスプールに働く押し付け力を計算し、その結果を分析することで、押し付け力を低減できるスプールの開発を行った。

## 1. はじめに

近年、トランスミッションの開発における数値解析の利用範囲は多岐に及んでいる。その中で、流体解析もトルクコンバータの性能確認を始めとして、オイルパン内の油や空気の挙動、オイルポンプの吐出性能、油圧回路の応答性、潤滑性能など、多くの設計検討に用いられている。今や数値解析は理論・実験に次ぐ第三の科学とも呼ばれるが、ジャヤコにおいても数値解析は実験の補助的な役割だけでなく、現象解明やそれに基づく新たな価値創造に活用されている。

ここではその一例として、流体解析主導で開発を行ったコントロールバルブスプールの形状最適化について紹介する。コントロールバルブでは、クラッチやプーリの作動のため、常に油圧の制御を行っている。その中でオイルポンプから吐出された油を最初に調圧するのがプレッシャーレギュレータバルブであり、時に大流量・高油圧という非常に厳しい条件下で調圧を行うことになる。そうした条件下では、スプールがバルブボディに強い力で押し付けられて調圧をスムーズに行えなくなる危険性があり、かねてよりその可能性排除が課題となっていた。そこで、流体解析を活用し、厳しい条件下でも押し付け力を低減できるスプールの開発を行った。

**Summary** This article presents an example of the use of computational fluid dynamics (CFD) in the development of a transmission control valve. In a spool valve, the fluid flow produces flow force that presses the spool against the valve body. When large flow force occurs in a pressure regulator valve, there is a risk that pressure may not be regulated smoothly. To address this issue, CFD was used to calculate the flow force acting on the spool. An analysis of the results led to the development of a spool for reducing the flow force.

## 1. Introduction

The use of numerical simulation in the development of automotive transmissions in recent years has extended over a wide range of diverse fields. For example, computational fluid dynamics (CFD) is often used in design studies especially for confirming torque converter performance and also for examining the behavior of the oil and air in the oil pan, oil pump discharge performance, hydraulic circuit response and lubrication performance, among other things. At present, numerical simulation is referred to as the third science after theory and experimentation. At JATCO, we use numerical simulation not only in a supplementary role to experiments, but also to elucidate phenomena and to create new value on that basis.

As one example, this paper describes the shape optimization of the control valve spool developed through the use of CFD. The control valve constantly controls the hydraulic pressure for activating the clutches and pulleys. The pressure of the fluid discharged by the oil pump is first regulated by the pressure regulator valve. Pressure regulation is sometimes performed under exceptionally severe conditions of a large flow rate and high pressure. Under such conditions, the flow presses the spool against the valve body with strong force, posing a risk that the pressure may not be regulated smoothly. The elimination of that possibility has been an issue for a long time. Accordingly,

プレッシャーレギュレータバルブの押し付け力を正確に評価するためには、油圧や流量に応じたスプール位置と、その時の流れ場の再現が必要になる。しかし、これまでの数値解析による流体力の研究では、スプールの固定もしくは強制運動させたものはあるが<sup>(1)~(5)</sup>、スプールの挙動や流れ場を再現させたものは無かった。そこで今回は、流体-構造連成解析により、油圧指示や流量の変化に応じてスプールが軸方向に動くようにし、数値解析上で自動的に調圧をさせた上で、押し付け力の評価を行った。

## 2. 解析概要

Fig. 1に解析モデルを示す。解析範囲はプレッシャーレギュレータバルブとそれに繋がるすべての油圧回路としている。解析は汎用流体解析ソルバSTAR-CCM+を用いて、非定常で行った。空気の混入は考慮せず、油のみの単相流解析としている。スプールには調圧のためにソレノイド圧とフィードバック圧、およびばね力が作用しているが、そこに油の流れによる流体力が加わる。それらをすべて考慮して運動方程式を解くことでスプールの軸方向に動かし、実際のバルブと同様の調圧状態を作らせた。運動方程式は4次のルンゲ・クッタ法で解いている。スプールの動きには移動メッシュを採用し、バルブボディの油圧回路との接触面に、物理量を受け渡すスライディングインターフェースを設定した。また、スプールが挿入された穴(ボア)の端部はスプールの移動により体積が変化するため、メッシュを伸縮させることで対応した(モーフィング)。スプールバルブによる調圧では、スプールとボア間の微小な隙間(環状隙間)を通る流れも重要であるため、すべての環状隙間にメッシュを作成し、流れを計算している。

## 3. 解析結果

### 3.1 実験との比較

本解析の精度を確認するため、実験との比較を行った。油圧を指示するソレノイド圧とライン圧との関係をFig. 2に示す。解析結果は実験値とよく一致しており、自動調圧させた油圧の計算精度が非常に高いものであることがわかる。

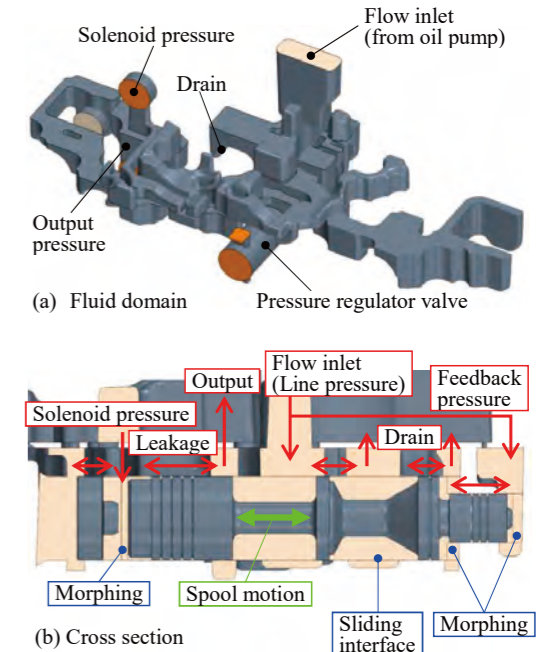


Fig. 1 Computational domain

CFD was applied to develop a spool that can reduce the flow force even under severe operating conditions.

In order to evaluate the flow force in the pressure regulator valve accurately, it is necessary to reproduce the spool position corresponding to the hydraulic pressure and flow rate and the flow field at that time. In previous fluid force studies based on numerical simulation, the spool has been fixed or forcibly moved,<sup>(1-5)</sup> but there are no examples of studies that reproduced spool behavior or the flow field. Therefore, a fluid-structure interaction was used in this project to evaluate the flow force under conditions where the spool moved axially in response to the hydraulic pressure command and the change in the flow rate, and the pressure was regulated automatically on the basis of numerical simulation.

## 2. Analysis Overview

The analysis model is shown in Fig. 1. The computational domain was defined as the pressure regulator valve and the entire hydraulic circuit connected to it. The calculation was conducted under a transient-state condition using STAR-CCM+, a general-purpose CFD solver. A single-phase flow calculation was conducted of the fluid alone without considering the intermixing of air. For the purpose of pressure regulation, solenoid pressure, feedback pressure and spring force acted on the spool. Added to that was the flow force produced by the fluid flow. The spool was moved in the axial direction by solving an equation of

\* 部品システム開発部  
Hardware System Development Department

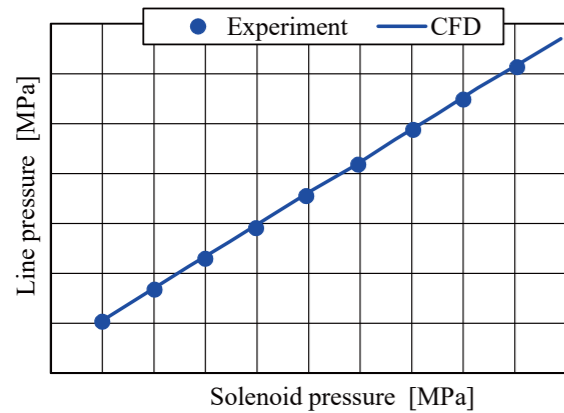


Fig. 2 Comparison of CFD and experimental results to confirm accuracy of hydraulic pressure

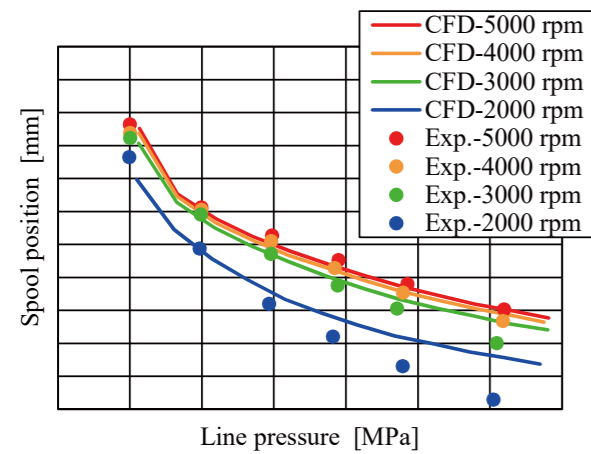


Fig. 3 Comparison of CFD and experimental results for spool position as a function of line pressure and for various oil pump speeds

Fig. 3には、調圧した時のライン圧とスプール位置の関係を、オイルポンプの回転数ごとに示している。オイルポンプの回転数が高いとき、つまり流量が多いときには、実験と解析とでスプール位置が非常によく一致している。これは、バルブの入口から出口までの圧力損失を正確に計算できているということを示しており、つまりはスプール周りの流れ構造や、スプールに作用する押し付け力に関しても、高精度で計算できていることを意味している。低回転・高油圧においては実験と解析に若干の差があるが、これは他のバルブからの油漏れの影響を解析では考慮していないためであると考えられる。しかし、押し付け力が懸念されるのは大流量のときであるため、本解析手法の押し付け力検討への適用には十分な精度であると判断した。

motion, taking into account all the pressures and forces, thus creating a pressure regulation condition equal to that of an actual valve. The equation of motion was solved by the fourth-order Runge-Kutta method. Moving mesh was adopted for the motion of the spool, and a sliding interface for the exchange of physical quantities was defined at the contact surface with the hydraulic circuit of the valve body.

The volume of the end of the bore in which the spool is inserted changes due to the motion of the spool, and that change was modeled by the expansion/contraction (morphing) of the mesh. Fluid flows through the tiny annular gap that occurs between the spool and the bore as the spool valve regulates the pressure. Mesh was created for the entire annular gap in order to calculate that flow because it is also important.

### 3. CFD Results

#### 3.1 Comparison with experimental data

A comparison was made with experimental data to confirm the accuracy of the calculation. Figure 2 shows the relationship between the line pressure and the solenoid pressure that indicates the hydraulic pressure. The CFD results agree well with the experimental data, thus confirming the exceptionally high calculation accuracy obtained for the automatically regulated hydraulic pressure.

Figure 3 shows the spool position as a function of the regulated line pressure at various oil pump speeds. The experimental and CFD results for the spool position coincide markedly well at high oil pump speeds, i.e., at high flow rates. This indicates that the hydraulic pressure losses from the valve inlet to the outlet were calculated accurately. In other words, this means that the flow structures around the spool and the flow force acting on the spool were also calculated with high accuracy. Under conditions of a low oil pump speed and high hydraulic pressure, a slight difference is seen between the experimental and CFD results. Presumably, that is because the effect of fluid leakage from other valves was not considered in the CFD. However, because the flow force is an issue of concern when there are large flow rates, it was judged that this CFD method has sufficient accuracy for use in examining the flow force.

#### 3.2 Analysis of flow force

The results of CFD are visualized in Fig. 4. The color contours of the spool surface and cross section indicate the pressure distribution. The arrows in Fig. 4(a) represent the velocity vectors and the curves in Fig. 4(b) represent the

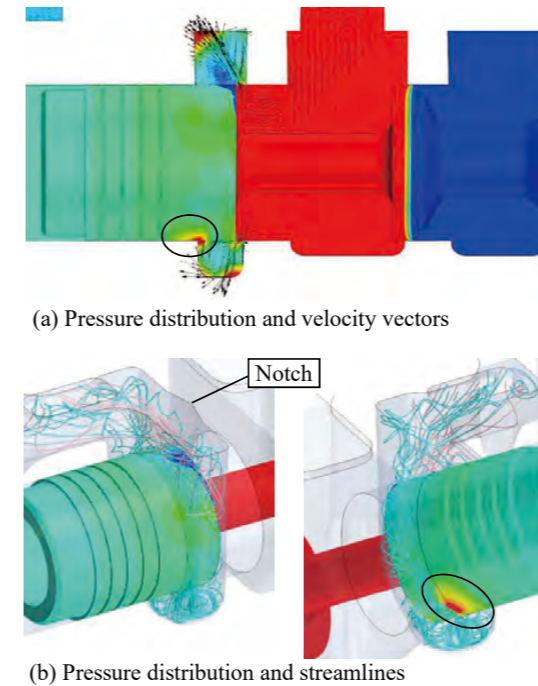


Fig. 4 Flow field in the output groove

#### 3.2 押し付け力の分析

解析結果をFig. 4に示す。スプール表面および断面のコンター（色分布）は圧力分布を、Fig. 4(a)の矢印は流速ベクトルを、Fig. 4(b)の曲線は流線をそれぞれ示している。圧力は、赤が高圧、青が低圧となっている。また、今回のバルブでは出力側の油圧回路にノッチと呼ばれる切り欠きがあるため、油は主にスプールの上と下に分かれて出力ポートに流れ込んでいくが、Fig. 4では上からの流れをピンク色、下からの流れを水色の流線で表している。

両図を見ると、スプール表面には局所的に圧力の高い領域と低い領域ができています。このように圧力の不均衡が生じると、スプールはボアに押し付けられることとなる。また、結果からはこの高圧領域や低圧領域が、開口部からの噴流や渦といったグループ内の流れによって生じるものであることがわかる。こうしたことから、本解析によって、グループ内のさまざまな流れ構造こそが押し付け力の大きな要因であることが判明した。

なお、図中の丸で囲んだ高圧部分を見れば明らかのように、スプール表面の圧力分布はグループ内と環状隙間の境界でも、不連続にはならない。従って、押し付け力の評価には環状隙間の流れを再現することが必須であり、本解析ではそのために環状隙間も解析できるようにしている。

streamlines. The red color indicates high pressure and the blue color low pressure. Because a groove (denoted as a notch in the figure) was provided in the hydraulic circuit on the output side of the valve in this calculation, the fluid flow was mainly divided between the top and bottom of the spool as the fluid flowed into the output port. In the figure, the flow from the top is expressed by the pink streamlines and that from the bottom by the light blue streamlines.

An examination of both figures reveals that high and low pressure regions formed locally on the spool surface. When this type of unbalanced pressure distribution occurs, the spool is pressed against the bore. In addition, the results indicate that such high and low pressure regions were formed by the flows in the groove such as the jet flow from the port opening and vortices. This CFD thus made it clear that various flow structures in the groove were definitely a major factor affecting the flow force.

It will be noted that the pressure distribution on the spool surface is not discontinuous even at the boundary between the groove interior and the annular gap, as can be clearly seen in the high pressure region enclosed in the circle in the figure. This means that the flow through the annular gap must be reproduced in any evaluation of the flow force. That is why the CFD model used in this work was configured so that the annular gap could also be calculated.

### 4. Optimization of Spool Shape

#### 4.1 Creation of improved spool shape

In order to reduce the flow force acting on the spool, it is necessary to mitigate the pressure imbalance on the spool surface caused by the flows in the groove. Therefore, a flow-force-cancellation (FFC) spool was conceived that incorporates the following measures for weakening the flow structures in the groove and their effect on the spool.

- Elimination of the impact of the jet flow on the spool
- Widening of the flow channel in the groove

The conceived shape of the FFC spool is shown in Fig. 5, and the results of a pressure regulation calculation are presented in Fig. 6. Excluding the high-speed jet flow from the port opening, the results for the FFC spool indicate that the vortices and other flow structures seen for the original spool were weakened. In addition, the local high and low pressure regions seen in the pressure distribution for the original spool surface were mitigated. As a result, the flow force acting on the spool was greatly reduced compared with the original spool (Fig. 7).



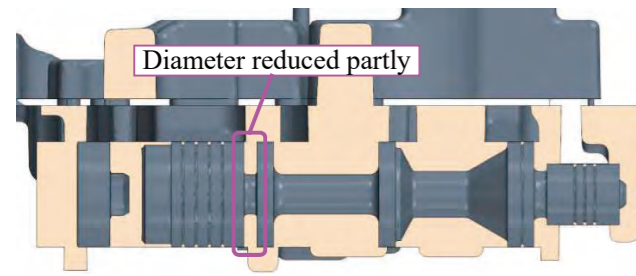


Fig. 5 Shape of FFC spool

#### 4. スプール形状の最適化

##### 4.1 スプール形状の考案

スプールに作用する押し付け力を低減するには、グループ内の流れにより生じるスプール表面の圧力不均衡を緩和させる必要がある。そこで、グループ内の流れ構造およびそのスプールへの影響を弱めるための以下の方策により、押し付け力低減スプール(FFCスプール: Flow Force Cancelスプール)を考案した。

- ・噴流のスプールへの衝突をなくす
- ・グループ内の流路を広げる

考案した形状をFig. 5に、調圧解析の結果をFig. 6に示す。ポート開口部の高速噴流を除き、従来スプールで見られた渦などが弱められているのがわかる。またスプール表面の圧力分布に見られていた局所的な高圧や低圧も緩和できている。その結果、スプールに作用する押し付け力も、従来スプールと比べて大幅に小さくなった(Fig. 7)。

##### 4.2 FFCスプールの副作用確認

Fig. 5に示したように、FFCスプールは、押し付け力を低減するためにスプールの一部を細くしている。そのため、

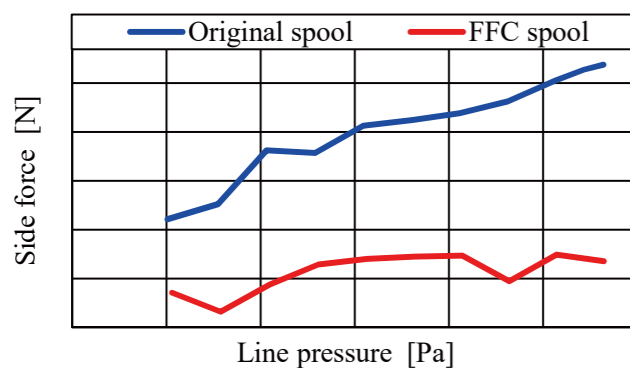
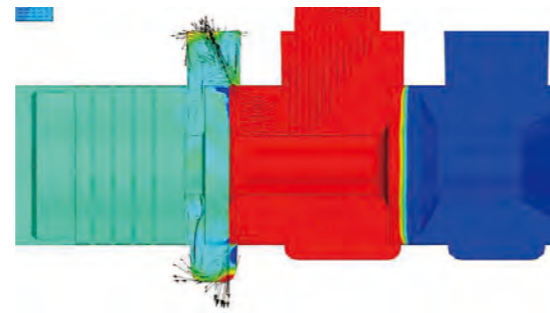
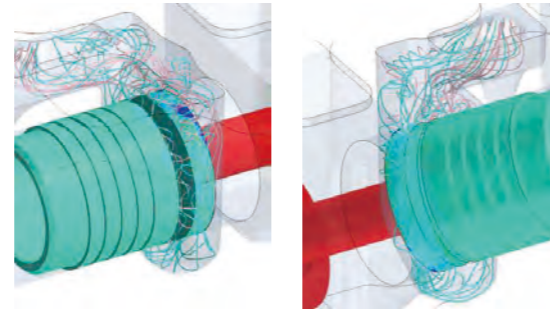


Fig. 7 Comparison of flow force



(a) Pressure distribution and velocity vectors



(b) Pressure distribution and streamlines

Fig. 6 Flow field in the groove with FFC spool

##### 4.2 Confirmation of side effect of FFC spool

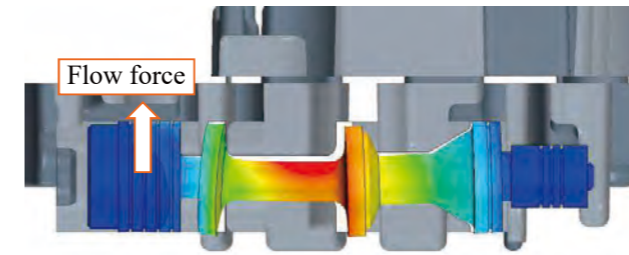
As shown in Fig. 5, the diameter of the FFC spool was partially narrowed to reduce the flow force. Consequently, there was concern that the spool might undergo larger deformation than the original spool, causing interference between the spool and the valve body that would slow the motion of the spool. There was a risk that it might result in poor pressure regulation. Therefore, a fluid-structure interaction was conducted to confirm the deformation of the spool.

The STAR-CCM+ solver was used for both the fluid and structure simulations, which were both performed with the finite volume method. Coupling was assumed in only one way, and the spool surface pressure and shear force obtained in the steady-state incompressible fluid simulation were transferred to the structural analysis. The results of the structural analysis are shown in Fig. 8. The color contours of the spool surface indicate the amount of deformation in the radial direction. Spool deformation is shown 1000 times larger than the actual deformation.

As was initially predicted, the FFC spool showed slightly larger deformation than the original spool. However, the amount of deformation was sufficiently smaller than the dimensional tolerance, and the direction of the deformation was also the opposite of the direction of flow force induced by the fluid flow. Therefore, it was concluded that changing the spool shape would not slow down the motion of the spool.



(a) Original spool



(b) FFC spool

Fig. 8 Radial displacement by hydraulic pressure and flow force (deformation is magnified 1000 times)

従来スプールよりも変形が大きくなることでスプールとボディが干渉し、スプールの動きが鈍くなり、結果として調圧不良を引き起こす、という危険性が考えられた。そこで、流体-構造連成解析により、スプールの変形を確認することとした。

解析は、流体側も構造側もSTAR-CCM+を用い、両解析とも有限体積法で行った。連成は、定常非圧縮性流体解析により得られたスプール表面の圧力およびせん断力を構造解析側に渡す一方向連成とした。Fig. 8に構造解析の結果を示す。スプール表面のコンターは径方向の変形量を表し、スプールの変形は実際の1000倍にして表示している。

当初の予測通り、FFCスプールの変形は従来スプールよりもわずかに大きくなっている。しかし、その変形量は寸法公差に対して十分小さく、また変形の方法も流体力による押し付け方向とは逆向きとなっている。従って、スプール形状を変更することでスプールの動きが鈍くなることは無いとの結論を得た。

その確認として、従来スプールとFFCスプールの応答性を実験により比較した結果をFig. 9に示す。両者の結果は図のようにほぼ重なっており、FFCスプールには調圧不良を起こす副作用が無いこと、そしてそれを予測した解析が信頼できるものであることがわかった。

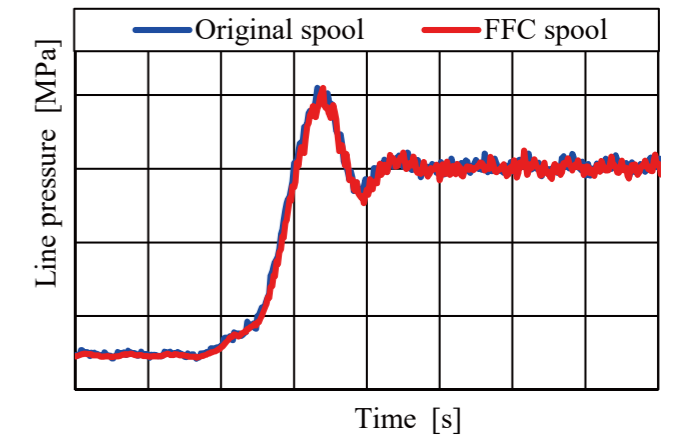


Fig. 9 Comparison of pressure response

To confirm that, tests were conducted to measure the pressure response of the original spool and the FFC spool and the results are compared in Fig. 9. It is seen that the results for both spools nearly overlap, indicating that the FFC spool would not have any side effect of causing poor pressure regulation. The results also confirmed the reliability of the simulation that predicted there would be no such side effect.

#### 5. Conclusion

The use of CFD in the manner explained below made it possible to develop a spool for reducing the flow force.

- (1) A fluid-structure interaction was conducted that took into account even the flow through the annular gap between the spool and the bore. That made it possible to reproduce three-dimensionally the pressure regulation condition of the pressure regulator valve, enabling the flow force acting on the spool to be predicted precisely.
- (2) The CFD results made it clear that the flow in the groove was a major factor affecting the flow force acting on the spool.
- (3) A spool shape was devised for reducing the flow force by eliminating or mitigating the pressure imbalance on the spool surface.
- (4) A fluid-structure interaction was conducted to confirm the deformation of the spool, and it was predicted that the new spool shape would have no appreciable side effect. It was also confirmed experimentally that there was no side effect on the pressure response.





# PIV及び立体視によるトルクコンバータ内の非定常流動可視化

Visualization of Unsteady Flows in a Torque Converter by PIV and Stereopsis

佐野 明彦\*  
Akihiko SANO

川島 一訓\*\*  
Kazunori KAWASHIMA

岡田 克彦\*\*\*  
Katsuhiko OKADA

高橋 祐二\*\*  
Yuji TAKAHASHI

**抄 録** 環境対応・燃費向上に向けて自動変速機の高効率化・小型軽量化が求められており、トルクコンバータの開発においては流体要素の改善のため、新たな翼設計手法の構築や流体解析による性能予測の精度向上が望まれている。

この取り組みの一環として、ジヤトコは日産自動車と共同で流体解析の精度向上に取り組んでおり、本稿ではその第一弾として、PIV及び立体視を用いたトルクコンバータ内の非定常流動可視化(日産自動車で担当)につき概要を紹介する。

**Summary** There are demands to increase the efficiency and reduce the size and weight of automatic transmissions in order to improve fuel economy and address environmental concerns. In order to develop improved hydrodynamic elements for the torque converter, it is desirable to establish a new blade design method and to improve the accuracy of performance predictions based on fluid simulations. As part of our efforts in this regard, JATCO Ltd and Nissan Motor Co., Ltd. are working together to improve fluid simulation accuracy. This article describes the use of PIV and stereopsis as initial approaches for visualizing unsteady flows in a torque converter.

## 1. はじめに

## 1. Introduction

PIV (Particle Image Velocimetry: 粒子画像流速測定法)の原理をFig. 1に模式的に示す<sup>1)</sup>。流れ場に微細なトレーサ粒子を混入させ、パルスレーザー光などでシート状に照射し、2時刻の瞬時粒子群画像の相関から流れ場の速度ベクトル分布を求める計測方法である。

トルクコンバータ内流れの可視化にPIVを適用した報告例<sup>2)3)</sup>はあるが、サンプリング周波数が低いため非定常流を捉える目的には適さず、ステータ周りの非回転流路内の時間平均速度計測に適用されるに留まっている。

本稿記載の取り組みでは、高速度カメラ2台による高周波(1,500Hz)ステレオPIVを適用することで、非定常流動の速度3成分の計測を実現し、さらに後述する作動装置構成を取ることで、羽根車3要素の回転位置関係ごとに平均速度分布を求めることも可能とした。

The principle of particle image velocimetry (PIV) is illustrated schematically in Fig. 1.<sup>(1)</sup> With this measurement method, tiny tracer particles are mixed into a flow field and illuminated by a sheet of light from a pulsed laser or other light source. The velocity vector distribution of the flow field is obtained from the correlation between instantaneous particle group images obtained at two time points.

There are reports<sup>(2-3)</sup> in the literature about the application of PIV to visualize the flow inside a torque converter, but the low sampling frequency that was used is not suitable for the purpose of capturing unsteady flows. The use of PIV has been limited to measurement of the time-averaged velocity in the non-rotating passage around the stator.

This article describes the application of a high-frequency (1500 Hz) stereo PIV system comprising two high-speed cameras to measure the three velocity components of unsteady flows in a torque converter. It also describes the configuration of the experimental apparatus that made it possible to determine the average velocity distribution of the three bladed elements for each rotational position relationship.

\* 日産自動車株式会社 パワートレイン技術開発本部 パワートレイン先行技術開発部  
Powertrain Advanced Engineering Department, Powertrain Engineering Division, Nissan Motor Co., Ltd.

\*\*\* 部品システム開発部  
Hardware System Development Department

\*\* 先行技術開発部  
Advanced Technology Development Department

## 2. 可視化用トルクコンバータと作動装置

## 2. Torque Converter for Flow Visualization and Experimental Apparatus

### 2.1 可視化用トルクコンバータ

トルクコンバータの羽根車3要素(インペラ、タービン、ステータ)、インペラと外周固定され容器を構成するカバー部品、これらを格納する水槽を全て無色透明アクリル樹脂により製作した(Fig. 2)。

### 2.2 作動装置

一般にトルクコンバータの作動装置は、インペラ軸、タービン軸がそれぞれ独立に回転可能な構成であるが、回転速度の変動が入出力それぞれ独立に生じるため、例えば速度比0.1設定時、インペラ10回転に対するタービン1回転完了の瞬間に初期の回転位置関係が正確に再現されるという事は有り得ない。よって、羽根車3要素の回転位置関係ごとの速度分布の平均化が困難となる。

そこで1台のモータ軸からギアボックスを介してインペラ軸とタービン軸の回転を与える機構と上記の問題を解消した。速度比刻みの細かな設定はギアの組合せを多数用意することで対応した。インペラ軸とタービン軸の回転角度位置検出のために、ロータリーエンコーダを設けた(Fig. 3)。

### 2.1 Torque converter for flow visualization

The three bladed elements of a torque converter (impeller, turbine and stator), the covers forming the container and attached to the impeller and outer periphery, and the water tank in which everything was contained were all made of a transparent acrylic resin (Fig. 2).

### 2.2 Experimental apparatus

The experimental apparatus for a torque converter is generally constructed such that the impeller shaft and the turbine shaft can rotate independently. However, rotational speed fluctuations occur independently with the respective input and output forces. Accordingly, assuming, for example, that the speed ratio is set at 0.1, it is impossible to reproduce accurately the initial rotational position relationship at the moment the turbine completes one revolution relative to ten revolutions of the impeller. For that reason, it is very difficult to average the velocity distribution for each rotational position relationship of the three bladed elements.

This problem was resolved by using an experimental system in which one motor shaft served to rotate the impeller shaft and the turbine shaft via a gearbox (Fig. 3). The fine increments of the speed ratio were set by preparing many gear combinations in the gearbox. Rotary encoders were used to detect the rotational angular position of the impeller shaft and the turbine shaft.

### 2.3 Working fluid and setting of rotational velocity conditions

The working fluid used was an index-matching fluid (aqueous zinc iodide solution)<sup>(4)</sup> that was adjusted to match the refractive index of the acrylic resin. This made it possible to avoid image distortion that would otherwise occur at the interface between the working fluid and the acrylic resin wall. Table 1 lists the physical properties of the working fluid. Other quantitative data concerning the PIV measurements and the velocity distribution simulation process have been reported previously at a conference of the Visualization Society of Japan<sup>(5)</sup> and detail description about that are omitted here.

The Reynolds number  $Re$ , kinematic viscosity of the working fluid  $\nu$  and the rotational speed  $N$  have the relationship of  $Re \propto N/\nu$ . The small kinematic viscosity  $\nu$  of the working fluid at the time of measurement (30°C) was approximately 1/7 of the  $\nu$  of the ATF during actual

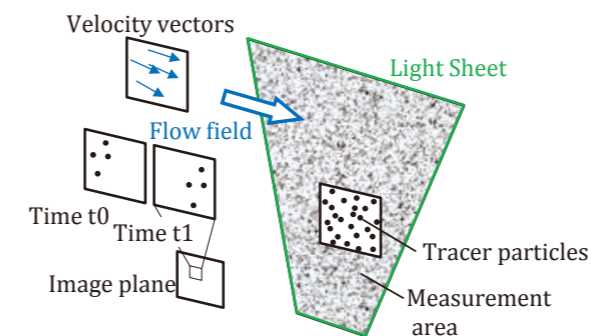


Fig. 1 Conceptual diagram of PIV

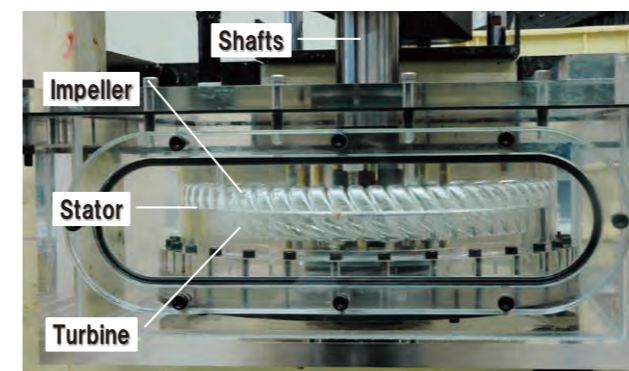


Fig. 2 Acrylic model of torque converter



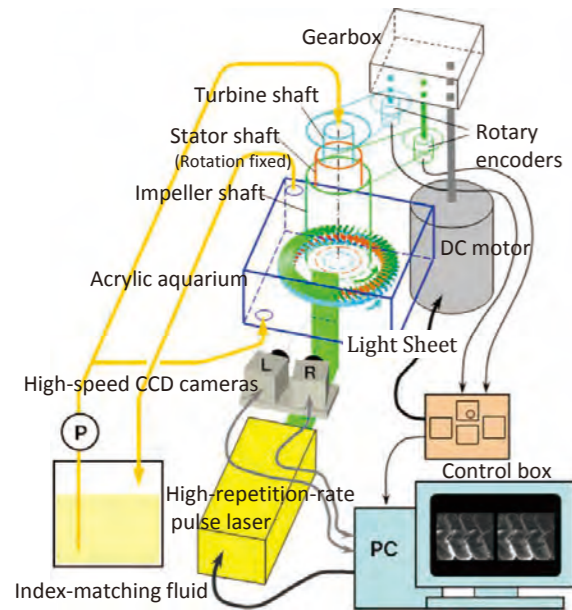


Fig.3 Schematic of experimental apparatus for flow visualization

### 2.3 作動流体と回転速度条件の設定

作動流体として、アクリル樹脂の屈折率に合わせたマッチング流体(ヨウ化亜鉛水溶液)<sup>4)</sup>を用いた。これにより、作動流体とアクリル壁の界面で像のゆがみが生じることを回避できる。Table 1に作動流体の物性値を示す。PIV計測および速度分布解析処理に関わる他の定量的データは、可視化情報学会で発表済み<sup>5)</sup>であり、本稿では記載を割愛した。

レイノルズ数 $Re$ 、流体の動粘性係数 $\nu$ 、回転速度 $N$ は、 $Re \propto N/\nu$ の関係にある。作動流体の計測時(30℃)の $\nu$ は、トルクコンバータ実機運転時(80℃)のATFの $\nu$ に比べて約1/7と小さいことから、実機の $N$ に対して1/7の回転速度で同等の $Re$ を実現できる(流れ場が相似とみなせる)こととなる。よって、可視化モデルの回転速度は実機の1/7で済み、耐圧強度に制約のあるアクリル樹脂モデルにとってメリットとすることができた。

### 3. PIVによる非定常流動の計測と結果

PIV計測断面は、ステータ翼列の平均半径位置に設定した。ここを高繰り返しレーザシート光(厚さ2mm)で照射し、ダブルパルスによる2時刻照射間隔は、100 $\mu$ secに設定した。左右2台の高速度カメラ(3,000枚/sec)で撮影し、2時刻の画像相関解析から1,500Hzの速度ベクトル分布を得た。

torque converter operation (80℃). Accordingly, the same  $Re$  value was obtained by using an operating speed that was 1/7 of that of an actual torque converter. (The flow field was regarded as being similar.) Consequently, the operating speed of the torque converter model used in the visualization experiment was set at 1/7 of that of an actual torque converter. That was advantageous for the acrylic resin model as its pressure resistance strength was limited.

Table 1 Physical properties of the fluid at 30℃

Density	1.86kg/m <sup>3</sup>
Kinematic viscosity	1.31 $\times 10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s
Index of refraction	1.491-1.493

### 3. PIV Measurement of Unsteady Flows and Results

The PIV measurement cross section was defined at the position of the average radius of the stator blade cascade. The cross section was illuminated with a high-repetition-rate laser light sheet (thickness: 2 mm) and the interval for illumination at two time points by double laser pulses was set at 100  $\mu$  sec. The flow in the cross section was photographed with two high-speed cameras (3,000 frames/sec) positioned side by side. The velocity vector distribution at 1,500 Hz was obtained by analyzing the correlation between the images obtained at the two time points.

Figure 4 presents the PIV measured results when the speed ratio was set at 0.1. It is seen that the flow velocity varies greatly between the stator blades. Separation accompanied by a vortex structure occurs transiently at the leading edge of a stator blade and the measured results capture the occurrence and disappearance of the vortex (red circles in the figure). The results indicate that using this stereo PIV method makes it possible to measure the three velocity components of unsteady flows in a specified cross section inside a torque converter.

### 4. Stereopsis Observation of Unsteady Flows and Results

#### 4.1 Flow field features and motivation for stereopsis observation

It was shown in the preceding section that using the PIV method can capture the velocity distribution of the flow field quantitatively and in detail. However, the position that can be measured is limited to a predetermined cross section (within the light sheet thickness), and much time

速度比0.1に設定時のPIV計測結果をFig. 4に示す。ステータ翼間の流動には大きな速度変動が存在する。ステータ翼前縁には渦構造を伴う剥離が非定常に発生し、渦が発生と消失する様子が捉えられた(Fig. 4の赤丸)。このようにステレオPIV手法を用いることで、トルクコンバータ内の特定断面における非定常流動の速度3成分計測が可能である。

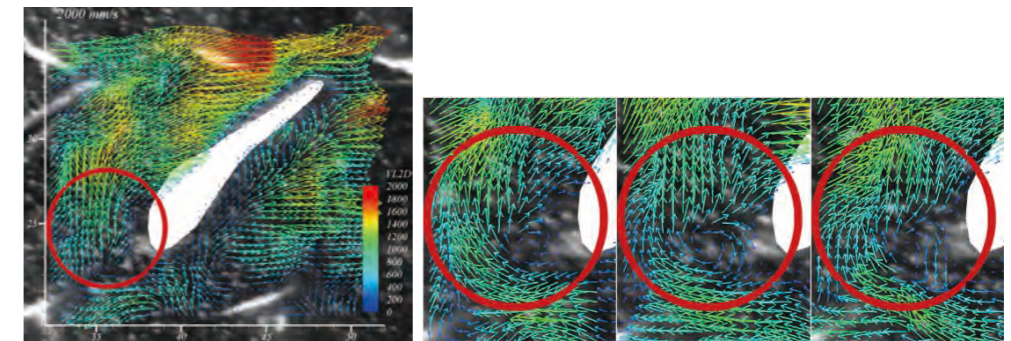


Fig. 4 PIV results for dynamic behavior of the flow field near the leading edge of a stator blade

### 4. 立体視による非定常流動の観察と結果

#### 4.1 流れ場の特徴と「立体視」観察の動機

上述のようにPIV手法を用いることで流れ場の速度分布を定量的に詳細に把握することが可能だが、計測できるのはあらかじめ位置を決定した断面内(シート光厚さ内)に限られ、その事前準備には多くの手間が掛かるため、流れ場全体から計測する価値のある断面を事前を選定することが重要となる。

そのためには、流れ場全体を繰り返し観察することで興味深い現象の生じている領域を選定できるような可視化の実現が望まれる。

トルクコンバータでは翼で仕切られた流路自体が高速で回転移動しているため、内部流れの絶対速度は高いが、これは高速度カメラで対応できる。問題は、流れ場が非常に複雑で、かつ奥行きを伴っていることにあり、立体的に観察できない限り流れ場の理解は不可能である。

立体的に観察する手法としては「立体視」が有効であることは一般に知られている。現実の立体物を見たときには左右両眼の網膜画像に視差が生じ、これを脳内で「立体物」と認識しているが、両眼の代わりに左右二つのレンズで撮影した視差を有する画像を左右の眼に別々入力することで、脳にヴァーチャルな「立体感」を感じさせる方法である。

and effort is needed for advance preparation. That makes it essential to select beforehand from the overall flow field a cross section that is worth measuring.

Therefore, it is desirable to have a visualization method for repeatedly observing the entire flow field in order to select regions in which highly interesting phenomena occur.

The flow passages partitioned by the blades in a torque converter are themselves rotating and moving at

high speed, so the absolute velocity of the internal flow is high. That aspect can be dealt with by using high-speed cameras. The problem lies in the fact that the flow field is extremely complex and also involves depth. It is impossible to understand the flow field unless it can be observed stereoscopically.

It is generally known that stereopsis is an effective technique for making stereoscopic observations. Parallax occurs in the images formed on the retinas of the right and left eyes when viewing a real 3D object, and the brain recognizes it as a 3D object. Stereopsis is a method for making the brain sense a virtual 3D effect by inputting to the right and left eyes separately images possessing parallax that were photographed by two camera lenses positioned side by side.

Similar to the stereo PIV system, a system for recording stereoscopic images was constructed using two high-speed stereo cameras that were completely synchronized. The images were obtained by suitably setting the camera positions, illumination method and photography conditions, as described in the following sections.



本稿では、ステレオPIVと同様に左右完全同期させた高速度カメラ2台を用い、カメラ配置・照射方法・撮影条件を適切に設定することで、立体視可能な映像記録を実現したので、これを紹介する。

#### 4.2 立体視用のカメラ配置及び照射方法

ステレオPIV撮影では、奥行き方向の計測精度を得るために左右の視差を強調したカメラ配置を取るのに対して、立体視用撮影では、自然な立体感が得られるように人間の眼で見るのに近いカメラ配置を取る。すなわち小さな視差角(1~4度を推奨<sup>6)</sup>)を前提としつつ、撮影範囲を過不足なくカバーし左右画像の水平方向共通部分を極力確保できるようにレンズの焦点距離を選定し、被写体に対するカメラの固定距離を決定する(Fig. 5)。



Fig. 5 Camera arrangement  
(left) PIV and (right) stereopsis

PIV撮影では瞬間的なパルス光での照射が前提なのに対し、立体視用撮影ではパルス光以外に強力な連続光も照射手段となり得る。前者での撮影結果は粒子群の全体的な移動を観察するのに適し(Fig. 6 Left)、後者では撮影フレームレートを調整することで流跡線(Fig. 6 Right)を描かせることが可能となり、粒子密度を適度に疎らにすれば特定の粒子の動きを眼で追いかける観察に適する。

#### 4.2 Camera positions and illumination method for stereopsis

In the stereo PIV system, the cameras were positioned to accentuate the right-left parallax in order to obtain measurement accuracy in the depthwise direction. In contrast, for stereoscopic imaging the cameras were positioned so as to resemble the view seen by the human eyes in order to obtain a natural 3D effect. In short, the focal length of the lenses was selected so as to cover the photographing range without any excess or deficiency and secure as much as possible the common portions in the horizontal direction, based on the assumption of a small parallax angle (1-4° recommended<sup>6)</sup>). The fixed distance of the camera to the photographed object was thus determined (Fig. 5).

Illumination in PIV imaging assumes instantaneous pulsed light, whereas illumination methods using strong continuous light are possible for stereoscopic imaging in addition to pulsed light. The images obtained with former PIV method are suitable for observing the overall movement of particle groups (left-hand side of Fig. 6), whereas flow trajectories (right-hand side of Fig. 6) can be traced with the latter method by adjusting the frame rate. Such images are suitable for following the movement of specific particles visually, if the particle density is made suitably thin.

#### 4.3 Image processing

Unlike the PIV method, stereopsis allows the flow to be easily visualized and confirmed right after the images are obtained at the experimental site without going through any image processing. That can be done by lining up the raw images horizontally on a monitor and confirming the flow autostereoscopically or by some other similar method. This is a key task for optimally adjusting the fixed positions of the stereo cameras, the illumination level and the frame rate at the experimental site.

The raw images obtained are not, strictly speaking, left-right consistent in terms of size, vertical position, inclination and other details, so viewing them stereoscopically in that form would put a burden on the optic nerve. To avoid that, it is necessary to rigorously correct any left-right disparities by image processing together with any brightness or contrast problems.

#### 4.4 Stereopsis observation results

In the region around the stator blade cascade, it was observed that vortex separation occurred discontinuously at the leading edge of the stator blades (Fig. 8). While that was

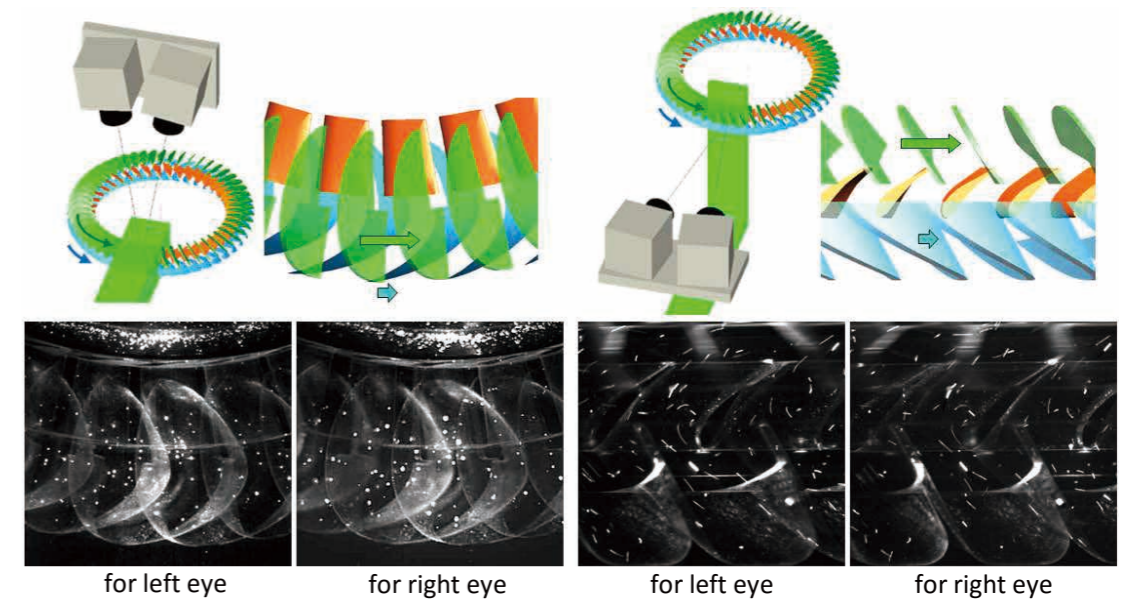


Fig. 6 Schematics of visualization and stereopsis image examples (in parallel)  
(left) Top views of particles obtained by volume illumination and (right) side views of flow trajectories obtained with a Light sheet

#### 4.3 画像処理

PIVとは異なり画像処理を経ずに、実験現場で撮影直後に流れの簡易的な可視化確認が可能である。それはモニター上に撮影生画像を左右並べて裸眼立体視等で確認する方法であり、左右カメラの固定位置・照射レベル、およびフレームレートを現場で最適調整するためには重要な作業となる。

撮影した生画像は、大きさ・上下位置・傾きなどが厳密には左右で一致しておらず、そのまま立体視すると視神経に負担を与えるため、明るさ・コントラストの不備と併せて左右不一致を画像処理にて厳密に修正しておく必要がある。

#### 4.4 立体視による観察結果

ステータ翼列周りの領域においては、ステータ翼先端での剥離渦が断続的に発生している状況が観察できた(Fig. 8)。粒子群の流れ観察でもそれは分かるが、連続光照射でフレームレートを調整することで得られる「流跡線」表現がより分かりやすい。

ステータ翼間の領域においては、奥から手間に主流に沿って流れてくる粒子が観察される一方、旋回しながら流れてくる粒子も観察され、主流と直交方向の二次流れが発生している状況が把握できた(Fig. 7)。このような立体的な観察結果が得られるところに立体視の価値があり、本手法の開発によってそれが可能となった。

also discernable in the observation of the flow of particle groups, it was much easier to see in the representation of the flow trajectories that were obtained by adjusting the frame rate under continuous illumination.

In the region between the stator blades, it was observed that particles flowed along the main flow from the interior toward the foreground, while particles that rotated as they flowed were also observed. The results thus captured a condition where a secondary flow occurred in the direction perpendicular to the main flow (Fig. 7). The fact that such 3D observation results can be obtained demonstrates the value of stereopsis and the development of the method explained here now makes such observations possible.

#### 5. Conclusion

A stereopsis method was developed that is effective in narrowing down PIV measurement cross sections for the purpose of obtaining quantitative data in flow fields in which high-speed, complex flows involving depth occur. This method makes it possible to specify the locations where phenomena occur that should be given priority in a fluid simulation. Using the developed method facilitates easy searches for the locations and phenomena that require attention such as the occurrence of a secondary flow.



5. まとめ

高速かつ複雑な流れが奥行きを伴って生じている流れ場において、流体解析の重点とすべき現象の発生部位を特定し、定量的データ取得のためのPIV計測断面を絞り込むことに有効な立体視の手法を開発した。

これを用いることで、二次流れの発生等、注目すべき部位・現象の探索が容易に可能となる。

6. おわりに

トルクコンバータ内流れの解析精度向上に向けた手法開発の第一弾として、本稿ではPIV適用及び立体視の取り組みを紹介した。別途取り組み中である流れ場全体の三次元的な定量化手法開発については、いずれ稿を改めて紹介する。

本開発に際し、多大なご指導、ご協力をいただいた横浜国立大学西野耕一教授、ならびに株式会社フローテック・リサーチに感謝の意を表したい。

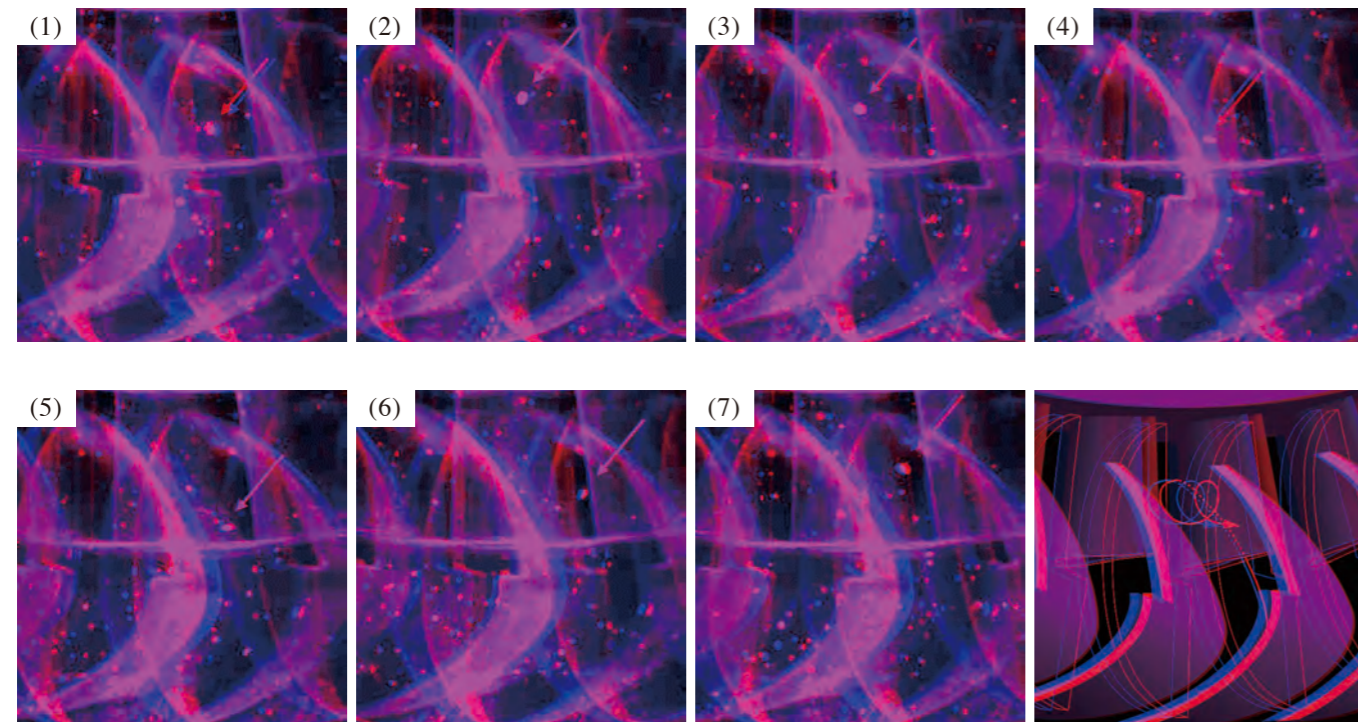


Fig. 7 Anaglyph image examples of helical flows between stator blades. Top views of particles obtained by volume illumination

6. Concluding Remarks

This article has described efforts to apply PIV and stereopsis as initial techniques developed for the purpose of improving simulation accuracy of flows inside a torque converter. Another method is now being developed for 3D quantification of the overall flow field and will be described in a separate article sometime in the future.

The authors would like to thank Professor Koichi Nishino at Yokohama National University and everyone concerned at Flowtech Research Inc. for their invaluable guidance and cooperation concerning the newly developed method.

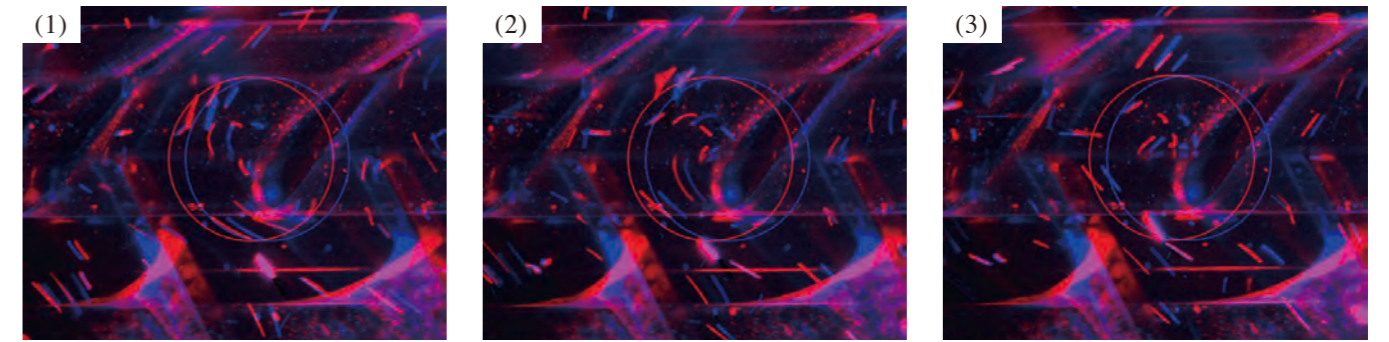


Fig. 8 Anaglyph image examples of the separation vortex at the leading edge of stator blades. Side views of flow trajectories obtained with a light sheet

7. 参考文献

- 1) PIVハンドブック, 可視化情報学会編, 第1章「PIVとは」, 森北出版 (2002)
- 2) 國寄, 谷口, 小林, トルクコンバータ内部の流れの可視化, 可視化情報, Vol.23, No.91 (2003) pp. 214-219.
- 3) 神林, 江尻, 岡田, 自動車用トルクコンバータのステータまわりの流れ計測 日本機械学会流体工学部門講演会 (2004)
- 4) 西野, インデックスマッチングを利用した流れの可視化実験, 日本機械学会流体工学部門ニューズレター, 2006年9月号
- 5) 佐野, 岡田, 本田, 西野, トルクコンバータ内の非定常流動可視化計測, 可視化情報学会全国講演会, 会津, 2013.
- 6) 立体視の原理, 立体画像の製作方法 (中原機械設計事務所) (<http://www2.aimnet.ne.jp/nakahara/3dart/3art.html>)

7. References

- (1) PIV Handbook, Ed. The Visualization Society of Japan, Chapter 1 "What is PIV?", Tokyo: Morikita Publishing Co., Ltd., (2002) (in Japanese).
- (2) Yasunori Kunisaki, Nobuyuki Taniguchi and Toshio Kobayashi, "Visualization of Internal Flow Field of Torque Converter," Journal of the Visualization Society of Japan, Vol. 23, No. 91, (2003) pp. 214-219, (in Japanese).
- (3) Kiyokazu Kanbayashi, Eiji Ejiri, and Katsuhiko Okada, "Experimental Flow Analysis around the Stator of an Automotive Torque Converter," Proceedings of JSME Fluids Engineering Conference, (2004) (in Japanese).
- (4) Koichi Nishino, "Flow Visualization Experiment using an Index-matching Technique," JSME Fluids Engineering Division Newsletter, September 2006 issue, (in Japanese).
- (5) Akihiko Sano, Katsuhiko Okada, Makoto Honda and Koichi Nishino, "Visualization and Measurement of Unsteady Flows in a Torque Converter," Proceedings of the National Conference of the Visualization Society of Japan, Aizu, 2013, (in Japanese).
- (6) Nakahara Design Office, "Principle of Stereopsis and Method of Creating 3D Images," (in Japanese).

■ Authors ■



Akihiko SANO



Kazunori KAWASHIMA



Katsuhiko OKADA



Yuji TAKAHASHI



# SE手法を用いた新発進スリップロックアップ制御開発

Development of New Start-off Slip Lockup Control using Systems Engineering

遠藤 泰弘\*  
Yasuhiro ENDO

神谷 光平\*\*  
Kohei KAMIYA

**抄 録** 近年ますます複雑化する制御開発を効率的・効果的に進める方法としてシステムズ・エンジニアリング（以下SE）手法が目ざされている。ジヤトコでも開発業務の革新のためにSEの導入と活用をすすめており、今回エンジン（以下Eng）と協調をした新発進スリップロックアップ（以下L/U）制御の開発にSE手法を適用し、有益な結果を得ることができた。本稿ではその詳細について紹介する。

**Summary** Systems engineering (SE) has attracted attention in recent years as a method for more efficient and effective development of control systems that are continually becoming increasingly more complex. JATCO has implemented and is making active use of SE for reforming development work processes. In developing a new start-off slip lockup (L/U) control procedure for cooperative control of the engine, beneficial results were obtained through the application of SE. This article describes the new control procedure in detail.

## 1. はじめに

当社では過去CVT8搭載車両向けに発進スリップL/U制御を開発し、運転性・燃費性能・動力性能等の向上を実現している。

しかし発進スリップL/U制御では、エンジントルクの応答性やL/Uピストンストローク時間などの物理的な特性バラつきまでは深く踏み込めてなかった。そのためEngトルクのバラつきやL/UピストンストロークのバラつきによってはL/Uクラッチに容量が発生する前にEng回転が吹け上がるなど、更なる改良の余地があった。そこでSEを導入し、従来の発進スリップL/U制御に不足していた機能を洗い出して改良する開発を行うことにした。発進スリップL/U制御に求められる要求をFig. 1に示す。

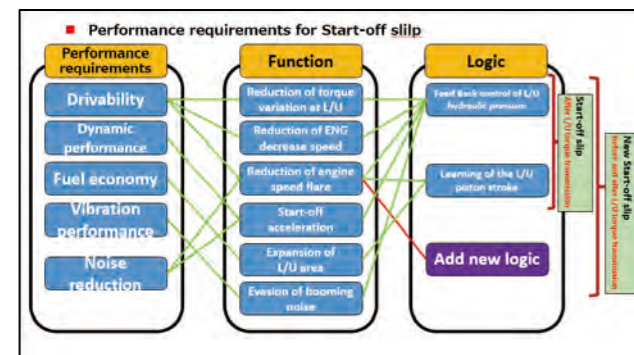


Fig. 1 Required Performance at vehicle launch

## 1. Introduction

At JATCO, we previously developed a start-off slip L/U control for CVT8-equipped vehicles and successfully improved driveability, fuel economy, power performance and other attributes.

However, because that start-off slip L/U control did not fully consider the variation in certain physical properties such as the engine torque response and L/U piston stroking time, there was still room for further improvement. For example, variation in engine torque and the L/U piston stroke caused the engine speed to flare before the L/U clutch developed torque capacity. Therefore, in developing the new control procedure it was decided to apply SE to identify and improve the functions lacking in the existing start-off slip L/U control. The performance required of start-off slip L/U control is outlined in Fig. 1.

### 1.1 Development aim

An example of an insufficient function to be addressed is shown in Fig. 2. Even when start-off slip L/U control is applied, the engine speed might flare, depending on the various kind of variation, right after vehicle launch before the L/U clutch develops torque capacity. Consequently, a region may occur where the perceived change in engine speed does not match the feeling expected by the driver. That mismatch in feeling was identified as an issue to be improved. To

### 1.1 開発の狙い

不足していた課題の一例をFig. 2に示す。発進スリップL/U制御を採用した場合でも、発進直後のL/Uクラッチ容量が発生する前ではEng回転がバラつきによっては吹け上がってしまう。そのためEng回転数の変化のフィーリングがドライバーのフィーリングにマッチしない領域が発生し、そのフィーリングを向上する課題が抽出された。その課題の解決のためにはEng回転のプロフィールを狙いに合わせて制御し、改善する必要があった。

### 1.2 改善に活用する制御因子の選定

本現象（Eng回転数変化）に影響を及ぼすパラメータ（以下因子）をFig. 3に示し、関係式を以下式（1）に示す。

$$\begin{aligned} \text{(流体トルク)} &= (\text{T/C入力トルク}) - (\text{L/Uトルク}) \\ &- (\text{Engイナーシャ}) - (\text{オイルポンプ負荷トルク}) \\ (\tau \times \text{Ne}^2) &= (\text{Te}) - (\text{Tlu}) - \text{Ie} \cdot \text{Ne}/\text{dt} - \text{Top} \\ \text{Ne}^2 &= ((\text{Te} - \text{Tlu}) - \text{Ie} \cdot \text{Ne}/\text{dt} - \text{Top}) / \tau \quad (1) \end{aligned}$$

Te : Engトルク[Nm]

$\tau$  : トルクコンバーター（以下T/C）流体係数[Nm/rpm<sup>2</sup>]

Ne : Eng回転[rpm]

Tlu : L/Uトルク[Nm]

Ie : Engイナーシャ[kg/m<sup>2</sup>]

Top : オイルポンプ負荷トルク[Nm]

Engイナーシャやオイルポンプ負荷トルクは今回のような車両適用開発では固定的に扱うべき因子であったため、検討項目からは除外した。式（1）からわかるように、Eng回転数に関わる制御因子はEngトルク・L/Uトルク・T/C流体係数であり、この3つの因子に着目して検討を進めた。

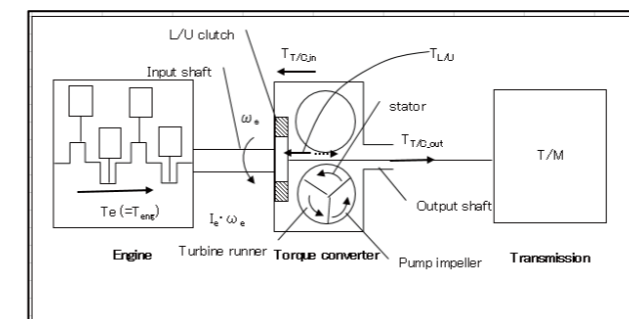


Fig. 3 Balance of the torque around the torque converter

resolve that issue, it was necessary to control and improve the engine speed profile so as to match the development aim.

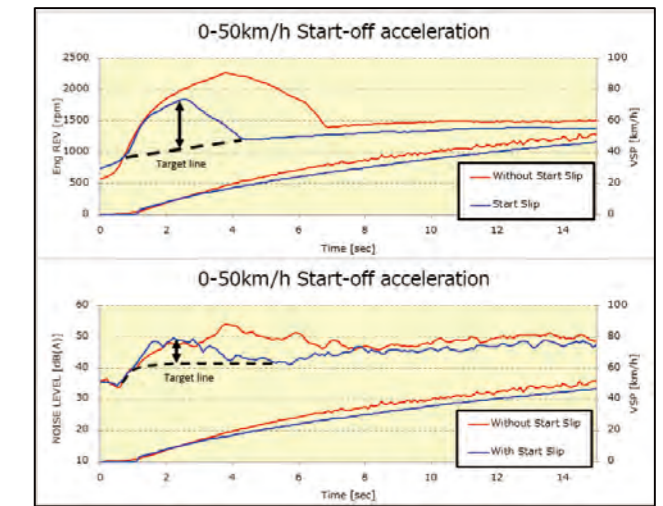


Fig. 2 Eng revolution target for reducing noise

### 1.2 Selection of control factors for use in the improvement

The parameters, referred to here as factors, influencing the change in engine speed are shown in Fig. 3, and their relational equation is shown in Eq. (1) below.

$$\text{(fluid torque)} = (\text{T/C input torque}) - (\text{L/U clutch torque}) - (\text{engine inertia}) - (\text{oil pump drive torque}) \quad (1)$$

Te: engine torque [Nm]

$\tau$ : fluid coefficient of torque converter (T/C) [Nm/rpm<sup>2</sup>]

Ne: engine speed [rpm]

Tlu: lockup clutch torque [Nm]

Ie: engine inertia [kg/m<sup>2</sup>]

Top: oil pump drive torque [Nm]

Engine inertia and oil pump drive torque were excluded from the items examined in this study because they are factors that should be treated as fixed quantities in vehicle application development work. As seen in Eq. (1), the control factors related to the engine speed are the engine torque, L/U clutch torque and the T/C fluid coefficient. Our study focused on these three factors.

## 2. Investigation for Improvement utilizing SE

### 2.1 Allocation of required performance

First, a study was undertaken to examine how the engine torque, L/U clutch torque and T/C fluid coefficient should be set in order to achieve the required performance. It was necessary to allocate respective performance targets to the hardware and software for that purpose.

\* 制御システム開発部  
Control System Development Department

\*\* 日産自動車株式会社 パワートレイン技術開発本部 パワートレイン制御開発部  
Powertrain Control Engineering Department, Powertrain Engineering Division, Nissan Motor Co., Ltd.

## 2. SE手法による改善検討

### 2.1 要求性能の割り付け

まず、前述のEngトルク・L/Uトルク・T/C流体係数をどのようにすれば要求性能を達成できるのかを検討し、ハードウェア・ソフトウェアそれぞれに目標を割り付けることが必要となる。

ハードウェアへの要求としてはT/C流体係数を大きくすることが求められる。現行の流体係数と既存の最大の流体係数を用いたシミュレーション結果の比較をFig. 4に示す。流体係数の変更によってEng回転吹け上がりが改善するが、目標性能に対して十分な効果が見込めない。うえ、発進加速性能の低下のトレードオフが大きいことやハードウェア変更への制約条件があることが机上で判明した。これを踏まえ、T/C流体係数の因子は変えない方針とし、目標のEng回転プロフィールを実現するための要求性能を、Engトルク制御とL/Uトルク制御とに割り付けることとした。

### 2.2 Engトルク制御&L/Uトルク制御の成立性検討

L/Uクラッチが容量を持つタイミングのバラつきを低減するために、入力となるEngトルクの安定性とL/Uトルクの応答の安定性を検討した。そしてピストンストローク終了時のこれら2つの因子の性能バラつきを低減する方法を検討した。

まず、L/Uのバラつきの検討を実施した。ハラつき要因としてL/U実差圧とL/U指示差圧のバラつきがある。L/U差圧は油圧システムの下流に位置しているため、上流の圧力を安定させることでL/U差圧への影響を少なくし、バラつきを減少させることとした。

次に、上記で決めたL/Uピストンストロークのタイミングに対して、Eng回転の引き込みおよび車両の加速度変動を許容範囲に抑え込むことが可能なEngトルクの許容バラつきを検討し、CVTからその許容Engトルクをオンデマンドで要求する方式を採用することとした。

これによってEngトルクのバラつきも減少させることができることになったため、その縮小したバラつきを前提にしてEng回転吹けあがりを抑える手法について検討した。式(1)より、発進時のEng回転吹けを抑えるためにはEngトルクを抑えるか、L/Uトルクを早めに上げる必要があることが言え、その2つに取り組んだ。

In terms of the hardware requirements, there was a need to increase the T/C fluid coefficient. A simulation was run using the current fluid coefficient and the largest existing fluid coefficient and the results are compared in Fig. 4. It was found theoretically that changing the fluid coefficient would improve engine speed flare, but the effect was not expected to be sufficient to attain the targeted performance. In addition, there would also be a trade-off with start-off acceleration performance and there would be constraints on hardware changes. Based on these results, it was decided not to change the factor of the T/C fluid coefficient. The performance required for attaining the targeted engine speed profile was assigned to engine torque control and L/U clutch torque control.

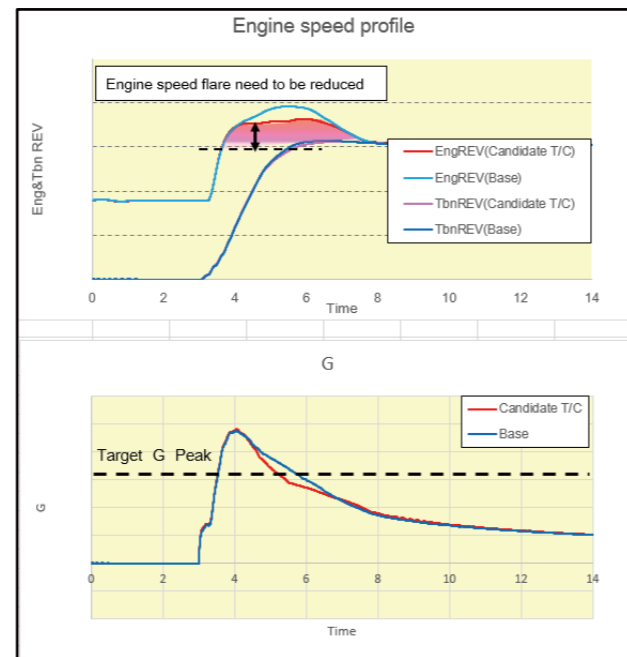


Fig. 4 Effect estimation by changing hardware

### 2.2 Examination of viability of engine torque control and L/U clutch torque control

The stability of the engine torque as the input and the stability of the L/U clutch torque response were examined for the purpose of reducing the variation in the timing at which the L/U clutch develops torque capacity. A method was examined for reducing the variation in the performance of these two factors at the time the piston stroke is completed.

As the first step, the variation in L/U clutch torque was examined. One factor causing this variation was found to be variation in the actual L/U differential pressure and the indicated L/U differential pressure. Because the L/U

L/Uトルクを早めに上げることに関してはハードウェアの応答性限界を見極めてSimulationを適用して成立解を探した。一方Engトルクを抑えることに関しては発進時の運転性能・動力性能・音振性能等とのトレードオフがある。そのため発進時Eng回転吹けあがり低減の要求を満たす手法を検討する上でそれらの背反の要求との干渉を解く必要があった。

背反の要求を抜け漏れなく抽出するために要求分析・機能展開を行い要求を洗い出した結果をFig. 5に示す。

1次	2次	3次	Function機能
【音振性能】 発進時の加速時騒音を抑えたい	After torque transmission: cooperative control of engine torque and L/U clutch torque Before torque transmission: Engine torque		
【動力性能】 発進時のEng回転吹け速度を緩和したい	L/U clutch torque Engine torque and cooperative control L/U clutch torque	の差回転となるように、L/U差回転を制御したい L/U差回転を抑制する機能	差回転に応じてL/U差圧を制御する機能 Eng回転を抑える機能
【運転性能】 発進時の運転性能への跳ね返りを抑えたい	L/U clutch torque	L/U差回転時のトルク変動を抑えるL/U差圧をコントロールしたい	L/U差回転時の変動を抑えるL/U差圧を演算する機能
【動力性能】 加速低下防止	Engine torque and cooperative control L/U clutch torque	目標加速度を実現できるL/U差圧を演算する機能	L/U差圧を演算する機能
【音振】 トルク規制線確保	音振悪化となる低回転高負荷領域は避けたい	音振悪化となるEng回転/Engトルクによる規制を把握したい	音振悪化となるEngトルク領域を避ける機能
【耐久性】 ハードウェア耐力確保	L/U clutch torque	ウェア条件を満たさないL/U差圧を抑制しない	ハードウェア条件を満足できる領域で制御する機能

Fig. 5 Requirements analysis and function deployment

ここではトレードオフ性能の一つとして発進加速の減少についての検討について説明する。Engトルクを抑えることで駆動力が減少するため発進時の加速度のピークが下がる。発進時の駆動力要求から目標の加速度が定義されており、要求されている必要なEng回転プロフィールが実現できるEngトルクに制御したときに、トレードオフ性能である目標の加速度が達成できていることを同時に実現する必要がある。EngトルクとL/Uトルクの協調によって各目標を達成できる仕様をSimulationにより探索した。各々の要求値は要求分析で定量化されているため、SimulationによってEngトルク等のバラつきを加味して全ての要求が成立するEngトルクを検討し、成立解を決定した。成立解によって得られた発進時の波形の一例をFig. 6に示す。

differential pressure occurs at a downstream position in the hydraulic system, it was decided to reduce the variation by stabilizing the upstream pressure so as to mitigate its influence on the L/U differential pressure.

Next, a study was made of the allowable variation in engine torque that would keep the engine speed drop and vehicle acceleration fluctuation within an acceptable range in relation to the timing of the L/U piston stroke that was determined as explained above. It was decided to adopt a procedure whereby the CVT sends an on-demand request for the allowable engine torque.

As a result, having made it possible to reduce the variation in engine torque as well, a method was examined for suppressing engine speed flare on the assumption of the reduced variation in engine torque. It can be seen in Eq. (1) that in order to suppress engine speed flare at vehicle launch, it would be necessary to hold down the engine torque or to quicken the increase in L/U clutch torque. Efforts were focused on these two approaches.

A simulation was conducted to find a solution for increasing the L/U clutch torque faster by determining the response limit of the hardware. On the other hand, suppressing engine torque would have trade-offs with driveability, power performance and noise and vibration at the time of vehicle launch. Accordingly, in examining a method for meeting the requirement for reducing engine speed flare at vehicle launch, it was necessary to resolve the interference with other conflicting requirements.

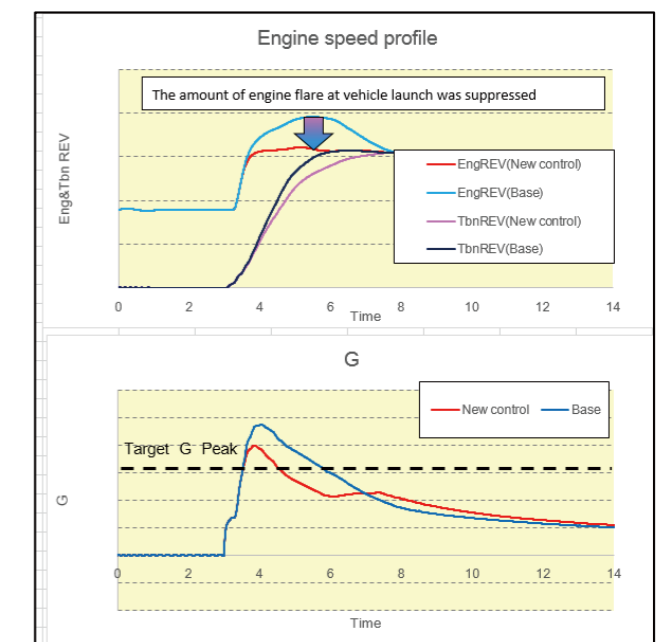


Fig. 6 Operational view



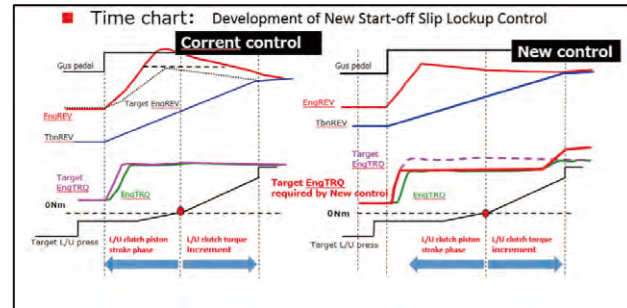


Fig. 7 New Start-OFF Slip control

### 3. 新発進スリップL/U制御の実装

発進スリップL/U制御はL/Uクラッチが容量を伝達する前とL/Uクラッチが容量を伝達した後に構成を分けることができる。従来の制御は容量伝達後からL/Uクラッチで容量をコントロールすることで目標のEng回転プロフィールに近いプロフィールを形成できていた。しかし、Eng回転プロフィール要求を完全に満たすにはL/U容量伝達前のEng回転を抑制する必要がある。L/Uクラッチが容量を伝達する前のトルク容量は0Nmであり、式(1)よりL/Uクラッチが容量を伝達する前はエンジン回転数をコントロールすることができない。そこで本制御では発進スリップL/U制御時にEngに要求性能を満たすEngトルクを要求することでEng回転を抑制することとした。実装した新制御と現行制御との比較をFig. 7に示す。

### 4. フィジカル確認

SE手法で洗い出した必要機能を確認するためのテストケースを作成し、実車でそれらの個々の機能に関するテストケースを用いて実走して確認することにより、変更点を全て網羅した確認を行った。その一例として新発進スリップL/U制御のSimulationと実車の比較波形をFig. 8に示す。発進時のEng回転の吹けあがり量が抑制されており、Simulationと同等の結果を得ることが確認できた。また、試乗したフィーリングの官能評価も良好であり、Simulation予測どおりトレードオフ性能も問題なく、改善目標を達成することができた。

In order to identify all the conflicting requirements without overlooking any, the requirements were analyzed and function deployment was carried out. The identified requirements are listed in Fig. 5.

As one example of the performance attributes involving a trade-off, a study that was conducted concerning the reduction of start-off acceleration is explained here. Holding down engine torque would reduce the driving force, so the peak acceleration at vehicle launch would decrease. The targeted acceleration was defined on the basis of the required driving force at start-off. At the time the engine torque is controlled to achieve the required engine speed profile, it is necessary to ensure that the targeted acceleration, which is subject to a trade-off, is also attained at the same time. A simulation was conducted to find the specifications capable of attaining each performance target through cooperative control of the engine torque and L/U clutch torque. Because all the required values were quantified on the basis of the requirements analysis, a simulation was run to examine the engine torque at which all the requirements would be viable, taking into account the variation in engine torque, among other things, and a viable solution was determined. One example of the waveforms obtained with the viable solution at the time of vehicle launch is shown in Fig. 6.

### 3. Implementation of the Newly Developed Start-off Slip L/U Control

The composition of the new start-off slip L/U control can be divided between the states before and after the L/U clutch transmits torque. With the previous control, an engine speed profile close to the targeted profile was formed by using the L/U clutch to control the torque capacity after transmitting torque. However, in order to fully satisfy the required engine speed profile, it is necessary to suppress the engine speed before the L/U clutch transmits torque. The torque capacity of the L/U clutch before transmitting torque is 0 Nm. According to Eq. (1), before the L/U clutch has the capacity to transmit torque, it cannot control the engine speed. Therefore, at the time start-off slip L/U control is activated, the new control procedure is designed such that it requests engine torque for satisfying the required engine performance and in this way it holds down the engine speed. Figure 7 compares the newly implemented control with the existing control procedure.

### 4. Physical Confirmation

A test mode was created to confirm the performance of the necessary functions identified in the SE studies. The test mode was used in driving tests conducted with a test vehicle to confirm each of the individual functions and a comprehensive check was made of all of the changes. As one example, Fig. 8 compares some of the speed waveforms obtained in the simulation of the new start-off slip L/U control with the experimental results for the test vehicle. The results show that the amount of engine flare at vehicle launch was suppressed and that the experimental data coincided with the simulation results. A subjective evaluation of the acceleration feel in the test vehicle also showed good results. The experimental results thus confirmed that the targeted improvement was obtained without any trade-off problems with other performance attributes, as was predicted by the simulation.

### 5. Conclusion

A new start-off slip L/U control procedure was successfully developed in this project for cooperative control of the engine torque and L/U clutch torque so as to satisfy the required engine speed profile in order to improve the acceleration feel at vehicle launch. SE was used in conducting the development studies, enabling the early assignment of performance targets and making it possible to examine all the requirements without any overlooking and investigate their viability at the theoretical study stage. That reduced the amount of reworking needed at the in-vehicle confirmation stage.

Cooperative control not only with the engine but also with other vehicle systems is becoming increasingly important for improving overall vehicle performance. It is expected to carry out development work more efficiently and reliably by continuing to make effective use of SE in the future.

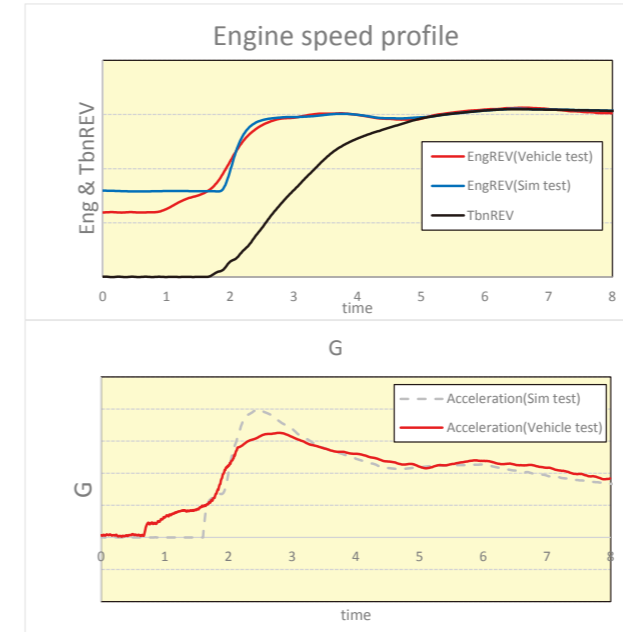


Fig. 8 Experimental results

### 5. まとめ

本開発では、発進時のフィーリングを向上するためのEng回転プロフィール要求を満たすために、Engトルク制御-L/Uトルク制御協調による新発進スリップL/U制御を開発できた。開発検討ではSE手法を用いることで性能を早期に割り付けることができ、要求の抜け漏れ検討・成立性検討を机上段階で実施することができ、実車確認での手戻りを削減することができた。車全体の性能を向上するためには、Engのみならず車両との協調がますます重要となりつつあり、今後もSE手法を活用したさらに効率的で確実な開発を実践していきたい。

■ Authors ■



Yasuhiro ENDO



Kohei KAMIYA

# FF-HEV用CVT協調回生制御のMBD適用による効率的開発

Application of MBD for Efficient Development of Cooperative Regeneration Control for a FWD-HEV CVT

宮石 広宣\*  
Hironori MIYAISHI

米田 健児\*  
Kenji YONEDA

岩佐 大城\*  
Hiroki IWASA

河合 恵介\*\*  
Keisuke KAWAI

**抄 録** 本稿では、FF-HEVにおける減速シーンで要求される代表的な車両性能である燃費性能と、CVTの重要性能の一つである急減速時の最Lowへの確実なダウンシフト(以下、Low戻り性能)を両立するための協調回生制御について説明する。また本開発では、モデルベース開発(以下、MBD)の適用により、新制御による車両性能への影響の予測を行い、車両性能の達成目途および制御の妥当性を早期に判断することが可能となった。本稿ではMBD適用の詳細についても紹介する。

**Summary** This article explains a cooperative regeneration control function for a CVT used on front-wheel-drive HEVs. This control achieves both good fuel economy, which is a typical vehicle performance requirement in deceleration situations, and reliable downshift performance to the lowest ratio during hard deceleration, which is a key performance requirement for CVTs. Model-based development (MBD) was applied in this project to predict the effect of this new control function on vehicle performance. That made it possible to judge the prospect for attaining the targeted vehicle performance and the viability of this control function at an early stage. The application of MBD is described in detail.

## 1. はじめに

## 1. Introduction

### 1.1 背景

ジヤトコは、日産自動車と共同で開発した中型FF-HEV向けCVT(Jatco CVT8 HYBRID, 以下、CVT8 HYBRIDと呼ぶ)を2015年に生産を開始した。このFF-HEVシステムは、小型軽量かつ高効率なパラレルHEVシステムの一つである1モーター2クラッチシステムと、一部の部品を見直したコンベンショナルなCVT(以下、CONV)との組み合わせで構成されている。

上記のFF-HEVシステムは、環境性能や運転性能を向上するために、CVTやその他の電子制御は複雑化・高度化し、開発工数及び検証工数の増加は明らかであった。一方で、開発では効率化、手戻り削減、品質向上を求められている。

これらの課題を解決すべく、MBD開発を用いて車両の性能予測を行いながら開発を進めることで品質・開発効率の向上を実現した。本稿では、その適用の概要を紹介する。

### 1.1 Background

In 2015, JATCO launched production of a CVT that had been jointly developed with Nissan Motor Co. for use on midsize front-wheel-drive (FWD) HEVs. This FWD-HEV system consists of a one-motor two-clutch (1M2CL) system combined with a conventional CVT incorporating some revised parts. The 1M2CL system is one type of parallel HEV configuration featuring a compact size, light weight and high efficiency.

The FWD-HEV system incorporates a more complex and advanced CVT and electronic control system for the purpose of improving both environmental performance and driveability. Consequently, it was clear that the development and verification of the system would require many more man-hours. At the same time, there was a need to improve development work efficiency, reduce the amount of reworking done and enhance quality.

In order to resolve these issues, model-based development (MBD) was employed to advance the development work while making predictions of vehicle performance, resulting in improved quality and development work efficiency. This article outlines the application of MBD.

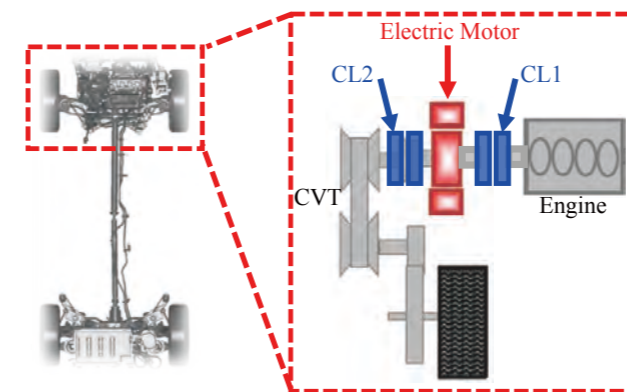


Fig. 1 Conceptual structure of 1M2CL system

## 1.2 システム概要

CVT8 HYBRIDではプライマリプーリとエンジンの間に1つのモーターと2つのクラッチが配置されている。Fig. 1に1モーター2クラッチの構成を示す。

HEVに関わる基本要素は下記①～④である。

- ① エンジンとモーターの動力を相互に伝達および遮断を行うクラッチ1
- ② トルクコンバータに代わる発進デバイスのクラッチ2
- ③ 駆動および発電を行うモーター
- ④ モーターによって駆動されるメカオイルポンプ

本システムの特徴として、モーターもしくはエンジンからの入力に対し、2つのクラッチを制御することにより、Fig.2に示すようなさまざまなシステム作動モードを形成することができる。これらのモードとCVTの無段階変速とを組み合わせることにより、燃費と動力性能を走行状況に応じて最適に制御することを可能としている。

## 1.3 コンベンショナルなCVTとの部品の共有化

本システムに搭載されているCVTは、コストやレイアウトの新たな課題の発生を抑えるために、コンベンショナルなCVTをベースに、最小限の部品変更することでCVT8 HYBRIDとして適用している。

## 2. 減速シーンに求められるCVTへの要求

HEVの最大の特長として、減速エネルギーの回収(回生)がある。CVT8 HYBRIDにおいては車両の燃費性能向上のために、回生シーンの入力トルク(以下、回生トルク)を全て伝達することが重要になり、ベルト伝達容量を十分に確保する必要がある。また、HEVに関わらず、

## 1.2 System overview

This FWD-HEV system has an electric motor and two clutches positioned between the engine and the primary pulley of the CVT. Figure 1 shows the configuration of the 1M2CL system. The basic elements related to the HEV system are explained in (1) to (4) below.

- (1) Clutch 1 transmits and blocks the mutual transfer of power between the engine and the motor.
- (2) Clutch 2 serves as the start-off device in place of a torque converter.
- (3) The motor provides driving force and generates electricity.
- (4) A mechanical oil pump is driven by the motor.

One distinct feature of this system is that it can provide various operating modes as shown in Fig. 2 by controlling the two clutches in relation to the input from the motor or the engine. These operating modes together with the seamless shifting of the CVT facilitate optimum control of fuel economy and power performance to match the driving conditions.

## 1.3 Sharing of parts with a conventional CVT

The CVT incorporated in this system was adapted for HEV use by making the minimum necessary changes to the parts of a conventional CVT (CONV) as the base unit. That was done to minimize the occurrence of any new issues related to cost or the system layout.

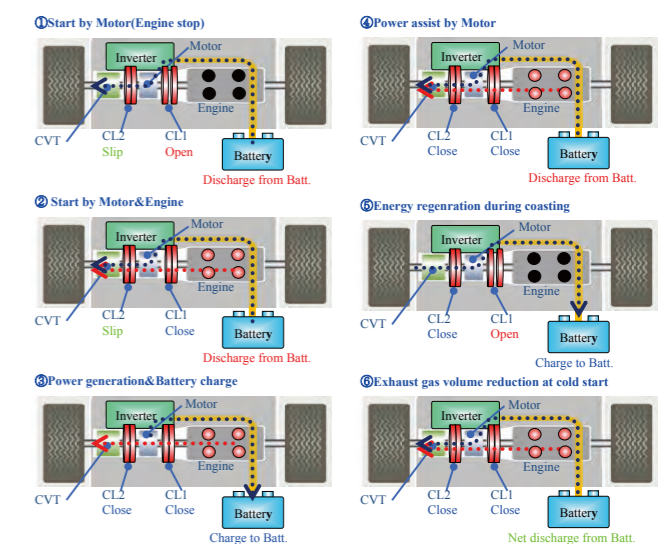


Fig. 2 System operating models

\* 制御システム開発部  
Control System Development Department

\*\* 日産自動車株式会社 EV・HEV技術開発本部 EV・HEVシステム開発部  
EV and HEV Engineering Division, EV and HEV System Engineering Group, Nissan Motor Co., Ltd.



CVTは減速シーンにおけるLow戻り性能が非常に重要である。ダウンシフト中に実変速比が目標変速比に追従することができるか否かで、減速後の低車速からの再加速や、停車後の発進における車両の動力性能に大きく関わるためである。上記より、コントロールバルブ(以下、C/V)の発生可能最大圧>パリエータ必要圧の関係が成立する必要がある。

発生可能最大圧を決める主な動的パラメータはオートマチックトランスミッションフルード(以下、ATF)油温、モーター回転、プーリストローク速度である。(Fig. 3-1/3-2参照)油温が上がるとATF粘度が下がり、C/VのATFリークが増えるため、発生可能圧が下がる。メカオイルポンプを駆動するモーター回転が下がると、単位時間当たりのオイルポンプ吐出流量が下がり、発生可能圧が下がる。プーリストローク速度が上がると、プーリー油圧室の体積変化量が増え、それによって油圧室に供給するのに必要な流量が増えるために発生可能圧が下がる。

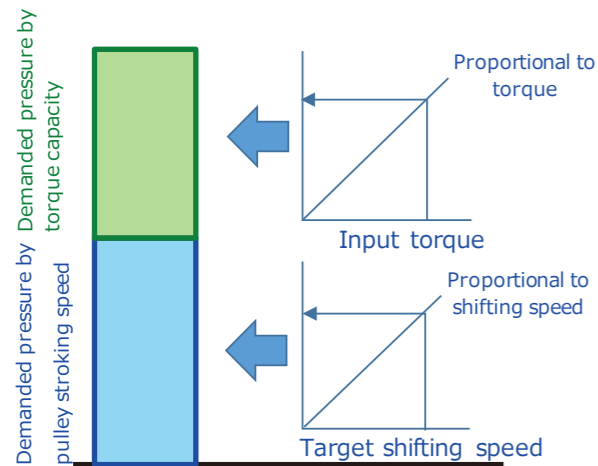


Fig. 4 Concept of demanded pressure

プーリーの必要圧は動的パラメータとして伝達トルク要求圧(入力トルクに比例)と変速要求油圧(プーリストローク速度に比例)から決まる(Fig. 4)。

CONVとの部品共有化のニーズにより、CVT8 HYBRIDはCONVと同じメカオイルポンプを使用している。しかし、CVT8 HYBRIDは減速中に回生トルクを伝達する必要があり、使用油圧がCONVよりも高くなる。

これより、減速回生シーンでプーリー必要圧を確保することがCONVよりも難しくなり、減速のパターンによっては発生可能圧<必要圧となる場合がある(Fig. 5)。そのようなシーンにおいても良好なLow戻り性能を確保するため

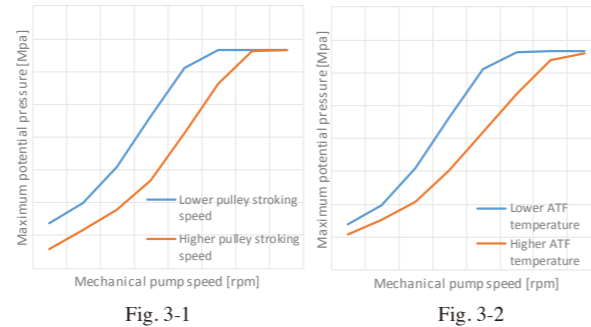


Fig. 3 Potential pressure as a function of oil pump speed

## 2. CVT Requirements in Deceleration Situations

One of biggest features of an HEV system is that it recovers and regenerates kinetic energy during deceleration. An important issue for a CVT for HEV use is that it should transmit all the input torque (i.e., regenerative torque) during energy regeneration situations in order to improve vehicle fuel economy. Therefore, it is necessary to ensure that the belt has sufficient capacity to transmit the torque. In addition, apart from the HEV system, the downshift performance of a CVT to a Low ratio in deceleration situations is a crucial parameter. That is because whether the actual ratio can follow the target ratio during a downshift greatly affects vehicle power performance in terms of re-acceleration at low vehicle speeds following deceleration and start-off performance after the vehicle stops. Accordingly, it is necessary to ensure a viable relationship where the maximum potential pressure generatable by the control valve is greater than the required variator pressure.

The principal dynamic parameters determining the maximum potential pressure are the temperature of the automatic transmission fluid (ATF), motor speed and the pulley stroking speed (Figs. 3-1 and 3-2). As the ATF temperature rises, the fluid viscosity decreases, resulting in greater ATF leakage around the control valve, which reduces the maximum potential pressure. If the speed of the motor that drives the mechanical oil pump drops, the discharge flow rate of the pump per unit time decreases, thus reducing the maximum potential pressure. If the pulley stroking speed increases, it causes a larger variation in the volume of fluid in the pulley pressure chamber. As a result, the flow rate needed to supply fluid to the pulley pressure chamber increases, causing a decline in the maximum potential pressure.

In terms of dynamic parameters, the necessary pulley pressure is determined by the demanded pressure for torque transmission, which is proportional to the input torque, and the demanded pressure for shifting, which is proportional to

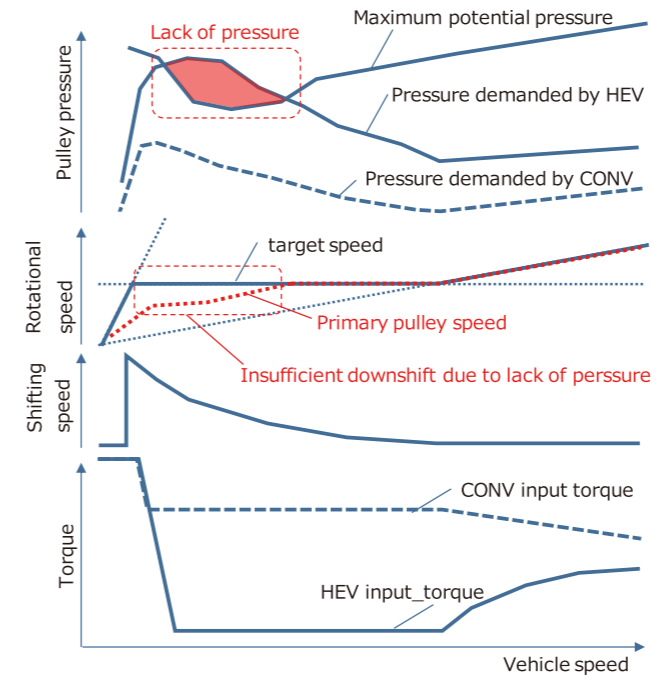


Fig. 5 Operating chart

に、CVTコントローラからHEVシステムを制御するコントローラに向けて回生トルクのトルク制限を要求する機能を持たせた。

減速回生中に発生可能最大圧とプーリー必要圧とを比較して、発生可能最大圧の不足分だけ回生トルクを制限する(Fig. 6)。CVTコントローラは回生の制限量を最小限に抑えるために、プーリー圧を時々刻々計測しながら必要最小限のトルク制限要求を出力するような仕様とした。また同時に、急ブレーキ減速等でも十分最Lowにダウンシフトすることが確保でき、良好な再加速や再発進性能を維持することが実現できた。

## 3. MBDを用いた車両性能予測

ここまで、FF-HEVシステムにおけるレイアウト、コスト、減速シーンでの燃費性能及びLow戻り性能を両立するために、回生トルクの制限機能について解説した。

制限機能を設計した時点で代表点における簡易設計のみで、燃費性能への影響は無い見込みではあったが、確認すべきシーン全体での影響の検証には至っていなかった。MBDの適用により、机上で車両性能の予測を行うこととした。

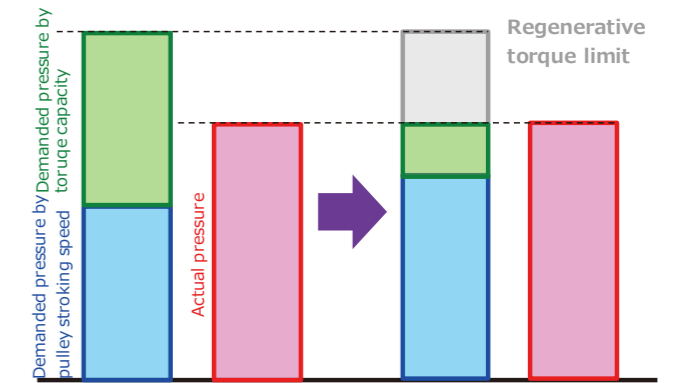


Fig. 6 Concept for requesting regenerative torque limit

the pulley stroking speed (Fig. 4)。

Because of the need to share parts with a conventional CVT, the HEV system uses the same mechanical oil pump as a conventional unit. However, the HEV system must transmit regenerative torque even during vehicle deceleration, so it uses higher pressure than a conventional CVT.

That requirement makes it more difficult to secure the necessary pulley pressure in regenerative deceleration situations than for a conventional CVT. Depending on the deceleration pattern, there can be times when the generatable pressure is less than the required pressure (Fig. 5). In order to ensure good downshift performance to a Low ratio, the CVT controller incorporates a function for requesting the HEV system controller to limit the amount of regenerative torque.

During regenerative deceleration, the maximum potential pressure and the necessary pulley pressure are compared, and regenerative torque is limited to just the amount that the maximum potential pressure is deficient (Fig. 6). To minimize the limit on regenerative torque, the CVT controller is designed to request the smallest necessary torque limit while constantly measuring the pulley pressure. Simultaneously, it ensures that the CVT can fully downshift to the lowest ratio during deceleration due to hard braking, for example, thereby maintaining excellent re-acceleration and re-launch performance.

## 3. Vehicle Performance Prediction using MBD

The preceding section explained the function for limiting regenerative torque for the purpose of reconciling the layout and cost of the FWD-HEV system with fuel economy and downshift performance in deceleration situations.

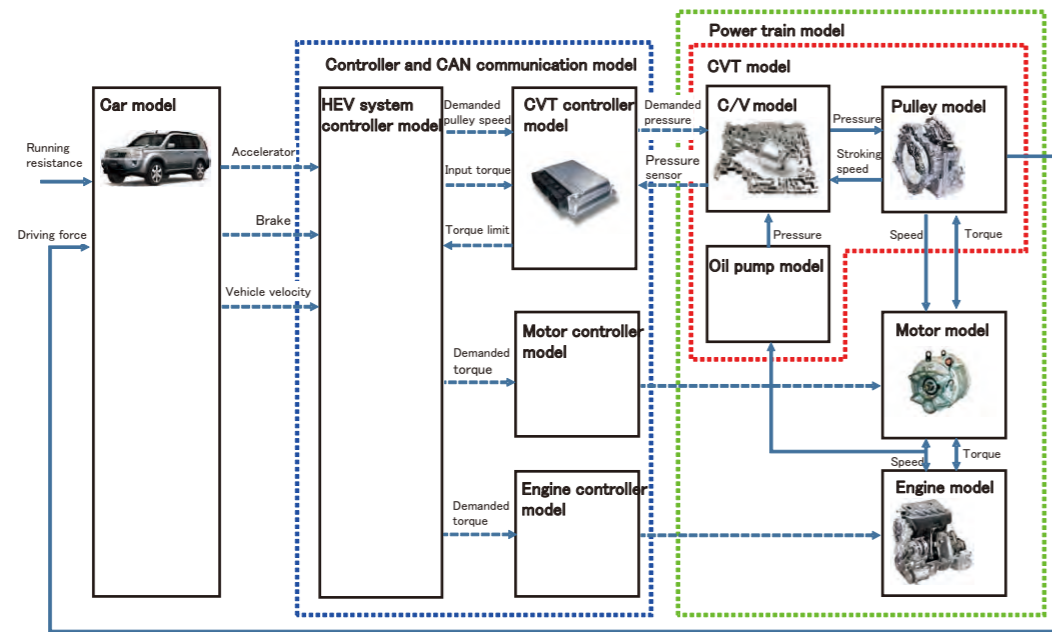


Fig. 7 Configuration of overall simulation model

MBDとは、ソフトおよびハードの機能をシミュレーション可能なモデルで表現し、開発プロセスの上流から下流までのモデルを活用し、上流の設計工程から検証・評価を繰り返すことで、品質・開発効率の向上を目指す開発手法である。

### 3.1 シミュレーションの構成

エンジン、モーター、CVT、車両のプラントモデルとそれぞれのコントローラの必要機能とCAN通信部分を組み合わせてシミュレーションモデルを構築した (fig. 7)。

減速シーンでの燃費およびLow戻り性能はCVTからの回生トルク制限で決まり、回生トルク制限は発生可能圧の挙動で決まる。さらに発生可能圧の挙動はメカオイルポンプからの供給流量とC/Vでのリークおよびプーリのストロークによる消費流量の差から決まる。またプーリのストローク速度は発生可能圧によって決まる。つまり燃費およびLow戻り性能の影響因子は、互いに影響し合う発生可能圧とプーリストローク速度およびメカオイルポンプの回転であり、発生可能圧は流体解析ツール (Fig. 8) で予測可能である。これらの互いに影響し合う要素をCVTモデルに持たせることで、実機相当の挙動をシミュレーションで得ることができた。

このシミュレーションを用いて、確認すべき運転パターンを考慮し、燃費性能とLow戻り性能が確保されていることを検証した。

At the stage of designing this torque-limit function, it was estimated by means of a simple design at representative operating points that it would not affect fuel economy. However, verification of the effect on fuel economy was not undertaken for all the driving situations requiring confirmation. It was decided to apply MBD to predict vehicle performance theoretically.

MBD is a development method in which software and hardware functions are represented in simulation models that are used in the development process from the upstream to the downstream stages. Verification and evaluation are repeatedly done beginning from the upstream design process with the aim of improving quality and development work efficiency.

### 3.1 Configuration of overall simulation model

An overall simulation model was configured by combining plant models of the engine, motor, CVT and vehicle, the necessary functions of their controllers and a CAN communication model (Fig. 7).

Fuel economy and downshift performance in deceleration situations are determined by the regenerative torque limit requested by the CVT controller. The regenerative torque limit is determined by the behavior of the maximum potential pressure. Further, the behavior of the maximum potential pressure is determined by the difference between the flow rate supplied by the mechanical oil pump and the control valve leakage as well as the flow rate consumed for

### 3.2 シミュレーション結果

車両性能予測結果をfig. 9に示す。通常の実用走行で使用する低減速度帯では回生トルク制限機能は作動せず、燃費性能とLow戻り性能が達成できるという予測結果を得た。また、Low戻り要求が優先される高減速度帯では回生トルク制限機能が作動し、協調回生が無いCONV同等のLow戻り性能を達成できるという予想結果を得た。この結果により、良好な燃費を実現することとLow戻りの性能目標を達成することの両立が可能であることが確認できた。

また、このシミュレーション結果は実機結果の試行回バラつきの内側に入る結果で、このシミュレーションは減速シーンでの車両性能予測の検証を行うことができることを示せた。

## 4. まとめ

本稿では、FF-HEVシステムで重要となる、減速シーンでの最大限のエネルギー回生による燃費向上とLow戻り性能を達成させるための協調回生制限制御を開発できた。さらにMBDの適用により、車両性能を予測し、実験確認前の早期の段階で車両性能の目標達成目途を立てることができた。今後、車両システムに基づいたさまざまなシーンでの車両性能予測を行うために、MBDのさらなる活用をしたいと考えている。

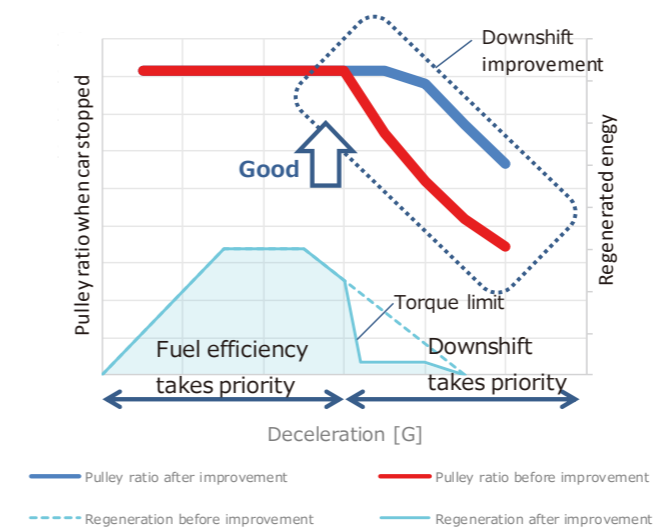


Fig. 9 Result of vehicle performance prediction

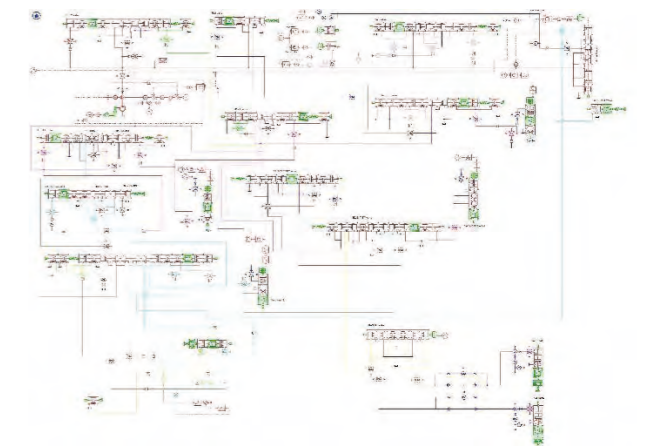


Fig. 8 Pressure control system model

stroking the pulleys. In addition, the pulley stroking speed is determined by the maximum potential pressure. In other words, the factors influencing fuel economy and downshift performance are the maximum potential pressure, pulley stroking speed and the mechanical oil pump speed, which influence each other. The maximum potential pressure can be predicted using the pressure control system simulation model shown in Fig. 8. The elements that influence each other were embodied in the CVT model, which made it possible to simulate behavior corresponding to actual CVT operation. Accordingly, in order to verify the effect on vehicle performance, the CVT model embodied these elements that influence each other, thereby making it possible to simulate behavior under conditions corresponding to actual operation.

This simulation model was used to verify that fuel economy and downshift performance were assured, taking into account the driving patterns where that confirmation was needed.

### 3.2 Simulation results

The results of the vehicle performance prediction are shown in Fig. 8. In the low deceleration range specified in the fuel economy test mode, the function for limiting regenerative torque was not activated, and the prediction results indicated that the desired fuel economy and downshift performance could be achieved. In addition, in the high deceleration range where priority was given to downshift performance, the function for limiting regenerative torque was activated; the results indicated that downshift performance equal to that of a conventional CVT without cooperative regeneration control could be achieved. These results thus confirmed that both excellent fuel economy and the targeted downshift performance were obtainable.





# 操作パターン自動生成と異常自動検知によるソフトウェア品質保証

Quality Assurance by Automatic Abnormal Behavior Detection and Test Pattern Generating System

芹澤 謹男\*  
Norio SERIZAWA

篠原 一\*  
Hajime SHINOHARA

神代 洋記\*  
Hiroki KUMASHIRO

森 晃賢\*  
Akimasa MORI

**抄 録** トランスミッション性能評価では異常な挙動を開発段階で確実に検出して市場に流出させないことが重要である。特にソフトウェアの品質保証は異常挙動の検出が難しい。本稿では、ソフトウェアの品質保証のために新たに開発した異常自動検知システムを紹介する。

**Summary** In evaluating transmission performance, it is essential to detect any abnormal behavior without fail at the development stage so that defective units are not sent to the market. It is especially difficult to detect abnormal behavior in quality assurance for software. This article describes an automatic abnormal behavior detection system that has been newly developed for assuring software quality.

## 1. はじめに

ATユニットの不具合流出防止方法として、従来は全て車両を使い、収録したデータを元に異常挙動の有無の確認と、それに基づくフィードバックを繰り返していた。最近ではシミュレーション技術の向上により、実車に近い挙動を机上で再現できるHILS (Hardware In the Loop System) (Fig. 1)を用い車両と並行して確認を行っている (Fig. 2)。

しかし多段化による状態遷移の複雑化、および高機能化が進む中、従来の方法で全ての制御を確認するには限界があり、開発の早期段階において全ての異常挙動を検出することが難しくなってきた (Fig. 3)。

そこでドライバーが行う運転操作パターンを洗い直し、HILSの機能を使った自動異常検知システムを開発した。

HILS: Hardware In The Loop Simulation							
	Vehicle Body	Engine	C/U except ATCU (ECU etc.)	AT Unit	ATCU (FW+OS)	Actuator (Solenoid)	Software
MILS	Simulation Model	Simulation Model	Simulation Model	Simulation Model	Simulation Model	Simulation Model	MBD
HILS	↑	↑	↑	↑			Original
Dynamo	-						Original
Vehicle							Original

Fig. 1 About HILS

## 1. Introduction

In the past, the procedure for preventing shipment of defective ATs involved in-vehicle testing of every unit. The recorded test data were then checked to see if any abnormal behavior had occurred, and the results were fed back for corrective action if necessary. That process was carried out repeatedly. As a result of the improvement of simulation technology in recent years, simulations performed with a hardware-in-the-loop system (HILS) can reproduce behavior close to that an actual vehicle (Fig. 1). We now conduct HILS simulations in parallel with in-vehicle testing to conform AT quality (Fig. 2).

However, state transitions are now more complex due to the addition of more speed ranges to ATs and also more advanced functions are being adopted, thus limiting the ability to confirm all the control procedures with the existing method. It has become more difficult to detect all

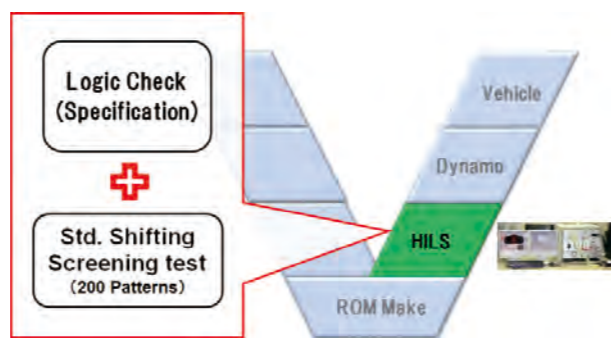


Fig. 2 Current HILS testing process

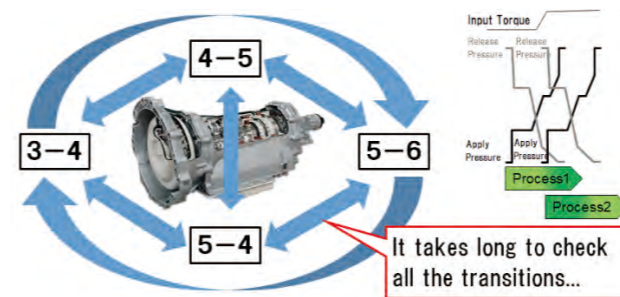


Fig. 3 Recent shift control transition

車両確認と並行して本システムを使うことにより、開発早期段階での異常検知が可能となった。以下、その内容について紹介する (Fig. 4)。

## 2. システム開発の背景と狙い

### 2.1 課題と解決方策

従来プロセスの課題

- ・実車チェック前のHILSチェック段階で、ソフトウェアに起因する異常挙動の検出漏れが発生しており、実車試験で初めて検出されていた。
- ・将来の制御規模拡大により、検出に要する工数と時間が増大し、処理しきれなくなることが危惧される (Fig. 5)。

解決方策

- ・HILSチェックにおける運転操作パターンを増強する。
- ・運転操作パターンの生成と異常挙動の検知を自動化する。

### 2.2 システム構成

新たに知見者の目線でアクセルペダル操作やシフトレバーやスイッチの操作、およびそれらの操作タイミング等の考慮すべき観点を洗い出し、それらを組み合わせてありえる運転操作パターンを自動生成するシステムを構築した。

それにより約20万の運転操作パターンが自動生成され、HILSチェックに活用されるシステムとした。

さらに知見者の目線でチェックの観点を洗い出し、異常挙動の自動検出を行うシステムも同時開発した。

また、上記の運転操作パターンの増強によりHILSチェック時間が長くなることへの対処として、判定した異常がHILSチェックと並行してリアルタイムに判別できる機能を付与することにより、ソフトウェアへのフィードバックを早期化できるシステムとした。

以上の3つの特徴について以下に詳細を解説する。

abnormal behavior at the early stage of AT development (Fig. 3).

Therefore, we identified the driving operation patterns that drivers might perform and developed a system for automatically detecting abnormal behavior using HILS functionality. Using this system in parallel with in-vehicle testing now makes it possible to detect abnormal behavior at the early stage of the development process. The details of this system are explained below (Fig. 4).

## 2. Background and Aims for System Development

### 2.1 Issues and solutions

The previous process had the following issues.

- Some abnormal behavior originating in the software missed being detected at the HILS screening stage prior to in-vehicle testing and was first detected in vehicle tests.
- There was a risk that future expansion of the scope of control would increase the man-hours and time needed for detection, making it difficult to confirm the quality of all units with the existing process (Fig. 5).

The following solutions to these issues were devised.

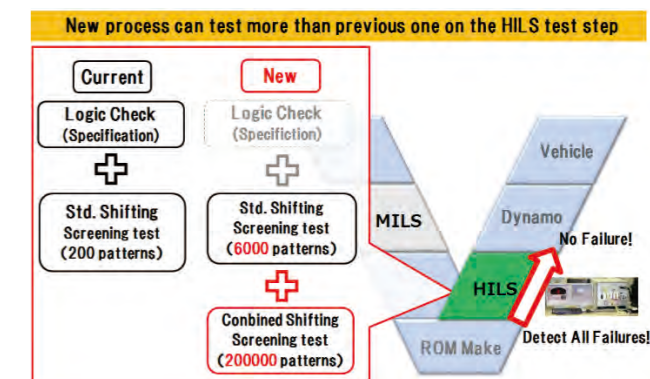


Fig. 4 New HILS testing process

In the near future, testing may become difficult if we use the current system



Fig. 5 Future prediction

\* 実験部  
Experiment Department



### 3. 操作パターンの自動生成と実行

#### 3.1 操作パターンの絞り込み

過去に見逃しが発生した操作パターンを徹底的に分析し、変速中の制御遷移中に操作が加わった時が検出漏れの大部分を占めていることが判明した。この種の操作パターンを強化することで検出漏れの削減を狙った (Fig. 6).

#### 3.2 操作パターンの生成

確認に必要な条件を洗い出した結果、操作の組み合わせは20万件を超える数となった。そのため、各操作項目(ex.スロットル、ブレーキ、操作タイミング)に対し因子を決め、それをパラメータとして自動的に操作パターンを生成するロジックを開発した (Fig. 7).

この方法によりプロジェクトの特性に合わせ、後から粒度を細かくしたり、荒くする等の操作パターンのアレンジも容易に行うことができるようにした。

#### 3.3 操作パターン自動実行方法

自動実行のプログラムは共通化し、生成した操作パターンファイルを順次読み込むことにより実行する (Fig. 8).

必要などころのみ実行することによってHILS実行時間を短縮したり、複数のHILSで並行して実行できることも狙って、自動実行プログラムにはスキップ機能も持たせた。例えばスキップ機能を使うことにより、HILS設備Aはパターン1~10000、HILS設備Bは10001~20000等、分散して実行することが可能となり、HILS台数が多いほどテスト時間が短縮できる。また、就業時間は実験に使用している設備でも、休日・夜間だけ回すことが可能となり、効率よく分散して自動実行を行うことができる。

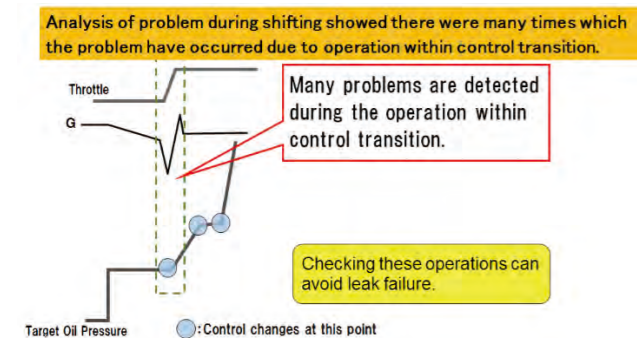


Fig. 6 Analysis of operation during the shifting

- To increase the number of driving operation patterns screened by HILS.
- To automate the generation of driving operation patterns and the detection of abnormal behavior.

#### 2.2 System configuration

The aspects that should be considered in developing the system were newly identified from perspectives of experts and included the operation of the accelerator pedal, shift lever and switches and the respective timing of such operations. A system was then built for automatically generating driving operation patterns that combine these operations. As a result, approximately 200,000 operation patterns can be automatically generated by the system adopted for use in the HILS screening process.

Moreover, the points to be checked were also identified from the perspectives of the experts, and a system for automatic detection of abnormal behavior was also developed simultaneously.

A measure was also taken for dealing with the longer HILS screening time required owing to the increase in the number of driving operation patterns. A function was added for making real-time judgments in parallel with the detection of abnormal behavior by HILS screening. This resulted in a system capable of providing earlier feedback to the software development process.

These three functions are explained in detail below.

### 3. Automatic Generation and Execution of Operation Patterns

#### 3.1 Clarifying of key operation patterns

A thoroughgoing analysis was made of operation patterns that were previously overlooked. It was found that a large majority of detection misses occurred when an additional operation was performed during a control transition while shifting. Detection of such patterns was strengthened with the aim of reducing detection misses (Fig. 6).

#### 3.2 Generation of operation patterns

As a result of identifying the conditions needed for confirmation of abnormal behavior, the number of combined operation patterns exceeded 200,000. For that reason, factors related to each operation item (e.g., throttle input, brake pedal depression, operation timing, etc.) were determined and control logic was developed for automatically generating operation patterns using those factors as parameters (Fig. 7).

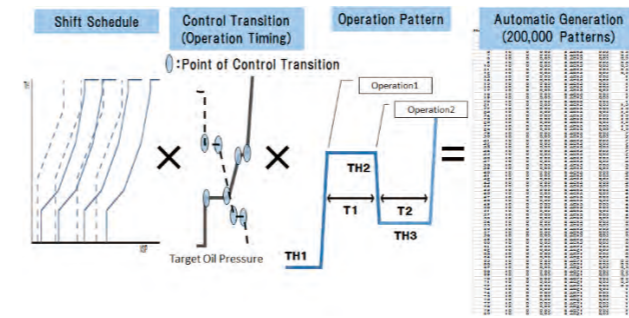


Fig. 7 Automatic test pattern generating system

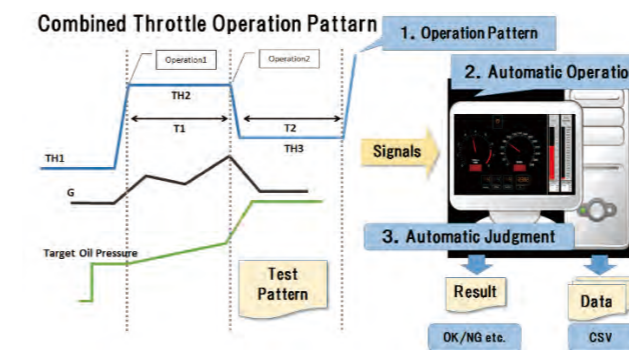


Fig. 8 Automatic abnormal behavior detection system

## 4. 自動異常検出

### 4.1 異常検知条件

経験上、ATユニットで異常と言われる現象の原因は、Fig. 9のいずれかに当てはまる。そこでFig. 9の現象を検知するロジックをモデルにて作成し、HILSモデルに組み込み、検知結果を同時収録するようにした。

20万件以上に及ぶ操作パターンを実行することから、時間軸波形を全て見て異常を判別することは現実的ではない。そこで異常検知結果を時間軸波形とは別に、一覧で確認できるよう検知結果ファイルに自動で書き込まれるようにした。

	Item	Condition	
Failure	Failure	ATCU detects Failures	Failure Flag
Abnormal Behavior	Engine Rev.	Out of the standard range during the shifting	Qt
	Gear Ratio	Out of the standard range except the shifting	Gr
	Target Clutch Oil Pressure (RAM)	Abrupt value changes within the specified time Constant value exceeds the specified time within the specified range	Prst Prst
Performance	Acceleration	Out of the specified range	G
	Throttle Response	Response time exceeds the specified time	APQ

Fig. 9 Detection items and conditions

The adoption of this method makes it easy to adjust the operation patterns later to match the characteristics of the unit under development, such as by making the granularity finer or coarser, among other things.

#### 3.3 Method of executing operation patterns automatically

The program for automatic execution is shared in common and the generated operation pattern files are read in successively and executed (Fig. 8).

The time for conducting a HILS screening test is shortened by executing only the places that are necessary and by adding a skip function to the automatic execution program with the aim of using multiple HILS computers to run screening tests in parallel. For example by using the skip function, patterns can be distributed to multiple computers for execution, such as by assigning patterns 1-10000 to HILS computer A, patterns 10001-20000 to HILS computer B and so on. The test time is shortened as the number of HILS computers is increased.

With regard to working hours, the computers used in the screening tests can also be assigned for that purpose just on non-working days and at night, making it possible to distribute the test patterns efficiently for automatic execution.

### 4. Automatic Abnormal Behavior Detection

#### 4.1 Conditions for abnormal behavior detection

On the basis of experience, the causes of phenomena regarded as abnormal behavior for an AT correspond to one of the conditions listed in fig.9. Therefore, a model was created of the logic for detecting the phenomena in the figure and incorporated in the HILS model for simultaneously recording the detection results.

Because the number of operation patterns executed exceeds more than 200,000, it is not realistic to inspect all the time-axis waveforms and judge abnormal behavior. Therefore, separate from the time-axis waveforms, the abnormal behavior detection results are automatically compiled into a detection results file so that they can be read through easily for confirmation (Fig. 9).

#### 4.2 Suspension of measurement when abnormal behavior is detected

Automatic execution of a screening test is suspended to avoid lost time when abnormal behavior is clearly detected and it is judged that there is a problem in the ROM itself.







# 非接触での動体挙動計測を可能とする新手法の開発

New Non-contact Measurement Method for Moving Parts

金山 義輝\* Yoshiteru KANAYAMA  
 塘 健志\*\* Kenji TSUTSUMI  
 三浦 吉孝\*\* Yoshitaka MIURA

**抄 録** 自動車用に量産されている無段変速機(以下CVT)は、Fig.1に示すように多数の回転部品で構成されており、噛みあいによるノイズ発生部位が多数存在する。ノイズを抑制するためには、各回転部位の構成要素である部品の精度バラツキを把握し、感度が高い部位についてはバラツキを適正レベルに管理する必要がある。また、量産の場合には生産タクトに合わせ短時間で計測することも求められるため、個々の構成要素に分解しての測定ではなく、Assy状態・非接触で全数検査できるような新計測技術が求められている。

本開発ではCVTの動力伝達におけるチェーンノイズと相関が高いピン長さの計測を題材にして、新計測手法を開発した。本稿ではその概要について紹介する。

**Summary** A mass-produced continuously variable transmission (CVT) for automotive use consists of many rotating parts as shown in Fig. 1. There are many parts that produce noise due to meshing. In order to suppress noise, variation in the accuracy of the components forming each rotating part must be identified, and for parts showing high sensitivity, such variation must be controlled to an acceptable level. In addition, in mass production operations, measurements must be made quickly to match the production takt time. For that reason, there is a need for a new measurement technology that can measure all units by a non-contact method in an assembled condition, without disassembling them into their individual components.

This article presents an overview of a new measurement method that was developed for measuring the pin length, which correlates highly with chain noise during power transmission in a CVT.

## 1. 計測手法開発の狙い

チェーンノイズは、チェーン一周の長さの他に、1本1本のチェーンピンの長さ、端面角度、ピン間隔(ピン配列)など、Fig. 2に示すスペックとの関係がある。その中でもピン長さはチェーンノイズとの相関が高いことが知られている。

そこで、チェーンをAssyのまま、回転させながら、全数(約150本)のピン長さを短時間で計測し、その長さの分布やバラツキを定量化する非接触の計測技術の開発に取り組んだ。

## 2. 現状の計測手法の課題

従来、CVT用チェーンに使用しているピン全数の長さ測定は、分解(一部破壊)を伴うため、再組み立て時の再現性に難があった。

## 1. Development Aims for New Measurement Method

In addition to the overall chain length, chain noise is related to the specifications shown in Fig. 2, including the length of each chain pin, end face angle and pin pitch (pin configuration). Among them, the pin length is known to correlate highly with chain noise.

Therefore, in this project we developed a non-contact method for measuring quickly the length of all of the approximately 150 pins of the chain assembly while it is rotating and for quantifying the pin length distribution and variation.

## 2. Issues in Current Measurement Method

Conventionally, the length of all the pins used in the CVT chain has been measured after disassembling (or partially breaking) the chain. It has been difficult to reproduce the same configuration when the chain was reassembled.

\* 先行技術開発部  
Advanced Technology Development Department

\*\* 日産自動車株式会社 パワートレイン技術開発本部 パワートレイン先行技術開発部  
Powertrain Advanced Technology Development Department, Nissan Motor Co., Ltd.



Fig. 1 CVT internal structure model

さらに、チェーンノイズとスペックの感度の取得には、数多くの供試品の測定が必要であり、チェーンAssyの分解が必要な現状の計測手法では、多大な時間がかかっていた。

## 3. 新計測手法の開発目標

CVT用チェーンのピン長さの新計測手法開発においては、以下を目標とした。

- ・チェーン1本のピン全数測定時間の大幅な短縮(現状400分以上⇒5分以内)
- ・非分解で測定
- ・計測状態が実際の稼働状態に近い
- ・ノイズ管理に適用できる十分な計測精度

## 4. 新計測手法の概要

### 4.1 計測システムの構成

Fig. 3に示すように、実際のCVTバリエータの運転時と同等の状態を再現し、チェーンの直線部が露出している部分(以下空間位置)を設けた。

空間位置には複数の変位計を設置し、空間位置にあるピンを計測するシステムとした。

Table 1 DA of sensor selection

Measuring system	Measurement type	Pin measurement	Chain measurement	Judgment
Non-contact system	Optical camera	Result --	Result ++	Valid for auxiliary function. (ex. the measurement of pin position)
	Projection container	Ex) Hidden parts could not be measured.	Result --	Unsuitable. Disassembly was necessary.
	Laser sensor (1D and 2D)	Result ++	Result +	Usable. Consider a measurement system using laser sensors.

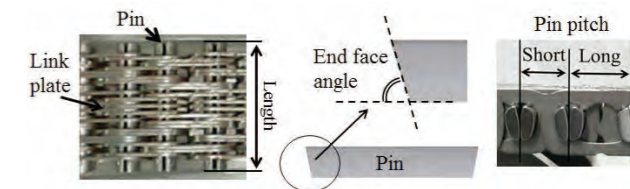


Fig. 2 Names of CVT chain specifications

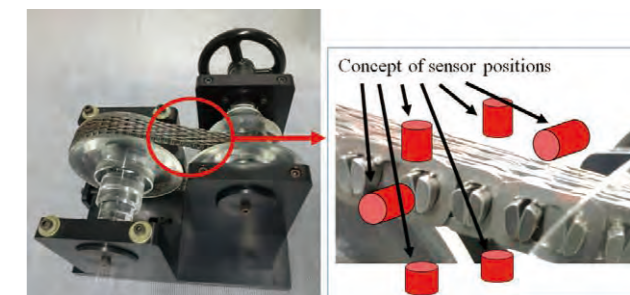


Fig. 3 CVT model stand

Moreover, a large number of prototype chains had to be measured in order to determine the sensitivity of chain noise to the specifications. The current measurement method has required a large number of man-hours because it has been necessary to disassemble the chain.

## 3. Development Objectives for New Measurement Method

The following objectives were set for the development of the new method of measuring the length of CVT chain pins.

- To substantially reduce the time needed to measure all the pins in one chain (from more than 400 min. at present to less than 5 min.)
- To measure the pin length without disassembling the chain
- To measure the pin length under a condition close to that of actual operation
- To obtain sufficient measurement accuracy for application to noise management

## 4. Overview of New Measurement Method

### 4.1 Configuration of measurement system

As shown in Fig. 3, the system reproduces a condition equal to that during actual operation of the CVT variator with the straight portion of the chain exposed in the measurement space. Multiple displacement sensors are installed in the measurement space to measure the length of the pins in that space.



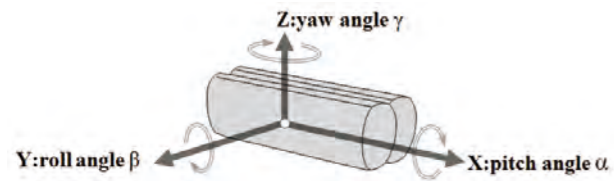


Fig. 4 Definition of pin attitude



Fig. 5 Measurement points

4.2 測定器の選定

空間位置に設置する変位計の選定は、Table 1に示すDecision Analysisを実施し<sup>1) 2) 3)</sup>、精度の確保と処理時間の短縮化に最も有利な、レーザーを用いた非接触式変位計を選定した。

4.3 ピン長さの計測方法

動的な状態でチェーンピン長さを計測するためには、まず、ピンのX, Y, Z軸(ピッチ角 $\alpha$ , ロール角 $\beta$ , ヨー角 $\gamma$ )姿勢を把握しなければならない。

そこで、ピンの姿勢をFig. 4のように定義した。

また、ピン姿勢を計測するための、ピンの空間位置を算出する複数の測定ポイントを、Fig. 5に示す位置とした。

以上より、ピン長さ $L$ は、Fig. 6に示す①-②と③-④のそれぞれの中点(○)と、ピン両端面の頂点(●)を結んだ直線部の長さとして定義した。

4点の空間位置から、チェーンピン長さを算出するために、レーザー変位計は複数配置とした。

Fig. 7のように2種類の用途の変位計(2D形状測定タイプ, 1D変位計タイプ)を合計6台設置した。

Fig. 8に1D変位計タイプを示す。これらのデータから、ピン姿勢(ピッチ角 $\alpha$ , ロール角 $\beta$ , ヨー角 $\gamma$ )を算出する。

ピン端面形状の計測には、Fig. 9に示す2D形状測定タイプを用いる。これらのデータをピン長さ $L$ の算出に用いる。

以上の考えをもとに測定器(Fig. 10)を製作し、測定精度および測定に要する時間を検証した。

4.2 Selection of measuring instruments

As outlined in Table 1, a decision analysis (DA) was conducted to select the measuring instruments to be installed in the measurement space.<sup>(1-3)</sup> Non-contact laser displacement sensors were selected as the most effective devices for ensuring accuracy and shortening the processing time.

4.3 Method of measuring pin length

In order to measure the chain pin length in a dynamic state, it is first necessary to know the pin attitude in the X, Y, Z axes in terms of the pitch angle  $\alpha$ , roll angle  $\beta$  and yaw angle  $\gamma$ . Accordingly, the pin attitude was defined as shown in Fig. 4.

In addition, in order to measure the pin attitude, multiple measurement points were defined at the positions shown in Fig. 5 for calculating the pin position in the measurement space.

Based on these definitions, the pin length  $L$  was defined as shown in Fig. 6 as the length of a straight line connecting the two end points (closed circles ●) faces of the pin, crossing through the respective middle points (open circles ○) between the line (1) and (2) and the line (3) and (4).

Multiple laser displacement sensors were positioned for calculating the chain pin length from the four points defined in the measurement space. As shown in Fig. 7, two types of displacement sensors are used, making a total of six sensors. One type is for obtaining 2D shape measurements and the other type is a 1D displacement sensor.

The arrangement of the 1D laser displacement sensors is shown in Fig. 8. Based on the measured data obtained with these sensors, the pin attitude is calculated in terms of its pitch angle  $\alpha$ , roll angle  $\beta$  and yaw angle  $\gamma$ .

As shown in Fig. 9, the 2D shape measurement sensors are used to measure the shape of the pin end faces. The measured data are used in calculating the pin length  $L$ .

Based on the foregoing concept, the measuring instruments (Fig. 10) were manufactured, and their measurement accuracy and the required measurement time were verified.

5. Verification of New Measurement Method using Actual Chains

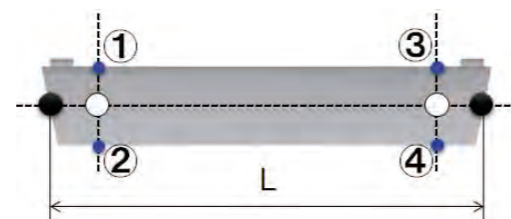


Fig. 6 Length of a pin

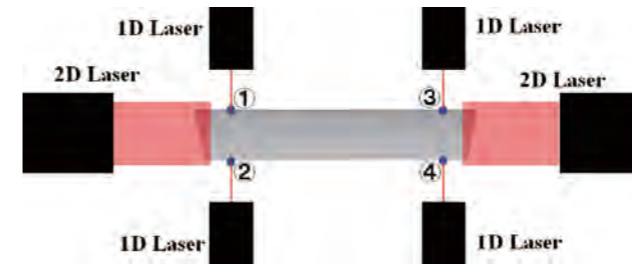


Fig. 7 Type of laser sensors

5. 新計測手法の実機検証

5.1 ピン姿勢の計測結果

チェーンピンはリンクプレートでつながっているため、並びあう前後のピンのロール角とヨー角は一致するはずである。またピッチ角はピンが回転しうる角度以内となるはずである。実機検証ではそれを検証した。

Fig. 11にピン姿勢の定義と計測結果を示す。

- ・ピッチ角 $\alpha$   
⇒各ピンのピッチ角は想定される[先行ピン+後続ピン]/2にあたる3°付近となり、妥当な計測結果であった。
- ・ロール角 $\beta$   
⇒ピン上下各2点の変位差からロール角の計測を行った。ピン上面側と下面側が同じ傾向を示しており、妥当な計測結果<sup>4)</sup>と考えられる。
- ・ヨー角 $\gamma$   
⇒ピン上面左右2点の時間差によりヨー角の計測を行った。先行ピンと後続ピンのヨー角は一致しており、妥当な計測結果<sup>4)</sup>と考えられる。

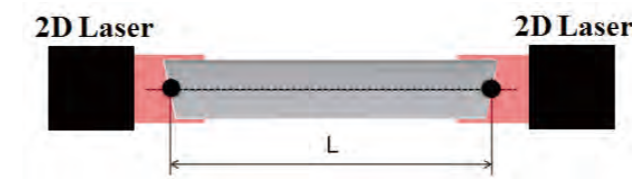


Fig. 9 2D Laser sensors

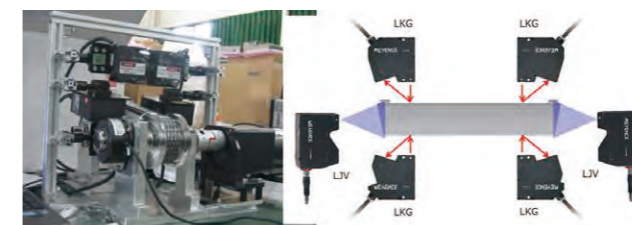


Fig. 10 Measurement setup

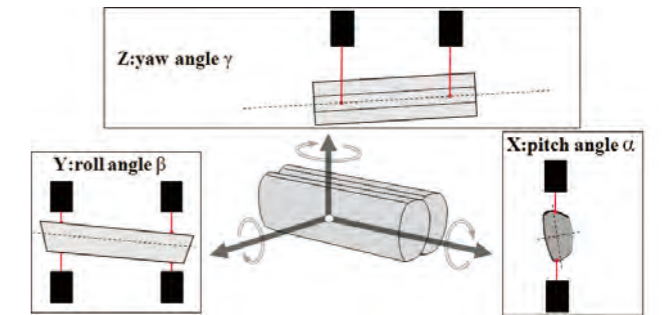


Fig. 8 1D Laser sensors

5.1 Measured results for pin attitude

Because the chain pins are connected to the link plates, the roll angle and yaw angle of adjacent pins arranged in a row should be consistent. In addition, the pitch angle should be within an angle range that allows the pins to rotate. These points were investigated in verification tests conducted on actual chains. Figure 11 shows the definition of the pin attitude and the measured results.

- Pitch angle  $\alpha$   
The pitch angle of each pin was envisioned to be approximately 3° corresponding to (preceding pin + following pin)/2. The measured results were in line with this concept.
- Roll angle  $\beta$   
The roll angle was measured from the displacement of the pin at the two top and two bottom points. The upper and lower surfaces showed the same tendency, so the measured results were presumably valid.<sup>(4)</sup>
- Yaw angle  $\gamma$   
The yaw angle was measured in terms of the time difference between the two points on the left and right sides of the upper surface. The yaw angles of the preceding pin and following pin coincided, so the measured results were presumed to be valid.<sup>(4)</sup>

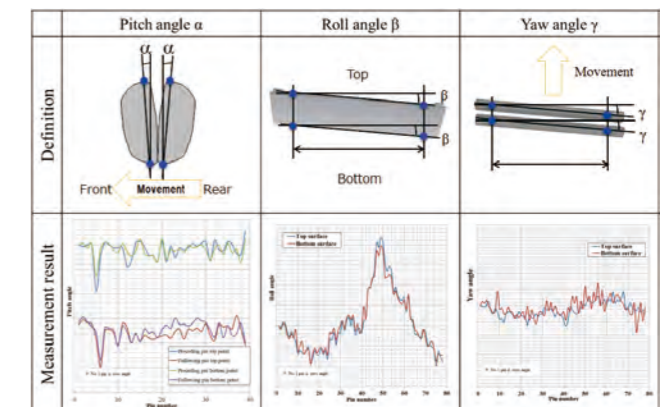


Fig. 11 Measurement results for pin angles



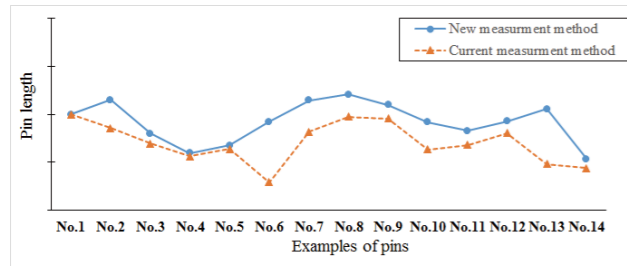


Fig. 12 Comparison of pin length

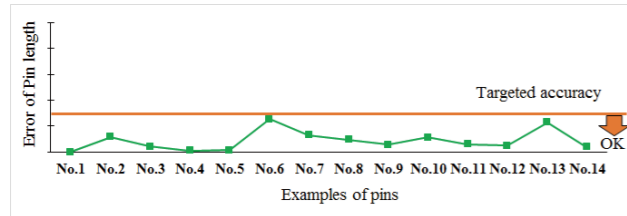


Fig. 13 Accuracy of pin length

## 5.2 ピン長さの測定結果

前節のピン姿勢の測定結果を用いて、ピン長さの算出を行った。新計測手法と従来手法にてそれぞれピン長さLを計測し、比較・検証した。

ピン長さLは、新計測手法と従来手法で同じ傾向を示した(Fig. 12)。

そして精度は、目標精度以内に収まっており、チェーンピン長さ計測精度は目標精度を満足できることが確認できた(Fig. 13)。

## 5.3 新計測手法による測定時間の短縮

今回の測定では、チェーンAssyを台にセットする時間を含め計測時間は4分程度となり、時間短縮の目標を達成した(Fig. 14)。

## 6. まとめ

本開発において、以下の結果を得た。

- ・CVTでの稼働に近い状態で、かつ、非分解で計測できる新計測手法を開発できた。
- ・測定精度は、ピン姿勢の補正を加えることで、目標精度を満足することを確認できた。
- ・ピン全数の測定時間は大幅に短縮し、目標時間を達成できた。

本手法が、量産で活用できることを期して、さらに改良を加えていきたい。

## 5.2 Measured results for pin length

The pin length was calculated using the measured results for the pin attitude presented in the preceding section. The pin length L was measured with both the current method and the new method and the results were compared to verify the new method. The pin length L showed the same tendency for both the new and current measurement methods (Fig. 12).

The accuracy of the measured pin length was within the targeted accuracy. This confirmed that the accuracy of the chain pin length measured with the new method satisfied the targeted accuracy (Fig. 13).

## 5.3 Shortening of measurement time with the new measurement method

The measurement time with the new method was around 4 min., including the time for setting up the chain assembly on the stand. The objective of shortening the measurement time was clearly achieved (Fig. 14).

## 6. Conclusion

The following results were obtained in this development project.

- A new non-contact measurement method was developed for measuring the length of CVT chain pins under a condition close to that of actual CVT operation.
- It was confirmed that the measurement accuracy satisfied the targeted accuracy as a result of adding compensation for the pin attitude.
- The time needed for measuring all the pins was markedly shortened, thus achieving the targeted measurement time.

It is expected that this new method can be used in mass production operations and it will be further improved in the future.

Finally, the authors would like to thank everyone involved for their invaluable cooperation with the development of this new measurement technology.

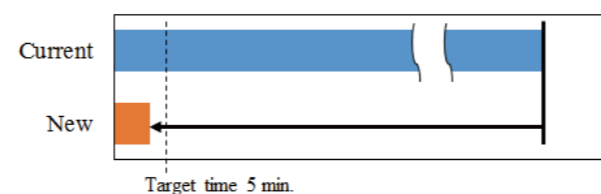


Fig. 14 Measurement time

最後に本計測技術の開発にご協力いただいた方々に感謝の意を表す。

## 7. 参考文献

- (1)吉澤徹：光による三次元形状計測技術の最新動向，計測と制御 第50巻，P80-P88，計測自動制御学会，2011年2月号。
- (2)高井利久：ポイント光走査方式による形状測定装置，計測と制御 第50巻，P118-P125，計測自動制御学会，2011年2月号。
- (3)三浦勝弘：ポイントオートフォーカス法による光学素子の表面形状測定，計測と制御 第50巻，P138-P142，計測自動制御学会，2011年2月号。
- (4)久米達哉ほか：複数の変形計を用いた形状測定における導出形状の比較，2007年度精密工学会春季大会講演論文集，P323-P324，精密工学会。

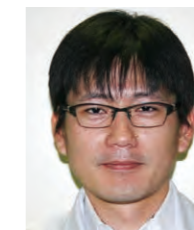
## 7. References

- (1) Tohru Yoshizawa, "Recent Trends in Laser-based 3D Shape Measurement Technology," Journal of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol. 50, pp. 80-88, February issue, 2011 (in Japanese).
- (2) Toshihisa Takai, "3D Shape Measurement System by Point Laser Scanning," Journal of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol. 50, pp. 118-125, February issue, 2011 (in Japanese).
- (3) Katsuhiko Miura, "Surface Shape Measurement of Optical Elements using the Autofocus Point Method," Journal of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol. 50, pp. 138-142, February issue, 2011 (in Japanese).
- (4) Tatsuya Kurume, et al., "Comparison of Derived Shapes in Shape Measurement using Multiple Displacement Sensors," Transactions of the 2007 Spring Conference of the Japan Society for Precision Engineering, pp. 323-324 (in Japanese).

■ Authors ■



Yoshiteru KANAYAMA



Kenji TSUTSUMI



Yoshitaka MIURA

# 異音検出システムの実用化

Implementation of an Abnormal Noise Detection System

御手洗 睦\*  
Mutsumi MITARAI

高岡 史和\*\*  
Fumikazu TAKAOKA

**抄 録** ジヤトコ生産工場では、日夜、生産品質向上を目指し、さまざまな活動を推進中である。

本稿では、その活動事例として、開発部門と生産部門とが連携し、AT・CVTユニットから発生する異音を検出する新システムを開発しその実用化を行ったので報告する。

**Summary** At JATCO's production plants, we are constantly promoting various activities aimed at improving production quality. As one example of these efforts, the R&D Division and the Production Division worked together to develop and implement a new system for detecting abnormal noise produced by ATs and CVTs. This article describes the details of this system.

## 1. はじめに

## 1. Introduction

AT・CVTユニットから発生する音・振動の品質保証は、その発生メカニズムが明らかになっているギヤノイズについては、定量評価できる起振力測定システム<sup>1)</sup>で判定している。

一方、その発生メカニズムが特定されていない異音に関しては、定量的な品質保証手段が確立できておらず、熟練した検査員による官能評価を行っており、生産品質バラツキの原因にもなっていた。

本システム開発では、ユニットの品質向上を狙いとした異音の定量化手法の開発に取り組むことにした。

Quality assurance regarding the noise and vibration produced by ATs and CVTs is judged by using a vibration measurement system<sup>(1)</sup> capable of quantitatively evaluating gear noise that is clearly known to be the causal mechanism.

On the other hand, quantitative quality assurance methods have yet to be established for abnormal noise, the causal mechanism of which has not been identified. Abnormal noise has been evaluated subjectively by skilled and experienced inspectors and has been one cause of variation in production quality.

In this project, we set about to develop a method for quantifying abnormal noise with the aim of improving transmission quality.

## 2. 異音とは

## 2. What is Abnormal Noise?

開発・企画段階から、その発生メカニズムが明確な音・振動については、発生条件、分析手法や判断基準が明確になっている。

一方、異音と呼ばれる現象は、設計・企画段階で発生が想定されていない現象や、部品製造や組み立てによる想定外の不具合に起因する現象をいう。

このような異音は、発生する条件、周波数、そのレベルを予測できず、事前に定量評価法を検討できないということが、ますます品質保証を困難にさせている。

Fig. 1にユニットの異音分析事例を示す。X軸に周波

For noise and vibration for which the causal mechanism is clearly known, the conditions producing these phenomena, analysis methods and judgment criteria have been defined beginning from the planning and development stages.

However, the phenomena referred to as abnormal noise include things whose occurrence cannot be envisioned at the planning and design stages as well as phenomena caused by unexpected defects or troubles in the parts manufacturing and assembly processes.

The conditions producing such abnormal noise as well as their frequencies and levels cannot be predicted. Because quantitative methods of evaluating such noise cannot be verified in advance,

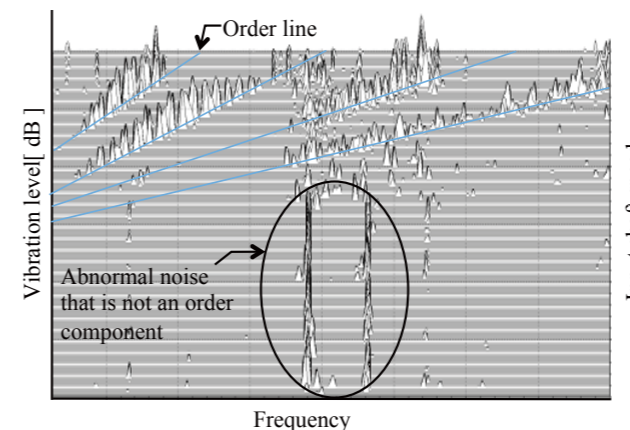


Fig. 1 3D map of abnormal noise example

数、Y軸に回転数、Z軸に起振力レベルを示した図である。異音発生時には、ギヤ次数成分でないピークが発生している(○印)。この異音を検出するためには、従来の分析手法ではなく新たな分析手法が必要となる。

## 3. 異音検出システムの概要

### 3.1 異音検出口ジック

異音現象とは、正常なユニットで発生している音・振動レベルから大きくかけ離れた音・振動をいう。

その現象分析事例を、Fig. 2に示す。ある周波数F0における正常レベル $\alpha$ に対して、異音レベルは $\alpha + \beta$ となる。

### 3.2 異音の定量化手法

ファイナルテスターで、異音信号を定量的に検出できる考え方をFig. 3に示す。

対象となる音・振動の信号をある一定時間計測し、1/3オクターブ分析により、それぞれその周波数帯の音・振動レベルのデータを収集する。

ユニットの周波数帯毎のデータから、

$$\text{計測時間毎に求めた判定基準値} = \text{サンプル平均値} + \alpha \times \text{標準偏差}$$

を求め、正常なユニットで発生している現象のレベルと定義し、これを基準値とする。

このレベルを超えたものを異音と判定することとした。

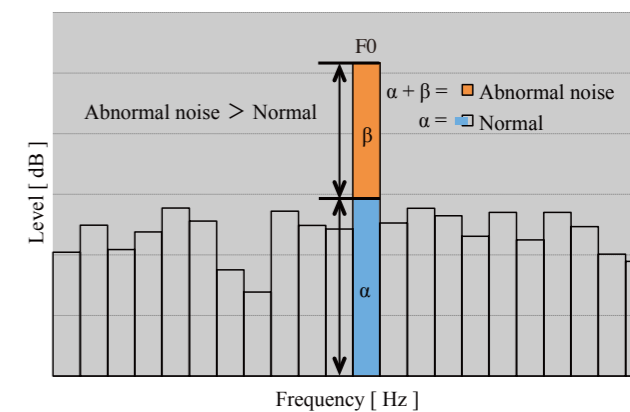


Fig. 2 Concept of the detection of abnormal noise

these phenomena make quality assurance all the more difficult.

Figure 1 shows an example of an analysis of abnormal transmission noise. The X-axis shows the frequency, the Y-axis the input shaft speed and the Z-axis the vibration level. It is seen that when abnormal noise occurred, peaks occurred (enclosed in the oval) that were not order components of gear noise. Detection of such abnormal noise requires a new analysis method instead of conventional analysis techniques.

## 3. Overview of Abnormal Noise Detection System

### 3.1 Abnormal noise detection logic

Abnormal noise refers to noise and vibration phenomena that are markedly divergent from the noise and vibration levels produced by normal transmissions. An example of an analysis of such phenomena is shown in Fig. 2. In relation to the normal level  $\alpha$  at a certain frequency  $F_0$ , the abnormal noise level becomes  $\alpha + \beta$ .

### 3.2 Method of quantifying abnormal noise

Figure 3 illustrates the concept for detecting an abnormal noise signal quantitatively at the final tester. The noise and vibration signal of interest is measured for a certain period of time. Data on the noise and vibration level in each frequency band are collected by means of a 1/3 octave analysis. From the data for each frequency band of the test transmission, the following is found:

$$\text{judgment criterion determined for each measurement time} = \text{mean sample value} + \alpha \times \text{standard deviation}$$

The level of the noise and vibration phenomena produced by a normal transmission is defined and used as the criterion value. Any phenomenon exceeding this level is judged to be abnormal noise.

\* 実験部 Experiment Department      \*\* ユニット技術部 Unit Process Engineering Department



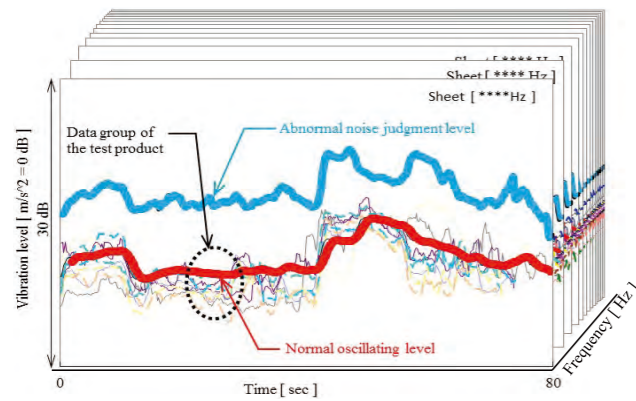


Fig. 3 Method of abnormal noise quantification

#### 4. ファイナルテスタへの適合

##### 4.1 システムの開発要件

今回、システムを開発するにあたり既存生産ラインへの影響を最小限に抑えるべく、以下3項目の要件をもとに開発を進めた。

- (1) ファイナルテスタの運転モードで稼働できること。
- (2) リアルタイムで異音判別できること。
- (3) 既存の計測システムを活用できること。

既存ファイナルテスタ工程では、起振力の品質保証をする運転モードがある(Fig. 4)。

異音検出工程を、この運転モードで同時処理することを考案した。

本考案の異音検出システムフローをFig. 5に示す。Fig. 5の白地部分は、既存のファイナルテスタシステムである。これと並行して分析と判断を行う緑色で示すフローを追加することにした。

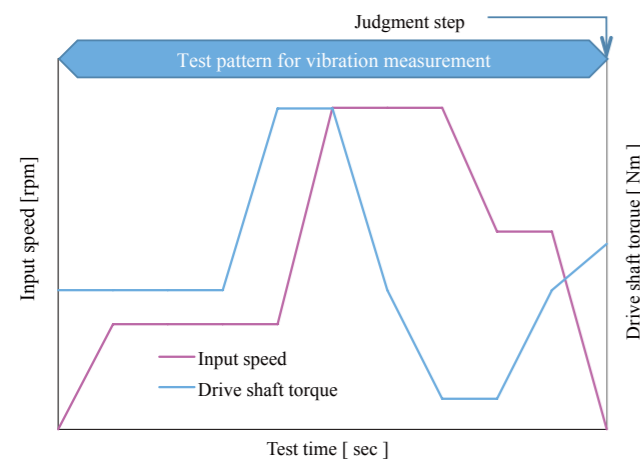


Fig. 4 Common test pattern for vibration measurement and abnormal noise measurement

#### 4. Applicability to Final Tester

##### 4.1 Requirements for system development

The development of the system proceeded under the three following conditions in order to minimize any impact on existing production lines.

- (1) The system must be able to run in the operating mode of the final tester.
- (2) It must be able to distinguish abnormal noise in real time.
- (3) It must be possible to use the existing measurement system.

The existing final tester process includes an operating mode for quality assurance with regard to vibration (Fig. 4). It was conceived that the abnormal noise detection process would be processed simultaneously in this operating mode.

Figure 5 is a flowchart of the proposed abnormal noise detection system. The white blocks in the figure are elements of the existing final tester system. The green blocks show the flow of the analysis and judgment operations added for abnormal noise, which are carried out in parallel.

For the measurement tool, it was decided to use the vibration measurement system that was already being used as the vibration analysis tool. Application software was developed that incorporated the method mentioned above for detecting abnormal noise. Just adding that software made abnormal noise detection possible (Fig. 6).

##### 4.2 System verification using transmissions producing abnormal noise

A total of six types of transmissions—three ATs and three CVTs—were selected as units producing abnormal noise. Tests were then conducted using these six samples to verify the effectiveness of the abnormal noise detection system.

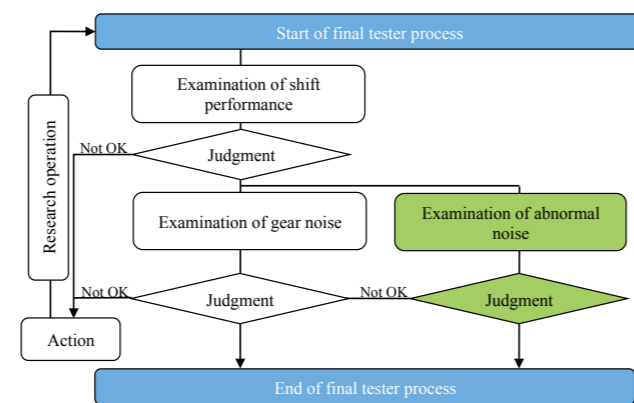


Fig. 5 Flowchart of abnormal noise detection in the final tester process

また、計測ツールは起振力分析ツールとして稼働中の起振力測定システムを活用することとし、前述の異音検出手法を組み込んだアプリケーションソフトを開発し、そのソフトの追加のみで異音検出を可能とした(Fig. 6)。

##### 4.2 異音発生ユニットによるシステム検証

異音発生ユニットとして、ATユニットから3種、CVTユニットから3種、合計6種類のサンプルを用いて、異音検出システムの有効性を検証する実験を行った。

異音発生ATユニットの異音判別例をFig. 7に、CVTユニットの異音判別例をFig. 8に示す。X軸に時間、Y軸に周波数、Z軸に起振力レベルで示した図である。図に示すように、周波数帯ごとに設定された判定レベル値を超える信号の入力が確認され(赤塗部分)、異音を検出することが出来た。他の異音発生ユニットにおいても同様に、異音検出が可能であり、さらにこの判定結果は、熟練した検査員の官能評価結果ともすべて一致し、本システムの有効性を確認することができた。

##### 4.3 ファイナルテスタへの適用可否判断

異音の検出精度の有効性が確認できたので、次にシステム導入の開発要件であった3項目の評価を実施した。

- (1) ファイナルテスタのタクトタイムに変化無し。
- (2) ファイナルテスタでのリアルタイム判別可能。
- (3) 既設解析システムへの適合可能。

となり、既存ファイナルテスタへの適用が可能と判断することができた。

これにより、同様な起振力分析ツールを使用している世界中の全生産ラインへの水平展開が容易となった。

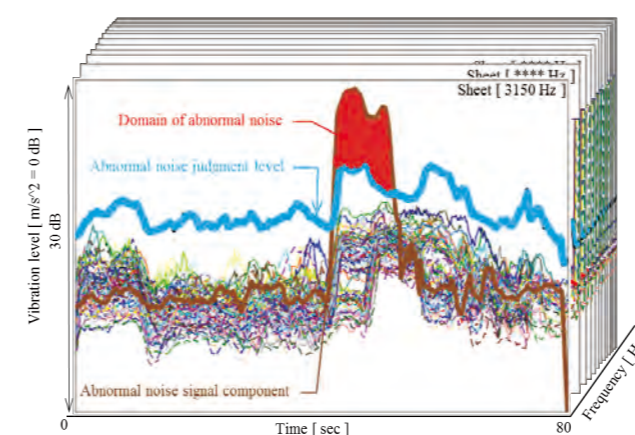


Fig. 7 Inspection results for an AT sample

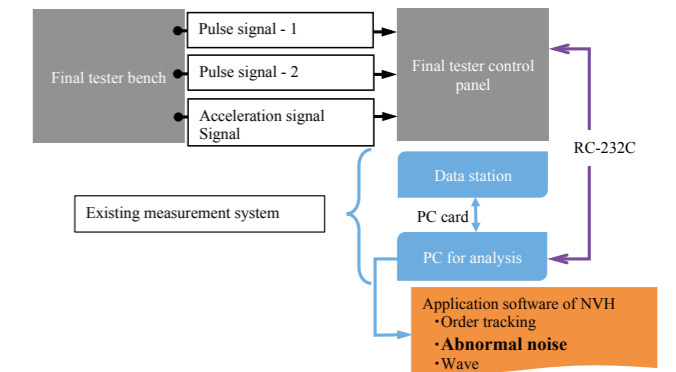


Fig. 6 Common measurement system for vibration and abnormal noise detection

An example of the abnormal noise found for one of the AT samples is shown in Fig. 7 and a similar example of the abnormal noise found for one of the CVT samples is presented in Fig. 8. The X-axis shows the time, the Y-axis the frequency and the Z-axis the vibration level. A signal input (red portion) exceeding the abnormal noise judgment level defined for each frequency band is clearly seen in the figures, indicating that abnormal noise was successfully detected.

Similar results were also obtained for the other transmission samples producing abnormal noise, thus verifying that abnormal noise detection was possible. Moreover, the judgment results all coincided with the results of subjective evaluations made by skilled and experienced inspectors, which confirmed the effectiveness of this new system.

##### 4.3 Judgment of applicability to final tester

After confirming the effectiveness of the system for accurately detecting abnormal noise, the next step was to evaluate the third development requirement concerning the implementation of the system with respect to the following points:

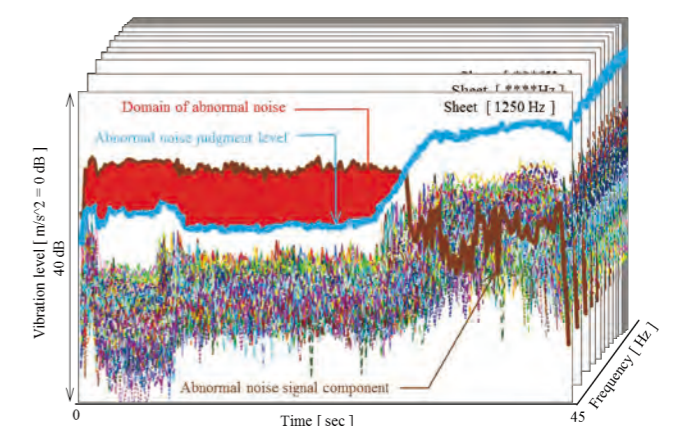


Fig. 8 Inspection results for a CVT sample

#### 4.4 異音検出システムのありたい姿

今後、異音は、起振力測定工程のみならず性能測定  
の運転モードでも発生する可能性があるため、さらなる  
広範囲な異音検出システムの開発に取り組みたい。

また、異音検出システムを継続的に運用し、そこで検  
出した異音の現象、発生原因、対処方法をビッグデータ  
化することにより、異音の原因調査及びユニットの改修  
作業を効率的に行えるようにしたい。

このような活動を推進することにより、ユニット開発／  
製造(部品製作および組立)に求められる要求性能が明  
確となり、より良い品質のユニットを製造する一助になると  
確信している。

#### 5. まとめ

異音を検出するための定量的手法の開発により、発  
生原因を特定できない想定外の異音現象の判別を可能  
とすることができた。

現在、本システムは導入活動を実施した生産工場で  
運用しており、熟練検査員なしで異音を確実に検出でき  
るようになった。今後は、全てのジヤトコ生産工場での導  
入を目指し、水平展開していく。また、本手法の事例を  
活用し、ユニット企画・開発段階で事前に異音を検出し、  
開発段階での異音を撲滅していきたい。

最後に、本システムの開発にあたり多大なるご協力を  
いただいた社内外の方々に、深く感謝の意を表す。

#### 6. 参考文献

- 1) 中川功, 朝日征志: デフノイズ“ユニット起振力評価手  
法の開発”, 日産技報, 15号, pp160-164, 1979.

- (1) no change in the takt time of the final tester,
- (2) capable of making real-time judgments at the final  
tester, and
- (3) applicable to the existing simulation system.

Based on the evaluation results, it was judged that the  
system was applicable to the existing final tester. As a result,  
that easily facilitates the horizontal deployment of the new  
system on all production lines worldwide where the same  
vibration level analysis tool is used.

#### 4.4 Desired style of abnormal noise detection system

In future work, we want to develop an abnormal noise  
detection system for use in a wider range of final tester  
operation. That is because abnormal noise can also occur in  
the operating mode for performance measurement, not just  
in the process for measuring vibration.

Through continuous operation of the abnormal noise  
detection system, we also want to collect big data on the  
types of abnormal noise detected, their causes and effective  
countermeasures and use such data in investigating the  
causes of abnormal noise and in carrying out activities  
efficiently to improve our transmissions.

The promotion of such activities will clarify the  
performance requirements to be pursued in transmission  
development/manufacturing and also in parts manufacturing  
and assembly. As a result, it will surely be helpful in  
manufacturing transmissions of even higher quality.

#### 5. Conclusion

As a result of developing this quantitative method for  
detecting abnormal noise, it is now possible to distinguish  
unexpected abnormal noise, the cause of which cannot be  
identified.

This system is currently being used in production  
workplaces that have already completed the preparations  
for its implementation. The system has made it possible to  
detect abnormal noise reliably without relying on skilled  
and experienced inspectors.

Efforts will be made to promote horizontal deployment  
with the aim of implementing the system in all of JATCO's  
production plants.

Using the cases of abnormal noise identified by this  
method, we want to detect abnormal noise in advance at the  
planning and development stages of a new transmission and  
thoroughly eliminate abnormal noise at the development  
stage.

Finally, we would like to thank everyone concerned  
inside and outside the company for their invaluable  
cooperation with the development of this system.

#### 6. Reference

- (1) Isao Nakagawa and Masashi Asahi, “Differential Noise:  
Development of a Method for Evaluating Unit Vibration,”  
Nissan Technical Review, No. 15, pp. 160-164, 1979 (in  
Japanese).

#### ■ Authors ■



Mutsumi MITARAI



Fumikazu TAKAOKA



# プロセス革新による新商品立ち上がり品質の向上

Improvement of New Product Launch Quality through Process Innovation

川合 顕央\*  
Akihisa KAWAI

**抄 録** ジヤトコは、モノづくり革新につながる品質保証活動を継続的に行ってきた。

トランスミッションは、お客さまの燃費改善や軽量化の要求を受け、高い品質を高次元で実現することが求められている。これらの要求に応えるため、新商品の品質保証プロセスを振り返り、改善を実施した。

本稿では、新商品開発に伴う、購入品の立ち上がり品質向上について、取り組んだ事例を報告する。

**Summary** JATCO has continually carried out quality assurance activities leading to innovations in monozukuri. Transmissions are required to attain the highest possible levels of quality in order to meet customers' demands for lighter weight and improved fuel economy. In order to respond to these demands, a review was made of the quality assurance process for new products and improvements were implemented. This article presents examples of the efforts made to improve the launch quality of purchased parts in connection with the development of new products.

## 1. ジヤトコの購入部品品質保証活動

ジヤトコユニットの70%以上の部品は、購入品で構成されている。

従って、ユニット品質の維持向上には、購入品の品質確保が最も重要である。そこで、正規量産発注手配(以下正規手配)以降、お取引先さまの工程監査を主体に品質確認を実施してきた。今回、さらに購入部品の品質向上をめざし、購入品品質保証活動を正規手配前へフロントローディングし取り組んだ。

## 2. 購入部品の品質保証プロセス上の問題点

購入部品品質保証プロセスの振り返りの結果、一部のプロセスに、さらに改善すべき3つの問題点が確認された。

2.1 設計者の意図が、生産の現場まで十分に伝わっていなかった。

品質保証の要は、生産現場である。しかしながら、設計者の意図を正確に、漏れなくお取引先さまに伝え、生産現場の管理項目まで落とし込み、現場作業員まで正しく伝わっていないという問題点が、一部のプロセスにあった。

## 1. JATCO's Quality Assurance Activities for Purchased Parts

Over 70% of the parts used in JATCO transmissions consist of items purchased from suppliers. For that reason, ensuring the quality of purchased parts is one of the most important issues in maintaining and improving the quality of our transmissions. Toward that end, we have previously confirmed quality mainly by conducting process audits at suppliers after the official design release for regular mass production. With the aim of further improving the quality of purchased parts, we endeavored in this project to front-load quality assurance activities for these parts prior to the official design release.

## 2. Problems in Quality Assurance Process for Purchased Parts

As a result of reviewing the quality assurance process for purchased parts, the following three problems requiring further improvement were identified in some processes.

2.1 Designers' intentions were not fully transmitted to the shop floor.

The key to quality assurance lies on the shop floor.

2.2 生産上の課題が早期に共有化できておらず、立ち上がり時の品質トラブルにつながっていた。

試作時点での生産上の課題が早期に共有化出来ておらず、量産立ち上がり時の品質トラブルにつながるケースがあった。

2.3 生産性の高い図面になっていなかった。

従来から内製部品については、サイマル活動を通じて、生産性の高い図面となっていたが、購入部品についてはその活動が不十分であった。

## 3. 新たな購入品の品質保証プロセス

前述した、品質保証プロセスの問題点に基づき、新たなプロセスを考案し、その課題解決を行った。

### 3.1 品質設計書による設計者の意図の徹底的な伝達

設計者の意図を、抜け漏れなく生産技術者、生産現場の作業員まで徹底的に伝えるためのツールとして、『品質設計書』を作成した(Fig. 1)。

これは、部品機能上保証すべき項目を、製品設計⇒工程設計⇒生産現場まで、確実につなげるための書である。

However, a problem that was found in some processes was that the designers' intentions were not accurately and completely transmitted to suppliers and incorporated in quality control items on the shop floor. Consequently, they were not correctly conveyed to shop floor workers.

2.2 Production issues were not shared at an early stage, leading to quality troubles when mass production was launched.

Issues in production operations that occurred during trial production were not shared at an early stage, which led to instances of quality problems when mass production was launched.

2.3 Drawings were not conducive to high productivity.

For parts manufactured in-house, drawings conducive to high productivity were created through simultaneous engineering activities. However, those activities were not sufficiently carried out for purchased parts.

### 3. New Quality Assurance Process for Purchased Parts

Based on the foregoing problems in the existing quality assurance process, a new process was devised and implemented to resolve these issues.

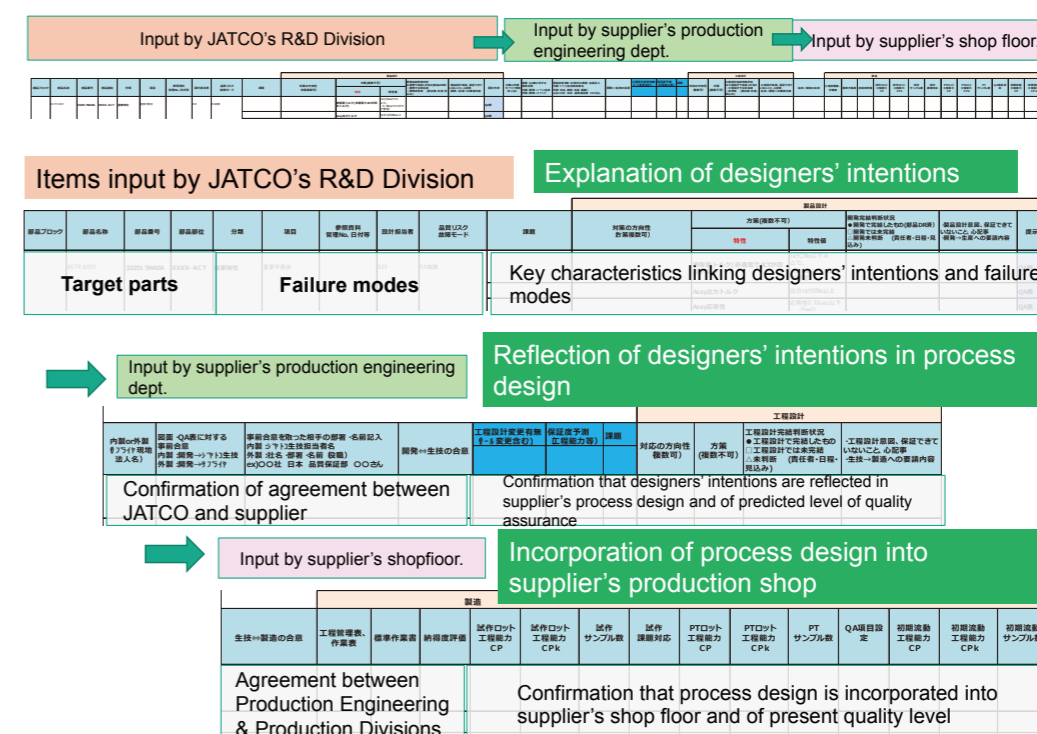


Fig. 1 Quality design document

\* 品質保証部  
Quality Assurance Department

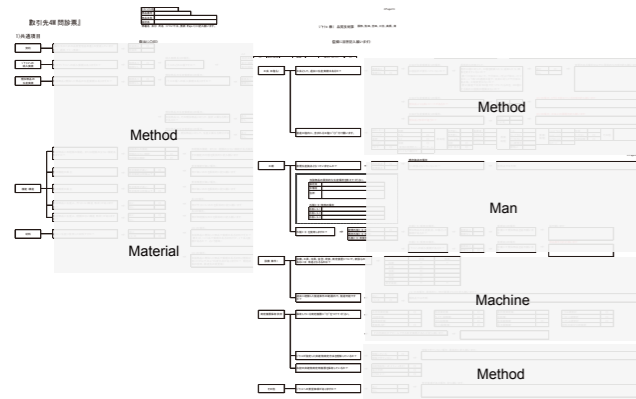


Fig. 2 4M interview form

### 3.2 4M問診票による課題の共有化と早期解決

生産上の課題を早期に共有するため、取引先候補選定時にお取引先担当者さまから生産に関する考え方を聞く『4M問診』を開始した(Fig. 2)。

この4M問診とは、Method, Machine, Material, Manの4つの視点で、生産の計画概要を聞き取りすることである。聞き取った計画概要から、共同で生産上の課題を抽出し、その解決案を立案する。その計画に基づき、進捗管理を行い、スムーズな立ち上げを実現する。

### 3.3 図面サイマル活動による高生産性図面の実現

購入品品質保証プロセスとして、今回新たに『図面サイマル活動』を追加した(Fig. 3)。

この活動は、試作図面や試作部品を元に、生産上の課題を洗い出し、機能を満足した上で、生産性の高い図面を開発、生産、調達、品証と共同で作上げる活動である。

### 3.4 購入品DR(デザインレビュー)による確実な課題解決の推進

課題解決を促進する場として、購入品品質保証プロセスに『購入品DR』を追加した。

これは課題解決が正しく、確実に行われているかレビュー(監査)する場である。この活動は、共同で知見者が集まり、お互いの知見を活用し、一体となって課題解決を図る活動である。

この活動の追加により、従来見逃しがちであった課題が早期に抽出され、量産準備の早期段階に解決することが可能となった。

### 3.1 Thorough conveyance of designers' intentions via a quality design document

A “quality design document” was created as a tool for thoroughly conveying designers' intentions to production engineers and shop floor workers without any omissions (Fig. 1). This document reliably transmits the items that must be assured with respect to part functionality from product design to process design and then to the shop floor.

### 3.2 Sharing and early resolution of issues utilizing 4M interview form

A “4M interview” was initiated to ask the people in charge of production at suppliers about their thinking concerning production (Fig. 2). Interviews are conducted when selecting supplier candidates in order to share potential issues in production operations at an early stage.

The 4M interview concerns the perspectives of methods, machines, materials and manpower, and questions are asked to obtain an overview of the supplier's production plan. Based on that plan overview, potential production issues are jointly identified and proposed solutions are devised. Progress in addressing the issues is monitored on the basis of the production plan so as to achieve a smooth production launch.

### 3.3 Creation of drawings conducive to high productivity through a simultaneous activity for drawings

A “simultaneous activity for drawings” was newly added in this project as a quality assurance process for purchased parts (Fig. 3). In this activity, potential problems in production operations are identified based on the drawings and parts used for trial production. The R&D, Production, Purchasing and Quality Assurance Divisions work together to create drawings that satisfy the required functionality and are also conducive to high productivity.

### 3.4 Promotion of reliable issue resolution through design review of purchased parts

A “design review of purchased parts” was added to the quality assurance process for purchased parts as means of promoting the resolution of production issues. A review is undertaken to verify whether identified issues have been resolved correctly and reliably. Experts meet and apply their respective knowledge in a joint effort to resolve issues effectively in this activity.

The addition of this review activity facilitates early identification of issues that tended to be overlooked in the past, thereby enabling potential problems to be resolved at an early stage of the production preparations.

### ■ Example for control valve body

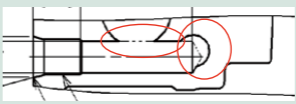
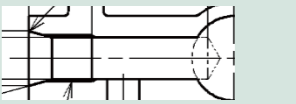
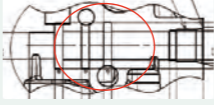
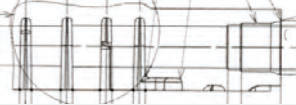
Early identification of productivity issues → Implementation of corrective measures at trial production stage		
	Trial production drawing	After implementing corrective measure
Example No1	Diagram showing burring tended to occur in machined fluid passage 	Diagram showing burring did not tend to occur in machined fluid passage 
Example No2	Machining diagram showing contamination tended to remain 	Diagram showing contamination did not tend to remain 

Fig. 3 Example of improvement through simultaneous activity for drawings

## 4. まとめ

本活動は2015年度後半から開始し、本文に記した各活動の成果が出てきており、品質向上効果が大きいに得られた。

今後の活動の定着にあたり、多大なご理解とご協力をいただいたお取引先さま、および社内関係諸氏に厚く感謝を申し上げます。

## 4. Conclusion

The activities described here were initiated from the second half of fiscal 2015, and each activity has produced results that have been greatly effective in improving the quality of purchased parts.

The authors would like to sincerely thank the suppliers and everyone involved at JATCO for their understanding and invaluable cooperation in firmly establishing these activities in the quality assurance process.

■ Author ■



Akihisa KAWAI



# JATCO クリーンネス活動

JATCO's Cleanliness Activity

秋山 智宏\*  
Tomohiro AKIYAMA

横山 太郎\*\*  
Taichirou YOKOYAMA

**抄 録** ジヤトコは、AT、CVT専門メーカーとして、かねてより、『クリーンネス活動』を精力的に実施してきた。生産部門においては、いち早くクリーンルームに着目し、グローバルに展開をしてきたが、さらなる高品質の実現に向け改革活動を行った。本稿では、その取り組み内容を紹介する。

**Summary** As a specialized manufacturer of ATs and CVTs, JATCO has vigorously promoted "Cleanliness Activity" for many years. In The Production Division, the importance of cleanrooms was recognized in early times, and global deployment of the cleanroom has been promoted. In the latest Cleanliness Activity, it has been undertaken to implement further cleanliness improvements for the purpose of achieving even higher levels of quality. This article describes the details of the latest Cleanliness Activity.

## 1. はじめに

## 1. Introduction

昨今のAT、CVTユニットには、厳しい燃費要求があり、オイルポンプ（以下OP）の駆動トルクを低減させることが重要な課題となっている。そのためにOPの吐出量を低減させることが必要であり、各部のATFリークを少なくしている。リークを少なくするためコントロールバルブ（以下CV）では、勘合スキマが極小化して、夾雑物に関する感度が高くなっている。

Reducing the drive torque of the oil pump (OP) has become an important issue in connection with the rigorous fuel economy required of ATs and CVTs in recent years. That requires reducing the discharge flow rate of the oil pump, and ATF leakage from all parts of the system has been reduced. For reducing leakage from the control valve (CV), the fitting clearance has been minimized, which has increased sensitivity to contamination.

また、さらなる運転性向上要求もあり、精密な制御をするようになってきている。これによりCVはゆっくり細かく動かす必要があり、今までより小さい夾雑物にも高い感度を持つようになってきている。

In addition, there are also demands for further improvement of driveability, which requires precision control, making it necessary to move the control valve slowly and finely. As a result, the control valve is more

この両面より、今まで以上の夾雑物管理が必要となってきたり、クリーンネス活動に取り組むことになった。

AT、CVTユニットではオイルパンからCVにオイルを供給するときの夾雑物フィルターとしてサクシオンフィルター（以下SF）があり、夾雑物からCVを守っている。

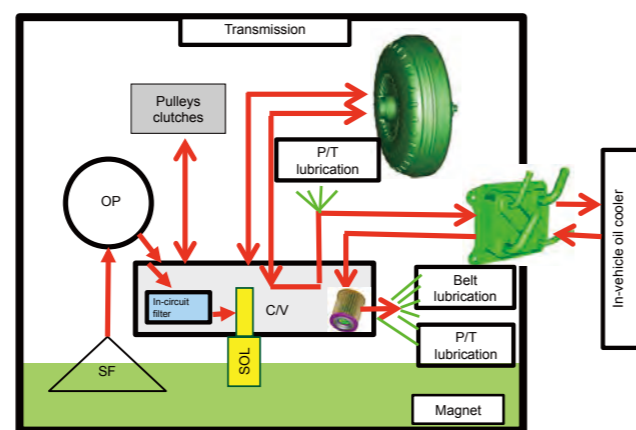


Fig. 1 Concept of cleanliness design

SFを通った油の流れる回路をクリーンサイド（Fig. 1の赤矢印部）と呼ぶ。一方、夾雑物を多く含む油のある油路（オイルパン含む）をダーティサイドと呼ぶ。

クリーンサイドの夾雑物を今まで以上にクリーンにするために、SFをより細かい夾雑物を捕捉できる仕様に変えている。

しかし、ユニットを組むときの初期夾雑物がクリーンサイドにあると、SFを通らずに夾雑物がCVにたどり着いてしまうため、作動不良等を起こす可能性がある。したがって組立工場では、クリーンサイドをさらにクリーンにする必要がある。

そのためには、「①部品をクリーンにする。」「②組むときに夾雑物が入り込む量を低減させる。」の二つが重要である。

②を実行するために、クリーンルーム改革を実施した。

## 2. クリーンルームとは

クリーンルームとは、空気清浄度が確保された部屋のことである。

JIS Z8122では、「夾雑物コントロールが行われている限られた空間であって、空気中における浮遊微小粒子、浮遊微生物が限定されて清浄度レベル以下に管理され、また、その空間に供給される材料、薬品、水などについても要求される清浄度が保持され、必要に応じて温度、湿度、圧力などの環境条件についても管理が行われている空間。」と定められている。

当社では、AT生産初期（1970年代）から、その必要性を認識し、組立ラインには目標品質に応じた適切なクリーンルームを設置してきた。

## 3. 重点取り組み課題の設定

要求品質の高まりに応えるために、従来のベンチマーク活動の枠組みを超え、業界以外の動向も調査した。医療、食品、電子機器等の異業種事例も参考に、クリーンルーム改善課題を選定した。

- ① 人が進入する際の開口
- ② 台車が進入する際の開口
- ③ 部品投入口の広い開口
- ④ 汚れた容器の進入
- ⑤ 床面の汚れ
- ⑥ 重要部品のクリーンネスに対する管理不足
- ⑦ 防塵室内のクリーンネスの管理不足
- ⑧ 作業員の夾雑物に関する意識不足

highly sensitive to tiny contamination than before.

Both of these aspects make strict contamination control more necessary than previously, so we decided to undertake further cleanliness activities.

Control valves in ATs and CVTs are protected from contaminants by a suction filter (SF) that serves as a contamination filter when fluid is supplied from the oil pan to the control valve.

The passages through which the fluid flows after passing through the suction filter are called the clean side (red arrow portions in Fig. 1). In contrast, the passages, including the oil pan, with fluid containing a lot of contaminants are called the dirty side.

In order to clean contamination from the clean side to a greater degree than before, the suction filter specifications were changed to capture even finer contaminants.

However, if there is contamination on the clean side initially when the unit is assembled, that contamination will reach the control valve without passing through the suction filter. Accordingly, it could cause an operating failure or some other issue. To avoid that possibility, it is necessary to clean the clean side even more at the assembly plant.

There are two key points in this regard: ① to clean the parts and ② to reduce the incursion of contamination when a unit is assembled. Improvements were made to the cleanroom in order to accomplish the second point.

## 2. What is a Cleanroom?

A cleanroom is an environment in which air cleanliness is controlled. Japanese Industrial Standard JIS Z8122 (Contamination-Control Terminology) defines a cleanroom as an enclosed space in which contamination control is performed. The concentrations of airborne particles and airborne microorganisms in the air in a cleanroom are limited and controlled to below a specified cleanliness level. In addition, the cleanliness required of the materials, chemicals, water and other things supplied to a cleanroom is strictly maintained. The humidity, temperature, pressure and other environmental conditions in a cleanroom are also controlled as necessary.

At JATCO, we recognized the necessity of cleanroom technology at the early stage of manufacturing ATs in the 1970s and installed a suitable cleanroom on the assembly lines according to the targeted quality.

\* ユニット技術部  
Unit Process Engineering Department

\*\* 部品システム開発部  
Hardware System Development Department

Table 1 Classification of protection levels

Protection level	Target process	Required level	Explanation
1	Logistics	For conversion to parts package form	Work area for converting to package form for supply to assembly process
2	Assembly	For logistics in assembly area for general parts	Area traversed by dollies etc. in dust-proof room
3	Assembly	For assembly of general parts	Assembly work area for general parts
4	Assembly	For assembly of C/V component parts	Assembly work area for C/V components

4. ありたい姿の設定

4.1 プロテクションの定義

CVTユニットに求められる要求レベルに応じて、組立エリア(工程)を、Table 1に示す4階層(プロテクション)に区分した。

4.2 体系図の制定

定義したプロテクションを達成するための具体的な配置、考え方を模式化した体系図を作った(Fig. 2)。これにより、誰もが迷わずクリーンルームのあるべき姿を描き、グローバルにどの拠点でも同質の工程を設定出来るようになった。

3. Defining Priority Issues to be Addressed

In order to respond to rising quality requirements, we went beyond the framework of our existing benchmark activities and undertook a survey that also investigated trends outside the automotive industry. In reference to examples in other industries as well, including medical care, food and electronic equipment, the following issues were selected for improvement of our cleanroom.

- ① Opening when workers enter the room
- ② Opening when dollies enter the room
- ③ Wide opening for feeding in parts
- ④ Entry of dirty containers
- ⑤ Dirty floor
- ⑥ Insufficient cleanliness control for key parts

Table 2 Cleanliness targets

Protection level	Target process	Target area	Cleanliness level
1	Logistics	For conversion to parts package form	General
2	Assembly	For logistics in assembly area for general parts	Good
3	Assembly	For assembly of general parts	Good
4	Assembly	For assembly of C/V component parts	Excellent

5. 目標の設定

ありたい姿の達成度をはかる指標としては、国際規格ISO14644-1で定められている1㎡辺りの空間に浮遊する5μm以上の粒子数(以下、気中コンタミパーティクル量)があり、それを用いて管理することとした(Table 2)。

6. 活動事例の紹介

清浄空間を作り、維持するための条件として以下の原則が挙げられる。

- 1. 微粒子を持ち込まない。
- 2. 微粒子を発生させない。
- 3. 発生した微粒子を速やかに排除する。
- 4. 微粒子を堆積させない。

これに基づき実行した代表的な対策事例を紹介する。

6.1 エアシャワー - 持ち込まない

人、台車の入り口には、エアシャワーを設けて、作業着、ワークに付着した夾雑物の持ち込み量を低減させた(Fig. 3)。



Fig. 3 Air shower

- ⑦ Insufficient cleanliness control in the dust-proof room
- ⑧ Insufficient employee awareness of contamination

4. Defining the Desired Cleanroom Condition

4.1 Definition of protection levels

As shown in Table 1, the assembly process areas were classified into four levels of protection according to the cleanliness level required there for CVTs.

4.2 Establishment of protection system diagram

A schematic diagram was prepared showing the concept and specific layout of equipment for accomplishing the defined levels of protection (Fig. 2). As a result, everyone can now envision the desired cleanroom condition without any hesitation, and all of the company's global operations can also establish processes having the same level of cleanliness.

5. Defining Targets

The international standard ISO 14644-1 (Classification of air cleanliness by particle concentration) specifies the allowable concentration of airborne particles of 5 μm or larger in size per 1 m3 of air. That classification of airborne contamination particles was adopted for control use as an index of the degree of attainment of the desired cleanliness condition (Table 2).

6. Introduction of Examples of Activities

The following principles are examples of necessary conditions for creating and maintaining a clean production area.

- 1. Do not carry particles into the cleanroom.
- 2. Do not generate particles in the cleanroom.
- 3. Immediately remove any particles that has occurred.
- 4. Do not allow particles to accumulate.

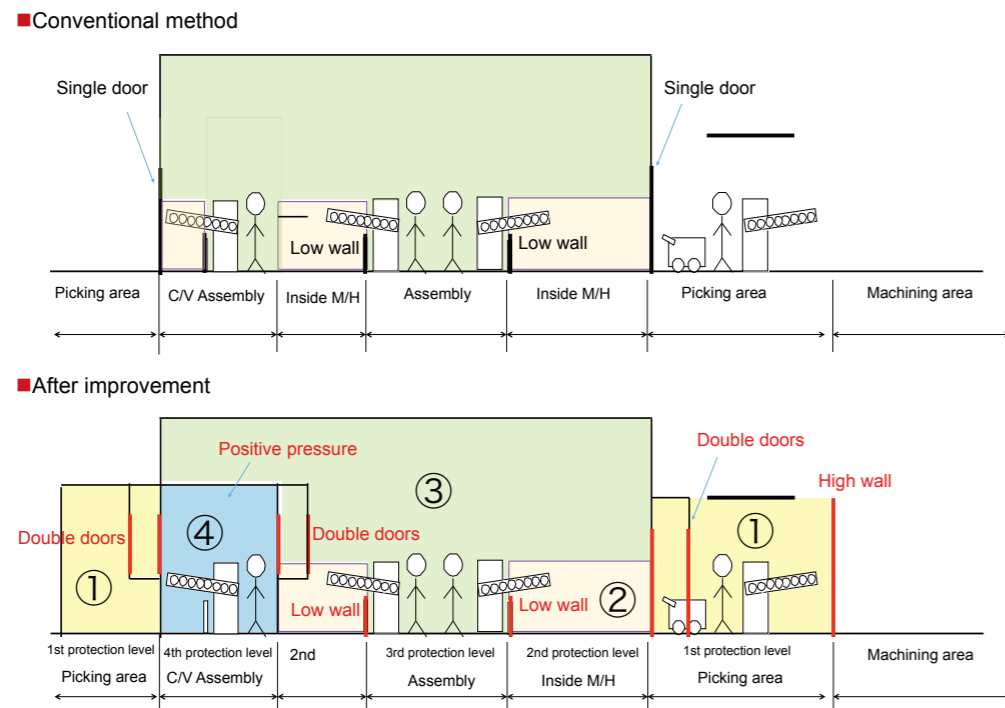


Fig. 2 Cleanroom concept\_4 protection levels



### 6.2 二重シャッター -持ち込まない

人、ワークの出入りは二重シャッターを設け、同時に開口しない制御をすることで、外気(夾雑物)の侵入を防止した(Fig. 4).



Fig. 4 Double doors

### 6.3 腰壁, 床面 -発生させない

床面に堆積した夾雑物の台車車輪による巻き上げを防止するため、組立エリアと物流エリアの間には、腰壁を設けた。

夾雑物巻き上げの検証結果から最適な腰壁の高さを規定し、グローバルに展開した。また、床面の清潔さを維持するため、床面色を管理しやすい白色光沢系に変更した(Fig. 5).



Fig. 5 Low wall and shiny floor

The following are examples of typical measures that were implemented on the basis of these principles.

#### 6.1 Air shower: for not carry particles into the cleanroom.

An air shower was installed at the entrance for workers and dollies to reduce the amount of contaminants carried into the cleanroom on their clothing and on workpieces (Fig. 3).

#### 6.2 Double doors: for not carry particles into the cleanroom

Double doors were installed at the entrance/exit for workers and dollies (Fig. 4). Additionally, the doors are controlled so that they do not open simultaneously, thereby preventing the incursion of outside air containing contaminants.

#### 6.3 Low wall and shiny floor: for not generating particles

A low wall was built between the assembly area and the logistics area to prevent the wheels of dollies from stirring up contaminants accumulated on the floor. The optimal wall height was specified based on the results of verification tests concerning the stirring up of contaminants. This wall height has been deployed globally.

The color of the floor was also changed to a white glossy paint that is easier to manage for maintaining the cleanliness of the floor (Fig. 5).

#### 6.4 Particle counter/monitor: for monitoring cleanliness level

A particle counter was installed to measure the particle concentration in the cleanroom for constantly monitoring the cleanliness state. A dedicated monitor was also installed to visualize the state of contamination control, thereby creating an environment that is easier to control and maintain (Fig. 6).



Fig. 6 Particle counter and TV monitor

### 6.5 作業者の意識高揚と教育

ハード的な対策だけでなく、以下のごとく人的管理の領域も強化、標準化を行った(Fig. 7).

- ・ 機器の点検, 清掃
- ・ 靴の履き替え場所
- ・ 防塵服及び帽子仕様
- ・ クリーニング周期の設定



Fig. 7 Workers in the cleanroom

## 7. クリーンネス活動の成果

これらの活動の結果、気中パーティクルコンタミ量は、従来と比べ大幅に減少し、新目標をクリアした(Fig. 8).

前述のモニターを用いて傾向管理を行い、継続的改善に努めている。

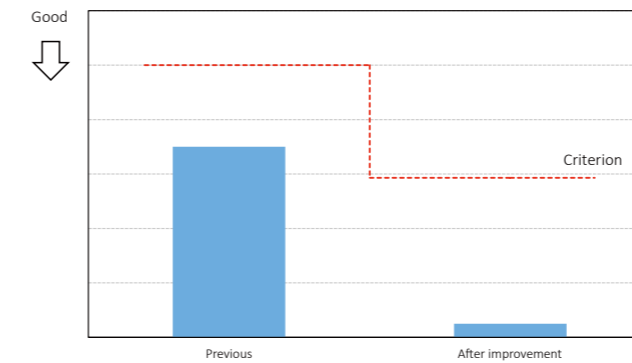


Fig. 8 Airborne particle number

## 8. まとめ

本活動を通じて、ユニット清浄度の革新的な向上に貢献できた。CVTユニット工場員の認識が超精密部品を取り扱う意識となり、行動改革にもつながった。

本活動に際し、関係諸氏には多大な協力をいただき、紙面を借りて感謝の意を表す。

■ Authors ■



Tomohiro AKIYAMA



Taichirou YOKOYAMA

### 6.5 Employee education for elevating their awareness

Besides the hardware measures mentioned here, the following practices were also strengthened and standardized in the area of personnel management (Fig. 7).

- Inspection and cleaning of equipment
- Specified place for changing shoes
- Specifications of dust-proof clothing and hats
- Establishment of a regular cleaning cycle

## 7. Effects of Cleanliness Activities

As a result of implementing the foregoing activities, the concentration of airborne contamination particles was markedly reduced compared with before, thereby clearing the new cleanliness criterion (Fig. 8). The aforementioned monitor is being used to control contamination trends, and continuous efforts are under way toward further improvement.

## 8. Conclusion

The activities described here have contributed to a remarkable improvement in CVT cleanliness. The workers involved in assembling CVTs are now aware that they are handling ultra-precision parts and that awareness has led to marked changes in their behavior.

The authors would like to take this opportunity to thank everyone concerned for their invaluable cooperation with these activities.



# CVT G#11ラインへの新規生産技術導入

Implementation of New Production Technologies on the Global #11 CVT Line

小笠原 寛\*  
Hiroshi OGASAWARA

**抄 録** ジヤトコは、Jatco CVT8(以下、CVT8)搭載車両の需要増に応えるため、グローバルで生産ラインの設備導入を段階的に行ってきた。

2016年に、エクストレイル、ティアナ等日産自動車(株)向けCVT8の需要増に応えるべく、新たに富士地区に生産ラインの増設を行った。

このラインは、最新の生産技術も投入し、2016年4月より生産を開始した。本稿では、この増設ラインの概要について紹介する。

## 1. はじめに

本ラインを新設するにあたり、お客さまニーズへの対応と自己成長へのチャレンジとして、3つの重点課題に取り組んだ。

- (1) ユニット品質向上のためのクリンネス工程設計  
コンタミネーション(以下コンタミ)侵入を徹底的に防止する新たな工程設計の導入
- (2) 短期間でフル生産するための先行での作業習熟  
従来を上回るスピードでフル生産を実現して要求台数に応えるために、当社の他拠点工場と連携した作業習熟を実施
- (3) 生産技術力向上のための革新技術の実用化  
モノづくり革新につながる新技術の量産ラインへの適用

## 2. 計画概要および具体的取り組み内容

### 2.1 計画概要

所在地 : 富士1地区 第2工場  
月産能力 : 6,000台/月  
量産開始月 : 2016年4月  
CVT生産ラインとしてはグローバルで11番目、CVT8としては5番目の生産ラインである(Table 1)

**Summary** In order to cope with the sharp increase in demand for vehicles equipped with the Jatco CVT8 (here after CVT8), JATCO has expanded the production lines for this unit in phases at the company's global assembly plants. In 2016, we newly installed an additional production line in the Fuji Area to meet the increased demand for the CVT8 for use on the X-Trail, Teana and other models of Nissan Motor Co.,Ltd. Production on this new line was launched in April 2016 using state-of-the-art production technologies. This article presents an outline of this new additional line.

## 1. Introduction

In implementing this new production line, we tackled three key issues to meet the customer's needs and also as challenges for JATCO's future growth (Fig. 1).

- (1) Cleanliness process designs for improving CVT quality  
New process designs were implemented for thoroughly preventing incursion of contamination.
- (2) Advance work training for reaching full production quickly  
Work training was conducted in cooperation with a JATCO plant at another location in order to achieve full production on the new line at a faster pace than before and supply the required CVT volume.
- (3) Implementation of innovative technologies to further improve production engineering capabilities

New technologies were applied to this mass production line to promote monozukuri innovations.

## 2. Project Overview and Details of Specific Activities

### 2.1 Project overview

Location: Plant No. 2 in Fuji Area No. 1  
Production capacity: 6,000 units/month  
Start of production: April 2016  
This new line is JATCO's 11th CVT production line globally and the 5th production line for the CVT8 (Table 1).

Assembly line number	Site	Model
(1)	-	Not exist
2	Fuji area#2	JF011E
3	Mexico site#1	JF016E, JF017E(Jatco CVT8), JF018E, JF019E(Jatco CVT8 HYBRID)
4	Yagi	JF016E(Jatco CVT8), JF019E(Jatco CVT8 HYBRID)
5	Mexico site#1	JF015E(Jatco CVT7)
6	Guangzhou	JF020E(Jatco CVT7 W/R), JF015E(Jatco CVT7), JF016E(Jatco CVT8)
7	Fuji area#1	JF015E(Jatco CVT7)
8	Kakegawa	JF015E(Jatco CVT7)
9	Thailand	JF015E(Jatco CVT7)
10	Mexico site#2	JF016E(Jatco CVT8)
11	Fuji area#1	JF016E(Jatco CVT8)

Table 1 JATCO CVT production lines

## 2.2 具体的取り組み1

ユニット品質向上のためのクリンネス工程設計  
本活動では、ユニット内コンタミの徹底的な低減を目的とし、防塵に関わる各工程を新規に設計し直した。

- ここでは、具体的な事例として、
- 1) CVTユニットのCVT油中コンタミ量低減を目的とした、組立工程の新設計防塵室。
  - 2) CVT油圧回路内の残留コンタミ量低減を目的とした、PULLEY加工工程のマイクロショット(以下MS)工程の新設計。
- これらを次に紹介する。

### 2.2.1 組立工程の新設計防塵室

組立生産工程においては、大気中の浮遊コンタミ、部品容器の付着コンタミ、作業着衣類への付着コンタミをユニット内に侵入させない工程設計が求められる。  
本計画では、侵入対策をさらに強化した防塵室設計に取り組んだ。



Fig. 2 Installation of double shutters and air shower at parts entrance

## Project Concept

- CHANCE**
- 1. To build a new line in Japan as a global mother plant
  - 2. To form a new coherent line from materials to assembly
  - 3. As 5<sup>th</sup> line for Jatco CVT8, therefore SQTC\* issues are cleared.

\*Safety, Quality, Time, Cost

**Project concept**  
We aim the most excellent line as a mother plant.

- ◆Man: Top of Genba Kanri
- ◆Materials: Top of Contamination prevention quality
- ◆Machines: Top of Jatco new technology
- ◆Methods: Top of Synchronized production

Fig. 1 Project concept

## 2.2 Specific activity #1

Cleanliness process designs for improving CVT quality  
In this activity, all the operations related to contamination prevention were newly designed with the aim of thoroughly reducing contamination inside CVTs. The following are specific examples of the work that was done.

- (1) The cleanroom of the assembly process was newly designed to reduce the amount of contamination in the CVT fluid inside CVTs.
- (2) The microshot (MS) peening operation in the pulley machining process was newly designed to reduce contamination remaining inside the CVT hydraulic circuit.

### 2.2.1 Newly designed cleanroom of the assembly process

Assembly operations require a process design that prevents contamination from getting into CVTs during production. This includes suspended contamination in the air, contamination attached to parts containers, and contamination sticking to workers' clothing. A new cleanroom was designed in this project with stronger measures to prevent incursion of contamination (Figs. 2-5).



Fig. 3 Special uniform of workers in key contamination control processes

\* 技術統括部  
Engineering Management Department



### 2.2.2 PULLEY MS工程の新設計

高トルク用CVTユニットのPULLEYには、耐久信頼性向上のために、表面硬度を向上させるMS工程を採用している。

このMS粉の粒径は数十ミクロンであり、このMS粉が部品へ残留、または再付着することを徹底的に排除するために、新たにMS前脱脂洗浄工程、及びMS後中間洗浄工程を追加した。

また、MS設備本体からのMS粉飛散防止のために、MS工程を負圧室内で実施することとした。

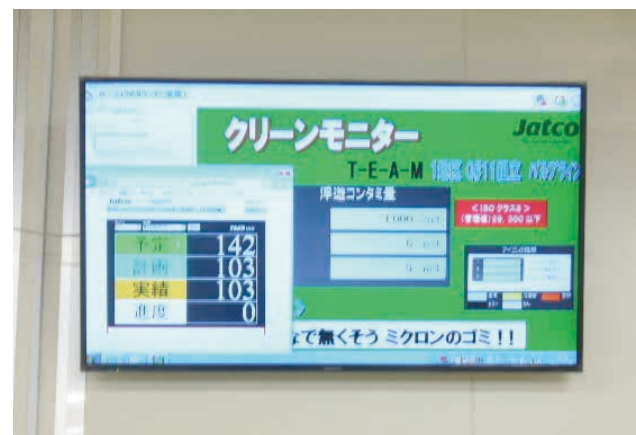


Fig. 4 Monitor for controlling airborne contamination count



Fig. 5 Sparkling clean production area due to daily cleaning

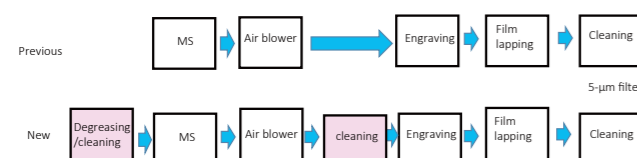


Fig. 6 Cleaning operations added to MS peening process

### 2.2.2 Newly designed pulley MS peening process

Pulleys for high-torque CVTs undergo a MS peening process to increase their surface hardness for improving durability and reliability. The diameter of the MS peening particles is several tens of micrometers. A degreasing/cleaning process was added before the MS peening operation and an intermediate cleaning process was added after the peening process (Fig. 6). These new cleaning operations are intended to thoroughly keep MS particles from remaining in or sticking to parts. In addition, the MS peening process was installed in a negative pressure room to prevent MS peening particles from scattering from the MS peening machine (Figs. 7-8).

### 2.3 Specific activity #2

Advance work training for reaching full-capacity production quickly

In this activity, the transition to a three-team system and full-capacity production were achieved at a faster pace than before. Previously, the launching of three-team production began with the training of the first team followed by the initiation of production operations. During a subsequent period of several months, training for a three-team system was done while proceeding with production operations. Finally, a transition was made to full-capacity production.

With the new approach, the first step was to prepare a training line for difficult operations and processes requiring a long training time. Advance work training was then carried out on that line (Fig. 9).

The second step was to conduct training on an existing line at JATCO's Yagi plant for key workers who would teach



Fig. 7 Overall view of MS peening process

### 2.3 具体的取り組み2

短期間でフル生産するための先行作業習熟

本活動では、従来を上回るスピードで3班体制への移行、およびフル能力生産が達成できた。

従来、3班体制の立ち上げは、まず1班目の習熟を実施し生産を開始。その後、生産を実施しながら数ヶ月間の時間をかけて3班体制の習熟を実施し、フル能力生産へ移行してきた。

新たな取り組みの1つめは、習熟に時間を要する難作業工程の訓練用ラインを作成し、そのラインで先行習熟を行ったことである (Fig. 9)。

2つめの取り組みは、増産ラインであることの強みを活かし、キーマン(教える人)作りを、当社八木工場の既存ラインで実施し、そのキーマンが、3班体制人員の習熟を同時進行で行ったことである (Fig. 10)。

これらの取り組みにより、従来の約半分の時間で、3班体制によるフル能力生産を達成できた。

### 2.4 具体的取り組み3

生産技術力向上のための革新技術の実用化

本活動では、生産技術開発アイテムを多数、量産ラインへ初適用を行った。その事例を紹介する。

#### 2.4.1 組立工程の新式ロボット実用化

組立工程において、柔らかいゴム製部品を人間と同じ触圧でつかみ、かつ人間と同じタクトで組み付けるロボットを初採用した。



Fig. 9 Training in difficult work operations on the training line



Fig. 8 MS peening machine in negative pressure room

others. This training took advantage of the fact that the new line was an additional production line. The key workers conducted training simultaneously for the personnel of the three-team system (Fig. 10).

Thanks to these activities, full-capacity production by three teams was achieved in approximately one-half of the time that it took previously.

### 2.4 Specific activity #3

Implementation of innovative technologies to further improve production engineering technological aptitude.

Numerous measures for newly developed production technologies were applied to this new mass production line for the first time in this activity. Some typical examples are described here.

#### 2.4.1 Implementation of new types of assembly process robots

Assembly process robots were installed for the first time that can grasp soft rubber parts with the same tactile pressure as human workers and also assemble them in the same takt time (Figs. 11 & 12).

#### 2.4.2 Installation of versatile material-transferring system in machining processes

An inexpensive and versatile material-transferring system based on robots was implemented in this project (Fig. 13). The robot hands were reduced in weight and innovations were made to the chucking method.



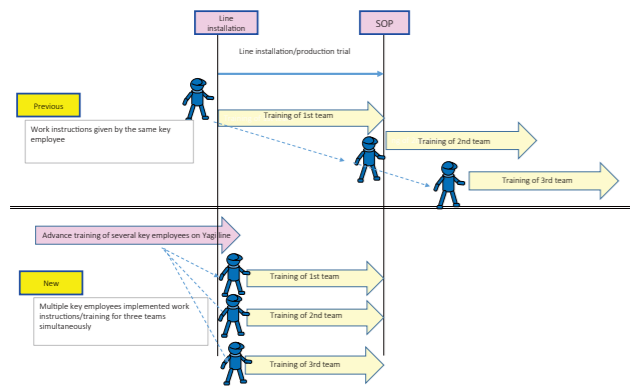


Fig. 10 Simultaneous training for three teams

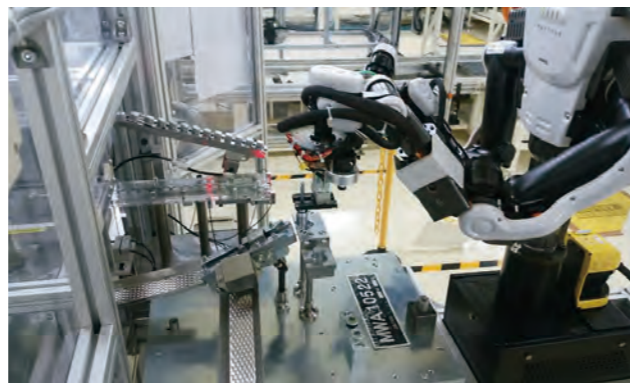


Fig. 12 O-ring assembly by new type of robot

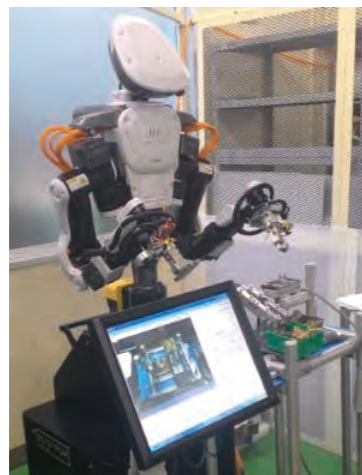


Fig. 11 JATCO's first installation of new type of robot



Fig. 13 Previous high-cost automatic material-handling system

2.4.2 加工工程の搬送方式汎用化

本計画では、ロボットハンドの軽量化、およびチャッキング方法の工夫を行い、汎用ロボットによる安価かつ汎用性の高い搬送方式を採用した(Fig. 13).

従来、トランスミッションケースのような異形大物ワークの工程間自動搬送方式は、ワークベースを用い、加工設備内にレールを走らせるトランスファーによる搬送方式を採用していた。

この方式は、専用設計となるため、高価かつ汎用性(転用性)が低いことが要改善点であった(Fig. 14).

2.4.3 コントロールバルブスプール穴内面検査工程の自動測定装置導入

本計画では、レーザー光によるスキャン測定データと画像処理を組み合わせた高精度な判別方法を開発し、自動化を行った。

従来、この検査は内視鏡を用い人の目で検査/判定を行ってきた。

Previously, the workpiece base was used in the automatic material handling system for transferring large, irregularly shaped workpieces like transmission cases between processes. Cases were moved along dedicated rails between the machining centers (Fig. 14).

However, because of its specialized design, that system was expensive and lacked general versatility, which were points requiring improvement.

2.4.3 Installation of automatic measurement equipment for inspecting inner surface of control valve spool holes

In this project, a highly accurate discrimination method was developed and automated, which combines measured data obtained by laser beam scanning with image processing (Fig. 15). Previously, this inspection was performed with an endoscope and judgment was made visually by the human eye.



Fig. 14 Installation of inexpensive, versatile material-handling robots

3.まとめ

本稿では、本年新たに増設したCVT8生産ラインの概要と重点課題への具体的取り組み内容事例を紹介した。

本活動では、従来に対し、

- (1) 工程設計見直しによるコンタミ品質の向上
  - (2) 人材育成方法の工夫による短期立ち上げの実現
  - (3) 革新技術導入による生産技術力の向上
- に取り組み、具現化することができた。

今回習得した知識や経験を、次の新ライン計画へ継承していき、更なる品質の向上、短納期対応で、お客さまへの貢献につなげていきたい。

今回、新ラインの立ち上げにあたり、ご協力をいただいた社内外の関係諸氏に感謝の意を表す。

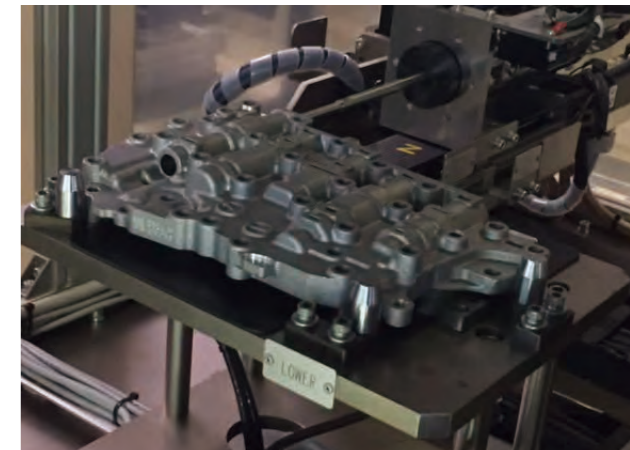


Fig. 15 Automatic measurement equipment for inspecting inner surface of spool holes

■ Author ■



Hiroshi OGASAWARA

3. Conclusion

This article has presented an overview of the new CVT8 production line that was additionally installed in 2016. The details of specific activities undertaken to address key issues were also described. The activities achieved the following improvements compared with previously.

- (1) Contamination prevention quality was improved through process design improvements.
- (2) Production was launched more quickly through innovative worker training methods.
- (3) Efforts were made to improve production engineering technological aptitude through the implementation of innovative technologies, and specific accomplishments were achieved.

The knowledge and experience gained through this project will be carried over to the planning of the next new production line to further improve quality and shorten delivery times, thus contributing to our customers' needs.

The author would like to thank everyone involved inside and outside the company for their invaluable cooperation with the launching of this new production line.



# iFactory活動 モデルラインへの稼働監視システム導入

iFactory Project: Implementation of an Equipment Operation Monitoring System on a Model Line

齋藤 渉\*  
Wataru SAITO

池田 英一\*  
Eiichi IKEDA

谷島 豪\*\*  
Tsuyoshi TANISHIMA

**抄 録** ジヤトコでは、米IIC、独Industry4.0、及びIoTのBench Markを基にして、工場での生産性向上、品質向上、早期立上げを目指し、生産のIoT化を推進している。

本稿では、2015年8月より活動を開始したiFactory活動において、設備管理領域として取り組んだ、稼働監視システムについて報告する。

**Summary** JATCO is promoting the use of Internet of Things (IoT) technology in production operations with the aim of improving productivity, enhancing quality and achieving faster production launches at assembly plants. This activity is based on the benchmarking research of IIC in the U.S., Germany's Industry 4.0 and IoT. This article describes a new equipment operation monitoring system that has been developed for the purpose of improving equipment management as part of the iFactory Project that JATCO launched in August 2015.

## 1. はじめに

最新のIoT化の進化に伴い、ジヤトコでもFig. 1に示すIoT戦略を掲げ、活動を推進中である。

その第一歩として、設備稼働状況を可視化するシステムを導入した。しかしながら、現場運用面での改善要望にシステム改造が迅速に対応できず、稼働システムを十分活用できていなかった。

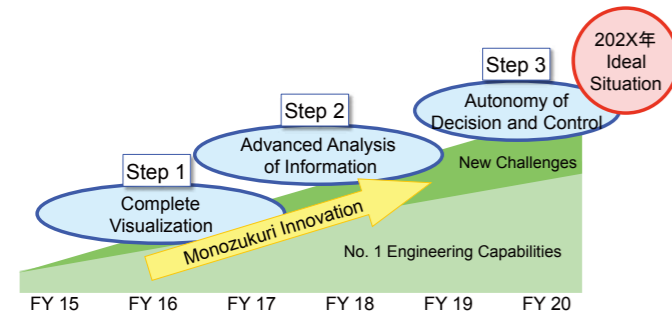


Fig. 1 202X Ideal Situation

そこで、新稼働監視システムにおいては、将来の汎用性・拡大性を考慮し、外部のシステムベンダーに頼らず、内製でシステムを構築することを基本とした。

その結果、システム構築・改造を迅速かつ廉価に行うことが可能となり、現場運用面でもその効果を発揮できたので、以下に紹介する。

\* 技術統括部  
Engineering Management Department

\*\* 工務部  
Production Administration Department

## 2. 新稼働監視システムの取り組み

### 2.1 モデルライン

富士1地区 PULLEY FIX 生加工ライン

生産能力：16,000台/月

生産機種：Jatco CVT7

搬送工程を自動化したラインで、加工設備：8台、搬送ロボット：1台で構成されている。

### 2.2 システム課題と対応

生産現場では、設備稼働状況を把握するために、Fig. 2【Previous】に示すように、ラインカルテ、及び設備総合効率調査票を使用しているが、下記のような課題があった。

- ・ 監督者には、現場のリアルタイム情報ではなく、事後報告が多い。
- ・ 作業による記入漏れや誤記入するケースがある。
- ・ 記入するデータは紙管理になっており、集計に時間が掛かる。

そこで、新稼働監視システム(Fig. 2【New】)では、上記課題を解決するため、下記のシステム機能要件を設定した。

- ・ 稼働状態を、リアルタイムに把握できるモニターを表示する。
- ・ 設備稼働状況データを正確に自動取得し、自動集計、監督者が必要とするグラフを自動作成する機能を設ける。

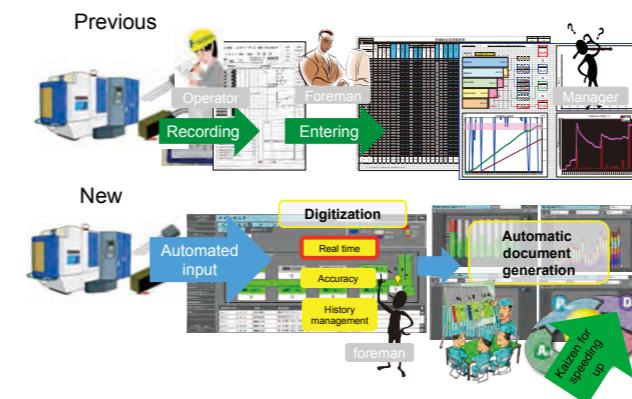


Fig. 2 Configuration of equipment operation monitoring system

The line consists of eight machining centers and one material transferring robot. The material transferring process on this line is automated.

### 2.2 Previous system issues and solutions

As shown in Fig. 2, in the “Previous” system, line charts and overall equipment efficiency check forms were used to grasp the equipment operating status on the shop floor. That system had the following issues.

- A supervisor did not have real-time information about the shop floor situation, but rather often received after-the-fact reports.
- There were instances when operator failed to input information or input incorrect information.
- The input data were managed on paper, so it took considerable time to aggregate them.

To resolve these problems, the following requirements were defined for the new equipment operation monitoring system as shown in Fig. 2, in the “New” diagram in the figure.

- The operating status is displayed on a monitor so that it can be grasped in real time.
- Data on the equipment operating status are correctly obtained and aggregated automatically. A function is provided for automatically generating the graphs needed by a supervisor.

### 2.3 Configuration of new equipment operation monitoring system

As illustrated in Fig. 3, the new equipment operation monitoring system consists of the shop floor equipment, line servers and a local server. The new monitoring system can be accessed from any Windows OS-based device that can be connected to the in-house LAN, including PCs, tablets and others. The system specifications allow access in any environment where the in-house LAN can be used, including offices, alongside the line and other locations.

### 2.4 Features of new equipment operation monitoring system

Top priorities were given to simple operation and monitoring so that the new equipment operation monitoring system could be built and modified by internal departments. To facilitate that, communication protocols were selected and implemented that are usable in common between pieces of equipment made by different manufacturers along with new software that is compatible with the protocols and can be easily updated by internal departments.







# VR, MR, 3Dプリンタを用いた先行技術開発

Advanced Technology Development using VR, MR and 3D Printing

伊藤 寛隆\*  
Hiroataka ITO

及川 翔太\*  
Shota OIKAWA

鹿内 建志\*  
Takeshi SHIKAUCHI

**抄 録** 近年、市場ニーズの多様化や環境規制対応の高まりから、トランスミッションの開発期間短縮が必要不可欠となっている。そこでジャトコでも先行開発段階でのアイデア創出支援および、設計・試作・評価をスピードアップするため、仮想現実を実現するVR (Virtual Reality), MR (Mixed Reality) や、迅速なモノづくりを可能にする3Dプリンタなどを活用した新しい先行開発プロセスの構築に取り組んでいる。本稿では、この取り組み内容について紹介する。

**Summary** It has become absolutely necessary in recent years to shorten the transmission development period owing to the diversification of market needs and compliance with stricter environmental regulations. Therefore, JATCO has undertaken efforts to construct a new advanced technology development process, for example, by using virtual reality (VR) and mixed reality (MR) techniques that create virtual environments and 3D printing that facilitates fast monozukuri. These technologies are being used to support idea creation at the advanced technology development stage and to speed up design, prototyping and evaluation activities. This article describes these technologies and examples of their application.

## 1. はじめに

近年、下記のような、モノづくりを根本から変える技術が生み出されて来ている。

- ・VR, MR, ARなどのVirtual技術
- ・3DプリンタなどのRapid Prototyping技術

ここでVRとはVirtual Reality, MRとはMixed Reality, ARとはAugmented Realityの略である。ジャトコでも先行開発プロセスにおけるアイデア創出支援および、設計・試作・評価で、これらの技術を活用し、開発期間の短縮と業務効率化を図っている。本稿ではこの取り組みについて紹介する。

## 2. Virtual技術の分類

Fig. 1に各種Virtual技術の活用事例を示す。現在活用されている技術には先に紹介したVR, MR, AR の3タイプがある。それぞれ異なる特徴があるので、以下に各技術の概要を説明する。

\* 未来技術センター  
Future Technology Center

## 2.1 VR (Virtual Reality) : 仮想現実

物理的なモノとしては存在しないが、現実のように感じる環境を人工的に再現する技術である。例えば、ドラビングシミュレータ、ヘッドマウントディスプレイを用いたゲームなどがある。

## 2.2 MR (Mixed Reality) : 複合現実

現実空間と仮想空間をミックスし、現実のモノに仮想的なモノが交じり合う空間を作り出す技術である。ジャトコでは、現物のトランスミッションケースと仮想部品の組み立てを複合空間上で再現している。その様子はヘッドマウントディスプレイを介した映像の中で、現物と仮想部品が同時に目の前にあるかのような体験することができる。

## 2.3 AR (Augmented Reality) : 拡張現実

ARは同一画面内または同一視野内の現実仮想的なモノや情報を表示することを特徴とする技術であり、この点ではMRと明確な差はない。ただし、ARはMRのように正確な位置や姿勢、大きさを現実世界に再現することをしていない。例えば、スマートフォンのカメラで撮影している現実画面にコンピュータ・グラフィックスで作成した仮想物体を写し出す技術である。

## 3. 開発プロセス

Fig. 2にジャトコ未来技術センターの先行開発プロセスを示す。まず最初に搭載検討する開発ユニットの3Dモデルを作成する。その3Dモデルと実際の車両のエンジンルームをMRによってミックスさせ、搭載性などを検証する。次に樹脂3Dプリンタを用いて開発ユニット内の部品を試作する。この段階で想像していたモノをリアルな形として認識できるようになり、実際に手に取って議論しながら、'出来栄'の検証が可能となる。従来の先行開発プロセスでは、リアルなモノになるまでに数か月の時間を要していたが、最新のRapid Prototyping技術では、これが数日に短縮される。これは直接的な開発期間短縮とエンジニアリングコスト削減を意味する。また、モノがあることでメンバーの議論がより活発化され、机上では現れてこなかった課題も明確になる。さらに、ドライビングシミュレータを活用して実車走行実験相当の官能評価試験を実施し、トランスミッションやその制御の出来栄をVirtualで評価、改良を重ねていく。最後に、この

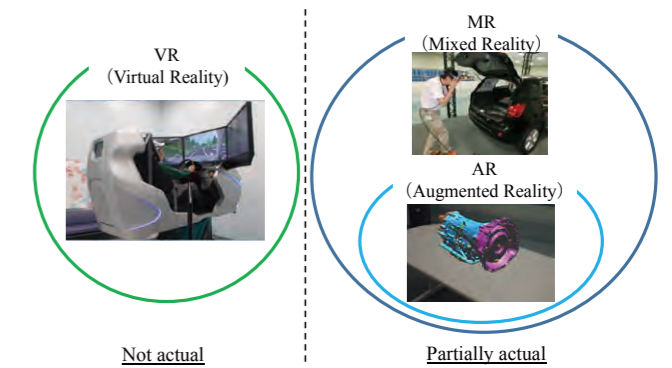


Fig. 1 Virtual technologies

## 2.1 Virtual reality (VR)

This technology is used to reproduce artificially an environment that seems real, though the physical objects in it do not actually exist. Examples of the use of VR include driving simulators and games using a head-mounted display, among others.

## 2.2 Mixed reality (MR)

This technology is used to create space in which virtual objects are intermixed with real ones to form a mixture of real and virtual space. At JATCO, we reproduce the assembly of virtual parts in an actual transmission case in mixed reality. Through the medium of images shown via a head-mounted display, that MR state can be experienced as if the actual and virtual objects are simultaneously present before the viewer's eyes.

## 2.3 Augmented reality (AR)

This technology is characterized by displaying virtual objects or information within the reality present in the same screen or in the same range of view. In this respect, AR is not clearly differentiated from MR. However, AR does not reproduce accurate positions, orientations or sizes in the real world in the way that MR does. For example, this technology can display a virtual object created by computer graphics in a real image being photographed by a smartphone.

## 3. Development Process

Figure 2 illustrates the advanced technology development process used at the JATCO Future Technology Center (JFTC). First, a 3D model is created of a transmission under development in order to examine its in-vehicle installation. That 3D model and the engine compartment of an actual vehicle are then mixed by MR for examining mountability and other aspects. Next, prototype parts of the



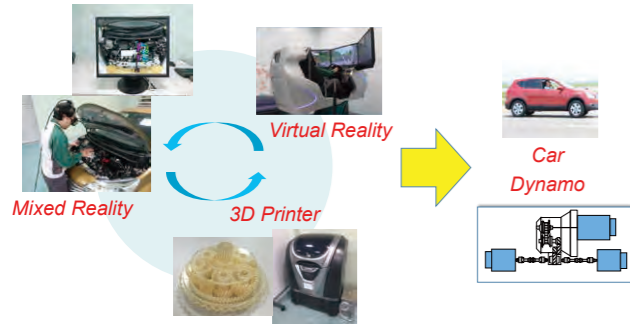


Fig. 2 Development process at JATCO Future Technology Center

サイクルを回すことによって決定した仕様で実際のユニットを試作し、そのユニットを実車やトランジェントダイナモで評価する。このように先行開発プロセスはVirtual技術とRapid Prototyping技術で形成されている。以下このプロセスにおけるVR, MR, 3Dプリンタの活用事例の詳細を紹介する。

#### 4. VRの活用

##### 4.1 ドライビングシミュレータの概要

ドライビングシミュレータは自動車の運転および走行を模擬する装置である。自動車メーカーでは開発段階において乗り心地評価、安全機能確認等に活用されている。Fig. 3のように一般的なドライビングシミュレータは、運転席から見える風景を映すためのモニター、エンジン音や路面音などを出すためのスピーカー、実車相当のステアリング、アクセルペダル、ブレーキペダル、シフトレバーによって構成され、これらにより、Virtualな運転席空間が再現されている。

##### 4.2 ドライビングシミュレータ導入の狙い

ドライビングシミュレータを活用することにより、従来プロセスでは、車両の段階でしか評価できなかった課題(車両の加速度変動、音振性能etc...)を、Virtual検討段階で洗い出し、解決できるようにした。これにより、Fig. 2に示すVirtual技術を軸とした先行開発サイクルを実現することが狙いである。

##### 4.3 導入システムの詳細

今回、導入したドライビングシミュレータは、前述のようなVirtual運転席空間を再現する構成に加え、6軸の平行リンク機構を座席下部に設置することで、走行時の挙動再現を可能とした。急発進時、急ブレーキ時、コー

transmission being developed are fabricated using a resin 3D printer. At this stage, the envisioned parts can be recognized in their real shape. They can be picked up in one's hand, discussed and their workmanship validated. With the previous advanced technology development process, it took a period of several months before real objects were obtained, but using recent rapid prototyping technology can now shorten that to several days. That means a direct reduction of the development period and of engineering costs. Moreover, because there are actual objects, discussions by the development team members become livelier and issues that did not appear in theoretical studies also become clear. In addition, subjective evaluations similar to actual vehicle driving tests can be conducted using a driving simulator, making it possible to evaluate the quality of a transmission and its control system in a virtual environment and implement repeated improvements. Finally, the specifications determined through the execution of this cycle are used to manufacture a transmission prototype and the unit is then evaluated in vehicle tests and using a transient dynamo. As described here, the advanced technology development process is formed on the basis of virtual technologies and rapid prototyping technology. The following sections describe in detail some examples of the actual use of VR, MR and 3D printing in this process.



Fig. 3 Driving simulator overview

#### 4. Use of VR

##### 4.1 Driving simulator overview

A driving simulator is a system for simulating the operation of a vehicle and its dynamic performance. Vehicle manufacturers use driving simulators at the development stage to evaluate ride comfort and confirm safety functions, among other things. As shown in Fig. 3, a general driving simulator consists of a monitor for showing the forward view seen from the driver's seat, speakers for outputting engine noise, road surface noise and other sounds, and a steering wheel, accelerator pedal, brake pedal and a shift lever corresponding to those of an actual vehicle. These features reproduce a virtual driver's seat environment.

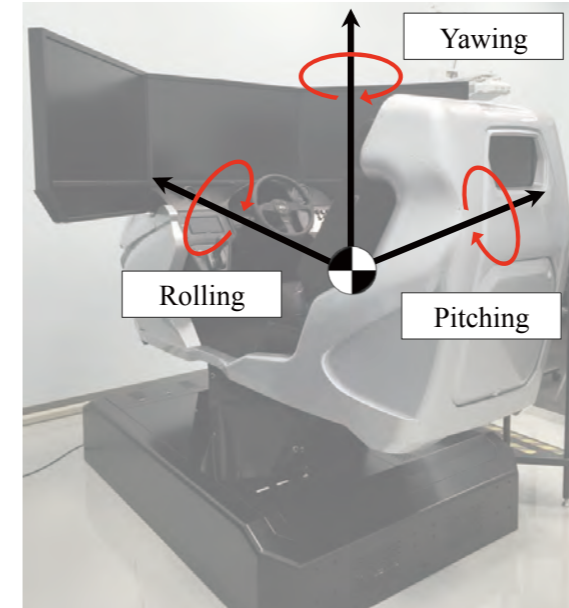


Fig. 4 Pitching, rolling and yawing axes

ナリング時、登坂走行時に相当する0.5Gまでを考慮し、Fig. 4に示すようなピッチ角、ロール角、ヨー角はそれぞれ15degまで傾斜可能としている。制御構成は、Fig. 5のようにVirtual空間および車両動作のシミュレーションを統合したシステムとなっている。本シミュレーションの動作プロセスは、まず運転者の操作情報から車両動作シミュレーションが車両挙動を演算する。その結果をVirtual空間シミュレーションにフィードバックし、運転者の座席姿勢を模擬制御する構成である。このようなシステム構成とすることで、トランスミッションの官能評価が可能となった。

##### 4.4 ドライビングシミュレータによる実走感覚の再現

本システムでは、実車(または実車相当)の車速、加速度、GPS位置情報を入力データにすることで、実走状況の再現が可能である。これにより、たとえば世界各国の道路環境をシミュレーション上で再現でき、それぞれの環境に即した車両挙動や不具合現象を日本にしながら体感することができる。また、車両の音についても制御シミュレーションと連動してエンジン音変動の再現や、走行中の暗騒音の再現等が可能となった。

##### 4.5 ドライビングシミュレータの将来構想

将来的にはFig. 6のようにAT/CVTモデルと各単体試験機を組み合わせたシミュレーション環境を構築し、単体要素実験のみでトランスミッションの官能評価が可能となる環境を目指す。たとえば新型オイルポンプを開発する時は、

##### 4.2 Aim for implementing a driving simulator

The use of a driving simulator makes it possible to identify and resolve issues at the virtual study stage, which could not be evaluated in the previous process until the vehicle test stage. This includes fluctuation in vehicle acceleration and noise/vibration performance, among other things. The aim here is to achieve an advanced technology development cycle based on virtual technologies as shown in Fig. 2.

##### 4.3 Details of the implemented system

The driving simulator implemented recently is configured to reproduce a virtual driver's seat environment as described above. In addition, it also has a six-axis parallel link mechanism installed under the driver's seat for reproducing vehicle behavior during driving. As shown in Fig. 4, it can produce pitching, rolling and yawing motions up to a 15° angle of inclination, taking into account acceleration of 0.5 G corresponding to rapid start-off, hard braking, cornering and hill-climbing. Figure 5 shows the configuration of the system, which integrates a virtual environment and simulation of vehicle motion. In the vehicle motion simulation process, vehicle behavior is first calculated from information on the operations performed by the driver. The results are then fed back to the virtual environment simulation and the posture of the seated driver is simulated and controlled. This system configuration now enables subjective evaluations by human sensitivity of the transmission.

##### 4.4 Reproduction of actual driving feel by the driving simulator

This system can reproduce real driving conditions based on data inputs of the speed, acceleration and GPS position information of an actual vehicle (or equivalent vehicle data). This capability makes it possible, for example, to simulate road environments in countries around the world and to experience vehicle behavior and trouble phenomena corresponding to those environments while being in Japan. Vehicle sounds can also be reproduced in coordination with the control system simulation, including reproducing changes in engine noise and the background noise during driving, among other sounds.

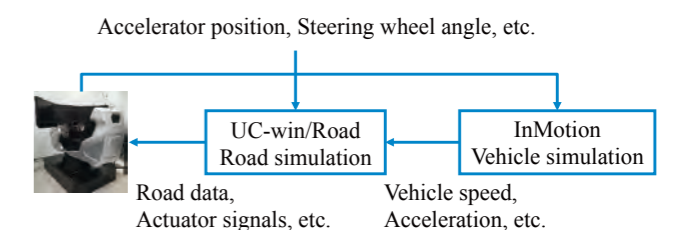


Fig. 5 Driving simulator system map

オイルポンプテストの回転数や吐出圧がシミュレーションと連動して自動で調節され、駆動トルクやポンプ吐出量のリアルタイム測定値が自動的にシミュレーションに取り込まれる。これらによって、AT/CVTの性能のみならず、車両発進時の挙動変化を予測できるシステムを目指している。

### 5. MRの活用

#### 5.1 MRシステム概要

MRシステムは大きく分けて、Fig. 7のように3つの要素で構成されている。

- ①ディスプレイ装置
- ②動体捕捉装置
- ③画像を描画・処理するCAD

なお、ディスプレイ装置はTable 1、動体捕捉装置はTable 2に示すように、幾つかの種類が存在する。

#### 5.2 MRシステム導入の狙い

MRシステムは「Virtual (3Dモデル)とReal (現物)の融合が可能」が特徴である。例えば、3Dモデルのない現物車両と、新たに設計した3Dモデルによる構造物を同じ空間で融合させることができる。これにより、まるで現物合わせしているかのような検討の質向上と時間短縮を実現することが狙いである。

#### 5.3 導入システムの詳細

当社が導入した構成は下記組合せである。

- ・ディスプレイ方式：HMD (Head Mounted Display)
- ・動体捕捉方式：光学式

ディスプレイ方式は、両手による作業が自在にできるHMDを選択した。HHD (Hand Hold Display)は立体視

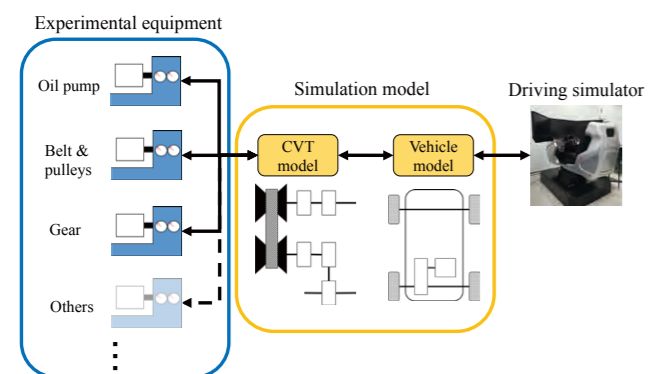


Fig. 6 Future simulator vision

#### 4.5 Vision of future driving simulator

In the future, we want to construct a simulation environment that combines an AT/CVT model with individual pieces of test equipment as shown in Fig. 6. The aim is to create an environment that facilitates subjective evaluations of the transmission in tests conducted on individual elements alone. For example, when developing a new-generation oil pump, the speed and discharge pressure of the oil pump tester will be adjusted automatically in coordination with the simulation, and the pump drive torque, discharge flow rate and other values measured in real time will be automatically input into the simulation. The aim is to create a system in this way that can predict not only AT/CVT performance, but also changes in behavior during vehicle launch.

### 5. Use of MR

#### 5.1 MR system overview

Broadly speaking, an MR system is composed of three major elements as shown in Fig. 7

- ① Display
- ② Motion capture device
- ③ CAD system for creating/processing images

There are several types of displays and motion capture devices that can be used as indicated in Tables 1 and 2, respectively.

#### 5.2 Aim for implementing MR system

One feature of an MR system is that it can merge a virtual 3D model and real objects. For example, it can merge in the same space a real vehicle, for which there is no 3D model, and a structure created with a newly designed 3D model. Through this ability the aim is to improve the quality and shorten the time of studies in which real objects appear as if they are fit together.

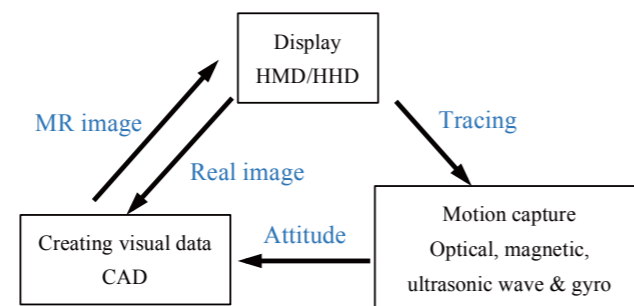


Fig. 7 Configuration of MR system

可能という特徴はあるが、両手による作業ができず、模擬組立作業の障害となってしまったため選外とした。

動体捕捉方式は、複数のカメラを用いることで、車両のように広い空間、エンジンフードのような遮蔽物や磁性体に囲まれる環境でも捕捉可能な光学式を選択した。超音波&ジャイロ方式は遮蔽物による動作不良が懸念され、磁気式は磁性体による動作不良が懸念されたため選外とした。

#### 5.4 MRシステムの活用例と効果

活用例として代表的なのは、以下の2項目である。

##### ①車両への搭載性検証

開発ユニットの車両実験では計測機器類を架台にセットした状態で搭載する必要がある。そこで、架台・測定機器類を3Dモデル化し、MRシステムを利用することにより、機器類の配置や架台サイズを実車上で事前に検証することが可能となった。これにより、現物合わせ加工、位置修正作業が廃止され、計測機器類を搭載する際に発生しがちな手戻りが無くなった。また、車両へのユニット搭載性検討でも同じように手戻りが削減できた。

##### ②デザインレビュー (DR) への適用

今までのDRでは2次元平面、いわゆるモニタに3Dモデルを表示していた。その際に、説明者が3Dモデルを回転・拡大縮小・断面作成の操作を行っていたため、情報共有の時間効率が悪かった。そこで3Dモデルを立体視しながら回転、視点・立ち位置変更(覗くような動き)、断面確認等をリアルタイムに検討できるMRシステムを利用することにより、レイアウト理解が容易になった。これにより、DRの質とスピードが飛躍的に向上した(Fig. 8)。

Table 1 Types of display

Type	Feature
HMD (Head-mounted display)	Mounted on the head, so hands are free.
HHD (Hand-held display)	Held in both hands like field glasses.

#### 5.3 Details of implemented system

The configuration of the MR system implemented at JATCO combines the following elements.

- Display type: Head-mounted display (HMD)
- Motion capture device: Optical system

An HMD was selected as the display type because it leaves both hands free for work tasks. A hand-held display (HHD) has the advantage of allowing stereo vision, but it was not chosen because work tasks cannot be done with both hands, which would be an obstacle to simulations of assembly operations.

An optical system was selected for the motion capture system because the use of multiple cameras facilitates motion capture in the broad space of a vehicle and even in environments with covers like the engine hood or surrounded by magnetic material. The ultrasonic wave and gyro types were not selected because there was concern about operational failures due to covers, and the magnetic type was not chosen due to concern about operational failures caused by the presence of magnetic material.

#### 5.4 Examples of the use and benefits of the MR system

Two typical examples of the use of the MR system are explained here.

##### ① Verification of vehicle mountability

In conducting in-vehicle tests of a transmission under development, the unit must be mounted in the test vehicle with various measuring instruments attached to a stand. Therefore, a 3D model is made of the stand and the measuring instruments, and the MR system can be used to verify the layout of the instruments and the size of the stand beforehand in an actual vehicle. As a result, this has eliminated machining for aligning parts and position correction work, as well as reworking that tended to occur

Table 2 Type of Motion capture

Type	Feature
Optical	Tracing a reflective ball with multipoint cameras. Using triangulation.
Magnetic	Using magnetic sensors for detecting position and attitude.
Ultrasonic wave & gyro.	Using an ultrasonic wave sensor for detecting position. Using a gyro sensor for detecting altitude.





Fig. 8 Design review scene

## 6. 3Dプリンタの活用

### 6.1 3Dプリンタの概要

3Dプリンタは金属、樹脂、石膏などの材料を、熱、光、接着剤などで結合、硬化させ、それらを積み重ねることによって自由度の高い形状を作成することが可能である。樹脂や石膏タイプの物は、試作品の形状確認や、比較的強度を必要としない意匠性の高い物を造形する時に適用されている。また、金属タイプはインプラントや金型など、少量かつ複雑形状の物へ適用が広がっている。年々、適用例は増えており、今後も適用範囲が拡大していくことが考えられる。

### 6.2 3Dプリンタ導入の狙い

3Dプリンタは、素早く現物を作成できるので、以下の効果を狙うことができる。

#### ① 開発初期における早期課題抽出

現物を使って、作動確認、構造レイアウトの検討を実施することで、効率的に理解が深まり、課題抽出の漏れを防止できる。

#### ② 工法に左右されない独創的アイデア創出

従来設計の部品は、加工のために切削工具が入る形状、接合のための形状確保など、工法に縛られた構造をしていた。3Dプリンタを使うことにより自由度の高い形状を現物として作成、手に取って検討できるため、既成概念にとらわれない独創的アイデアを創出できる。

when the measuring instruments were installed in the test vehicle. The same type of reworking has been reduced in studies of transmission mountability in a vehicle.

#### ③ Application to design reviews

To date, design reviews have been conducted using 3D models displayed on a 2D flat screen or monitor. Because the presenter has performed operations such as rotating, expanding and contracting the 3D models and creating cross sections, information has not been shared efficiently in terms of time. Accordingly, using the MR system to rotate 3D models, change the viewpoint and starting position (peeking motions) and confirm cross sections, while viewing the models in stereo vision, makes it much easier to understand the unit layout. This has dramatically improved the quality and speed of design reviews (Fig. 8).

## 6. Use of 3D Printing

### 6.1 Overview of 3D printing

3D printing forms shapes with a high degree of flexibility by building up layers of materials such as metal, resin or plaster and combining and hardening them using heat, light, adhesives or some other means. Materials like resin and plaster are suitable for forming things having a high degree of creative design and not requiring relatively much strength, for the purpose of confirming the shape of prototype parts. The application of metals is expanding for things having a complex shape and produced in small numbers such as implants and molds/dies. Examples of the application of 3D printing are increasing every year, and it is expected that the scope of application for this technology will expand further in the coming years.

### 6.2 Aim for implementing 3D printing

Because 3D printing can form things quickly, it is possible to aim for the following three benefits.

#### ① Early identification of issues in the early stage of development

Using an actual object to confirm motion and examine the structural layout is effective for deepening one's understanding efficiently and preventing the overlooking of issues that should be identified.

#### ② Creation of original ideas unrestricted by the manufacturing process

Parts designed with the previous process had structures that were tied to the manufacturing process. For example,

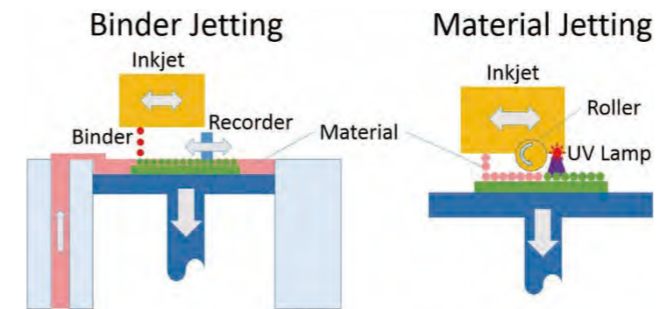


Fig. 9 Types of 3D printer

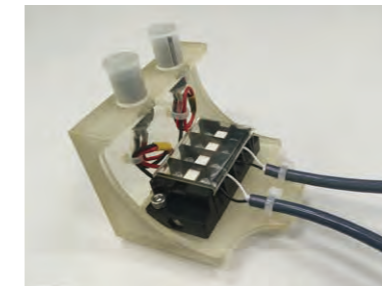


Fig. 10 Test jig

### 6.3 導入システムの詳細

Fig. 9にジヤトコが導入した3Dプリンタを示す。ジヤトコでは、粉末材料のプールに向け、造形部に接着剤を噴射する、結合剤噴射タイプ(Binder Jetting)を2007年に導入し、箱物の検討などに活用してきた。しかし、結合剤噴射タイプは接着剤の結合強度が低いため、造形物が破損しやすく使用範囲が限定されていた。また、粉塵飛散の影響から3Dプリンタ専用室が必要だった。

そこで、インクジェットヘッドからアクリル樹脂を基材とする光硬化性樹脂を吹き出し、UVランプで硬化させる材料噴射タイプ(Material Jetting)の3Dプリンタを新たに導入した。材料噴射タイプは、材料の密着力が高いため、造形物の強度が高く、また、形状の寸法精度も高い。これにより、アセンブリ部品の動作確認も可能となった。さらに、材料がカートリッジ式になっており、メンテナンス性が高く、粉塵飛散による影響もないため、3Dプリンタ専用室が不要となった。

### 6.4 3Dプリンタの活用事例と効果

活用例として代表的なのは、以下の3項目である。

#### ① 新機構、新構造部品の動作、構造の確認

新機構、新構造を開発する段階では、まだ検討手法が確立していない技術が多い。そのためCAE解析に時間を要したり、机上計算が困難な場合がある。そのような

shapes had to allow for the entry of cutting tools to perform machining operations and shapes had to be conducive to joining. Using 3D printing allows a high degree of freedom for creating the shapes of things. Because the objects can then be picked up in one's hands and examined, unique and original ideas can be created without being limited by existing concepts.

### 6.3 Details of implemented systems

Figure 9 shows the types of 3D printers JATCO has implemented. A binder jetting type of 3D printer was installed in 2007 and has been used in studying transmission cases, among other things. This type ejects a liquid binder toward a pool of powder material on a build tray. However, because the adhesive strength was weak, the formed parts easily broke, thus limiting the range of use of the binder jetting process. In addition, a dedicated 3D printing room was required because of the effect of the scattering powder.

Therefore, a material jetting type of 3D printer was newly installed. This type ejects an acrylic-based photopolymer from an inkjet and hardens it by means of a UV lamp. Because the material has high adhesion, the formed part has high strength and the shape has excellent dimensional accuracy. Accordingly, the material jetting process can also be used for confirming the motion of assembly parts. In addition, a dedicated 3D printing room is not necessary because the material is contained in a cartridge, the process has high maintainability, and there is no effect of scattering powder, either.

### 6.4 Examples of the use and benefits of 3D printing

Three typical examples of the use of 3D printing are explained here.

- ① Confirmation of the motion and structure of parts with new mechanisms or structures
- ② Verification of easiness for assembling
- ③ Use as a jig for conducting experiments

#### ① Confirmation of the motion and structure of parts with new mechanisms or structures

At the stage of developing new mechanisms and new structures, there are many technologies for which verification methods have not been established. For that reason, there are instances when much time is needed to run CAE simulations or it is exceptionally difficult to perform theoretical calculations. In such cases, 3D printing can be used to form the actual part, making it possible to verify in advance

場合に3Dプリンタで現物を作ることで、狙い通りに動作ができるか、事前検証を実施している。また、部品の内部に可動する部品が存在するような、従来の工法では作れない新機構を試作し、動作の事前検証を実施している。

②組立性の検証

組立性の検証は先にも記述したが、従来は2次元画面内の3Dモデルのみで行ってきた。これに数日で造形可能な3Dプリンタの現物を加えることで、組立時の手や部品の軌跡、作業者の体勢が検証できるようになり、作業性の良好な部品や組立治具を作ることが可能となった。

③実験治具として使用

開発品のみならず、実験に応じた専用実験治具を製作することも可能であり、作業性向上につながっている。Fig. 10で示しているのは、実験の配線を束ねるために製作した治具である。本治具の活用により配線の整理と、結線時の付け替え作業を減らすことができた。

7. まとめ

VR, MR, 3Dプリンタを活用することにより、先行開発期間短縮が可能となった。今後はVR, MR, 3Dプリンタの活用範囲をさらに広げるとともに、単体試験機とVirtual Simulationをリアルタイムに連動させて、飛躍的に高効率な先行開発にする計画である。これらにより、革新的な先行開発プロセスが実現する日は近いと確信する。

whether it operates as intended. Moreover, prototypes of new mechanisms can be fabricated in cases where there are movable components inside a part and such mechanisms cannot be made with conventional manufacturing methods.

② Verification of easiness for assembling

As mentioned above, verification of easiness for assembling was only confirmed in the past using 3D models displayed on a 2D flat screen. With 3D printing, the actual part can be fabricated in several days, making it possible to verify the paths of the worker's hands and parts at the time of assembly and the posture of the assembly line worker. This now makes it possible to create parts and assembly jigs conducive to excellent assemblability.

③ Use as a jig for conducting experiments

In addition to the parts being developed, it is also possible to fabricate specialized test jigs to meet the requirements of experiments, thereby leading to improved work efficiency. Shown in Fig. 10 is a jig that was fabricated for bundling wires used in an experiment. The use of this jig reduced the work of arranging the wires and of rewiring them when making connections.

7. Conclusion

The use of VR, MR and 3D printing has shortened the advanced technology development period. In the future, it is planned to expand further the scope of use of VR, MR and 3D printing, and efforts will be made to carry out advanced technology development work with dramatically higher efficiency through real-time linkage between components experiment testers and virtual simulations. As a result, we believe that the day is near at hand when an innovative advanced technology development process will be achieved.

Memo

.....

■ Authors ■



Hiroataka ITO



Shota OIKAWA



Takeshi SHIKAUCHI



# 車両適用検討支援NAVIシステムの開発

Development of a NAVI Support System for Vehicle Application Studies

鈴木 圭介\*  
Keisuke SUZUKI

原 陽平\*  
Yohei HARA

**抄 録** Jatco CVT7は幾つものカーメーカーの多種に亘る車両へ搭載されており、車両適用開発はそれらの新型車開発時のみならず、マイナーチェンジ、仕向け変更時にも実施しており、年々適用範囲が拡大している。

このような適用範囲の拡大に伴い、検討の精度向上・効率化への要求も高まっている。

本稿では、上記要求に対するプロセス改善として開発した車両適用検討支援NAVIシステムについて紹介する。

**Summary** The Jatco CVT7 has been adopted on various vehicle models of a number of carmakers. Vehicle application development work is carried out not only when new vehicle models are developed, but also at the time of minor model changes and when target markets change. The scope of vehicle application work is expanding every year. With this expansion of the scope of vehicle application activities, there are also growing requirements for improving the accuracy of the technical studies involved and development work efficiency.

This article describes a new NAVI system for supporting vehicle application studies, which has been developed to improve work processes in order to meet these requirements.

## 1. はじめに

CVT/ATのマザーユニット開発完了後の車両適用検討は、車種、仕向け、お客さまであるカーメーカーからの要求事項をもとに、ハードウェアの成立性および動力性能、運転性能などのソフトウェア適合検討を行っている。抜けのない開発をするためには、重要課題を漏れなく抽出することが重要となっている。

本開発では、CVT7の車両適用検討プロセスにおいて、カーメーカーからの要求仕様がINPUTされた時の情報をもとに、必要となる検討項目や課題を自動的に抽出するシステム(以下NAVIシステム)を開発したので紹介する。

このNAVIシステムにより、カーメーカー要求事項を抜け漏れなく検討でき、仕事の流れ/プロセスを簡略化、さらにノウハウ一元管理による開発効率化が可能となった。

以下にその詳細について述べる。

## 1. Introduction

After completing the development of the mother unit of a CVT or AT, vehicle application studies are conducted based on the target vehicle model, intended market destinations and the requirements of the carmaker as the customer. This involves verifying the viability of the hardware and the suitability of the software with respect to power performance, driveability and other performance attributes. It is essential to identify all potential issues in this process without overlooking anything in order to carry out the development work without any omissions.

In this development project, we developed a NAVI system for use in the vehicle application study process for the CVT7. This system automatically identifies the items requiring examination and potential issues based on the related information when the specifications required by the carmaker are input. With this NAVI system, the carmaker's requirements can be examined without any overlooking, making it possible to boost development work efficiency by simplifying the work flow/processes and also by centralizing management of knowhow.

The following sections describe the details of this new NAVI support system.

\* ジヤトコ エンジニアリング株式会社 エンジニアリング事業部 車両適用開発部  
Vehicle application Development Department, Engineering Division, JATCO Engineering Ltd

## 2. 車両適用検討の流れ及び課題

### 2.1 適用検討のプロセス

従来までの車両適用検討の流れをFig. 1に示す。

カーメーカーからの、次期型開発車両に関する仕様変更情報やCVTへの変更要求項目が、要求仕様書としてプロジェクト推進担当へ発行される。

プロジェクト推進担当はその要求仕様書を元に詳細技術検討が必要な項目を抽出し、各部品・システム設計担当者へ業務依頼を発行し、その車両に対する各部品・システムの成立性の検討を依頼していた。各部品・システム設計担当者はこの依頼を受け、要求仕様書に基づいた検討を各々実施し、プロジェクト推進担当に対する回答を行うプロセスであった。

プロジェクト推進担当は各部品・システム設計担当からの回答結果を集約し、次期型車の要求に対して既存ユニット仕様のまま流用可能かどうかを判断していた。本検討の一連の流れは、車両開発の開発ロットの節目ごとに実施し、その結果をカーメーカーへ回答する。完全流用が不可能で仕様変更が必要な場合も発生し、その場合にはカーメーカーおよび部品・システム設計担当と必要な検討や確認実験について打ち合わせを進める方式であった。

### 2.2 従来検討プロセスの課題

前項に記述したプロセスでは、要求仕様の内容から設計検討要否をプロジェクト推進担当で判断し、各部品・システム設計に詳細検討依頼をしており、それぞれの部品・システムに対してどの要求項目が関係するかのエキスパート知見が不足することもあり、適切な課題抽出ができないリスクがあった。そのため課題抜けを防止するために、詳細検討を必要以上に多めに依頼することが多く、検討依頼の授受や依頼に対する回答促進フォローに多大な工数を要するというロスも発生していた。

さらに、検討ツールや検討結果のデータも定められた管理方法がなく、プロジェクト推進担当の個人で管理されていたデータとなっていたため、ノウハウとして蓄積がされにくい状態となっていた。そのため、例えば過去の適用の実績相場等をまとめるためには各個人のデータベースを個々に集めて回るようなロスも発生していた。

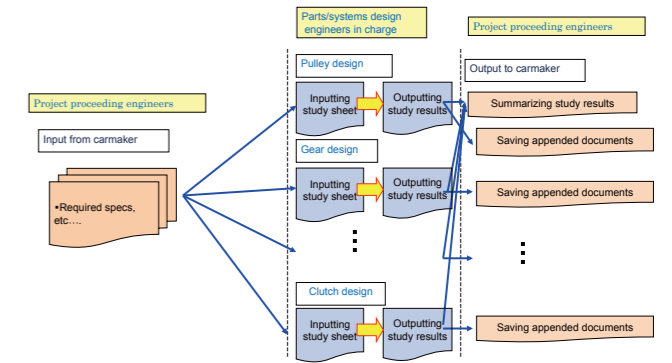


Fig. 1 Flowchart of vehicle application studies

## 2. Work Flow and Issues Involved in Vehicle Application Studies

### 2.1 Study process in vehicle application

The conventional work flow for conducting vehicle application studies is shown in Fig. 1. The carmaker sent the required specifications to the person in charge of proceeding the CVT development project. This included information on specification changes related to the next-generation vehicle model to be developed and requests for changes to the CVT.

Based on the required specifications, the project proceeding engineers identified the items requiring a detailed technical study and issued work requests to the design engineers responsible for each part and system. The design engineers were asked to examine the viability of each part and system with respect to the next-generation vehicle model. Individual studies were conducted based on the required specifications, and the design engineers sent their responses back to the project proceeding engineers.

The project proceeding engineers summarized the study results received from the design engineers responsible for the individual parts/systems and judged whether the existing CVT specifications could be carried over unchanged to meet the requirements of the next-generation vehicle model. This series of studies was carried out at each juncture of the development lot of the new vehicle model being developed, and the results were reported to the carmaker. There were times when all the specifications could not be carried over, so specification changes became necessary. In such cases, carmaker representatives and the design engineers responsible for the parts and systems met to discuss the necessary studies and confirmation tests.

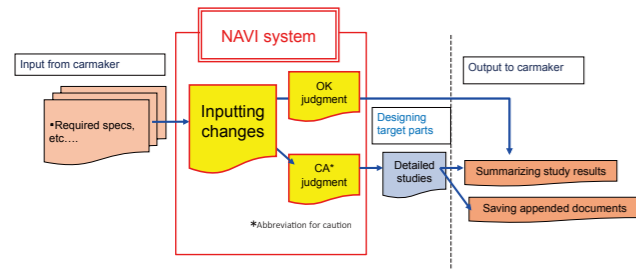


Fig. 2 Aims for implementing NAVI system

### 3. NAVIシステム導入の狙い

前項の課題の解決を目的として、NAVIシステムの開発・導入に取り組んだ。

部品・システム設計のエキスパート知見を織り込んだNAVIシステムを構築し、プロジェクト推進担当が部品設計に成立性検討を依頼する前に要求仕様情報をNAVIシステムにINPUTすることで、詳細検討要否を判断し、詳細検討が必要な項目がある場合に限って、各担当に詳細検討依頼を実施するシステムとした(Fig. 2)。

部品・システム設計の検討作業の中には単純にカーメーカーからの要求数値のみで判定できるようなルーティン化している内容もあり、これらの検討作業についてもプロジェクト推進担当のNAVIシステムの中に自動化して取り込んだ。

併せて検討データはNAVIシステムとともに一元管理することで前項のノウハウ蓄積不足の課題解決を図ることを狙いとした。

### 4. NAVIシステムの特徴

#### 4.1 視認性に配慮した入出力画面

Fig. 3に実際のNAVIシステム入出力画面を示す。

縦軸はカーメーカーからの要求仕様項目、横軸はそれらの項目に対する各部品の判定基準および判定結果の表示欄となっている。

各部品に対し、検討へ影響しない仕様項目はグレーでハッチングされており、それぞれの仕様の各項目に対し、どの部品が影響を受けるのかが一枚の画面上で確認できるようにしている。

プロジェクト推進担当にて、カーメーカーからの要求仕様書に基づき、ベースとなる前型車両の諸元と、今回新

### 2.2 Issues in conventional study process

In the process described above, the project proceeding engineers judged on the basis of the details of the required specifications whether design studies were necessary or not and requested the design engineers of the parts and systems to undertake detailed technical studies. Sometimes the project proceeding engineers lacked sufficient expert knowledge to judge which requirements were related to the respective parts and systems. There was the risk that potential issues could not be identified properly. For that reason, excessive more detailed studies than what was actually needed were often requested to prevent potential issues from being overlooked. The exchange of communication for requesting studies and follow-up messages for encouraging response to a request caused losses in terms of the numerous man-hours required.

In addition, there were no specified study tools or methods for managing the data in the study results, so project proceeding engineers managed the data themselves. That situation made it difficult to accumulate know-how from the studies. Consequently, losses were also incurred when trying to put together the actual results of previous vehicle application studies because it was necessary to go around and access the separate databases of individual project proceeding engineers.

### 3. Aims for Implementing NAVI System

A NAVI system was developed and implemented to resolve the issues mentioned in the foregoing section. This system was constructed by embodying the expert knowledge of transmission parts/systems design engineers. Before a project proceeding engineer asks a design engineer to examine the viability of a part, the required specification data are input into the NAVI system, which judges whether detailed studies are needed or not. Only if there are items requiring a detailed study does the system request the respective design engineer to conduct such a study (Fig. 2).

Among the studies conducted for designing parts and systems, there are routine items which can be judged purely on the basis of the required values received from a carmaker. The ability to make automatic judgments about these studies has also been incorporated in the NAVI system used by project proceeding engineers.

In addition, study data are centrally managed together with the NAVI system, which was another development aim that was intended to resolve the above-mentioned issue about insufficient accumulation of know-how.

Fig. 3 Input/output screens of NAVI system

たに検討したい新型車両の諸元をそれぞれ入力すると、前型と新型の差異点および各仕様に対する部品毎の判定結果が自動出力される。

NAVIシステム内の計算にてOK判断できる項目は「OK判定」、各部品・システム担当にて詳細検討が必要な項目は「CA\*判定」が黄色で表示される。

(\*CA: CAUTIONの略)

### 4.2 結果の自動まとめ機能の付与

前項にて出力された結果は、部品・システム別に出力されるため、視認性は高いが表示データの量が多く、次期型車両への適合課題や流用可否の判断を一括把握することには不向きである。また、詳細検討を依頼する相手の連絡先等を調べることに時間もかかる課題があった。そこで、結果を簡潔に自動でまとめて全体を把握しやすいフォームで出力し、さらに詳細検討を依頼する相手先のメールアドレスを自動的にリンク付けする機能も付与した(Fig. 4)。

### 4. Features of NAVI system

#### 4.1 Input/output screens designed for easy visibility

Figure 3 shows examples of actual input/output screens of the NAVI system. The specification items required by the carmaker are shown along the left side, and the horizontal rows show the judgement criteria for each part corresponding to those items and the judgment results are given in the columns.

For each part, the specifications not affecting the technical studies are highlighted in gray. One single screen like this makes it possible to recognize which parts are influenced by each item of the respective specifications.

Based on the required specifications received from the carmaker, the project proceeding engineer inputs the specifications of the current vehicle model that represent the baseline and the specifications of the new vehicle model for which studies are to be newly conducted. The system then automatically outputs the differences between the two vehicle models and the judgment results for each part in relation to the individual specifications.

Results of automatic judgment by NAVI system

Items judged CA are studied in detail by the design group for each part.

Part	Person in charge	Email address link	NAVI judgment	Detailed study results for CA items	Final judgment
Torque converter	Manager OO	JT x x x x	CA	No problem because the simulation results satisfied the criteria values. (See appended documents for detailed study results.)	OK
	Chief ΔΔ	JT x x x x			
	Design Eng. XX	JT x x x x			
Pulleys	Manager OO	JT x x x x	OK		OK
	Chief ΔΔ	JT x x x x			
	Design Eng. XX	JT x x x x			
Belt	Manager OO	JT x x x x	CA	No problem because the detailed study results, taking into account the amount of heat release, satisfied the criteria values. (See appended documents for detailed study results.)	OK
	Chief ΔΔ	JT x x x x			
	Design Eng. XX	JT x x x x			
Clutches	Manager OO	JT x x x x	OK		OK
	Chief ΔΔ	JT x x x x			
	Design Eng. XX	JT x x x x			
Gears	Manager OO	JT x x x x	CA	No problem because the detailed study results, taking into account the load frequency, showed that the degree of damage was below the criteria values. (See appended documents for detailed study results.)	OK
	Chief ΔΔ	JT x x x x			
	Design Eng. XX	JT x x x x			
	Manager OO	JT x x x x			

Fig. 4 Screen showing summary of NAVI system results



縦軸に各部品・システムが表示され、横軸に詳細検討を依頼すべき部品・システム担当者のメールアドレスリンク、NAVIシステムでの判定の集約結果、CA項目の詳細検討結果、最終判断の項目がそれぞれ表示される。

プロジェクト推進担当は、この画面にて「CA」と表示された部品・システム設計担当者のみ業務依頼にて成立性の詳細検討を依頼すればよく、これによって円滑・迅速に業務を進めることができるシステムとした。

部品・システム設計担当より、詳細検討結果を入手後、その結果を「詳細検討結果」、「最終判断」の欄にそれぞれ転記することにより、本データがそのままカーメーカーへの報告資料として活用できることで併せて業務効率化を図った。

また、メールアドレスリンクを設けることで、メール送信の際に宛先の一括設定を簡単な操作で実行でき、かつ誤送信防止も図れるように工夫した。

さらに、依頼メールのテンプレートも作成し、本機能と組み合わせることで、依頼作業の効率化を図ることが可能となった。

#### 4.3 ノウハウの蓄積・一元管理機能

開発中に新たに得た知見やノウハウは、次の車両開発へ確実に反映できるよう、各部品・システム設計担当者が随時、本NAVIシステムをアップデートすることをルール化している。アップデートに際しては、NAVIシステム内に「NAVIアップデート履歴」を設け、改定日付や、改定内容の履歴がわかるようになっている (Fig. 5)。

例えば部品・システム担当で新たな計算式が出来た場合には、先述のNAVIシステムの自動計算に追加され、その後の検討に活用される。

また、個人で管理されていた検討結果が一元化されたため、適用実績相場等をまとめることに要する時間も大幅に短縮した。

NAVI Update History

□No.	date	Revised by	Approved by	Update details
□N	YYMMDD	OO	Gen. Mgr. OO	Newly created
□1	YYMMDD	OO	Mgr. OO	Pulley parts: Column O; Line O Added study item for engine spec A
□2	YYMMDD	OO	Mgr. OO	Gear parts: Column O; Line O Optimized stress study calculation equation
□3	YYMMDD	OO	Mgr. OO	Torque converter: Column O; Line O Revised criteria values
□4	YYMMDD	OO	Mgr. OO	Oil pump parts: Column O; Line O Added study item for vehicle spec B
□5	YYMMDD	OO	Mgr. OO	.....
□6	YYMMDD	OO	Mgr. OO	.....

Fig. 5 Reflecting new knowledge in the system

Based on the calculations performed by the NAVI system, items judged to be all right are indicated in the judgement column as “OK.” Items requiring a detailed study by the respective parts/systems design engineers are indicated in yellow as “CA” (short for Caution).

#### 4.2 Addition of a function for automatically summarizing results

The judgment results mentioned above were output separately for each part and system. While the results were highly visible, the volume of displayed data was enormous. That format was unsuitable for identifying all the application issues related to the next-generation vehicle model and comprehensively judging whether parts/systems could be carried over or not. There was also the issue that much time was needed to find out who should be contacted and requested to undertake a detailed study. To resolve these issues, a function was added for automatically summarizing the results concisely and outputting all the data in an easy-to-grasp format. Moreover, a function was also added that automatically links the email addresses of the people to be contacted and asked to conduct a detailed study.

As shown in Fig. 4, each part/system is listed along the left side and the horizontal rows email address link to the email addresses of the persons responsible for the parts/systems who will be requested to conduct detailed studies. Also shown are the summarized judgments rendered by the NAVI system, the detailed study results for CA items and the final judgment for each item.

The project proceeding engineer only needs to issue a work request for a detailed viability study to the parts/systems design engineers of the items indicated as CA in this screen. Accordingly, this system makes it possible to carry out development work smoothly and swiftly.

After receiving the results of the detailed studies from the design engineers responsible for the parts/systems involved, the results are transferred to the columns under “detailed study results” and “final judgment.” Consequently, the data can be used as they are in the report sent to the carmaker, which also increases work efficiency.

Providing email address links makes it possible to select the addresses of all the intended receivers by a simple operation when sending email. This measure also works to prevent the missending of emails.

In addition, a template was created for sending a study request by email. This template used in combination with the automatic summarizing function enables study requests

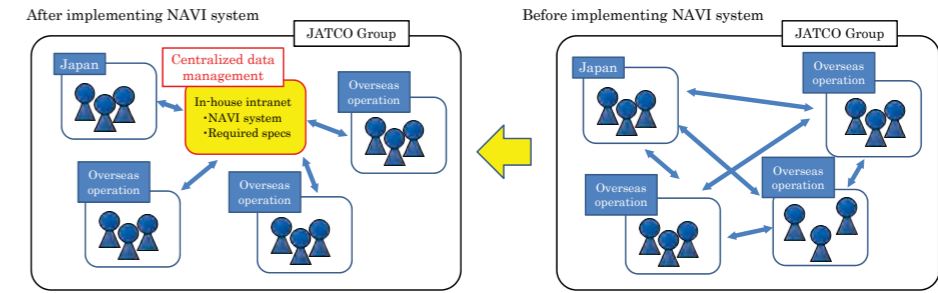


Fig. 6 NAVI management system

### 5. 導入による効果

#### 5.1 検討フローの簡略化

本NAVIシステムの導入により、従来Fig. 1のような検討のプロセスはFig. 2のようになり、プロセスの簡略化を実現できた。

従来、経験が浅くスキルが低い担当者によって発生していた手戻りも本NAVIシステムを活用することにより防止することが可能となった。

さらに検討のノウハウをNAVIシステムへ一元集約させることにより、エキスパート知見の共有化を実現した。

また、社内イントラネットを用いて、NAVIシステムおよび、車両ごとの検討結果等のデータを一元管理することにより、日本国内だけでなく社内のグローバル拠点との情報共有とノウハウの活用が容易となった (Fig. 6)。

#### 5.2 開発効率向上

前項の検討プロセスの簡略化により、

- ・プロジェクト推進担当での検討要否確認工数
- ・各部品・システム設計担当の検討工数
- ・結果の集約工数

等の削減が可能となり、トータルとして車両適用検討にかかる工数を約5割削減することに貢献できた (Fig. 7)。

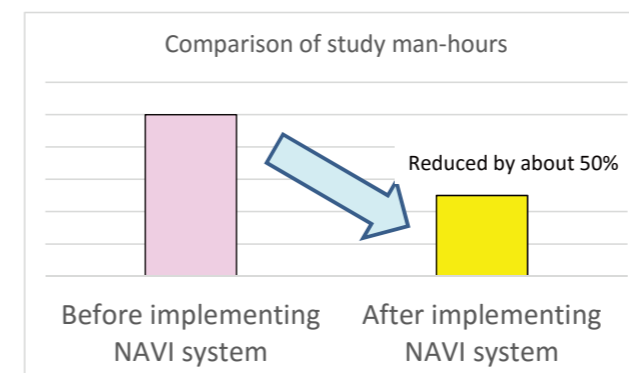


Fig. 7 Improvement of development work efficiency

to be made more efficiently.

#### 4.3 Function for know-how accumulation and centralized management

A rule was established that design engineers responsible for each part/system are to update the NAVI system at all times. This allows knowledge and know-how newly acquired during a development project to be reliably reflected in the development work for the next vehicle model. A “NAVI Update History” is provided in the system for use in updating information so that everyone knows the date and details of changes made (Fig. 5). For example, when a parts/systems design engineer creates a new calculation formula, it is added to the automatic calculations performed by the NAVI system as mentioned earlier and can thus be used in future studies.

In addition, study results that were previously managed by individuals are now centrally managed, which greatly reduces the time needed to assemble the results and judgments of previous vehicle application studies.

### 5. Benefits of System Implementation

#### 5.1 Simplification of study work flow

The implementation of this NAVI system has simplified the technical study process, changing it from that in Fig. 1 to the process shown in Fig. 2. The use of this NAVI system also prevents reworking that occurred previously owing to the inexperience and low skill level of engineers in charge. Moreover, expert knowledge can now be shared because the know-how resulting from technical studies is centrally managed in the NAVI system. Centralized management of the NAVI system and the study results for each vehicle model makes it easy to share information and know-how not only in Japan, but also with JATCO's overseas operations via the company's intranet (Fig. 6).

## 6. NAVIシステム開発・運用の工夫

NAVIシステムを開発するにあたり、

- ・短期開発, 低コスト
- ・汎用性および拡張の容易性
- ・運用性

の点でもそれぞれ工夫した。

### 6.1 短期開発, 低コスト

NAVIシステムの開発は外部への委託発注を行わず、ジヤトコ内にて完結した。また、システムはExcelのみで構成するようにした。これにより、短期かつ低コストでの開発が実現できた。

### 6.2 汎用性および拡張の容易性

前述のとおり、専用のソフトの使用や外部のソフト会社との連携を敢えて避け、Excelのみの構成とした。

さらにマクロ等の高スキルを必要とする機能も避け、できる限りExcel内の基本式を用いたシステム構成としている。

これにより、部署内での知識共有や、過去知見・履歴の確認、UP DATEの操作性が容易となり、システムとしての汎用性が高いものとなっている。

### 6.3 運用性

各部品の担当責任者が定期的な見直しを行うことで、ノウハウが最新状態を維持できるようになっている。

定期的なUP DATEイベントも開催する工夫も行っており、UP DATEの漏れもそれによって防止している。

## 7. まとめ

車両適用検討支援NAVIシステムの導入により、検討フローの簡略化、それによる業務効率化だけでなく、検討精度の向上、社内グローバル拠点とのデータ一元共有が実現でき、業務のシンプル化に大きく貢献できた。

最後に、本システムの開発にあたりご協力いただいた関係部署の方々に深く感謝の意を表したい。

### 5.2 Improvement of development work efficiency

Simplification of the technical study process as mentioned above has made it possible to reduce, for example:

- the number of man-hours needed by project proceeding engineers to confirm whether technical studies are necessary or not,
- the number of man-hours needed by parts/systems design engineers for conducting technical studies, and
- the number of man-hours for summarizing study results.

Consequently, it has contributed to reducing the total number of man-hours needed for vehicle application studies by approximately 50% (Fig. 7).

## 6. Innovative Measures for Development and Operation of the NAVI System

In developing this NAVI system, innovative measures were taken with respect to:

- reducing development lead time and costs,
- ensuring flexibility and easy extension, and
- providing ease of operation.

### 6.1 Reducing development lead time and costs

The NAVI system was developed completely in-house without outsourcing the work outside the company. The system is configured solely around Excel, which made it possible to complete the development work in a short period of time at low cost.

### 6.2 Ensuring flexibility and easy extension

As mentioned above, the system runs only on Excel and does not use any specialized software. Collaboration with outside software companies was intentionally avoided. In addition, functions requiring high skills such as the use of a macro have been avoided. The system is configured to allow the basic formulas in Excel to be used as much as possible.

This makes it easy to share knowledge within sections and departments, to confirm prior findings and histories, and to execute updates. The system has a high degree of flexibility.

### 6.3 Providing ease of operation

Design engineers responsible for each part conduct regular reviews, enabling know-how to be constantly kept up to date. Updating sessions are also held regularly, and this practice also works to prevent update omissions.

## 7. Conclusion

The implementation of the NAVI system for supporting vehicle application studies has simplified the study process, thereby increasing development work efficiency. Not only that, it has improved study accuracy and facilitated centralized data management with the company's global operations, which has contributed significantly to simplifying development work.

Finally, the authors would like to deeply thank everyone in related sections and departments for their excellent cooperation with the development of this system.

■ Authors ■



Keisuke SUZUKI



Yohei HARA



# VA & THANKSコラボレーション活動の目的と目指す姿

Aims and Desired Form of VA and THANKS Collaboration Activity

金子 忠司\*  
Tadashi KANEKO

**抄 録** ジヤトコとお取引さまは協働して、競争力強化を目的としたテクニカルVA活動並びにTHANKS活動を展開し、一定の効果を挙げた。

継続的かつ効果的な活動を実施するため、今年度からValue Analysisの視点を強化した「VA & THANKSコラボレーション活動」を開始した。

本稿では、その活動の狙いと目指す姿を紹介する。

## 1. ジヤトコとお取引さまの競争力強化

ジヤトコは、中期計画として「グローバルNo.1のオートマチックトランスミッションメーカー」を目指しており、今後、ジヤトコユニットの拡販のためには、より一層のユニットの競争力強化を行う必要がある。

また、ジヤトコユニットの70%以上はお取引さまから購入している部品で構成されていることから、お取引先さまにも競争力を高めていただくことが必要である。

競争力を高めるには、

・商品力      ・品質      ・コスト

の要素を高いレベルで維持する必要がある、それを実現するには、購入部品の供給元であるお取引先さま自体の競争力が不可欠である。

従来、ジヤトコは、お取引先さまと協働で性能や機能の適正化を図る活動(以下、VA活動)と、生産性や品質の向上を目指したモノづくり改善活動(以下、THANKS活動)を実施してきた。

それぞれの活動は、お取引先さまの積極的な姿勢もあり、原価低減を中心に大きな成果を継続的にあげてきた。

\*THANKS: Trusty and Harmonious Alliance Network Kaizen activity with Suppliers

(信頼と協調を重視した、お取引先さまとの改善活動)

**Summary** JATCO and suppliers have previously cooperated in carrying out a technical Value Analysis (VA) activity and a THANKS activity for the purpose of strengthening competitiveness. Those activities produced a certain level of benefits. With the aim of promoting continuous and effective activities, the VA and THANKS Collaboration Activity with stronger emphasis on VA perspectives was initiated from the beginning of the current fiscal year. This article explains the aims and desired form of this activity.

## 1. Strengthening Competitiveness of JATCO and Suppliers

The goal set in JATCO's medium-term business plan is to become the global No. 1 automatic transmission manufacturer. In order to expand sales of JATCO transmissions in the years ahead, it will be necessary to strengthen their competitiveness even more.

Because over 70% of the parts used in JATCO transmissions are items purchased from suppliers, it is also necessary for our suppliers to increase their competitiveness.

In order to strengthen competitiveness, it is essential to maintain the three elements of product appeal, quality and cost at optimal levels. To accomplish that, it is indispensable for the suppliers of purchased parts to have their own competitiveness.

Heretofore, JATCO has carried out a Value Analysis (VA) activity in cooperation with suppliers to optimize performance and functionality as well as a THANKS\* activity for improving monozukuri with the aim of enhancing productivity and quality. Suppliers have actively participated in these respective activities, and significant results have continuously been obtained centering on cost reductions.

\*THANKS: Trusty and Harmonious Alliance Network Kaizen activity with Suppliers

\* 調達プロジェクトセンター  
Purchasing Project Center

## 2. それぞれの活動で出てきた問題点

前述の通り、お取引先さまとジヤトコの協働により、それぞれの競争力は年々向上しているものの、競合他社と比較した場合、完全に優位に立ったとは言い難い。

一方で、改善活動が定着するにつれ、VA活動・THANKS活動とも改善案件が減っており、これまでのような効果を出すことが非常に難しい状況となってきた。

また、それぞれの活動を行っているなかで、部品の性能や機能を見直そうとした場合、お取引先さまやジヤトコの生産工程・作業を変更せざるをえない事例や、反対にお取引先さまの工程改善を進めるためには、図面や規格の見直しを行わなければならない案件が増加し、課題や問題点を共有化するのに時間がかかりスピード感を阻害することも多くなってきている。

これまでも、設計部門と生産部門は協力してきたが、今後の継続的な活動と改善スピードの強化を促すため、今年度よりふたつの活動を一体化させ、「VA & THANKSコラボレーション活動」としてお取引先さまと新たな活動を開始した。

## 3. コラボレーション活動の目的と意義

設計部門と生産部門のコラボレーション活動は、現状の問題点の解決だけでなく、新たな共通認識を共有しながら活動を進めている。

この活動を改めて定義すると、「部品設計と生産活動のそれぞれの側面から、Value Analysis (VA:価値分析)を行い、お客さまにとって必要な機能と品質を維持しながら、最小のコストで提供できているかをお取引先さまと協働で見直す活動」である。

## 2. Problems occurring in Each Activity

JATCO and suppliers have continued to improve their respective competitiveness every year through cooperative efforts as mentioned above. However, when compared with our competitors, it would be hard to say that we have complete superiority over them.

Meanwhile, as kaizen activities have taken root, the number of proposals for improvements has decreased in both the VA activity and THANKS activity. A situation has developed where it is much more difficult to obtain benefits through these activities like those obtained previously.

In addition, in the course of carrying out these activities, more time is now required to share issues and problems, and there are many aspects that obstruct speedy action. For example, if we attempt to review the performance or functionality of certain parts, there are instances when production processes or operations must be changed either at the suppliers or at JATCO. Conversely, in order to improve the processes of suppliers, there are more cases where it is necessary to revise the part drawings or specifications involved.

The Design Division and the Production Division have so far worked together in carrying out these activities. In order to strengthen continuous efforts and promote faster improvements, it was decided to unify the two activities beginning from this fiscal year into the VA and THANKS Collaboration Activity, which was launched as a new program with our suppliers.

## 3. Purpose and Significance of this Collaboration Activity

Besides resolving current problems, this collaboration activity by the Design Division and the Production Division is being advanced as an effort in which a new common awareness will be shared.

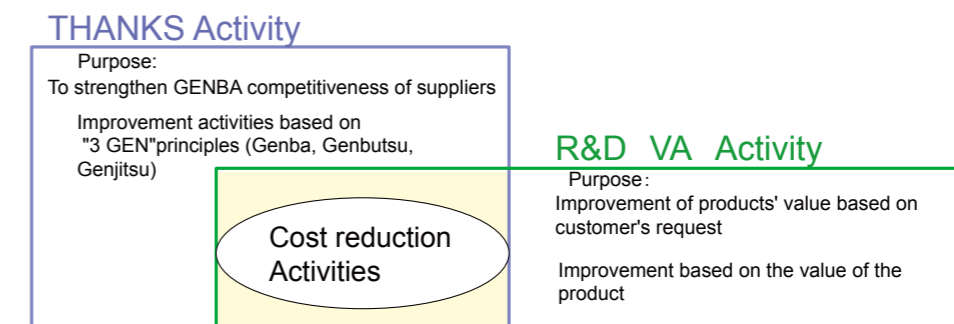


Fig. 1 Significance of VA + THANKS collaboration activity

それは言い換えれば、最適な要求機能を最適なコストで実現することで価値の向上を図れているかを分析・改善していく本来のVA活動だと言える。

$$\text{Value (価値)} = \frac{\text{Function (機能)} + \text{Quality (品質)}}{\text{Cost (コスト)}}$$

Fig. 2 Definition of the value

つまり、製品機能からは「この部品は何のために使うのか」という視点で、

- 部品自体をなくせないか
- 他に同じことができる方法や部品はないか
- 現状の性能や品質が本当に必要か

を分析する。

一方、生産改善は「この工程・作業はどのような価値を加えているのか」という視点から、

- 目的が不明確な工程・作業・モノの移動はないか、なくせないか
- 設備や作業が余剰になってないか
- 発生するコストより付加価値が上回っているか

を分析する。

このように、このコラボレーション活動の意義はあるものを改善するのではなく、必要のない性能・工程・作業をなくす活動と言い換えることができる。

それではなぜお取引先さままで必要のない設計要件や工程が発生しているのか。

お取引先さまとの意見交換でわかってきたのは、お互いに、

- ・ 既存の図面の規格や表現を見直さず、そのまま流用した
- ・ 従来の製品の作り方をベースに生産方法を考えた
- ・ ユニットASSYになった時の自社製品の機能を十分に理解できてなかった
- ・ 壊れるのが怖いので安全率をとった

など、無意識的にも意識的にもover specを狙ったお取引先さまが多くみられた。

つまり、製品に対し代価を支払われるお客さまの観点で求められている価値を、ジャトコとお取引先さまが共有できていないことが原因だと推測される。

This activity can be newly defined as follows. “Value Analysis (VA) will be conducted from the respective aspects of both part designs and production activities, and in cooperation with suppliers a review will be made to determine if parts can be supplied at the lowest possible cost while maintaining the functionality and quality needed by customers” (Fig. 1).

It can also be described differently as the original VA activity in which efforts are exerted to achieve the optimum required functionality at the optimum cost through analysis and continuous improvements so as to enhance value (Fig. 2).

In other words, in terms of product functionality, the following aspects are analyzed from the perspective of: “For what purpose is this part used?”

- Is it possible to eliminate this part itself?
- Is there any other method or part that can perform the same function?
- Is the current performance or quality really necessary?

Meanwhile, in terms of production improvements, the following aspects are analyzed from the perspective of: “What sort of value does this process or operation add?”

- Is there any process, operation or movement of things for which the purpose is not clear and can it be eliminated?
- Are there any excessive facilities or operations?
- Does the added value exceed the cost incurred?

As indicated here, the significance of this collaboration activity is not merely to improve things. Rather, it can be described in different terms as an activity for eliminating unnecessary performance, processes and operations.

Why is it that unnecessary design requirements or processes occur at suppliers? In exchanges of opinions with

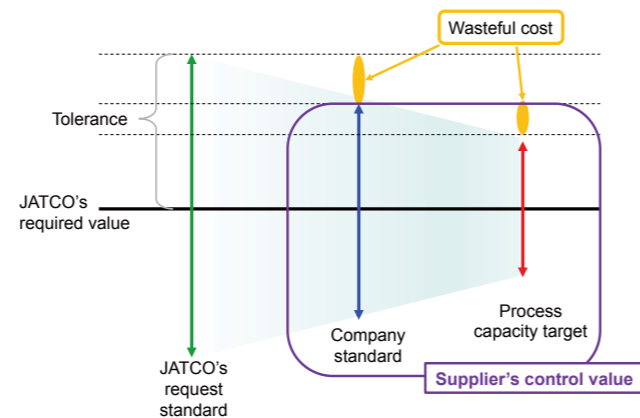


Fig. 3 The reason that the wasteful cost occurs from the performance which is a surplus

このコラボレーション活動は、ユニットを通して、お客さまに価値を適切な機能・品質・価格で提供しているのかを、ジャトコとお取引先さま共同で最初から見直す活動と言い換えることができる。

#### 4. 具体的な活動事例

年度当初から実際の活動に入ったため、まだ成果としては出てはいないが(9月現在)、現在検討している事例を紹介する。

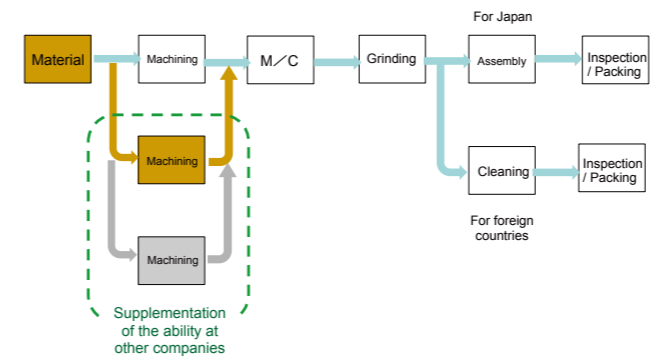


Fig. 4 Production process of the case

上記はあるお取引先さまの工程の概略であるが、ジャトコ社内では

- 設計視点：従来の規格を満足させるために行っている加工・研磨は本当に必要か
- 生産視点：現在実施している加工応援をやめるか、安く抑える方法はないか
- 洗浄作業は本当に必要か

という観点で意見を出し合った。

その結果

- ① 粗材の表面状態で部品機能を満たしているため、規格を見直せば加工廃止は可能(設計)
- ↓
- ② 加工委託業務の中止が可能(生産)
- ③ 研磨工程廃止はできないが条件や工順変更による改善が可能(設計・生産)
- ④ 切削液の洗浄作業廃止が可能(生産)
- ↓
- ⑤ 付帯効果としてお取引先さまの中間工程在庫大幅削減が見込め、財務改善効果が期待できる

という検討結果を出すことができ、お取引先さまと内容を共有化、改善活動を進めている。

suppliers, the following points became clear on both sides.

- Existing drawings, specifications or descriptions have been carried over without being reviewed.
- Production methods have been conceived based on the existing ways of manufacturing parts.
- Suppliers did not fully understand the function of their parts at the time transmissions were fully assembled.
- A safety factor has been adopted from a fear that parts might break.

It was found that many suppliers were aiming for over-specification either consciously or unconsciously (Fig. 3).

The reason for that was surmised to be that JATCO and suppliers were not sharing the value demanded by customers from the latter's perspective of paying a certain price for a product.

The collaboration activity can be expressed differently as an effort in which JATCO and suppliers jointly review from the beginning whether we are providing value to customers through our transmissions in terms of suitable functionality, quality and price.

#### 4. Specific Activity Examples

This section presents actual examples of efforts being considered as of September 2016, although results have yet to be obtained because this unified activity was only launched from the beginning of the current fiscal year in April.

Figure 4 is an outline of the transmission case production process at a certain supplier. The opinions noted below were brought up at JATCO from the following perspectives.

Design perspective: Are the machining and grinding processes that are being carried out to satisfy the existing specifications really necessary?

Production perspective: Should the machining assistance JATCO is currently providing be discontinued? Is there any way of holding down the cost? Is the washing operation really necessary?

As a result, the following study results were produced, the details were shared with the supplier, and improvement activities are now under way.

- (1) The surface condition of the castings satisfies the part functionality, so the machining operation can be discontinued by reviewing the specifications (design).
- (2) The outsourced machining can be discontinued (production).





# TdC活動の推進によるモノづくり革新

Monozukuri Innovation through the Promotion of TdC Activities

一言 大輔\*  
Daisuke HITOKOTO

小川 英二\*  
Eiji OGAWA

鈴木 孝次郎\*  
Kohjiro SUZUKI

**抄 録** ジャトコでは、2013年度より、トランスミッション(以下 T/M)の生産コストを管理するため、TdC活動を実施している。単なるコスト低減活動では無い、T/Mの商品力・競争力を強化し、お客さまにも喜んでいただけるモノづくりを進めている。モノづくり革新につながるジャトコのTdC活動を紹介する。

**Summary** JATCO has been undertaking total delivered cost (TdC) activities since fiscal 2013 for the purpose of managing transmission production costs. These activities are not simply for reducing costs, but rather they are for enhancing monozukuri so as to strengthen the marketability and competitiveness of our transmissions, thus making our customers happy as well. This article describes JATCO's TdC activities that lead to monozukuri innovation.

## 1. TdC活動とは

TdCとは、Total delivered Cost の略であり、ジャトコの製品であるT/M 1台を生産するために必要な全コストの合計値を示す。Fig. 1に、TdCに含まれるコストスコープを示す。商品開発(R&D)に必要な開発費・人件費から、原材料の購入費・運送費、ジャトコ内で生産している部品の加工・組立費用 および 完成したT/Mの出荷輸送に掛かる費用までのコストを含んでいる。

TdCは、T/Mの生産コストであり、これを、低く抑えることや改善等により継続的に低減することができれば、お客さまに安く良い商品を提供できることになる。

このTdC活動は、単なるコスト低減のための活動ではない。T/Mの販売価格は、他社との市場競争の中で設定される販売価格(Fig. 2の①)から会社の収益計画に基づき、T/Mの生産コストの上限(Fig. 2の②)が決まる。

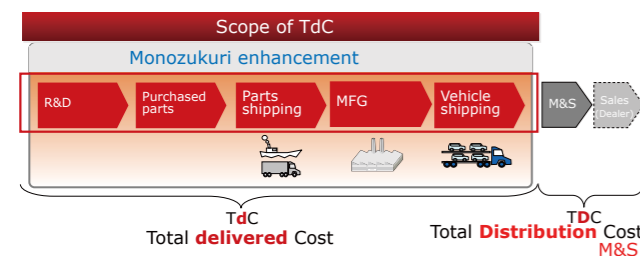


Fig. 1 Scope of TdC

## 1. Overview of TdC Activities

TdC is an acronym that stands for total delivered cost. This value indicates the total of all the necessary costs involved in producing and delivering one transmission as a JATCO product to a customer. Figure 1 shows the scope of the costs included in TdC. It ranges from the engineering and personnel costs needed for product research and development (R&D), to the procurement and transportation costs for raw materials, machining and assembly costs for parts manufactured in-house at JATCO, and the costs incurred in shipping and transporting fully assembled transmissions.

Since TdC is the total transmission production cost, if continuous efforts can be made to hold down and reduce TdC through improvements and other measures, JATCO will be able to deliver excellent quality products to customers at low prices.

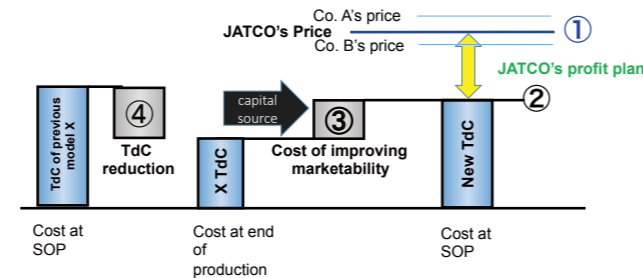


Fig. 2 Aim of TdC activities

\* UPDオフィス  
Unit Program Director Office

購入品 Purchased Parts	TdC : Total delivered Cost	Total Cost	
原材料費 Raw Materials			
調達物流費 Inbound Freight			
直接労務費 Direct Labor			
売上総額 Outbound Logistics			
保証費 Warranty & Recall/ Service Campaign			
製造経費 Processing Cost			仕掛 Variable
間接労務費 Indirect Labor			固定 Fixed
半直接労務費 Semi direct Labor			
減価償却費 Depreciation			
税金 Tax	Total Cost		
ローンコスト (PIC) Launching Cost (PIC)			
既存車メンテナンス費用 Maintenance of Existing Models (D&D)			
開発費 Design & Development Cost		Pre-act Cost (PIC)	
研究費 Research Cost		Direct D&D Cost	
販売費 Selling, G&A Expenses		D&D Division Cost	
販売費 M&S Expenses			
一般管理費 G&A Expenses			
営業利益 Operating Profits			
Dealer Margin			

Fig. 3 Cost structure

新T/Mには、これまでよりも魅力あるT/Mにするため、新たな付加価値を追加しなければならない。当然、この価値の追加には、商品力向上コスト(Fig. 2の③)が必要になる。従って、③を積み上げても生産コスト②を満足するよう、あらかじめT/Mコストを下げておく必要がある。このように、T/Mの商品力・競争力を生み出す活動もTdC低減活動(Fig. 2の④)である。

T/Mの具体的な原価構成をFig. 3に示す。TdCは、赤で示すパーのコストの合計である。

## 2. TdC活動の組織

TdC活動は、その主体をT/Mを生産する工場に置いている。ジャトコは、国内外の工場、CVT、FF-AT、FR-ATを生産しているが、各生産工場の工場長は、T/Mの最終責任者として、RTL:Regional TdC Leaderに任命され、TdC達成の全責任を担っている。

2015年度までは、TdC活動は、工場、調達、開発のそれぞれが、担当する部品・工程のコスト改善に取り組んでいた。2016年は、さらに生産技術、生産支援、設計開発のチームが加わり、専門性を生かし、クロスファンクショナルな改善が促進される組織づくりを行った。

この組織変更は、単なる増員ではない。活動をより効率的に推進するため、それぞれが下記①②③に示すETL, FTL, DTLと呼ばれるリーダーに任命され、専門性を生かし、タスクと責任を担い、RTLを補佐している。

The TdC activities explained here are not simply efforts to reduce costs. Based on the transmission sales price (① in Fig. 2) set in consideration of market competition with other companies, the upper limit of the transmission production cost (② in Fig. 2) is determined on the basis of JATCO's profit plan.

In order to make a new transmission more appealing attractive than existing attractive units, some new added value must be included. Naturally, adding that new value entails the cost of improving marketability (③ in Fig. 2). Therefore, it is necessary to reduce the transmission cost in advance so that the production cost ② is satisfied even though the cost of ③ is added in. This means that efforts to improve the marketability and competitiveness of transmissions are also TdC reduction activities (④ in Fig. 2).

Figure 3 shows the specifics of the transmission cost structure. TdC is the total of the costs indicated by the red bar.

## 2. Organization for Promoting TdC Activities

The plants where transmissions are produced are the principal agents of TdC activities. JATCO has both domestic and overseas plants that produce CVTs and also ATs for both front- and rear-wheel-drive vehicles. The general manager of each production plant, as the person with the ultimate responsibility for transmissions, is designated as the Regional TdC Leader (RTL) and has full responsibility for TdC attainment.

Until fiscal 2015, the plants, the Purchasing Division and the R&D Division promoted their own TdC activities in their efforts to reduce the costs of the parts and operations for which they are responsible. In fiscal 2016, teams from the Production Engineering, Production Support, and R&D Division also joined the activities, forming an organization that can take advantage of specialized know-how and abilities to promote cross-functional improvements.

This organizational change was not merely an increase in the number of employees involved. In order to promote activities more efficiently, the following leaders, called ①ETL, ②FTL and ③DTL, have been designated to assist the RTLs by making use of their specialized expertise to carry out certain tasks and responsibilities.

① Engineering TdC Leader (ETL)

The ETL provides support concerning production engineering, including technical guidance, securing of technical resources, and follow-up for solving technically difficult issues.



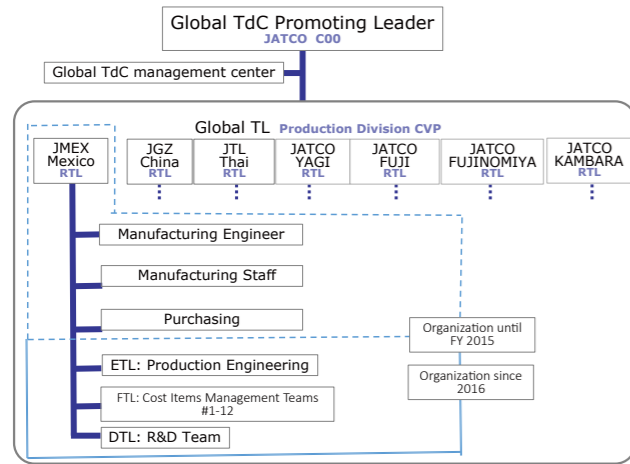


Fig. 4 Organization for TdC activities

Direct labor cost	Direct raw materials cost	SCM
Indirect labor cost	Energy	Maintenance cost
Semidirect maintenance cost	Cutting tools	Depreciation/capital investment
Semidirect warranty cost	Jigs, oils & greases	Dies & molds

Fig. 5 12 cost categories for FTL

① ETL: Engineering TdC Leader

技術指導, 技術リソース確保, 技術的な難課題の解決フォローなど, 生産技術に関する支援を行う。

② FTL: Functional TdC Leader

Fig. 5に示すジャトコ工場内で発生する経費の費目, 12項目について, TdC低減のための, 工場原低活動の立案・水平展開, 原低活動実施支援を行う

③ DTL: Design TdC Leader

設計・開発の支援. 製品設計の変更を伴う原価低減アイテムの発掘, 採用可否判断, 採用促進, 他工場・他拠点・他T/Mへの水平展開を行う

TdCの進捗状況は, 最高執行責任者(COO)をチェアマンとした進捗報告会(TdC Progress Meeting)を開催し, 全RTLから月次実績の報告, 各拠点の課題, 今後の計画と見通しを報告し, 相互の情報共有を行っている。

この報告会には, COOおよび関係役員が出席し, 本社レベルの課題に関しては, 関係役員の間断・即決により, 迅速な解決を図っている。このことにより, 技術標準, 品質の同質化のスピードアップを促進させている。

② Functional TdC Leader (FTL)

The FTL assists with the planning and horizontal deployment of cost reduction activities at plants and supports the implementation of such activities for the purpose of reducing TdC for the 12 cost items shown in Fig. 5 that occur at JATCO's plants.

③ Design TdC Leader (DTL)

The DTL provides support for design and development work. This includes identifying cost reduction measures in conjunction with product design changes, determining whether their adoption is feasible, promoting their adoption, and horizontal deployment at other plants and facilities and to other transmission models.

To confirm the progress of TdC activities, a TdC Progress Meeting is held, chaired by JATCO's Chief Operating Officer (COO). All the RTLs report their monthly results, issues at their plants, and future plans and prospects for the purpose of sharing information with each other.

The meeting is attended by the COO and other related JATCO officers. Prompt efforts can be initiated to resolve company-wide issues based on immediate judgments and decisions made by the officers concerned. This helps to speed up the deployment of same technical standards and same quality level to global JATCO plants.

3. Introduction of Various TdC Activities

3.1 THANKS Activity

For the purpose of improving the productivity of suppliers that supply JATCO with various transmission parts, JATCO and supplier employees work together to analyze the supplier's production lines with respect to quality, cost and delivery time (QCT). Productivity improvements leading to cost reductions are planned and implemented and the results are harvested. This effort is called the THANKS Activity (THANKS: Trusty and Harmonious Alliance Network Kaizen activity with Suppliers).

This activity is continuously contributing to the improvement of competitive parts and is thus building a mutual win-win relationship with our suppliers.

3.2 YARIKIRI Activity

At JATCO, we emphasize the horizontal deployment of excellent in-house monozukuri improvement activities as examples of best practices. Because the same CVT models are produced at our global production plants, the environment is well-suited to the horizontal deployment of best practices.

If each production plant just carries out improvement

3. TdC諸活動の紹介

3.1 THANKS活動

ジャトコにT/Mのさまざまな部品を供給いただいているお取引先さまの生産性向上を図るため, ジャトコでは, お取引先さまのスタッフと協力し, お取引先さまの生産ラインのQCTに関して分析を行い, コスト削減につながる生産性改善案の立案, 実行, 成果刈り取りを行っている。この活動をTHANKS活動と呼ぶ。

この活動は, 競争力のある部品を継続的に改善し, お取引先さまとの間に, 互いにWin-Winの関係を構築している。

3.2 YARIKIRI活動

ジャトコ社内のモノづくり改善活動として, すぐれた改善事例(ベスト・プラクティス: 以下BP)の水平展開に力を注いでいる。CVTは, 同一ユニットをグローバル拠点で生産しており, BPの水平展開に適した環境を有している。

各生産拠点が, 単独に改善活動を行っているだけでは, 検討・実行両面で効率が悪い。積極的にBPを採用していけば, アイデア創出の時間の短縮になり, かつ失敗のリスクを大きく軽減できる。このBPの水平展開活動を, 効率よく徹底的に推進させる活動をYARIKIRI活動と呼び, 全ての拠点で, BPの効果を最大限に享受することを狙いとした活動である。

具体的にはFig. 6で示すような水平展開リストを作成する。これは, 縦軸に水平展開すべき案件をならべ, 横軸に全生産拠点を置く。各拠点は, 全BP案件に対し, 自らの工場(生産ライン)に展開出来るか否かを判断する。その判断は以下の内容に区分され, それぞれ所定の色分けがされる。

activities individually, efficiency will be poor with respect to both studies and implementation. If best practices are actively adopted, it can shorten the time needed to devise improvement measures and also greatly reduce the risk of failure. We call efforts to efficiently and thoroughly promote the horizontal deployment of best practices our YARIKIRI Activity (YARIKIRI= to do something completely). This activity is aimed at enabling all plants to receive the maximum benefits of best practices.

Specifically, a list of measures for horizontal deployment is prepared like that shown in Fig. 6. Measures that should be deployed horizontally are listed on the left side and all of the production plants are listed along the top. Each plant judges whether or not the measures can be implemented on its production lines. Judgments are divided into the following categories, each of which is indicated in a specified color.

- ① Adoption has been completed.
- ② Adoption is possible but has not been done yet.
- ③ There is no part corresponding to this best practice, so adoption is not possible.
- ④ There are parts to be investigation, but adoption is not possible.
- ⑤ It has not been decided yet.

The YARIKIRI Activity first deal with category ⑤ immediately and measures are classified in one of the categories from ① to ④. On that basis, an action plan is formulated for implementing measures in category ② and a transition to ① is definitely made. A list of measures for horizontal deployment is generated automatically, making it easy to work out a systematic schedule. Flexible plan management also becomes possible from a company-wide perspective, including front-loading of the plan, postponement, substitution and other changes.

		FY16 Global-COM																								
		1					2					3					4					5				
		DX (JTC-FUJ)					DX (MEX)					DX (AGZ)					DX (JTL)									
		NHK E12(JPN)					NHX N17(USA)					DFL-ND N17(PRC)					NMT N17(CH)									
Item	Body / Subject (Japanese)	1.5 Model	STATUS	D/N	Adoptio	STATUS	D/N	Adoptio	STATUS	D/N	Adoptio	STATUS	D/N	Adoptio	STATUS	D/N	Adoptio	STATUS	D/N	Adoptio						
1	BOP CVT7 FUSION JTEKT 電動オイルポンプV型駆動	DX	2/D/Notice release	Nov-16	Mar-17	5/N/A																				
2	BOP CVT7 油圧制御油 (TOSOK CVI)	DX	2/D/Notice release	Nov-16	Jan-17	5/N/A																				
3	BOP CVT7 油圧制御油 (TOSOK CVI)	DX	5/N/A	Jan-17	May-17	2/D/Notice release	Jan-17	May-17	5/N/A																	
4	BOP CVT7 オイルコントロールユニット (油圧制御)	DX	1/Adopted			2/D/Notice release	Aug-17	Dec-17	1/Adopted																	
5	BOP CVT7 ATCU STEPL7 弁	DX	1/Adopted			5/N/A			2/D/Notice release	Dec-16																
6	BOP CVT7 GEAR-SPREED-DRIVE FULLY ASSY-SECD 高減速の全自動換速装置	DX	5/N/A			2/D/Notice release	Nov-16	Jan-17	2/D/Notice release	Nov-16	Jan-17	1/Adopted														
7	BOP GEAR-BOX OIL CONTROL 油圧制御装置	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	
8	BOP CVT7 CVT 7 駆動機構の最適化	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	
9	BOP CVT7 GEAR-INTERNAL 内部駆動機構 車・油圧ポンプ	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	
10	BOP CVT7 CASE #106 入力軸側油圧ポンプによる不良低減	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	
11	BOP CVT7 CASE #106 入力軸側油圧ポンプによる不良低減	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	
12	BOP CVT7 CASE #106 入力軸側油圧ポンプによる不良低減	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	
13	BOP CVT7 CASE #106 入力軸側油圧ポンプによる不良低減	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	
14	BOP CVT7 CASE #106 入力軸側油圧ポンプによる不良低減	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	
15	BOP CVT7 CASE #106 入力軸側油圧ポンプによる不良低減	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	
16	BOP CVT7 CASE #106 入力軸側油圧ポンプによる不良低減	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	
17	BOP CVT7 CASE #106 入力軸側油圧ポンプによる不良低減	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	
18	BOP CVT7 CASE #106 入力軸側油圧ポンプによる不良低減	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	
19	BOP CVT7 CASE #106 入力軸側油圧ポンプによる不良低減	DX	1/Adopted			1/Adopted			1/Adopted																	

Fig. 6 List of YARIKIRI Activity measures





## 裕隆汽車社向けLUXGEN S3 (Sedan 3)用Jatco CVT7 (JF015E)の紹介

Introducing the Jatco CVT (JF015E) for Yulon Motor's Luxgen S3 Sedan

2016年6月に台湾で裕隆汽車から発売された新型「LUXGEN S3」に当社のJatco CVT7 (JF015E)が搭載されました。

LUXGEN S3は最新制御技術を採用したJatco CVT7の採用と1.6Lエンジンとの組合せにより、加速性能と燃費性能を両立しながら、スムーズな運転性も実現し、お客さまから好評を得ています。

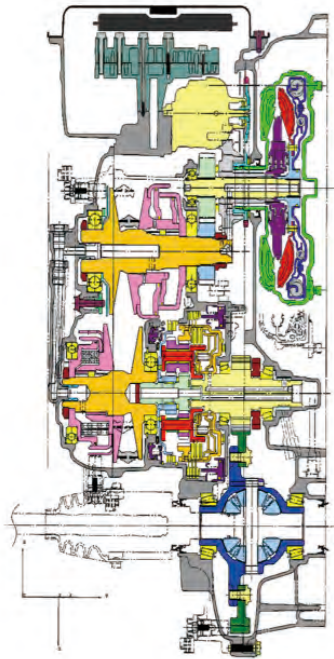


Fig. 1 Main cross-sectional view

The Jatco CVT7 (JF015E) is fitted on the new generation of the Luxgen 3S sedan that Yulon Motor Co., Ltd. released in Taiwan in June 2016. The combination of the Jatco CVT7 with its latest control technologies and a 1.6L engine enables the Luxgen S3 to provide smooth driveability while achieving both excellent acceleration performance and fuel economy. Such performance is highly popular among customers.

Table 1 Specifications of JF015E

Torque capacity		145 Nm
Torque converter size		205 mm
Pulley ratios		2.200 - 0.550
Auxiliary transmission gear ratios	1st 2nd Rev	1.821 1.000 1.714
Ratio coverage		7.3
Final gear ratio		3.882
Number of selector positions		4 (P, R, N, D) + M shift
Overall length		344.4 mm
Weight (wet)		70 kg

■ Typical model fitted with the JF015E CVT ■



Luxgen S3

## 日産自動車向けKicks用Jatco CVT7 (JF015E)の紹介

Introducing the Jatco CVT7 (JF015E) for the Nissan Kicks

2016年9月に日産自動車よりメキシコで発売された「Kicks」(メキシコ市場向け)にJatco CVT7 (JF015E)が搭載されました。日産新小型プラットフォームへ対応し、Jatco CVT7 (JF015E)としては初の「Counter Gear比: 1.033」を採用、低速域での動力性能向上を満足させ、登坂路が多いと言われるメキシコ市場のニーズに応じています。

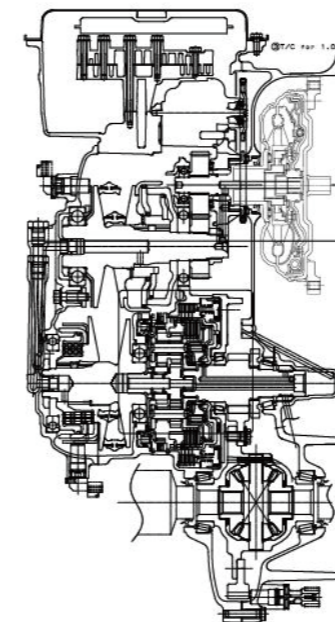


Fig. 1 Main cross-sectional view

The Jatco CVT7 (JF015E) is mounted on the Kicks that Nissan Motor Co., Ltd. launched in Mexico in September 2016 with specifications designed for the Mexican market. A counter gear ratio of 1.033 was adopted for the Jatco CVT7 (JF015E) for the first time in order to be suitable for Nissan's new small vehicle platform. This works to improve power performance in the low vehicle speed range, thereby satisfying this need in the Mexican market where there are said to be many uphill grades.

Table 1 Specifications of JF015E

Torque capacity		146 Nm
Pulley ratios		2.200 - 0.550
Auxiliary transmission gear ratios	1st 2nd Rev	1.821 1.000 1.714
Ratio coverage		7.3
Final gear ratio		3.882
Number of selector positions		6 (P, R, N, D, S, L)
Overall length		336.2 mm
Weight (wet)		68.5 kg

■ Typical model fitted with the JF015E CVT ■



Nissan KICKS

## 東風裕隆汽車社向けLUXGEN S3(Sedan 3)用Jatco CVT7(JF015E)の紹介

Introducing the Jatco CVT7 (JF015E) for Dongfeng Yulon's Luxgen S3 Sedan

2016年9月に中国で東風裕隆汽車から発売された新型「LUXGEN S3」に当社のJatco CVT7(JF015E)が搭載されました。

LUXGEN S3は最新制御技術を採用したJatco CVT7の採用と1.6Lエンジンとの組合せにより、加速性能と燃費性能を両立しながら、スムーズな運転性も実現し、お客さまから好評を得ています。

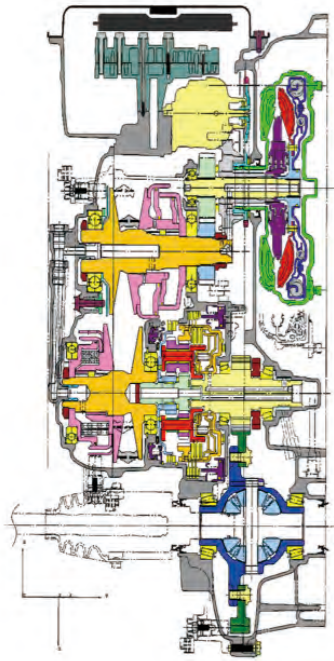


Fig. 1 Main cross-sectional view

The Jatco CVT7 is mounted on the new-generation Luxgen S3 sedan that Dongfeng Yulon Motor Co., Ltd. released in China in September 2016. Incorporating the latest control technologies, the Jatco CVT7 is combined with a 1.6L engine. This combination enables the Luxgen S3 to deliver smooth driveability while providing both excellent acceleration performance and fuel economy. This performance is highly praised by customers.

Table 1 Specifications of JF015E

Torque capacity	145 Nm	
Torque converter size	205 mm	
Pulley ratios	2.200 - 0.550	
Auxiliary transmission gear ratios	1st	1.821
	2nd	1.000
	Rev	1.714
Ratio coverage	7.3	
Final gear ratio	3.882	
Number of selector positions	4 (P, R, N, D) + M shift	
Overall length	344.4 mm	
Weight (wet)	70 kg	

■ Typical model fitted with the JF015E CVT ■



Luxgen S3

## 日産自動車向けKicks用Jatco CVT7 W/R(JF020E)の紹介

Introducing the Jatco CVT7 W/R (JF020E) for the Nissan Kicks

2016年8月に日産自動車よりブラジルで発売された「Kicks」(ブラジル市場向け)にJatco CVT7 W/R(JF020E)が搭載されました。この車両は2016年リオデジャネイロオリンピックの協賛車として日産自動車より提供されていたもので、CVT7 W/Rの特長であるワイドレシオをSUV車へ採用することで、低速から高速までの幅広い領域で力強い走りを実現させています。またブラジル市場では需要が多いバイオエタノール燃料対応のパワートレインを搭載し、環境面においてもお客さまのニーズに応じています。

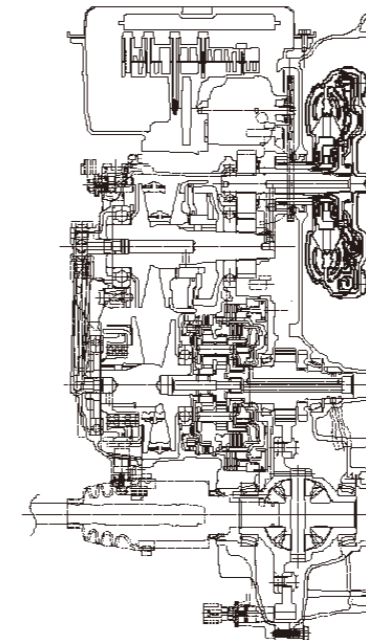


Fig. 1 Main cross-sectional view

The Jatco CVT7 W/R (JF020E) is mounted on the Kicks that Nissan Motor Co., Ltd. released in Brazil in August 2016. Featuring specifications for the Brazilian market, the Kicks was the official vehicle that Nissan provided for the 2016 Rio de Janeiro Olympic Games. The wide ratio coverage that distinguishes the CVT7 W/R enables this SUV to deliver powerful driving performance over a broad range of vehicle speeds from low to high speed. In addition, the Kicks is fitted with a bioethanol-compatible powertrain, for which there is strong demand in the Brazilian market. This environmentally friendly feature is another way the Kicks responds to customer needs.

Table 1 Specifications of JF020E

Torque capacity	148 Nm	
Pulley ratios	2.200 - 0.458	
Auxiliary transmission gear ratios	1st	1.821
	2nd	1.000
	Rev	1.714
Ratio coverage	8.7	
Final gear ratio	4.055	
Number of selector positions	6 (P, R, N, D, S, L)	
Overall length	376.7 mm	
Weight (wet)	71.7 kg	

■ Typical model fitted with the JF020E CVT ■



Nissan KICKS



## 日産自動車向け TITAN用 7速AT JR711Eの紹介

Introducing the Jatco JR711E 7-speed Automatic Transmission for the Nissan Titan

2016年4月に日産自動車株式会社より北米で発売された同社最大のピックアップトラック新型「TITAN」のV8ガソリン車に、当社の7速AT JR711Eが搭載されました。

クラス最高レベルの燃費性能を実現するため、ATFウォーマーの直後にバイパス弁を設ける新冷却システムでエンジン始動直後の即暖効果を向上させるとともに、低剛性ロックアップダンパーと新流体性能トルクコンバーターを採用しています。

大型ピックアップトラックの特徴的な使われ方である空車時から1万ポンドを超えるトローイング時においても、アダプティブシフトコントロール(ASC)を駆使してスムーズな走りを実現し、お客さまから好評を得ています。

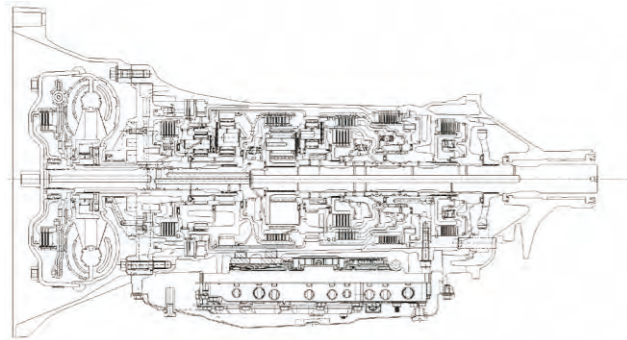


Fig. 1 Main cross-sectional view

The Jatco JR711E 7-speed automatic transmission is mounted on the gasoline engine model of the new-generation Titan that Nissan Motor Co., Ltd. launched in North America in April 2016. The Titan is Nissan's largest pickup truck, and this version is powered by a V8 gasoline engine.

For the purpose of attaining class-leading fuel economy, the JR711E has a new cooling system with a bypass valve positioned right after the ATF warmer to enhance the immediate warm-up effect following engine start. In addition, the JR711E also adopts a low-stiffness lockup damper and a torque converter featuring a new level of hydraulic performance.

A distinctive characteristic of large pickup trucks is that they are driven under various load conditions, ranging from empty to towing loads in excess of 10,000 pounds. The JR711E makes effective use of Adaptive Shift Control (ASC) to provide smooth driveability under all load conditions, performance that is highly regarded by customers.

Table 1 Specifications of JR711E

Torque capacity		560 Nm
Torque converter size		260 mm
Gear ratios	1st	4.887
	2nd	3.170
	3th	2.027
	4th	1.412
	5th	1.000
	6th	0.864
	7th	0.775
	Rev	4.041
Ratio coverage		6.31
Final gear ratio (reference)		2.937
Number of selector positions		4 (P, R, N, D) + Manual shift mode (Column shift)
Overall length		766 mm
Weight (wet)		101 kg

■ Typical model fitted with the JR711E AT ■



Nissan TITAN

## 日産自動車向け セレナ用 Jatco CVT8 (JF016E)の紹介

Introducing the Jatco CVT8 (JF016E) for the Nissan Serena

2016年8月に日本で発売された日産自動車株式会社の新型車「セレナ」にJatco CVT8 (JF016E)が搭載されました。

JF016Eの低フリクションとワイドレシオカバレッジの特長を活かし、新型4気筒ガソリンエンジンとの組み合わせにより、運転性能のフィーリング向上とカテゴリートップの燃費性能の実現に貢献しています。

特に新開発のトルクコンバーターと新発進スリップ制御により静かで滑らかな発進を実現しています。

また、ステップ変速制御(D-STEP)の採用による運転性の向上と、新アイドルストップ制御の採用によるアイドルストップ入り時間の短縮も実現しました。

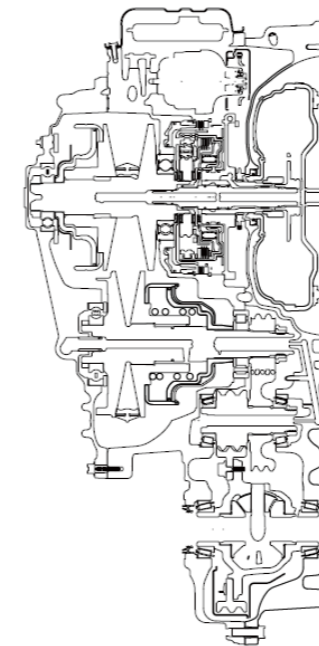


Fig. 1 Main cross-sectional view

The Jatco CVT8 (JF016E) is mounted on the new-generation Serena that Nissan Motor Co., Ltd. released in Japan in August 2016. Mated to a new 4-cylinder gasoline engine, the JF016E makes effective use of its distinctive low friction and wide ratio coverage to contribute significantly to an enhanced feeling of driveability and the attainment of the best fuel economy in this vehicle category.

Thanks in particular to the adoption of a newly developed torque converter and JATCO's new start-off slip control, the JF016E provides a smooth, quiet vehicle launch. In addition, the adoption of Dynamic Step Shift (D-STEP) control enhances driveability and new automatic stop/start control is applied to shorten the interval until the engine is turned off.

Table 1 Specifications of JF016E

Torque capacity	250 Nm
Torque converter size	236 mm
Pulley ratios	2.631 - 0.378
Ratio coverage	7.0
Final gear ratio	5.097
Number of selector position	5 (P, R, N, D, L)
Overall length	358.8 mm
Weight (wet)	92.7 kg

■ Typical model fitted with the JF016E CVT ■



Nissan SERENA

## 日産自動車向けInfiniti Q50/Infiniti Q60用 7速AT JR710Eの紹介

Introducing the JR710E 7-speed Automatic Transmission for Nissan's Infiniti Q50/Q60

2016年3月に日産自動車株式会社より北米で発売された「Infiniti Q50」の16モデルイヤーおよび同6月発売の新型「Infiniti Q60」に、当社のFR車用7速JR710Eが搭載されました。

このJR710Eは当社のFR車用ATで初めてアイドルストップ機能を採用するとともに、日産自動車としても同機能を北米で初投入することとなりました。特に、Infiniti Q50のエントリークラスではダイムラー製2.0Lダウンサイズターボエンジンを採用し、クラストップレベルの燃費性能(26mpg)の実現に大きく貢献しています。

またダイムラー製エンジンにジャトコFR ATを初適合し、運転性、AT性能はお客さまから好評を得ています。

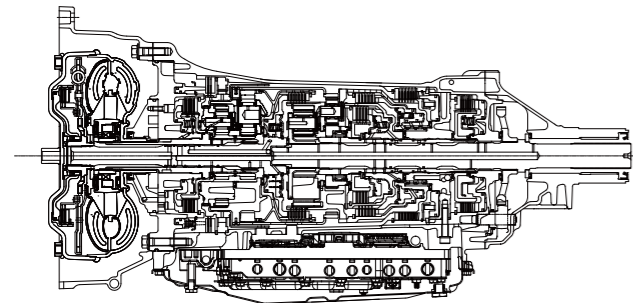


Fig. 1 Main cross-sectional view

The Jatco JR710E 7-speed automatic transmission for rear-wheel-drive vehicles is mounted on the 2016 MY Infiniti Q50 that Nissan Motor Co., Ltd. released in North America in March 2016 and on the new-generation Infiniti Q60 that was launched in June last year. The JR710E is JATCO's first AT for rear-wheel drive vehicles to incorporate an automatic stop/start function and this is also the first time for Nissan to provide this capability on its vehicles in North America. The Infiniti Q50 model is equipped with a 2.0L downsized turbocharged engine made by Daimler AG, which contributes substantially to the attainment of class-leading fuel economy of 26 mpg. The JR710E is the first RWD AT suited to the Daimler engine, including excellent drivability and AT performance, this aspect is highly regarded by customers.

Table 1 Specifications of JR710E

Torque capacity	350 Nm	
Torque converter size	250 mm	
Gear ratios	1st	4.783
	2nd	3.102
	3rd	1.984
	4th	1.371
	5th	1.000
	6th	0.871
	7th	0.776
	Rev	3.859
Ratio coverage	6.16	
Final gear ratio (reference)	2.937	
Number of selector positions	4 (P, R, N, D) + Manual shift mode	
Overall length	754 mm	
Weight (wet)	94 kg	

■ Typical models fitted with the JF017E CVT ■



Infiniti Q50



Infiniti Q60

## ルノー三星自動車向けQM6用Jatco CVT8 (JF017E)の紹介

Introducing the Jatco CVT8 (JF017E) for Renault Samsung's QM6

2016年9月に韓国で発売されたルノー三星自動車の新型車「QM6」にJatco CVT8が搭載されました。

QM6は、「優れた走行安定性」と「滑らかな加速性能」でメディアやお客さまから高い評価を得ており、韓国自動車市場でSUV市場に新しい変化を引き起こしています。

最新制御技術を採用したJF017Eはルノー社の2.0Lディーゼルエンジン向けに最適な適合がされており、ステップ制御変速(D-STEP)による運転性向上とアイドルストップ機能による燃費向上で、運転性と燃費性能を両立しています。

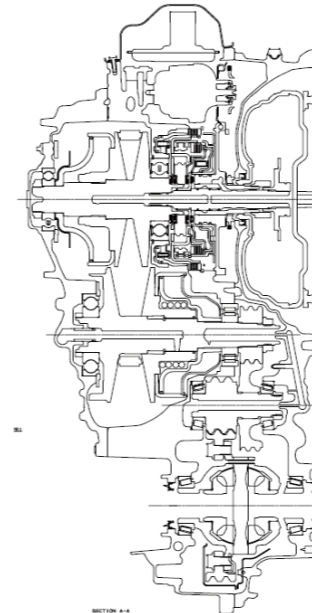


Fig. 1 Main cross-sectional view

The Jatco CVT8 (JF017E) is mounted on the new-generation QM6 that was launched by Renault Samsung Motors Co., Ltd. in South Korea in September 2016. Highly acclaimed by the media and customers for its outstanding driving stability and smooth acceleration performance, the QM6 has brought a new change to the SUV segment in South Korea's vehicle market.

Embodying the latest control technologies, the JF017E is optimally suited to Renault's 2.0L diesel engine. This CVT features Dynamic Step Shift (D-STEP) control for improving drivability and an automatic stop/start system for enhancing fuel economy. These features enable the JF017E to provide superior driveability combined with excellent fuel economy.

Table 1 Specifications of JF017E

Torque capacity	380 Nm
Torque converter size	236 mm
Pulley ratios	2.413 - 0.383
Ratio coverage	6.3
Final gear ratio	5.577
Number of selector positions	4 (P, R, N, D) + Manual shift mode
Overall length	379.8 mm
Weight (wet)	106.4 kg

■ Typical model fitted with the JF017E CVT ■



Renault Samsung QM6



# ジャトコ 一年間のトピックス

Highlights of the Past Year

## 1. 新・ダイバーシティ経営企業100選に選出

経済産業省が表彰する「平成27年度 新・ダイバーシティ経営企業100選」に、静岡県に本社を置く企業としては初めてジャトコが選定された。「ダイバーシティライン」や「スマイルライン」など、女性が多く活躍する生産ラインを設置して女性が働きやすい環境を整えたことで、女性だけでなく誰もが働きやすい生産ラインを実現した。また、品質の向上、在庫削減、効率化などの成果をあげたことや、フレックスタイム制度や在宅勤務制度の導入による多様な働き方の実現により、総労働時間を短縮したことなどが評価された。「ダイバーシティ経営企業100選」は2012年から実施され、今年は148社の応募の中から34社が選定された。

また、ジャトコ韓国は韓国政府の省庁の一つである女性家族部の「2016年家族親和優秀企業」に選定された。家族親和認証は、出産及び子育て支援、柔軟な勤務制度、家族に優しい職場文化醸成などを推進する企業や公共機関に対し、審査をして認証を付与する制度で、今年は523社が認証を受けた。



## 2. 北京モーターショーへの出展

4月25日～5月4日に開催された北京モーターショー2016 (Auto China 2016) に、昨年の上海モーターショーに続き出展した。ジャトコにとって最も重要なマーケットの一つである中国で、「Jatco CVT7 W/R」や「Jatco CVT8 HYBRID」などの主力ユニットの展示と、VR(バーチャルリアリティ)技術を駆使した「CVTバーチャルドライビング」コーナーを設置し、CVTのメリットと可能性を様々な角度から紹介し、来場者からの好評を博した。

## 1. Selected for New Diversity Management Selection 100 award

JATCO was selected for the FY 2015 New Diversity Management Selection 100 award given by the Ministry of Economy, Trade and Industry, becoming the first company headquartered in Shizuoka Prefecture to receive this honor. The following points were cited as reasons for the award: creation of a work environment friendly to women by installing production lines staffed by many women such as the Diversity Line and Smile Line; implementation of work-friendly production lines for anyone not just women and attainment of significant results in terms of improving quality, reducing inventories and boosting efficiency, among other things; reduction of total working hours by creating diverse ways of working through the adoption of a flextime system and a work-at-home system. The Diversity Management Selection 100 award was initiated in 2012. This year 34 companies were selected from among 148 applicants. In addition, JATCO Korea Engineering Corporation was selected for the 2016 Family-friendly Company Award given by the South Korean government's Ministry of Gender Equality and Family. This award is presented to companies and public organizations that are certified on the basis of an audit for their efforts to foster a family-friendly workplace culture such as through support for childbirth and child-rearing, implementation of flexible work systems and other measures. This year 523 companies' organizations received such certification under this award system.

## 2. JATCO Exhibits at the Beijing Motor Show

Following the company's booth at the Shanghai Motor Show in the previous year, JATCO exhibited products at the Beijing Motor Show 2016 (Auto China 2016) held from April 25 to May 4. China is one of the most important markets for JATCO. The exhibits included JATCO's mainstay transmissions such as the Jatco CVT7 W/R and the Jatco CVT8 Hybrid as well as a CVT virtual driving exhibit that made use of virtual reality technology. The exhibits showcased the advantages and potentialities of CVTs in various ways and were highly acclaimed by visitors.



## 3. JSAE主催イベントへの参加と支援

5月25日～27日にパシフィコ横浜で、6月29日～7月1日にポートメッセ名古屋で、それぞれ開催された「人とくるまのテクノロジー展」に出展し、CVTの優れた燃費と走りを訴求した。

また、8月5日、6日にパシフィコ横浜で開催された「キッズエンジニア2016」に出展した。当社が実施したプログラム「遊星ギアって何だろう?」には160人の子供が参加した。クルマの仕組みから環境問題まで、クルマを中心としたさまざまな分野の科学技術について、体験教室や展示プログラムなどで学べるこのイベントを当社は2008年の開催当初から支援している。

9月6日～10日に小笠山総合運動公園(ECOPA)で第14回全日本学生フォーミュラ大会が開催された。この大会は学生がチームを組み、約1年間でフォーミュラスタイルの小型レーシングカーを開発・製作し、走行性能だけでなく、車両のマーケティング、企画・設計・製作、コスト管理等のモノづくりにおける総合力を競う競技会であり、今年には国内・海外からICV(内燃機関車)クラスに93チーム、EV(電動車)クラスに13チームが参加した。ジャトコとジャトコ エンジニアリングは、この競技会を支援し、社員による審査スタッフへの参加も行い、大会に貢献した(添付写真)。



## 3. Participation in and support for JSAE-sponsored events

JATCO presented a booth at the 2016 Automotive Engineering Exposition held at the Pacifico Yokohama Exhibition Hall from May 25-27 and at the Nagoya International Exhibition Hall (Portmesse Nagoya) from June 29 to July 1. The exhibits of JATCO emphasized the outstanding fuel economy and driveability provided by CVTs.

In addition, JATCO also had a booth at Kids Engineering 2016 that was held at the Pacifico Yokohama Exhibition Hall on August 5-6. JATCO presented a program entitled "What is a planetary gear set?" in which 160 children took part. JATCO has been a supporter of this event since it was first held in 2008. Hands-on classroom activities, demonstration programs and exhibits enable participants in this event to learn about science and technology in various technical fields centered on vehicles, ranging from vehicle mechanisms to environmental issues.

The 14th Student Formula SAE Competition of Japan was held at the Ogasayama Sports Park (ECOPA) from September 6-10, 2016. In this competition, student teams spend approximately one year developing and building a small Formula 1 style race car. The competition tests their overall monozukuri abilities, including vehicle marketing, planning, design, manufacturing, cost management and other aspects, not simply vehicle performance. This year 93 teams from Japan and abroad participated in the internal combustion engine vehicle(ICV) category and 13 teams in the electric vehicle (EV) category. JATCO Ltd and JATCO Engineering Ltd provided support for this competition, and employees also contributed to it by taking part as judges (Attached photo).

## 4. Presentation of technical papers and booths at SAE conferences

JATCO employees presented a total of 15 technical papers at SAE-related conferences organized in the U.S., China, South Korea and Japan. These presentations highlighted JATCO's activities in a wide range of technical fields, including its latest CVTs and related control technologies, production engineering technologies and CAE techniques, among other areas. JATCO also presented a booth at the SAE Congresses held in Japan, the U.S. and China to enable visitors to recognize the outstanding fuel economy and excellent driveability of CVTs.



#### 4. SAE学術講演会への参加

米国、中国、韓国、日本で行われたSAE関連の各大会において計15件の学術論文発表を実施した。最新のCVTユニットや制御技術、生産技術、CAE技術等、多岐にわたる技術領域におけるジャトコの取り組みを紹介する発表を実施した。また、日本、米国、中国におけるSAE大会においてはブース展示も実施し、CVTの優れた燃費性能と高い運転性を来場者に認めていただいた。



#### 5. CTIへの参加

5月9日~12日に米ミシガン州のノバイで第10回CTI USAシンポジウムが開催され、ジャトコ社員が新CVTの油圧システム、熱処理時間の短縮と小ロット化の2件、ジャトコ韓国エンジニアリング社員が流体解析の最適化の技術講演を行った。

9月22日~23日に中国上海で開催された第5回CTI Chinaシンポジウムで、当社専務執行役員が中国市場向けに最適なCVTを提供するための継続的な取り組みとして「Continuous effort to supply optimal transmission for China」について講演した(添付写真)。また、ジャトコ社員がCVTの新ベルト技術、ジャトコ広州社員がCVTの新制御技術の技術講演を行った。

12月6日~8日に独ベルリンで開催された第15回CTIシンポジウムで、ジャトコ社員がステレオカメラによる新計測手法で1件、ジャトコフランス社員がグローバル最適生産、およびCVTの適用開発における優位性の2件の技術講演を行った。

#### 5. Participation in CTI Symposiums

Two JATCO employees gave technical presentations at the 10th CTI USA Symposium held in Novi, Michigan, on May 9-12, 2016. One presentation concerned the hydraulic system of JATCO's newest CVT and the other one dealt with the shortening of the heat treatment time and reduction of the lot size. In addition, a JATCO Korea Engineering Corp. employee gave a technical presentation on optimization of fluid analysis.

A JATCO executive delivered a presentation at the 5th CTI China Symposium held in Shanghai, China, on September 22-23, 2016, entitled "Continuous efforts to supply the optimal transmission for China" (Attached photo). In addition, a JATCO employee gave a technical presentation on new CVT belt technologies and an employee of JATCO Guangzhou Automatic Transmission Ltd. gave a technical presentation on new CVT control technologies.

A JATCO employee gave a technical presentation on a new measurement system using stereo cameras at the 15th International CTI Symposium Europe held in Berlin, Germany, on December 6-8, 2016. Othertwo technical presentations were delivered by a JATCO France SAS employees on global optimal production and the superiority of CVTs in application development work.



#### 6. Participation in VDI conference

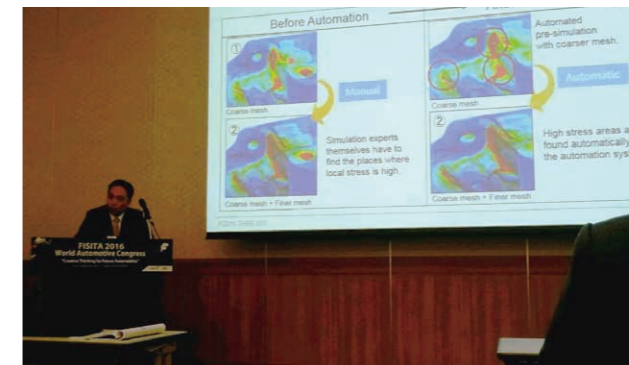
A CVT conference was held as an accompanying event of the 16th International VDI Congress "Drivetrains for Vehicles" held in Friedrichshafen, Germany, on June 21-22, 2016 under the sponsorship of the Verein Deutscher Ingenieure (The Association of German Engineers). The degree of attention given to CVTs has risen even in Europe. At that CVT conference, a JATCO employee gave a technical presentation on the hydraulic system of JATCO's newest CVT, and the JATCO Fellow chaired one of the technical sessions.

#### 6. VDIへの参加

6月21日・22日に独フリードリヒスハーフェンで開催された第16回VDI(ドイツ技術者協会)トランスミッション会議にCVTカンファレンスが特設され、CVTへの注目度が欧州でも高まった。そのCVTカンファレンスにおいて、当社社員が新CVTの油圧システムの技術講演を実施し、当社フェローがセッションの一つで座長を務めた。

#### 7. FISITAへの参加

9月26日~29日に韓国釜山で「FISITA World Congress 2016」が開催された。この大会は全世界の38ヶ国の自動車技術会が参加し世界を回りながら2年に1回開催され、今年には50社以上の企業が出展及び800編以上の論文発表が行われた。ジャトコ社員がCVTの攪拌抵抗低減技術、ジャトコ韓国エンジニアリング社員が解析自動化技術の技術講演を実施した(添付写真)。また、ブースではJatco CVT7 W/RなどのCVTを中心に最新技術を紹介した。



#### 8. CVT生産累計3,000万台と Jatco CVT7生産累計1,000万台

3月末、1997年にCVTの生産を開始して以来の累計生産台数が3,000万台に達した。累計生産3,000万台を達成したのは当社が世界初である。また、8月25日、Jatco CVT7のグローバル累計生産台数が、2009年7月の生産開始以来7年1ヶ月で1,000万台に達した。CVT単一機種で累計生産1,000万台を達成したのは、世界で当社中型FF車用CVT「JF011E」(生産開始より9年11ヶ月で2014年3月に達成)とJatco CVT7の2機種のみである。

#### 7. Participation in FISITA World Congress

The FISITA 2016 World Automotive Congress was held in Busan, Korea, on September 26-29. This Congress is held once every two years visiting worldwide countries in turn, with the sponsorship by the 38 societies of automotive engineers that are FISITA members around the world. This year's Congress attracted over 50 company exhibitors and more than 800 technical papers were presented. A JATCO employee gave a technical presentation on a technology for reducing fluid churning resistance in CVTs and a JATCO Korean employee gave a technical presentation on an automatic simulation system (Attached photo). JATCO also presented a booth that principally showcased the company's latest CVT technologies, including the Jatco CVT7 W/R and other units.

#### 8. Cumulative CVT production reaches 30 million units and cumulative Jatco CVT7 production reaches 10 million units

At the end of March 2016, cumulative CVT production reached 30 million units since JATCO began producing CVTs in 1997. JATCO became the first CVT manufacturer in the world to attain a cumulative production volume of 30 million units. In addition, on August 25 cumulative global production of the Jatco CVT7 reached 10 million units in seven years and one month since production of this model was first launched in July 2009. There are only two CVT models worldwide that have attained individual production volumes of 10 million units. Besides the Jatco CVT7, the other one is JATCO's JF011E CVT for use on midsize front-wheel-drive vehicles. In March 2014, the JF011E attained this milestone in nine years and eleven months since the start of production.

#### 9. Establishment of a new workshop in Barcelona

An opening ceremony was held on December 2, 2016 for JATCO's newly established workshop in Barcelona. This new workshop is located next to the proving ground of IDIADA (Institute for Applied Automotive Research), which is one of the largest proving grounds in Europe. The operation of this new workshop is expected to expand the scope of vehicle testing and improve efficiency of experiment.



### 9. バルセロナ 新ワークショップ開設

12月2日、バルセロナの新ワークショップの開設式が行なわれた。この新ワークショップはヨーロッパで最大規模のIDIADAテストコースの横に開設されている。この新ワークショップの稼働により、車両実験の拡大と効率化が期待されている。



### 10. CVTグローバルNo.11ライン稼働開始

5月30日、CVTグローバルNo.11ライン(以降G#11、詳細は特集記事107ページ参照)のSOPを祝う式典が行われた。ジャトコのモノづくりの最新技術を盛り込んだこのG#11はグローバルで11番目のCVT生産ラインであり、Jatco CVT8を生産する。



### 11. 各種受賞(団体)

7月14日、日産自動車(株)より、「アフターセールス優秀企業表彰:ベストパフォーマンス緊急賞」を受賞した。補修部品納入依頼に対し常に迅速な回答と納入をしていることを評価された。

9月29~30日にパシフィコ横浜で開催されたからくり改善くふう展で、ジャトコから出展の8作品の1つ「吸チャックマン」が協会特別賞を受賞した(添付写真)。また、5

### 10. Start of operations on the global No. 11 CVT production line

A ceremony was held on May 30, 2016 to celebrate the start of production on the global No. 11 CVT line (for further details on G#11, see the special feature article on pages 107-112). As JATCO's 11th CVT production line worldwide, this G#11 line incorporates JATCO's state-of-the-art monozukuri technologies and produces the Jatco CVT8.

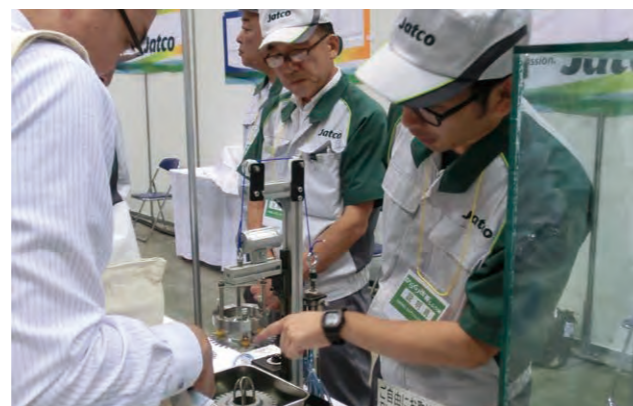
### 11. Various awards (company)

On July 14, 2016, JATCO received the Outstanding After-sales Service Company Award: Best Emergency Performance Award presented by Nissan Motor Co., Ltd. JATCO was commended for always providing prompt response and delivery of service parts whenever requested.

The Karakuri Kaizen Exhibition was held at the Pacifico Yokohama Exhibition Hall on September 29-30, 2016. JATCO presented eight exhibits, one of which, "suction chuck man," was awarded the Special Prize by the Japan Institute of Plant Maintenance (Attached photo).

The Global Challenge Circle received the Most Impressive Award at the 5800th National QC Circle Congress in May and the Capture Circle and the Sideburns Circle won the same award at the 5809th Keiji Region QC Circle Congress in June.

These awards for theKarakuri Kaizen that have no special power source or control devices and QC circle activities to improve quality on the shop floor were presented in recognition of JATCO's passion to quality in production workplaces and outstanding creativity for making improvements.



月の第5800回QCサークル全国大会でグローバルチャレンジャーサークルが、6月の第5809回QCサークル京滋地区大会でキャプチャーサークルとサイドバーンズサークルが、それぞれ感動賞を受賞した。特別な動力や制御機器を持たないからくり改善や現場の品質改善活動であるQCサークルでの受賞は、ジャトコの生産現場の品質へのこだわりと改善への高い創造性が評価されたものである。

### 12. 各種受賞(個人)

4月21日、日本機械学会の第93期定時社員総会において、当社社員が、技術功績賞で表彰された(添付写真)。この賞は、機械工業に関わる技術開発、生産技術、設計計画等の分野での技術的進歩に永年寄与し、その顕著な業績により、当該分野で周知されている日本機械学会員を表彰するものである。

また、6月2日(木)、自動車技術会関東支部第6回通常総会にて、当社社員が自動車技術会フェローに認定された。自動車技術会の目的達成及び自動車に係る科学技術に関し、多大の貢献をなしている会員に対して授与されるものであり、長年の功績が認められた。そのほかにも、都道府県主催の優秀技能者表彰を当社社員が受賞した。

### 13. ジャトコ広州でショールームリニューアルの実施と 切削工具再研磨ビジネスの開始

8月18日、ジャトコ広州(JGZ)ショールームの開幕式を実施した。お客さまが短時間でJGZを理解できJGZの魅力を伝えるために、会社紹介、人づくり、モノづくり、製品紹介と体験コーナーで構成されており、カットモデルやこれまでの受賞の展示をしている(添付写真)。また、JGZでは5月10日にジャトコツールサポートのもと、切削工具再研磨外販もキックオフした。



### 12. Various awards (individual)

A JATCO employee received a Technical Achievement Award at the 93rd annual general meeting of the Japan Society of Mechanical Engineers (JSME) on April 21, 2016. This award is given to JSME members who are publicly known for their outstanding achievements over many years of contributing to technical progress in various fields of machine industries such as research and development, production engineering and design planning, among other things (Attached photo).

In addition, a JATCO employee was certified as a JSAE Fellow at the 6th Annual Conference of the Kanto Branch of the Japan Society of Automotive Engineers (JSAE) on June 2, 2016. This honor is awarded to JSAE members who have made significant contributions to the attainment of JSAE's purpose and to science and technology concerning automobiles. It is given in recognition of many years of meritorious accomplishments.

Moreover, JATCO employees were also the recipients of Outstanding Technician awards sponsored by different prefectures in Japan.



### 13. Renewal of JATCO Guangzhou's showroom and start-up of cutting tool resumption sharpening business

An opening ceremony was held on August 18, 2016 to celebrate the reopening of the showroom at JATCO Guangzhou Automotive Transmission Ltd. (JGZ). The updated showroom provides an introduction of JGZ, its products, employee development programs and monozukuri operations as well as hands-on displays. Cut-away transmission models and awards won by JGZ to date are also on display. These features convey the attractiveness of JGZ and enable visitors to understand the company quickly (Attached photo).

In addition, JGZ also kicked off direct sales activities on May 10 for the resumption of its cutting tool sharpening business with the support of JATCO Tool Ltd.



# 特許紹介

Patents

## 1. 自動変速機の油圧制御装置

(Fig. 1)

出願番号 : 特願 2005-46129 号  
 出願日 : 2005.2.22  
 特許番号 : 特許第 4358130 号  
 登録日 : 2009.08.14  
 発明の名称 : 自動変速機の油圧制御装置  
 発明者 : 中島健治,  
 内田正明,  
 川本佳延

## 1. Hydraulic control system for automatic transmission

(Fig. 1)

Application Number: 2005-46129  
 Application Date: 22.2, 2005  
 Patent Number: 4358130  
 Registration Date: 14.8, 2009  
 Title: Hydraulic control system for automatic transmission  
 Inventors: Kenji Nakashima,  
 Masaaki Uchida,  
 Yoshinobu Kawamoto

### 【発明の概要】

本発明の自動変速機の油圧制御装置は、CVT内の所定の油圧を検出する油圧検出手段(セカンダリ圧センサ)および検出された油圧に基づいて走行クラッチの充填開始を判定する充填開始判定手段を備え、締結圧制御手段が油圧供給開始判定から充填フェーズ終了判定時間が経過したとき、充填フェーズから締結フェーズへ移行することを特徴とする。この特徴により、発進クラッチへの油圧供給のバラツキにかかわらず、充填終了に応じた最適なクラッチ締結タイミングを設定でき、運転者に違和感を与えない発進を行うことができる。

### 【SUMMARY OF THE INVENTION】

An automatic transmission hydraulic control apparatus includes an oil pump driven by an engine, a forward clutch arranged to be engaged by an engagement pressure from the oil pump at a start of the vehicle, a hydraulic pressure sensing section configured to sense a hydraulic pressure in the automatic transmission, a filling start judging section configured to judge a start of filling to the forward clutch in accordance with the sensed hydraulic pressure; and an engagement pressure control section configured to control the engagement pressure to go through a filling phase and an engagement phase. The engagement pressure control section shifts from the filling phase to the engagement phase when a predetermined time elapses from the judgment of the start of the filling to the forward clutch.

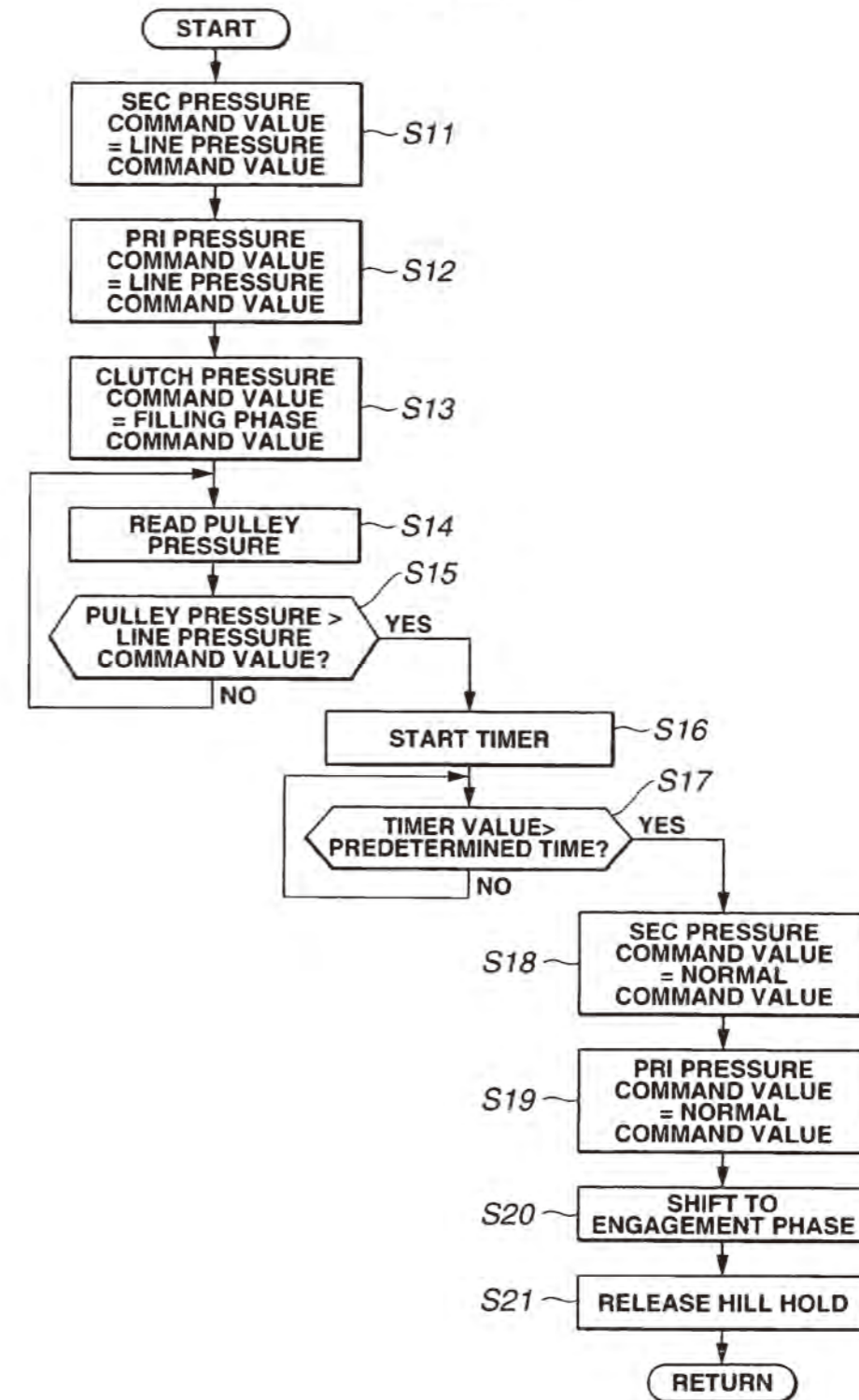


Fig. 1



2. 自動変速機の制御装置

2. Control system of automatic transmission

(Fig. 2)

(Fig. 2)

出願番号 : 特願 2009-262726 号  
 出願日 : 2009.11.18  
 特許番号 : 特許第 5191978 号  
 登録日 : 2013.2.8  
 発明の名称 : 自動変速機の制御装置  
 発明者 : 遠藤剛, 鈴木正己

Application Number: 2009-262726  
 Application Date: 18.11, 2009  
 Patent Number: 5191978  
 Registration Date: 8.2,2013  
 Title: Control system of automatic transmission  
 Inventors: Go Endo, Masami Suzuki

【発明の概要】

【SUMMARY OF THE INVENTION】

本発明の自動変速機の制御装置は、エンジンと、トルクコンバータと、締結要素の締結により第1の変速段に変速する自動変速機を備える。さらに、第1の変速段への変速指令を出力してから変速比が変化し始めるまでの時間である実タイムラグを計測する実タイムラグ計測手段と、エンジンのトルクを検出するトルク検出手段と、検出されたエンジントルクに基づいて適正タイムラグを設定するタイムラグマップと、実タイムラグが適正タイムラグとなるように、締結要素へ供給する油圧の指令値を学習補正する学習補正手段と、走行状態に応じて前記タイムラグマップの適正タイムラグを補正するタイムラグマップ補正手段を備えることを特徴とする。この特徴により、トルクコンバータの影響を回避して安定した学習補正を行い、これにより変速ショックが回避可能となる。

A control system for controlling an automatic transmission that is capable of establishing a given speed stage by engaging a given frictional element. The control system comprises an actual time lag measuring section that measures an actual time lag from the time when a speed change instruction for the given speed stage is issued to the time when a gear ratio of the automatic transmission starts to change for the purpose of establishing the given speed stage, a torque detecting section that detects a torque from an engine, a time lag map that provides a suitable time lag in accordance with the detected torque from the engine, a learning correction section that corrects, by learning control, an instruction value for the hydraulic pressure led to the frictional element in a manner to cause the actual time lag to have the same value as the suitable time lag; and a time lag map correcting section that corrects the suitable time lag in accordance with an operation condition of an associated motor vehicle.

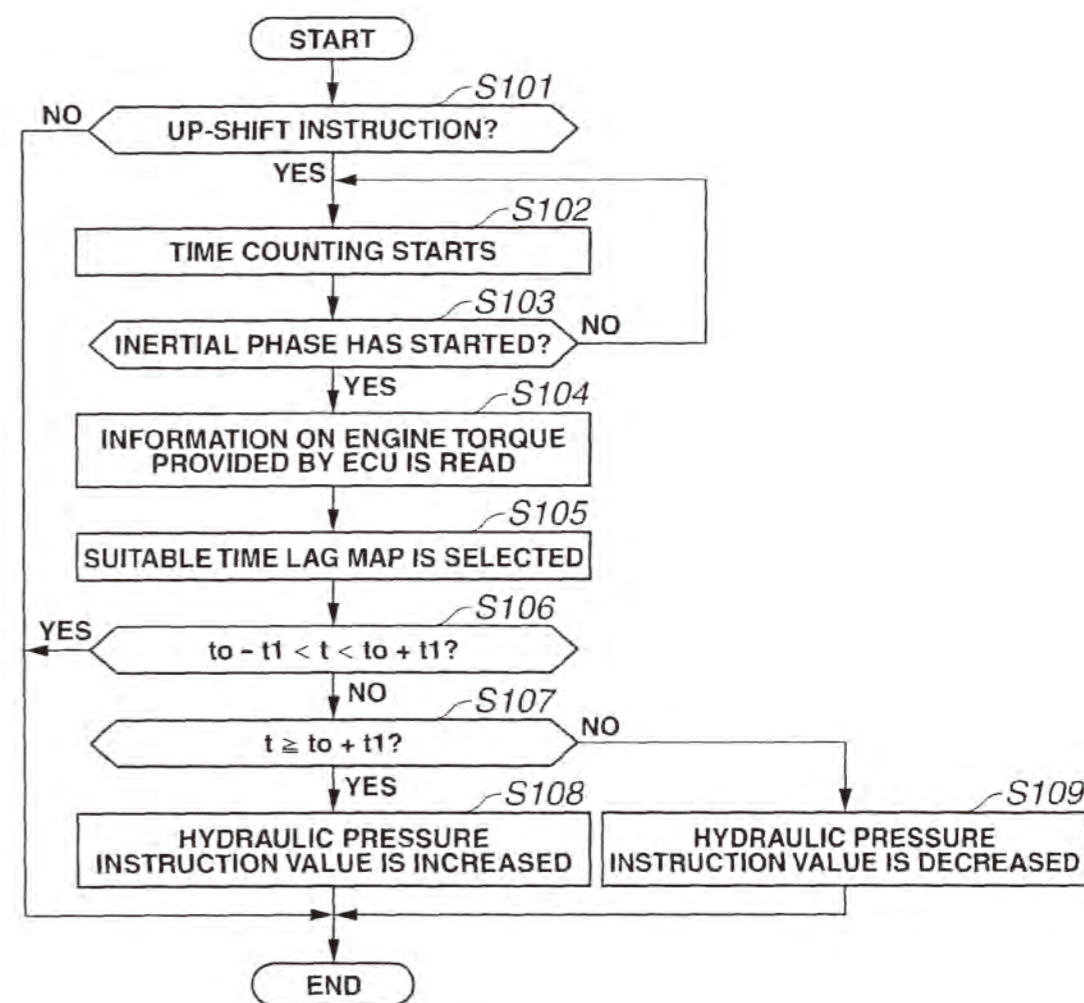


Fig. 2

# 編集委員会 (Editorial Committee)

## 委員長 (Chairman)

柴山 尚士  
Takashi SHIBAYAMA

フェロー  
Fellow

## 委員会 (Members)

鈴木 義友  
Yoshitomo SUZUKI

技術統括部  
Engineering Management Department

梅里 和生  
Kazuo UMESATO

開発部門  
R&D Division

瀧戸 一晶  
Kazuaki TAKIDO

技術統括部  
Engineering Management Department

藤森 直樹  
Naoki FUJIMORI

マーケティング&セールス部  
Marketing & Sales Department

森本 功  
Isao MORIMOTO

調達管理部  
Purchasing Administration Department

松田 浩  
Hiroshi MATSUDA

お客さま品質保証部  
Customer Quality Assurance Department

太田 進  
Susumu OOTA

R&D マネージメント部  
知的財産管理室  
IP Management Office

小野田 司  
Tsukasa ONODA

グローバル広報部  
Global Communications Department

## 編集 (Editors)

渋谷 和徳  
Kazunori SHIBUYA

グローバル広報部  
Global Communications Department

和田 彩子  
Ayako WADA

グローバル広報部  
Global Communications Department

---

---

ジヤトコ・テクニカル・レビュー No.16

JATCO Technical Review No.16

© 禁無断転載

発行 2017年3月  
発行・編集人 ジヤトコ・テクニカル・レビュー  
編集局

発行所 ジヤトコ株式会社  
グローバル広報部  
〒222-0033  
神奈川県横浜市港北区新横浜 2-8-12  
TEL: 045-286-0386  
FAX: 045-473-8107

印刷所 E-グラフィックス コミュニケーションズ  
株式会社  
東京都三鷹市牟礼 6丁目 25番 28号

March, 2017

Publisher JATCO Technical Review  
(Editor) Editorial Team

Distributor Global Communications Department  
JATCO Ltd  
2-8-12 Shin-Yokohama, Kohoku-ku,  
Yokohama City, Kanagawa, 222-0033, Japan

---

Copyrights Of All Articles Described In This Review  
Have Been Preserved By JATCO Ltd. For Permission  
To Reproduce Articles In Quantity Or For Use In Other  
Print Material, Contact The Editors Of The Editorial  
Committee.

---

---