

# CONTENTS

## 巻頭言／Preface

こんな時代にこそ温故知新 .....	1
The very sort of age to learn from the past	

沢井 晴美  
Harumi SAWAI

## 技術報告／Technical Report

軽自動車向け新型CVTの開発 .....	3
Development of a new CVT for mini-vehicles	

黒川 秀二 Shuji KUOKAWA	国久 美樹子 Mikiko KUNIHISA
小山 良浩 Yoshihiro OYAMA	

セレクト性能開発におけるSEとMBDの適用 .....	9
Application of Systems Engineering and Model-based Development for developing Engagement Performance	

佐藤 達郎 Tatsuo SATO	椎野 司 Tsukasa SHIINO
望月 優一 Yuichi MOCHIZUKI	歌川 智洋 Tomohiro UTAGAWA
本間 知明 Tomoaki HONMA	

CVTベース48Vマイルドハイブリッドトランスミッションの開発 .....	15
Development of a CVT-based 48V Mild Hybrid Transmission	

伊勢野 総 Atsumu ISENO	森下 真臣 Masaomi MORISHITA
-----------------------	----------------------------

歯元曲げ応力と残留応力を考慮した小モジュール歯車のスポーリング強度設計 .....	23
Spalling strength design method for small module gears considering tooth root bending stress and residual stress	

金 相起 Sangki KIM	鈴木 義友 Yoshitomo SUZUKI
齋藤 良平 Ryohei SAITO	鎌田 大輝 Daiki KAMATA

新パラメータ感度マップに基づく小型高性能トルクコンバータの開発 .....	29
Development of a compact and high-performance torque converter based on a new parameter sensitivity mapping	

川島 一訓 Kazunori KAWASHIMA	遠藤 雅重 Masatsugu ENDO
-----------------------------	-------------------------

MILS (Model In the Loop Simulation) を用いた制御検証の効率化 .....	39
Enhancement of control logic validation using model-in-the-loop simulation (MILS)	

藤塚 亮平 Ryohei FUJITSUKA	原田 大輔 Daisuke HARADA
馬場 勇輝 Yuki BABA	

シミュレーションによる診断通信ソフトウェアの設計品質の向上 .....	45
Simulation-based improvements in diagnostic communication software design quality	

金 泰衡 Taehyong KIM	崔 承桓 Seunghwan CHOI
畑島 耕一 Kouichi HATAJIMA	鄭 恩石 Eunseok CHUNG

トルコンバータのステータ表面改善(ディンプル化)による流体性能の向上 .....	53
Improvement of torque converter hydrodynamic performance through addition of dimples to improve stator blade surface	

尹 廷碩 Jungsuk YOON	遠藤 雅重 Masatsugu ENDO
松尾 道憲 Michinori MATSUO	中尾 憲吾 Kengo NAKAO

CVT市場修理費用低減の取り組み .....	59
Activities for reducing CVT field repair costs	

吉村 実 Minoru YOSHIMURA	有松 正夫 Masao ARIMATSU
古屋 雅之 Masayuki FURUYA	岸川 史 Fumihito KISHIKAWA

ジャトコ工具技術開発の取り組み .....	67
JATCO's activities for developing tool technologies	

中島 一明 Kazuaki NAKAJIMA	星野 洋 Hiroshi HOSHINO
永田 宏樹 Hiroki NAGATA	

CVT用プーリ・ボール溝研削加工の温度測定手法の開発 .....	73
Development of a method for measuring the grinding point temperature of a CVT pulley ball groove	

永田 宏樹  
Hiroki NAGATA

202x年に向けた組立ラインの進化 .....	79
Assembly line evolution toward 202x	

川本 典弘 Norimitsu KAWAMOTO	石原 宏樹 Hiroki ISHIHARA
藤野 輝昭 Teruaki FUJINO	

品質健康診断と改善活動による品質リスクの低減 .....	85
Reduction of quality risks through quality checkups and improvement activities	

金子 忠司  
Tadashi KANEKO

## 商品紹介／Introduction on Products

日産自動車向け Altima用Jatco CVT8 (JF016E) の紹介 .....	91
Introducing the Jatco CVT8 (JF016E) for the Nissan Altima	
SAIC-GM社向けBuick Excelle用 Jatco CVT7 (JF015E) の紹介 .....	92
Introducing the Jatco CVT7 (JF015E) for SAIC-GM's Buick Excelle	
日産自動車向け Micra用Jatco CVT7 (JF015E) の紹介 .....	93
Introducing the Jatco CVT7 (JF015E) for the Nissan Micra	

## トピックス／Topics

2018年のトピックス .....	95
Highlights of 2018	

## 特許紹介／Patents

無段変速機の制御装置 .....	101
Control device for continuously variable transmission	
副変速機付き無段変速機の制御装置 .....	103
Control device for continuously variable transmission equipped with auxiliary transmission	



# こんな時代にこそ温故知新

The very sort of age to learn from the past

常務執行役員・CIO

Corporate Vice President and Chief Information Officer

沢井 晴美

Harumi SAWAI

## 「最先端」とは何か

2019年度はジャトコ設立20周年、前身である日産自動車富士工場操業以来76年、そして、「Jatco」ブランドのもととなった日本自動変速機設立から50年を迎える年となる。「50年」を考えると、ある新聞に掲載の大手会社社長のインタビュー記事を思い出した。

記事によると、最先端を語る上で最も重要なのは時代のニーズを知ることであると。時代のニーズに合うものであれば、昔のアイデア、技術でも最先端になる。古いものを最先端の技術でつくるのがいちばん儲かる。重要なのは「時代を見る目」にあるのだと。そして、アップル創業者のスティーブ・ジョブズがそうしていたように温故知新を続けることが大切だとあった。

MT から始まり、AT、CVT、そして電動化パワートレインへとつながる革新的な商品の開発、JEPS促進思想をベースとしたJSL(JATCO Standard Line)とモノづくりの革新、メキシコを皮切りに、中国、タイへの海外拠点の拡大によるグローバル供給競争力アップと生産補完体制の確立、そしてそれらを支える人材育成、One JATCO浸透活動を推進しながら、ジャトコは進化し続けてきた。

ここで、当社の故(ふる)き技術を温(たず)ねるためにジャトコテクニカルレビュー(JTR)の特集を振り返ってみる。このJTRも初版発行から19年を迎える。これまで会社の進化とともにその革新的商品、技術を紹介してきた。その一部を紹介する。

## JTRの技術テーマの変遷(抜粋)

- 2000年度 No.1 トロイダルCVT、ベルトCVTを支える技術
- 2005年度 No.6 ジャトコのよいモノづくり～特集 JEPS 概要～
- 2006年度 No.7 The JATCO Way～V3P特集～
- 2011年度 No.11 新世代Jatco CVT7のすべて
- 2012年度 No.12 Jatco CVT8の紹介
- 2013年度 No.13 ハイブリッド車に貢献するトランスミッション技術

## What is the cutting edge?

Fiscal year 2019 marks the 20th anniversary of the establishment of JATCO Ltd, 76 years since the beginning of operations by our predecessor, Nissan Motor Co.'s Fuji Plant, and 50 years since the establishment of Japan Automatic Transmission Corporation, which was the basis for the present JATCO brand. In thinking about 50 years, I recalled an interview with the president of a major corporation that was published in a certain newspaper.

According to that article, the most important thing when talking about the cutting edge is to know the needs of the age. If something fits the needs of the age, even past ideas and technologies can be the cutting edge. Making old things with cutting-edge technologies is the most profitable. What is important is to have an eye for discerning the age. And the article said that it is vital to continue to learn from the past, as was done by Steve Jobs, a co-founder of Apple.

JATCO has continued to evolve over the years as typified by the development of innovative products beginning from manual transmissions and leading to automatic transmissions, continuously variable transmissions and electrified powertrains; by innovations in monozukuri such as the JATCO Standard Line based on the philosophy of promoting the JATCO Excellent Production System (JEPS); by improvement of our global supply competitiveness and establishment of a production complementation system through the expansion of our overseas manufacturing centers starting with a plant in Mexico followed by plants in China and Thailand; by nurturing the human resources that support our activities; and all the while promoting activities to penetrate One JATCO.

Here, I would like to look back on the special features published in the Jatco Technical Review (JTR) as a way of learning from our past technologies. This year also marks 19 years since the first issue of the JTR was published. To date, it has served to introduce our innovative products and technologies accompanying the company's evolution. I would like to note some of them below.

Transition in technological themes featured in the JTR (excerpts)

- FY 2000 No. 1 Technologies supporting toroidal and steel-belt CVTs
- FY 2005 No. 6 JATCO's excellent monozukuri: Special feature overview of JEPS
- FY 2006 No. 7 The JATCO Way: Special feature on V3P
- FY 2011 No. 11 Comprehensive introduction of the next-generation Jatco CVT7
- FY 2012 No. 12 Introduction of the Jatco CVT8
- FY 2013 No. 13 Transmission technologies contributing to hybrid vehicles



これらの中で私が思い出深いのは、ジャトコのモノづくりの思想であるJEPS (JATCO Excellent Production System)特集である。

私は、現在企画部門を担当しているが、かつては生産部門でJEPSの推進役を担当していた。その後、国内工場の工場長、ジャトコ広州の総経理を担当しJEPSがグローバルに通用する優れた生産方式であることを証明してきた。そして今後はこのJEPS思想をベースにAI、IoTや無人化技術等の最新のツールを導入することでさらなる高みを目指す。将来、我々が創り出す商品は変われどもモノづくりの思想は伝承し、進化させることで競争力・収益力向上に大いに貢献すると信じている。

また、ジャトコはトランスミッションメーカーとしてこれまでに培った非常に優れた要素技術を数多く有している。その代表的なものが歯車技術である。既に紀元前から存在したと言われる歯車技術であるが、インボリュート歯車に限っても既に300年以上の歴史がある。この歯車の設計、生産は当社の得意分野であり、JTRでも過去に10件近く紹介してきている技術である。長年にわたる技術・ノウハウの蓄積でトルク容量密度が高い歯車の設計、生産が可能で、これは小型化におけるキー技術の一つであり、来たるべき電動化時代においても必ず生きる。まさに温故知新であろう。

一方、JTRにはジャトコが開発してきた世界初の技術も紹介されており、自分の勤める会社の技術、人財を誇らしく思わせてくれた。

#### <ジャトコの世界初> 注) 当社調べ。

1989年 RWD車用5速ATを市場投入⇒これをきっかけに、グローバルでATの多段化競争がスタート

1997年 2LクラスFWD車用ベルトCVT (JTR No.1掲載)

1999年 大排気量RWD車に対応するトロイダルCVT量産成功 (JTR No.1掲載)

2002年 3.5LクラスのFWD車用ベルトCVT (JTR No.4掲載)

2009年 ベルトCVTに副変速機を組み合わせた新構造CVT7 (JTR No.11掲載)⇒CVTシェア世界No.1に

2010年 乗用車用トルコンレス1モーター2クラッチ式HEV用トランスミッション (JTR No.13掲載)

これまで、我々は運転性の向上や環境対応というお客さまと社会のニーズに応えるために、数々の革新的技術を世に送り出してきた。そして今後は、これまでのトランスミッション技術開発で培った革新へのチャレンジというDNAを武器に時代のニーズに応える最先端商品を生み出していく必要がある。今回のJTRでもジャトコの最新技術の数々を紹介する。ここに紹介する最新技術と過去に紹介した革新的技術を時には振り返り、モノづくりの将来を創造する一助としていただけたら幸甚である。

Of these special features, the one focusing on JEPS, which embodies our philosophy of monozukuri, is particularly memorable for me. At present, I am responsible for the Corporate Planning Division, but previously I was in charge of promoting JEPS in the Production Division. Subsequently, I served as general manager of a domestic plant and as president of JATCO Guangzhou and demonstrated that JEPS is an outstanding production system capable of global deployment. Based on the JEPS philosophy, we aim to achieve even higher levels in the years ahead through the introduction of the latest technologies such as artificial intelligence (AI), the internet of things (IoT) and unmanned systems, among others. While the products we create in the future may change, I believe that our monozukuri philosophy will be passed on and further evolved, thereby contributing significantly to improving our competitiveness and profitability.

JATCO possesses many outstanding key technologies that we have accumulated over the years as a transmission manufacturer. A representative example is our gear technologies. It is said that gear engineering already existed from before the Christian era. Involute gears alone have a long history dating back more than 300 years. Gear design and manufacturing are areas in which JATCO excels, and our gear technologies have been introduced in approximately ten JTR articles in the past. The technologies and know-how accumulated over many years enable us to design and manufacture gears having high torque density. Such gear performance is a key technology for downsizing and will definitely continue to be utilized even in the coming age of electrification. It is an excellent example of leaning from the past.

Moreover, the world's first technologies JATCO has developed have also been introduced in the JTR. That has made me feel very proud of the technologies and human resources of the company where I am employed.

JATCO's world's first technologies (based on an in-house survey)

1989 Launched a 5-speed AT for rear-drive vehicles

→ This triggered global competition to increase the number of AT speeds.

1997 Steel-belt CVT for 2L-class front-drive vehicles (featured in JTR No. 1)

1999 Successfully mass produced a toroidal CVT applicable to rear-drive vehicles with a large displacement engine (featured in JTR No. 1)

2002 Steel-belt CVT for front-drive vehicles with a 3.5L-class engine (featured in JTR No. 4)

2009 CVT7 featuring a new construction combining a steel-belt CVT with an auxiliary gearbox (featured in JTR No. 11).

→ JATCO attained the No. 1 share of the global CVT market.

2010 Transmission for hybrid vehicle with a 1-motor, 2-clutch system without a torque converter for passenger cars (featured in JTR No. 13)

We have put numerous innovative technologies on the market to date in response to customers' and society's needs for both driveability and environmental friendliness. Going forward, it will be necessary to continue to create cutting-edge products that meet the needs of the age, taking full advantage of our DNA for challenging new innovations, which has been nurtured over the years through the development of transmission technologies.

This issue of the JTR also presents many of JATCO's latest technologies. It would give us great pleasure if readers would recall from time to time the latest technologies described here and the innovative technologies featured in previous JTR issues and find that information helpful for creating the future of monozukuri.

# 軽自動車向け新型CVTの開発

Development of a new CVT for mini-vehicles

黒川 秀二\*  
Shuji KUROKAWA

国久 美樹子\*  
Mikiko KUNIHISA

小山 良浩\*\*  
Yoshihiro OYAMA

**抄 録** ジヤトコは軽自動車専用の新型CVTの生産を2019年1月から開始した。

軽自動車は日本の独自規格で、各カーメーカーがしのぎを削るカテゴリーであり、トランスミッションに対しても経済性・搭載性などへの高い要求がある。ジヤトコは2009年よりJatco CVT7（以下、CVT7）を軽自動車用に提供しているが、日本の自動車市場の中でも約40%を占める規模となっている軽自動車ユーザーの期待に沿うべく、これまで培った要素技術を基に軽自動車専用のCVTを新開発し、小型軽量化、燃費と運転性の向上を実現した。

**Summary** In January 2019, JATCO launched production of a new CVT developed specifically for mini-vehicles. With specifications unique to Japan, mini-vehicles are a segment in which vehicle manufacturers compete fiercely. There are strong requirements for mini-vehicle transmissions to provide economy, mountability and other performance attributes. JATCO has been supplying the Jatco CVT7 for mini-vehicle use since 2009. Based on accumulated key technologies, JATCO developed a new CVT exclusively for mini-vehicles. It is smaller, lighter and provides improved fuel economy and driveability to satisfy the expectations of customers of mini-vehicles, which account for approximately 40% of the car market in Japan.

## 1. はじめに

日本の軽自動車市場は、1990年の排気量拡大、1998年の全長・全幅規格緩和で現在の軽自動車規格が確立されて以降、各社が競って魅力的な商品を投入し、日本の自動車市場における売上比率を伸ばし続けている。1980年代には日本全需の約20%だった軽自動車市場だが、現在はその魅力が拡大し、全需の約40%を占める重要なカテゴリーへと成長した。将来動向としても、このウェイトは変わらず堅調を維持することが予想されており、パワートレインとしても低燃費性能や運転性向上、走りの楽しさ演出という車両の魅力品質向上に貢献するのはもちろんのこと、エンジンルーム縮小が車室内の拡大へも貢献できるため、小型、軽量、低燃費ユニットの投入が要望されている。

今回ジヤトコはこれまでのCVT開発経験を活かし、軽自動車専用のCVTを新規開発した。

## 1. Introduction

In the mini-vehicle market in Japan, the allowable engine displacement was increased in 1990 and the regulations on the overall vehicle length and overall width were eased in 1998. That resulted in the establishment of the present mini-vehicle specifications. Since then, mini-vehicles have continued to expand their share of total new car sales in the Japanese market, as manufacturers have competed to introduce attractive products. The mini-vehicle market accounted for approximately 20% of the total vehicle demand in Japan in the 1980s. At present, mini-vehicles have grown to be a key segment accounting for approximately 40% of the overall vehicle demand thanks to their enhanced attractiveness. As a future trend, it is projected that this proportion will be firmly maintained without any significant change.

The powertrain naturally contributes to improving the attractive qualities of vehicles such as low fuel consumption, enhanced driveability and the provision of driving pleasure. In addition, downsizing the engine compartment helps to expand the interior space. For these reasons, there are

\* プロジェクト推進室  
Project Promotion Department

\*\* 日産自動車株式会社 パワートレイン・EV技術開発本部 パワートレイン・EVプロジェクト部  
Powertrain EV Project Department, Powertrain Engineering Division, Nissan Motor Co., Ltd.

## 2. 軽自動車専用新CVTの概要

### 2.1 開発コンセプト

前述のとおり、日本国内の自動車市場の約40%の軽自動車にフォーカスした専用CVTの開発を目的とし、以下の3点を開発のコンセプトとした。

1. 燃費競争を考慮し、パワートレーン効率をCVT7比で向上させる。
2. 燃費以外の軽自動車魅力品質に貢献するため、小型化、軽量化、NVH性能向上を図る
3. 成熟した技術を活用し、短期間で開発する。

また、開発に当たっては、システムズエンジニアリング (SE) 手法を活用し、要求定義 (Requirements) を漏れなく抽出し、関連する要求分析 (Functional design) を実施し、サブシステム、コンポーネントの要求に割り付け (Logical design)、網羅的かつ効率的な設計を行い、検証フェーズにおいてもSTA (Success Tree Analysis) を活用した網羅的な品質確認を行った。

### 2.2 主断面&スペック

Fig. 1に今回開発した新CVTの主断面図を、Table 1にユニット基本仕様をCVT7との対比で示した。CVT7の特長として、副変速機+CVTの組み合わせにより、クラス最高のレシオカバレッジ7.3を実現しているが、日本の道路事情と軽自動車の使われ方を鑑み、軽自動車としての必要変速比幅について再考した。

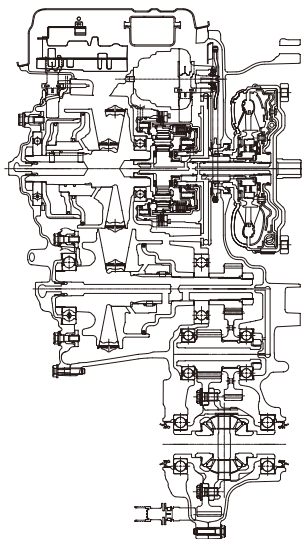


Fig. 1 Main cross-section view

strong demands for the provision of compact, lightweight and fuel-saving transmissions.

JATCO has newly developed a CVT specifically for mini-vehicles by drawing upon the experience gained to date in developing CVTs.

### 2. Overview of new CVT specifically for mini-vehicles

#### 2.1 Development concept

The development concept was based on the following three points for the purpose of developing a CVT specifically focused on mini-vehicles, which account for approximately 40% of the Japanese vehicle market as noted above.

- (1) To achieve powertrain efficiency better than that of the CVT7 in consideration of fuel economy competition.
- (2) To build a smaller, lighter unit with improved NVH performance in order to contribute to the attractive qualities of mini-vehicles besides fuel economy.
- (3) To develop the new CVT in a shorter period of time by utilizing mature technologies.

A systems engineering (SE) approach was used in the development process. The requirements were all identified without missing anything, and the related functional design was executed. The logical design was developed comprehensively and efficiently by assigning the requirements to the subsystems and components. In the validation phase, success tree analysis (STA) was used comprehensively to confirm quality.

#### 2.2 Main cross section and specifications

Fig. 1 shows a main cross-sectional view of the newly developed CVT, and its basic specifications are compared in Table 1 with those of the CVT7. One of the distinct features of the CVT7 is its class-leading ratio coverage (RC) of 7.3, obtained by combining an auxiliary transmission with a CVT. The ratio coverage needed by mini-vehicles was

Table 1 Specification comparison

Item	CVT7	New CVT
Torque capacity	98 Nm	100 Nm
Control system	Electronic	←
Torque converter size	UUF 185 mm dia.	←
Gear ratio	Ratio coverage	7.3
	Pulley ratio	2.200 - 0.550
	Final gear ratio	3.757
	Planetary gear ratio	6.54 - 7.756
		1st
		2nd
Through low ratio	1st	1.821
	2nd	1.000
	Rev	1.714
Through low ratio	15.04	0.952
Weight (wet)	65.0 kg	15.770
Overall length	346 mm	60.8 kg
Distance between Pulley Shafts	147 mm	356 mm
		←

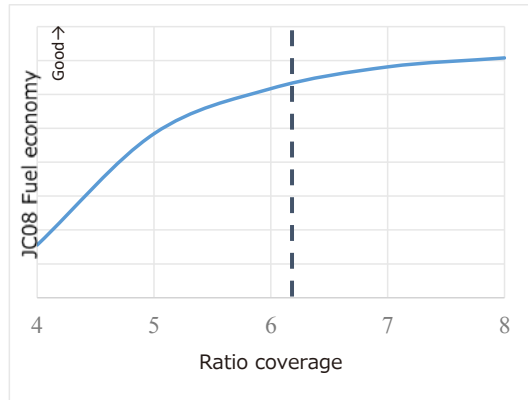


Fig. 2 New CVT ratio coverage vs. JC08 fuel economy improvement

Fig. 2に变速比幅vs JC08モードにおける燃費効率の関係を示す。バリエータ变速比幅4.0から6.0まで拡大することで、比例的に燃費効率向上が図れるが、6.0で変曲点があり、軽自動車の場合、6.0以上のレシオ拡大の効果が小さくなることから、本ユニットでの变速比幅を6.0とした。

CVT7との生産ライン混流化を可能とする制約条件としてプーリ間距離を147mm不変とし、副变速機無しでレシオカバレッジ6.0を確保するため、Fixプーリ軸部を細軸化した。細軸化によるFixプーリ軸部の強度確保のため、プーリスライド部のコロ保持方法を見直し、スナッピングによるコロ固定機能をSlideプーリ側に移設した。ベルトについてもジヤトコで採用している最新の低フリクションタイプを採用した。

### 3. コンセプト実現に向けた採用技術

#### 3.1 フリクション低減の取り組み

車両燃費向上に貢献するための機構面の工夫として、プーリ支持部のベアリング、軸支持ベアリングには低フリクションボールベアリングを全箇所採用し、メカフリクションを低減した。さらにギアやプーリによるオイル攪拌ロスを低減するため、プーリ油圧室はタンデムピストン構造を採用することで外径を小型化し、ギア部にはバッフルプレートを設定した。

加えて、潤滑配分の最適化やプーリ保持油圧の適正化によるポンプ作動エネルギーの低減、ファイナルギア比の設定最適化を行った。

この結果、現在多くの軽自動車に採用されている当社製CVT7とのフリクションの比較では、特に低速域での改

reconsidered, taking into account road conditions in Japan and the ways in which mini-vehicles are driven.

Fig. 2 shows the relationship between ratio coverage and fuel economy under Japan's JC08 test mode. Increasing the ratio coverage of the variator from 4.0 to 6.0 improves fuel economy relatively easily, but there is an inflection point at 6.0. In the case of mini-vehicles, the effect of expanding ratio coverage beyond 6.0 has a diminishing effect on improving fuel economy. Therefore, it was decided to set the ratio coverage of the new CVT at 6.0.

The distance between the pulley shafts was set at a constant value of 147 mm as a limitation for facilitating mixed model production with the CVT7 on the same production line. The shaft of the fixed pulley half was narrowed to secure ratio coverage of 6.0 without the auxiliary transmission. To ensure the strength of the smaller shaft of the fixed pulley half, the method of supporting the roller bearing of the sliding pulley half was revised. The function of securing the roller bearing by means of a snap ring was transferred to the sliding pulley half. JATCO's latest low-friction belt was adopted for the new CVT.

### 3. Technologies adopted to achieve the development concept

#### 3.1 Efforts to reduce friction

Low-friction ball bearings were adopted at all locations to support the pulleys and the shafts as a mechanism measure for contributing to improving vehicle fuel economy by reducing mechanical friction. In addition, to reduce fluid churning loss attributed to the gears and pulleys, a tandem piston structure was adopted for the pulley pressure chamber so as to reduce the outer diameter. A baffle plate was adopted for the auxiliary transmission gears.

In addition, the energy needed for operating the oil pump was reduced by optimizing the lubricant distribution and the pulley hold pressure. The setting of the final gear ratio was also optimized

As a result, a comparison with the Jatco CVT7 currently used on many mini-vehicles revealed that friction was markedly reduced especially in the low-speed region. During operation under Japan's JC08 test mode, friction was reduced by approximately 8% overall, thereby contributing to improving vehicle fuel economy.

#### 3.2 Efforts to reduce size and weight

While the pulley ratio coverage was maximized as



善が顕著であり、JC08モード走行時全体でも約8%以上のフリクション低減が実現でき、車両燃費向上に貢献した。

### 3.2 小型軽量化への取り組み

プーリレシオカバレッジを最大化しているが、内径細軸化や最新の構造解析手法を用いたシーブ部薄肉化、油圧室部品の薄肉化による軽量化に加え、プーリ一体のパークギア部は歯底を抜いた形状とし、軽量化を図った。その他内部構成部品の材料見直しや、細部にわたる薄肉化、除肉などを構成部品ごとに取り組み、結果的にCVT7に対して約4.2kg、重量比で約6%の軽量化を実現した。

また、従来CVT7採用車両に対する搭載性の確保はもちろん、複数カーメーカーのエンジンルーム搭載を考慮した基本骨格サイズとした。

### 3.3 NVH性能向上の取り組み

#### 3.3.1 前後進切替機構

遊星ギアを介して動力伝達するリバース時のギアノイズを軽減するため、ダブルピニオンタイプの4遊星ギア構成を採用した。

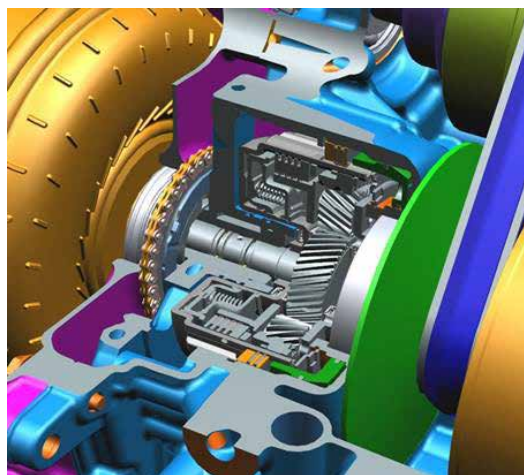


Fig. 3 Cut-away view of forward/reverse switchover mechanism

#### 3.3.2 エンジンとの締結剛性向上

軽自動車は前述のとおり、エンジンルームに対する厳しいレイアウト制約がある。加えて車両の高機能化が進み、搭載部品数が増えており、エンジン含めたパワートレイン系のレイアウトも一層厳しさを増している。しかしながら、パワートレイン系の締結剛性向上は車両音振性能に大きく影響することから、厳しいレイアウト制約の中でも必要

とされた。上記で述べた通り、各種重量削減対策が考案された。これにはシャフトの内径を絞り、最新の構造解析手法を用いてシーブ部分を薄肉化し、油圧室部品の薄肉化による軽量化に加え、プーリ一体のパークギア部は歯底を抜いた形状とし、軽量化を図った。その他内部構成部品の材料見直しや、細部にわたる薄肉化、除肉などを構成部品ごとに取り組み、結果的にCVT7に対して約4.2kg、重量比で約6%の軽量化を実現した。

搭載性については、既存CVT7の車両に搭載可能な基本フレームサイズが決定された。これは、エンジンルームの搭載性を考慮し、複数の車両メーカーによって製造されるエンジンルームの形状を考慮して決定された。

#### 3.3 Efforts to improve NVH performance

##### 3.3.1 Forward/reverse switchover mechanism

A double-pinion four planetary gear configuration was adopted to reduce gear noise when transmitting power by the planetary gear set for traveling in reverse.

##### 3.3.2 Improvement of coupling rigidity with the engine

As noted earlier, mini-vehicles have severe layout restrictions in the engine compartment. In addition, the ongoing adoption of more advanced vehicle functionality is increasing the number of mounted parts, thereby further heightening the layout severity for the powertrain system including the engine. However, improving the coupling rigidity of the powertrain system has a large effect on vehicle NVH performance. For that reason, measures were taken to secure the necessary coupling rigidity amid the severe layout restrictions, such as by increasing the number of coupling points and optimizing the geometry and structure of the coupling interface with the engine. These measures contribute to improving vehicle NVH performance.

#### 3.4 Hydraulic control system

The overall configuration of the hydraulic control system is based on a single-stage pressure regulator inherited from the CVT7 system with a proven performance record. This approach improved hydraulic performance robustness while enabling the system to be developed in a short period of time.

な締結剛性を確保するために締結点数を増やし、締結部の形状、構造を最適にすることで、車両の音振性能向上に貢献した。

### 3.4 油圧制御システム

油圧制御システムの全体構成としては、実績のあるCVT7系を踏襲した片調圧をベースとし、短期間での開発を実現しながらも、油圧性能のロバスト性向上を図った。

加えて、CVTでも主流になりつつある専用オイルポンプレスアイドルストップを実現するため、エンジン停止時の油圧を保持する機構として以下3点を実装した。

1. コントロールバルブ内に保圧弁を新設し、エンジン停止(=オイルポンプ停止)時に油圧回路内の油圧を保持する機構を新設した。
2. プーリ油圧室の油圧保持に有利な低リークタイプシーリング、隙間無しDリングを採用した。
3. 油圧回路部からのリークを極小にするため、コントロールバルブ油路の設計方法を刷新し、リーク量を低減した。

## 4. まとめ

今回、日本の軽自動車向けに特化した新型CVTを開発した。明確な開発コンセプトをシンプルな技術で実現し、結果的にはJC08モード走行相当で約8%のフリクション低減により燃費性能の向上が図れ、重量、搭載性においても現行の軽自動車向けCVT7を凌駕するユニットとすることができた。

電動化シフトが進むとされるこの先の中長期においても軽自動車向けではコンベンショナルなエンジン・CVT・エネルギー回生システムの組み合わせによる競争力向上が期待されており、我々としてもその期待に応えるべく改良を続けていきたい。

In addition, the following three measures were implemented as mechanisms for maintaining pressure when the engine is turned off in order to achieve a stop-start system without a dedicated oil pump, which is becoming the mainstream type even for CVTs.

- (1) A pressure holding valve was newly adopted inside the pressure control valve as a mechanism for maintaining the pressure in the hydraulic circuit when the engine is stopped, i.e., the oil pump is off.
- (2) A low-leak seal and a gap-free D-ring were adopted as they are advantageous for maintaining pressure in the pulley pressure chamber.
- (3) A completely new method of designing the flow passages in the control valve was used to reduce the amount of leakage and thereby minimize leakage from the hydraulic circuit.

## 4. Conclusion

This article has described a new CVT that has been developed specifically for use on mini-vehicles in Japan. A clearly defined development concept was achieved using simple technologies. As a result, fuel economy during operation corresponding to Japan's JC08 test mode has been improved by reducing friction by approximately 8%. This new CVT is also superior to the existing CVT7 for mini-vehicles in terms of weight and mountability.

As the shift to electrification proceeds in the medium to long term, it is expected that competitiveness can be improved by combining a conventional engine, a CVT and an energy regeneration system designed for mini-vehicles. We intend to make further improvements in response to such expectations.

## ■ Authors ■



Shuji KUROKAWA



Mikiko KUNIHISA



Yoshihiro OYAMA

Memo

Dotted lines for writing content.



# セレクト性能開発におけるSEとMBDの適用

Application of Systems Engineering and Model-based Development for developing Engagement Performance

佐藤 達郎\*  
Tatsuo SATO

椎野 司\*\*  
Tsukasa SHINO

望月 優一\*\*\*  
Yuichi MOCHIZUKI

歌川 智洋\*\*\*\*  
Tomohiro UTAGAWA

本間 知明\*\*\*\*\*  
Tomoaki HONMA

**抄 録** 近年の自動車へのさまざまな性能要求の高まりを受けて、トランスミッション(以下、TM)の性能開発は複雑化している。その開発を効率的に行うため、ジャトコではシステムズエンジニアリング(以下、SE)とモデルベース開発(以下、MBD)を融合させた開発手法の適用を進めている。本稿では、その詳細について紹介する。

**Summary** The heightening of various performance requirements for vehicles in recent years has complicated the development of transmission performance. In order to develop performance efficiently, at JATCO we are applying a development approach that combines systems engineering (SE) with model-based development (MBD). This article describes this approach in detail.

## 1. はじめに

自動車の重要な運転性能はいくつかあるが、停車時にドライバーが認識しやすい性能の一つにセレクト性能がある。セレクト性能とは、ドライバーがシフトレバー操作時の応答時間の遅れ(以下、ラグ)やTMのトルク伝達の変化による車両加速度の変化(以下、ショック)が生じる現象である。

ラグとショックは、一方を良くするともう一方が悪化するトレードオフの関係にあり、双方への高い要求を同時に達成することを目指している。

そのため、従来のセレクト性能開発では、開発初期に十分な性能設計ができないまま、試行錯誤型の実験を主体とした性能開発を行っており、多大な開発工数を必要とすることもあった。

これを解決するため、SEの考え方に基づいた網羅的な要求、機能、手段の明確化を行って、従来モデルの精度をさらに向上させ、試行錯誤型の実験に頼らない開発を目指した。

## 1. Introduction

Vehicles have a number of key driving performance attributes. One such attribute that must be easy for drivers to recognize when a vehicle is at rest is engagement performance. This performance includes such phenomena as a response time delay (lag) when the driver operates the shift lever and a change in vehicle longitudinal acceleration (shock) due to a difference in the torque transmitted by the transmission.

Lag and shock involve a trade-off whereby improving one worsens the other. The aim is to achieve high levels of performance for both simultaneously.

Toward that end, in the past engagement performance was mainly developed through trial-and-error testing because a sufficient performance design could not be obtained in the early stage of development. That approach required an enormous amount of development man-hours.

To resolve that issue, comprehensive requirements, functions and methods were made clear on the basis of a systems engineering (SE) approach and the aim was to develop engagement performance without depending on trial-and-error testing by further improving the accuracy of the existing transmission model.

\* ジャトコ エンジニアリング株式会社 エンジニアリング事業部 部品システム開発部  
Hardware System Development Department, Engineering Division, JATCO Engineering Ltd

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

\*\*\* 実験部  
Experiment Department

\*\*\*\* システム開発推進部  
System Development Promotion Department

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

## 2. 従来のセレクト性能開発の問題点

従来のセレクト性能開発のVプロセスにおける問題点をFig. 1に示す。V左バンクの設計フェーズでは、車両のラグとショックの要求は明確であったが、TMシステムへの要求は十分明確にできていなかった。そのため、車両の要求を用いて、TMのシステム設計検討を行っていた。

その検討にはモデルを活用しており、TMモデルに車両モデルを組み合わせた大規模なものであった。TMモデルが、部品設計や制御設計で定量的な目標値割り付けができるレベルまでには達していなかったため、部品設計や制御設計は機能ごとに過去の実績と経験による設計を行っていた。

その結果、TMのセレクト性能はV右バンクの実験フェーズの車両実験で初めて検証され、要求が未達成の場合において、おもに制御ロジックや制御定数の試行錯誤型の検討で要求を達成させており、膨大な工数がかかっていた。

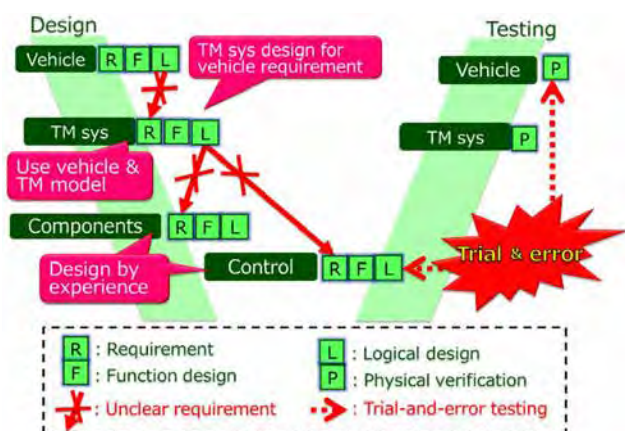


Fig. 1 Conventional development process for engagement performance

### 3. SEとMBDによる課題解決

### 3.1 システムの範囲と伝達物理量の明確化

ここからは, CVTの事例を示す.

セレクト性能に関する対象システムを明確化するため、登場人物とその間の物理量の伝達をFig. 2のようなコンテキスト図に書き出し、対象範囲を定義し、各々の相互作用が確認できたことでラグやショックの要求を達成するために必要な要素が明確化できた。

## 2. Problems in conventional development process for engagement performance

Fig. 1 shows the problems in the conventional V-shaped process for developing engagement performance. In the design phase on the left side of the V-shaped process, the vehicle requirements for lag and shock were definite, but the requirements for the transmission system were not sufficiently clear. For that reason, the vehicle requirements were used to study the transmission system design.

A large-scale model, created by combining the vehicle model with the transmission model, was used in such studies. The transmission model was not at the level where quantitative target values could be assigned for designing the parts and control system. Accordingly, they were designed on the basis of past results and experience regarding each function.

Consequently, the engagement performance of the transmission was first verified in vehicle tests conducted in the testing phase on the right side of the V-shaped process. In cases where the performance did not satisfy the requirements, trial-and-error studies were conducted mainly for the control logic and control constants in order to reach the necessary required performance. That involved an enormous amount of man-hours.

### 3. Resolution of issues by SE and MBD

### 3.1 Clarification of the system scope and transmitted physical quantities

The following discussion concerns an example of a CVT. In order to clarify the target system related to engagement performance, a system context diagram like that shown in Fig. 2 was created, showing the entities involved and the transmission of physical quantities between them.

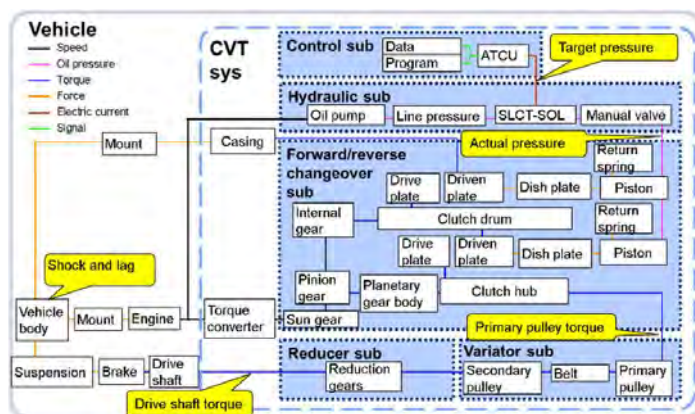


Fig. 2 System context diagram of engagement performance

さらに、従来はシステム・部品・制御を個々で設計していたのに対し、今回は機能を考慮しながら、システム・サブシステム・コンポーネントの階層として範囲を定義することで、セレクト性能の要求を達成するための機能・手段の分析をしやすくした。

### 3.2 RFLによる機能と手段の抽出

コンテキスト図 (Fig. 2) により階層の物理量の伝達が明確になった。車両のショックはCVTからドライブシャフトトルク (以下、DSトルク) の変動として伝達されていることが分かる。ショックの目標を要求 (R) と考え、要求を達成する機能 (F)、機能の実現手段 (L) の順に繋げると、その実現手段 (L) の一つがCVTのDSトルクであるため、CVTへの要求 (R) として設定する。この設定の流れをさらにCVTのシステム→サブシステム→コンポーネントの階層で繰り返すとFig. 3になる。

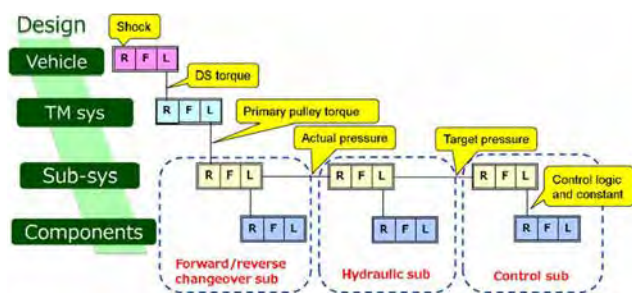


Fig. 3 Assignment of requirements based on RFL clarification

各階層の要求 (R)、機能 (F)、手段 (L) の関係を明確化できたことで、開発関係者間の責任範囲や影響範囲が定義でき、目標値のすり合わせから合意までが効率よく実施できた。

### 3.3 要求 (R) を割り付けるためのモデルの構築

TMシステムへの要求達成のための手段 (L) を検討し、物理式に基づくモデルを構築した。その際に、サブシステム階層の機能 (F) や手段 (L) を織り込むことで、コンポーネントへの定量的な要求 (R) の割り付けが可能になった。

開発初期におけるTMシステム設計では、実機の定性的な傾向が再現できるような精度のモデルを活用した。

さらに詳細設計段階では高精度のモデルが必要になった。モデルの精度向上には、機能 (F) や手段 (L)

The target scope of the system was defined on that basis. Because the diagram made it possible to confirm each of the interactions, the necessary elements were made clear for attaining the requirements for lag and shock.

Moreover, whereas the designs of the system components and control were executed individually in the past, this time the scope was defined in terms of the hierarchical levels of the system, subsystems and components while taking functionality into account. This made it easy to analyze the functions and methods needed to achieve the required engagement performance.

### 3.2 Identification of functions and methods by RFL

The system context diagram in Fig. 2 made clear the transmission of physical quantities of each level. It shows that the shock occurring in the vehicle is transmitted as variation in drive shaft (DS) torque from the CVT. Considering the target shock level as a requirement (R) leads in turn to the function (F) for attaining it and a logical architecture (L) as the method for accomplishing the function. One such approach is to assign the requirement (R) to the CVT because it involves the drive shaft torque of the CVT. Assignments are then repeated at each level from the CVT system to the subsystems to the components, as shown by the flow in Fig. 3.

This approach made clear the relationships of the requirements (R), functions (F) and logical architectures (L) at each level, enabling the scope of responsibility and the scope of influence to be defined among the people involved in the development project. Work proceeded efficiently from the coordination of target values to the final agreement.

### 3.3 Construction of a model for assigning requirements (R)

The logical architectures (L) for achieving the requirements (R) of the transmission system were examined and a model was constructed based on physical equations. In that process, the functions (F) and logical architectures (L) of the components layer were incorporated in the model, making it possible to assign quantitative requirements (R) to the components.

A model accurate enough to reproduce the quantitative tendencies of an actual transmission was used in designing the transmission system in the early stage of development. A model with still higher accuracy was needed at the stage of executing the detailed design. To improve the accuracy of the model, it was necessary to make the



の特性を実機相当にする必要がある。そのため、セレクト性能に影響の大きく、かつ非線形な特性は実測値をモデルに織り込んだ。この特性の例として、前後進サブシステム内のクラッチ摩擦特性、ディッシュプレート(ピストンとクラッチのドリブンプレート間の皿バネ)のばね特性の試験結果をFig. 4に示す。

これらの実測特性をモデルに織り込むことにより、セレクト時の動的な挙動や性能を精度良く予測できるモデルが構築された。

### 3.4 SEとMBDによるVプロセスの構築

以上のように、SEですべてのシステム階層の要求(R)、機能(F)、手段(L)を明確にした。そのプロセスをFig. 5に示す。

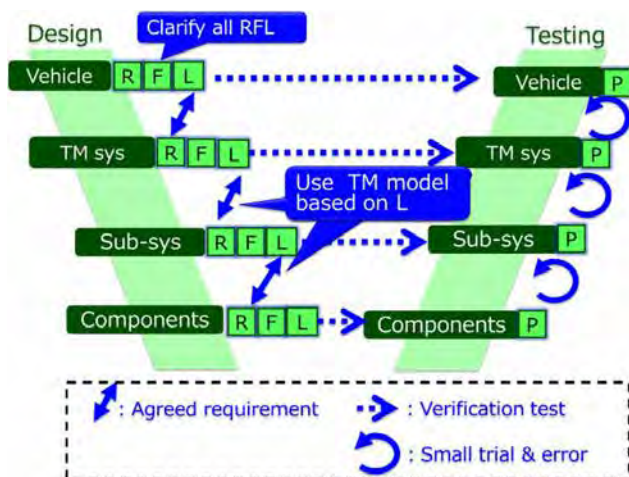


Fig. 5 V-shaped development process based on SE and MBD

その結果、設計フェーズではモデルを軸として物理に基づく定量的な要求のすり合わせと合意ができるようになった。また、実験フェーズでは要求達成の見込める試作品による検証型の実験が可能になった。もし要求達成しなかった際でも、同モデルを活用した原因究明ができるようになった。

上記により、設計と実験がモデルを共通土台として効率的に性能開発ができるようなMBDが実現できた。

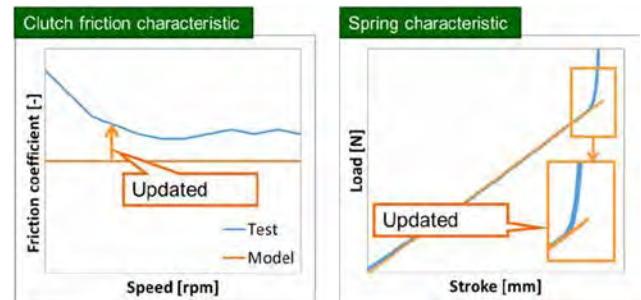


Fig. 4 Example of actual measured characteristics

characteristics of the functions (F) and logical architectures (L) equivalent to those of an actual transmission. For that purpose, nonlinear characteristics having a large impact on engagement performance were incorporated in the model as actual measured values. Examples of such characteristics are shown in Fig. 4 as the measured results for the clutch friction characteristic in the forward/reverse changeover subsystem and the spring characteristic of the dish plate, i.e., a dish-shaped spring between the driven plates of the piston and clutch.

Incorporating these measured characteristics in the model resulted in the construction of a model with high accuracy for predicting dynamic behavior and performance at the time of engagement.

### 3.4 Construction of a V-shaped process by SE and MBD

As explained above, the requirements (R), functions (F) and logical architectures (L) were made clear at all levels of the transmission system by applying SE. The related V-shaped process is shown in Fig. 5.

As a result, that made it possible to coordinate and agree on the quantitative requirements based on physical quantities in the design phase centered on the model. In addition, verification tests were possible in the testing phase using a prototype that enabled prediction of the attainment of the requirements. If the requirements were not achieved, the same model was used to investigate the causes of non-attainment.

In this way, MBD was accomplished in which performance was developed efficiently using the model as a common platform in both the design and testing phases.

#### 4. 検証結果

3章で述べた手法 (Fig. 3) で上位階層からの各要求を満たすように制御サブシステムへの要求 (R) である指示圧を設計し、その結果を Fig. 6 に示す。

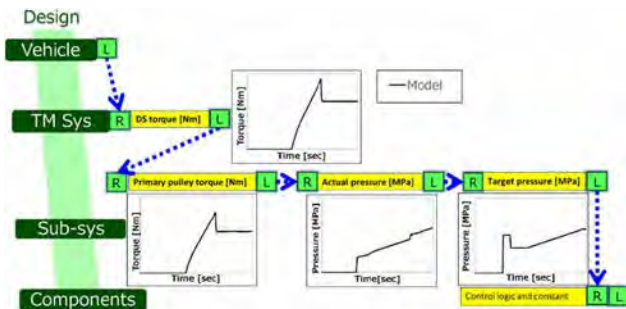


Fig. 6 Design results obtained with the model

次に、設計した指示圧により台上実験および車両実験で検証した結果を Fig. 7 に示す。その結果、モデルで設計した指示圧で検証実験を実施したところ、上位階層の要求である実油圧、プライマリプーリトルク、DSトルクが多少の時間の差は見られるが傾向と高さがほぼ一致しており、MBDによるセレクト性能予測が有効であることが分かった。

以上のように、SEとMBDを適用したことで、制御定数の検討や適合がモデルでできるようになった。(Table 1) モデルによる感度や傾向を設計段階で詳細に把握することが可能となり、その結果、従来の試行錯誤型の台上実験と実車実験に頼らない開発とすることができた。

Table 1 Use of the model in relation to engagement performance tests

Item		Measure		Remarks
		Before	New	
Initial characteristic check		Test	Model	Already predicted by using model
Calibration	Basic Operation (N->D, N->R) (Nominal)	Test	Model	Already calibrated by using model
	Basic Operation (Variation)	Test	Test	—

#### 4. Validation results

The method described in section 3 was used to design the command pressure, representing a requirement (R) of the control subsystem, so as to satisfy each requirement beginning from the uppermost level. The results are shown in Fig. 6.

The designed command pressure was then used in conducting bench tests and vehicle tests, and the results obtained are shown in Fig. 7. The requirements for the uppermost level include the actual pressure, primary pulley torque and the drive shaft torque. The results of these validation tests conducted with the command pressure designed on the basis of the model showed that the tendencies and magnitude of the requirements were nearly consistent, though some time-related differences were seen. This confirmed that the MBD method is effective for predicting engagement performance.

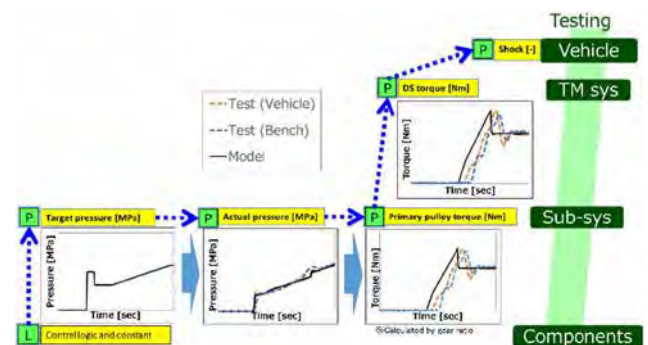


Fig. 7 Results of validation tests

As described here, the application of SE and MBD made it possible to investigate and calibrate the control constants on the basis of the model (Table 1). The model made it possible to ascertain in detail the sensitivities and tendencies of the system at the design stage. As a result, performance was developed without depending on trial-and-error bench tests and vehicle tests as was done in the past.

## 5. まとめ

SEとMBDを適用したセレクト性能開発において、下記の成果が得られた。

- (1) システム・サブシステム・コンポーネントへの要求(R)、機能(F)、手段(L)の関係が可視化できたことで、開発関係者間の責任範囲や影響範囲が明確になり、目標値のすり合わせから合意までが効率よく実施できた。
- (2) モデル内の物理式を実機特性に置き換えることでより高い精度の性能予測が可能となり、部品設計や制御設計での定量的な目標値割り付けが実現できた。
- (3) モデルを活用した制御定数の検討や適合が可能となり、従来の試行錯誤型実験に頼らない開発手法が確立できた。

今後は本手法の適用範囲を環境や部品の網羅的なばらつき検討や最適化を可能にするとともに、セレクト以外の性能にも広げ、さらに効率的で確実な開発を実践していきたい。

## 5. Conclusion

The following results were obtained by applying SE and MBD in the development process for engagement performance.

- (1) These approaches enabled visualization of the requirements (R), functions (F) and logical architectures (L) of the transmission system, subsystems and components. That made clear the scope of responsibility and the scope of influence of the people involved in the development project and enabled work to proceed efficiently from coordination to agreement on target values.
- (2) Substituting actual transmission characteristics for the physical equations in the model enabled more highly accurate prediction of performance. That allowed the assignment of quantitative targets to the parts designs and control system design.
- (3) The use of the model made it possible to examine and calibrate the control constants, and a development method was established that does not rely on trial-and-error testing as was done previously.

In future work, we want to expand the scope of application of this method to enable comprehensive investigation of variation due to the environment and parts and optimize performance. We also want to apply it to other performance parameters besides engagement and implement more efficient and reliable development work.

### ■ Authors ■



Tatsuo SATO



Tsukasa SHIINO



Yuichi MOCHIZUKI



Tomohiro UTAGAWA



Tomoaki HONMA

# CVTベース48Vマイルドハイブリッドトランスミッションの開発

Development of a CVT-based 48V Mild Hybrid Transmission

伊勢野 総\*  
Atsumu ISENO

森下 真臣\*  
Masaomi MORISHITA

**抄 録** 環境保護を目的とした二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出規制は、2021年までにヨーロッパで95g/kmの達成を要求されているように、今後も引き続き厳しくなっていくことが予想されている。CO<sub>2</sub>排出規制をクリアし、かつコンパクトで車両への搭載性がよいことを開発コンセプトとした、P2タイプ・マイルドハイブリッドシステムを開発した。コンパクトさの実現のために、モータをコンベ車のトランスミッションユニット(以下ユニット)のトルクコンバータと同サイズに納められるよう、既存の1モータ2クラッチ ストロングハイブリッドに搭載されているモータをベースとした薄型モータを独自開発した。また、CO<sub>2</sub>排出量低減効果見積りのため、ハイブリッドシステム・シミュレーション技術確立し、試作車の走行結果と比較した。

**Summary** Regulations on carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions for the purpose of protecting the environment are expected to become increasingly tougher in the coming years. This can be seen in the requirement to reduce CO<sub>2</sub> emissions in Europe to 95 g/km by 2021. A P2 type mild hybrid transmission has been developed around the concept of clearing tougher CO<sub>2</sub> emission regulations and also being compact in size for excellent vehicle mountability. To achieve this compactness, a flatter motor was developed independently based on the motor mounted in an existing strong hybrid system with a one-motor two-clutch structure. The new motor is the same size and fits in the same space as the torque converter of a conventional vehicle transmission. A hybrid system simulation technology was also established for estimating the CO<sub>2</sub> emission reduction effect of the new mild hybrid transmission, and a comparison was made with the test results measured for a demonstration car mounted with the new unit.

## 1. はじめに

環境保護を目的としたCO<sub>2</sub>排出規制は、今後も引き続き厳しくなっていくことが予想されている。特に2015年以降では5年間におよそ20%のCO<sub>2</sub>削減が要求されている。その規制に対応するために、車両システム全体を進化させ、改善していかなければならない。しかし、従来の内燃機関(ICE)のみを動力源とする車両では、この厳しい規制をクリアすることは近い将来困難になり、このような規制に対応するための電動化が必要不可欠な手段となる。

その中でも、電気自動車(以下EV)やストロングハイブリッドのような高電圧が必要無く、小出力モータを用いて、最もリーズナブルにCO<sub>2</sub>排出規制に対応できるのがCVTベース48Vマイルドハイブリッドユニットである。

## 1. Introduction

It is expected that CO<sub>2</sub> emission regulations for the purpose of protecting the environment will continue to become tougher in the years ahead. Over a five-year period beginning from 2015, there is an especially tough requirement to reduce CO<sub>2</sub> emissions by approximately 20%. In order to meet these tougher regulations, it will be necessary to continually evolve and improve the entire vehicle system. However, for vehicles powered only by a conventional internal combustion engine (ICE), it will become much more difficult to clear these stricter regulations in the near future. Accordingly, electrification will be a necessary and indispensable means of complying with such tougher regulations.

\* イノベーション技術開発部  
Innovative Technology Development Department



## 2. ユニットコンセプト

今回の開発コンセプトは

- CO<sub>2</sub>排出規制をクリアできること
- コンパクトで車両搭載性が良いこと
- 競争力のある価格とすること

である。

それを受け、ユニットとしてはCO<sub>2</sub>対応のための電動化を必要最小限に抑えること、また、車両搭載性を高め従来のユニットとの置換えを容易にすることで車両全体の変更を抑制することとした。

## 3. ユニット概要とコンセプトの実現

本ユニットは、既存のストロングハイブリッドをベースとした1モータ2クラッチのシステムを踏襲している。ストロングハイブリッドユニットは、コンベユニットのトルクコンバータ部分をモータに置換え、モータフロントケース内に納めたが、コンベユニットに対して33mmあまり軸長が延びている。マイルドハイブリッドユニットでは、後述するようにモータ出力をCO<sub>2</sub>排出量低減目標に対して適正化することで、搭載モータを薄型化し、モータフロントケースをコンベユニットのコンバータハウジングと同等の軸長とした。(Fig. 1)

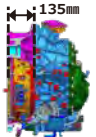

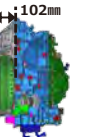
	Strong Hybrid	Mild Hybrid	Conventional
			
<b>Fr. case width</b>	135 mm	102 mm	102 mm
<b>Motor power</b>	Motoring 25 kW Regenerating 30 kW	Motoring 10 kW Regenerating 15 kW	-

Fig. 1 Mild hybrid transmission concept

### 3.1 1モータ2クラッチシステム

Fig. 2に本マイルドハイブリッドシステムの概要を示す。本ユニットは、1個のモータと2組のクラッチを持つP2タイプであり、モータはエンジンとユニットの間に配置され、エンジンとモータの間、モータとユニットの間にそれぞれクラッチが配置されている。これらのクラッチを適宜、締結・解放することで、ハイブリッドシステムでの走行モードを切り替える。Fig. 3は、上半分が車両走行状態を示しており、

Against this backdrop, a CVT-based 48V mild hybrid transmission is regarded as the most reasonable approach capable of complying with future CO<sub>2</sub> regulations. This unit uses a low-power motor and does not require a high voltage system like that needed by electric vehicles (EVs) and strong hybrids.

## 2. Development concept

The development concept defined for this mild hybrid transmission was to achieve the following aims:

- To be able to clear CO<sub>2</sub> emission regulations,
- To build a compact unit with excellent vehicle mountability, and
- To ensure a competitive price.

In line with this concept, transmission electrification would be kept to the minimum necessary level for CO<sub>2</sub> emission regulation compliance. In addition, vehicle mountability would be enhanced to allow the new transmission to easily replace existing units and thereby minimize overall vehicle modifications.

## 3. Transmission overview and accomplishment of development concept

The new transmission is based on an existing strong hybrid transmission and inherits the latter's 1-motor 2-clutch system. The strong hybrid transmission replaces the torque converter of a conventional unit with a motor and fits in the front case of the motor, but its axial length is more than 33 mm longer than that of the conventional unit. For the mild hybrid transmission, the motor output was optimized to match the CO<sub>2</sub> emission reduction target, as will be explained later. That allowed a flatter motor design, enabling the axial length of the motor front case to be the same dimension as the torque converter housing of the conventional unit (Fig. 1).

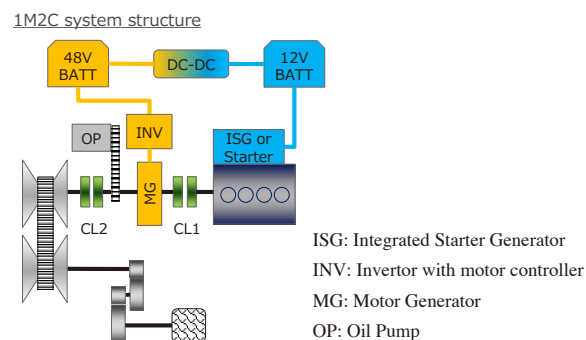


Fig. 2 Configuration of mild hybrid transmission

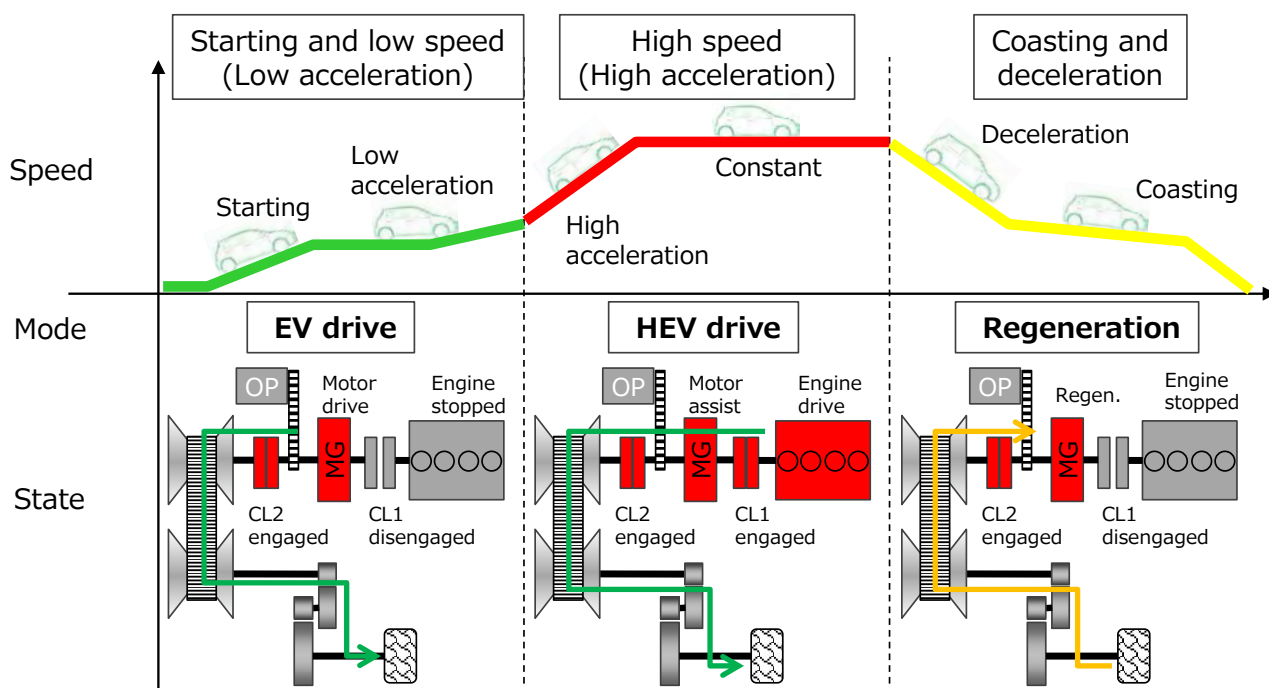


Fig. 3 Operating states and driving modes

グリーン領域がEV走行，レッド領域がエンジン走行（ハイブリッド（HEV）走行），イエロー領域がEV回生状態である。

下半分は、走行モードとシステム動作状態を示している。停止状態から発進して低いアクセル開度の走行では、約50km/hまでEV走行が可能である。このときシステムの状態は、CL1を切り離してエンジンを停止し、CL2を締結してバリエータを介してモータの動力をタイヤに伝える。また、EV走行時には、バリエータを介してモータ効率が最適な回転数を選択することが可能である。

車速が50km/h以上、あるいはアクセル開度が設定以上となったとき、ISGでエンジンを始動した後、CL1を締結してエンジン走行に切り替える。この時、エンジンとモータの差回転によるCL1発熱を抑えるため、回転を同期している。減速時は、CL1を切り離してエンジンを停止し、モータでエネルギー回生する。

このように、基本的にストロングハイブリッドと同等のシステム動作が可能である。これらの動作を忠実に再現するシミュレーションモデルを作成しCO<sub>2</sub>削減効果と適正なモータ出力について考察した。

### 3.2 CO<sub>2</sub>削減効果と適正モータ出力の検討

CO<sub>2</sub>削減効果検証のために構築したマイルドハイブリッドシステムのシミュレーションモデルをFig. 4に示す。まず、

#### 3.1 1-motor 2-clutch system

Fig. 2 shows the configuration of the mild hybrid transmission, a P2 type unit with one motor and two clutches. The motor is positioned between the engine and the transmission, and one clutch each is positioned between the engine and the motor and between the motor and the transmission. Engaging and disengaging these clutches suitably switches the hybrid system among its drive modes. The upper half of Fig. 3 shows the vehicle operating states. The green region is for EV drive, the red region is for engine drive (hybrid (HEV) drive) and the yellow region is for EV energy regeneration.

The lower half shows the drive modes and the operating states of the mild hybrid system. EV drive is possible for accelerating from a standing start at low throttle until reaching a vehicle speed of approximately 50 km/h. The state of the hybrid system at this time is that the engine is stopped and decoupled by disengaging clutch-1, while clutch-2 is engaged to transmit the motor power through the variator to the tires. In addition, during EV drive the motor speed for obtaining the optimum motor efficiency can be selected by means of the variator.

At vehicle speeds above 50 km/h or when the throttle valve is opened more than a specified value, the integrated starter-generator (ISG) starts the engine; clutch-1 is then engaged to switch the system to engine drive. The operating

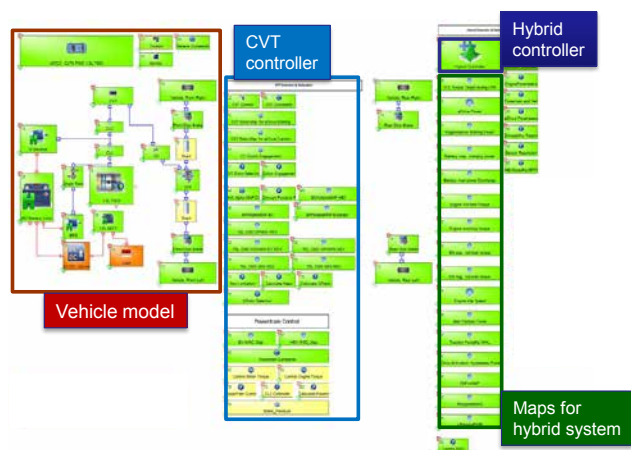


Fig. 4 Simulation model

骨格となる車両モデルを作成し、電気的接続、メカ的接続を模擬した。そして、CVTコントローラ、ハイブリッドコントローラ、ハイブリッド制御用のマップやパラメータで実車相当の制御を実現した。特に各走行モードの切り替えを管理しているハイブリッドコントローラは、実際の車両で使用する制御プログラムから燃費検討用に必要な部分を抽出して、シミュレーションモデルを生成した。

構築したモデルを用い、NEDC(New European Driving Cycle)をシミュレーションし、モータサイズと燃費効果を評価した結果、EV走行とエンジン走行のバランスから、力行10kW、回生15kWが適正出力と算出した(Fig. 5)。

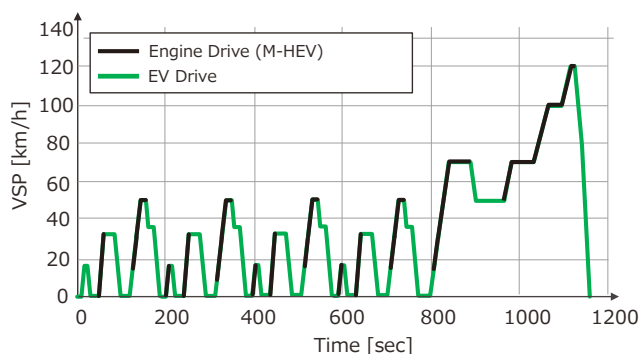


Fig. 5 EV drive time in NEDC

このモータ出力で、およそ40%をEV走行可能である。CO<sub>2</sub>削減効果としては、アイドルストップ付コンベ車両(検討条件はFig. 8参照)に対して14.2%が期待できるという試算結果となった。(協調回生ブレーキ、排気悪化については今回の検討には含んでいない)

speeds of the engine and the motor are synchronized at this time to suppress heat generation by clutch-1 that would otherwise be caused by their different operating speeds. During coasting and deceleration, clutch-1 is disengaged, the engine is stopped, and energy is regenerated by the motor-generator.

These operating modes of the mild hybrid system are basically the same as those of our strong hybrid. We created a simulation model for faithfully reproducing these operating modes and investigated the effect of the hybrid system on reducing CO<sub>2</sub> emissions as well as the optimum motor power.

### 3.2 Study of CO<sub>2</sub> reduction effect and optimum motor power

Fig. 4 shows the simulation model that was constructed for the mild hybrid system to validate its effect on reducing CO<sub>2</sub> emissions. First, a vehicle model was created as the framework of the system, and then the electrical and mechanical connections were simulated. The CVT controller, hybrid controller and maps and parameters for controlling the hybrid system formed a control system equivalent to that of an actual vehicle. For the hybrid controller in particular, which manages the switching among the drive modes, we extracted the portions needed for examining fuel economy from the control program used on actual vehicles and created the simulation model.

The simulation model in Fig. 4 was used to conduct simulations under the New European Driving Cycle (NEDC) for evaluating the effect of the motor size on fuel economy. Based on the results and the balance between EV drive and engine drive, we calculated that the optimal motor power was 10 kW for propulsion and 15 kW for regeneration (Fig. 5).

This level of motor power enables EV drive in approximately 40%. The calculated results indicated that a 14.2% reduction of CO<sub>2</sub> emissions could be expected compared with a conventional vehicle equipped with a start/stop (S/S) system, which was one of the simulation conditions as shown in (Fig. 8). Cooperative regenerative braking and deterioration of emissions were not considered in this simulation.

### 3.3 Development of a flat motor

Using the strong hybrid as a base, the axial length of the motor was shortened and part of the magnetic circuit was changed. Those measures showed the prospect of achieving both the optimum motor power calculated above and the desired torque output characteristic. However, motor heat

### 3.3 薄型モータの開発

算出した適正出力に対し、ストロングハイブリッドをベースにモータ軸長を短縮化し、一部の磁気回路を変更することで、トルク出力特性の成立目途は見えたと、トルクコンバータ相当の容積にモータを収めるには、モータの熱が課題となった。

ストロングハイブリッドでは、モータケースのウォータジャケットに抜熱する水冷を採用しており、このウォータジャケットが軸長短縮の障害となっていた。しかも、48Vモータでは、ストロングハイブリッドよりモータ駆動時の通電による発熱量が増加する。そこで、従来のストロングハイブリッドよりもモータの冷却効率を高めるために、今回のマイルドハイブリッドでは、モータ内部にCVT油を回して発熱部位を直接冷却する方式を採用した。これにより、モータの熱課題とモータケースウォータジャケット廃止による軸長短縮の両立を図った。

このとき、CVT油は、CVT側からモータシャフトを介してステータ、ロータに供給される。流体解析によりモータ内部の油流れ状態を求め、設計の意図どおりにCVT油が流れるように、モータ部品形状を最適化した。

以上の検討により、市場で想定している厳しい走行シーンにおいても、モータの連続出力運転が可能な見込みとなった。(Fig. 6)

was an issue with regard to fitting the motor in the space corresponding to the volume of the torque converter.

The motor of the strong hybrid is cooled by a coolant that is circulated through the water jacket on the motor case to remove heat. The water jacket was an obstacle for shortening the axial length. Moreover, with the 48V motor, the application of current for continuous motor operation would generate more heat than in the case of the strong hybrid. Accordingly, it was necessary to increase motor cooling efficiency compared with the existing strong hybrid. To accomplish that, a direct cooling system was adopted that circulates CVT fluid inside the motor to cool the parts generating heat. This system resolved the motor heat issue and also enabled the axial length to be shortened by discontinuing the motor case water jacket.

CVT fluid is supplied from the CVT to the stator and rotor through the motor shaft. The fluid flow state in the motor was calculated in a flow simulation, and the shapes of the motor parts were optimized to enable the CVT fluid to flow as intended by the design.

The foregoing studies showed the prospect that the motor would be able to operate continuously to produce the desired power even in the severe driving situations envisioned for real-world use (Fig. 6).

## 4. Demonstration car evaluation

A demonstration car was built, mounted with the new motor developed on the basis of the foregoing studies, and vehicle tests were conducted to validate the effect on reducing CO<sub>2</sub> emissions and the motor cooling effect.

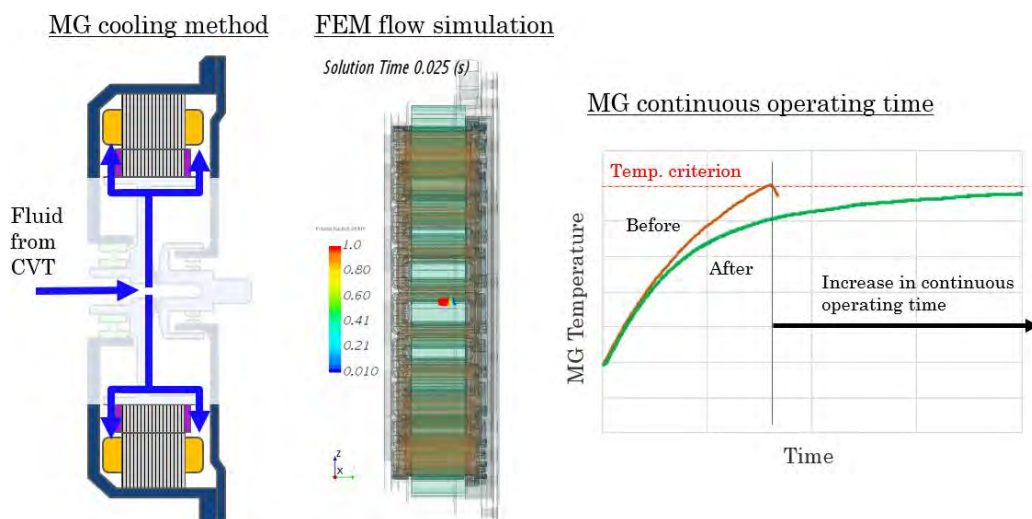


Fig. 6 Motor cooling simulation results



#### 4. デモカー評価

以上の検討に基づき、新規開発したモータを搭載したデモカーを製作し、CO<sub>2</sub>削減効果、モータ冷却効果を実車検証した。

##### 4.1 デモカーの構成

デモカーは、コンベ車両をベースに、既存CVTをマイルドハイブリッドユニットに載せ替え、バッテリーシステム、ハイブリッドコントローラ等の電気コンポーネントを追加搭載した。(Fig. 7)

モータはトルクコンバータ相当の薄さを実現でき、ユニットにコンパクトに納まっている。また、基本特性実験により、試作したモータが、設計通りの出力特性を満たしていることを確認できた。このデモカーで実際にNEDC燃費モードを走行し、モータ温度を実測した。

##### 4.2 CO<sub>2</sub>削減効果検証

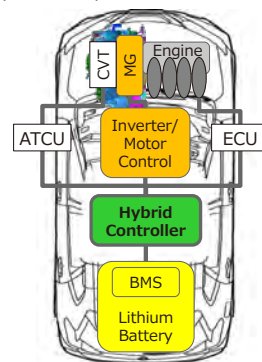
Fig. 8に、CO<sub>2</sub>削減効果検証結果を示す。

シミュレーション値14.2%に対して13.8%と、ほぼ同等の結果を得ることができた。

Fig. 9に実車とシミュレーションを比較した波形を示す。Fig. 9上部はNEDCモードを走行したときのシミュレーションと実測のSOC (State Of Charge)を比較した波形である。Fig. 9下部がエンジン回転数の比較波形である。

多少の乖離はあるが、シミュレーション波形と実車波形は概ね合っており、精度よくシミュレーションできていることが確認できた。

System components for demo car



Prototype unit



Fig. 7 Demonstration car

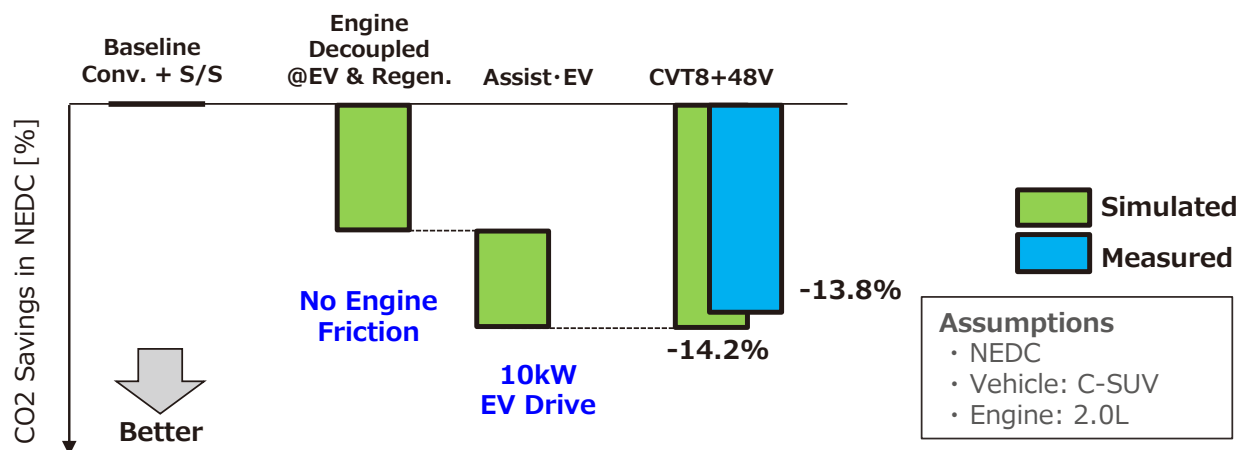
##### 4.1 Configuration of demonstration car

The demonstration car was built around a conventional vehicle, with the mild hybrid system installed in place of the existing CVT and with the additional installation of the battery system, hybrid controller and other electrical components (Fig. 7).

The flatness achieved for the motor is equal to that of the torque converter, enabling the motor to fit compactly in the CVT package. The results of basic tests of motor characteristics confirmed that the prototype motor satisfies the power characteristics as designed. The demonstration car was driven under the actual NEDC fuel economy test mode and the motor temperature was measured.

##### 4.2 Validation of CO<sub>2</sub> reduction effect

Fig. 8 shows the validation results for the CO<sub>2</sub> reduction effect of the mild hybrid transmission. The measured results show that CO<sub>2</sub> emissions were reduced by 13.8%, which is almost equal to the simulated reduction of 14.2%.



CO<sub>2</sub> savings depend on engine and vehicle specs.

Fig. 8 CO<sub>2</sub> savings result

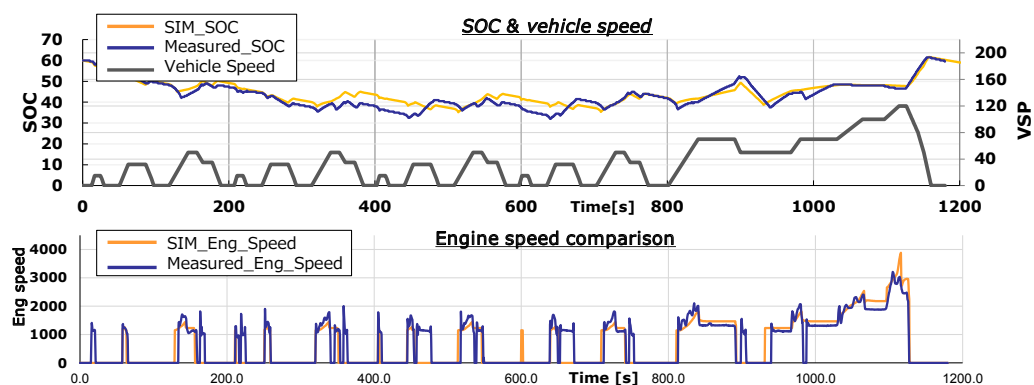


Fig. 9 Simulated and measured SOC and engine speed

#### 4.3 モータ冷却効果検証

デモカーでNEDC燃費モードを走行した場合のモータ温度についても測定した。Fig. 10はモータ温度について、シミュレーションと実車を比較した結果である。シミュレーションと実測が良く整合しており、また目標温度に対して十分な余裕が取れていることが確認できた。

#### 5. まとめ

今回、既存のストロングハイブリッドの1モータ2クラッチ構造を踏襲したマイルドハイブリッドユニットを開発した。新規モータを独自開発で薄型化したことで、モータフロントケースをトルクコンバータと同寸法に納め、コンベユニットと同等サイズとすることができた。

Fig. 9 compares the measured and simulated waveforms. The top graph compares the simulated and measured waveforms for the state of charge (SOC) during operation under the NEDC mode. The bottom graph compares the engine speed waveforms.

Though some divergence is seen, the simulated and measured waveforms coincide for the most part. This confirms that the simulation was conducted with good accuracy.

#### 4.3 Validation of motor cooling effect

The motor temperature was also measured during operation of the demonstration car under the NEDC fuel economy test mode. Fig. 10 compares the measured and simulated motor temperature waveforms. The simulated and measured results show good agreement and confirm that the temperature has a sufficient margin with respect to the target temperature criterion.

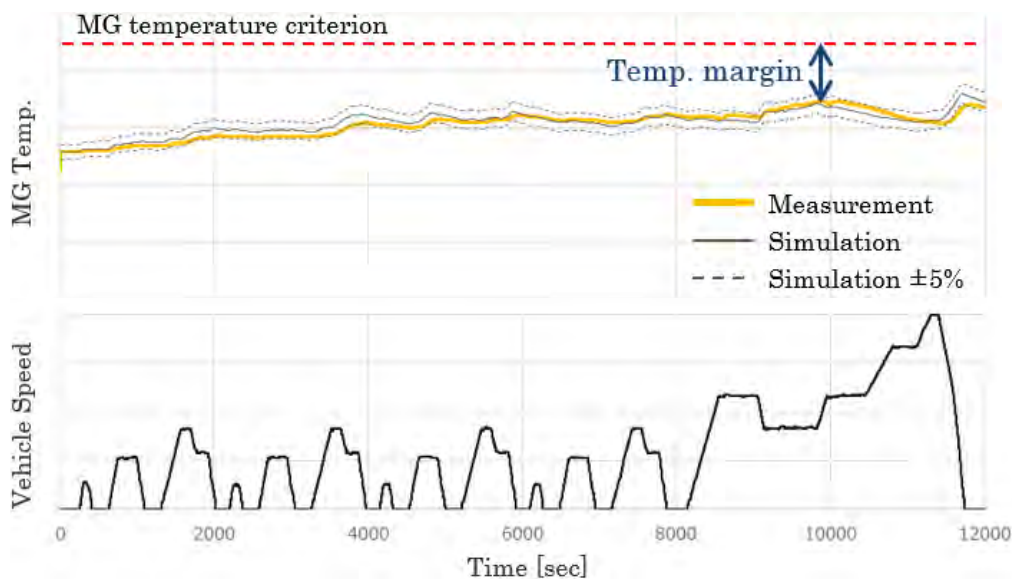


Fig. 10 Measured motor temperature

このユニットを搭載したデモカーを用いた実車評価により、アイドルストップ付コンベ車両に対し14%のCO<sub>2</sub>排出量削減効果があることを確認できた。また、モータ薄型化で課題となっていた熱に対しても、直接油冷方式により十分な冷却効果を得られることが確認できた。

## 6. 参考文献／References

- (1) Tatsuya Osone: CVT for powertrain electrification, 16th International CTI Symposium, December 2017, Berlin
- (2) Masaomi Morishita: Development of a CVT-based 48V P2 Mild Hybrid System, 11th TM Symposium China, April 2018, Beijing
- (3) Atsumu Isono: Development of a CVT-based P2-type 48V Mild hybrid system, 17th International CTI Symposium, December 2018, Berlin

## 5. Conclusion

This article has described a newly developed mild hybrid transmission that inherits the one-motor two-clutch structure of our existing strong hybrid system. A new motor was developed independently with a flatter design, enabling the motor front case to fit in the same space as the torque converter. As a result, the new mild hybrid transmission is identical in size to the conventional unit.

The new mild hybrid transmission was mounted in a demonstration car for evaluating in-vehicle fuel economy. The results confirmed a 14% CO<sub>2</sub> emission reduction effect compared with a conventional vehicle equipped with a start/stop system. While the flatter motor design presented an issue regarding heat generation, it was also confirmed that the adoption of direct motor cooling by the CVT fluid obtained a sufficient cooling effect.

## ■ Authors ■



Atsumu ISENO



Masaomi MORISHITA



# 歯元曲げ応力と残留応力を考慮した小モジュール歯車のスポーリング強度設計

Spalling strength design method for small module gears considering tooth root bending stress and residual stress

金 相起\*  
Sangki KIM

鈴木 義友\*\*  
Yoshitomo SUZUKI

齋藤 良平\*  
Ryohei SAITO

鎌田 大輝\*  
Daiki KAMATA

**抄 録** 近年自動車の駆動系は燃費と動力性能向上を両立するために、より小型および軽量化が求められている。Jatco CVT7(以下CVT7)の副変速機構として用いられる小モジュールの遊星歯車にも高い耐久信頼性が求められている。

本論文は歯車の疲労強度を向上させる方法の一つであるショットピーニングにより付与される残留圧縮応力と歯元曲げ応力を考慮したスポーリング設計手法を報告する。

**Summary** Automotive drivetrains have been required to become lighter and more compact in recent years in order to improve both fuel economy and power performance. The small module planetary gears used in the auxiliary gearbox of the Jatco CVT7 are required to provide high levels of durability and reliability. This article presents a spalling strength design method that takes into account tooth root bending stress and residual compressive stress induced by shot peening, which is one method of improving gear fatigue strength.

## 1. はじめに

歯車の破損モードはTable 1のようにいろいろなモードが存在していて、歯面ピittingや歯面摩耗、歯元折損など表面起点で起こる破損モードについてはモジュールが小さい歯車に対しても設計手法が確立されている。

本論文では、とくに内部起点から発生するスポーリングに着目し、歯面から発生するせん断応力や残留応力、歯元曲げ応力などを考慮したスポーリング設計手法を検討したので報告する。

## 1. Introduction

Gears are subject to various fatigue failure modes as shown in Table 1. Design methods have been established even for small module gears regarding failure modes that have surface origins such as surface pitting, surface wear and tooth root breakage.

This article focuses especially on spalling that develops from an internal origin. It presents a spalling strength design method that was investigated taking into account shear stress originating from the tooth surface, residual stress and tooth root bending stress, among other factors.

Table 1 Modes of gear fatigue<sup>[1]</sup>

Surface Deterioration 歯面の劣化	Wear 摩耗	Normal Wear Abrasive Wear Scratching Overload Wear	正常摩耗 アブレシブ摩耗 引きかき摩耗 過負荷摩耗
	Plastic Yielding 塑性降伏	Ridging Rolling Peening Rippling	条こん摩耗 圧延降伏 ピーニング降伏 うろこ痕降伏
	Welding 融着	Slight Scoring Severe Scoring	軽いスコアリング 激しいスコアリング
	Surface Fatigue 歯面疲労	Initial Pitting Destructive Pitting Spalling	初期ピitting 破壊的ピitting スポーリング
	Miscellaneous Forms of Surface その他	Corrosive Wear Burning Interference Wear Grinding Cracks	腐食摩耗 焼け 干渉摩耗 研磨割れ
Tooth Breakage 歯の折損		Overload Breakage Fatigue Breakage Cracking Quenching Cracks	過負荷折損 疲労折損 われ 焼割れ

## 2. Overview of spalling

Spalling is a fatigue mode in which a crack occurs in the boundary area between the case-hardened layer and the core and propagates to the tooth surface, resulting in failure. The mechanism causing a crack involves the relationship between the maximum internal shear stress induced from the tooth surface by the meshing of gear teeth and the allowable shear stress (internal hardness). In general, a crack develops where shear stress occurs that exceeds the allowable shear stress.

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

\*\* 技術統括部  
Engineering Management Department

## 2. スポーリングとは

スポーリングは、Fig. 1のように硬化層(case)と内部(core)の境界付近からクラックが発生して、歯面表面までクラックが進み破損まで至る破損モードである。

クラックの発生メカニズムとしては、一般的に歯車の噛合いによる歯面から発生する内部最大せん断応力と許容せん断応力(内部硬さ)の関係で、許容せん断応力に対して発生せん断応力が超えるところからクラックが発生する。

## 3. パラメータ検討

### 3.1 小モジュールの遊星歯車

本検討はFig. 2のCVT7副変速機のラビニョウ遊星歯車を検討対象にして歯車の諸元はTable 2に示しているように、終減速はすば歯車はモジュール2.89に対して、遊星歯車はモジュール1.29の小モジュールを使用している。

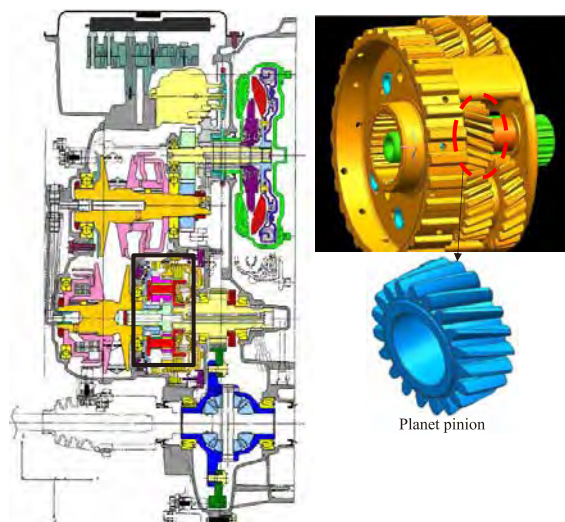


Fig. 2 Planetary gears in auxiliary gearbox of CVT7

### 3.2 スポーリング設計手法

CVT7の遊星歯車のように小モジュールな歯車においては、通常のスポーリングに対する設計パラメータとしての内部最大せん断応力に加えて、ショットピーニングによる残留応力、歯元曲げによる引っ張り応力を複合せん断発生応力として考慮した。この複合せん断発生応力 $\sigma_F$ と部品耐力としての許容せん断応力 $\tau_w$ との関係により、スポーリング寿命を設計する。各パラメータの詳細を以下にまとめた。

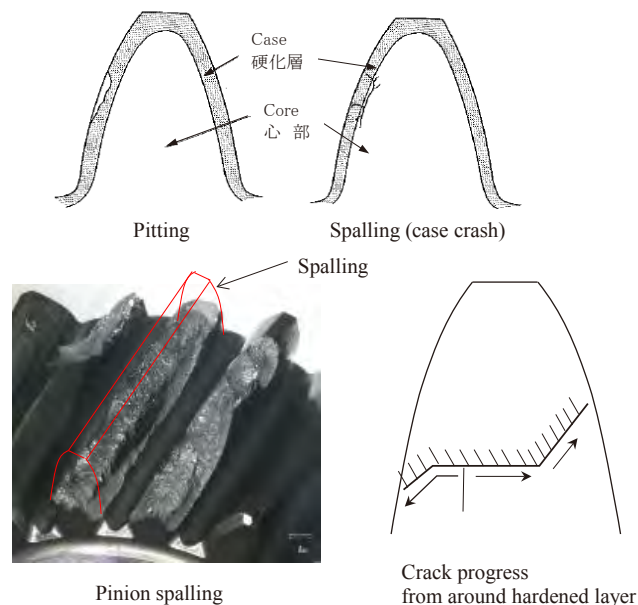


Fig. 1 Spalling fatigue

## 3. Parametric study

### 3.1 Small module planetary gears

The object of this investigation was the pinion of the Ravigneaux planetary gear set used in the auxiliary gearbox of the CVT7. The specifications of the planet pinion are given in Table 2. The planet pinion has a small module of 1.29 compared with a module of 2.89 for the final reduction helical gear.

Table 2 Specifications of gears

Gear specification	Planet pinion	(Ref.) Reduction gear
Module	1.29	2.89
Pressure angle	20°	19.9°
Helix angle	20.7°	29.5°

### 3.2 Spalling strength design method

Combined shear stress was considered as the design parameter against ordinary spalling of a small module gear like the planet pinion used in the CVT7's auxiliary transmission. It includes residual stress induced by shot peening and tensile stress due to tooth root bending, in addition to maximum internal shear stress. Gear spalling life is designed based on the relationship between the combined shear stress  $\sigma_F$  and the allowable shear stress  $\tau_w$ , representing the gear strength. The details of each parameter are explained below.

### 3.2.1 内部最大せん断応力 (Shear stress)

2つの円筒接触面における最大面圧と内部最大せん断応力分布の関係は、内藤<sup>[1]</sup>により式(1)が提案されている。

$$\tau_{45^\circ} = \frac{P_{max} \cdot x}{b} \left( 1 - \frac{x}{\sqrt{b^2 + x^2}} \right) \quad (1)$$

$$b = 0.636 \left( \frac{p_n}{p_{max} \cdot B} \right)$$

$P_{max}$ : ヘルツ接触応力

$B$ : 歯幅

$2b$ : 接触幅

$P_n$ : 基礎円筒上の法線力

$x$ : 表面からの深さ

上記のせん断応力式で算出した最大せん断応力 $\tau_{45^\circ}$ と表面からの深さの関係をFig. 3に示す。

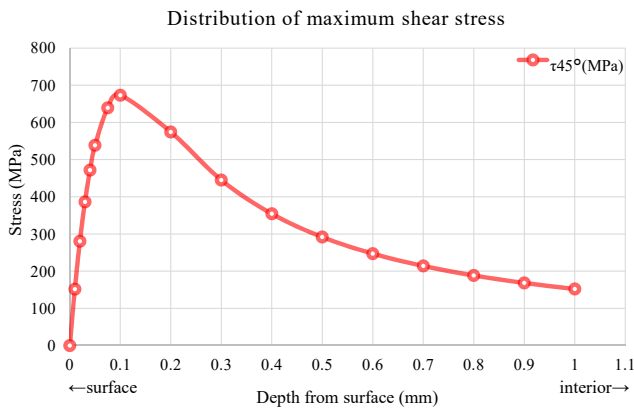


Fig. 3 Maximum shear stress on tooth surface

### 3.2.2 残留応力 (Residual stress)

歯丈中央位置にて深さ方向に残留応力 $\sigma_{res}$ を測定した結果をFig. 4に示す。今回のような小モジュールの歯車に強いショットピーニングを施した場合には表面付近では圧縮残留応力が付与されているが、内部では引張応力が発生しており、この引張応力がスポーリングに悪影響を及ぼすため、複合せん断発生応力に考慮する必要がある。

### 3.2.3 歯元曲げによる引っ張り応力 (Tooth root bending stress)

モジュールの小さい歯車においては、歯元曲げ応力が最大せん断応力発生部まで影響するため、スポーリング寿命を低下させる要因になる。この曲げによる引っ張り

### 3.2.1 Maximum internal shear stress

Naitoh<sup>(1)</sup> proposed the following equation for the relationship between the maximum contact pressure and the internal maximum shear stress of two cylindrical surfaces in contact.

$$\tau_{45^\circ} = \frac{P_{max} \cdot x}{b} \left( 1 - \frac{x}{\sqrt{b^2 + x^2}} \right) \quad (1)$$

$$b = 0.636 \left( \frac{p_n}{p_{max} \cdot B} \right)$$

$P_{max}$ : Hertzian contact stress

$B$ : Tooth width

$2b$ : Contact width

$P_n$ : Tangential load of base circle

$x$ : Depth from surface

The maximum shear stress  $\tau_{45^\circ}$  calculated with the shear stress equation above is shown in Fig. 3 as a function of the depth from the surface.

### 3.2.2 Residual stress

Fig. 4 shows the measured results for residual stress  $\sigma_{res}$  in the depth direction at the center position of the tooth depth. The application of strong shot peening to a small module gear like the planet pinion induces residual compressive stress near the surface, though tensile stress occurs internally. This tensile stress has an adverse effect on spalling, so it is necessary to consider it in combined shear stress.

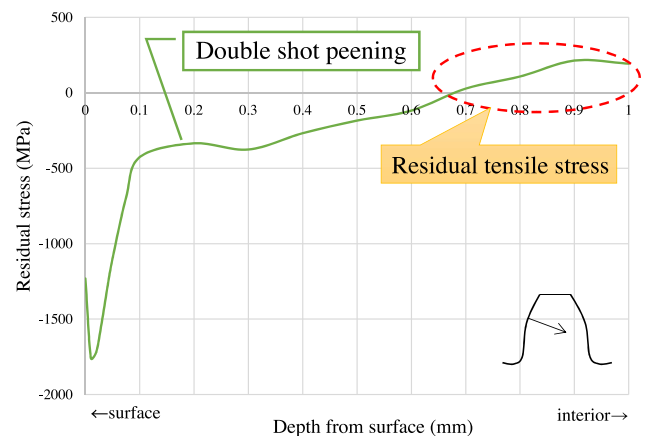


Fig. 4 Residual stress distribution

### 3.2.3 Tooth root bending stress

For a small module gear, the influence of tooth root bending stress extends to the location where the maximum shear stress occurs, making it a factor that reduces gear

応力 $\sigma_{\text{bend}}$ をABAQUS FEM解析にて求めた際のコンター図をFig. 5に、表面からの深さと応力値の関係をFig. 6に示す。

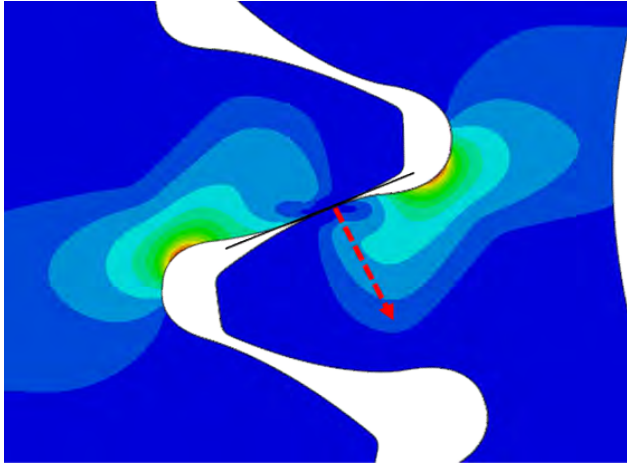


Fig. 5 ABAQUS FEM simulation

spalling life. The tensile stress  $\sigma_{\text{bend}}$  induced by tooth root bending was calculated in an ABAQUS FEM simulation and the results are shown in a contour diagram in Fig. 5. The stress distribution is shown in Fig. 6 as a function of the depth from the surface.

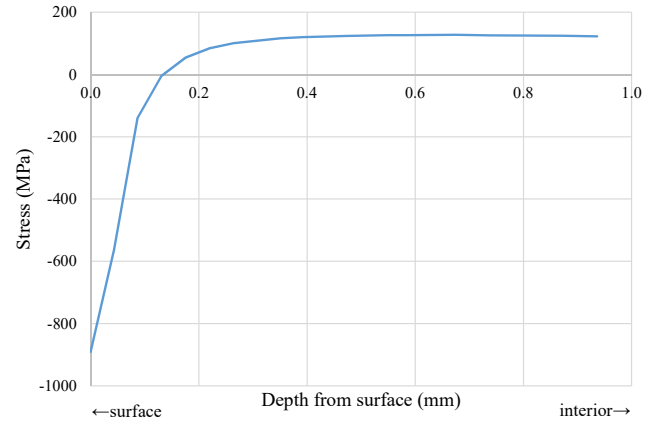


Fig. 6 Distribution of tensile stress caused by tooth root bending

### 3.2.4 複合せん断発生応力(Combined shear stress)

上記で求めた内部最大せん断応力, ショットピーニングによる残留応力, 曲げによる引張応力を Magnus MackAldener<sup>[2]</sup>らの式(2)により複合せん断発生応力 $\sigma_F$ として考える。

$$\sigma_F = \tau_{45^\circ} + a_{cp,core} (\sigma_{res} + \sigma_{bend}) \quad (2)$$

\* $a_{cp}$ (from experimental data)

core(0.5mm-) = 0.18

case(0-less than 0.5mm) = 1

### 3.2.5 許容せん断応力 (Allowable shear strength)

日本規格協会<sup>[3]</sup>により提示された硬さと引張り強度の関係を基に, 許容せん断応力と硬さの関係を式(3)に示す。

$$\tau_w = 0.86 HV \quad (3)$$

### 3.2.4 Combined shear stress

The maximum internal shear stress, residual stress induced by shot peening and tensile stress due to tooth root bending that were found above are regarded as combined shear stress  $\sigma_F$  in Eq. (2), proposed by MackAldener and Olsson.<sup>(2)</sup>

$$\sigma_F = \tau_{45^\circ} + a_{cp,core} (\sigma_{res} + \sigma_{bend}) \quad (2)$$

\* $a_{cp}$  (from experimental data)

core(0.5mm-) = 0.18

case(0-less than 0.5mm) = 1

### 3.2.5 Allowable shear stress

Based on the relationship between hardness and tensile strength proposed by the Japanese Standards Association,<sup>(3)</sup> the relationship between the allowable shear stress and hardness is shown in Eq. (3) below.

$$\tau_w = 0.86 HV \quad (3)$$

#### 4. 複合せん断発生応力と許容せん断応力の関係

複合せん断応力 $\sigma_F$ (緑線)と硬さ分布より求めた許容せん断応力 $\tau_w$ (赤線)との関係をFig. 7に示す.

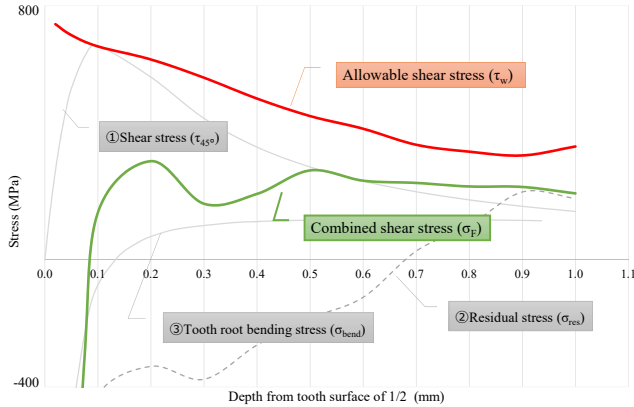


Fig. 7 Combined shear stress and allowable shear stress

ここで複合せん断発生応力 $\sigma_F$ と許容せん断応力 $\tau_w$ の比“せん断応力比 (Shear stress ratio,  $\sigma_F/\tau_w$ )”をスポーリングの設計指標とする. この比が大きくなるほど許容せん断応力に対して安全率が低くなり, この比が最大になる深さで内部クラックが発生し, 歯面までクラックが進展してスポーリングに至るということが分かった.

#### 5. 実験結果

トルク・回転数を一定として耐久試験を実施した結果を, 耐久時間とせん断応力比の関係でまとめた結果をFig. 8に示す.

設計指標のせん断応力比の最大値 $(\sigma_F/\tau_w)_{\max}$ とスポーリング寿命は上記Fig. 8のように相関が取れた. せん断応力比の最大値 $(\sigma_F/\tau_w)_{\max}$ と破損までの入力回数の関係式(4)は鈴木ら<sup>[4]</sup>により示されている.

$$N_f = C_i \{(\sigma_F/\tau_w)_{\max}\}^{n_i} \quad (4)$$

これにより各係数は, Fig. 8に示した実験結果より,

$$C_i = 2.24 \times 10^5$$

$$n_i = -5.19$$

となる.

また, スポーリングを発生させないための条件として, Fig. 8からせん断応力比 $\sigma_F/\tau_w < 0.55$ となる. この条件下においては, ピッチングが先に発生する領域となる.

#### 4. Relationship between combined shear stress and allowable shear stress

Fig. 7 shows the relationship between the combined shear stress  $\sigma_F$  (green line) and the allowable shear stress  $\tau_w$  (red line) found from the hardness distribution. The ratio of the combined shear stress  $\sigma_F$  to the allowable shear stress  $\tau_w$  is defined here as the shear stress ratio  $\sigma_F/\tau_w$  and is adopted as the design guideline. As this ratio becomes larger, the safety factor relative to the allowable shear stress declines. It was found that a crack occurred internally at the depth where the ratio was maximum. This crack propagated to the tooth surface, giving rise to spalling.

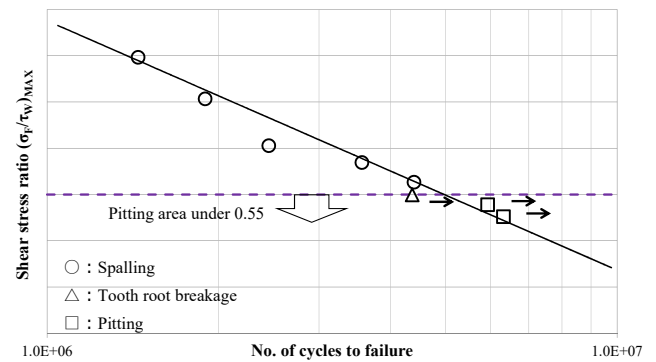


Fig. 8 Spalling strength design parameter and durability

#### 5. Test results

A durability test was conducted under conditions of a constant torque and constant speed. The results are plotted in Fig. 8 in terms of the relationship between the number of cycles to failure and shear stress ratio. As seen in the fig. 8, a good correlation was obtained between the maximum value of the shear stress ratio  $(\sigma_F/\tau_w)_{\max}$  as the design guideline and spalling life. Suzuki et al.<sup>(4)</sup> proposed Eq. (4) below for the relationship between the maximum value of the shear stress ratio  $(\sigma_F/\tau_w)_{\max}$  and spalling life in terms of the number of input cycles until failure.

$$N_f = C_i \{(\sigma_F/\tau_w)_{\max}\}^{n_i} \quad (4)$$

The values of the following coefficients were found from the test results shown in Fig. 8.

$$C_i = 2.24 \times 10^5$$

$$n_i = -5.19$$

It is seen in Fig. 8 that the condition for preventing the occurrence of spalling is a shear stress ratio  $\sigma_F/\tau_w < 0.55$ . Under this condition, it is the region where pitting has occurred in advance.



## 6. 結言

本報告では、ショットピーニングを施した小モジュール歯車のスポーリング設計手法として、面圧に起因する最大せん断応力、ショットピーニングに起因する残留応力、曲げに起因する引張応力を複合せん断発生応力 $\sigma_F$ として考え、許容せん断応力 $\tau_w$ との比 $\sigma_F/\tau_w$ をスポーリングの設計指標とすることを提案した。

また、耐久実験によりスポーリング寿命を求める計算式とスポーリングを発生させないための設計値であるせん断応力比 $\sigma_F/\tau_w < 0.55$ を導いた。

本研究結果により高強度の小モジュール歯車の最適設計に寄与できると考える。

## 7. 参考文献

- (1) 内藤武志, 浸炭焼入れの実際 第2版 ガス浸炭と材料強化法, 241-265, 日刊工業新聞社, March. 1997
- (2) Magnus MackAldener, Marten Olsson, “Design Against Tooth Interior Fatigue Fracture”, Gear Technology November/December 2000, 18-24
- (3) 日本規格協会, JISハンドブック2107鉄鋼I 第1版, 硬さ換算表(SAE J 417), 2602-2606, January. 2017
- (4) Tomohiro Suzuki, Kazuyoshi Ogawa, Shoji Hotta, “Evaluation and Life Prediction of Pitting for Carburized Steel”, 豊田中央研究所 R&Dレビュー Vol. 34 No. 4, 25-34 December. 1999

## 6. Conclusion

This article has presented a spalling strength design method for small module gears that are subjected to shot peening. The ratio of the combined shear stress  $\sigma_F$  to the allowable shear stress  $\tau_w$  ( $\sigma_F/\tau_w$ ) was proposed as the design guideline. The former consists of the maximum shear stress originating from contact pressure, residual stress induced by shot peening and tensile stress caused by tooth root bending.

An equation for calculating gear spalling life was derived from durability test results. A design value for preventing the occurrence of spalling was derived as a shear stress ratio  $\sigma_F/\tau_w < 0.55$ .

It is believed that the results of this study to the optimum design of small module gears with high strength.

## 7. References

- (1) Takeshi Naitoh, “Actualities of Carburizing and Quenching, 2<sup>nd</sup> Ed., Method of Strengthening Materials by Gas Carburizing,” Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd., pp. 241-265, March 1997 (in Japanese).
- (2) Magnus MackAldener, Marten Olsson, “Design Against Tooth Interior Fatigue Fracture”, Gear Technology November/December 2000, 18-24
- (3) Japanese Standards Association, JIS Handbook 2107, Iron and Steel I, 1<sup>st</sup> Ed., Hardness Calculation Tables (SAE J417), pp. 2602-2606, January 2017 (in Japanese).
- (4) Tomohiro Suzuki, Kazuyoshi Ogawa, Shoji Hotta, “Evaluation and Life Prediction of Pitting for Carburized Steel”, R&D Review, Toyota Central R&D Labs., Inc.

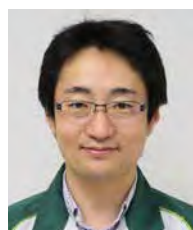
## ■ Authors ■



Sangki KIM



Yoshitomo SUZUKI



Ryohei SAITO



Daiki KAMATA

# 新パラメータ感度マップに基づく小型高性能トルクコンバータの開発

Development of a compact and high-performance torque converter based on a new parameter sensitivity mapping

川島 一訓\*  
Kazunori KAWASHIMA

遠藤 雅亜\*  
Masatsugu ENDO

**抄 録** 環境対応等のためトルクコンバータの小型軽量化が求められている。一方、エンジンのダウンサイジングターボ化に伴い、トルク増幅機能の強化が求められている。

これらの要求に対し、寸法パラメータと性能パラメータの間の定量的な感度関係を広くマップ化することで、トラスサイズを最小化しつつ、世界トップクラスとなる性能を実現するトルクコンバータを開発した。本稿では、本トルクコンバータ開発の概要について紹介する。

**Summary** Smaller and lighter torque converters are required for environmental friendliness. At the same time, for application to downsized turbocharged engines, there is a demand for a stronger torque amplification function. To meet these requirements, the quantitative sensitivity relationships between the parameters related to torus dimensions and performance characteristics were broadly mapped. As a result, a new torque converter has been developed that provides world-class performance in a minimized torus size. This article outlines this newly developed torque converter.

## 1. はじめに

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いる。特にトルクコンバータ開発においては、エンジンのダウンサイジングターボ化に伴い、未過給域の駆動力を補填するためのトルク増幅機能の強化が求められている。一方、車両衝突安全性確保の観点から、省スペース化の要求が厳しくなっている。

しかしながら、これらの要求に応えるためには、トラスの寸法の小型化<sup>(1,2)</sup>と性能特性を高いレベルで両立する必要があるが、両者の下位の階層のパラメータの間にはさまざまなトレードオフ関係が存在するため、最適解の特定を困難なものとしている。

そこで本稿の取組みでは、トラスサイズを最小化しつつ、世界トップとなる性能を実現することを目的として、トラス寸法および性能特性に関するパラメータ間の定量的な感度関係を広くマップ化することを行った。

## 2. 開発目標設定

性能開発目標として以下の項目を設定した。

## 1. Introduction

Smaller, lighter and more efficient automotive transmissions are required today for improving fuel economy and environmental friendliness. In developing torque converters for application to downsized turbocharged engines in particular, there is a demand for a stronger torque amplification function to compensate driving force in the non-boosted operating region. At the same time, space-saving requirements have also become more severe from the standpoint of assuring vehicle crash safety performance.

In order to respond to these requirements, it is necessary to achieve both smaller torus dimensions<sup>(1-2)</sup> and higher performance characteristics at the highest possible levels. However, it is difficult to identify an optimum solution to this issue because various trade-offs exist among the lower level parameters of both size and performance.

The purpose of the development project described here was to achieve world-class performance while minimizing the torus size. To do that, the quantitative sensitivity relationships between the parameters related to torus dimensions and performance characteristics were broadly mapped.

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



## ①中間速度比における高トルク比化：

$$t_{0.4} \geq 1.73 \text{ (従来比10\%向上)}$$

## ②高速度比におけるトルク容量の確保：

$$\tau_{0.8} = 15 \text{ } \mu\text{Nm/rpm}^2 \text{ (従来同等確保)}$$

ここで、 $t_{0.4}$ は速度比 $e=0.4$ におけるトルク比、 $\tau_{0.8}$ は速度比 $e=0.8$ におけるトルク容量係数を表す。上記目標は、車両の発進時の動力性能と再加速時の燃費性能の観点から設定した。動力性能に関しては、エンジン回転の吹けを抑えるためのトルク容量を確保しつつ、ダウンサイジング過給エンジンにおいては、未過給域における駆動力を補填するために広範囲の速度比に渡って自然吸気エンジン以上の高トルク比特性が要求される(Fig. 1)。燃費性能に関しては、滑りによる損失を抑えるために、高速度比におけるトルク容量を高く保つことが必要となる。以上より性能管理指標の一つ目として、コンバータ領域を代表とする速度比 $e=0.4$ のトルク比 $t_{0.4}$ を置き、従来比約10%向上の1.73を目標値とした。これを満足しつつ、性能管理指標の二つ目としてトルク容量ポテンシャルを評価する速度比 $e=0.8$ のトルク容量係数 $\tau_{0.8}$ を置き、従来同等の $15 \text{ } \mu\text{Nm/rpm}^2$ を目標値とした。

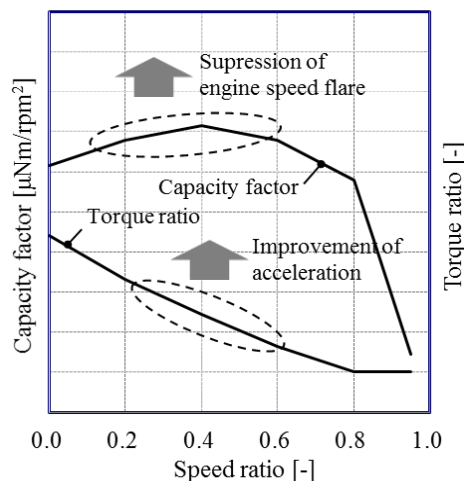


Fig. 1 Relationship between vehicle dynamic performance and torque converter hydrodynamic performance

トールスサイズの目標設定に関しては、相場や小型化の動向のみから設定して性能開発を進めると、その結果が最適であると示すことはできない。それは、次章で説明するようにトールス寸法パラメータと性能との間にはトレードオフが存在するためである。そこで本稿の取組みでは、トールス寸法パラメータには制約を設けずに(偏平化の動向にとらわれずに)、目標性能を実現できるパラメータの組合せを探索することとした。

## 2. Performance development targets

The performance development targets were defined as follows:

(1) To obtain a higher torque ratio at medium speed ratios:  $t_{0.4} \geq 1.73$  (10% improvement over the current value)

(2) To secure the desired torque capacity at high speed ratios:  $\tau_{0.8} = 15 \text{ } \mu\text{Nm/rpm}^2$  (equal to the current value)

The notation  $t_{0.4}$  is the torque ratio at a speed ratio  $e=0.4$  and  $\tau_{0.8}$  is the capacity factor at a speed ratio  $e=0.8$ .

These performance development targets were set from the standpoints of dynamic performance in vehicle launch situation and fuel economy in re-acceleration situations. With regard to dynamic performance, a downsized turbocharged engine requires a higher torque ratio characteristic than a naturally aspirated engine over a wide speed ratio range in order to compensate driving force in the non-boosted region. At the same time, the torque capacity for suppressing engine speed flare must be assured (Fig. 1). With regard to fuel economy, it is necessary to secure high torque capacity at high speed ratios in order to suppress loss due to slippage.

In line with these performance targets, a torque ratio of  $t_{0.4}$  at a speed ratio of  $e=0.4$  as a representative point of converter phase (before coupling point) was selected as a first index for managing performance. A target value of  $\tau_{0.4}$  was set to 1.73, i.e., approximately a 10% increase over the current value. A capacity factor of  $\tau_{0.8}$  at speed ratio of  $e=0.8$  for evaluating the torque capacity potential was selected as a second index for managing performance while satisfying the target value of the first index. A target value of  $\tau_{0.8}$  was set to  $15 \text{ } \mu\text{Nm/rpm}^2$  that are equal to the current value.

With regard to setting targets for the torus size, if target dimensions are set solely on the basis of prevailing values and downsizing trends and performance is developed accordingly, the result cannot be shown to be optimal. As will be explained in the next chapter, the reason is that there are trade-offs between the torus dimensional parameters and performance. Therefore, in this development project, it was decided to search for the combination of torus dimensional parameters that would achieve the performance targets without putting any restrictions on the parameters, i.e., without being bound by the trend toward a flatter design.

### 3. トーラス設計

#### 3.1 設計の考え方

Fig. 2に示すように、トルクコンバータの性能に影響するトーラスの断面寸法に関するパラメータは、大きく外径 $\phi D_1$ 、内径 $\phi D_2$ 、軸長 $L$ の3つである。ここで、ある形に設計された流路の各部分をそれと相似形に保ちながら、大きさだけを変化させたときには、その大きさを代表する値（一般に外径 $\phi D_1$ を選ぶ）の5乗に比例してトルクが変化する<sup>3)</sup>（以降5乗則と呼ぶ）。そこで、寸法に関する以下の無次元量を導入する。

$$\text{薄型率 } R_{fl} = \frac{L}{D_1} \quad (1)$$

$$\text{内径比 } R_{in} = \frac{D_2}{D_1} \quad (2)$$

$$\text{扁平率 } R_{as} = \frac{2L}{D_1 - D_2} \quad (3)$$

外径 $\phi D_1$ をある値に固定した場合、トーラスの軸長や内径寸法と流体性能の間にトレードオフが存在し、上記の各量のどの値の組合せが最適かを特定するには、これらの指標と性能との間の定量的な感度関係を明らかにする必要がある。Fig. 3は、代表的な既存のトーラスについて薄型率と内径比の関係を示すものである（当社調べ）。

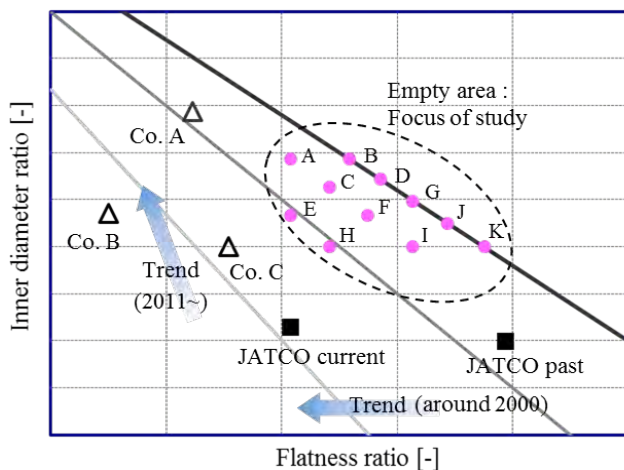


Fig. 3 Relationship between the flatness ratio and inner diameter ratio of the torus

図中の斜めの直線は等扁平率であることを示し、最も右上のものが扁平率1で、左下に行くほど小さくなる。本図より、薄型化および、さらに近年の傾向として、より小

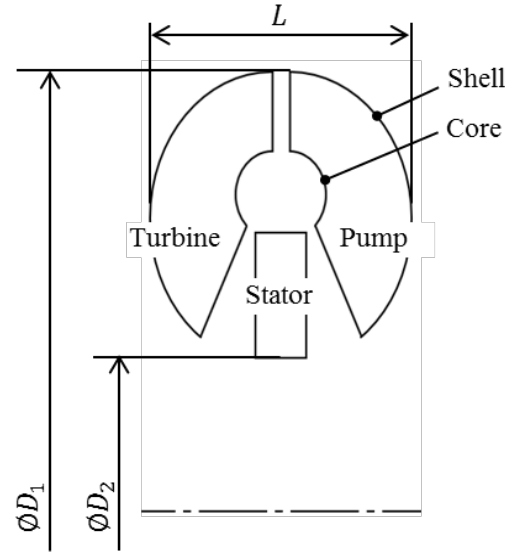


Fig. 2 Cross-section of torus with dimensional parameters

### 3. Torus design

#### 3.1 Design concept

As shown in Fig. 2, there are three main parameters concerning the cross-sectional dimensions of the torus, namely, the outer diameter  $\phi D_1$ , inner diameter  $\phi D_2$  and axial length  $L$ , which influence torque converter performance. Here, we will change only the size of each part of the flow passage designed in a certain configuration while maintaining a similar shape for each part. Torque transmitted by a torque converter varies in proportion to the fifth power of a value representative of the size<sup>(3)</sup> (generally the outer diameter  $\phi D_1$  is selected), which is referred to here as the fifth power rule. The following nondimensional quantities are introduced concerning the dimensions.

$$\text{Flattening ratio } R_{fl} = \frac{L}{D_1} \quad (1)$$

$$\text{Inner diameter ratio } R_{in} = \frac{D_2}{D_1} \quad (2)$$

$$\text{Aspect ratio } R_{as} = \frac{2L}{D_1 - D_2} \quad (3)$$

When the outer diameter  $\phi D_1$  has a certain fixed value, there are trade-offs between hydrodynamic performance and the torus axial length and inner diameter dimension. In order to identify the optimum combination of values of the above-mentioned quantities, it is necessary to make clear the quantitative sensitivity relationships between these indexes and performance.

Fig. 3 shows the relationship between the flatness ratio

型化を目指して左上の領域に設定されるようになっていることが窺える。一方で、図中の破線で示す領域は空白となっている。本稿の取組みでは、この領域に最適点が存在する可能性があることに着目し、本領域における性能感度を明らかにすることを考え方のベースとした。すなわち、薄型率や扁平率を大きく設定すると流体性能ポテンシャル(次節で説明)を高く確保できる。その分、外径を小さく設定することにつながり、結果的に外径 $\phi D_1$ ×薄型率 $R_{fl}$ である軸長を小さく設定できる可能性がある。

### 3.2 パラメータスタディ

Fig. 3の空白領域における性能感度を明らかにするにあたり、図中の点で示す11ポイントのトーラス形状を設定し、各ポイントの性能の評価を実施した。性能の評価においては、ポンプインペラの出口角違いによるトルク容量とトルク比のトレードオフ関係の評価する性能ポテンシャル<sup>(4)</sup>の考え方をういた。前章で設定した性能開発目標を踏まえ、具体的な評価方法についてFig. 4に示した。

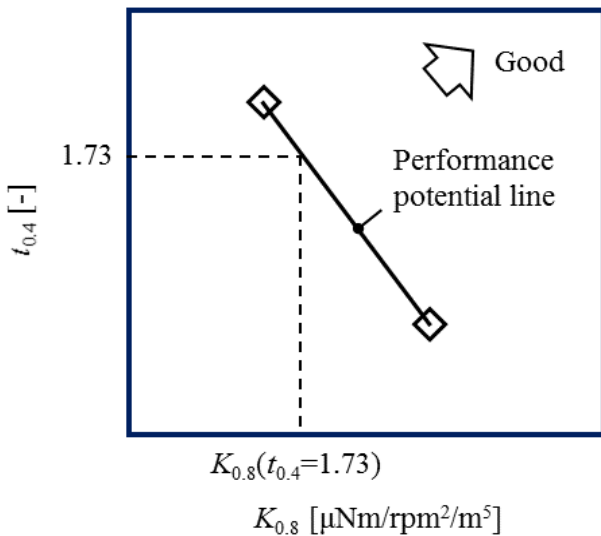


Fig. 4 Performance potential evaluation method

横軸は、5乗則よりトルク容量係数からトーラスサイズの違いを排除した指標である式(4)で表される比例係数 $K$ の速度比 $e=0.8$ におけるもの $K_{0.8}$ 、縦軸は速度比 $e=0.4$ におけるトルク比 $t_{0.4}$ を取り、グラフ上の2ポイントはポンプインペラの出口角違いに対応している。

$$\tau = \frac{T_{in}}{N_{in}^2} = K \cdot D_1^5 \quad (4)$$

and inner diameter ratio for typical existing toruses based on the results of an in-house survey. The diagonal lines in the figure are the equivalent aspect ratios. The torus at the uppermost right has an aspect ratio of 1 and the values decrease going toward the lower left. The results indicate that the values of these indexes have tended to be set in the upper left region for a flatter design, and, especially as a trend in recent years, for a more compact design. In contrast, the area enclosed in the dashed line in the center of the figure is empty. In this project, attention was paid to the possibility that the optimum point might exist in this area. It was decided to base the design concept on clarification of performance sensitivity in this area.

In other words, setting a larger flattening ratio and aspect ratio secures a higher hydrodynamic performance potential (explained in the next section). To that extent, it leads to a smaller outer diameter; and as a result, there is a possibility for setting a smaller axial length determined by the outer diameter  $\phi D_1$  x the flattening ratio  $R_{fl}$ .

### 3.2 Parametric study

In order to clarify performance sensitivity in the empty area in Fig. 3, torus shapes were defined at the eleven points indicated by the circled region, and an evaluation was made of performance at each point. The concept used in the evaluations was to assess the performance potential<sup>(4)</sup> based on the trade-off between the torque capacity and torque ratio for different pump impeller blade exit angles. Fig. 4 shows the specific evaluation method based on the performance development targets defined in the previous chapter. The horizontal axis shows the coefficient of proportionality  $K_{0.8}$ , which has a value of  $K$  at a speed ratio of  $e=0.8$ , and is an index expressed in Eq. (4) below that removes the effect of torus size differences from the capacity factor according to the fifth power rule.

$$\tau = \frac{T_{in}}{N_{in}^2} = K \cdot D_1^5 \quad (4)$$

The notations  $T_{in}$  and  $N_{in}$  here are the absorption torque and speed of the pump impeller, respectively. The vertical axis shows the torque ratio  $t_{0.4}$  at a speed ratio of  $e=0.4$ . The two points shown in the graph correspond to different pump impeller blade exit angles. The point plotted at the position where  $K_{0.8}$  is high represents a forward-curved blade (high capacity and high efficiency type) with an exit angle of  $-31.8^\circ$ , and the point plotted at the position where  $t_{0.4}$  is high represents a backward-curved blade (high torque ratio

ここで  $T_{in}$ ,  $N_{in}$  はそれぞれポンプインペラの吸収トルク, 回転数を表す.  $K_{0.8}$  が高いところにプロットされた点は前傾タイプ(高容量, 高効率形)で出口角  $-31.8^\circ$ ,  $t_{0.4}$  が高いところにプロットされた点は後傾タイプ(高トルク比形)で出口角  $0^\circ$  のデータである. 他の翼諸元は固定値(当社定義で高トルク比狙いの仕様)とした. 本図で2ポイントを結ぶ直線(以降等性能ポテンシャル線)が右上に位置するほど, 性能ポテンシャルが高いことを表している. これを評価するにあたり, 次のように基準を設定した. すなわち評価ポテンシャル  $P_{ev}$  を, 等性能ポテンシャル線と  $t_{0.4}=1.73$  の水平線が交差するポイントの  $K_{0.8}$  の値

$$P_{ev} = K_{0.8}(t_{0.4} = 1.73) \quad (5)$$

と定義した. これは本開発目標であるトルク比  $t_{0.4}=1.73$  を得るためには,  $K_{0.8}$  の値がいくつになるかを評価するためである. インペラ出口角  $0^\circ$  の点の  $t_{0.4}$  が  $1.73$  に届かない場合は, 直線外挿によって交差点を決定した. 次章で詳述するように,  $K_{0.8}$  は5乗則を基に必要な寸法諸元へと変換される.

### 3.3 検討モデル

ここではFig. 3の11個の各ポイントに対応するモデルと性能の算出方法の概略について説明する. 当社では通常, トーラスの新規設計においては, 内製の設計プログラムを使用して流路の設計を行い, シェルやコアの断面形状を決定する. しかしながら11ポイント全てに本設計を適用することは工数の面で現実的ではない. そこで当社開発トーラスの一つをベース仕様として選定し, 以下のように対応した. すなわち, 外径  $\phi D_1$  はベースの値で固定とし, コアおよびシェルの断面形状をベース仕様から径方向と軸方向にそれぞれ伸縮させることで, 薄型率と内径比を設計した. その際, 強度や生産性といった製品としての成立性を考慮し, 各翼列間(ポンプインペラ出口部とタービンランナ入口部など)のクリアランス寸法はベースを維持するように調整し, ポンプインペラとタービンランナのブレード板厚もベースの板厚で一定とした. また, 翼の倒れや翼角, ステータの翼厚などの翼諸元は, ベースと同等になるように調整した. 以上に基づき11個のポイント×インペラ出口角違い2種=22モデルにおいて, 三次元数値流体計算(CFD)を用いて性能値を算出した.

type) with an exit angle of  $0^\circ$ . The other blade specifications were fixed values aimed at obtaining a high torque ratio as defined in-house. The line (referred to here as the equivalent performance potential line) connecting the two points in the figure indicates a higher performance potential, the more it is positioned to the upper right.

The following criterion was defined for evaluating the performance potential; the evaluated potential  $P_{ev}$  was defined as the value of  $K_{0.8}$  at the point where the equivalent performance potential line and the horizontal line for  $t_{0.4}=1.73$  cross.

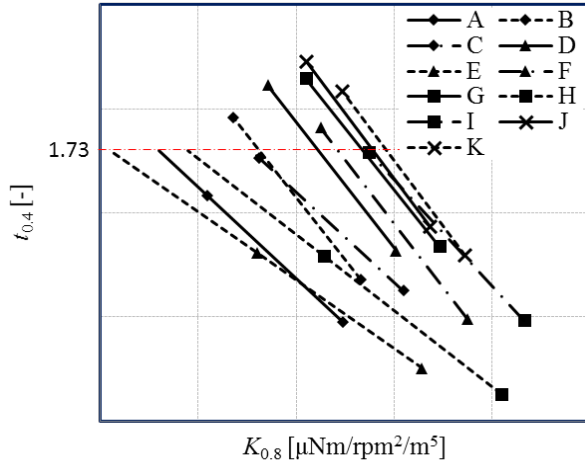
$$P_{ev} = K_{0.8}(t_{0.4} = 1.73) \quad (5)$$

This criterion was defined for evaluating what value  $K_{0.8}$  would have in order to obtain the performance development target defined in this project as a torque ratio of  $t_{0.4}=1.73$ . In case  $t_{0.4}$  did not reach 1.73 at the point of a pump impeller blade exit angle of  $0^\circ$ , the intersection point of the two lines was determined by linear extrapolation. As will be explained in more detail in the next chapter,  $K_{0.8}$  was converted to the necessary dimensions based on the fifth power rule.

### 3.3 Study model

This section outlines the study model corresponding to each of the 11 points in Fig. 3 and the performance calculation method. When designing a new torus at JATCO, we generally use an in-house design program to design the flow passage and then determine the cross-sectional shape of the shell and core. However, applying this design process to all eleven points would not be practical in terms of the man-hours required. Therefore, a torus previously developed in-house was selected as the baseline specifications and the following procedure was adopted. Specifically, the outer diameter  $\phi D_1$  was fixed at the baseline value and the cross-sectional shapes of the core and shell were respectively extended or contracted radially or axially from the baseline specifications to design the flatness ratio and the inner diameter ratio. In that process, the clearance between the blade cascades (i.e., between the pump impeller exit and the turbine runner inlet, etc.) was adjusted so as to maintain the baseline dimension while taking into account the blade strength, productivity and other conditions for product viability. The blade thickness of the pump impeller and turbine runner was also kept constant at the same thickness as the baseline dimension. In addition, the blade inclination and angle, the stator blade thickness and other blade





(a) Equivalent performance potential line for each point

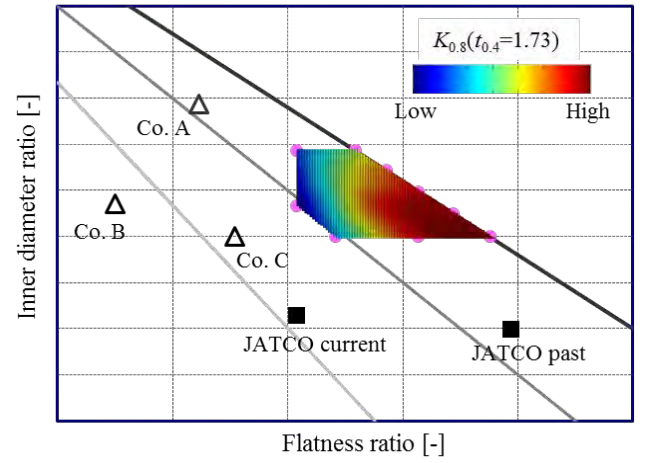
(b)  $K_{0.8}(t_{0.4}=1.73)$  response surface

Fig. 5 Parametric study results

#### 4. 検討結果

##### 4.1 パラメータスタディ結果

パラメータスタディの結果をFig. 5に示す. 図(a)はFig. 3のA~Kの各ポイントにおける $t_{0.4}$ と $K_{0.8}$ の関係, 図(b)は各ポイントにおける評価性能ポテンシャル $K_{0.8}$  ( $t_{0.4}=1.73$ )の散布データから内挿補間して求めた応答曲面をカースケールで示したものである. 図(b)より, グラフの右下の領域ほど評価性能ポテンシャルが高くなることが確認できる.

##### 4.2 最適トラスサイズの決定

Fig. 5(b)に示す性能ポテンシャルの感度マップは, 寸法に関しては無次元化した指標, 評価性能ポテンシャルとしては5乗則により寸法による影響を排除した指標を用いているため, 本図だけではトラスサイズを最小化する条件はわからない. トルク容量係数の目標値 $\tau_{0.8req}$ と5乗則の関係より, Fig. 5(b)の感度マップ上の任意のポイントで目標性能を満足するための必要な外径 $D_{1req}$ , 内径 $D_{2req}$ , 軸長 $L_{req}$ を算出することができる.

$$D_{1req} = \left( \frac{\tau_{0.8req}}{K_{0.8}(t_{0.4} = 1.73)} \right)^{1/5} \quad (6)$$

$$D_{2req} = D_{1req} \times R_{in} \quad (7)$$

$$L_{req} = D_{1req} \times R_{fl} \quad (8)$$

specifications were adjusted to make them equal to the baseline values.

Based on these conditions, models were prepared for the 11 points for two different pump impeller blade exit angles, making 22 models in total, and performance values were calculated using a 3D computational fluid dynamics (CFD) code.

#### 4. Evaluation Results

##### 4.1 Parametric study results

The parametric study results are presented in Fig. 6, where (a) shows the relationship between  $t_{0.4}$  and  $K_{0.8}$  at each evaluation point A to K in Fig. 3 and (b) shows a color scale representation of the response surface interpolated from the scattered data for the evaluated performance potential  $K_{0.8}$  ( $t_{0.4}=1.73$ ) at each point. It is seen in (b) that the evaluated performance potential increased toward the lower right region of the graph.

##### 4.2 Determination of optimum torus size

Fig. 6 (b) presents a performance potential sensitivity map, in which the evaluated performance potential is a nondimensionalized index in relation to the dimensions. Because the influence of the dimensions was removed from this index by the fifth power rule, the conditions for minimizing the torus size cannot be identified on the basis of this figure alone. Based on the relationship between the target value of the capacity factor of  $\tau_{0.8req}$  and the fifth power rule, the values of the outer diameter  $D_{1req}$ , inner diameter  $D_{2req}$  and axial length  $L_{req}$  needed to satisfy the

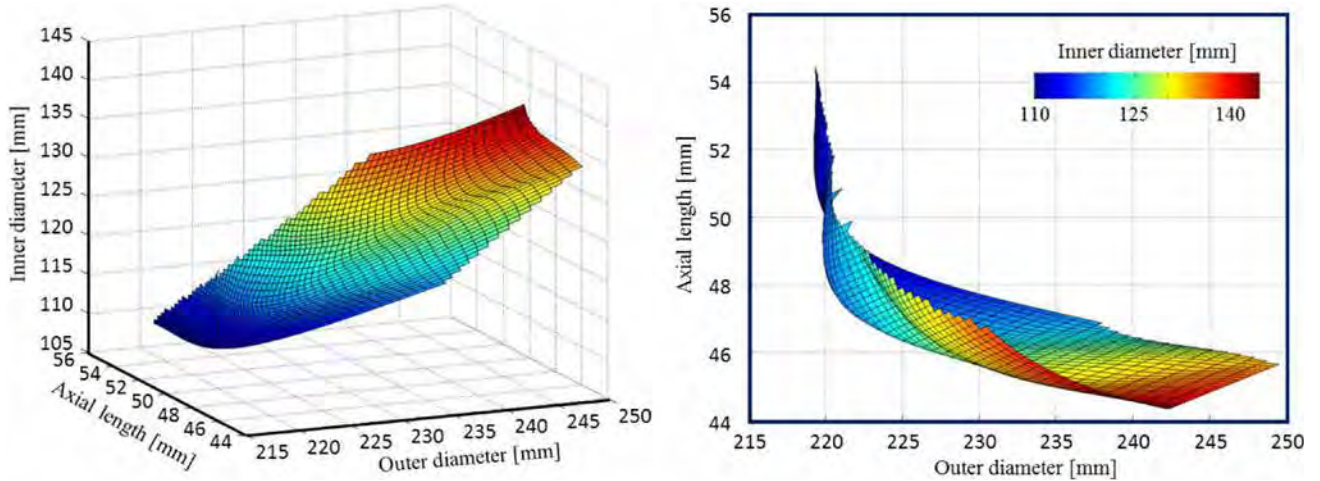


Fig. 6 Response surface of torus dimensions that meet performance targets

Fig. 5(b) 感度マップ上のあらゆる点で式(6)～(8)を計算し、それぞれの関係をプロットしたものをFig. 6に示す。本図は、図に示す応答曲面上で目標性能を満足することを表している。したがって例えば外径 $\phi D_1$ と軸長 $L$ に着目した場合、応答曲面を外径-軸長平面に投影した右側のグラフにおいて、応答曲面の左下側の縁の曲線上に沿って設定することが、サイズを最小化する条件となる。本開発においては、径方向の搭載スペースの制約から、外径 $\phi D_1=225$  mm、軸長 $L=46.4$  mm、内径 $\phi D_2=123$  mmのポイントを選定し、流路設計を実施した(本ポイントにおけるトーラスサイズの評価については、5章で示す)。

#### 4.3 実測検証結果

前節で決定したトーラス仕様において、3.2で示したポンプインペラの2種類の出口角を設定し、実測による検証を実施した。実測用のデバイスとしては、ポンプインペラ、タービンランナ、ステータの各羽根車とフロントカバーより構成されるトルクコンバータを削り出しにより試作した。Fig. 7に実測結果に基づくポテンシャル線の評価結果を示す。目標トルク比である $t_{0.4}=1.73$ の断面におけるトルク容量係数 $\tau_{0.8}$ の値は、目標値に対して約11%の低下となった。これは、5乗則により必要な寸法(外径、内径、軸長)の拡大代に換算すると、約2.3%に相当する。したがってFig. 6に示す検討結果は、図の応答曲面からわずかな寸法拡大が必要なものの、十分信頼できる結果であると判断する。

targeted performance at an arbitrary point in the sensitivity map in Fig. 6(b) can be calculated as shown below.

$$D_{1req} = \left( \frac{\tau_{0.8req}}{K_{0.8}(t_{0.4} = 1.73)} \right)^{1/5} \quad (6)$$

$$D_{2req} = D_{1req} \times R_{in} \quad (7)$$

$$L_{req} = D_{1req} \times R_{fl} \quad (8)$$

The values of Equations (6) to (8) at various points in the sensitivity map in Fig. 6(b) were calculated and the respective relationships are plotted in Fig. 7. The results indicate that the targeted performance on the response surface shown in the figure is satisfied. Accordingly, consider an example where attention is focused on the outer diameter  $\phi D_1$  and the axial length  $L$ . In the right-hand graph in which the response surface is projected in a plane formed by the outer diameter and the axial length, the condition for minimizing the torus size is to set the dimensions along the lower left edge of the response surface. In this development project, the point for an outer diameter  $\phi D_1=225$  mm, axial length  $L=46.4$  mm and inner diameter  $\phi D_2=123$  mm was selected because of the mountability space limitation in the radial direction, and the flow passage was designed. The evaluation of the torus size at this point is explained in detail in chapter 5.

#### 4.3 Experimental validation results

The hydrodynamic performance of a torus having the specifications determined in the preceding section was validated by experimental measurements for the two types of pump impeller blade exit angles explained in section 3.2. A prototype torque converter, consisting of the pump impeller,

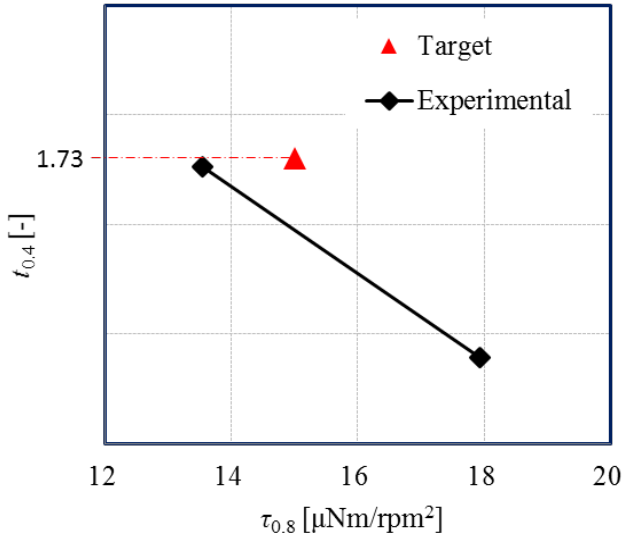


Fig. 7 Experimental validation result (Equivalent performance potential line)

## 5. 性能ポテンシャルと目標達成度の評価

通常、ひとつのトーラスに対して、翼諸元を変えることで性能をチューニングし、さまざまな車両やエンジンに適用できるようにする。ここでは開発したトーラスにおいて、代表的な翼諸元違いによって性能のチューニングできる範囲を確認し、性能ポテンシャルおよびトーラスサイズの従来品に対する優位性の評価を実施した。本開発においては、Table 1に示すようにポンプインペラの出口角違い（高トルク比形～高効率形で3水準）×ステータの出口角および入口形状違い（高トルク比狙い、高効率狙い、高容量狙いの3仕様）で9パターンの組み合わせにて実測による評価を実施した。

Table 1 Blade specification setting for evaluation of performance potential

Pump impeller	A	B	C
Exit angle [deg]	-46.8	-31.8	0
Target spec	High capacity	Medium	High Torque ratio
Stator	A	B	C
Target spec	High Torque ratio	High efficiency	High capacity

turbine runner and stator vanes and the front cover, was machined for use in the experimental measurement. Fig. 7 shows the evaluation results for the equivalent performance potential lines based on the experimental results. The result for the capacity factor of  $\tau_{0.8}$  in a cross section at the targeted torque ratio of  $t_{0.4}=1.73$  was approximately 11% below the target value. Converting that to the necessary amount of increase in the dimensions (outer diameter, inner diameter and axial length) according to the fifth power rule results in a corresponding value of approximately 2.3%. It was therefore concluded that the evaluation results in Fig. 6 were sufficiently reliable, though the response surface in the figure indicated that the dimensions needed to be enlarged slightly.

## 5. Evaluation of performance potential and torus size

Ordinarily, changing the blade specifications tunes the performance of a torus so that it can be used on various vehicle models and with different engines. This section describes the performance confirmed for the newly developed torus within the tuning range available through changes in representative blade specifications, and the superiority of its performance potential and size was evaluated in relation to existing toruses. In this project, performance was evaluated by experimental measurements for combinations of nine patterns shown in Tab. 1. These consisted of three different pump impeller blade exit angles (three levels from a high torque ratio type to a high efficiency type) x different stator blade exit angles and inlet shapes (three specifications aimed at a high torque ratio, high efficiency and high torque capacity, respectively).

Fig. 8 shows the experimental evaluation results in terms of the relationship between  $K_{0.8}$  and  $t_{0.4}$ . The results for typical specifications of other JATCO toruses and other company's products (partially corresponding to those in Fig. 3) are also plotted for comparison. Fig. 9 compares the three JATCO toruses in Fig. 8 in terms of the index below expressed in Eq. (9) for the cross-sectional area of the flow passage in the torus cross section under a condition where the outer diameter  $\phi D_1$  was aligned while maintaining a similar shape.

$$S = \frac{D_1 - D_2}{2} \times L \quad (9)$$

The results in both Figs. 8 and 9 indicate that the newly developed torus improves the performance potential (notably toward a higher torque ratio) while being smaller in size than the current torus.

Fig. 8は、実測による評価結果を $K_{0.8}$ と $t_{0.4}$ の関係で表したものである。比較対象として、当社および他社の代表仕様を合わせてプロットした(Fig. 3と対応)。また、Fig. 8に対応する当社の各トーラスに関し、相似形のまま外径 $\phi D_1$ を揃えた条件において、トーラス断面における流路部の断面積に相当する指標

$$S = \frac{D_1 - D_2}{2} \times L \quad (9)$$

を比較したものをFig. 9に示す。Fig. 8とFig. 9は、開発トーラスが、現行トーラスよりも小さくサイズを抑えつつも、性能ポテンシャルを向上(特に高トルク比の方向へ向上)していることを示している。

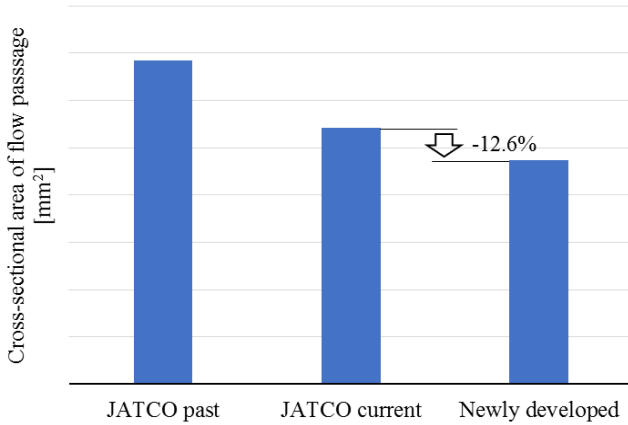


Fig. 9 Comparison of each torus's cross-sectional area of flow passage

また、Fig. 8に示す結果より改めて目標性能の達成度を評価する。 $\tau_{0.8}=15 \mu\text{Nm/rpm}^2$ を確保する前提条件において、トルク比 $t_{0.4}$ の達成度は、目標値1.73(従来比10%向上)に対し、1.71(従来比8.8%向上)と、ほぼ目標を満足する結果となった。

## 6. 結論

本稿の取組みにおいて、性能パラメータと寸法パラメータの間の定量的な感度関係を、広くマップ化した。その結果、寸法に関する無次元化したパラメータである薄型率と内径比の組合せにおいて、従来広く使用されている領域から外れた領域に、性能とサイズを最大限両立するポイントが存在することが分かった。すなわち、近年のトレンドとなっている小型トーラスより多少薄型率を大きくし

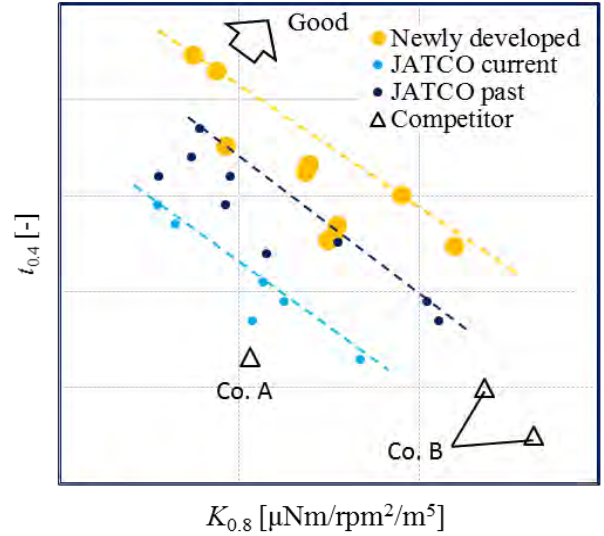


Fig. 8 Experimental evaluation results of performance potential

The achievement of performance target was also evaluated based on the results shown in Fig. 8. Under the prerequisite conditions for obtaining  $\tau_{0.8}=15 \mu\text{Nm/rpm}^2$ , the achievement of the torque ratio  $t_{0.4}$  was 1.71 (8.8% improvement over the current ratio) relative to the target value of 1.73 (10% improvement over the current ratio). Therefore, the ratio obtained nearly satisfied the target value.

## 6. Conclusion

In the development project described here, the sensitivity relationships between performance parameters and dimensional parameters were broadly mapped. The results revealed that points existed for optimizing both the torus size and performance in combinations of the flatness ratio and inner diameter ratio, representing nondimensionalized parameters related to the dimensions. Such points were found in regions away from those widely used heretofore in torque converter design. In short, it was shown that, even if the flatness ratio is increased somewhat over the trend in recent years toward a smaller torus, the resultant increase in performance potential enables the outer diameter to be reduced to a corresponding extent. Consequently, the axial length, represented by the outer diameter x the flatness ratio, can also be shortened. As a result, the performance potential of a newly developed torque converter torus was markedly improved (notably toward a higher torque ratio) while being smaller in size than a current product.



でも、性能ポテンシャルが向上する分外径を下げることができ、結果的に外径×薄型率である軸長も小さくできることが示された。その結果、現行以下にサイズを抑えつつ、性能ポテンシャルを大幅に向上(特に高トルク比の方向へ向上)することができた。

## 7. 参考文献

- (1) 江尻, 久保, “トルクコンバータの偏平率が流体性能に及ぼす影響”, 機論, 64-623, B, 1998
- (2) Hachisuwa, I., Kato, N., Kusamoto, D., Miyata, H. et al., "Development of Compact Torque Converter with New Multiple Disk Clutch for Toyota New FWD Eight-Speed Transmission Direct Shift-8AT," SAE Technical Paper 2017-01-1118, 2017
- (3) 石原, “流体伝動装置の設計”, オーム社, 1967
- (4) V. Jandasek, “The Design of a Single Stage Three Element Torque Converter”, SAE, 1961

## 7. References

- (1) E. Ejiri, M. Kubo, “Influence of the Flatness Ratio of a Torque Converter on Hydrodynamic Performance”, JSME, 1998
- (2) Hachisuwa, I., Kato, N., Kusamoto, D., Miyata, H. et al., “Development of Compact Torque Converter with New Multiple Disk Clutch for Toyota New FWD Eight-Speed Transmission Direct Shift-8AT,” SAE Technical Paper 2017-01-1118, 2017
- (3) T. Ishihara, “Design of Hydraulic Power Transmission Systems”, Ohmsha, 1967
- (4) V. Jandasek, “The Design of a Single Stage Three Element Torque Converter”, SAE, 1961

## ■ Authors ■



Kazunori KAWASHIMA



Masatsugu ENDO

# MILS(Model In the Loop Simulation)を用いた制御検証の効率化

Enhancement of control logic validation using model-in-the-loop simulation (MILS)

藤塚 亮平\*  
Ryohei FUJITSUKA

原田 大輔\*\*  
Daisuke HARADA

馬場 勇輝\*  
Yuki BABA

**抄 録** 最近のトランスミッション制御開発においては、制御ロジックのボリューム拡大に対応して、シミュレーションによるロジック検証の効率化が非常に重要になってきている。

今回、Simulinkモデルを短時間で統合し、ATCU相当のシミュレーションをPC上で行うMILSを構築する手法と、このMILSを使用してHILSに対して1/5の時間でのロジック統合検証を実施する手法を実現した。

本稿では、このMILS構築手法とそのロジック検証手法を紹介する。

**Summary** It has become extremely important in recent years to enhance control logic validation efficiency through the use of simulations in the transmission control development process in order to deal with the increased volume of control logic. A method was established in this study for constructing on a PC a model-in-the-loop simulation (MILS) corresponding to simulation conducted by an automatic transmission control unit (ATCU) and which can be integrated with a Simulink model quickly. A method was also established for using MILS to conduct integrated validation of the control logic in 1/5 of time needed for a hardware-in-the-loop simulation (HILS). This article describes the MILS construction method and control logic validation method.

## 1. はじめに

近年、制御ロジックのボリュームが指数関数的に拡大してきているため、検証には以下の2つが必要不可欠である。

- ・カバレッジを満たす多くのテストパターンでの検証
- ・検証時間の短縮

CVT・ATのほぼ全ての新規ロジック開発がモデルベースとなっているため、これらを実現するためには、シミュレーションを使用することを推し進めるべきと考えられる。

### 1.1 xILS

ロジックのシミュレーション手法については、一般にxILSと総称され、Fig. 1のように、ロジック部分がどの形式(モデル/コード/バイナリ)で構築されているか、どのマイコン(PC/エミュレータ/実CU)で計算されているかの組合せによって、呼称が変わる。

## 1. Introduction

The exponential increase in the volume of control logic in recent years has made the following two points absolutely necessary for validation work.

- Validation of numerous test patterns providing satisfactory coverage
- Shortening the time needed for validation

Because nearly all new control logic for ATs and CVTs is created by model-based development (MBD), the use of simulations should be promoted to accomplish the points above.

	Logic part	Basic software (BSW)	Microprocessor	Peripheral circuitry	Plant
MILS (Model In the Loop Simulation)	Model	Not installed	None	None	Model
SILS (Software In the Loop Simulation)	Source code	Not installed	None	None	Model
PILS (Processor In the Loop Simulation)	Actual (binary)	Actual	Emulator/actual	Model	Model
HILS (Hardware In the Loop Simulation)	Actual (binary)	Actual	Actual	Actual	Model

Fig. 1 Differences in xILS

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

\*\* ジャトコ 韓国エンジニアリング社 制御開発室  
Control System Development Office, JATCO Korea Engineering Corp.

## 1.2 HILS

現在, xILSの中で最も一般的に使用されているのはHILSであるが, HILSは実時間以上の高速化が困難であり, 下記の課題がある.

- 1) 実時間より速くは計算出来ない
- 2) 導入コストが大きい
- 3) 同一テストで, 同一の結果を得ることが難しい
- 4) 変数の計測数が少ない

## 1.3 SILS, PILS

次にSILS, PILSが持つ課題について述べる.

SILS, PILSはロジック部にバイナリ, ソースコードを使用する必要があるため, コーディング, 組込等の工程の時間・コストが必要となる. これらの課題は, HILSでも同様のことが言える.

## 1.4 MILS

ここではMILSの課題とメリットについて述べる.

モデルベース開発のメリットは, 開発のフロントローディングである. そのメリットを活用し開発の上流で, 実車・HILSと同等のシミュレーション検証を実施するためには, 以下が必要となる.

- ATCU相当の全てのロジックをモデル化
- シミュレーションが実行可能となるよう全モデルを結線
- 組込と同様のタスクスケジューリングを設定

またMILSでの検証については, MILSを構築する時間, およびシミュレーションに時間が取られるため, 組込の時間を考慮しても, HILS・実車で検証した方が, 早く検証ができると考えられていた.

その一方でMILSには, これらに時間がかかったとしてもHILSでは実現できないメリットがある.

一つは実時間に依存せずシミュレーションできるため, 精度の高いプラントモデリングツールとのco-simulationが可能であり, 詳細な性能検討に使用できる点であり, もう一つは内部信号も含む全ての信号を見る, 記憶することができるため, バグ発見時の原因探索が容易な点である.

これらMILSのメリットを生かすためにもMILSの実業務での活用を目指し, 前述の構築時間・実行時間の問題の解消に取り組んだ.

## 1.1 xILS

Methods of simulating control logic are generally referred to as x-in-the-loop simulation (xILS). As shown in Fig. 1, the nomenclature differs depending on the combination of how the logic part is constructed (i.e., model, code, or binary) and with what type of microprocessor (i.e., PC, emulator or actual control unit (CU)) it is calculated.

## 1.2 HILS

Among the varieties of xILS, the most commonly used type is the hardware-in-the-loop simulation (HILS). However, HILS has the following issues because it is difficult to achieve speeds faster than real time.

- (1) Computations cannot be done faster than real time.
- (2) It is costly to implement.
- (3) It is difficult to obtain identical results from the same test.
- (4) Number of measurements of variables is small.

## 1.3 SILS and PILS

Next, we will consider the issues inherent in the software-in-the-loop simulation (SILS) and the processor-in-the-loop simulation (PILS). Because SILS and PILS require the use of a binary or source code in the logic part, they involve time-consuming and costly processes for coding, embedding and other tasks. The same issues also apply to HILS.

## 1.4 MILS

This section describes the issues and advantages of the model-in-the-loop simulation (MILS). One advantage of MBD is the front-loading of development work. The following are needed in order to use that advantage effectively to conduct a simulation to validate control logic in an upstream process in a manner that is equivalent to validation by vehicle testing or HILS.

- Modeling of the entire control logic corresponding to an AT control unit (ATCU)
- Connecting the entire model to enable execution of the simulation
- Defining task scheduling equivalent to embedding

Validation of control logic by MILS requires time to construct the model and time to run the simulation. For that reason, it has been thought that validation by HILS or vehicle testing facilitates quicker verification of control logic, even taking into account the time needed for embedding.

## 2. MILS構築

### 2.1 現状ロジックにてMILS構築するための課題

従来のロジックでは単一コンポーネントあたりの入出力信号が数百あり、モデルとして結線する難易度が高い状態であった。

また、ロジック更新ごとに実施する信号の追加/削除による結線の繋ぎ替え、管理も大変な作業となっていた。

タスクスケジュールも、従来はシングルタスク上に数回に1回計算する事で、数倍周期のタスクを実現させている事例もあり、Matlab/Simulink上でのマルチタスクとでは、変数の更新タイミングが異なることがあった。

### 2.2 MILS構築手法

次に上記(2.1)の問題を解決するために、下記の手法を使用したMILSの構成をFig. 2に示す。

#### 1) 関数間の信号接続をData Store化

関数間を結線ではなく、Data Storeで繋ぐことにより、結線にかかる時間を短縮し、コンポーネント間の結線不整合があってもSimulinkコンパイル、シミュレーションが可能な状態とする。

それにより、Simulink上での多重更新、未接続の検知も容易にできる。

また本手法は結線が不必要なため、関数の実行順変更も容易にでき、再構造化、各コンポーネントの入出力信号の検討にも活用が見込まれる。

#### 2) StateFlowによるタスクスケジュール

実コードと同一のタスクコールをStateFlowにて作成した。

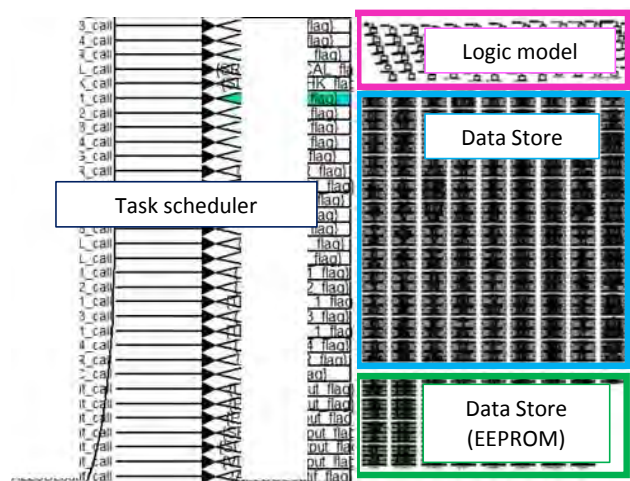


Fig. 2 MILS configuration

On the other hand, although MILS involves such time-consuming tasks, it also has advantages that cannot be obtained with HILS. One is that it can be used to conduct detailed performance studies. It enables co-simulation with a high-accuracy plant modeling tool because the simulation is not dependent on real time. Another advantage is that it is easy to search for the causes of bugs when they occur because all signals can be seen and recorded, even internal ones.

An effort was made in this study to resolve the above-mentioned issues concerning the time needed for constructing and executing a simulation, with the aim of using MILS in actual development work in order to utilize the advantages it offers.

## 2. Construction of MILS

### 2.1 Issues involved in constructing MILS for current control logic

With conventional control logic, each component has several hundred input/output signals, a situation that heightens the difficulty of connecting the entire model. In addition, because signals are added or deleted every time the logic is updated, it is an enormous task to change and manage the connections.

Task scheduling has traditionally involved executing one calculation among several times for a single task, resulting in examples of tasks that have cycles several times larger. In multitasking using Matlab/Simulink, the timing for updating variables may differ.

### 2.2 New method for constructing MILS

In order to resolve the issues mentioned in section 2.1 above, MILS is configured as shown in Fig. 2 using the following method.

#### (1) Use of Data Stores for signal connections between functions

Functions are connected via Data Stores, not by direct connections, which shortens the time for connecting them. This creates a condition that enables the Simulink compiler and simulation to be run even if there are connection inconsistencies between components. As a result, it is also easy to detect multiple updates and disconnections in Simulink.

In addition, because direct connections are unnecessary with this method, the order of executing functions can easily be changed. It is expected to be useful in studying



各関数 (Subsystem) とその入出力の Data Store Read/Write ブロックを各 Function Call Subsystem 下に置き、Stateflow からのトリガーにて実行させる。

Simulink のマルチタスク機能では実現できない実行順序でも、Function Call と Data Store Memory の組合せにより、演算が可能になる。

### 3) EEPROM 挙動の再現

EEPROM に格納すべき変数は、シミュレーション前後にワークスペース変数とのデータ交換を行う。

これにより、複数ドライビングサイクルに跨るテスト時に、内部信号 (Unit Delay 等の状態値) はリセットし、格納すべき変数は保持することができ、EEPROM の動作を再現させる。

## 2.3 MILS 動作確認

今回構築した MILS とベース HILS の動作を比較し、Fig. 3 のように、ほぼ一致した結果を得られた。

Closed Loop シミュレーションの場合、同じテストパターンを実施しても Loop の中に HILS のように実ハード (ソレノイド等) を使用している場合、同一の結果を得ることが難しいが、MILS は同一の結果を確実に取得することができるため、結果の一致性が重要となる回帰テストに有利である。

## 3. 分散コンピューティングを用いた検証手法構築

ここでは、MILS でのシミュレーション実行時間短縮に対する、ロジック検証における対策を述べる。

ロジック検証では、多くのテストパターンを実行する必要がある。そのため、シミュレーション自体の実行速度を上げることより、多くのテストパターンを同時に演算する方が高い効果が得られると考え、総実行時間での短縮に取り組んだ。

複数のシミュレーションを同時に実行するために、多くの PC 及び Matlab/Simulink ライセンスを使用するのでは、HILS を同数導入する事と比較して安価ではあるとしても、導入コストとしては高い。

そのため今回は、少ない PC 及び安価なライセンスで並列演算を実行できるマルチコアを利用した分散コンピューティングによる手法を構築した。

本手法により、総計算時間短縮による統合検証の効率化、回帰テストによる意図外のバグ検知を可能とする。

restructurings and the input/output signals of each component.

### (2) Task scheduling using Stateflow

Task calls identical to the actual code were created using Stateflow. Each function and respective Data Store Read block (input), respective Data Store Write block (output) are placed inside Function Call subsystem. Their execution is triggered from Stateflow. The combination of Function Call and Data Store memory enables computations even for an order of execution that cannot be accomplished with Simulink's multi-tasking functionality.

### (3) Reproduction of EEPROM behavior

The variables to be stored in an EEPROM exchange data with the workspace variables before and after a simulation. This enables the values of internal signals (e.g., state values of Unit Delay, etc.) to be reset in tests that extend across multiple driving cycles, maintain the variables to be stored and reproduce the behavior of the EEPROM.

## 2.3 Confirmation of MILS behavior

A comparison was made of the behavior of the MILS constructed in this project and that of the baseline HILS. As shown in Fig. 3, the results obtained nearly coincided.

In a closed-loop simulation, it is difficult to obtain the same results in an identical test if the actual hardware (e.g., solenoid, etc.) is included in the loop as in the case of HILS. Because identical results can be reliably obtained with MILS, it is advantageous for conducting regression tests that emphasize consistency of the results.

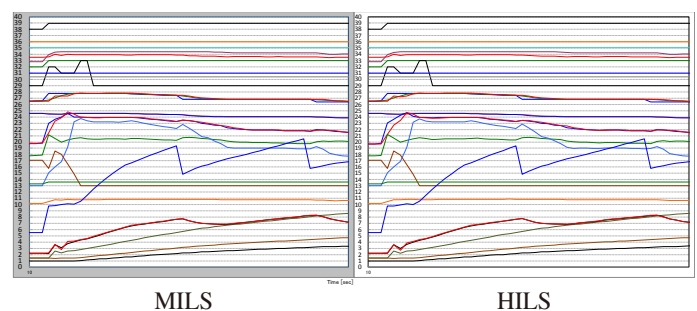


Fig. 3 Comparison of MILS and HILS results

## 3. Development of a validation method using distributed computing

This section describes a measure for shortening the execution time of a MILS simulation for validating control logic.

### 3.1 分散コンピューティング手法

上述の手法をFig. 4のようなJOB管理サーバー兼並列処理PCと複数の並列処理用PCを用いた環境を構築し、実現した。

Fig. 4に示す分散処理の実行順は下記ようになる。

1. クライアントからFig. 5に示すGUIにてサーバー側に指示, MILS/テストパターン/過去の結果をコピー
2. サーバーから各PCにデータとJobを送信
3. 各PCのコアごとに演算を実施
4. テストパターンを読み
5. シミュレーション開始
6. 内部信号含む全信号を取得, 保存
7. 前回同一パターンでの出力結果と全信号にて比較 (定義されたテストの回数分, 3に戻る)
8. 各PCの計算終了後, サーバーに全結果をコピー
9. 全結果にてSubsystemごとのカバレッジ計測
10. クライアントPCに結果をコピー

### 3.2 分散コンピューティングの結果

MILS単体でのシミュレーションは, 実時間の約18倍かかるが, 複数PCに分散して128コアにて計算させることで, 総計算時間としては約1/5の結果が得られた。

これは例えばHILS 1台で実行すると2日間(48時間)かかる検証の場合, 9.6時間で結果が出る計算である。

理論的には, 1/7の時間で出来ると考えられるが, 各PCへのデータ転送, 1コア毎での並列演算によるCPUへの負荷増加により, 演算時間が延びたと推定される。

### 3.3 分散コンピューティングに向かない検証

シミュレーション自体は高速化していないため, 長時間のテストパターンが多数存在する場合, 本分散手法では効率が上がらない。

しかし, ロジック検証ではそれほど長時間のパターンは必要ないため, 十分な効果を出せると考えられる。

## 4. まとめ

構築時間を短縮するため, 結線をせずともMILSを構築する手法を確立できた。これにより, 信号の変更・確認等が容易に可能にもなった。

さらに, 実行時間を短縮するために上記で作成した

Many test patterns must be executed in a validation exercise of control logic. It was reasoned that computing many test patterns simultaneously would be much more effective than increasing the execution speed of the simulation itself. Accordingly, an effort was made to shorten the overall simulation execution time.

In order to run multiple simulations simultaneously, many PCs and Matlab/Simulink licenses would be used. While that would be cheaper than implementing the same number of HILS systems, the implementation cost would still be high.

Therefore, a distributed computing method was developed using a multicore system to facilitate parallel computing with a small number of PCs and inexpensive licenses. This method increases the efficiency of integrated validation by shortening the overall execution time and also enables detection of unintended bugs through regression testing.

### 3.1 Distributed computing method

The method described above was used to construct an environment as shown in Fig. 4 consisting of a job management server plus parallel processing PC and multiple PCs for parallel processing. The order of execution of the parallel processing shown in Fig. 4 is as follows:

1. From the client PC, the user operates the GUI shown in Fig. 5 to instruct the server to copy the MILS, test patterns and past test results.
2. The server sends the data and a job to each PC.
3. The core CPU of each PC performs computations.
4. Test patterns are read.
5. The simulation is initiated.
6. All signals, including internal ones, are obtained and saved.
7. A comparison is made with the results output of the previous time for the same test pattern and for all the signals. (The process returns to step 3 the number of times defined for the test.)
8. After each computer has finished its computations, all the results are copied to the server.
9. The coverage of each subsystem is measured for all the results.
10. The results are copied to the client PC.

### 3.2 Effect of distributed computing

Executing simulations at the MILS level would take approximately 18 times longer than real time. However, distributing the processing among multiple PCs and

MILSモデルを活用し、多くのテストパターンを効率的に検証できる手法も構築でき、総計算時間を約1/5に短縮の結果が得られた。

今後は、シミュレーションごとの並列のみでなく、モデル内での並列処理化技術を構築することで、MILSシミュレーション自体の高速演算化も実現し、さらなる検証時間の短縮を実現していきたい。

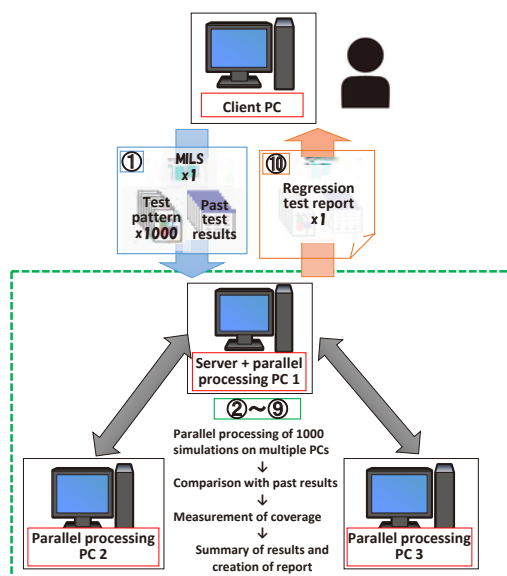


Fig. 4 Configuration of distributed computing system and processing example

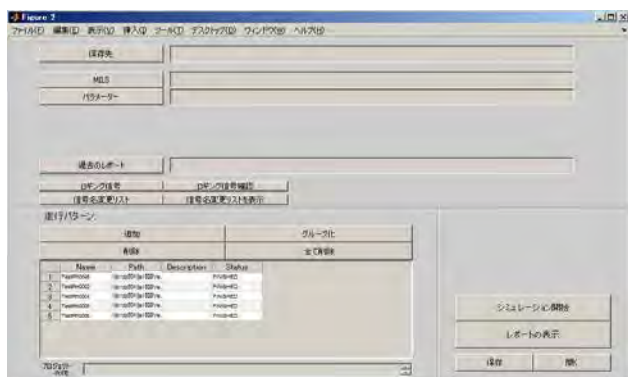


Fig. 5 GUI for client PC

performing the computations with 128 cores reduced the overall computational time to approximately 1/5 of that. This means, for example, that for computations which would take two days (48 h) to run on one HILS computer, the results can be computed in 9.6 h.

Theoretically, it is thought that the computations might be done in 1/7 of the time. It is inferred that the computational time increased due to data transfer to each PC and the increased load put on the CPU due to parallel processing by each core.

### 3.3 Validation not conducive to distributed computing

Because the speed of the simulation itself is not increased, this distributed computing method does not improve efficiency when there are multiple test patterns requiring a long time to execute. However, we believe this method is sufficiently effective for control logic validation which does not require the execution of test patterns that are so long.

## 4. Conclusion

For the purpose of shortening the time needed to construct a simulation, a method was established for creating a MILS simulation that does not involve time-consuming connections. Consequently, this method also makes it easy to change and confirm signals, among other tasks.

In addition, for the purpose of reducing the simulation execution time, a method was also established for efficiently validating many test patterns using the MILS model thus created. This method shortened the overall computational time to approximately 1/5.

In future work, we want to develop the technology for parallel processing within the model rather than processing each simulation in parallel, in order to achieve high-speed computation of the MILS simulation itself and thereby further shorten the validation time.

■ Authors ■



Ryohei FUJITSUKA



Daisuke HARADA



Yuki BABA

# シミュレーションによる診断通信ソフトウェアの設計品質の向上

Simulation-based improvements in diagnostic communication software design quality

金 泰衡\*  
Taehyong KIM

崔 承桓\*  
Seunghwan CHOI

畑島 耕一\*  
Kouichi HATAJIMA

鄭 恩石\*  
Eunseok CHUNG

**抄 録** 診断通信は車の各種コントローラと外部の診断ツールとの間の情報交換ができる主な手段であり、各完成車メーカ（以下、OEM）はそれぞれの独自の診断通信仕様に合わせた診断通信ソフトウェアの開発を要求している。

診断通信はコントローラと診断ツール間の通信であるため、ソフトウェアを開発した後にコントローラ実機に搭載してから診断ツールと実機通信で設計検証を行う方法が一般的であった。しかし、この方法では開発プロセス上で設計仕様の潜在的な欠陥の検出が開発後期になってしまう。そこで、診断通信のシミュレーションシステムを構築して診断ツールとの通信をあらかじめ確認し、診断ツールの動作を考慮して設計検討する方法を構築した。

**Summary** Diagnostic communication is the principal method capable of exchanging information between various controllers on board a vehicle and an offboard diagnostic tool. Vehicle manufacturers (OEMs) require the development of diagnostic communication software compatible with their own diagnostic communication specifications.

Because diagnostic communication takes place between an onboard controller and a diagnostic tool, the general approach has been to develop the software, embed it in an actual controller and conduct communication with an actual diagnostic tool to validate the software design. However, with this approach some potential faults in the design specifications that occur during the development process are not detected until after the development period. Therefore, a system for simulating diagnostic communication was built for advance confirmation of communication between an onboard controller and a diagnostic tool and a method was developed for studying the software design by taking the operation of the diagnostic tool into account.

## 1. はじめに

近年、ISO26262の導入を筆頭に自動車業界におけるシステムセーフティ強化のニーズはますます高くなっている。

また、パワートレインの高機能化に伴い診断通信機能の高機能化もOEMから求められる一方で、開発期間の短縮を同時に求められている。

このような状況にあって、従来の診断通信用ソフトウェア開発においては下記のような問題を発生させるリスクを有している。

- 要求仕様書に全ての通信ケースを記載していない場合があり、実機検証まで仕様不備が発覚しない

## 1. Introduction

The need to strengthen vehicle system safety in the automotive industry has been rising increasingly in recent years beginning from the implementation of ISO 26262 (Road Vehicles –Functional Safety).

Vehicle manufacturers are also requiring enhancement of diagnostic communication functionality accompanying higher powertrain performance, while at the same time they are requesting shorter development lead times.

Amid these circumstances, there is a risk that the following problems may occur in the conventional development process for diagnostic communication software.

\* ジャトコ 韓国エンジニアリング社 制御開発室  
Control System Development Office, JATCO Korea Engineering Corp.



- 要求仕様実装後のコントローラ実機と診断ツール実機とを用意して検証を行うため、不具合発覚からソフトウェア変更まで短期間で対応が求められる

このようなリスクを回避するため、診断通信シミュレーションシステムを構築し、設計構想フェーズにおける欠陥の早期検出を可能としたい。(Fig. 1)

なおかつシミュレーションにより、実機コントローラでは実現できなかった例外動作時(メモリ素子異常、等)の検証の効果も期待できる。

そこで、本論文では診断通信システムの一部または全体をシミュレーションして設計仕様を検討する方法とそれにより得られる効果について紹介する。

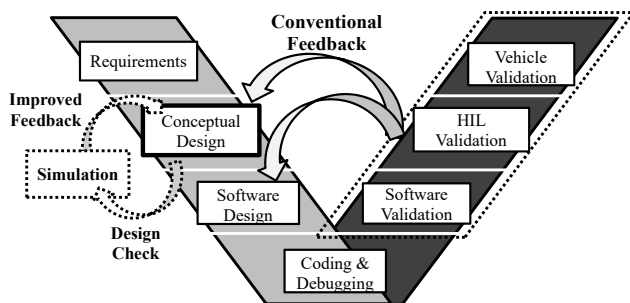


Fig. 1 Improvements on software process by simulation method

## 2. 診断通信シミュレーションシステムの構築

一般的な診断通信は診断ツールと対象となるコントローラとの通信で、診断通信プロトコルに定めているフォーマットに従って、診断通信における要求と応答を行い、診断情報をやり取りすることである。(Fig. 2)

ここでは、コントローラ(または、診断ツール)の代わりにサービス応答(または、要求)をするプログラムを作成して、診断通信のシミュレーションが可能なシステムを構築する方法について記述する。

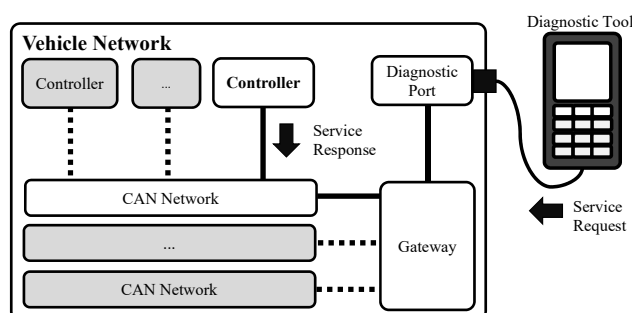


Fig. 2 General diagnostic communication

- There are times when not all communication cases are written in the required specification documents, and such specification deficiencies are not discovered until the validation phase using actual hardware.
- After the required specifications have been incorporated in the software, the actual controller and diagnostic tools are prepared and validation is undertaken. There is a need to shorten the time from the discovery of the specification deficiencies to the revision of the software.

In order to avoid these risks, building a simulation system for diagnostic communication can enable prior detection of some design defects at the stage of conceptual design (Fig. 1).

It is also expected that simulation will be effective in validating exceptional case behavior, such as a memory failure, that hardly be generated with an actual controller.

This article presents a method for examining design specifications by simulating part or all of a diagnostic communication system and describes the benefits obtained with this simulation method.

## 2. Construction of diagnostic communication simulation system

Diagnostic communication generally refers to communication between a diagnostic tool and a target controller. Diagnostic information is exchanged by means of a service request and a service response according to the format determined by the diagnostic communication protocol (Fig. 2).

Here we will describe a method for constructing a system capable of simulating diagnostic communication by creating a program that transmits a service response (or a service request) in place of a controller (or a diagnostic tool).

### 2.1 Configuration of simulation system

The diagnostic communication simulation system mainly consists of a target device, simulation program and a network. The simulation program is software that was created to run on a PC and consists of the diagnostic communication protocol (ISO 15765-4) logic, application logic and simulation settings. The application logic functions to calculate the information to be transmitted according to the simulation settings and to exchange diagnostic frames through the diagnostic protocol logic.

## 2.1 シミュレーションシステムの構成

診断通信のシミュレーションシステムは大きく「ターゲットデバイス」、「シミュレーションプログラム」および「ネットワーク」で構成される。

シミュレーションプログラムはパソコン用で作成したソフトウェアで、診断通信プロトコル(ISO 15765-4)ロジック、アプリケーションロジックとシミュレーション設定で構成されている。アプリケーションロジックはシミュレーション設定に従って送信情報を算出し、診断プロトコルロジックを通じて診断フレームの送受信を行う。

シミュレーションプログラムとターゲットデバイス(コントローラもしくは、診断ツール)との実機CAN通信のため、汎用CANインタフェースでシミュレーションシステムを構成した。

Fig. 3にターゲットデバイスとシミュレーションプログラム間のシミュレーションシステム構成を示す。

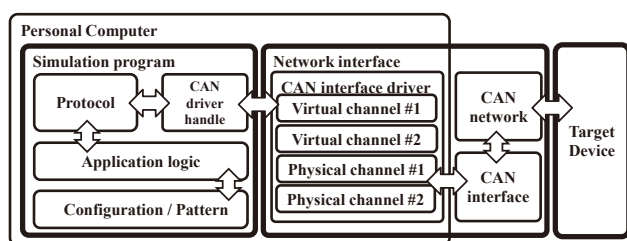


Fig. 3 Diagnostic communication system for simulation

## 2.2 コントローラのシミュレーションメカニズム

診断ツールでユーザーが操作を行うと、ユーザーの要求はサービス要求として診断ツールの中に定義されている要求フレームに変換(Encoding)されてCANネットワークに送信される。CANネットワークに送信された要求フレームはパソコンに接続されているCANネットワークインタフェースを通じてシミュレーションプログラムに伝達される。伝達された要求フレームはシミュレーションプログラムの診断プロトコルロジックにより、還元(Decoding)されて、要求サービス情報のみがアプリケーションロジックに渡される。アプリケーションロジックはシミュレーション定義データから要求サービスに当たる応答情報を算出し、診断プロトコルロジックより変換(Encoding)された応答フレームはCANインタフェースを通じてCANネットワークに返される。応答フレームは診断ツールにより取得され、その結果をユーザーが確認することで、実機コントローラが開発され

A general-purpose CAN interface was used to configure the simulation system for communication between the simulation program, and target device (controller or diagnostic tool) through the actual CAN network. Fig. 3 shows the configuration of the simulation system between the target device and the simulation program.

## 2.2 Simulation mechanism of controller

When a technician performs an operation with a diagnostic tool, the person's request is encoded as a service request in a request frame defined in the diagnostic tool and sent through the CAN network. The request frame is transmitted to the simulation program through the CAN network and the network interface, which is connected to a PC. The transmitted request frame is decoded by the diagnostic protocol logic of the simulation program and the service request information alone is transferred to the application logic. From the simulation definition data, the application logic calculates the response information corresponding to the service request. The response frame is encoded by the diagnostic protocol logic and returned to the CAN network through the CAN interface. The diagnostic tool then obtains the response frame and the user confirms the result. This enables the operation of the diagnostic tool to be confirmed in each separate scenario of diagnostic communication under a condition where the actual controller has not been developed yet (Fig. 4).

## 2.3 Simulation mechanism of diagnostic tool

Simulation of a diagnostic tool is done in the opposite way of the foregoing procedure. This is done by sending a predefined request frame from the simulation program to an

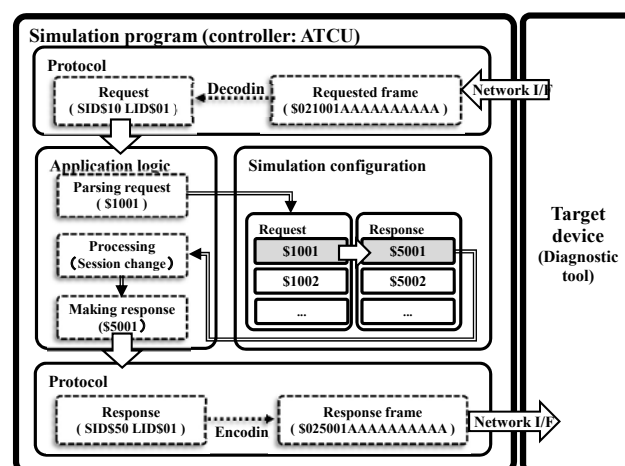


Fig. 4 Flow of simulation program for controller

ていない状況で診断通信の各シナリオ別の診断ツールの動作確認が可能となる。(Fig. 4)

### 2.3 診断ツールのシミュレーションメカニズム

診断ツールのシミュレーション時は前述とは逆であり、シミュレーションプログラムから事前に定義されている要求フレームを実機コントローラに送信して、応答フレームを受信した結果を確認することで可能となる。(Fig. 5)

実機診断ツールが無い場合、設計要求から想定した要求フレームをコントローラに送って、応答フレームを診断ツールの観点で確認することが可能であり、コントローラの診断通信ソフトウェア動作の検証に効果的に使える。

なおかつ診断ツールとコントローラ両方が無い状態でもバーチャルCANネットワークを通じてシミュレーション間の仮想通信が可能であり、診断通信システム全体をシミュレーションすることも可能になる。(Fig. 6)

## 3. シミュレーションによる設計検証

### 3.1 コントローラのシミュレーションによる設計改善

コントローラ側のUDSプログラミングの設計仕様をコントローラが通常時と異常時の2ケースでシミュレーションプログラムに設定して、シミュレーションによる設計検証を実施した。

Fig. 7にコントローラのUDSプログラミング仕様のシミュレーション時のシステム構成を示す。

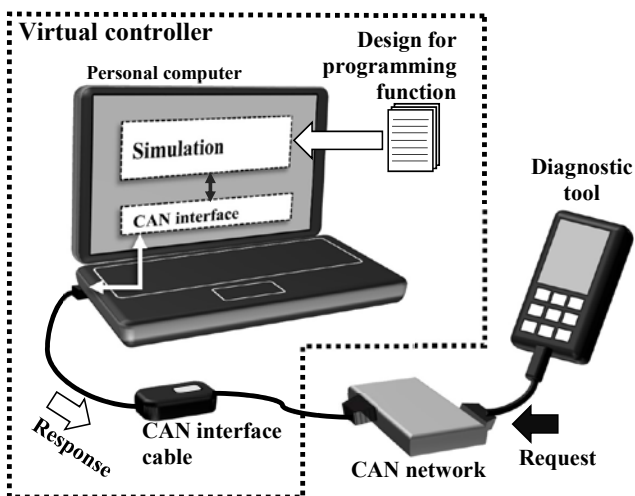


Fig. 7 System for simulating diagnostic communication of controller

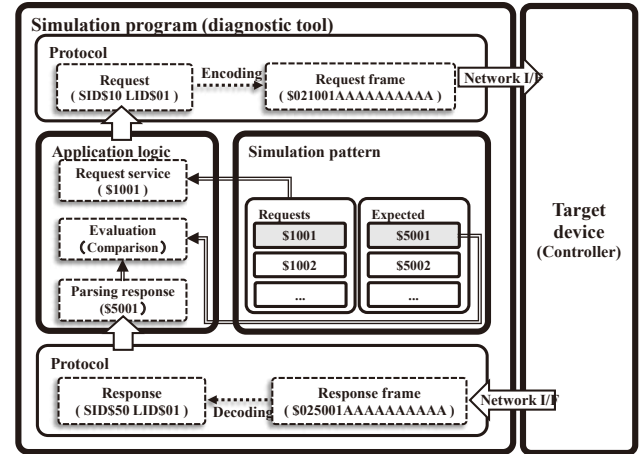


Fig. 5 Flow of simulation program for diagnostic tool

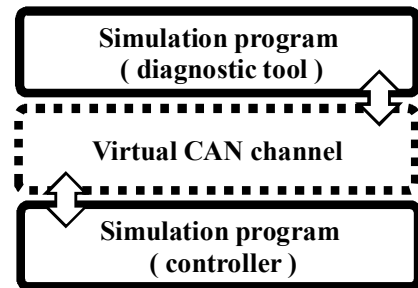


Fig. 6 Simulation system for full simulation

actual controller and confirming the result of the response frame received (Fig. 5).

If there is no actual diagnostic tool, a request frame implemented from the design requirements is sent to the controller and the response frame is confirmed from the standpoint of the operation of the diagnostic tool. This can be used effectively in validating the operation of the diagnostic communication software embedded in the controller.

In cases where there is neither a diagnostic tool nor a controller, virtual communication can also be simulated between the two via a virtual CAN network. It is also possible to simulate an entire diagnostic communication system (Fig. 6).

## 3. Design validation by simulation

### 3.1 Design improvement by controller simulation

The design specifications of the UDS programming for the controller were defined in the simulation program for two cases, i.e., normal and abnormal operation of the controller, and a simulation was run to validate the design.

## ① 通常時のUDSプログラミングケース

## ② 異常時のUDSプログラミングケース

①ケースのシミュレーション設定でUDSプログラミングを診断ツール側で実行して、プログラミングが問題なく完了されるかを確認することで設計仕様(通常ケース)の欠陥有無が確認できる。

Fig. 8にシミュレーションでプログラミングを実施したとき、診断ツールから確認されるエラーにより設計欠陥を検出するイメージを示す。

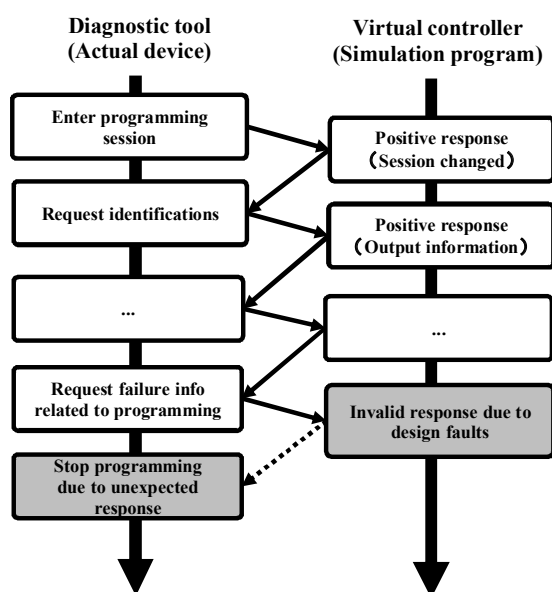


Fig. 8 Detection of software design fault for normal UDS programming simulation

それに加えて、②ケースで実機コントローラでは容易に実現できない例外ケースをあえて発生させることで、診断通信においてコントローラからの異常応答(否定応答など)が実機診断ツールにどのように影響を与えているか確認ができる。

Fig. 9にコントローラのメモリ素子異常の発生を想定してシミュレーションした時、診断ツールからプログラミングが禁止されるため、プログラミング要求を拒否する機能が無用になることを設計時に確認できるケースを示す。

従来は診断通信ソフトウェアの設計時に前述の2つのケースのような実機診断ツールとの相互動作確認ができなかったが、前述のようにシミュレーション方法で可能になり、仕様書だけに依存した単一的な設計から脱皮して、診断ツールの動作まで考慮した設計が可能になった。

Fig. 7 shows the system configuration for simulating the UDS programming specifications of the controller.

(1) UDS programming case for normal controller operation

(2) UDS programming case for abnormal controller operation

In the simulation defined for case (1), the UDS programming was run on the diagnostic tool and it was confirmed whether the programming was completed without any problem. If so, that confirmed there were no defects in the design specifications (normal operation). Fig. 8 shows the flow of the programming done in the simulation. It indicates that design defects were detected because of errors confirmed by the diagnostic tool.

In addition, in case (2) an exceptional case was intentionally generated that an actual controller could not easily produce. The aim was to confirm the effect on an actual diagnostic tool of an abnormal response, such as negative response, from the controller in the diagnostic communication.

Fig. 9 shows a simulation that envisioned the occurrence of a memory failure in the controller. Because programming function was inactivated by the diagnostic tool due to memory failure, the function for rejecting a programming request became ineffective. This case shows that such behavior can be confirmed at the design stage.

Previously, when designing diagnostic communication software, it was not possible to confirm mutual operation between a diagnostic tool and a controller as in the two cases described here. However, as explained above, the new simulation method makes this possible, enabling design that takes into account even the operation of the diagnostic tool. This enables a break with single-piece design that has depended solely on the specification documents.

In the programming examples confirmed in this study, the programming time in the simulation was 2 min. 8 sec. Following the development of the software, the time confirmed with an actual controller was 1 min. 21 sec., a difference of approximately 47 sec. During programming, a total of 109,745 diagnostic frames were transferred, whereas in the simulation program the number transferred was limited to 13,265 frames, corresponding to a delay of approximately 3.5 ms/frame. Compared with the timeout value (P2 server = 50 ms) for processing the response in the diagnostic communication protocol, that level of delay would not hinder the validation of the software design.



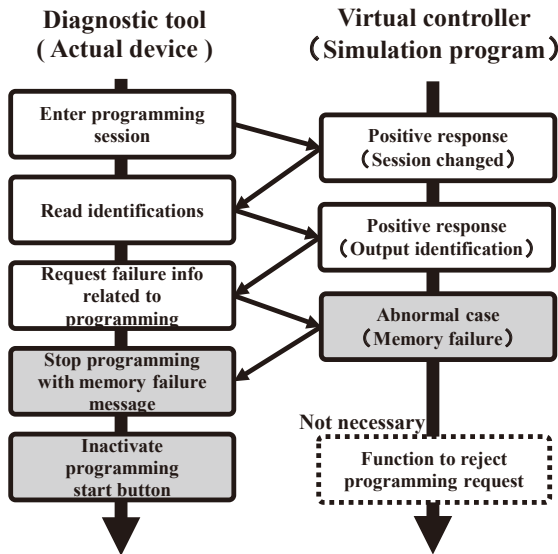


Fig. 9 Abnormal case simulation for checking behavior of diagnostic tool

本論文で確認したプログラミング事例ではシミュレーションによるプログラミング時間が2分8秒で、ソフトウェア開発後に実機コントローラで確認した時間である1分21秒と約47秒の差が確認された。プログラミング時、全109,745個の診断フレームが送受信されて、シミュレーションプログラムに限定すると13,265フレームが送信されたため、約3.5msec/frameの遅延に該当する。これは診断通信プロトコルの応答処理のタイムアウト値 (P2server = 50ms) に比べると設計検証には障害が無いレベルである。

結果的に診断通信の中でも高負荷で高複雑度の機能であるプログラミングについても、シミュレーションで設計検証が可能であった。

### 3.2 診断ツールのシミュレーションによる設計改善

OEMから診断ツールの提供ができない環境や診断ツールの開発が終わっていない環境で診断ツールをシミュレーションすることで、コントローラに実装する診断通信仕様を確認できる。

従来でも類似の方法を採用しているが、ここではバーチャルCANチャンネルに接続可能にすることで、シミュレーションされた仮想コントローラとの仮想の診断通信ができて、設計時に診断ツールとコントローラ間での診断通信のシナリオを通信ログレベルまで具体化することが可能である。

The results show that design validation by simulation is possible even for the programming function that involves heavy processing loads and high complexity in diagnostic communication.

### 3.2 Design improvement using a diagnostic tool simulation

The diagnostic communication specifications to be embedded in a diagnostic tool can be confirmed by simulation even under conditions where the OEM cannot provide the diagnostic tool or the development of the diagnostic tool has not been completed yet.

Similar methods were also adopted in the past. In this work, by making it possible to connect the simulation system to a virtual CAN channel, virtual diagnostic communication can be achieved with a simulated virtual controller. Diagnostic communication scenarios between a diagnostic tool and a controller can be specified to the level of the communication log at the time of design. However, because the design specifications of the diagnostic tool are not disclosed by the OEM, estimated specifications can only be defined in the simulation based on specifications of service requests to the controller. For that reason, the specific behavior may show differences with the actual diagnostic tool. Simulation can be applied for limited purposes such as detection of defects due to design error.

Fig. 10 shows the results obtained in the form of a communication log for a simulation scenario of combined operations including the conditions for each service and the routine processing time. This simulation was conducted in an environment without an actual diagnostic tool and a controller and was based on design specifications of data identifier \$0001 and routine identifier \$0001. It was confirmed that the results of the envisioned diagnostic communication can easily be obtained based only on the design specifications even in an environment where the actual hardware has not been prepared yet.

## 4. Benefits of diagnostic communication simulation

As explained above, the diagnostic communication specifications of UDS programming were simulated under a condition without an actual controller. Advance confirmation was made of whether the design specifications posed any problems for mutual operation with the actual diagnostic tool. That enabled detection of any potential flaws in the design specifications.

ただし、診断ツールの設計仕様はOEMから開示されないため、シミュレーションはコントローラへの要求仕様に基づいて推定仕様で設定するしかない。そのため具体的な動作は実機診断ツールと差異があり得、設計ミスによる欠陥の検出などの限定的な目的で適用できる。

Fig. 10に実機診断ツールとコントローラが存在しない環境で仮想Data Identifier \$0001とRoutine Identifier \$0001の設計仕様ベースでシミュレーションを実施し、各サービスの条件とRoutine処理時間などを含めた複合的な動作シナリオを通信ログとして取得した結果を示す。

結果的に実機が用意されない環境でも設計仕様のみに基づいて予想される診断通信の結果を容易に取得することが可能となった。

#### 4. 診断通信シミュレーションの効果

前述の通り、実機コントローラが無い状態でUDSプログラミングの診断通信仕様をシミュレーションして設計仕様を実機の診断ツールとの相互動作に問題ないかをあらかじめ確認することで、設計仕様の潜在的な欠陥の検出ができた。

診断ツールへの応答を確認しながら設計することが可能となることで、実機では実現が難しい例外ケースを強制的に発生させて、診断ツールの例外ケースの動作を考慮した設計が可能となった。

それに加え、診断ツールも同時にシミュレーションすることにより、予想される診断通信システム全体を仮想的に構築ができ、診断通信ソフトウェアの設計時に実機通信イメージを予め確認しながら設計することができた。

#### 5. 結論

診断通信ソフトウェアの設計時、シミュレーション方法で実機が無い状況でも診断ツールとコントローラの相互動作を事前確認ができて、設計品質が向上することが期待できる。

コントローラに求められる要求仕様に限らず、診断ツールの動作まで確認しながらソフトウェアを設計することができて、診断通信システムの観点で設計が可能となった。

```

1 107.212000 PATTERN : FullSimTest
2 107.212000 <TEST000> ReadDataByIdentifier-DummyDID
3 107.181000 1 7E1 Rx d 8 03 22 00 01 FF FF FF FF
4 107.181000 1 7E9 Rx d 8 10 22 62 00 01 01 02 03
5 107.181000 1 7E1 Rx d 8 30 00 00 FF FF FF FF
6 107.182000 1 7E9 Rx d 8 21 04 05 06 07 08 09 0A
7 107.182000 1 7E9 Rx d 8 22 0B 0C 0D 0E 0F 10 11
8 107.182000 1 7E9 Rx d 8 23 12 13 14 15 16 17 18
9 107.182000 1 7E9 Rx d 8 24 19 1A 1B 1C 1D 1E 1F
10 107.433000 <TEST001> StartProgrammingSession
11 107.402000 1 7E1 Rx d 8 02 10 02 FF FF FF FF
12 107.403000 1 7E9 Rx d 8 02 50 02 FF FF FF FF
13 107.620000 1 7E1 Rx d 8 04 31 01 00 01 FF FF FF
14 107.620000 1 7E1 Rx d 8 04 31 01 00 01 FF FF FF
15 107.651000 <TEST002> RoutineControl - DummyRoutineForTest (Success)
16 107.636000 1 7E9 Rx d 8 03 7F 31 78 FF FF FF
17 108.151000 1 7E9 Rx d 8 03 7F 31 78 FF FF FF
18 108.665000 1 7E9 Rx d 8 03 7F 31 78 FF FF FF
19 109.180000 1 7E9 Rx d 8 03 7F 31 78 FF FF FF
20 109.695000 1 7E9 Rx d 8 03 7F 31 78 FF FF FF
21 110.210000 1 7E9 Rx d 8 03 7F 31 78 FF FF FF
22 110.631000 1 7E9 Rx d 8 05 71 01 00 01 00 FF FF
23 110.865000 <TEST003> StartDefaultSession
24 110.838000 1 7E1 Rx d 8 02 10 01 FF FF FF FF
25 110.838000 1 7E9 Rx d 8 02 50 01 FF FF FF FF
26 111.114000 <TEST004> RoutineControl - DummyRoutineForTest (Fail)
27 111.084000 1 7E1 Rx d 8 04 31 01 00 01 FF FF FF
28 111.084000 1 7E9 Rx d 8 03 7F 31 31 FF FF FF
29 [EOF]

```

Fig. 10 Log of CAN communication generated by full simulation

Because simulation makes it possible to proceed with the design while confirming the service response to the diagnostic tool, exceptional cases can be forcibly generated that cannot be produced with the actual hardware. This now enables exceptional cases of diagnostic tool behavior to be factored into the design.

In addition, a fully simulated virtual diagnostic communication system can be built by simulating both onboard controller and offboard diagnostic tool at the same time. This makes it possible to design while confirming the actual communication of the designed diagnostic software in advance even without any actual hardware.

#### 5. Conclusion

The mutual behavior of the diagnostic tool and the controller can be confirmed in advance by the simulation method described here under a condition without the actual hardware when designing the diagnostic communication software. It is expected that this will contribute to improving design quality.

The software can be designed while confirming not only the specifications required of the controller but also the behavior of the diagnostic tool. This capability enables the software to be designed from the perspective of the entire diagnostic communication system.

## 6. 参考文献/References

- (1) ISO 14229-1, Road vehicles — Unified diagnostic services (UDS) — Part 1: Specification and requirements
- (2) ISO 15765-2, Road vehicles — Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) — Part 2: Transport protocol and network layer services
- (3) ISO 15765-4, Road vehicles — Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) — Part 4: Requirements for emissions-related systems

### ■ Authors ■



Taehyong KIM



Seunghwan CHOI



Kouichi HATAJIMA



Eunseok CHUNG

# トルコンバータのステータ表面改善(ディンプル化)による流体性能の向上

Improvement of torque converter hydrodynamic performance through addition of dimples to improve stator blade surface

尹 廷碩\*  
Jungsuk YOON

遠藤 雅亜\*\*  
Masatsugu ENDO

松尾 道憲\*\*  
Michinori MATSUO

中尾 憲吾\*\*  
Kengo NAKAO

**抄 録** 昨今、車両衝突安全や燃費改善対応の軽量化のため、部品の小型化要求が高まっている。

一方、トルクコンバータは、燃費改善を目的としたロックアップ領域拡大に対応するため、高減衰ダンパーの採用などで部品の追加が求められており、サイズアップする傾向である。

そのため、流体部品を小型化しつつ、要求を満足する性能の達成が必要となる。

本稿では、流体性能に影響するステータ表面にディンプルを付与し、CFDによる簡易流れ分析で表面改善の効果を算出し、実験で効果を検証した事例を紹介する。

**Summary** There have been stronger demands in recent years for the downsizing of parts to improve vehicle collision safety and to lighten the vehicle weight for better fuel economy. Meanwhile, the torque converter has tended to increase in size owing to the addition of parts such as high attenuation dampers needed to enable expansion of the lockup region for the purpose of improving fuel economy. Accordingly, torque converter performance for satisfying such requirements must be attained while downsizing hydrodynamic parts.

This article presents an example of the application of dimples to the stator blade surface, which influences hydrodynamic performance. The effect of the surface improvement was calculated in a simple computational fluid dynamics (CFD) flow simulation and the effect was validated experimentally.

## 1. はじめに

昨今、トルクコンバータにおいて燃費向上を目的としてロックアップ領域拡大が求められている。

しかし、ロックアップ領域拡大の副作用として音振問題があり、その解決策として高減衰ダンパーの採用等が行われている。高減衰ダンパーは動吸振器やイナーシャ等を付けることによってサイズが拡大される傾向である。

一方、NCAP(衝突安全性)確保の観点から小型化要求もあり、ダンパーサイズ拡大分に対して流体トーラスの小型化が必要である。

但し、流体トーラスの小型化は流路面積の減少により流体性能が低下する問題があるため<sup>1)</sup>、本研究ではトルクコンバータのブレード表面を改善して小型化による流体性能の低下を抑える方策を研究したのでその結果を紹介する。

## 1. Introduction

Expansion of the torque converter lock-up region has been required in recent years for improving vehicle fuel economy. However, one side effect of expanding the lock-up region is noise and vibration problems. One of the measures being taken to resolve this issue is the adoption of high attenuation dampers. High attenuation dampers are tending to increase in size owing to the addition of a dynamic vibration damper or an inertia damper, among other devices.

Meanwhile, there is also a need to downsize the torque converter from the standpoint of satisfying New Car Assessment Program (NACP) requirements. The size of the fluid torus must be reduced commensurate with the increase in the damper size. However, downsizing the fluid torus reduces the area of the flow passage, which creates a problem in that hydrodynamic performance declines. Therefore, in this study, a method of improving the torque converter blade surface was researched as a way of

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

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



## 2. 簡易モデルによるCFD解析

### 2.1 研究対象

トルクコンバータはポンプインペラ、タービンランナ、ステータという3要素のブレードにより構成されて内部で油を循環させ、循環力をトルクに変換する機構であり、流体が循環する時、流体の流れを阻害する摩擦抵抗が各要素のブレード表面で発生する。

本研究では、ブレードの表面以外の形状は変わらないことを前提条件とし、ブレード表面へのディンプルを設けて摩擦抵抗を減少させ、流体性能向上を目指した。

表面改善の対象ブレードは製造性を考えて3種類のブレードの中でディンプル付与のための厚みを有するステータとした。

### 2.2 循環流速と流体性能の関係分析

流体性能の指標であるトルク容量係数( $\tau$ )は、式(1)によりポンプインペラトルク( $T_i$ )により決定され、 $T_i$ はステータ出口とポンプインペラ出口の角運動量の変化で表現できる(式(2))。式(2)で循環流速( $\beta$ )以外の諸元は、今回変わらないことが前提であり、定数とみなせるので式(2)を式(3)に整理すると、循環流速が増加することで $T_i$ が上がり、さらに、 $\tau$ を上げられることが分かる。<sup>2)</sup>

$$\tau = T_i / Ne^2 \quad (1)$$

$$T_i = \frac{\beta}{\chi_{12}} \left\{ \left( \rho_{12} - \frac{\beta \tan \alpha_{12}}{\chi_{12}} \right) \rho_{12} + \beta \frac{\tan \alpha_{32}}{\chi_{32}} \right\} \rho_{32} \quad (2)$$

$$T_i = A * \beta^2 + B * \beta \quad (3)$$

$\tau$  : トルク容量,  $\mu\text{Nm}/\text{rpm}^2$

$Ne$  : エンジン回転数, rpm

$T_i$  : ポンプインペラトルク, Nm

$\beta$  : 循環流速, m/s

$\rho$  : 半径比

$\alpha$  : 出口角度, rad

$\chi$  : 絞り率

suppressing the decline in hydrodynamic performance due to downsizing. This article presents the results obtained.

## 2. CFD simulation using a simple model

### 2.1 Object of research

A torque converter consists of three bladed elements, namely, the pump impeller, turbine runner and stator, which circulate fluid internally. The force of the circulation is converted to torque by the converter mechanism. During circulation of the fluid, frictional resistance occurs on the blade surface of each element to impede the flow of the fluid.

The aim of this study was to improve hydrodynamic performance by applying dimples to the blade surface to reduce frictional resistance, under the assumption that other shapes would not change. Among the three types of blades, stator blades were chosen as the target for surface improvement because of their sufficient thickness for dimple application and taking into account manufacturability.

### 2.2 Analysis of relationship between circulation flow velocity and hydrodynamic performance

The torque capacity coefficient ( $\tau$ ) is an index of hydrodynamic performance that is determined by the pump impeller torque ( $T_i$ ) as expressed in Eq. (1). As shown in Eq. (2),  $T_i$  can be expressed as the change in angular momentum between the stator exit and the pump impeller exit. It was assumed that all the specifications except the circulation flow velocity ( $\beta$ ) in Eq. (2) would not change and were regarded as constants. Accordingly, rearranging Eq. (2) as Eq. (3), it is seen that  $T_i$  increases with a higher circulation flow velocity and that  $\tau$  can also be increased.

$$\tau = T_i / Ne^2 \quad (1)$$

$$T_i = \frac{\beta}{\chi_{12}} \left\{ \left( \rho_{12} - \frac{\beta \tan \alpha_{12}}{\chi_{12}} \right) \rho_{12} + \beta \frac{\tan \alpha_{32}}{\chi_{32}} \right\} \rho_{32} \quad (2)$$

$$T_i = A * \beta^2 + B * \beta \quad (3)$$

$\tau$  : Torque capacity,  $\mu\text{Nm}/\text{rpm}^2$

$Ne$  : Engine revolution, rpm

$T_i$  : Pump impeller torque, Nm

$\beta$  : Circulating flow velocity, m/s

$\rho$  : Radius ratio

$\alpha$  : Outlet degree, rad

$\chi$  : Throttle ratio

### 2.3 摩擦抵抗と循環流速の関係分析

一般的なトルクコンバータを用いた一次元計算において、摩擦抵抗による損失を30%減らすことで、循環流速は5%の向上が見込める(Fig. 1).

### 2.3 Analysis of the relationship between frictional resistance and circulation flow velocity

In one-dimensional calculations for an ordinary torque converter, reducing the loss due to frictional resistance by 30% can be expected to increase the circulation flow velocity by 5% (Fig. 1).

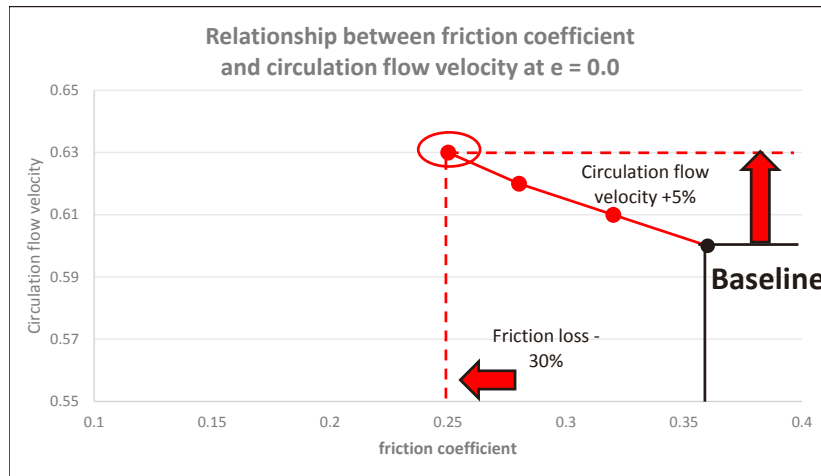


Fig. 1 Relationship between friction loss and circulation flow velocity

### 2.4 ブレード表面改善シミュレーションによる効果検討

ステータ表面にディンプルを付与すると、表層に渦流が生成される。この表層の渦流により仮想流線が作られ、摩擦抵抗低減が期待できる。<sup>3)</sup>

そのため、ステータ流路にディンプルを追加した簡易モデルを作成し、CFD解析によるディンプルの流速増加効果を確認した(Fig. 2)。解析の結果、摩擦抵抗の低減により剥離点が後退して流速が9.1m/sから10.7m/sとなり、17.6%向上した(Fig. 3)。

### 2.4 Simulation of the effect of improving the blade surface

Applying dimples to the stator blade surface would produce a vortex flow on the surface layer. It was hypothesized that the vortex flow on the surface layer would produce virtual streamlines that could be expected to reduce frictional resistance.

Therefore, a simple model was created that added dimples to the stator flow passage and the effect of the dimples on increasing the flow velocity was confirmed by conducting a computational fluid dynamics (CFD) simulation (Fig. 2). The simulation results showed that the flow separation point was moved backwards by reducing frictional resistance and that the flow velocity increased from 9.1 m/s to 10.7 m/s, an improvement of 17.6% (Fig. 3).

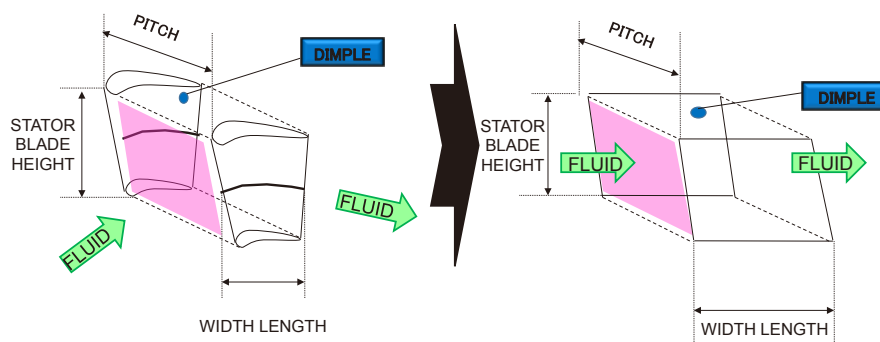


Fig. 2 Simple modeling of stator flow passage

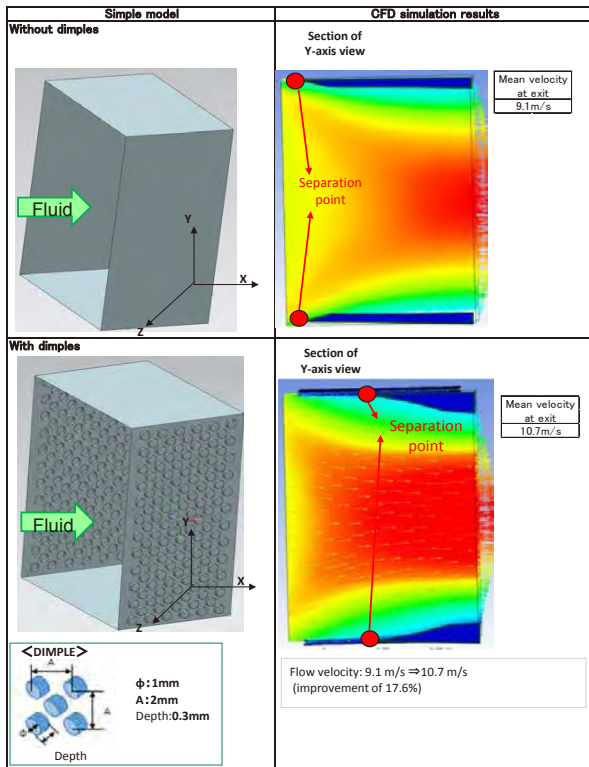


Fig. 3 Simple modeling and CFD simulation results

### 3. 実験検証の結果

簡易モデリングの効果を検証するため、実際のステータにディンプルを追加して流体性能を実測した (Fig. 4). 流体性能の実験結果、ディンプル有りの場合、トルク容量係数が低速度比 ( $e=0.0$ ) では 3.6% 増加し、高速度比 ( $e=0.8$ ) では 2.4% 増加した (Fig. 5).

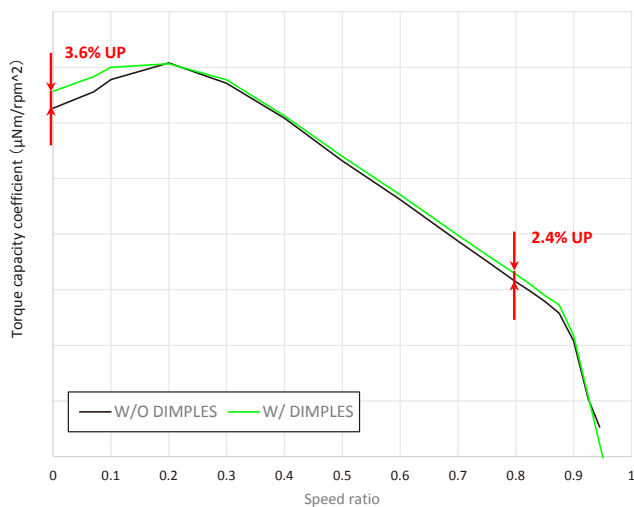


Fig. 5 Experimental hydrodynamic performance results for dimpled stator blades

### 3. Results of experimental validation

In order to validate the results obtained with the simple model, dimples were added to actual stator blades and hydrodynamic performance was measured experimentally (Fig. 4). The experimental hydrodynamic performance results revealed that the torque capacity coefficient with the dimpled stator blades increased by 3.6% at a low speed ratio ( $e = 0.0$ ) and by 2.4% at a high speed ratio ( $e = 0.8$ ) as shown in Fig. 5.

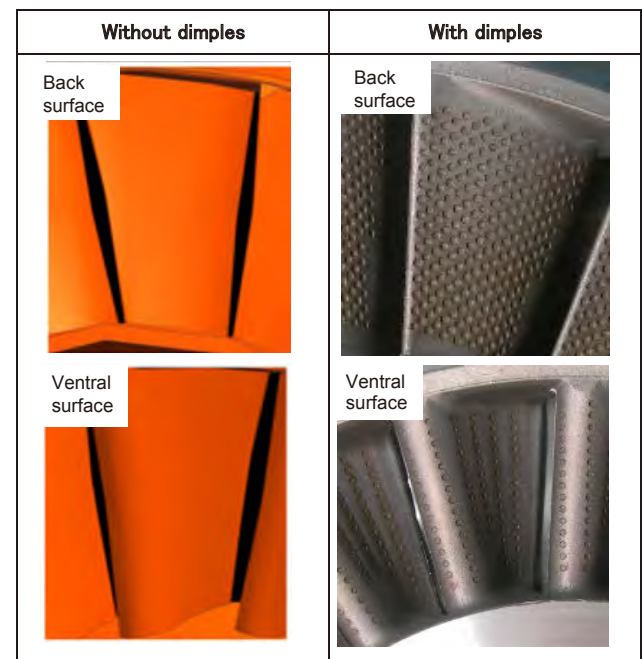


Fig. 4 Dimpled stator blades

### 4. Discussion

The expected effect obtained with the simple model was a 17.6% improvement in the flow velocity. The results calculated with Eqs. (1) and (3) predicted an improvement in the torque capacity coefficient of 14%, but the measured increase was limited to 3.6%. It is assumed that this difference from the simple model was due to the influence of the following factors.

- The effect was reduced because dimples were applied only to the stator blades of the test torque converter among the three types of blades.
- The simple model did not consider losses due to flow collisions. In the test torque converter, the flow velocity was reduced to the extent of the collision losses, so the effect on improving the torque capacity coefficient declined.

## 4. 考察

簡易モデルにおける期待効果は17.6%の流速増加であり、式(1)、(3)によりトルク容量係数は14%向上する予測であったが、3.6%の増加にとどまった。簡易モデル計算との差異は以下が影響したものと考えられる。

- 実機では3種類のブレードのうちステータのみにディンプルを付与したので、効果が減少した。
- 簡易モデルは衝突損失を考慮できていないため、実機では衝突損失分の流速低下が発生し、容量係数上昇の効果が減少した。

## 5. 結論

(1) ディンプル付与によるステータの表面改善の効果を実物で確認して流体性能が向上されることを検証できた。

(2) 本研究の成果から表面改善は小型化のための流路面積減少による性能低下抑制の手段となることが分かった。

ディンプル追加による性能向上の効果は本研究により検証できた。今後はディンプルの配置、大きさ、深さによる性能向上の効果の違いについて研究していきたい。

本研究にご協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表す。

## 5. Conclusion

(1) The effect of the surface improvement by applying dimples to the stator blades was confirmed experimentally, thereby verifying the improvement of hydrodynamic performance.

(2) The results of this study showed that blade surface improvement is an effective method for suppressing the performance decline due to the reduction of the flow passage area by downsizing.

The effect of adding dimples on improving performance was validated by this study. In the future, we plan to research differences in the effect on improving performance for different dimple locations, size and depth.

The authors would like to thank everyone concerned for their valuable cooperation with this study.

## 6. 参考文献/References

- (1) SAE, Design Practices : Passenger Car Automatic Transmission Forth edition, pp2-56, Lubrizol, 2012
- (2) W.Choi, "A Study on Hydrodynamic Performance with a Variance in the Torus Shape of a Torque Converter", KSAE, 2009
- (3) H.Choi, "Development of Flow Design Technology Using Bio-Mimetics", Seoul University, 2011

■ Authors ■



Jungsuk YOON



Masatsugu ENDO



Michinori MATSUO



Kengo NAKAO





# CVT市場修理費用低減の取り組み

Activities for reducing CVT field repair costs

吉村 実\*  
Minoru YOSHIMURA

有松 正夫\*  
Masao ARIMATSU

古屋 雅之\*  
Masayuki FURUYA

岸川 史\*  
Fumihito KISHIKAWA

**抄 録** 製品が万一市場で当初の性能を保てなくなった場合、「早く」「安く」「確実に」に修理することが求められる。「早く」「確実に」には当然のことながら、「安く」修理することはエンドユーザさまの経済的負担の観点から、特に重要なポイントである。

当社では従来、AT/CVTのユニット交換修理に対し、新品ユニットより安価なりマン(RE-MANufacturing)ユニット、つまり再生生産ユニットを用いることで、市場における修理費用の低減を図ってきた。また、過去CVTについては市場での分解修理を認めてこなかったが、近年これを改め、部品・サブアセンブリ単位で性能を保てなくなった部位のみを適切に修理する(Appropriate Field Repair, 以下AFRとする)ことで安価に修理できる体制を整えてきた。

本稿では、このリマンとAFRの取り組みについて、CVTの事例をもとに紹介する。

**Summary** If it happens that a product can no longer maintain its initial performance, it has to be repaired quickly, inexpensively and reliably. While quickly and reliably are matters of course, repairing a product inexpensively is especially important from the standpoint of the economic burden to end users.

JATCO has traditionally used remanufactured units, which are less expensive than new ones, to deal with the replacement/repair of ATs and CVTs. This practice has reduced field repair costs. In the past, JATCO did not allow CVTs to be disassembled and repaired in the field. In recent years, this policy was changed to appropriate field repair (AFR) on the parts or sub-assembly level only for those parts that no longer maintain their performance. A system was put in place to facilitate inexpensive repairs on an AFR basis. This article describes remanufacturing and AFR activities along with presenting specific examples of these practices for CVTs.

## 1. はじめに

当社の主力商品であるCVTにおいては、従来市場での分解修理を認めてこなかった。そのため、何らかの理由で当初の性能を保てなくなった場合、ユニット全体を交換せざるを得ず、修理費用が高額となり、エンドユーザさまの負担となっていた。当社ではこれを解消することを目指し、各種取り組みを行っている。

## 2. 修理費用低減の取り組み概要

CVTにおける市場修理費用低減の取り組みの概要をFig. 1に示す。大きく部品費用低減の取り組みと、修理作業費用低減の取り組みに分けられる。

部品費用低減の取り組みは、CVT本体の交換修理の

## 1. Introduction

Previously, JATCO did not allow CVTs, the company's principal products, to be disassembled and repaired in the field. Consequently, the entire CVT had to be replaced in the event that it did not maintain its original performance for some reason. That made the repair cost an expensive burden to end users. The following activities have been undertaken with the aim of resolving this issue.

## 2. Overview of activities to reduce repair costs

Fig. 1 outlines the activities promoted to reduce CVT field repair costs. They are broadly divided into those for reducing service parts costs and those for reducing service labor costs.

Activities for reducing service parts costs are classified

\* アフターセールス部  
After Sales Department

場合と部品・サブアセンブリの交換修理の場合に分類される。CVT本体の交換修理においては、交換用のCVT本体の費用を低減する取り組みを行っており、その一つとして市場回収ユニットをもとに再生したリマンユニットがある。また、新品ユニットであるがトルクコンバータ(以下T/Cとする)を搭載していないT/Cレスユニットを供給することにより、交換用CVT自体の費用を低減する取り組みも行っている。この場合、T/Cは車両に搭載されていたものを再利用している。

部品・サブアセンブリの交換修理においては、コントロールバルブ(以下C/Vとする)、ベルト&プーリ(以下B&Pとする)、オイルポンプ、リダクションギヤなどのサブアセンブリ単位、あるいはセンサなどの単品部品の単位で特定の部位のみを交換し、修理に必要な部品費用の低減を図っている。この取り組みは、必要な部位のみ「適切に」修理するという意味合いから、AFRと呼んでいる。

修理作業費用低減の取り組みには、修理手順の改良、修理工具の改良がある。これらは手順や工具を改良することにより修理作業にかかる時間を短縮し、費用の低減を図るものである。

以下、これまでの市場修理費用低減の取り組みにおいて主要な部分を占める、リマンとAFRについて詳細を説明する。

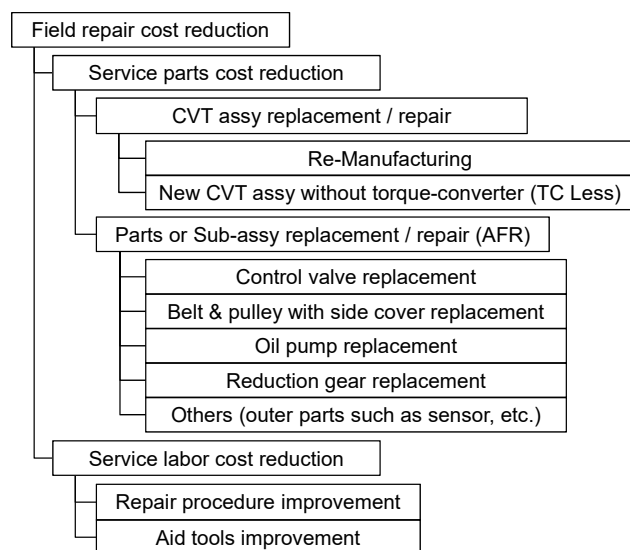


Fig. 1 Cost reduction approaches for CVT field repair

as replacement/repair of the CVT assembly itself and replacement/repair of parts and sub-assemblies. For replacement/repair of the CVT assembly, efforts have been made to reduce the cost of the replacement CVT supplied. One approach here is to remanufacture CVTs recovered from the field. Another approach is to supply a new CVT without a torque converter, i.e., TC less, which reduces the cost of the replacement CVT itself. In this case, the TC already installed on the vehicle is reused.

The replacement/repair cost of parts and sub-assemblies is reduced by replacing the control valve, belt & pulley system, oil pump, reduction gear and others on the sub-assembly level or by replacing only specific individual parts such as sensors or others on the parts level. This approach works to reduce the cost of parts requiring repair and is referred to as AFR in the sense that only the parts and sub-assemblies needing fixing are appropriately repaired in the field.

Activities for reducing service labor costs include efforts for improving repair procedures and tools. Such improvements shorten the time for making repairs and thus reduce the cost.

The following sections explain remanufacturing and AFR in detail, which account for the major portions of the activities undertaken so far to reduce field repair costs.

### 3. Remanufacturing<sup>(1)</sup>

Remanufacturing involves rebuilding a unit recovered from the field by replacing parts that cannot be reused with new ones. This approach facilitates effective use of resources and is effective in reducing the cost of the unit. Since starting to remanufacture ATs in 1989, JATCO is now also remanufacturing its mainstay CVTs. Routes were established for recovering ATs/CVTs that were previously disposed of in the field, and the development of quality assurance technologies, including defining inspection and reuse standards for reusing parts, made remanufacturing possible. Remanufacturing is explained below taking CVTs as an example.

#### 3.1 Overview of remanufacturing process

Fig. 2 shows the operations involved in the remanufacturing process at JATCO.

##### (1) Recovery and registration

CVTs to be remanufactured are recovered from the field along with various kinds of information, including the type of vehicle used on, usage environment, mileage and

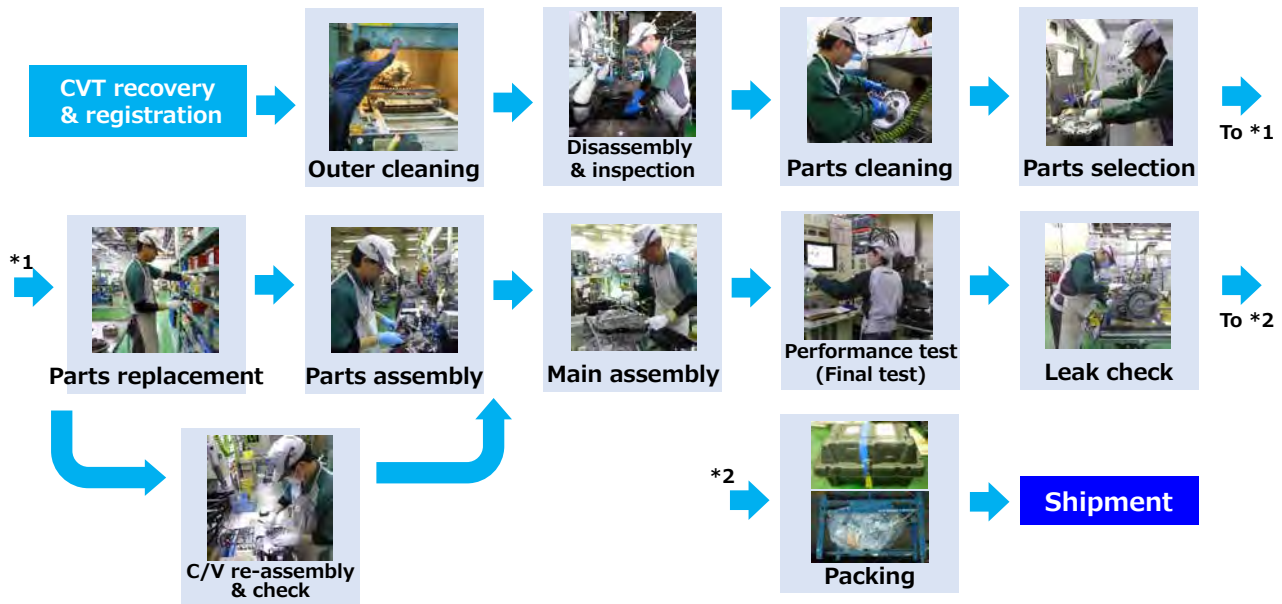


Fig. 2 Re-Manufacturing process

### 3. リマン<sup>1)</sup>

リマンとは、市場から回収したユニットを用い、再利用できない部品を新品に交換することで再生産するものである。これには資源の有効活用とユニットの費用低減の効果があり、当社では、1989年にATのリマンを開始して以来、現在主流のCVTもリマンを行っている。それまで市場で廃棄されていたAT/CVTを回収するルートを整備し、再利用部品の点検基準や再利用基準を設定するなど、品質保証技術を開発することでこれを実現してきた。以下、CVTの事例をもとに説明する。

#### 3.1 リマン工程概要

当社におけるリマンの工程をFig. 2に示す。

##### ①回収・受付登録

再生生産のもととなるCVTは、搭載された車種、使用環境、走行距離等、さまざまな情報と共に市場から回収を行っている。最初の工程では、これらの情報をデータ管理システムに入力し、ユニット本体の再利用基準(使用年限、走行距離制限等)を満たしているか判断を行い、再利用するユニットを選別している。

##### ②外観洗浄、分解・点検、部品洗浄、部品選別

回収したCVTは外観を洗浄した後に分解し、個々

so on. In the first operation, that information is input into a data management system and reusable units are selected by judging whether the unit itself satisfies the criteria for reuse, such as the service life limit and mileage limit.

(2) Outer cleaning, disassembly, inspection, parts cleaning and parts selection

Recovered CVTs first undergo outer cleaning and are disassembled. Individual parts are then visually inspected. After being washed again, parts are subjected to various measurements according to the inspection standards and their reusability is judged. At that time, for items pertaining to vehicle operation such as power transmission, fuel economy, noise and acceleration performance, only parts that satisfy the same standards as new mass-produced units are judged to be fit for reuse. For items not involved in vehicle operation, such as exterior discoloration, scratches, etc., judgment of reusability is based on criteria established specifically for remanufacturing, which helps to increase the rate of reusable parts.

(3) Parts replacement and assembly

Parts that cannot be reused because they do not satisfy the inspection standards are replaced with new ones that are assembled into the units being remanufactured. Information is recorded and kept at that time on which parts are reused and which parts are replaced with new ones. Because reused parts and ones replaced with new parts differ from one CVT to the next, workers manually assemble each unit individually.



の部品の目視点検を行う。さらに部品単位で洗浄を行った後、検査規格に従いさまざまな測定を行い、再利用可否判断を行う。この際、走行機能（駆動伝達、燃費、ノイズ、加速性能等）に関わる項目については、新品量産ユニットと同じ基準を満たすもののみ再利用可と判定している。一方、走行機能に関わらない項目（外観の変色や傷等）については、リマン独自の基準を定めて再利用可否を判断している。このリマン独自の基準により、部品の再利用率の向上を図っている。

### ③部品補充，組立

検査規格に満たないため再利用不可となった部品については、新品を補充し組み込むこととしている。この際、どの部品を再利用し、どの部品を新品補充したかという情報を記録し残している。個々のCVTごとに、再利用する部品と新品補充する部品が異なるため、組み立て作業は作業者が一台ずつ手組みで行っている。

### ④性能テスト，リークテスト，梱包，出荷

組み立てが完了したリマンユニットは、新品量産ユニットと同じ項目（変速、振動騒音、油圧等）、同じ基準の性能テストを行っている。さらにTable 1に示すリマン独自のテスト項目を追加し、再利用部品の性能をチェックしている。その後、リークテストで気密性を確認の上、梱包して出荷している。

## 3.2 リマンの特徴

回収から出荷まで、すべてのリマンユニット一台ごとに作業履歴を記録している。また、用いた部品一個一個についても、新品量産ユニットと同様にいつどこで製造されたものかが分かるよう、トレーサビリティを確保している。

また、リマンにおいては、多くの地域からCVTを回収し分解調査を行うため、さまざまな地域の路面状況、走り方、気温、湿度等を経験したユニットの貴重な情報を得ることができる。これらの情報を、再生品調査報告書として製品開発へフィードバックすることで、さらなる品質向上の一助としている。また、リマンしやすい部品設計、修理しやすい構造等になるようフィードバックを行い、再利用率の向上を図っている。

### (4) Performance tests, leak test, packing and shipment

Once remanufactured units are fully assembled, they undergo the same performance tests according to the same standards as new mass-produced units with respect to shifting, noise/vibration, oil pressure and other items. Moreover, as shown in Table 1, test items have also been added specifically for remanufactured units to check the performance of reused parts. Subsequently, a leak test is conducted to confirm air tightness, and units are then packed and shipped.

## 3.2 Features of remanufacturing

A work history is kept for every remanufactured unit from field recovery to shipment. Just as for new mass-produced units, traceability is also assured for every part used so that when and where it was manufactured are clearly known.

In the remanufacturing process, CVTs are recovered from many regions around the world, disassembled and inspected. Consequently, valuable information can be obtained about these units that have experienced a variety of road surface conditions, driving styles, temperature, humidity and other conditions in various markets throughout the world. That information is fed back to product development in the form of remanufactured unit inspection reports, which helps to improve product quality further. The information fed back is also used in designing parts that are easy to remanufacture and in developing structures that are easy to repair, thereby helping to improve the rate of reuse.

Table 1 Performance test items



	Test item number	Test item example
For New unit and REMAN unit	25	Shift change speed Noise and vibration Oil pressure etc.
For REMAN unit only	11	Shift change shock Pulley ratio etc.

## 4. Appropriate field repair (AFR)

AFR activities involve repairing sub-assemblies such as the control valve (CV) and the belt & pulley system or only certain specific parts on the parts level. The following preparations are necessary to facilitate AFR in the field.

#### 4. AFR

AFRとは、C/VやB&Pなどのサブアセンブリ、あるいは部品単位で、特定の部位のみを修理する取り組みである。市場においてAFRを実現するためには、以下を整える必要がある。

##### ① 交換部品の供給

交換部品（部品、サブアセンブリ、キット）設定、梱包、商流や物流の構築、等

##### ② 診断手順と修理手順の整備

診断手順、修理手順、トレーニング、等

##### ③ 修理環境の整備

修理工具、作業環境、等

以下、2016年より市場で実施している、B&P交換修理の事例をもとに、各要素を説明する。

#### 4.1 交換部品の供給

AFRを実現するためには、交換すべき部品単品だけではなく、修理しやすい単位のサブアセンブリにして供給することが必要である。B&P交換修理の場合、交換すべき部品はベルトとプーリのみであるが、修理の作業性の観点から、ベルトとプーリ、およびサイドカバーを一体化したサブアセンブリを市場へ供給している。

また、分解修理を行うに当たっては、再利用できない部品（例えばシールやOリング等）や、クリアランス調整のための厚さの異なるシム等を準備することも必要となる。市場においてこれらの部品を一つ一つ発注するのは手間がかかり、間違いも起こりやすい。その対応として、必要な部品一式をキットとしてまとめて入手できるようにしている。（Fig. 3）

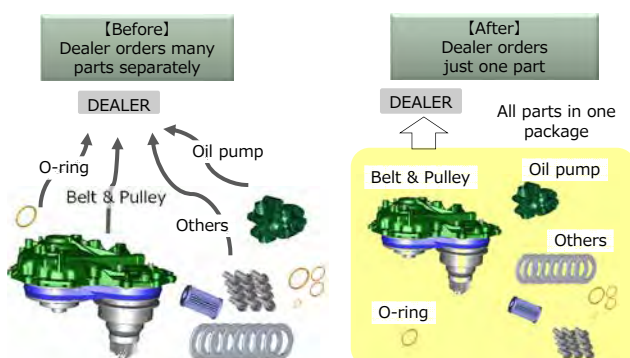


Fig. 3 Parts supply as repair kit

##### (1) Supply of replacement parts

Specification of replacement parts (parts, sub-assemblies, kits), development of a packing process, and establishment of channels for commercial and physical distribution.

##### (2) Establishment of diagnostic and repair procedures

Establishment of diagnostic and repair procedures along with conducting training for service technicians.

##### (3) Establishment of a repair work environment

Provision of repair tools along with establishing a repair work environment.

Each of these elements is explained below together with actual examples of replacement/repair of the belt & pulley system that have been done in the field since 2016.

#### 4.1 Supply of replacement parts

In order to facilitate AFR, it is necessary to supply sub-assemblies at a level conducive to easy repair work, rather than simply providing individual parts to be replaced. While the belt and pulleys are the only parts involved when replacing or repairing the belt & pulley system, a sub-assembly that integrates the belt, pulleys and side covers is supplied to the field from the standpoint of repair work ease.

In the process of disassembling/repairing a unit, it is also necessary to prepare parts that cannot be reused, such as seals, O-rings and others, as well as shims and other items of different thicknesses for adjusting clearances. Ordering each part or item individually from the field would be troublesome and mistakes might easily occur. To avoid such situations, all the necessary parts can be obtained together in a repair kit (Fig. 3).

To ensure reliable supply of parts to the field, parts must be packed so that problems do not occur even if accidents occur during transport. For that reason, free fall drop test defined by the transport industry are conducted to confirm packing reliability. Commercial and physical distribution is basically done according to the service parts supply system of the vehicle manufacturers. Activities to supply service parts to small-scale repair shops in the field have also been started.

#### 4.2 Establishment of diagnostic and repair procedures

Diagnostic and repair procedures are necessary for doing repair work in the field. The diagnostic procedure involves identifying the places to be repaired based on information obtained from the reported vehicle incident, diagnostic code

部品を市場に確実に供給するためには、輸送中にアクシデントが生じても問題の起さない梱包を行う必要がある。そのため、輸送業界の定義する落下衝撃試験を実施し確認を行っている。商流や物流については、基本的に車両メーカーのサービスパーツ供給の仕組みにのっとり供給するが、市場の小規模なりペアショップへ修理部品を供給する取り組みも始めている。

#### 4.2 診断手順と修理手順の整備

市場で修理を行うためには、診断手順と修理手順が必要である。

診断手順は、車両における現象やCVTのコントローラに記録される診断コード、現品のチェックにより得られる情報から修理すべき部位を特定し、修理方法（CVT 本体の交換か部品・サブアセンブリのみの交換か、またどの部品を交換するか）を確定するものである。Fig. 4に Jatco CVT8のB&P交換修理に関する判定フローを示す。ここではまず診断コードで大別したあと、ファイバースコープを用いたベルト滑り痕チェックによりB&Pの交換要否の判断を行っていることが特徴である。

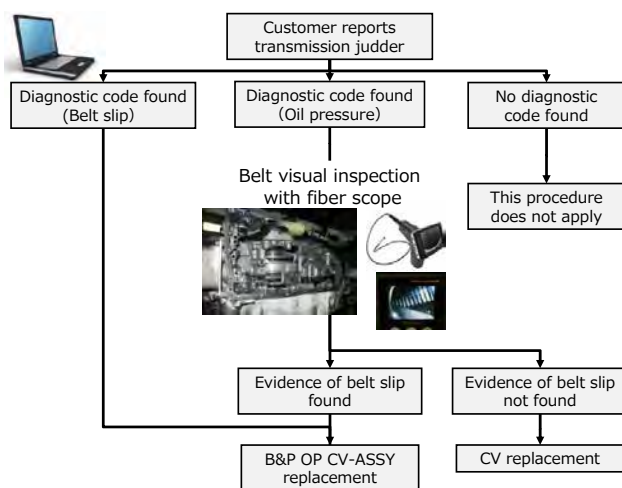


Fig. 4 Example of diagnostic flow for Jatco CVT8

修理手順は、市場で作業者が実際に行う作業を定義するものである。作成に当たっては世界中の全ての作業者が無理なく確実に作業を行えるよう考慮している。B&P交換修理の場合は、ベルトとプーリのみを交換しようとした場合、手順が複雑になるため、ベルトとプーリ、サイドカバーを一体化したサブアセンブリを、カートリッジのように差し替えることができるようにしている (Fig. 5)。また

recorded in the CVT controller, and checking of the actual parts. On that basis, the repair method is determined as to whether the CVT assembly itself should be replaced, only parts or sub-assemblies should be replaced or which parts should be replaced. Fig. 4 shows the diagnostic/judgment flow for replacement/repair of the belt & pulley system of the Jatco CVT8. Possible causes are first classified on the basis of the diagnostic code. A fiberscope is then used to check the belt for evidence of slippage, and a judgment is made as to whether the belt & pulley system needs to be replaced.

Repair procedures define the operations that service technicians actually perform in the field. Care is taken in creating these procedures so that all service technicians anywhere in the world are able to make repairs reliably without much difficulty. For belt & pulley system replacement/repair, trying to replace only the belt and pulleys would involve a complicated procedure. Therefore, a sub-assembly is provided that integrates the belt, pulleys and side covers and can be replaced like a cartridge (Fig. 5).

When replacing/repairing the belt & pulley system, there are some places where dimensional adjustment is required by selecting an appropriate size of part from among several variations. Measurement methods must be chosen that can actually be performed in the field. Methods have been devised so that measurements can be made with a general-purpose gauge block and a depth gauge (Fig. 6). The instruction manual specifies calculation equations and selection tables so that the right parts for new installation can be correctly selected from among different variations on the basis of the measured results.



Fig. 5 Belt & Pulley replacement



B&P交換修理では、選択部品による寸法調整が必要となる部位が存在する。市場で測定可能な手法を採用する必要がある、汎用のゲージブロックとデプスゲージを用いて測定できるように工夫した(Fig. 6)。手順書内に計算式や選択表を規定し、この測定結果をもとに新たに組み付ける部品をバリエーションの中から正しく選択できるようにした。

このように作成した診断手順と修理手順の中には、要所に確認手順を織り込み、手順通りに修理を行えば、正しく修理が完了するように配慮している。またこれらの手順は、文書や映像として提供するだけでなく、実機を用いたトレーニングを行うことで、正しく市場へ浸透させる取り組みを行っている。

#### 4.3 修理環境の整備

正しく修理するためには、作業が行われる現場において、適切な作業環境を整えてもらう必要がある。特に粉塵等の異物が周囲の環境から入り込まないようにするための配慮が必要であり、作業エリアが建屋外からの外気が吹き込むような環境の場合や、隣接する作業エリアと隔離されていない場合には、カーテンや衝立を設置する等、推奨される環境条件を提示した。

また、ある修理手順を市場に展開するに当たり、作業に必要な工具を規定し、配備する必要がある。一般工具で全て修理できることが望ましいが、対応できない場合には特別な工具を準備する必要がある。B&P交換修理の場合には、作業の補助具として、B&Pサブアセンブリを吊り上げるための治具や、位置決め用のシャフトを新たに設計した。(Fig. 5)

### 5. 今後の活動の方向性

市場修理をより確実に安価なものにしていくため、リマンにおいてはさらなる原価低減、そのためのユニットや部品の再利用率を高める取り組み等を進めていく。一方のAFRにおいては、これまで推進してきたサブアセンブリ単位での交換修理に対し、さらに細かい部品単位での修理を可能とするための環境構築とその拡大を図っていく。



Fig. 6 Measurement for clearance adjustment

Care was taken to incorporate methods for confirming the key points in the diagnostic and repair procedures that were created as explained here. If the repair work is done according to the specified procedures, it can be completed correctly. The specified procedures are not just provided in documents or videos. Training is also conducted using actually transmissions as part of our efforts to penetrate the correct procedures in the field.

#### 4.3 Establishment of a repair work environment

An appropriate repair work environment must be prepared in service shops where repairs are made so that the work can be done correctly. It is especially important to take care to prevent dust and other foreign matter from getting into a unit from the surrounding environment. Toward that end, we have recommended work environment conditions for service areas, including the installation of air curtains or partitions in environments where external air can blow in from outside the building or where the service area is not isolated from adjacent workplaces.

In addition, when deploying certain repair procedures in the field, it is necessary to specify and provide the tools needed for carrying out repair work. While it is desirable that all repairs can be done with ordinary tools, special tools must also be prepared for situations where that is not possible. For belt & pulley system replacement/repair, a jig for hoisting the belt & pulley sub-assembly and a shaft for positioning use were newly designed as aids for doing repair work (Fig. 5).



## 6. まとめ

本稿では、アフターセールスの分野におけるこれまでの修理費用低減の取り組みについて、リマンとAFRを中心に紹介した。今後はさらに本取り組みを発展させ、お客さまに安心して当社製品を使用していただける環境づくりに貢献していきたい。

## 7. 参考文献

- (1) 有松正夫：オートマチックトランスミッションのリマニュファクチャリング, 環境管理, Vol.53, No.12, 40-44ページ, 一般社団法人 産業環境管理協会, 2017年12月号

## 5. Direction of future activities

We intend to promote activities for increasing the reuse rate of units and parts involved in remanufacturing in order to further reduce unit costs and thereby facilitate more reliable field repairs at lower cost. With regard to AFR, we have so far promoted replacement/repair at the sub-assembly level. We want to build and expand the deployment of an environment that will enable repair work to be done at a more detailed parts level.

## 6. Conclusion

This article has described activities undertaken to date to reduce transmission repair costs in the after-sales service area, focusing especially on remanufacturing and appropriate field repair (AFR). In the future, we want to extend these activities further and contribute to the creation of an environment in which customers can use our products with peace of mind.

## 7. References

- (1) Masao Arimatsu, "Remanufacturing of automatic transmissions," Environmental Management, Vol. 53, No. 12, pp. 40-44, Japan Environmental Management Association for Industry, December 2017 issue (in Japanese).

## ■ Authors ■



Minoru YOSHIMURA



Masao ARIMATSU



Masayuki FURUYA



Fumihito KISHIKAWA

# ジャトコ工具技術開発の取り組み

JATCO's activities for developing tool technologies

中島 一明\*  
Kazuaki NAKAJIMA

星野 洋\*  
Hiroshi HOSHINO

永田 宏樹\*  
Hiroki NAGATA

**抄 録** 工具技術開発は、設備稼働率向上や工具費低減の観点から、切削加工の生産性を左右する極めて重要な技術とみなされるようになってきている。本稿ではジャトコ工具技術課の取り組み、特に生産性に寄与する技術開発について記述する。

**Summary** The development of tool technologies has come to be viewed as an extremely important technical field that influences the productivity of machining operations from the standpoints of improving equipment uptime ratios and reducing tool costs. This article describes the technology development efforts undertaken by the Tool Engineering Section, focusing in particular on contributions to improving productivity.

## 1. はじめに

近年、切削加工における工具技術の重要性が増してきている。マシニングセンタや複合加工機での加工の自由度が高まるにつれ、加工能率を工具材種や形状の最適設計で向上させ、設備稼働率向上や工具費を低減することが求められている。ジャトコにおいても、新機種に対応した新規生産ラインや既存生産ラインに対して、より高い生産性が求められ、2015年度からTotal delivered Cost (以下TdC)活動を開始した。その活動の中で、設備稼働率向上に繋がる工具寿命の延長や工具単価の低減活動を行った。一方で、工具サプライヤからのシーズとして、工法・工具新技術の開発、工具材料のカスタマイズ領域が拡大しており、ユーザーのニーズに適応できるようになってきた。それらの工具を生産ラインに技術適用することにより、TdC活動に貢献できる機会が増えている。

## 1. Introduction

The importance of tool technologies in machining operations has been increasing in recent years. As the degrees of machining freedom have been increased by machining centers and combined machine tools, there has been a need to improve equipment uptime ratios and reduce tool costs by enhancing machining efficiencies through the optimal design of tool materials and geometries. JATCO has required higher productivity on new and existing production lines in order to cope with new transmission models. Toward that end, the total delivered cost (TdC) program was launched in FY 2015. As part of this program, activities have been undertaken to extend tool life, which leads to higher equipment uptime ratios, and to reduce the unit cost of tools. Meanwhile, tool suppliers have contributed to these activities by developing new machining and tool technologies and by expanding the scope of customized tool materials. These measures better accommodate our needs as a tool user. Opportunities for

## 2. 工具技術課の組織

Table 1にジャトコにおける工具技術の役割と組織の変遷を示す。従来は、既存生産ラインの改善を工場製造課、新規プロジェクトの工具・ツーリングを加工技術課が担ってきた。しかし、近年Jatco Standard Line(設備のダウンサイジング化、設備能力と投資の比例化、多機種対応の設備開発の3本柱を実現する革新的生産ライン、

Table 1 Transition in tool technology

	Role	Organization	
		Before	Since April 2015
Existing lines	Activities to improve existing lines	Production section Tooling Improvement Education Team	Tool Engineering Section Tooling Improvement Education Team
	Activities to reduce tool unit costs	Tool Unit Cost Reduction Team Tool Supply Center	Tool Unit Cost Reduction Team Tool Supply Center
New lines & new methods	Tools & tooling for new projects	Machining Process Engineering Section Tool Engineering	Tool Engineering
	JSL development	Process Engineering	

\* 部品技術部  
Parts Process Engineering Department

以下JSL)のニーズに伴って、工具技術開発の強化、促進が急務となった。それを受け、既存ラインの改善を担当してきた工場製造課と、新規プロジェクトの工具・ツーリングを担当してきた加工技術課とを統合した新たな工具技術課を2015年4月に新設した。

なお、この工具技術課には、各工場の工具発注や工具供給、在庫管理の機能を持つ供給センターの役割と、ツーリング改善教育チームの機能も加わった。これにより、工具技術課が切削工具に関する全ての機能を担う部署となった。

### 3. 技術開発の取り組み

#### 3.1 Jatco Standard Tooling Systemの構築

JSLを支えるJatco Standard Tooling (以下JST)を6個の活動(供給管理,原価低減,技術開発,新プロジェクトツーリング,ベンチマーク,人材育成)に分けて推進してきた。(Fig. 1)

#### 3.2 工具技術ベンチマーク

202x年にJSLを世界トップレベルとするには、ベストプラクティス性能を発揮する工具・ツーリングの適用が必要不可欠となる。これらを実現するためには、業界の技術動向や自社の技術レベルを定量的に把握することが重要であり、工具技術ベンチマークを行った。その一例をFig. 2のCBNインサートチップ(以下CBNチップ)のベンチマークに示す。

横軸に切削速度と送り量の積、縦軸に切削量を示している。結果、自社のベンチマークレベルは国内他社と比較して同等以上の水準を維持していることが分かった。

CBNチップはCVTの構成部品であるプーリ、ギア等を加工するための主要工具で、後述するCVTへの要求と共に絶え間ない進化が求められている。そのために他社を凌駕する高い目標(Target)を掲げて技術開発に取り組んできた。

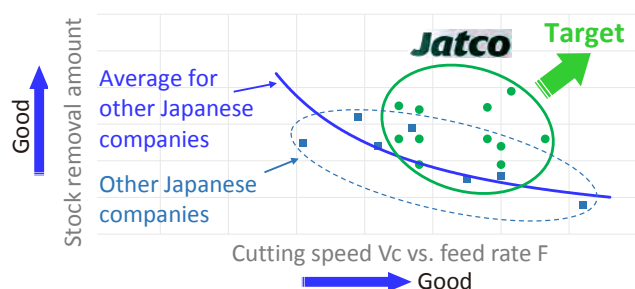


Fig. 2 VF diagram of CBN inserts

contributing to TdC activities have increased by incorporating these new tool technologies into our production lines.

#### 2. Organization of Tool Engineering Section

Table 1 shows the transition in the roles and organization for tool technologies. Previously, the Production Section was responsible for improving existing production lines and the Machining Process Engineering Section was responsible for the tools and tooling for new projects. However, the needs of the Jatco Standard Line (JSL) gave rise to an urgent task of strengthening and promoting the development of new tool technologies. This innovative production line achieves three major objectives: downsizing of facilities, facility capacity commensurate with capital investment, and the development of equipment accommodating mixed model production. As a result, the Tool Engineering Section was newly established in April 2015 by integrating the Production Section responsible for improving existing lines and the Machining Process Engineering Section responsible for the tools and tooling for new projects.

The Tool Engineering Section was given the additional functions of serving as a supply center that orders and supplies tools for each plant and manages tool stocks and as a tooling improvement education team. Consequently, the Tool Engineering Section became responsible for all functions concerning cutting tools.

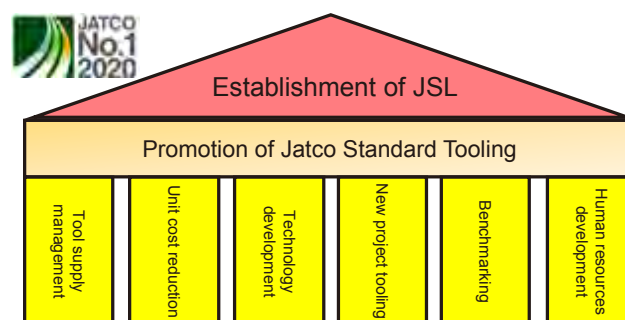


Fig. 1 Overview of Jatco Standard Tooling

### 3. Technology development activities

#### 3.1 Construction of the Jatco Standard Tooling System

Jatco Standard Tooling that supports the JSL involves the promotion of six individual activities: tool supply management, unit cost reduction, technology development, new project tooling, benchmarking and human resources development (Fig. 1).

### 3.3 工具技術開発

近年CVTユニット小型化のための①高強度材料への対応、TdCをミニマム化するための②高能率化、③フレキシブル生産対応の3要素について技術開発を進めてきた。その実例をTable 2に示す。

本報告ではCBNチップの課題である工具摩耗を抑制した事例を紹介する。工具摩耗抑制には発熱低減が有効であり、ターニング工法における加工点（スクイ面と逃げ面）に直接クーラントを当てて発熱を低減させた。Fig. 3に加工点に高圧クーラントを供給するノズルの概要図を示す。

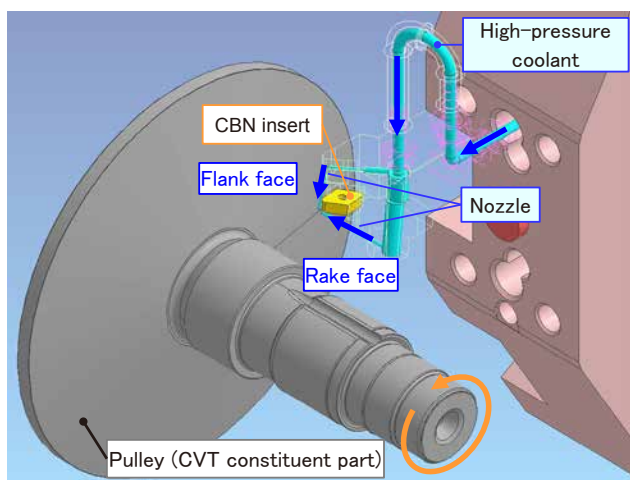


Fig. 3 Layout of coolant nozzles for turning

さらに、工具摩耗を抑制するための切削条件として、低周速/高送り化を検討した。低周速/高送り化の背反として、切削荷重が大きくなることで設備が変位し、加工精度確保が困難になる。その対策として設備の高剛性化が必要となる。そこで切削荷重と設備変形との関係を明らかにするため、主軸にマスターバーをチャッキングし、切削荷重A,Bを加えた際の変位量を測定した。Fig. 4に測定概要を示す。

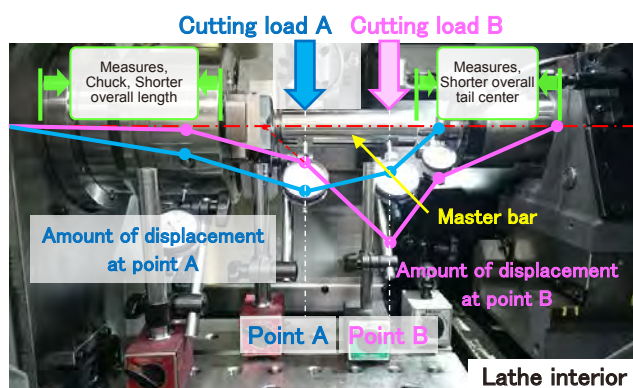


Fig. 4 Evaluation of turning lathe rigidity

Table 2 Technology development map

Elements	Tasks	Solutions	Technology developments
(1) Accommodation of high strength materials	Suppression of CBN inserts wear	Reduction of heat generation Improvement of lubricity	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimization of coolant cooling</li> <li>Lower peripheral velocity/higher feed rate</li> <li>Development of special-purpose lubricants</li> </ul>
(2) Accommodation of higher efficiency	Improvement of turning VF/VT diagrams	Improvement of machining accuracy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Improvement of lathe rigidity (Evaluation of lathe rigidity) (Development of high-rigidity jigs)</li> </ul>
		Reduction of cutting force	<ul style="list-style-type: none"> <li>Development of low cutting force tools</li> <li>Cutting simulations</li> </ul>
	Development of new methods	Development of new methods	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skiving</li> </ul>
(3) Accommodation of flexible production	Improvement of chip evacuation	Chip control	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ascertaining properties of work piece materials</li> <li>Optimization of tool paths</li> <li>Optimization of cutting conditions</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Phase optimization</li> <li>3D printing/Use of composite materials</li> </ul>
(3) Accommodation of flexible production	Development of combined tools	Tool weight reduction	<ul style="list-style-type: none"> <li>Phase optimization</li> <li>3D printing/Use of composite materials</li> </ul>

### 3.2. Tool technology benchmarking

In order to make the JSL a world-class production line by 202x, it is absolutely necessary to apply tools and tooling that display best practice performance. To accomplish that, it is essential to monitor technological trends in the industry and to ascertain JATCO's technology levels quantitatively. Tool technology benchmarking was done for that purpose. Fig. 2 shows one example of benchmarking for CBN inserts.

The horizontal axis shows the product of the cutting speed times the feed rate, and the vertical axis shows the amount of stock removal. The results indicate that JATCO's benchmark level is equal to or better than that of other companies in the Japanese market.

CBN inserts are the principal tools used for machining the pulleys, gears and other constituent parts of CVTs. As will be explained later, further evolution is ceaselessly demanded as the requirements for CVTs become more rigorous. Therefore, vigorous efforts have been made to develop new technologies, setting high targets surpassing other companies.

### 3. Development of tool technologies

Technologies have been developed focusing on three elements for downsizing CVTs in recent years: (1) accommodation of high strength materials, (2) increasing efficiency in order to minimize TdC, and (3) accommodating flexible production. Specific examples are given in Table 2.

This section describes an example of suppressing tool wear, which is an issue of CBN inserts. Reducing heat generation is an effective way of controlling tool wear. Heat



設備の剛性向上としてチャックおよびテールセンタの全長短縮を行い、Fig. 5に変位量の測定結果に示すように、変位量を約50%低減することができた。

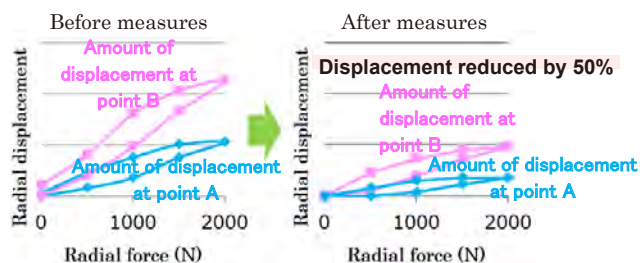


Fig. 5 Radial displacement of turning lathe

この高圧クーラントの改善と設備剛性の向上により、工具摩耗を、約20%抑制することができた (Fig. 6)。

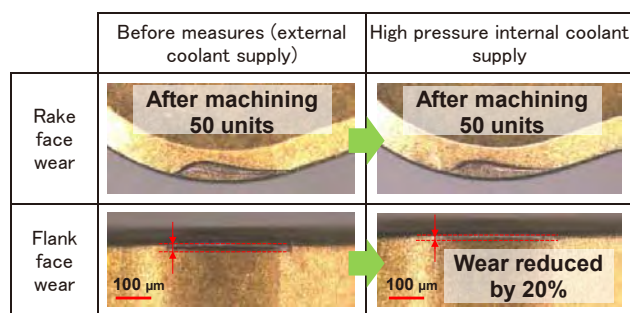


Fig. 6 Amount of CBN inserts ware

### 3.4 Global工具管理システムの構築

前述3.3項のプロセスで技術開発を行ったアイテムについては、日本および海外3拠点にある生産工場に水平展開している。各ラインは世代を経るごとにJSLの進化に応じた工程設計・工具技術を適用しているため、工具の仕様差(材質・形状・コーティング等)が生じている。そこで各生産拠点の工具技術情報を正確に把握し、改善オポチュニティーに応じて優先順位を付け、効率的に改善する必要がある。そのため、各拠点工具技術情報が一元管理されたデータベースとしてFig. 7に示すActive support system for Tool Management (以下ATOM)を構築した。Fig. 8はATOMのトップメニュー画面を示している。ATOMはGlobal生産拠点における工具の設定情報と使用状況 (Fig. 9)に示す計画・実績台当たりコスト、使用量予測、工具の所在管理、不具合、改善情報のリンク)がリアルタイムで分かるようになっている。ATOM導入はJSTの確立に大きく貢献し、品質向上やTdC削減の大幅なスピードアップを実現することができた。

generation in the turning process was reduced by applying coolant directly to the machining zone (rake and flank faces). Fig. 3 schematically shows the nozzle configuration for supplying high-pressure coolant to the machining zone.

In addition, a lower cutting speed and a higher feed rate were also studied as cutting conditions for suppressing tool wear. As repercussions of a lower cutting speed and a higher feed rate, the cutting load increased, causing displacement of the turning lathe, which made it more difficult to ensure machining accuracy. Increasing the rigidity of the turning lathe was needed to prevent this displacement. Accordingly, it was necessary to make clear the relationship between the cutting load and turning lathe displacement. A master bar was chucked on the spindle and the amount of displacement was measured when cutting loads A and B were applied as shown in the measurement system in Fig. 4.

To increase the rigidity of the turning lathe, the overall length of the chuck and the tail center were shortened. As the measured results in Fig. 5 show, these measures reduced the radial displacement of the turning lathe by approximately 50%.

Improvement of the high-pressure coolant and the increased machine rigidity suppressed tool wear by approximately 20% as shown in Fig. 6.

### 3.4 Establishment of a global tool management system

The technical improvements developed for the turning process described in the preceding section were deployed in parallel in Japan and at the three overseas production plants. Process designs and tool technologies corresponding to the evolution of JSL have been applied to successive generations of each production line. This has given rise to differences in tool specifications with respect to tool materials, geometries, coatings and other aspects. Therefore, it was necessary to obtain correct information on tool technologies at each production plant and to implement improvements efficiently in the order of priority according to opportunities for making improvements.

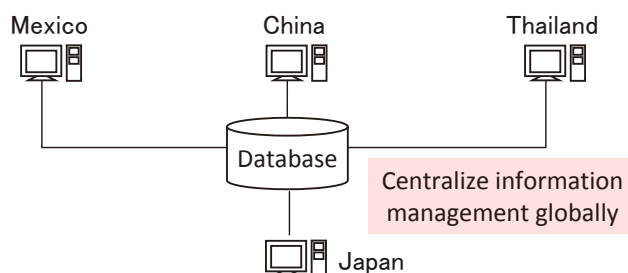


Fig. 7 Conceptual diagram of ATOM

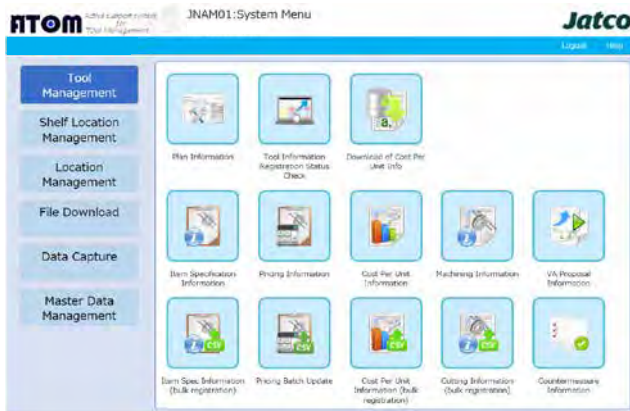


Fig. 8 Detection of software design fault for normal UDS programming simulation

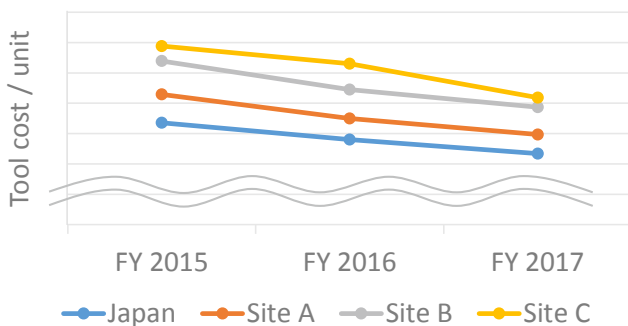


Fig. 9 Comparison of tool cost per unit among global sites

#### 4. 将来に向けた取り組み

本稿では、工具技術課の発足、工具技術開発事例の一部を紹介した。今後も工具技術課の根幹の活動としてFig. 10に示すJSL開発ロードマップに従って継続的に取り組んでいく。

また、将来のありたい生産システムと工場の姿を実現するために、APW 202xと称した取り組みを実行している。工具管理部署がサプライチェーンと生産台数に応じた自動受発注によるリーンな資材管理、加工の状態監視による加工条件・工具の最適化、個々の加工・工具情報のビックデータ解析による完全な工具の性能保証を柱において検討中である。

For that purpose, the Active support system for Tool Management (ATOM) was constructed as shown in Fig. 7 as a database for centralized management of tool technology information at each plant. Fig. 8 shows the top menu screen of ATOM. This system makes it possible to know in real time information on tool settings and status of use at our global production plants. This includes links to information on the planned and actual cost per unit (Fig. 9), estimated amount of usage, tool location management, problems and information on improvements. The implementation of ATOM has contributed significantly to the establishment of JST. It has also greatly hastened the pace of quality improvement and TdC reduction.

#### 4. Future efforts

This article has described the establishment of the Tool Engineering Section and some examples of recently developed tool technologies. As part of its core activities, the Tool Engineering Section will pursue continuous efforts according to the road map for the future development of JSL outlined in Fig. 10. We are proceeding with a program of activities called APW 202x to achieve the production system and plant systems desired for the future. We are now examining the following core pillars for our future efforts: lean materials management under which tool management sections automatically order and receive tools in the supply chain according to the production volumes; optimization of machining conditions and tools by monitoring machining states; and complete tool performance assurance based on big data analysis of information concerning individual machining processes and tools.

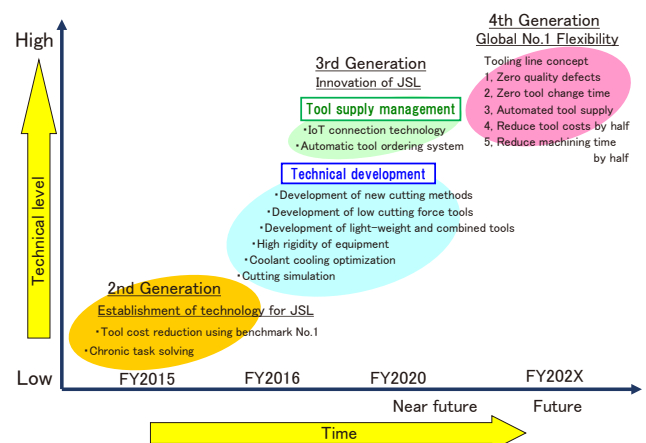


Fig. 10 Road map of JSL to 202X

## 5. 参考文献

- (1) 井上信彦, 山下幸一, 川本典弘, 高星英紀, 鈴木優 :  
『JATCO Standard Line』(JSL)の構築, JATCO  
Technical Review No.14, pp.91-96, (2015)

## 5. References

- (1) Nobuhiko Inoue, Kouichi Yamashita, Norimitsu  
Kawamoto, Hideki Takahoshi and Masaru Suzuki,  
“Establishing JATCO Standard Line,” JATCO Technical  
Review No. 14, pp. 91-96, (2015).

## ■ Authors ■



Kazuaki NAKAJIMA



Hiroshi HOSHINO



Hiroki NAGATA

# CVT用プリー・ボール溝研削加工の温度測定手法の開発

Development of a method for measuring the grinding point temperature of a CVT pulley ball groove

永田 宏樹\*  
Hiroki NAGATA

**抄 録** 無段変速機(CVT)用プリー・ボール溝研削加工は、サイクルタイム短縮が求められているが、これに伴う研削焼けを防止する必要がある。本報告では、この発生原因となる加工部位の温度を測定できる手法を実用化したので報告する。

**Summary** Pulley ball-groove grinding for CVT (continuously variable transmissions) is required to shorten the cycle time, but it is necessary to prevent grinding burn accompanying this. In this report, we report on the practical application of a method capable of measuring the temperature of the processed part, which is the cause of this occurrence.

## 1. はじめに

近年、無段変速機(CVT)の需要が高まっており、CVT (Fig. 1)の重要な構成部品であるプリーの加工サイクルタイム短縮が求められている。プリーとはベルトを介して動力を伝達するための部品で、固定側/可動側があり、可動側をスライドさせることにより減速比を連続的に変化させ無段階変速を行う。本報告で取り上げるボール溝はプリーをスライドさせる際のガイド機能を担っている。プリーのサイクルタイムを短縮するにはネック工程であるボール溝研削の送りや研削速度を上げる必要があるが、発熱が大きくなり被削材に熱が伝わることで研削焼け<sup>1)</sup>が発生しやすくなるため、研削焼けを抑制することが課題となる。本報告ではサイクルタイム短縮を行うための第一歩として、研削焼けの発生原因となる加工部位の温度を測定できる手法<sup>2)</sup>を開発したので、その内容について報告する。

## 1. Introduction

The growing demand for continuously variable transmissions (CVTs) in recent years has prompted a need to shorten the machining cycle time of the pulleys, which are key constituent parts of CVTs (Fig. 1). Consisting of a fixed half and a movable half, pulleys are the parts that transmit power via the belt. The movable half slides to continuously change the reduction ratio for stepless shifting. The ball groove described here functions to guide the movable half as it slides. The ball groove grinding process is a bottleneck for shortening the pulley cycle time, and overcoming it requires increasing the feed rate or the grinding speed. However, that generates greater heat which is transferred to the workpiece and tends to cause grinding burn.<sup>(1)</sup> The issue here is to suppress the occurrence of grinding burn. As a first step toward shortening the cycle time, a method<sup>(2)</sup> was developed for measuring the grinding point temperature of

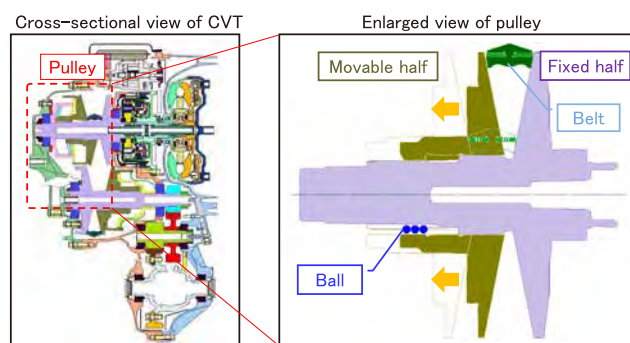


Fig. 1 Cut model of CVT  
(Continuously Variable Transmission)

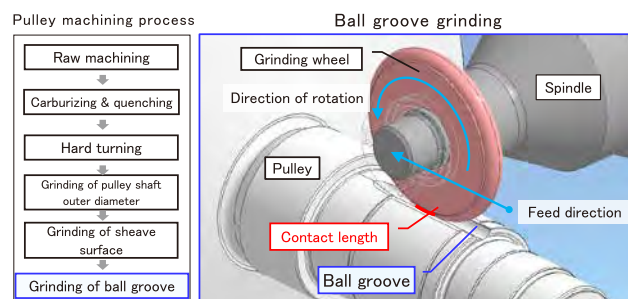


Fig. 2 Ball groove grinding

\* 部品技術部  
Parts Process Engineering Department



## 2. ボール溝研削工法の特徴

プーリは鍛造粗材を生加工した後、浸炭熱処理、旋削加工、研削加工（外径、シーブ、ボール溝）の順で加工を行う。Fig. 2に示すボール溝研削は、他の研削（円筒研削・平面研削・内面研削）と比較し、研削時の接触長さが長い傾向にあるため、熱的影響を受けやすく、研削焼けが発生しやすい工法である。

## 3. 研削加工条件の評価方法

研削焼けとは、研削時の発熱により被削材表面が約700～800℃に加熱されることで、表面にマルテンサイト層と呼ばれる組織の変質が発生し、硬度低下または脆化等の損傷を受けることである。これらの損傷により部品の耐摩耗性や疲労強度に大きな影響を与えるため、焼けが発生させないためのメカニズムの解明が不可欠である。Fig.3に本試験にて研削焼けが発生した事例を示す。写真左上の溝肩部に見られる変色が研削焼けである。研削焼けを発生させないためには、研削時の加工条件を適切に評価した上で条件設定する必要がある。その加工条件を評価する手法として主に活用されているのは主軸負荷電圧測定であるが、加えて今回新たに熱電対を用いた研削点近傍の温度測定手法を考案した。

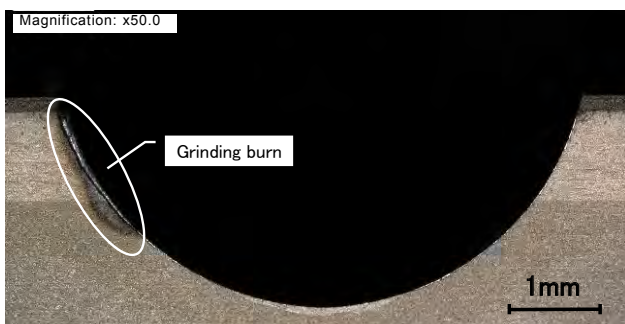


Fig. 3 Example of Ball groove grinding burn

## 4. 試験装置および試験条件

熱電対を用いた研削温度測定法を実現するため、マシニングセンタを用いた試験環境を構築した。Fig. 4に本試験装置の概略図を示す。本試験装置は、マシニングセンタに(1)ボール溝試験片、(2)熱電対、(3)試験片固定治具、(4)クーラントノズル、(5)ボール溝砥石（主軸）、

the processed part that causes grinding burn. This article describes the new temperature measurement method.

## 2. Features of ball groove grinding method

Following machining of raw pulley forgings, pulleys are machined in the order of carburizing heat treatment, hard turning and grinding (outer diameter, sheave face and ball groove). Fig. 2 illustrates ball groove grinding, which tends to have a longer contact length during grinding than other grinding processes like cylindrical grinding, surface grinding and internal grinding. As a result, in this grinding process the workpiece is apt to be affected by heat, which tends to cause grinding burn.

## 3. Method of evaluating grinding conditions

Grinding burn refers to workpiece damage due to heat generation during the grinding process that occurs when the workpiece surface is heated to approximately 700-800° C. That causes a transformation of the surface to a martensite layer, resulting in a decline in hardness, brittleness or other undesirable effects. Such damage seriously affects wear resistance and fatigue strength of the part, making it necessary to understand the mechanism so as to prevent grinding burn from occurring. Fig. 3 shows an example of grinding burn that occurred in the grinding tests. The discolored area seen in the groove shoulder in the upper left portion of the photo is grinding burn. In order to prevent grinding burn from occurring, it is necessary to set the grinding conditions on the basis of a suitable evaluation of the conditions during the grinding process. The method that is principally used to evaluate the grinding conditions is to measure the spindle load voltage. In addition to that, we have now devised a new method for measuring the temperature near the grinding point using thermocouples.

## 4. Test equipment and conditions

A test environment was built around a machining center in order to develop a method of measuring the grinding point temperature using thermocouples. The configuration of the test equipment is shown schematically in Fig. 4. The test equipment was configured by attaching the following items to the machining center: (1) ball groove test piece, (2) thermocouples, (3) jig for holding the test piece, (4) coolant

(6) 主軸負荷電圧計(制御盤内)を組み込むことにより構成され、研削時に生じる発熱やクーラントによる冷却等、さまざまに条件を変化させながら、主軸負荷電圧、研削点近傍温度を測定することが可能である。以下、構成要素の詳細を説明する。

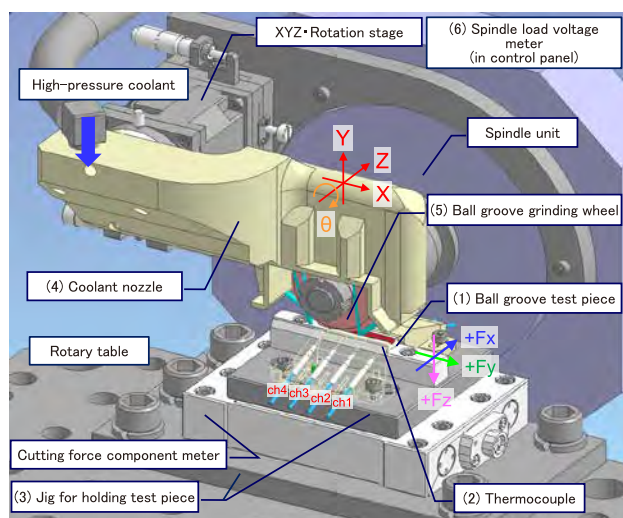


Fig. 4 Overall view of laboratory equipment

(1) ボール溝試験片をFig. 5に示す。プーリと同等材質の粗材を長方形形状に切断し、ボール溝荒加工を行った後、浸炭熱処理を行ったものである。試験片両端にノックピン挿入穴(片側真円・片側長穴)を設け、高精度位置決めを行うことにより各試験片における研削取り代のばらつきを抑制する。研削焼けの発生しやすい、溝左右の角部近傍に各4chの熱電対挿入穴を設けた。これにより溝左右の研削温度差、溝加工開始から加工完了までの研削温度の推移を測定することが可能になる。試験片は数十本単位で製作し、1回加工するごとに脱着交換を行う。

(2) 熱電対挿入部をFig. 6に示す。熱電対はK種とし、シース部線径は応答速度と試験片への熱電対挿入穴の加工性を考慮しφ0.5を用いた。熱電対全体を3Dプリンタ(樹脂積層)で造型したハウジングに組み込むことで、熱電対の

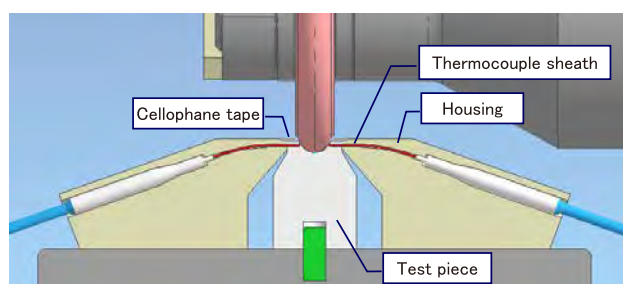


Fig. 6 Thermocouple insert area

nozzle, (5) ball groove grinding wheel (spindle), and spindle load voltage meter (in the control panel). This equipment makes it possible to measure the spindle load voltage and temperature near the grinding point while varying various conditions during the grinding process such as heat generation and cooling by the coolant, among other things. The following is a detailed explanation of the constituent elements of the test equipment.

(1) A ball groove test piece is shown in Fig. 5. A rectangular shaped piece was cut from the same raw material as the pulley, the ball groove was rough machined, and then the test piece was subjected to a carburizing heat treatment. A dowel pin hole was provided in both ends of the test piece (a round hole at one end and a long hole at the other end). The purpose of the holes was to achieve highly accurate positioning so as to suppress variation in the grinding allowance among individual test pieces. Four channel holes were provided for inserting thermocouple probes near the corners on both the right and left sides of the groove where grinding burn tends to occur. This made it possible to measure differences in the grinding point temperature between the right and left sides of the groove and the change in the temperature from the start to the finish of groove grinding. Several tens of test pieces were made and a test piece was removed and changed after each grinding operation.

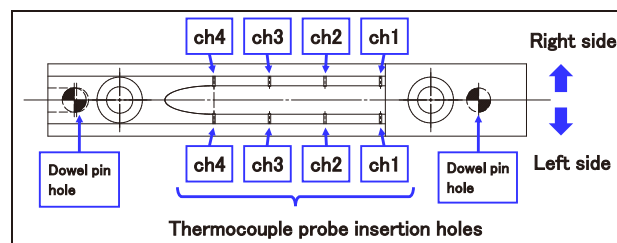


Fig. 5 Test pieces

(2) The portion where the thermocouple probes were inserted is shown in Fig. 6. Type K thermocouples were used and the diameter of the sheath line was 0.5 mm in consideration of the response speed and hole machinability in the test piece for inserting the thermocouples. The entire thermocouple was incorporated in a housing of laminated plastic made by a 3D printer. The housing positioned and held the thermocouples. The thermocouple sheath was inserted to a depth of 0.1 mm from the finished test piece surface. The upper surface of the junction between the test piece and the thermocouple housing was covered with cellophane tape to prevent coolant from penetrating into the thermocouple sheath. The temperature data measured with

位置決めおよび固定を行う。熱電対シース部は最終仕上げ面から0.1mm入った位置に挿入する。また、試験片と熱電対ハウジングの接合部上面にセロハンテープで覆うことにより、熱電対シース部にクーラントが浸透することを防ぐ。熱電対の測定結果は、ワイヤレス温度ロガーを介してマシニングセンタの外側に配置したPCで受信する。

(3) 試験片固定治具 (Fig. 4下側) には、構成要素として切削分力計を組み込んでおり、研削現象を把握するための補助的手法として3分力 (溝左右分力  $F_x$ , 送り分力  $F_y$ , 背分力  $F_z$ ) を同時計測することが出来る。

(4) クーラントノズル (Fig. 4左上) は、3Dプリンタ (樹脂積層) で造型したもので、研削点近傍を冷却できるよう配置する。クーラントノズルは、主軸ユニットより順にブラケット、XYZ・回転ステージを介して固定される。ノズル吐出位置をXYZおよび回転 $\theta$ 方向に微調整することが出来る。また高圧クーラントユニットより最大30[MPa], 27[L/min]のクーラント供給が可能であり、様々な冷却条件による研削焼けの影響を評価できる。

(5) ボール溝砥石 (Fig. 4中央) は、ビトリファイドボンドCBN砥石を用いている。外部のドレス装置を用いて同一形状にドレスしたボール溝砥石を複数枚準備し、研削試験ごとの砥石径・砥石輪郭形状のばらつきを抑制した。なお、本試験に用いたマシニングセンタは、高速回転/高負荷状況での試験を想定したマシンを選定した。

(6) 主軸負荷電圧計は、マシニングセンタ制御盤内の主軸モータ配線間にクランプメータを取り付け、研削加工時の主軸負荷電圧値を計測する。

Table 1に試験で使用した機器一覧を示す。

Table 1 Equipment List

Equipment	4-axis horizontal machining center (HSK-A63, 20,000 min-1)
	High-pressure coolant (30 MPa, 27 L/min)
	Coolant: soluble (dilution ratio 6.5%, 20°C)
Tool	Vitrified bond CBN wheel $\phi 55$
Measuring devices	Spindle load voltage meter
	Cutting force component meter (3 axes)
	Type K thermocouples ( $\phi 0.5$ ) + wireless temperature logger

Table 2に試験条件を示す。さまざまな研削焼けを再現するため、6つのパラメータと4条件を設定し試験を行った。条件設定にあたっては、これまでの経験から焼けやすい条件、焼けにくい条件を選定した。

the thermocouples were sent via a wireless temperature logger to a PC positioned off the machining center.

(3) The jig for holding the test piece is shown at the bottom of Fig. 4. A cutting force component meter is included as a constituent element of the jig. This facilitates simultaneous measurement of three components of cutting force (groove lateral component of force  $F_x$ , feed component of force  $F_y$  and back component of force  $F_z$ ) as an auxiliary method of ascertaining grinding phenomena.

(4) The coolant nozzle (upper left side of Fig. 4) is molded of laminated plastic using a 3D printer and positioned such that the coolant can cool the area near the grinding point. The coolant nozzle is secured from the spindle unit in turn via a bracket and the XYZ rotation stage. The nozzle discharge position is micro-adjustable in the XYZ and rotation  $\theta$  directions. The high-pressure coolant unit can supply coolant at a maximum pressure of 30 MPa and a discharge rate of 27 L/min, enabling grinding burn to be evaluated under a wide variety of cooling conditions.

(5) The ball groove grinding wheel (center of Fig. 4) used was a vitrified bond CBN wheel. Multiple ball groove grinding wheels were prepared and dressed to the same shape by an external wheel dresser. That suppressed variation in the grinding wheel diameter and wheel contour shape in the individual grinding tests. The machining center used in the grinding tests was selected on the assumption that tests would be conducted under high-speed, high-load conditions.

(6) The spindle load voltage meter is a clamp meter that is installed in the wiring of the spindle motor inside the control panel of the machining center. It measures the spindle load voltage during the grinding process.

A list of the equipment used in the tests is given in Table 1. The test conditions are shown in Table 2. Tests were conducted under six parameters and four conditions in order to reproduce various types of grinding burn. Conditions conducive to grinding burn and those not conducive to grinding burn were selected on the basis of experience gained to date.

Table 2 Experiment condition

Parameter	Con. 1	Con. 2	Con. 3	Con. 4
Grinding speed $V$ [m/s]	46.1			
Cutting depth $a_p$ [mm]	0.15			
Feed rate $F$ [mm/min]	300	1,000	300	1,000
Lateral groove position Offset [mm]	0			0.1
Grain size	#140	#170		
Coolant flow rate [L/min]	27		6.7	27



## 5. 試験結果

## 5. Test results

Table 2に示す条件1～4で加工した試験片を熱電対挿入穴各ch近傍で切断した後、断面写真にてマルテンサイト層深さを計測した。その結果、Fig. 7に示すようにマルテンサイト層深さは(a)焼け無し、(b)軽度焼け、(c)焼けの3つに分類出来る。なお、(a)焼け無しは仕上げ面にマルテンサイト層が確認できない状態を示し、(b)軽度焼けは仕上げ面から10 $\mu$ m未満のマルテンサイト層が発生した状態を示し、(c)焼けは仕上げ面から10 $\mu$ m以上のマルテンサイト層が発生した状態を示す。

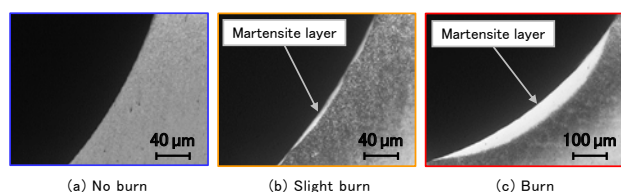


Fig. 7 Cross section photo of Test piece

続いて、Table 2に示した試験条件1～4の研削条件におけるマルテンサイト層深さと熱電対温度の関係をFig. 8に示す。比較に際して熱電対温度は熱電対各chの最大値を抽出した。その結果、Fig. 7 (a)～(c)の分類に対して、(a)焼け無し=熱電対温度50 $^{\circ}$ C未満、(b)軽度焼け=熱電対温度50 $^{\circ}$ C～100 $^{\circ}$ C未満、(c)焼け=熱電対温度100 $^{\circ}$ C以上と、焼け判定の目安として3つに分類することができた。(a)焼け無しから(b)軽度焼けに遷移する熱電対温度は50 $^{\circ}$ Cであることが確認できた。研削条件設定に当たっては、ロバスト性を考慮し熱電対温度45 $^{\circ}$ C以下に抑えることが望ましい。(c)焼けと分類した熱電対温度100 $^{\circ}$ C以上の領域ではマルテンサイト層深さが急激に上昇している。マルテンサイト層は高温状態から急冷することで発生する組織である。熱電対温度100 $^{\circ}$ C以上の環境下では、研削面に供給されたクーラントが膜沸騰状態になることで潤滑冷却作用が著しく不足し、急加熱されることが原因であると推測する。この状態においてはクーラント冷却および研削条件の全面的な見直しが必要である。

Test pieces ground under conditions 1-4 in Table 2 were cut near each of the channel holes of inserting the thermocouple probes and cross-sectional photographs were taken for measuring the depth of the martensite layer. As the results presented in Fig. 7 indicate, the martensite layer depth was classifiable in three categories: (a) no grinding burn, (b) slight grinding burn, and (c) grinding burn. Category (a) of no grinding burn means a condition where the martensite layer could not be detected on the finished surface. Category (b) of slight grinding burn means a condition where the martensite layer formed to a depth of less than 10  $\mu$ m from the finished surface. Category (c) of grinding burn means a condition where the martensite layer formed to a depth greater than 10  $\mu$ m from the finished surface.

The relationship between the martensite layer depth seen for grinding test conditions 1-4 in Table 2 and the thermocouple temperature is shown in Fig. 8. The thermocouple temperature used in making this comparison was the maximum temperature recorded for each thermocouple channel. The results indicate that the temperatures can be divided into three levels in relation to categories (a)-(c) in Fig. 7 as general criteria for judging grinding burn. Category (a) of no grinding burn corresponds to a thermocouple temperature below 50 $^{\circ}$  C; category (b) of slight grinding burn corresponds to a thermocouple temperature range from 50 $^{\circ}$  C to below 100 $^{\circ}$  C; category (c) of grinding burn corresponds to a thermocouple temperature of 100 $^{\circ}$  C or more. The data confirm that the thermocouple temperature for the transition from (a) no grinding burn to (b) slight grinding burn was 50 $^{\circ}$  C. When setting the grinding conditions, it is desirable to keep the thermocouple temperature under 45 $^{\circ}$  C in consideration of robustness. In the thermocouple temperature region of 100 $^{\circ}$  C or higher, classified as category (c) grinding burn, there was a pronounced increase in the martensite layer depth. The martensite layer is a microstructure that forms because of rapid cooling from a high-temperature state. Under a condition where the thermocouple temperature is 100 $^{\circ}$  C or higher, it is inferred that the coolant supplied to the ground workpiece surface becomes a film boiling state, which markedly lowers its lubrication and cooling action. That leads to sudden heating of the workpiece surface, causing the martensite layer to form. An overall review of the coolant cooling and grinding conditions in that state is needed.



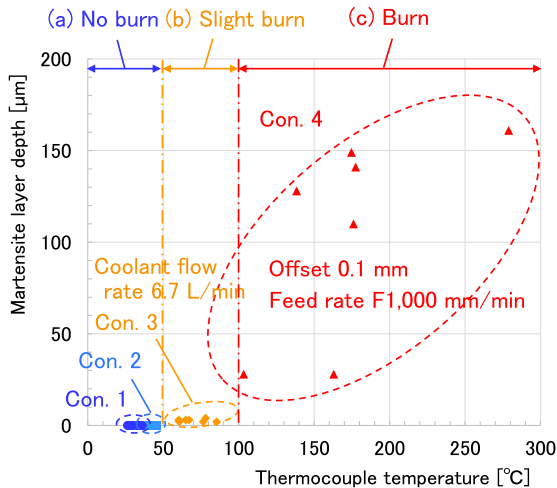


Fig. 8 Relationship between thermocouple-temperature and martensite layer depth programming simulation

Table 3 Judgment of Grinding burn (as a guide)

Burn judgment	Thermocouple temperature
(a) No burn	under 50°C
(b) Slight burn	50°C to under 100°C
(c) Burn	100°C or higher

## 6. まとめ

プーリ・ボール溝研削のサイクルタイム短縮を行うための第一歩として、研削温度の測定手法について取り組んだ結果、次の3つのことが分かった。

- (i) 研削温度上昇とマルテンサイト層深さには相関があり、この関係により、研削温度上昇から研削焼けが評価できる。
- (ii) 研削焼け判定は(a)焼け無し、(b)軽度焼け、(c)焼けの3つに分類できた。(Table 3)
- (iii) 本熱電対温度測定により、研削焼けを発生させない研削条件の定量的な検討を可能とした。

今後この手法を用いてプーリのサイクルタイム短縮を行う予定であり、その取り組みについて続報したい。

## 7. 参考文献

- (1) 伊東亮, 東孝之, 相馬伸司, 村上慎二, 厨川常元: 研削焼けの非破壊検出技術の開発, 砥粒加工学会誌 (2012)
- (2) 永田宏樹: CVT用プーリ・ボール溝研削加工の温度測定手法の開発, 自動車技術会中部支部研究発表会 (2018)

## 6. Conclusion

As a first step toward shortening the cycle time for grinding the pulley ball groove, a new method was developed for measuring the grinding point temperature. The following three findings were obtained with this new method.

- (1) The martensite layer depth was found to correlate with the rise in the grinding point temperature. Based on this relationship, grinding burn can be evaluated on the basis of the rise in the grinding point temperature.
- (2) Grinding burn judgment criteria were classified into three categories: (a) no grinding burn, (b) slight grinding burn, and (c) grinding burn (Table 3).
- (3) Using thermocouples to measure the grinding point temperature makes it possible to quantitatively evaluate grinding conditions for preventing the occurrence of grinding burn.

It is planned to use this method to shorten the cycle time for machining pulleys. The details of this work will be reported later.

## 7. References

- (1) Ryo Ito, Takayuki Azuma, Shinji Souma, Shinji Murakami, Tsunemoto Kuriyagawa, "Development of non-destructive inspection system for grinding burn", Journal of the Japan Society for Abrasive Technology (2012) (in Japanese).
- (2) Hiroki Nagata, "Development of temperature measurement method of Pulley Ball groove grinding for CVT", Journal of the JSAE Chubu Branch (2018) (in Japanese).

■ Author ■



Hiroki NAGATA

# 202x年に向けた組立ラインの進化

Assembly line evolution toward 202x

川本 典弘\*  
Norimitsu KAWAMOTO

石原 宏樹\*  
Hiroki ISHIHARA

藤野 輝昭\*  
Teruaki FUJINO

**抄 録** 202x年の将来工場の組立ラインのありたい姿として機種変動と台数変化への短期間、低コストでの対応がある。その実現のために無人工場化を掲げている。昨年度『ロボット活用による組立自動化率向上』を紹介<sup>1)</sup>したが、今回、生産部門が取り組んでいるJSL (Jatco Standard Line)として組立ラインを具現化し、進化した事例の紹介、ならびに今後の展望を明らかにする。

**Summary** Assembly lines capable of accommodating transmission model changes and production volume fluctuations in a short period of time and at low cost are the ideal form desired for future production plants in the year 202x. Full automation can be cited as one approach to achieving such lines. An article in last fiscal year's JTR described the improvement of automated assembly rates through effective use of robots.<sup>(1)</sup> The present article presents examples of the implementation and evolution of assembly lines under the Jatco Standard Line (JSL) concept being promoted by the Production Division, as well as indicating the outlook for future activities.

## 1. はじめに

国内の労働人口減少や製品の多品種化、また、海外生産拠点における人件費上昇という環境下においても、いつでも、どこでも、どんな製品でも高品質でコストミナマな生産を実現するためには、製品の組立作業を自動化することが重要となる。一方、従来の組立設備は、組立工程ごとに専用設計された設備を導入することで自動化を図ってきたが、製品の設計変更や生産需要の変動に短納期に対応することができなかった。また、専用設計された設備は、他の組立ラインに転用させる場合も改造費用が高額になり、容易に転用を図ることができなかった。これらの課題を解決するための方策が設備の共通化（プラットフォーム化）である。

以上を踏まえ、202x年に向けた組立の戦略として、「自動化」と「共通化」の追求をロードマップ（Fig. 1）として掲げ、活動を推進している。

その活動においては、近年安価になっている多関節ロボットをツールとして使い、技術開発を進めている。ロボットを軸に組立作業自動化のための技術開発、ならびに組立ラインに適した汎用プラットフォーム開発による設備共通化を進めている。

## 1. Introduction

The production environment at present is characterized by a declining working population in Japan, diversification of product types and rising labor costs at our overseas manufacturing plants. In order to carry out production of any type of product anywhere and anytime with high quality and at minimum cost in such an environment, it is essential to automate product assembly operations. We have been working to promote automation by installing equipment specially designed for each assembly process. However, with existing assembly facilities it has not been possible to cope with product design changes and production volume fluctuations quickly in a short period of time. In addition, it

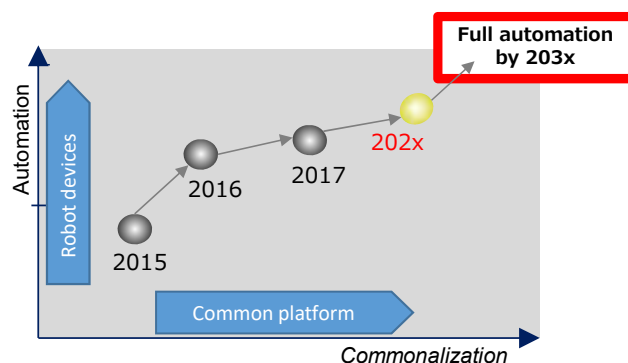


Fig. 1 Road Map to 202x assembly lines

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

## 2. 組立作業自動化

2018年度量産開始したGlobal#8(以降G#8)およびGlobal#12(以降G#12)組立ラインにて、以下のような自動化技術開発事案を採用した。

- ①プーリなどの軸物部品へのナットの仮締め
- ②コンバータハウジングのような複数嵌合箇所が有る組付  
これらのうち、今回ナット仮締めについて記述する。

### 2.1 プーリへのナット仮締作業の概要

プーリには、Fig. 2に示すようにM20程度の細目ナットが数ヶ所使用されている。作業者の手作業においても、ねじ部の噛み合せが難しく、いわゆるカンコツが必要な作業である。また、力任せに仮締めを行うとねじ部が損傷して、バリや組粉といった夾雑物発生リスクを伴う作業である。

そこで、作業者の手作業の感覚をロボットにて再現するため、力覚センサーを用いたネジ山あわせの制御ロジックを開発した。



Fig. 2 Pulleys and nuts

### 2.2 ネジ山あわせ動作

ネジ山あわせ動作においては、

- ①ナットとプーリねじ部の調芯
  - ②雄ねじと雌ねじの噛合い始点の検出
- の二つのロジックをx, y, z方向の荷重と各々のモーメントを測定できる6軸力覚センサーを用いることで開発した。Fig. 3は模式的に描いたもので、ロボットハンドとロボット本体の間に力覚センサーが配置され、ハンドに発生する荷重を測定できる。①の目的は、ロボットが把持したナットをプーリに接触させる際に製品公差、および装置の繰返

has not been easy to transfer specially designed equipment to other assembly lines because of the high cost of modifying the equipment when transferring it to other lines. One approach to resolving such issues is commonalization, i.e., to create common equipment platforms.

Based on the circumstances above, we have formulated a road map (Fig. 1) that pursues automation and commonalization as our assembly line strategy toward 202x and are proceeding with activities to accomplish it. In these activities, we are developing new production technologies using as tools articulated robots, which have become lower in price in recent years. Technologies are being developed for automating assembly operations based on the use of robots, and commonalization of equipment is being advanced by developing general-purpose platforms suitable for assembly lines.

## 2. Automation of assembly operations

The following are examples of the automation technologies developed for the global #8 (G#8) and global #12 (G#12) assembly lines that launched mass production in FY 2018.

- (1) Temporary tightening of nuts on pulleys and other shaft parts
- (2) Installation of parts with multiple mating places like the torque converter housing

The following sections will describe the temporary tightening of nuts.

### 2.1 Overview of temporary tightening of nuts on pulleys

As shown in Fig. 2, fine-thread nuts of around M20 in size are used in several places on CVT pulleys. Engaging screw threads is a difficult task even for workers to do manually and it requires a certain knack based on experience. If too much force is applied to tighten the nuts temporarily, it may damage the screw threads. This entails the risk that foreign matter like burrs or metal power may be produced as a result.

Therefore, control logic was developed for aligning the screw threads using a force sensor in order for the robot to reproduce the feeling of the manual task done by a human worker.

### 2.2 Action of aligning screw threads

Control logic was developed for the following tasks in the action of aligning screw threads:

し精度ばらつきにより発生する芯ずれを解消することである。x軸、y軸の水平2方向に発生する荷重を小さくするようにナットの位置をロボットにフィードバックし調芯する。②の目的は、仮締めを行う際に起点となる雄ねじの始まりと雌ねじの始まりが噛み合う位相の検出である。ロボットがナットを組付(z軸)方向に押しつけながら締付とは逆方向に回転させると、ナットを上向きに押し上げる荷重が発生する。雄ねじと雌ねじの始点同士が一致するとz軸方向には、一瞬大きな荷重の変動が発生する。このポイントをねじ山の噛み合い点として検出している。これらの一連の過程をFig. 4に荷重の変動波形として示す。区間Aは調芯中、区間Bはねじの噛み合い検出中、区間Cは噛み合いを検出する範囲、区間Dはプーリへのナットの仮締め中の力覚センサーの荷重変動である。本波形では経過時間4.8秒付近のFz荷重変動(20Nから0Nに減少)を噛み合い検出点として示している。

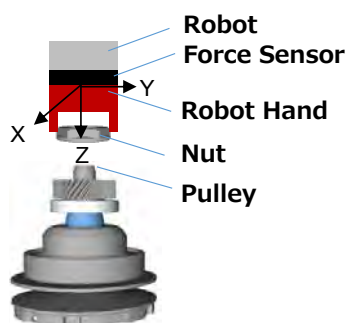


Fig. 3 Structure of nut assembly machine

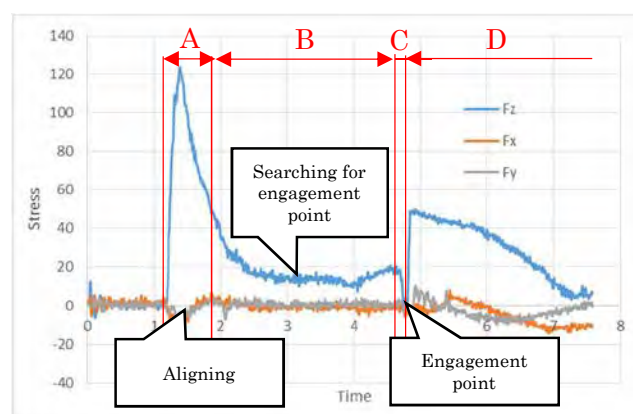


Fig. 4 Control logic for nut engagement

## 2.3 ナット仮締め自動化の成功率

本開発機をG#8に3ヶ所、G#12に4ヶ所導入し、仮締め成功率は99%となった。さらに、成功率100%を目指し、現在、改善活動に取り組み中である。

### (1) Aligning the nut and pulley screw

### (2) Detecting the starting point of male and female screw engagement

Two types of control logic were developed to accomplish these tasks by using a 6-axis force sensor capable of measuring the force in the xyz directions and each individual moment. Fig. 3 is a schematic diagram of the nut assembly machine. A force sensor is positioned between the robot hand and the robot proper to measure the force produced by the hand. The purpose of the first task above is to eliminate any misalignment caused by product tolerances or variation in machine repeatability at the time of contact between the nut held by the robot and the pulley screw. Alignment is accomplished by feeding back the position of the nut to the robot so as to reduce the force generated in the two horizontal directions of the x-axis and the y-axis.

The purpose of the second task above is to detect the phase for the engagement of the starting points of the male and female screw threads, representing the starting point for temporary tightening. While pressing the nut in the z-axis direction for assembly with the pulley screw, the robot turns the nut in the opposite direction, which produces force that pushes the nut upward. When the starting points of the male and female screw threads coincide, a large change momentarily occurs in the force in the z-axis direction. The point of that change is detected as the engagement point of the screw threads.

This series of processes is shown in Fig. 4 as waveforms indicating the changes in force. Segment A is during the alignment process. Segment B is during the search for the engagement point of the screw threads. Segment C is the range in which engagement is detected. Segment D indicates the change in force detected by the force sensor during temporary tightening of the nut on the pulley screw. Detection of the engagement point is indicated by the change in the Fz force waveform (drop from 20 N to 0 N) at an elapsed time of approximately 4.8 s.

## 2.3 Success rate for automation of temporary nut tightening

The newly developed nut assembly machine was installed in three places on G#8 and in four places on G#12. A success rate of 99% was achieved for automated temporary nut tightening. Activities are now under way to make improvements aimed at attaining a success rate of 100%.



### 3. 設備共通化

究極の組立工程の姿は、一台の設備で組立を行うフルオートラインである。生産技術部門では設備共通化の取り組みとしてJSLコンセプトを掲げ「フレキシビリティ向上」、「投資比例化」、「ダウンサイジング」を3つの柱に置き、202x年に向けた活動を進めている。組立ラインにおいては特に「フレキシビリティ向上」、「投資比例化」に重点を置いた設備開発を推進している。

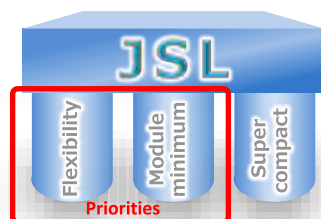


Fig. 5 Concept of JSL

#### 3.1 フレキシビリティ向上

組立ラインでは、「機種対応へのフレキシビリティ」「台数変動へのフレキシビリティ」の2点を向上させるために、多関節ロボットを組み込み、JSLプラットフォームと呼ぶ設備を開発した。設備のハード構成だけでなく、ソフト設計も共通化を図っている。

「機種対応」に対しては、機種により形状が異なる部品を組立する際は、同一設備内でロボットハンドを持ち替えて動作させるだけで対応できる。従来、2機種が限界であったが、3機種以上の対応を可能とした。(Fig. 6)

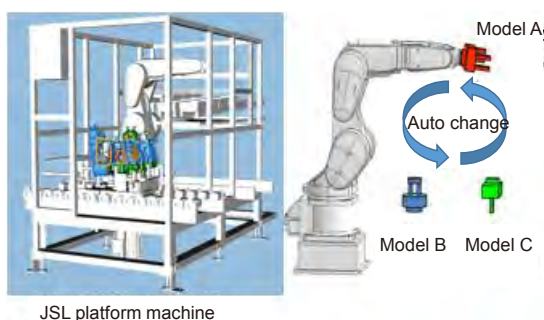


Fig. 6 JSL and flexibility for mixed model assembly

「台数変動」に対しては、機種対応と同じ考え方で、組付、締付、測定、圧入、外観検査といったさまざまな組立工法を容易に組み替えできる「工法フレキシビリティ」を実現している。Fig. 7は、スナップリングの組付作業とその組付検知という2つの工法をロボットのハンドチェンジさせることで対応した事例である。

### 3. Commonalization of equipment

A fully automatic assembly line on which one machine performs assembly operations is the ultimate form of assembly processes. The Production Engineering Division has made flexibility improvement, proportional investment and downsizing the three pillars of its efforts to promote equipment commonalization under the JATCO Standard Line (JSL) concept and is moving ahead with activities to accomplish them by 202x. The priorities for the development of assembly line equipment are especially flexibility improvement and proportional investment.

#### 3.1 Flexibility improvement

Equipment referred to as a JSL platform machine and incorporating articulated robots has been developed to improve two aspects of assembly lines, namely, flexibility for accommodating mixed model assembly and flexibility for handling production volume fluctuations. Not only the hardware composing the equipment, but also the software design is intended to promote commonalization.

Mixed model production is accommodated by changing only the robot hand of the same machine when assembling parts having different shapes because of transmission model differences. Previously, two different models were the limit, but three or more models can now be accommodated on the same line (Fig. 6).

The same concept is applied to volume fluctuations as to mixed model assembly. Task flexibility has been achieved for easily switching among various assembly operations such as installation, tightening, measurement, press fitting and visual inspection. Fig. 7 shows an example of how the operations of assembling the snap ring and checking the assembled condition are performed by switching between two robot hands for executing these tasks.

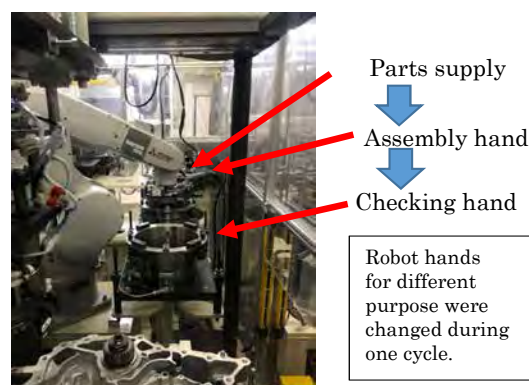


Fig. 7 Picture of snap ring assembly and checking

### 3.2 投資比例化

製品の要求台数が段階的に増加減する場合、組立ラインの生産能力も要求に合わせて段階的に対応することができれば、適切なタイミングで投資することができる。

Fig. 8に組立ラインの能力と投資額の関係を示す。従来は、工法や組み付ける部品の単位で、専用の工程が必要であったため、ラインに要求されるサイクルタイムを問わず、大きな生産能力の設備と投資額となっていた。一方でJSLでは、工法や部品に影響されずに、工程の統合、分割を自由に行い、要求サイクルタイムに応じた生産能力をそれに応じた投資額で準備することを目指している。

組立JSLでは、先に述べた「台数変動へのフレキシビリティ」の対応を行うことにより、要求サイクルタイムが長い場合は同一工程内で複数工法を組み合わせ、工程を統合しておき、短い場合は工法を分解して工程を分割することで要求台数に対する投資比例化を実現している。また、要求台数に変動が生じた場合にも工程の統合、分割が容易なため、従来よりも短期間で対応することができ、特にサイクルタイムが長く変化する場合、工法を問わずに工程を統合して、余剰となった設備を他ラインに転用可能なことが従来の設備にはない特徴となる(Fig. 9)。

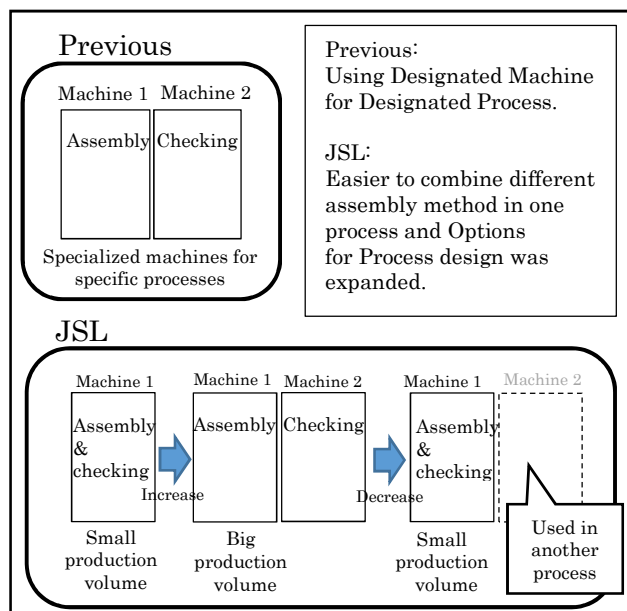


Fig. 9 Concept of process flexibility

### 3.3 設備共通化における「投資比例化」の事例

G#12における投資比例化の事例を示す。当該工程は、ディファレンシャルギア、リダクションギアという2つの軸物部品に2個ずつのベアリングを圧入する工程として生産を

### 3.2 Proportional investment

When the required volumes of a product increase or decrease in a step-like manner, if the production capacity of the assembly lines can also be adjusted similarly according to the demanded quantity, capital investment in equipment can be made in a timely way. Fig. 8 shows the relationship between assembly line capacity and the level of capital investment. Previously, specialized processes were necessary for individual operations and the parts to be assembled. Accordingly, equipment with large production capacity and involving large investments was needed regardless of the cycle time required by the assembly line. In contrast, with JSL, processes can be integrated or divided flexibly as desired without being influenced by the operation or parts involved. The aim is to prepare production capacity corresponding to the required cycle time by making capital investments proportional to the capacity needed.

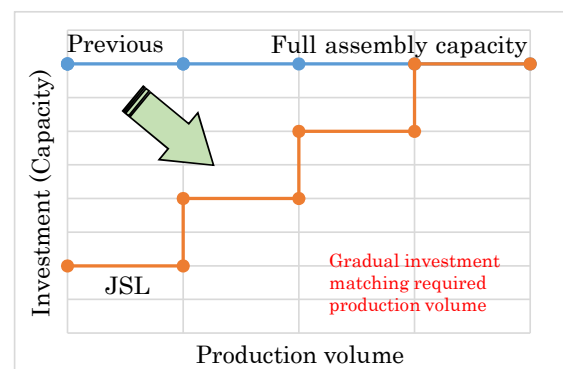


Fig. 8 Concept of proportional investment

The JSL concept for assembly operations provides flexibility for accommodating production volume fluctuations, thus achieving proportional investment matching the required unit volume. This is done by combining several operations within the same process and integrating processes in cases where a long cycle time is required, whereas operations are broken up and processes are divided in cases where a short cycle time is required. In addition, processes can be easily integrated or divided when the required production volume fluctuates, making it possible to cope with such fluctuations in a shorter period of time than before. In cases where the cycle time changes for a long period of time in particular, processes can be integrated regardless of the operations involved, and excess equipment can be transferred to other lines, which is a feature that previous equipment did not have (Fig. 9).

開始した。従来であれば圧入用のプレス2本を備えた高い生産能力の専用設備を生産開始に備えて導入することが一般的であったが、G#12では要求台数の低い立ち上げ当初は1台のJSLプラットフォームのみの設置で対応させ、初期投資額の削減を図っている。要求台数が増えたらJSLプラットフォームを1台増設し、ディファレンシャルギアとリダクションギアをそれぞれの工程で圧入させることで要求台数増に対応している。

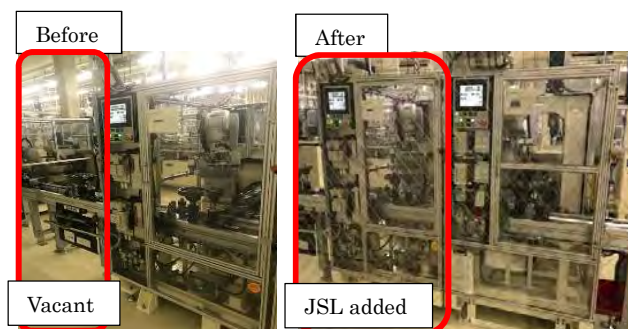


Fig. 10 Separation of bearing press fitting processes

#### 4. 今後の活動方向性

2018年度に量産を迎えたG#8、G#12ラインではJSLコンセプトに基づきプラットフォーム化された設備導入により、高い設備共通化率と自動化率を実現した。来年度以降量産を迎える次のプロジェクトにも本年度、開発を完了した自動化アイテムをJSL設備に搭載し、展開を進めて行く。

#### 5. 参考文献

##### (1) 川本典弘

ロボット活用による組立自動化率向上, ジャトコ・テクニカル・レビュー No.17, pp.77-82, 2018

#### 3.3 Example of proportional investment for equipment commonalization

This section presents an example of proportional investment for G#12. Production in this process began with the operation of press fitting two bearings each on the shafts of differential gears and reduction gears, representing two shaft parts. Previously, the general approach was to install two press machines for the press fitting operation in order to prepare specialized equipment with high production capacity for the start of production. Because the required production volume was low at the time of the production launch on G#12, only one JSL platform machine was installed initially to handle the press fitting operation, which reduced the initial capital investment. After the required production volume increased, another JSL platform machine was additionally installed to accommodate the increase in the required volume by performing press fitting in separate processes for differential gears and reduction gears.

#### 4. Direction of future activities

High levels of equipment commonalization and automation were achieved on the G#8 and G#12 lines, which began mass production in FY 2018, by implementing platform-based equipment under the JSL concept. In the next fiscal year and thereafter, it is planned to outfit JSL equipment with the automation technologies for which development has been completed and to deploy it in projects where mass production is scheduled to be initiated.

#### 5. References

(1) Norimitsu Kawamoto, "Improvement of Automated Assembly Rates through Effective Use of Robots," JATCO Technical Review, No. 17, pp. 77-82, 2018.

■ Authors ■



Norimitsu KAWAMOTO



Hiroki ISHIHARA



Teruaki FUJINO



# 品質健康診断と改善活動による品質リスクの低減

Reduction of quality risks through quality checkups and improvement activities

金子 忠司\*

Tadashi KANEKO

**抄 録** ジヤトコは、2017年度より「品質健康診断」を実施し、お取引先さまの弱みを「見える化」することにより、お取引先さまの自主的な改善活動を促進してきた。

今回、診断の結果から明らかになった課題や問題点、改善による効果を解説し、あわせてお取引先さまがジヤトコ関連部署による支援によって改善活動を進めている事例を紹介する。

**Summary** JATCO launched a quality checkup program in FY 2017 to promote self-initiated improvement activities by suppliers through visualization of their weaknesses. This article explains the issues and challenges revealed by the results of the quality checkups and the effects of improvement activities. In addition, it also presents examples of improvement activities carried out by suppliers with support from JATCO's related divisions.

## 1. 品質健康診断の狙いと2017年度の訪問実績

2017年度よりジヤトコは、お取引いただいているサプライヤさま(以下、お取引先さま)が認識できていない品質保証上のリスクを明らかにするために「品質健康診断」を開始した。「品質健康診断」は、現場のリーダー層や作業員への聞き取りや実際の作業の確認など、生産現場に従事している「ひと」の観察に多くの時間を費やし、お取引先さまが設定している基準と実態に乖離がないか、細かく確認を取ることが大きな特徴となっている。

また、トラブルが起こった際の暫定的な作業による品質不具合の発生事例も多く報告されていることから、「品質健康診断」では安全・環境面についても、品質を維持するための重大な管理項目として厳しく評価している。

お取引先さまのご協力もあり、2017年度では120社以上を訪問することができ、各社さまが抱えている課題や問題点を確認させていただくことができた。

## 2. 品質健康診断の評価結果と品質リスク

もともと品質健康診断は過去の不具合発生実績から計れないお取引先さまの品質リスクを明らかにする目的で活動している。

そのため、品質健康診断で評価したレベルと不具合

## 1. Aim of quality checkups and results of supplier visits in FY 2017

JATCO initiated the quality checkup program in FY 2017 to make clear quality assurance risks that are unrecognized by suppliers with whom we have business dealings. A quality checkup devotes a lot of time to observation of the daily activities of the people working in production workplaces. This involves interviews with workplace leaders and employees, confirmation of actual work operations and so on. A distinct feature of a quality checkup is that it reveals in detail whether there are any gaps between the standards set by suppliers and workplace realities.

There are many reports of quality problems caused by temporary work done at the time some trouble occurs. Therefore, a quality checkup also rigorously evaluates safety and workplace environment aspects as critical control items for maintaining quality.

Thanks to the cooperation of suppliers, over 120 companies were visited in FY 2017, and the issues and challenges confronting each company were confirmed.

## 2. Quality checkup evaluation results and quality risks

Quality checkups were originally started as an activity to make clear suppliers' quality risks that could not be measured from their data on the occurrence of problems in

\* 調達モノづくりサポート部  
Purchasing Monozukuri Support Department



発生の実績を基にした品質評価レベルが一致せず、その原因を確認することによってお取引先さまと品質リスクを共有することができた。

その結果、品質健康診断の評価レベルと不具合発生実績件数の分布を整理するとFig. 1となり、各ゾーン①～④の特徴的な傾向と問題点が明らかになった。

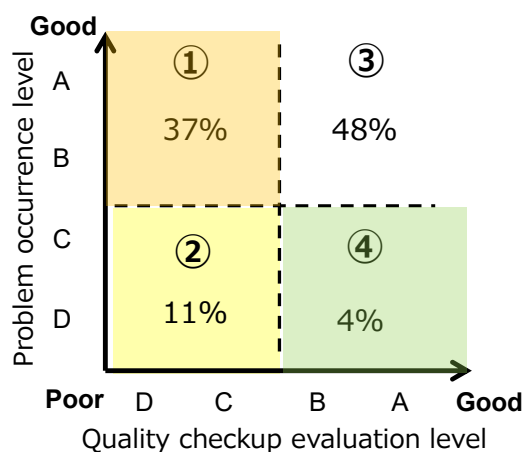


Fig. 1 Problem occurrence level and quality checkup evaluation level

#### 1) ゾーン①

不具合発生頻度が低く品質面では優秀と見なされていたが、品質健康診断では低く評価されたお取引先さまには、これまで認識されていなかった品質リスクが存在しており、早急に改善活動を実施する必要がある。

#### 2) ゾーン②

不具合発生頻度が高く、健康診断のレベルも低いお取引先さまは、現在実施している改善活動の有効性に疑問があり、速やかに見直す必要がある。

#### 3) ゾーン③

不具合発生頻度が低く、健康診断のレベルも高いお取引先さまは、現状のしくみが機能しておりマネジメント力も高いと判断できるため、今後も維持・継続に注力していただく。

#### 4) ゾーン④

不具合発生の頻度が高く、健康診断のレベルの高いお取引先さまは診断で評価しているオペレーション以外に問題がある。またジャトコも具体的な問題点がわかるように診断時に評価しているチェックシートを見直し、項目を追加した。

the past. Consequently, the evaluation level in the quality checkup and the quality evaluation level based on problem occurrence data did not coincide. Confirmation of the causes of such inconsistencies made it possible to achieve a shared recognition of quality risks with suppliers.

As a result, the distribution of the quality checkup evaluation levels and the actual number of occurrences of problems was arranged as shown in Fig. 1. This made clear distinctive trends and problems in each of the zones from (1) to (4).

#### (1) Zone (1)

Suppliers here previously had a low frequency of problems and were regarded as having excellent quality, but received a low evaluation in the quality checkup. They have quality risks that were not recognized heretofore and urgently need to implement improvement activities.

#### (2) Zone (2)

Suppliers here previously had a high frequency of problems and also received a low evaluation in the quality checkup. There are doubts about the effectiveness of the improvement activities they are currently carrying out and a review of the activities should be done immediately.

#### (3) Zone (3)

Suppliers here had a low frequency of problems and received a high evaluation in the quality checkup. It can be judged that their current practices are functioning well and that they have high quality management capabilities. They are asked to focus efforts on maintaining and continuing high quality levels in the future.

#### (4) Zone (4)

Suppliers here had a high frequency of problems but received a high evaluation in the quality checkup. There are problems outside the operations evaluated in the quality checkup. So that JATCO could also understand the specific problems, the check sheet used in the quality checkup evaluation was revised and additional items were added.

As the foregoing results indicate, the quality checkups revealed the realities of suppliers' production workplaces. Even suppliers with few occurrences of problems recognized that they have quality risks and need to implement improvements.

The results also confirmed that the evaluation level in the quality checkup correlates with not only the number of problems but also the number of occurrences of one type of problem.

この品質健康診断により生産現場の実態が明らかになり、不具合発生件数が少ないお取引先さまにも品質リスクの存在と改善の必要性を認識していただけるようになった。

また、不具合件数だけでなく、不具合1件に対する発生個数についても、品質健康診断の評価レベルとの相関が確認できる。

今回改めてデータを整理するとFig. 2となり、診断レベルが悪化するにつれ発生個数は増加する傾向にあり、加えてA・BレベルとC・Dレベルを境にして明確な差を観ることができる。

以上のことから、健康診断評価がBレベル以上に達していなければ、不具合発生リスクは件数・個数の両面から大きく高まるといえる。

実際、品質健康診断によって明らかになったリスクに危機感を持たれたお取引先さまは多く、短期間で改善を進めレベルアップを果たされている。また、これまで改善活動を実施しても結果に繋がらないとお悩みだったお取引先さまにおいても、品質健康診断に基づいた改善が進むにつれ、不具合発生件数や個数の減少が確認されている。

### 3. 品質保証における「改善力」の重要性

品質健康診断に基づいた改善活動の進捗状況を定期的に確認しているが、お取引先さまごとに改善の速さや効果の違いが発生している。

これは品質健康診断のように、自ら「現状」を認識し改善する場合、お取引先さま自身の課題解決を図る「改善する力（以下、「改善力」）」の違いが速さや効果の差を生んでいる。

このことは、我々が健康診断の結果から体質改善を進めることを例にとると非常にわかりやすい。

- 自分が異常な状態にあることを認識できなければ、体調の不良は放置され、症状は進行する。
- 症状を認識しても原因や適切な処置を知らなければ、治癒に時間がかかったり、反対に悪化させてしまう場合もある。
- 健康な状態に回復しても、その状態を維持する努力をしなければ元の悪い状態に戻ってしまう。

Summarizing the data again as shown in Fig. 2, a trend is seen for the number of occurrences to increase as the quality checkup evaluation level worsens. In addition, clear differences can be seen at the dividing point between levels A and B and levels C and D.

The foregoing results indicate that unless the quality checkup evaluation reaches level B or higher, the risk of problems occurring increases with respect to both the number of problems and the number of occurrences.

Actually, many suppliers came to have a sense of crisis about the quality risks revealed by the quality checkup and proceeded to improve their levels in a short period of time by promoting improvements. Moreover, there were suppliers who had been implementing improvement activities previously but were troubled because their efforts did not lead to results. They have also confirmed that the number of problems and the number of occurrences have been reduced by undertaking improvements based on the quality checkup results.

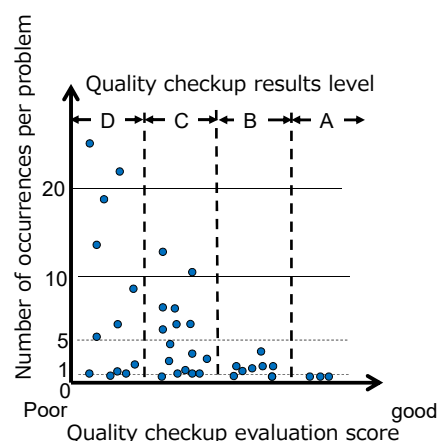


Fig. 2 Quality checkup evaluation level and number of occurrences per problem

### 3. Importance of improvement capabilities in quality assurance

The progress of improvement activities based on the quality checkup is periodically confirmed. There are differences among suppliers with regard to the speed and effect of improvements. Such differences are caused by differences in the improvement capabilities of the suppliers themselves for resolving issues in the course of striving to change their current condition, as they themselves recognize it based on the quality checkup, to a normal state.

This can be understood very easily if we liken it to improvement of a person's physical condition based on a general medical examination.

品質改善活動も同じで、正しく現状を認識する意識を持ち、正確な分析と適切な方法で改善し、その状態を維持するマネジメントがあって初めて改善が進む。実際、診断した時点では評価が低い状態であっても「改善力」が高いお取引先さまは、いったん課題を認識すると短期間で改善を進めている。

反対に、診断評価も実績評価も高いにも関わらず、「改善力」が低いと簡単な改善もなかなか進めることができないお取引先さまも存在している。「改善力」は良好な状態を維持する能力も表しており、「改善力」が低いお取引先さまは、現在の評価が高くても管理力不足による品質の悪化が将来的に懸念される。

このように「改善力」はお取引先さまの品質リスクと関連性が高く、品質健康診断では、改善の進捗確認の際に「分析力」と「推進力」の両面から評価を行い、「改善力」の向上も促している。

- If people themselves cannot recognize that their condition is abnormal, they will let their poor physical condition go unattended and it will get worse.
- If people recognize their condition but are unaware of a suitable remedy, there are also times when healing may take longer or the condition may conversely worsen.
- Even if people become healthy, if they do not make an effort to maintain their health, they will revert to an unhealthy condition again.

Quality improvement activities are the same. One must be conscious of recognizing the current situation correctly and make improvements based on a proper analysis and using suitable methods. Improvement will only be achieved when there is proper management for maintaining that state.

Even suppliers who had at a low evaluation level in the quality checkup but possess improvement capabilities have actually undertaken improvements in a short period of time once they recognized the issues involved. In contrast to them,

Table 1 Level and aim of the improvement force

Improvement capabilities = analytical ability & driving force (correct analysis and quick execution)

Analytical ability		Driving force	
Level A Good	Can delve deeply to the true cause, in addition to just temporary factors	Level A Good	Officer class and upper level managers themselves promote improvements and make efforts matching their authority (capable people)
Level B	Can correctly analyze why a gap occurs and what factors are involved for preventing it	Level B	Accurately report the results and effectiveness of executing a plan and capable of managing
Level C	Can correctly recognize the gap between what should be and what is	Level C	Can accurately determine the order of priority and prepare a plan in a suitable amount of time
Level D	Can correctly define what the desired condition should be	Level D	Has the know-how and methods for correctly resolving issues and challenges
Level E	Can correctly identify and recognize the current condition	Level E	Can share issues and challenges with others in the company
Level F Poor	Cannot correctly identify the current condition nor observe standards and rules	Level F Poor	Cannot get a consensus regarding improvements

#### 4. ジャトコによる改善活動の促進

以上述べてきたように、品質健康診断によって今まで認識できなかった課題や問題点が明らかになり、多くのお取引先さまが改善活動を実施することによって品質リスクを低減している。

一方、改善の重要性はわかっているもののなかなか改善が進まないお取引先さまも多く存在している。

改善が進まないお取引先さまに協力し、改善が進まない原因を確認すると、特に現場管理に関するさまざまな問題点が明らかになった。

there are some suppliers who cannot easily resolve even simple issues because they have low improvement capabilities, despite receiving a high quality checkup evaluation and having a highly regarded quality record. Improvement capabilities are also expressed in the ability for maintaining a good condition. There is concern that suppliers who have low improvement capabilities may show a decline in quality in the future due to their insufficient quality management ability even though they have a high evaluation at present.

As indicated here, improvement capabilities are closely related to a supplier's quality risk. In confirming the progress of improvements, the quality checkup evaluates improvement capabilities in terms of both analytical ability and driving force and also encourages enhancement of improvement capabilities (Table 1).

①教育などで十分なスキルを取得できておらず、分析などの業務が一部のしかできない。

②「技能習熟訓練計画」や「新規の帳票作成」など、携わる機会の少ない業務はOJT中心の教育では身に付けづらい。管理監督者・リーダー層でもそのような実業務を経験した人が少ないため、部下に対してもなかなか指導できない。

③他の業務に追われ改善活動に割ける工数に限界があり、簡単な対応に終わってしまう。

このような切実な問題で悩んでいるお取引先さまが想像以上に多く、いずれも「ひと」に関わることが多いことが改めて分かった。

実際にお取引先さまだけでは、このような問題点を解決しながら改善活動を進めることが難しいこともわかってきた。

そこで、お取引先さまから挙げた問題点の中から、要望の多かった現場管理の改善に焦点をあて、ジャトコから係長・工長経験者を派遣し、さまざまな支援を段階的に開始した。お取引先さまから要望された内容を事例として以下に記載する。

#### 【各種教育・指導】

- 「技能習熟訓練計画」や「新規帳票作成」など、携わる機会の少ない業務に対する説明や指導
- 作業観察の意義や手順の説明
- ジャトコが要求している品質事項の解説
- ジャトコで使用している各種帳票の紹介やお取引先さまに合わせたアレンジの提案

#### 【現場管理力の向上】

- 組織体制やラインレポートの改善提案
- 現場ミーティングの改善指導
- 管理監督者層基礎教育
- 5S改善指導

このように、お取引先さまから支援を要望されている内容は短期的なものから長期的なものまで多岐にわたっており、それに対応するに従ってジャトコによる人材サポートも徐々に浸透し始めている。

#### 4. JATCO's promotion of improvement activities

As described above, the quality checkups revealed issues and problems that suppliers had not been conscious of before. Many suppliers have reduced their quality risk by implementing improvement activities. Meanwhile, there are also many suppliers who understand the importance of implementing improvements, but cannot seem to make progress toward improvement. In providing cooperation to suppliers having trouble achieving improvements, the reasons why improvements did not advance were confirmed. It was found that various problems were related especially to workplace management as indicated below.

(1) Employees have not secured sufficient skills through education and training, and only some are able to do analyses and other improvement-related tasks.

(2) Planning training programs for skills acquisition, creating new forms and other tasks for which there are few opportunities to be involved are mainly taught through on-the-job training (OJT), but it is difficult to master the skills needed for such work. Even among managers, supervisors and leaders, there are few people who have experience in such practical tasks, so they cannot instruct their subordinates.

(3) Because employees are hard-pressed by other work, the man-hours that can be allocated for improvement activities are limited. Efforts tend to end in simple measures.

The number of suppliers that were troubled by these kinds of serious problems was more than we imagined, and we learned again that many tissues were human-related. It was also evident that suppliers could not actually resolve these kinds of issues by themselves in a short period of time.

Therefore, attention was focused on improving workplace management for which there were many requests from suppliers among the problems that were raised. JATCO began providing various forms of support progressively, including dispatching managers and persons with foreman experience. The following are examples of the types of requests received from suppliers.

#### Various types of training and guidance

- Explanations and guidance for planning training for skills acquisition, creating new forms and other tasks for which there are few chances to be involved
- Explanation of the significance and procedure for observing work operations



## 5. まとめ

出来ていないことを「見える化」して、お取引先さまの品質体質を向上する「品質健康診断」を開始して約2年となったが、お取引先さまの努力もあり、徐々にその成果が出てきている。現在はジャトコによる支援活動も開始し、お取引先さまの品質レベルは確実に向上している。

ジャトコとお取引先さまは、「ゼロ・デフekt」を目標にして品質の改善に努めているが、「品質健康診断」からの観点に立つと、今後の維持や向上のためには現場管理の強化や現場改善などの改善活動だけでなく、それを実際に行う「ひと」の育成が重要なことが改めて認識できる。

最後に、本活動へのご協力と品質改善に取り組んでいただいているお取引先さまへ、深く感謝の意を表す。

## 6. 参考文献

長谷川 公一・金子 忠司、お取引先さまのさらなる品質向上を目指した「品質健康診断」。Jatco Technical Review No.17.pp.89-94 (2017)

- Explanation of the quality items required by JATCO
- Explanation of the various forms used at JATCO and proposals for adjusting them for use by suppliers

Improvement of workplace management capabilities

- Proposals for improving organizational structures and production line reports
- Guidance on improving workplace meetings
- Basic training for managers and supervisors
- Guidance for 5S improvement

As noted here, requests from suppliers cover a wide range of areas, from short-term to long-term items. In responding to these requests, JATCO has started gradually to penetrate support through human resources as well.

## 5. Conclusion

Approximately two years have passed since JATCO started quality checkups for improving the quality system of suppliers by making unsatisfactory aspects visible. The results of this program are gradually beginning to appear. At present, JATCO has also launched various support activities and the quality levels of suppliers are steadily improving.

JATCO and suppliers are working together to improve quality, aiming to achieve the goal of zero defects. From the perspective of the quality checkup program, activities for strengthening workplace management and improving workplaces, among other things, will be needed to maintain and improve quality levels in the future. In addition to that, we also recognized once again the importance of educating and training the people who actually carry out those activities

Finally, the author would like to express his deep appreciation to the suppliers for their cooperation with this program and their continued efforts to improve quality levels.

■ Author ■



Tadashi KANEKO

# 日産自動車向け Altima用Jatco CVT8(JF016E)の紹介

Introducing the Jatco CVT8 (JF016E) for the Nissan Altima

2018年10月に北米で発売された日産自動車株式会社の新型車「Altima」にJatco CVT8(JF016E)が搭載された。

JF016Eでは制御の安定性と高応答を両立した新設計コントロールバルブの採用による飛躍的な変速レスポンスの向上と、さらなる大幅なフリクションの低減により、新規開発の4気筒エンジンの性能を引き出し、動力・運転性能のフィーリング向上と燃費性能向上に貢献している。

The Jatco CVT8 (JF016E) is installed on the new-generation Altima that Nissan Motor Co., Ltd. released in North America in October 2018. The JF016E adopts a newly designed control valve that provides both control stability and high responsiveness to achieve a dramatic improvement in shift response along with a further substantial reduction of friction. As a result, the JF016E helps to elicit the full performance of the newly developed 4-cylinder engine, thereby contributing to an improved feeling of power performance and driveability as well as enhanced fuel economy.

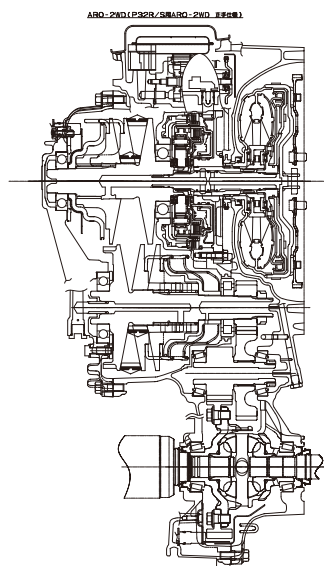


Fig. 1 Main cross-sectional view

Table 1 Specifications of JF016E

Torque capacity	250 Nm
Control system	Electric
Torque converter size	236 mm
Pulley ratios	2.631-0.378
Ratio coverage	7.0
Reverse gear ratio	0.745
Final gear ratio	4.828
Number of selector positions	5 (P, R, N, D, L) +Manual shift mode
Overall length	361.4 mm
Weight (wet)	93.4 kg



Nissan Altima

# SAIC-GM 社向けBuick Excelle用 Jatco CVT7(JF015E)の紹介

Introducing the Jatco CVT7 (JF015E) for SAIC-GM's Buick Excelle

2018年6月に中国で発売されたSAIC-GM社の「Buick Excelle(中国名:凱越)」にJATCO CVT7(JF015E)が搭載された。これは当社初の中国カーメーカへの適用開発である。

JF015Eは中国で販売されるCVT7としてアイドルストップとダイナミックステップシフトなどの最新技術を採用して燃費向上と運転性を両立した。そしてGM社のCybersecurityという通信診断の保安性を強化したシステムをCVTに初めて導入し、認定されてない外部からの侵入・改変に対するの保安強化を行った。

The Jatco CVT7 (JF015E) is mounted on the Buick Excelle (Chinese model name: Kaiyue) that SAIC-GM Co., Ltd. released in China in June 2018. This is JATCO's first application development for a Chinese vehicle manufacturer. The JF015E marketed in China as the CVT7 features cutting-edge technologies such as a start-stop system and Dynamic Step (D-Step) Shift Control for improving both fuel economy and driveability. It is also the first CVT to implement GM's cybersecurity system for analyzing incoming communications for stronger security. This system reinforces security against unauthorized external access in the form of attacks or alterations.

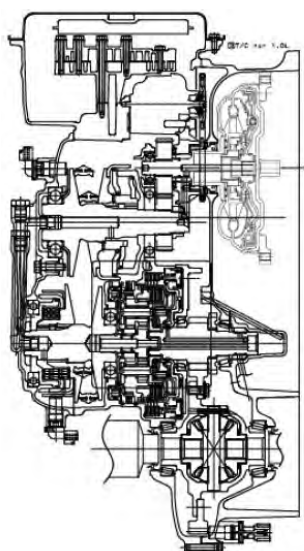


Fig. 1 Main cross-sectional view

Table 1 Specifications of JF015E

Torque capacity	130 Nm
Pulley ratios	2.2 - 0.55
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	P, R, N, D, L
Overall length	341.2 mm
Weight (wet)	70.13 kg



SAIC-GM's Buick Excelle

# 日産自動車向け Micra用Jatco CVT7 (JF015E) の紹介

Introducing the Jatco CVT7 (JF015E) for the Nissan Micra

2019年3月に欧州で発売された日産自動車株式会社の新型車「Micra」にJatco CVT7 (JF015E) が搭載された。

JF015Eは副変速機によるワイドレシオカバレッジと低フリクションが特長で、新開発 3気筒1.0Lターボエンジンとの組み合わせにより、発進、加速性能の向上とともに、クラストップレベルの燃費性能と欧州の排ガス規制であるEuro6DTemp対応を実現している。また、3気筒新開発エンジンに適用するため、トルクコンバーター内のロックアップダンパーを新規設計し、音振性能と燃費性能の両立に貢献している。

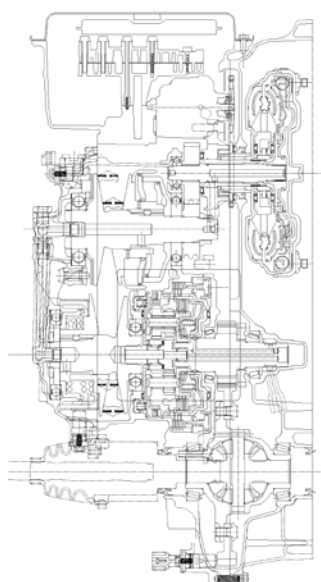


Fig. 1 Main cross-sectional view

The Jatco CVT7 (JF015E) is installed on the new-generation Micra that Nissan Motor Co., Ltd. released in Europe in March 2019. The JF015E features wide ratio coverage and low friction, thanks to its auxiliary transmission. Combined with a newly developed 3-cylinder 1.0L turbocharged engine, it improves launch and acceleration performance and also contributes to class-leading fuel economy as well as compliance with Europe's Euro6DTemp exhaust emissions standard. The lockup damper in the torque converter was newly designed for application to the new 3-cylinder engine and contributes to improving both noise and vibration performance and fuel economy.

Table 1 Specifications of JF015E

Torque capacity	150 Nm	
Torque converter size	205 mm	
Pulley ratios	2.2 - 0.55	
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	5	
Overall length	342.1 mm	
Weight (wet)	67.3 kg	



Nissan Micra



[illegible]

# 2018年のトピックス

Highlights of 2018

## 1. モーターショーへの出展

4月25日～5月4日に、北京の中国国際展覽センターで開催された「北京モーターショー2018」に出展した。ジヤトコの成長にとって最も重要なマーケットの1つである中国でのモーターショー出展を通して、燃費や運転性能に優れたCVT技術で中国のクルマ社会の発展への貢献を訴求した。このモーターショーで当社は、電動化時代に対応する48Vマイルドハイブリッドトランスミッションを初出展した。

また、11月16日～25日に、「第16回広州モーターショー」が広州の中国輸出入商品交易会展示館で開催され、ジヤトコは部品展に出展した。Jatco CVT7, Jatco CVT8, Jatco CVT7 W/Rなどジヤトコ広州で生産しているユニットを中心に展示し、48Vマイルドハイブリッドトランスミッションもあわせて展示した。



## 2. JSAE主催イベントへの参加と支援

5月23日～25日にパシフィコ横浜で開催された「人とするテクノロジー展」に出展し、CVTの燃費性能や動力性能に関する最新技術を通して、CVTの強みやトランスミッションのクルマの性能向上への多大な貢献を紹介した。

また、7月27日にパシフィコ横浜で、11月23日にスリーエム仙台科学技術館で、それぞれ開催された「キッズエンジニア2018」にプログラムを提供した。10年間続いたプログラムを一新した「輪ゴムで変速するクルマを作って走らせよう!」は、簡易模型を作り、プーリの大きさを変えること

## 1. JATCO exhibits at motor shows

JATCO presented a booth at the 2018 Beijing International Automotive Exhibition (Auto China 2018) held at the China International Exhibition Center in Beijing from April 25 to May 4, 2018. China is one of the most important markets for JATCO's continued growth. By displaying products at motor shows in China, JATCO has emphasized its contributions to the development of China's motorized society through the provision of CVT technologies providing outstanding vehicle fuel economy and driveability. At this motor show, JATCO exhibited for the first time its 48V mild hybrid transmission designed for the age of vehicle electrification.

JATCO also exhibited products at the auto parts and accessories section of the 16<sup>th</sup> China Guangzhou International Automobile Exhibition (Auto Guangzhou 2018) held at the China Import and Export Fair Complex from November 16-25, 2018. The main products displayed were the units being produced by JATCO (Guangzhou), including the Jatco CVT7, Jatco CVT8 and the Jatco CVT7 W/R. Also on display was JATCO's 48V mild hybrid transmission.

## 2. Participation in and support for JSAE-sponsored events

JATCO presented a booth at the 2018 Automotive Engineering Exposition held at the Pacifico Yokohama Exhibition Hall from May 23-25, 2018. By displaying the latest CVT technologies related to vehicle fuel economy and power performance, JATCO introduced the strong points of CVTs and emphasized how the transmission contributes significantly to vehicle performance.

JATCO also presented a program at Kids Engineering 2018 that was held at the Pacifico Yokohama Exhibition Hall on July 27, 2018 and at the 3M Sendai City Science Museum on November 23, 2018. The previous program that had continued for ten years was completely redone under the theme of "let's make and operate a car that shifts by rubber bands." The kids made a simple model car and experienced first-hand differences in operation, such as going fast and climbing a slope, by changing the size of the transmission pulleys. Hands-on classroom activities, demonstration

で、速く走ったり坂を登ったりと、走りの違いを体験できるものとなった。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4日～6日に小笠山総合運動公園(ECOPA)で「第16回全日本学生フォーミュラ大会」が開催された。ジヤトコとジヤトコ 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。また、両社の有志が技術支援を実施した名城大学は好成績を残し、千葉工業大学は健闘した。

### 3. 各国のSAE学術講演会への参加

米国、中国、韓国、日本で行われた各国のSAE主催大会において計11件の技術講演を実施した。最新のCVT制御技術、生産技術、CAE技術、実験計測技術等、多岐にわたる技術領域におけるジヤトコの取り組みを紹介する発表を実施した。また、日本、中国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。



### 4. VDI学術講演会への参加

6月27日・28日に独ボンで「第18回VDI(ドイツ技術者協会)トランスミッション会議」が開催された。当社は燃費と運転性に優れた新ロックアップ制御の技術講演を実施した。ブースでは、当社として欧州では初めて48Vマイルドハイブリッドトランスミッションのカットモデルを展示し、ジヤトコフランスのエンジニアによるJatco CVT8の解体デモンストレーションを初めて行った。

programs and exhibits at this event enable the participants to learn about science and technology in various technical fields centered on vehicles, ranging from vehicle mechanisms to environmental issues. JATCO has been a supporter of this event since it was first organized in 2008.

The 16<sup>th</sup> Student Formula SAE Competition of Japan was held at the Ogasayama Sports Park (ECOPA) from September 4-6, 2018. JATCO and JATCO Engineering provided support for this competition, and employees also contributed to the event by serving as judges. Volunteers from the two companies also gave technical support to the student teams from Meijo University and Chiba Institute of Technology, Meijo University achieved excellent results and Chiba Institute of Technology performed solidly.



### 3. Participation in SAE conferences in various countries

JATCO employees presented a total of 11 technical papers at SAE-sponsored conferences held in the U.S., China, South Korea and Japan. Their presentations introduced JATCO's activities in a broad range of technical fields, including the company's latest CVT control technologies, production engineering technologies, CAE techniques, and testing and measurement technologies, among other areas. JATCO also presented a booth at the SAE Congresses held in Japan and China, which enabled visitors to these events to recognize the outstanding fuel economy and excellent driveability achieved with CVTs.

### 4. Participation in VDI conference

The 18<sup>th</sup> International VDI Congress "Drivetrain for Vehicles" was held in Bonn, Germany, on June 27-28, 2018, sponsored by the Verein Deutscher Ingenieure (The Association of German Engineers). A JATCO employee gave a technical presentation on the company's new torque



### 5. CTI講演会への参加

5月14日～17日に米ミシガン州のノバイで「第12回CTIシンポジウムUSA」が開催され、当社社員が新ロックアップ制御の技術講演を行った。

9月18日～20日に中国上海で開催された「第7回CTIシンポジウムChina」で、ジャトコ広州の社員がトランスミッションの電動化時代に対応する当社の考えを示す基調講演を実施した。また、当社社員が新ロックアップ制御の技術講演を行った。

12月3日～6日に独ベルリンで開催された「第17回CTIシンポジウム」で、当社社員がトランスミッション以外をバーチャルで構成する実験設備、48Vマイルドハイブリッドトランスミッションの2件の技術講演を行った。



### 6. FISITA学術講演会への参加

10月3日～5日、2年に1度開催の自動車技術を扱う最高峰の国際会議である「FISITA World Automotive

converter lockup control for obtaining outstanding fuel economy and driveability. The JATCO booth displayed a cut-away model of the 48V mild hybrid transmission that was exhibited for the first time in Europe. JATCO France engineers gave a first-ever demonstration on how to disassemble the Jatco CVT8.

### 5. Participation in CTI Symposiums

A JATCO employee presented a technical paper on the company's new torque converter lockup control at the 12th CTI USA Symposium held in Novi, Michigan, on May 14-17, 2018.

A JATCO (Guangzhou) employee gave a keynote speech on JATCO's thinking for coping with the age of transmission electrification at the 7th China CTI Symposium held in Shanghai, China, on September 18-20, 2018. In addition, a JATCO employee presented a technical paper on the new torque converter lockup control.

Two JATCO employees gave technical presentations at the 17th International CTI Symposium held in Berlin, Germany, on December 3-6, 2018. One presentation dealt with a test system composed entirely of virtual elements except the transmission and the other one concerned JATCO's 48V mild hybrid transmission.

### 6. Participation in FISITA World Congress

The FISITA World Automotive Congress 2018 was held in Chennai, India, on October 3-5, 2018. Held once every two years, this World Congress is one of the highest level international conferences dealing with automotive technology. A JATCO employee gave a technical presentation concerning a dynamic performance analysis of the torque converter lockup clutch.





Congress 2018」が開催された。今回はインドのチェンナイで開催されたこの国際会議で、当社社員はロックアップクラッチの動的性能解析に関する発表をした。

## 7. ジヤトコ韓国20周年記念式典開催

ジヤトコ韓国エンジニアリング社（以下JKE）は20周年を迎え、その記念式典が5月25日に韓国ソウルにて行われた。カーメカやサプライヤの来賓の方々、ジヤトコ韓国の歴代社長らを迎え盛大に執り行われ、これまでの20年を振り返るとともにこれからの100年の発展を誓った。ジヤトコは、1998年5月、海外における本格的な開発拠点として韓国にJKEを設立、その後分社したジヤトコ韓国サービス社とともに、両社はジヤトコグループ全体の解析業務や主に韓国自動車メカ向けAT/CVTユニットの開発業務を中心に事業活動を続けている。



## 8. 経済産業省主催の公開シンポジウムで ベストプラクティスの一つに選出

6月に経済産業省主催により開催された公開シンポジウム「サプライチェーン全体での品質保証体制の強化に向けて」の中で、ジヤトコが取り組む「トレーサビリティシステムの活用」が、品質保証体制の強化に関するベストプラクティスの一つに選ばれた。当社が実施するトレーサビリティシステムが「安心感」「不満がない」「すぐ直る」の『当たり前品質の実現』と、車に乗った際の「加速感」「スムーズ感」「燃費」の『商品の魅力の向上』の両面で顧客の期待値の実現方策として大いに役立っていることが評価された。

## 7. JATCO Korea Engineering holds 20th anniversary ceremony

JATCO Korea Engineering Corporation (JKE) held a ceremony in Seoul, South Korea, on May 25, 2018, to celebrate the company's 20th anniversary. The grand celebration welcomed honored guests from automakers and suppliers as well as successive JKE presidents. A review was made of the past 20 years to date and a pledge was given to strive for further development over the coming 100 years. JATCO established JKE in South Korea in May 1998 as a full-fledged overseas engineering center. Subsequently, JATCO Korea Service Corporation was spun off, and both companies have continued their business activities centered on simulation work for the entire JATCO Group and on the development of AT/CVT units primarily for South Korean automakers.

## 8. Selected for a best practice at a METI-sponsored public symposium

JATCO's activity for "making effective use of a traceability system" was selected as a best practice for strengthening the quality assurance system at a public symposium sponsored by the Ministry of Economy, Trade and Industry in June 2018. The theme of the symposium was "toward strengthening the quality assurance system of the entire supply chain." JATCO's traceability system was highly evaluated as being a very useful measure for satisfying customers' expectations in two respects. One is the attainment of must-be quality in terms of peace of mind, no dissatisfaction and quick repairability. The other is the improvement of product attractiveness with regard to fuel economy and the feeling of acceleration and smoothness when driving.

## 9. Awards received at the Karakuri Kaizen Exhibition and QC Circle Congresses

The Karakuri Kaizen Exhibition was held at the Nagoya International Exhibition Hall (Portmesse Nagoya) on October 25-26, 2018. Among the eight exhibits presented by JATCO, the Band-Kirin was awarded the Idea Prize. JATCO exhibits have received awards at this event for five consecutive years.

At QC Circle Congresses, the Most Impressive Award was won by the PMC Club at the National QC Circle

## 9. からくり改善展とQCサークル大会における受賞

10月25・26日にポートメッセ名古屋で開催された「からくり改善くふう展」で、ジヤトコから出展の8作品の1つ「バンド切リン」がアイデア賞を受賞した。本展における当社の受賞は5年連続となった。また、QCサークル大会においては、2月の全国大会でPM3倶楽部が、7月の全国大会でギアサンミッドが、9月の全国大会でRED BULL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、ジヤ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。



## 10. ジヤトコ広州が広東省上位500企業&製造業上位100企業に3年連続で選出

8月9日、2018年広東省企業500強、製造業100強表彰式が広州白雲国際会議センターで開催された。広東省主催によるこの賞は、広東省の各企業を多方面に評価するもので、ジヤトコ広州は表彰500社中128位、製造業表彰100社中41位で、ともに3年連続での受賞となった。

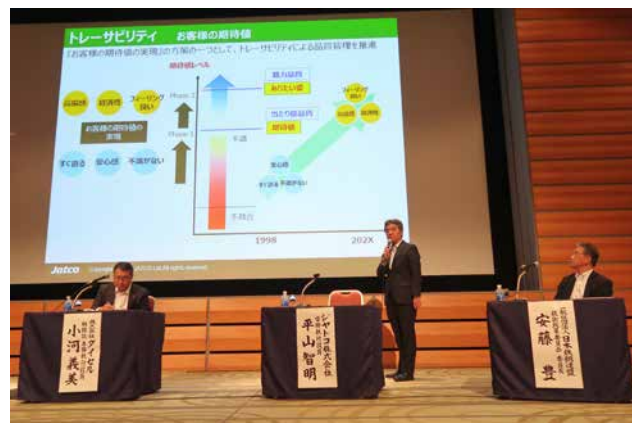
## 11. ジヤトコ蘇州の設立を発表

中国でのCVTの生産能力拡大のため、中国江蘇省張家港市に中国における第二のCVT生産拠点として、ジヤトコ(蘇州)自動変速機有限公司を設立した。中国市場のCVT需要の拡大に伴い、2009年に生産開始したジヤトコ広州の年間生産台数は100万台を超えており、今回はさらなる能力拡大のために設立した。また、9月27

Congress in February 2018, by Gear Sun-mid at the National Congress in July and by Red Bull at the National Congress in September. These awards for Karakuri Kaizen, which have no special power source or control devices, and for QC circle activities to improve quality on the shop floor were presented because of the high evaluation given to JATCO's firm commitment to quality in production workplaces and its outstanding creativity for making improvements.

## 10. JATCO (Guangzhou) selected among top 500 companies and top 100 manufacturers in Guangdong Province for three consecutive years

An awards ceremony was held at the Guangzhou Baiyun International Convention Center on August 9, 2018 to recognize over 500 companies and over 100 manufacturers in Guangdong Province. These awards sponsored by Guangdong Province are based on a multifaceted evaluation of each enterprise operating in the province. JATCO (Guangzhou) ranked 128th among the 500 commended companies and 41st among the 100 commended manufacturers. JATCO (Guangzhou) has received both awards for three consecutive years.



## 11. Announcement of establishment of JATCO (Suzhou)

JATCO (Suzhou) Automatic Transmission Ltd. was established in Zhangjiagang City, Jiangsu Province, as JATCO's second CVT production plant in China in order to expand the company's CVT production capacity in that country. Along with the expansion of CVT demand in the Chinese market, the annual production volume of JATCO (Guangzhou), which launched production in 2009, now exceeds one million units. JATCO (Suzhou) was established to increase production capacity further in the coming years.

日には当社および張家港経済技術開発区、工事関係者出席のもと着工式が執り行われた。生産開始は2019年末、立ち上げ時の生産能力は年間48万台、従業員数は約1,000名規模で、中・大型FWD車用のJatco CVT8を生産する予定である。

## 12. CVTグローバル#12ラインJatco CVT8 出荷式典開催

12月7日、当社富士第2地区にてCVTグローバル#12ライン(以下G#12ライン)のJatco CVT8出荷式典が開催された。G#12ラインは、多関節ロボット導入による自動化やJatco Standard Lineコンセプトに基づいた生産能力を生産要求数に応じて順次増強していくための工夫を取り入れた最新生産ラインである。(詳細は本書P79「202x年に向けた組立ラインの進化」にて)



A ground-breaking ceremony for the new plant was held on September 27, 2018, attended by representatives of Zhangjiagang Economic and Technological Development Zone and people related to the construction project. Production is expected to begin at the end of 2019 with an initial annual production capacity of 480,000 units and a workforce of approximately 1,000 employees. The plant is scheduled to produce the Jatco CVT8 for use on midsize to large front-wheel-drive vehicles.

## 12. Jatco CVT8 shipment ceremony held on CVT global #12 line

A Jatco CVT8 shipment ceremony was held on the CVT global #12 line (G#12 line) in the company's Fuji Area No. 2 on December 7, 2018. As JATCO's state-of-the-art production line, the G#12 line is equipped with articulated robots for automated assembly operations as well as incorporating various innovations for gradually increasing production capacity according to the required production volume based on the Jatco Standard Line concept. Further details are given in the article entitled "Assembly line evolution toward 202x" on pages 79-84 of this issue.



## 特 許 紹 介

## Patents

## 1. 無段変速機の制御装置

(Fig. 1)

出願番号 : 特願 2014-66022  
出願日 : 2014.3.27  
特許番号 : 特許第 6262052 号  
登録日 : 2017.12.22  
発明の名称 : 無段変速機の制御装置  
発明者 : 本間知明,  
高橋誠一郎,  
小林隆浩,  
江口岳,  
野武久雄,  
榊原健二

## 1. Control device for continuously variable transmission

(Fig. 1)

Application Number: 2014-66022  
Application Date: 27.3.2014  
Patent Number: 6262052  
Registration Date: 22.12.2017  
Title: Control device for continuously variable transmission  
Inventors: Tomoaki Honma,  
Seiichiro Takahashi,  
Takahiro Kobayashi,  
Takashi Eguchi,  
Hisao Nobu,  
Kenji Sakakibara

## 【発明の概要】

本発明の目的の一つは、ライン圧を必要最小限に制御して燃費向上を図るとともに、アップシフト時に発生する虞のある変速ショックを低減することである。

本発明によれば、目標セカンダリ圧と実セカンダリ圧との偏差に基づき、積分動作を含む油圧フィードバック制御によって指示セカンダリ圧を与えるセカンダリ圧制御手段と、セカンダリ圧がプライマリ圧よりも高いことを含む開始条件が成立した場合、ライン圧をセカンダリ圧と同圧にする同圧制御を実施するライン圧制御手段と、を備える。ライン圧制御手段は、同圧制御において、ライン圧を目標セカンダリ圧よりも低下させてライン圧とセカンダリ圧とを同圧状態にした後に、同圧状態を保持しながら実セカンダリ圧と目標セカンダリ圧との偏差に基づく油圧フィードバック制御によって実セカンダリ圧が目標セカンダリ圧となるように指示ライン圧を与えてライン圧を制御する。セカンダリ圧制御手段は、ライン圧制御手段によって実セカンダリ圧が押し下げられた時点からライン圧とセカンダリ圧とが同圧状態にされるまでの間、積分動作による積分項の蓄積を制限する制限手段を有する。

これにより同圧制御中からのアップシフト時における意図しない変速ショックの大きさを小さくすることができる。

## 【SUMMARY OF THE INVENTION】

A CVTECU includes a secondary-pressure control section and a line-pressure control section that performs a same-pressure control to equalize a line pressure and a secondary pressure with each other if a predetermined start condition is satisfied. The line-pressure control section realizes a same-pressure state between the line pressure and the secondary pressure by lowering the line pressure below a target secondary pressure, and then controls the line pressure such that an actual secondary pressure is brought to the target secondary pressure by hydraulic feedback control while maintaining the same-pressure state. The secondary-pressure control section includes a restriction section that restricts an accumulation of integral term of an integral action for a duration between a time point at which the actual secondary pressure starts to be pushed down and a time point at which the same-pressure state between the line pressure and the secondary pressure is realized.



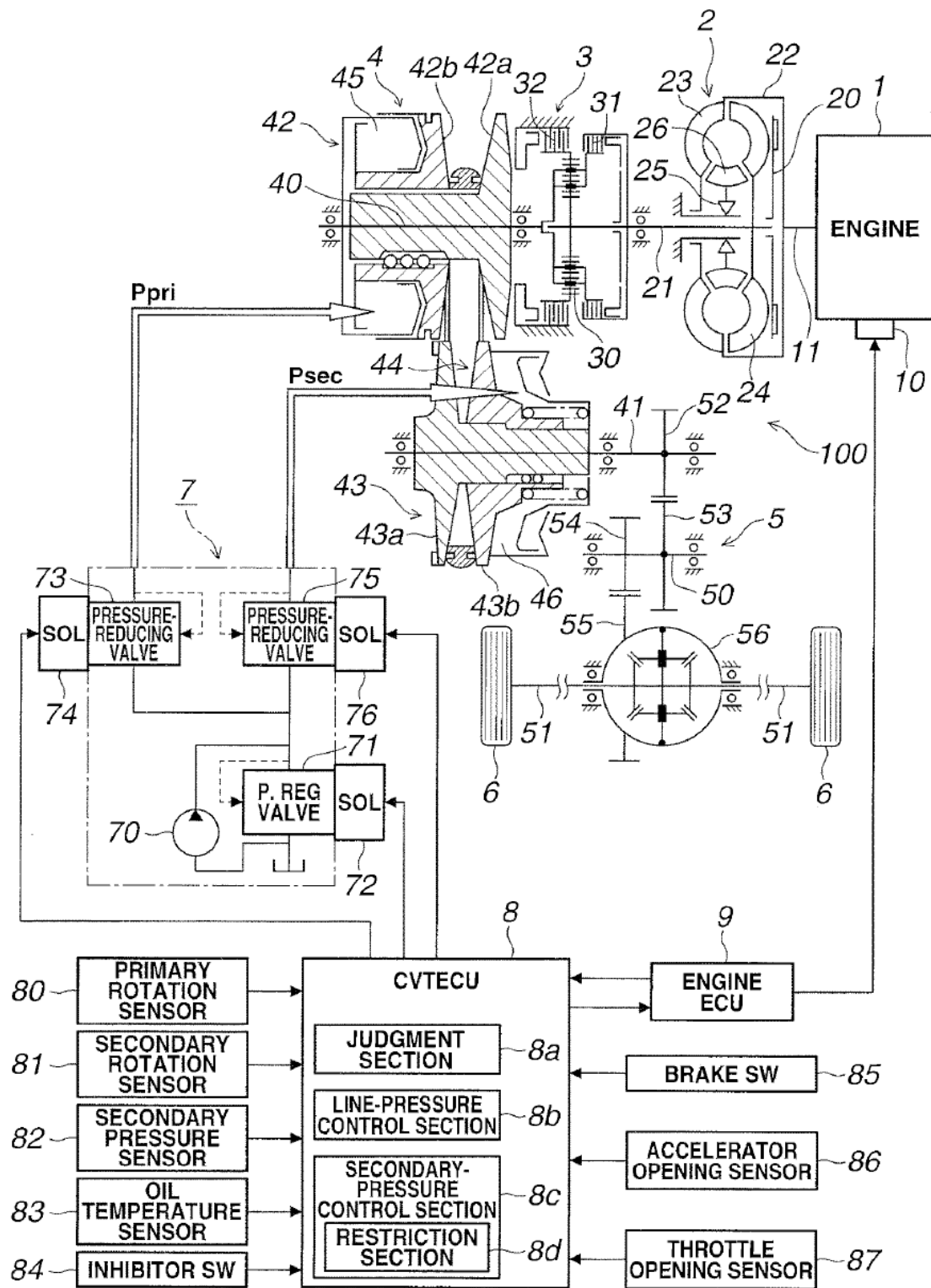


Fig. 1

## 2. 副変速機付き無段変速機の制御装置

(Fig. 2)

出願番号 : 特願 2015-541506  
出願日 : 2014.9.24  
特許番号 : 特許第 6154475 号  
登録日 : 2017.6.9  
発明の名称 : 副変速機付き無段変速機の制御装置  
発明者 : 井上真美子,  
井上拓市郎,  
田中寛康

## 2. Control device for continuously variable transmission equipped with auxiliary transmission

(Fig. 2)

Application Number: 2015-541506  
Application Date: 24.9.2014  
Patent Number: 6154475  
Registration Date: 9.6.2017  
Title: Control device for continuously variable transmission equipped with auxiliary transmission  
Inventors: Mamiko Inoue,  
Takuichiro Inoue,  
Hiroyasu Tanaka

## 【発明の概要】

副変速機の変速を伴う踏込ダウン変速制御時において、バリエータをハイ側から最ロー側までダウン変速させる際、バリエータの実変速比は、制御上設定されている制御最ロー変速比よりも更にロー側までオーバーシュートしながら変速する。このため、到達目標スルー変速比の変速に合わせて、バリエータを最ロー側の変速比からアップ変速を開始すると、バリエータでLow離脱ショックが発生し、運転者に不快感を与えることになる。

本発明は、副変速機構の変速を伴う踏み込み変速制御時、前記バリエータの実変速比が、変速比制御上の最ローの値として設定されている第1変速比よりもハイ側である場合、前記バリエータをダウン変速させるとともに、前記バリエータを変速する際の前記バリエータの目標変速比を、前記第1変速比の値よりハイ側の規制値である第2変速比にすることで、バリエータで発生するLow離脱ショックを抑制し、運転性を向上できる。

## 【SUMMARY OF THE INVENTION】

A control device for a continuously variable transmission with an auxiliary transmission includes: a cooperative control section; and a depression shift control section, wherein when an actual transmission gear ratio of the variator at the judgment of the depression shift control is higher than a first transmission gear ratio set as a lowest value of a control of the transmission gear ratio, the depression shift control section configured to downshift the variator, and to set a target transmission gear ratio at the shift of the variator to a second transmission gear ratio which is a restriction value that is higher than the first transmission gear ratio.

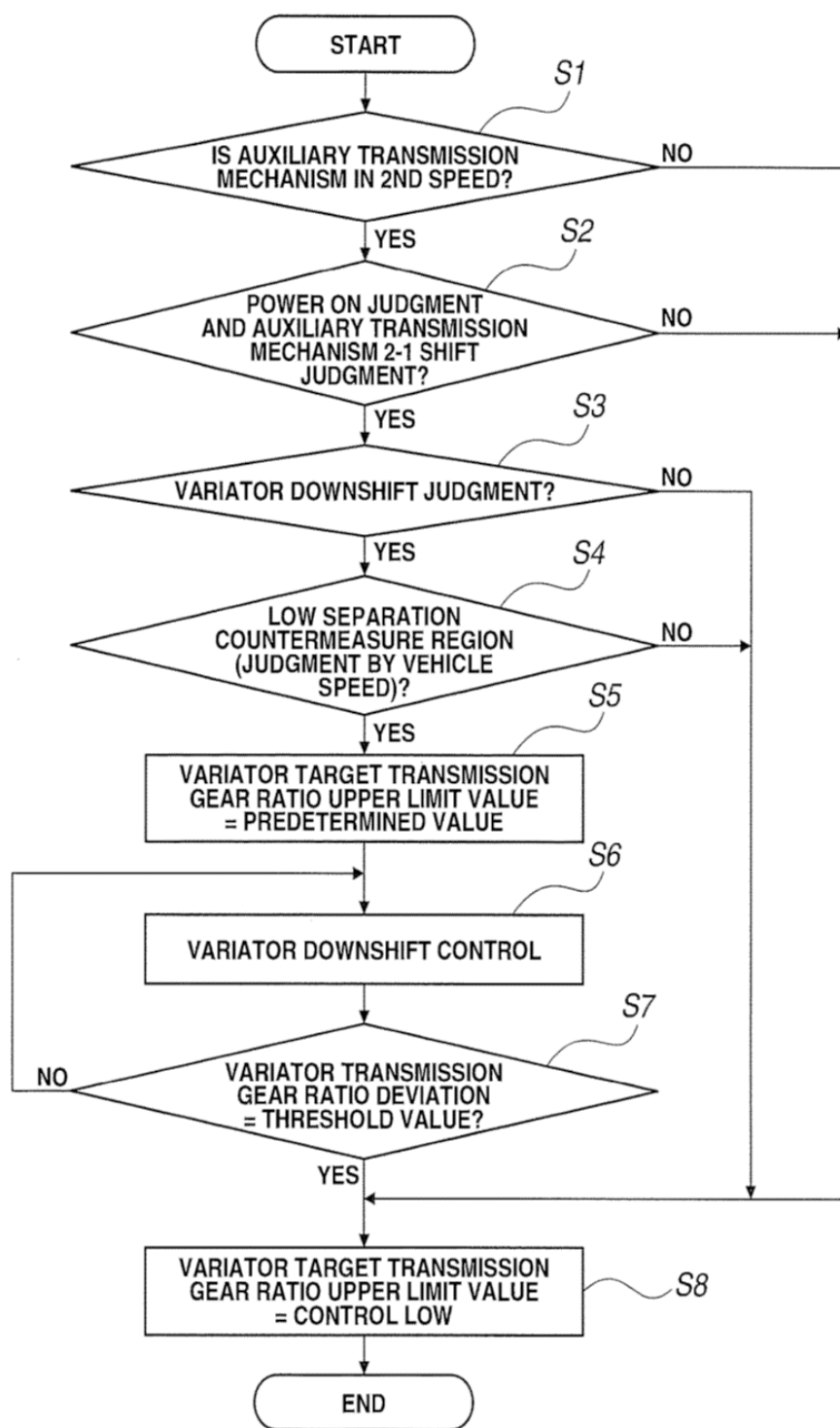


Fig. 2

# 発行人 (Issuer)

大 曾 根 竜 也  
Tatsuya OSONE

VP  
Vice President

# 編集委員会 (Editorial Committee)

## 編集長 (Chief Editor)

日 比 利 文  
Toshifumi HIBI

イノベーション技術開発部  
Innovative Technology  
Development Department

## 副編集長 (Deputy Editor)

渋谷 和 徳  
Kazunori SHIBUYA

グローバル広報部  
Global Communications Department

## 委員 (Members)

鈴木 義 友  
Yoshitomo SUZUKI

技術統括部  
Engineering Management Department

杉 本 正 毅  
Masaki SUGIMOTO

技術統括部  
Engineering Management Department

川 鍋 佳 弘  
Yoshihiro KAWANABE

技術統括部  
Engineering Management Department

梅 里 和 生  
Kazuo UMESATO

開発部門  
R&D Division

荒 巻 孝  
Takashi ARAMAKI

開発部門  
R&D Division

道 岡 浩 文  
Hirofumi MICHIOKA

開発部門  
R&D Division

森 本 功  
Isao MORIMOTO

調達管理部  
Purchasing Administration Department

矢 田 宏 之  
Hiroyuki YADA

お客さま品質保証部  
Customer Quality Assurance Department

大 石 公 崇  
Kimitaka OOISHI

R&D マネージメント部  
知的財産管理室  
IP Management Office

関 口 勉 範  
Masunori SEKIGUCHI

ジャトコ エンジニアリング (株)  
開発マネージメント部  
Development Management Department,  
JATCO Engineering Ltd

田 澤 貢  
Mitsugi TAZAWA

ジャトコ エンジニアリング (株)  
開発マネージメント部  
Development Management Department,  
JATCO Engineering Ltd

## 編集 (Editor)

和 田 彩 子  
Ayako WADA

グローバル広報部  
Global Communications Department

ジャトコ・テクニカル・レビュー No.18

JATCO Technical Review No.18

© 禁無断転載  
発行 2019 年 3 月  
発行所 ジャトコ株式会社  
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: 045-285-0386  
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, 2019  
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.