CONTENTS

巻頭言/Preface

CTOメッセージ/Message from CTO

技術報告/Technical Report

ねじり振動による外乱を考慮したCVT変速制御 Design of a CVT Shift Control System considering Disturbances ind Torsional Vibration

新型Infiniti QX50向けCVTのロックアップ制御構築 Development of New Torque Converter Lockup Control for New Ge of Infiniti QX50

燃費性能と運転性能を両立したCVT変速コントロー Development of New CVT Shift Control Methods for Achieving Bo Economy and Driveability

多目的最適化によるCVT変速性能高精度予測モデ Construction of a High-accuracy Prediction Model for CVT Shift Performance based on Multiobjective Optimization

•••••		•••••	•••••	•••••	1
			佐藤 Tomoyos	朋由 hi SATO	
					3
			大曽根 Tatsuya	竜也 OSONE	
『系設計 ···· duced by					5
	岩佐 Hiroki	大城 IWASA	河住 Takurou KA	拓郎 AWASUMI	
在 eneration			•••••		11
	棚部 Akihiro	旭紘 TANABE	遠藤 Yasuhiro	泰弘 SENDO	
	小野 Masasl	雅司 hi ONO			
ールの新手法 th Fuel	の開発	•••••			19
	森藤 Nobuhiko	伸彦 MORIFUJI	増田 Hiromasa	博雅 MASUDA	
	下田 Azusa Sl	亜寿左 HIMODA	青山 Noritaka A	訓卓 AOYAMA	
	石塚 Mitsuki IS	光騎 SHIZUKA	五家 Hitoshi	仁 GOKA	
	大塚 Masataka	匡嵩 OHTSUKA	平下 Ken HIR	賢 ASHITA	
ルの構築・	•••••	•••••		•••••	25
	北島 Toru KIT	徹 ASHIMA	木内 Kazumasa	一雅 a KIUCHI	
	佐野 Takash	· 孝 i SANO			

reducting foldue converter reformance	川島一訓	佐野 明彦	
	Kazunori KAWASHIMA	Akihiko SANO	
	尚田 克彦 Katsuhiko OKADA	高橋 祐二 Yuji TAKAHASHI	
トルクコンバータの単板ロックアップクラッチの動特性	解析		41
Transists of Dynamic Characteristics of a Single-plate Lock-up Clutch to Forque Converter	r a 川島 一訓 Kazunori KAWASHIMA	岡田 克彦 Katsuhiko OK ADA	
	高野 亮 Akira TAKANO		
バーチャルエンジンを使ったトランスミッションの運転性 Development of a Virtual Reality Simulator Test Bench Capable of Valid	生の検証が可能なVRSテスト ^{ating}	ベンチの開発 …	51
Iransmission Driveability using a Virtual Engine	米倉 健志 Kenji YONEKURA	神代 洋記 Hiroki KUMASHIRO	
	木村 悟 Satoru KIMURA	遊作 次郎 Jiro YUUSAKU	
	濱中 達明 Tatsuaki HAMANAKA	田内 達夫 Tatsuo TAUCHI	
	熊籔 伸也 Shinya KUMAYABU		
ホブ加工におけるワークと工具との関係が歯車精度	こに及ぼす影響解析		59
Analysis of the effect on gear accuracy of workpiece/tool positioning			
accuracy in the hobbing process	松尾 浩司 Kouji MATSUO	鈴木 義友 Yoshitomo SUZUKI	
accuracy in the hobbing process	松尾 浩司 Kouji MATSUO 藤木 賢一 Kenichi FUJIKI	鈴木 義友 Yoshitomo SUZUKI	
CVTケース鋳造設備における省エネルギー化への耳 Energy-saving Efforts for CVT Case Die Casting Machines	松尾 浩司 Kouji MATSUO 藤木 賢一 Kenichi FUJIKI 取り組み	鈴木 義友 Yoshitomo SUZUKI	65
CVTケース鋳造設備における省エネルギー化への耳 Energy-saving Efforts for CVT Case Die Casting Machines	松尾 浩司 Kouji MATSUO 藤木 賢一 Kenichi FUJIKI 文り組み 太田 博人 Hirohito OHTA	鈴木 義友 Yoshitomo SUZUKI 近藤 崇夫 Takao KONDO	65
Anarysis of the effect of gear accuracy of workprece/tool positioning accuracy in the hobbing process CVTケース鋳造設備における省エネルギー化への耳 Energy-saving Efforts for CVT Case Die Casting Machines 箱物フレキシブル加工ラインの立ち上げ Flexible Case Machining Line	松尾 浩司 Kouji MATSUO 藤木 賢一 Kenichi FUJIKI 文り組み ・・・・・ 太田 博人 Hirohito OHTA	鈴木 義友 Yoshitomo SUZUKI 近藤 崇夫 Takao KONDO	65 71
Anarysis of the effect of gear accuracy of workprecertool positioning accuracy in the hobbing process CVTケース鋳造設備における省エネルギー化への耳 Energy-saving Efforts for CVT Case Die Casting Machines 箱物フレキシブル加工ラインの立ち上げ Flexible Case Machining Line	松尾 浩司 Kouji MATSUO 藤木 賢一 Kenichi FUJIKI 文り組み 太田 博人 Hirohito OHTA 岩崎 剛己 Gouki IWASAKI	鈴木 義友 Yoshitomo SUZUKI 近藤 崇夫 Takao KONDO 中村 重敏 Shigetoshi NAKAMURA	65 71

Improvement of Automated Assembly Rates through Effective Use of Robots

川本 典弘 Norimitsu KAWAMOTO

補 n De∖ Num

お Qu

商品約

トピッ

	補修ユニット種類最少化のための自動車販売会社でのデー	タ書き込みシス	、テム開発	83
	Development of a Data Writing System for Car Dealers to Minimize the Number of Service Transmission Types			
		小幡 久修	静 仁盛	
		Hisalion OBATA	TOSHIMOTI SHIZUKA	
		女四 辛5公 Yukihiro ANZAI		
	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 Quality Health Check Aimed at Further Improving Suppliers' Product Quality]		89
		長谷川 公一	- 金子 忠司	
		Kouichi HASEGAW	A Tadashi KANEKO	
	ΔΙ活田による品質情報の自動分析			05
	Automatic Analysis of Quality Information by utilizing Artificial Intelligence			,,
			武坂 英明	
			Hideaki BUSAKA	
1 4	品紹介/Introduction on Products			
	日産自動車向け Infiniti QX50用 Jatco CVT8 (JF017E)の紹介 Introducing the Jatco CVT8 (JF017E) for Nissan's New Infiniti QX50		1	03
	三菱自動車向け エクリプス クロス用 Jatco CVT8 (JF016E) の経	?介		04
	Introducing the Jatco CVT8 (JF016E) for the Mitsubishi ECLIPSE CROSS		-	•••
۰Ľ	ピックス/Topics			
	- 2017年のトピックフ			05
	Highlights of 2017		1	03
討	午紹介/Patents			
	油圧スイッチの故障判定装置			11
	Hydraulic switch malfunction assessment device		-	-
	無段変速機の変速制御装置	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	1	13

特許維

油圧スイッチの故障判定装置	•
Hydraulic switch malfunction assessment device	

毎 Transmission control device for continuously variable transmission

Preface 卷頭言



Zero Defectを目指して

Aiming for Zero Defects

専務執行役員 Senior Vice President

佐藤 朋由 Tomoyoshi SATO

各国のCO₂規制が益々厳しくなるなか、世界の自動車 はEVに向けて走り始めている。昨今のEVブームは少々 過熱気味ではあるが、2010年に日産LEAFが発売されて 以降,パワートレインの変革期に入ったと見て良いだろう.

しかしながら、航続距離、充電時間、コストなどがお客 さまに受け入れられるにはまだまだ技術の進歩が必要で あり、厳しさを増すCO2規制が技術開発を後押しするこ とは間違いない.一方で、本格的なEV時代を迎える前に、 内燃機関を利用したレンジエクステンダーのような技術も 広がって来ており、各社が新しいシステムを試行錯誤し ている段階である.

当社としては, 主要な製品であるCVTの進化は続けな がら、電動化時代に備えるという段階に突入する.

ここで、当社のCVTの歴史を振り返ってみよう.

当社は、前身の日産自動車の時代にCVT技術を確立 し、1997年より量産を開始した、本格的に生産が増えた のは21世紀に入ってからで、2003年にジヤトコメキシコを、 2007年にはジヤトコ広州を、2011年にはジヤトコタイラン ドを設立してCVT生産を拡大し、4000万台近いCVTを 市場に投入してきている.

量産を開始してから長い間, CVTは市場で分解修理 することを禁じてきた. 複雑な技術であり販売会社での 修理が難しいことが大きな理由であった. しかし修理が できないということは、CVTに問題が生じた際にはユニッ トASSYでの交換となり、それによってお客さまには経済 的なご負担を強いることとなっていたのも事実である.

このような背景のもと、市場においてCVTの適切な修 理対応がおこなえるよう分解修理の技術を確立し, 昨年 から市場での分解修理を認めることとした. さらに. 市 場問題を一つたりとも起こさない「Zero Defect」を目指し、

A global trend is now under way toward vehicle electrification amid the continuous tightening of CO2 regulations in countries the world over. While the recent electric vehicle (EV) boom seems slightly overheated, it is obvious that the automotive powertrain has entered a period of profound change since the Nissan LEAF was released in 2010. However, much more technological progress will be needed in order for customers to accept the driving range, charging time, cost and certain other aspects of EVs. There is no doubt that the increasing severity of CO₂ regulations will drive the development of new technologies. In the meantime before a full-fledged EV age begins, technologies such as range extenders based on internal combustion engines will also spread. Companies are now at the trialand-error stage of new systems. At JATCO, we are rushing toward the stage of preparing for the age of electrification while continuing to evolve our CVTs that are among the company's principal products.

Here, I would like to review briefly the history of JATCO CVTs. JATCO established CVT technologies during the time of our predecessor organization as the AT/ CVT Division of Nissan Motor Company and launched CVT mass production in 1997. Production volumes began to increase in earnest after entering the 21st century. We have expanded our CVT production facilities by establishing JATCO Mexico in 2003, JATCO (Guangzhou) in 2007 and JATCO Thailand in 2011. To date, JATCO has put nearly 40 million CVTs on the market.

For a long period after launching mass production, we did not allow our CVTs to be disassembled and repaired in the field. The principal reason was that it was difficult for car dealers to undertake repairs because of the complexity of the technology involved. However, not being able to repair a CVT meant that the entire transmission assembly

市場での耐久課題の検知方法確立やIQSなどの市場で の評判の見える化、開発段階でのシステムズエンジニア リングの適用や市場不具合予測などの手法を確立させ てきた.

先に述べたようにクルマのパワートレインは再び大きな 変革期に入っている. CVTもパワートレインの電動化に向 けて進化の舵をきることになるが、この変革期においても 「Zero Defect」を目指し続け、お客さまに不満を感じさ せないことを実現していきたい.

「Engineering on the Ground」, 当時の日産自動車の ゴーンCEOから言われた言葉である. この精神は新しい 製品の開発に取り組むにあたり、今後のジヤトコのDNA として残していきたい. コンベンショナルな技術の進化に 加え、種々の電動化が進む混沌とした時代にあってもこ の精神を忘れず、各国の道路状況やお客さまの使い方 を検証し、販売会社のメカニックが困っていることや望ん でいることを理解し、一人の技術屋としてしっかりと市場 を見据えて、対応していくことが肝要である.

新しい時代はすぐそこまで来ている. 我々が慣れ親 しんでいない技術が必要な時代がやってくると思って よいだろう. 目標としての「Zero Defect」, 精神としての 「Engineering on the Ground」を忘れず,新しい技術に 取り組むことがジヤトコの強みであり、今後の自動車社会 をリードしていく鍵になると思う.

had to be replaced if a problem occurred, which in fact forced customers to bear a large economic burden.

Against that backdrop, we established the techniques for disassembling and repairing CVTs so that they can be properly repaired in the field, which we have allowed starting from last year. Moreover, we have also established various methods aimed at achieving zero defects so that not even a single problem will occur in everyday driving. This includes the visualization of quality evaluation procedures in the field, including the establishment of a method for detecting potential durability issues and making effective use of Initial Quality Survey data. We also effectively apply systems engineering methods at the development stage and have established a method for predicting possible problems in the field, among other measures.

As mentioned earlier, automotive powertrains have again entered a period of major change. In this regard, we will need to change the direction of our CVT evolution toward powertrain electrification. In this period of change as well, we will continue to aim for zero defects so as not to cause customers any dissatisfaction.

"Engineering on the ground" is an expression used by Carlos Ghosn, who at that time was the CEO of Nissan Motor Company. We want to preserve this spirit as part of JATCO's DNA in the future by embodying it in our activities to develop new products. We must never forget this spirit even in this chaotic period when electrification is advancing in various forms in addition to the evolution of conventional technologies. It is essential for each of us as engineers to take a close look at the market and respond accordingly, including investigating the road conditions and driving habits in countries around the world and understanding the troubles and wants of mechanics at car dealers.

A new age is just around the corner. We should consider that an era is coming which will require new technologies we are unfamiliar with. One of JATCO's strengths is that we willingly undertake the development of new technologies, striving for the goal of zero defects without forgetting the spirit of "engineering on the ground." I believe that this will be a key factor for leading the automotive industry forward in the years ahead.



新CTOとして思うこと

Thoughts as the New Chief Technical Officer

 $VP \cdot CTO$ VP and Chief Technical Officer 大曽根 竜也 Tatsuya OSONE

最近のビジネス用語にVUCA(ブーカ)という言葉があ る. VUCAとは、Volatility(変動性), Uncertainty(不 確実性), Complexity(複雑性), Ambiguity(曖昧性) という4つの単語の頭文字を取った言葉で、予測不能な 現代社会を象徴的に表現するキーワードとして使われて いる.

自動車社会においても、予測不能な状況であることは 同様であるが、CASE(Connected, Autonomous, Shared, Electricの頭文字)といわれる、この業界を大きく変える 可能性のある新しい波の到来は間違いない. それに対 応するための技術開発・技術革新が急速に進んでおり. ジヤトコも内燃機関との組み合わせにおいて燃費に強み を持つCVTをベースに電動化[E]を進めてきた. 今後は さらに拡大・加速させる必要がある.のこる「C」「A」「S」 の新しい波に対しても早急に対応できなければ、取り残 されることとなるであろう.

このような新しい領域においては、これまで自分たちが 培ってきた技術や常識の殻の中に閉じこもっていては十 分に対応することは難しいであろう. 我々のコアコンピタ ンスをベースとしながらも、新しい領域にスピード感を持っ て踏み出すために、ときにはパートナーとのコラボレーショ ンが必要になるかもしれない. パートナーと組むことで各 技術分野のエキスパートの知見に触れることは容易にな るが、自分自身で「知る」、「確かめる=見る、測る」といっ たエンジニアとしての基本を忘れてはいけない.

そして、もうひとつ忘れてならないのは顧客視点の考え 方である. お客さまが求めるモノは時代によってさまざま に変化するであろうが、価値を決めるのはお客さまであり 顧客視点を忘れた技術が受け入れられることは決してな い.しかし、お客さま自身も何が欲しいのかを正確に理解

VUCA is an acronym that has entered the business vocabulary in recent years. It consists of the initial letters of four words: volatility, uncertainty, complexity and ambiguity. It is used as a key term symbolically expressing the unpredictability of modern society.

The automotive industry is also in a similar unpredictable state, though expressed by the acronym CASE, which stands for connected, autonomous, shared and electric. There is no doubt that new waves are coming that may profoundly change the industry. In order to cope with them, research and development activities and technological innovations are being advanced at a rapid pace. At JATCO, we have also been promoting electrification (E) based on our CVTs that are effective in improving fuel economy in combination with an internal combustion engine. We need to further expand and accelerate our efforts in the coming years. Unless we can quickly address the new waves represented by the remaining letters C, A and S, we may be left behind.

It will be difficult to cope fully with these new areas if we remain enclosed in a shell consisting of the technologies and knowledge that we have accumulated to date. In order to move forward speedily in such new areas, it may sometimes be necessary to collaborate with partners while still based on our core competencies. Teaming up with partners provides ready opportunities for coming in contact with the knowledge of experts in various technical fields, but we must not forget the basics as engineers of knowing and confirming (i.e., examining and assessing) things on our own.

One more thing that must not be forgotten is the philosophy of the customer's perspective. The products that customers want may change in various ways from one age to another, but the customer is one who determines the value, and a technology that neglects the customer's

できていないこともある. そのようなときには、お客さまが 真に求めるものを推察し定義し、形にすることも必要にな る. CASEにおいても、使い勝手やコストなどお客さまの 高い要求が待ち受けているのは間違いない. どんな不 透明な時代にあっても、エンジニアは常にお客さまの視 点に立って挑戦し、価値を創造し続ける義務があると考 える.

佐藤さんの巻頭言にもある「Engineering on the Ground」は、やはりエンジニアリングの基本であろう. 実 際に自分で確かめ、そして常に顧客視点を忘れない、そ うすることが新しい技術領域においても不可欠であると 思う.

VUCAな世界で価値を提供するためには、真に未知 の領域へのチャレンジが必要となってくる. 会社としても 個人としても「自分は何が出来るのか. そしてどこを目指 すのか?」を常に考えたい. この変化をチャンスととらえて 前を向くものと、現在のポジションにこだわってそのカテゴ リーのみでの成長を目指すものとでは将来大きく差が出 てくるであろうことは間違いない.

数々の世界初の技術を世に送り出したわれわれジャト コには、そうした新しい領域に踏み出す企業文化がある と信じる. 次の一歩をどう踏み出すか. 組織だけの問題 ではなく個人の問題としてとらえ, 踏み出す勇気と戦略 が求められている.

perspective will never be accepted. However, there are also times when customers themselves do not clearly understand what they want. At such times, it is also necessary to envision what customers really want, define it and turn it into a concrete reality. Even in a CASE world, customers' high requirements concerning convenience, cost and other attributes are no doubt waiting. No matter how opaque the age may be, engineers have an obligation always to undertake challenges from the customer's perspective and to continue to create value.

The expression "engineering on the ground" mentioned by Mr. Sato in the Preface is after all the fundamental basis of engineering. Making an effort to actually confirm something ourselves and never forgetting the customer's perspective are actions that are also indispensable in the areas of new technologies.

Providing value in a VUCA world will require challenging the realm of what is truly unknown. For both the company and individuals, we always want to consider what we can do and what we should aim for. Whether we regard changes as opportunities and move forward or we stick to our present position and seek growth only in this category will without a doubt result in significant differences in the future.

JATCO has brought out numerous world-first technologies. I firmly believe we have a corporate culture that takes the initiative to advance into new areas. How should we take the next step forward? This is not a question for the organization alone but rather for each individual to consider. What is needed is to have the courage and strategy for moving ahead.

ねじり振動による外乱を考慮したCVT変速制御系設計

Design of a CVT Shift Control System considering Disturbances induced by Torsional Vibration

河住 拓郎**

Takurou KAWASUMI

岩佐 大城* Hiroki IWASA

抄 録 当社の主力商品であるCVTの商品競争力を 向上させるため、「クルマを運転する楽しさ」と直結する 変速性能のさらなる改良を行った. 高応答な変速を行う と駆動系のねじり振動が問題となることがある. この問題 を解決するためには振動で発生するトルクに対する変速 の安定性を確保すればよい. そこで、油圧システムと変 速比制御を改良してトルクに対する変速の安定性を高め つつ. 高応答な変速を実現する変速制御系を検討した. 本稿では、今回改良を行った油圧システムと変速比制御 の概要と実験結果について述べる.

Summary Shift performance that translates directly into driving pleasure was further improved to enhance the product competitiveness of our CVTs that are among JATCO's principal products. Highly responsive shifting can sometimes cause torsional vibration in the powertrain. This issue can be resolved by ensuring shift stability against torque disturbances induced by such vibration. Toward that end, a shift control system was investigated for achieving highly responsive shifting while enhancing shift stability against torque disturbances as a result of improving the hydraulic system and the pulley ratio control system. This article outlines the improvements made to the hydraulic system and the shift control system and presents the experimental results obtained with the improved shift control system.

1. はじめに

燃費性能への貢献度の高さによって、CVTは現在で はグローバルに展開されるポピュラーなトランスミッション の一つとなっているが、昨今では燃費競争力の高さだけ でなく、変速レスポンスを向上して運転の楽しさを高いレ ベルで演出することがCVTの商品競争力として重要に なってきている、しかしながら、 燃費向上を目指しトランス ミッションの低フリクション化が加速していることや、燃費 向上に加え運転の楽しさのためにトルクコンバータのロッ



Fig. 1 Experimental results for verifying torsional vibration induced by a sudden pulley ratio change

*制御システム開発部 ** 部品システム開発部

Control System Development Department

Hardware System Development Department

1. Introduction

Because of their substantial contribution to improving fuel economy, CVTs have now become a popular type of automotive transmission that has been deployed worldwide. In addition to their strong fuel economy competitiveness, improving shift response to provide a high level of driving pleasure has also become a key aspect of the product competitiveness of CVTs in recent years. However, trying to improve CVT shift response gives rise to an issue of pulley ratio fluctuation caused by torsional vibration, which is related to a decline in the vibration damping capacity of the powertrain. That decline can be attributed to accelerated efforts to reduce transmission friction for improving fuel economy and the expansion of the lockup range of the torque converter for enhancing driving pleasure as well as fuel economy. Figure 1 presents experimental results showing the occurrence of torsional vibration when the pulley ratio was suddenly changed experimentally.

One solution to this issue is to increase the damping capacity of the overall powertrain by allowing the lockup clutch to slip and using the slipping of the torque converter



Fig. 2 Model of the shift control system

クアップ領域が拡大していることにより、 駆動系の振動減 衰能力は低下する傾向にあり、CVTの変速レスポンスを 上げるとねじり振動による変速比変動が課題になってしま う. Fig. 1に、試験的に変速比を急変させたときの実験 結果を示す。

この課題を解決する一手段として、 ロックアップクラッチ を滑らせてトルクコンバータの流体の滑りを利用し駆動系 全体の減衰力を高くすることもできるが、 それを多用する と燃費性能と運転の楽しさの両方を悪化させてしまう。

そこで今回、ロックアップクラッチを滑らせることなくねじ り振動を抑制し、燃費性能はもちろんのこと、高レスポン スな変速による運転の楽しさを実現する変速制御系を開 発の狙いとして、ソフトウェアとハードウェアを合わせた変 速システム全体での改良に取り組んだ.

2. 変速制御系の構成

変速制御系をブロック図で表現するとFig. 2のようにな る.構成要素は.変速を実現するバリエータ系(ベルトとプー リ)と、その結果を伝達する駆動系と、バリエータ系に必 要な変速推力を与えるアクチュエータとしての油圧系(コン トロールバルブとソレノイド)と、必要な変速推力を演算す るコントローラ(変速比フィードバック制御)の4つである。

Design of a CVT Shift Control System considering Disturbances induced by Torsional Vibration

fluid. However, applying this approach frequently would worsen both fuel economy and driving pleasure.

Therefore, in this project, efforts were made to improve the entire shift system including the software and the hardware with the aim of developing a shift control system for suppressing torsional vibration without any slipping of the lockup clutch, while providing not only excellent fuel economy of course, but also driving pleasure based on highly responsive shifting.

2. Configuration of Shift Control System

Figure 2 presents a block diagram showing the configuration of the shift control system. It is composed of four elements: the variator system (belt and pulleys) that executes shifting, the powertrain system that transmits the result of the shifting action, the hydraulic system (control valves and solenoids) that applies the thrust needed by the variator system for shifting, and the controller (pulley ratio feedback control) for calculating the thrust required for shifting.

The vibration problem mentioned above can be understood as fluctuation of the pulley ratio relative to the CVT torque Td (torque disturbance) input to the variator via the powertrain as indicated by the bold line in the figure.

前述した振動課題は、Fig. 2に太線で示す駆動系を 介してバリエータ系に入力されるCVT入力トルクTd(以下 トルク外乱)に対する変速比の振動、と捉えることができ る、したがって、この外乱ループに対する変速安定性を 高めつつ,かつ目標変速比に対する変速比の追従性も 確保することが変速制御系設計の課題となる.

今回の開発では、ハードウェアの設計方針としてトルク 外乱に対する安定性が高くなるようにし、制御で変速比の 応答性と安定性が両立できるような設計をすることにした.

3. トルク外乱に対する安定性を向上するための ハードウェア設計

ハードウェアとしてトルク外乱に対する変速の安定性を 向上させる方策を検討した. ハードウェアはバリエータ系 と油圧系に大別される(Fig. 2). バリエータ系を変更す ることは変速システムのみならずトルク伝達システムにま で広範囲に影響を与えてしまうので、今回は油圧系の変 更に絞った. 油圧系での方策は、油圧の応答を適切にし て変速による流量外乱の影響を素早く収束させるように 設計すればよい. そして, その結果としてトルク外乱に対 する変速比の安定性を高めることができる. ここでは. 油 圧系においてバリエータの油圧を制御している油圧制御 弁に注目した.

油圧制御弁をFig. 3のようにモデル化した場合,油圧 制御弁に対して外乱となる変速比(プーリストローク位置 xV)から制御圧 Pまでの伝達関数GCNT d(s) は下記式 (1)のようになる.

Accordingly, the issue for the design of the shift control system is to enhance shift stability against this disturbance loop while at the same time also ensuring that the actual pulley ratio accurately traces the target pulley ratio.

In this development project, the design policy selected for the hardware was to increase stability against torque disturbances and that selected for the control system was to ensure both the response and stability of the pulley ratio.

3. Hardware Design for Improving Stability against Torque Disturbances

For the hardware, an investigation was made of measures for improving shift stability against torque disturbances. The hardware can be broadly divided between the variator system and the hydraulic system (Fig. 2). Changing the variator system would have a wide-ranging impact not only on the shift system but also on the torque transmission system, so it was decided to limit changes this time to the hydraulic system. As one measure for the hydraulic system design, the effect of a flow rate disturbance due to shifting should be concluded quickly by suitably controlling the pressure response. As a result, pulley ratio stability against torque disturbances can be increased. In this regard, we focused on the pressure control valve that controls the variator pressure in the hydraulic system.

The pressure control valve can be modeled as shown in Fig. 3. In this case, the transfer function GCNT_d(s) of the pressure control valve from the pulley ratio (pulley stroke position XV), representing the disturbance, to the control pressure P can be expressed as shown in Eq. (1) below.

$$G_{CNT_d}(s) = \frac{P(s)}{x_V(s)} = \frac{\frac{A_V}{\beta V} s \left(s + \frac{l}{\tau}\right)}{s^2 + \frac{l}{\tau} s + \frac{A_{fb} GK}{\beta V \tau}}$$
(1)

この伝達関数の駆動系の固有振動数周辺での応答 特性が同相に近いほど、トルク外乱による変速で発生す る流量変化によって生じる油圧が変速を助長する側に 作用しづらいことを意味し、従ってトルク外乱に対する変 速の安定性を高めることにつながる. Fig. 4に伝達関数 (1)と同次数のBode 線図例を示す. 駆動系の固有振 動数周辺(数Hz領域)での位相特性を同相に近づける ためには零点と減衰係数を大きくすればよく、それを実 現するためには上式(1)の係数の関係から油圧制御弁 のバネ定数kcvを大きくすればよいことが分かる.従って, 油路の取り回しやレイアウトの制約が成立する中で最も 堅いバネを採用することにした.

4. 変速比の応答性と安定性を両立する変速比制御

トルク外乱に対する変速比の安定性確保(=安定余裕 の拡大)と変速レスポンスを高い次元で両立するため、変 速比制御はFig.5に示すようなフィードバック補償器とフィー ドフォワード補償器からなる2自由度制御を適用した.

フィードバック補償器は、トルク外乱に対する変速比の 安定性向上の他,何らかの原因で発生した変速比偏差 を収束させる役割があるが,変速比偏差の収束性は主 にPID補償器で、トルク外乱に対する変速比の安定化は 主に位相補償器によって行う.特に位相補償器は駆動

Target

response

characteristic



Fig. 3 Model of pressure control valve



Fig. 5 Pulley ratio feedback control system

Feedforward

compensator

PID

compensator

$$G_{CNT_d}(s) = \frac{P(s)}{x_V(s)} = \frac{\frac{A_V}{\beta V} s\left(s + \frac{l}{\tau}\right)}{s^2 + \frac{l}{\tau} s + \frac{A_{fb}GK}{\beta V\tau}}$$
(1)

The more this transfer function is in phase with the response characteristic in the vicinity of the natural vibration frequency of the powertrain, the more difficult it tends to be for the pressure produced by the flow rate change due to a torque disturbance during shifting to assist the shifting action. Accordingly, shift stability against torque disturbances is enhanced. Figure 4 shows an example of a Bode diagram of the same order system as the transfer function (Eq. (1)). Increasing zero and the damping coefficient is effective in bringing the phase characteristic near the natural vibration frequency of the powertrain closer



Fig. 4 Bode diagram of the same order system as transfer function of pressure control model



フィードバック補償器によって調整したトルク外乱に対 する安定性,および変速比偏差の収束性といった閉ルー プ特性を変更せずに変速レスポンスを向上させるため、 フィードフォワード補償器を適用した.この補償器は変速 比制御系の制御対象の逆系と目標応答からなる伝達関 数で構成される.

トルク外乱に対する安定性をさらに向上させるために 実変速比演算に用いるローパスフィルタは、駆動系の固 有振動数周辺で位相遅れ量が小さくなるように設計した.

5. 実験結果

Fig. 6に, 今回検討した油圧系と変速比制御を搭載し た車両の走行実験結果を示す. シーンとしては. ステッ プ的にアップシフトしながら加速していくシーンで、高レス ポンスな変速が強く求められるシーンである。 今回検討し た変速制御系によって,変速の開始および終了のポイン トで、従来よりもより角張ったシャープな変速を演出できる ようになった. また, その変速によって発生するイナーシャ トルクの影響も適切に抑制して、変動せず安定した変速 比の状態を維持することができた.



Fig. 6 Driving test results for a vehicle equipped with the new shift control system

to being in phase (region of several Hz). To accomplish that, it is clear from the relationship with the transfer function in Eq. (1) above that the spring constant kcv of the pressure control valve should be increased. Therefore, it was decided to adopt the stiffest spring allowable within a range where restrictions on the flow passage routing and layout would still be valid.

4. Pulley Ratio Control for achieving both Ratio Response and Stability

Two-degree-of-freedom shift control, consisting of a feedback compensator and a feedforward compensator as shown in Fig. 5, was applied for pulley ratio control. This was done to ensure at the highest possible level both pulley ratio stability against torque disturbances, i.e., to widen the stability margin, and shift responsiveness.

In addition to improving pulley ratio stability against torque disturbances, the feedback compensator also serves to converge pulley ratio error caused by some reason. Convergence of pulley ratio deviation is mainly performed by the proportional-integral-differential (PID) compensator, while the phase compensator principally stabilizes the pulley ratio against torque disturbances. In addition, the phase compensator was designed with gain scheduling method according to the natural vibration frequency of the powertrain system and was capable of setting the gain to match the frequency of torque disturbances. The gain of each feedback compensator was determined on the basis of repeated experiments and simulations.

The feedforward compensator was applied to improve shift response without changing the closed loop characteristics, namely, stability against torque disturbances adjusted by the feedback compensator and convergence of pulley ratio error. This feedforward compensator consists of the inverse system of the controlled object of the pulley ratio control system and the transfer function from the targeted response.

The low-pass filter which is used in calculating the actual pulley ratio is designed so that the phase delay becomes smaller in the vicinity of the natural vibration frequency of the powertrain for further improving stability against torque disturbances.

6. まとめ

駆動系のねじり振動を抑制した高応答な変速を実現 するため、CVT変速制御系のさらなる改良を行った、油 圧制御弁の変更によりねじり振動で発生するトルク外乱 に対する変速比の安定性を確保しつつ、2自由度制御 の採用によってトルク外乱に対するさらなる安定性と高応 答な変速を実現できるシステム構成とした.

その結果、ねじり振動のトルク外乱に対する変速安定 性を高めつつ,高い変速レスポンスを実現する変速比制 御系を開発することができ、「クルマを運転する楽しさ」を より一層向上できるCVTを実現できた.

最後に本稿執筆にあたり、多大なる協力をいただいた 社内外の方々に,深く感謝の意を表す.

Authors



Hiroki IWASA

5. Experimental Results

Figure 6 presents the driving test results for a vehicle equipped with the hydraulic system and pulley ratio control system investigated in this study. In this test, the vehicle is accelerated while upshifting in a step-like manner. This is a driving situation that strongly demands highly responsive shifting. The results show that the shift control system investigated here provided a crisper, more angular shift waveform than the previous control system at the beginning and ending points of shifting. In addition, it also suitably suppressed the influence of the inertial torque produced by shifting, thereby maintaining a stable pulley ratio state without any fluctuation.

6. Conclusion

The CVT shift control system was further improved to obtain highly responsive shifting while suppressing torsional vibration in the powertrain. Changes made to the pressure control valve ensure the stability of the pulley ratio against torque disturbances induced by torsional vibration. The adoption of two-degree-of-freedom control configured a system that provides further stability against torque disturbances and highly responsive shifting. As a result, a pulley ratio control system was developed that provides quick shift response while enhancing shift stability against torque disturbances due to torsional vibration. This control system facilitates CVT performance that markedly enhances the joy and pleasure of driving a car.

Finally, the author would like to thank everyone involved inside and outside the company for their invaluable cooperation.



Takurou KAWASUMI

新型Infiniti QX50向けCVTのロックアップ制御構築

Development of New Torque Converter Lockup Control for New Generation of Infiniti QX50

Yasuhiro ENDO

遠藤

泰弘**

棚部 旭紘* Akihiro TANABE

雅司*** 小野 Masashi ONO

抄 録 新型Infiniti OX50には、世界初の量産型可変 圧縮比エンジン「VCターボ」が採用される. このエンジン に組み合わされるCVTとして、エンジンの魅力性能を最 大限に引き出すような作り込みを、日産自動車とともに取 り組んできた.特に,発進や再加速でロックアップ(以下, L/U) クラッチを締結させるようなシーンでは. エンジンお よび変速制御と協調したロックアップ制御を構築すること で、動力性能と運転性を高い次元で両立し、パワートレ イン全体として車両の魅力品質を向上することができた. 本稿ではその詳細について紹介する.

Summary The new Infiniti QX50 is equipped with the VC-Turbo engine, the world's first mass-producible variable compression ratio engine. For the CVT combined with this engine, JATCO worked together with Nissan Motor Co. to build in technologies for fully eliciting the engine's attractive performance. Notably, a new torque converter lockup control was constructed that is coordinated with control of the engine and CVT shifting in driving situations where the lockup clutch is engaged such as for vehicle launch and re-acceleration. As a result, both power performance and driveability are attained at the highest possible levels, enabling the overall powertrain to enhance the attractive quality of the vehicle. This article describes the new torque converter lockup control in detail.

1. はじめに

「VCターボ」エンジンは、可変圧縮比(以下, VCR)機構 により圧縮比を連続的に変化させることで、ハイパフォーマ ンスでありながら高い効率性を持ち合わせている. エンジ ン回転を素早く上昇させ、高い過給圧を保つことで高いパ フォーマンスを引き出すことができ、高速道路への合流のよ うに、特に加速要求の高い発進時のレスポンスが向上する。 エンジン回転を素早く上昇させる方策として、CVTのトルク コンバータ流体特性を低容量にし、トルクコンバータのスリッ プ回転を大きくする方法があるが. スリップ回転が大きい状 態からL/Uクラッチを締結させると、車速の上昇に対しエン ジン回転の上昇が停滞し.リニアな加速感を阻害する.また. 加速要求が低いときには、L/Uクラッチが締結するまでの間、 トルクコンバータのスリップによりエンジン回転が高い状態と なり、期待する加速度との間に違和感が生じるため、トルク コンバータの流体特性は高容量にしたい.

1. Introduction

The VC-Turbo engine has a variable compression ratio (VCR) mechanism that continuously varies the compression ratio, enabling the engine to deliver both high performance and high efficiency. High performance is elicited by raising the engine speed quickly to maintain high boost pressure. This improves vehicle response, especially when there is a strong requirement for quick acceleration such as for merging with traffic on expressways. One way to raise the engine speed quickly is to increase the slip speed of the torque converter by lowering the capacity of its hydrodynamic characteristics. However, when the lockup clutch is engaged under a condition of a high slip speed, the engine speed rise stagnates relative to the increase in the vehicle speed, thereby obstructing a linear acceleration feel. Moreover, when there is a low requirement for acceleration, the engine speed remains high owing to the slipping of the torque converter in the interval until the lockup clutch is engaged. Because this produces a strange disconnected

Experiment Department

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

Powertrain Performance Engineering Department, Powertrain Engineering Division, Nissan Motor Co., Ltd.



Fig. 1 Overview of L/U control for new QX50

動力性能と運転性の2つの課題を両立させるため、低 容量なトルクコンバータを採用しつつ、エンジンおよび変速 制御と協調した新たなL/U制御を開発した(Fig. 1).

本稿では、新型Infiniti OX50に投入された「VCターボ」 エンジンに組み合わせるCVTの新L/U制御の狙いと、その 効果について説明する.

2. 新型Infiniti OX50のパワートレインコンセプト

2.1「VCターボ」エンジンの特性

新型Infiniti QX50に採用された「VCターボ」エンジンは、 2Lガソリンエンジンに過給器を付加し、VCR機構により圧 縮比を8から14の間で連続的に変化させる. 低圧縮比領 域ではハイパフォーマンスな2Lターボエンジンとして従来の V6 エンジンと同等またはそれ以上のパワーを実現しつつ. 高圧縮比領域では最新のディーゼルエンジン同様の高い 効率性を持ち合わせている¹⁾ (Fig. 2).

2.2 CVTへの性能要求

上記エンジンに組み合わせたJatco CVT8は、ギヤ比を 固定しながら加速しStep-ATのように変速するD-Step変速 制御が実装されており、エンジン回転と車速がリニアに上 昇することで、ダイレクトで伸びのある加速を実現している. また. 発進スリップL/U制御により. 発進時の過剰なエンジ ン回転の吹き上がりを抑え運転性と燃費性能を両立させ ている.

feeling between the engine speed and the driver's expected vehicle acceleration, it is desirable to design the hydrodynamic characteristics of the torque converter with high capacity.

In order to resolve these two issues of power performance and driveability, we have developed a new torque converter lockup control that is coordinated with control of the engine and CVT shifting, while also applying a low-capacity torque converter (Fig. 1). This article explains the aims and benefits of the new torque converter lockup control for the CVT that is combined with the VC-Turbo engine mounted on the new Infiniti QX50.

2. Concept of New Infiniti QX50 Powertrain

2.1 Features of the VC-Turbo engine

The VC-Turbo engine adopted on the new Infiniti QX50 is a 2.0L gasoline engine fitted with a turbocharger and incorporating the VCR mechanism that continuously varies the compression ratio. In the low CR region, this high-performance 2.0L turbocharged engine delivers power equal to or better than the previous V6 engine. Meanwhile, in the high CR region, it also provides high efficiency equal to that of the latest diesel engines (Fig. 2).

2.2 Performance requirements to the CVT

The CVT8 combined with this engine incorporates D-Step Shift Control to enable shifting like a stepped AT that accelerates the vehicle through a series of fixed gear ratios. Because the engine speed and vehicle speed rise together linearly, sustained acceleration with a directly connected feeling is obtained. In addition, start-off slip lockup control is applied to suppress excessive engine speed flare at vehicle launch, thereby providing both excellent driveability and fuel economy.



Fig. 2 Characteristic of VC-Turbo engine

^{*} 実験部

^{***} 日産自動車株式会社 パワートレイン技術開発本部 パワートレイン性能開発部

[「]VCターボ |エンジンの優れた性能を引き出すためには、 走行状況やドライバーによるインプット情報に応じ. 主に以 下の2つの要求がある.

一つは、加速要求の高いシーンで、素早くエンジン回転 を上昇させ、より早い段階から過給の高い状態を維持し出 カトルクを高めることで、レスポンスを向上させる、もう一方で、 加速要求の低いシーンでは、必要以上のエンジン回転上 昇を抑え、駆動力をアクセル操作で意のままにコントロール できるようにしたい. これらの要求を満足できるよう. 次章の ように検討した.

3. 達成方策の検討および検証結果

CVTに求められる要求を機能展開し. 発進要素である トルクコンバータおよびL/Uクラッチと、変速機構に割り付 け、走行シーンに応じて要求を満足させる方策を検討した (Fig. 3).

3.1 発進加速シーンにおける方策と検証

北米での高速道路への合流のように、加速要求の高 い発進加速のシーンにおいて、エンジン回転上昇を早める 方策として、以下の2つを採用した.まず、変速機構には、 D-Stepの1速加速中の変速比をLOWで維持し、エンジン の最高出力回転への到達を速める. さらに、 トルクコンバー タの流体特性を低容量にすることで、トルクコンバータのス リップ回転を大きくし, エンジン回転上昇を速めると同時にト ルクコンバータのトルク比が高い状態を長く継続させる.

In order to elicit this outstanding performance of the VC-Turbo engine, there are the following two principal requirements for responding to the driving conditions and the driver's operational inputs. The first is to improve vehicle response in situations where strong acceleration is required. That is accomplished by raising the engine speed quickly to maintain high boost pressure from an early phase so as to increase output torque. The second is a desire to enable drivers to control output power as they wish by operating the accelerator pedal, while suppressing unnecessary engine speed in situations with a low requirement for acceleration. The following section presents our study of measures for satisfying both requirements.

3. Study of Solutions and Validation Results

Function deployment was applied to these performance requirements imposed on the CVT. The requirements were allocated to the torque converter and lockup clutch as launch elements and to the shift system. Methods of satisfying the requirements were investigated for various driving situations (Fig. 3).

3.1 Solution and validation for launch acceleration situation

Two measures were adopted for raising the engine speed quickly in situations requiring strong standing-start acceleration such as for merging with traffic on freeways in the U.S. First, the shift system keeps the pulley ratio



Fig. 3 Requirements analysis and function deployment



Fig. 4 Concerns about low-capacity torque converter

この流体特性の低容量化のトレードオフ性能として、発 進加速のシーンでは以下の2つの課題がある.

従来, D-Step1-2変速の前にL/Uクラッチを締結すること で、メリハリのあるダイレクトな変速フィーリングを実現して いた.しかし. 低容量なトルクコンバータで入力トルクが高 くなると、トルクコンバータのスリップ回転が大きい状態で、 L/Uクラッチを締結させることになる. 結果, エンジン回転 の上昇を抑え込むことになり、 車速の上昇に対しエンジン 回転の上昇が停滞することで、リニアな加速感を阻害する (Fig. 4). また, スリップ回転が大きいところからL/Uクラッ チを締結すると、高い面圧で長時間スリップさせることにな るため、L/Uクラッチ摩擦材の発熱、摩耗等、関係部品の 耐力に対して厳しい使い方となる.

そこで、トルクコンバータの流体特性上、速度比が大き くなりスリップ回転が小さくなるD-Step1-2変速に同期して、 L/Uクラッチを締結させることにした(Fig. 5). 具体的には,



Fig. 5 Concept for launch requiring strong acceleration

low while accelerating in the first speed of D-Step so as to quicken the attainment of the engine speed for maximum power output. Moreover, the hydrodynamic characteristics of the torque converter are designed with a low capacity in order to increase its slip speed. Concurrently with quickening the increase in engine speed, the torque ratio of the torque converter is continued at a high level for a long interval.

Launch acceleration situations have the following two issues as performance trade-offs with the low-capacity of the hydrodynamic characteristics. Previously, the lockup clutch was engaged before D-Step executed a 1-2 upshift, thereby achieving an explicit directly connected shift feeling. However, as the input torque of a low-capacity torque converter increases, the lockup clutch must be engaged while the slip speed of the torque converter is at a high level. As a result, the engine speed rise is suppressed. Stagnation of the increase in engine speed in relation to the rising vehicle speed obstructs the attainment of a linear acceleration feel (Fig. 4). In addition, when the lockup engages at a high slip speed, slipping continues for a long interval under high surface pressure. That creates a severe usage condition for the durability of related parts, including heat generation and wear of the lockup clutch friction material, among other undesirable effects.

Therefore, in connection with the hydrodynamic characteristics of the torque converter, it was decided to engage the lockup clutch in synchronization with the 1-2 upshift by D-Step in which the speed ratio increases and the slip speed decreases (Fig. 5). Specifically, just before the 1-2 upshift by D-Step, the lockup clutch piston strokes to increase the clutch's engagement capacity all at once, thereby synchronizing its engagement with the onset of the 1-2 upshift that minimizes the slip speed. As a result, engagement of the lockup clutch is completed simultaneously with the completion of the 1-2 upshift. At that moment, torque was previously reduced to cancel the inertial torque produced by a certain shift action. In addition to that, a further torque reduction was added to cancel the inertia produced by the change in engine speed due to lockup clutch engagement. That produces quick and explicit shift behavior. The necessary engagement pressure of the lockup clutch was also optimized to ensure the durability of the clutch (Fig. 6).

As a result, the lockup clutch is engaged without causing the driver any strange stagnated feeling, while at the same time maintaining a powerful linear acceleration feel (Fig. 7).





D-Step1-2変速の直前からL/Uクラッチのピストンをストロー クさせ、スリップ回転が最も小さくなる1-2変速開始と同期 してL/Uクラッチの締結容量を一気に上昇させることで、 1-2変速完了と同時にL/Uクラッチの締結を完了させる。こ の時、従来からある変速によるイナーシャトルクを相殺する ためのトルクダウンに加えて、L/Uによるエンジン回転変化 のイナーシャを相殺するようなトルクダウンを付加することで、 メリハリのある素早い変速を実現した. また, L/Uクラッチ の必要締結油圧も最適化でき、L/Uクラッチの耐力を確保 できた(Fig. 6). 結果, 力強くリニアな加速感を維持したまま, ドライバーに違和感なくL/Uクラッチを締結することができた (Fig. 7).

3.2 再加速シーンにおける方策と検証

発進スリップL/U制御では、L/Uクラッチのピストン位置を 検出し学習させ、最適なL/U締結容量をタイミングよくコント ロールすることで、エンジン回転の吹き上がりを抑制しつつ 運転性と燃費を両立している2)

交差点右左折後の再加速のように、停車に備えL/Uを 解除しているような極低車速から再加速するシーンにおい ても、前項で選定した低容量のトルクコンバータにするとト ルクコンバータのスリップ回転が大きくなり、ドライバーの期 待する加速度に対してエンジン回転が高くなり過ぎる. そこ で、アクセルペダルを踏み込むと同時にL/Uクラッチのピスト ンをストロークさせて待機させつつ、アクセルペダルの踏み 込みによるエンジントルクの上昇に応じて、L/Uクラッチの締 結容量を上昇させることで過剰なエンジン回転の上昇を抑 制した(Fig. 8).



Fig. 7 Results for standing start acceleration

3.2 Solution and validation results for re-acceleration situation

Start-off slip lockup control serves to suppress engine speed flare while at the same time securing both excellent driveability and fuel economy. That is accomplished by controlling the optimal lockup clutch engagement capacity with suitable timing as a result of detecting and learning the position of the lockup clutch piston.

Consider re-acceleration situations such as after turning at an intersection from a very low vehicle speed with the lockup clutch disengaged in preparation for stopping the vehicle. In these situations as well, with a low-capacity torque converter like that selected in the previous section, the slip speed of the torque converter increases, resulting in an excessively high engine speed in relation to the acceleration expected by the driver. As a solution here, when the driver depresses the accelerator pedal, the lockup clutch piston strokes simultaneously to create a standby condition and the engagement capacity of the lockup clutch is increased in proportion to the increase in engine torque due to the depression of the accelerator pedal, thereby suppressing any excessive rise in engine speed (Fig. 8).

At the same time, the engine speed at which the shift control downshifts and the downshift speed have been optimized to match the characteristics of the VC-Turbo engine. In the region of a weak acceleration intention, downshifts are suppressed as much as possible and the engine torque is controlled according to the driver's wishes in the area of high efficiency with a high compression ratio. In the region of a strong acceleration intention, the engine speed for downshifting is increased and the shifting speed is quickened to raise the boost pressure quickly so that the engine operates

これと同時に、変速制御のダウンシフト回転およびダウン シフト速度を「VCターボ |エンジンの特性にあわせて最適 化した.加速意図が低い領域ではダウンシフトを極力抑え、 エンジンが高圧縮比で効率性の高い領域を使ってトルクを 意のままにコントロールしつつ,加速意図が高いところでは, ダウンシフト回転を高く変速速度を速くすることで、過給を 素早く高めてハイパフォーマンス域を使う. L/Uクラッチの 締結容量コントロールの最適化と合わせて、ドライバーが 期待する加速度とエンジン回転をリニアにコントロールでき, 意のままの加速とダイレクト感を得ることができた(Fig. 9).

4. まとめ

低容量なトルクコンバータは、ストールトルク比が大きく取 れ、発進時のトルクをより増幅できる一方で、運転性の面で はラバーバンドフィールといわれるようにCVTがネガティブな 印象を与えることを助長するため、従来の考え方では適用 を避けてきた。

本開発では、要求を満足させるために必要な性能を各 機能に割り付けることで、エンジンおよびCVTの変速制御 と協調したL/Uの新制御を構築し、低容量なトルクコンバー タでも背反する要求を両立させた.

これにより、「VCターボ」エンジンの魅力性能を最大限に 引き出し、動力性能および運転性を改善することで、パワー トレイン全体として車両の魅力品質を向上することができた (Fig. 10).

今後も、車両の魅力品質が向上するような車両周辺技 術と協調したCVT制御の開発に取り組んでいきたい. 最後 に、本開発にあたり多大なるご協力をいただいた方々に感 謝の意を表す.



Fig. 9 Optimization of re-acceleration performance



Fig. 8 Results for re-acceleration

in the region of high performance. Together with optimized control of the lockup clutch engagement capacity, the driver's expected vehicle acceleration and engine speed are controlled so that they rise linearly. This obtains acceleration matching the driver's wishes and a directly connected feeling (Fig. 9).

4. Conclusion

A low-capacity torque converter allows a large stall ratio, enabling greater amplification of torque at vehicle launch. On the other hand, it also contributes to creating a negative impression of CVTs with respect to driveability as typified by the so-called rubber band feeling. Its use has therefore been avoided according to conventional thinking.

In this development project, the performance needed to satisfy various requirements was allocated to different functions and a new torque converter lockup control was constructed that is coordinated with control of the engine and CVT shifting. This makes it possible to satisfy conflicting performance requirements even with a lowcapacity torque converter.



Fig. 10 Vehicle performance results

5. 参考文献/Reference

(1)Shinichi, K.; Katsuya, M.;Shuji, K : Features of the World's First Multi-link Variable Compression Ratio System and its Actuator in the New Nissan VC-Turbo Engine,

26th Aachen colloquium Automobile and Engine Technology 2017, (2017)

(2)Yasuhiro ENDO, Kohei KAMIYA: Development of New Start-off Slip Lockup Control using Systems Engineering, Jatco Technical Review No.16, pp.65-70, (2017)

This new torque converter lockup control maximally brings out the attractive performance of the VC-Turbo engine. It improves both the power performance and driveability of the entire powertrain to enhance the attractive quality of the vehicle (Fig. 10).

In the future, we intend to continue our efforts to develop CVT controls coordinated with vehicle peripheral technologies so as to improve the attractive quality of vehicles.

In conclusion, we would like to thank everyone involved for their invaluable cooperation with the development of this new torque converter lockup control.

Authors



Akihiro TANABE



Masashi ONO



Memo

燃費性能と運転性能を両立したCVT変速コントロールの新手法の開発

Development of New CVT Shift Control Methods for Achieving Both Fuel Economy and Driveability

森藤 伸彦*	增田 博雅**	下田 亜寿左**	青山 訓卓***
Nobuhiko MORIFUJI	Hiromasa MASUDA	Azusa SHIMODA	Noritaka AOYAMA
石塚 光騎*	五家 仁**	大塚 匡崇 ***	平下 賢***
Mitsuki ISHIZUKA	Hitoshi GOKA	Masataka OHTSUKA	Ken HIRASHITA

抄 録 変速機は、燃費性能への貢献はもちろんであ るが、近年運転性能への貢献も求められている.

CVTは、組み合わせるエンジン特性にマッチした変速 コントロールで、運転性能に求められるダイレクトでキレの ある変速フィーリングが実現できる.

本稿では、燃費性能と運転性能を両立した変速コント ロールの新手法について紹介する.

1. はじめに

CVTは、変速比設定の自由度を生かし、車両コンセプト にマッチした変速比で走らせることが可能である。例えば、 燃費重視の場合は、エンジンの燃料消費の少ない変速比 で走らせる. これは従来のCVTでは当然実現できている.

一方で、ドライバーのアクセルワークに見合った加速 フィーリングを得る運転性能への要求も高まっている.

今回の新型車開発においては、従来は難しかった燃 費性能と運転性能の両立を,新変速コントロールによっ て実現した.

2. 本開発の狙い

三菱自動車の新型車エクリプス クロスは、新規開発の ダウンサイジングターボエンジンが搭載された. 今回の新 型車開発においては、 燃費性能と運転性能の両立が必 要不可欠であるため、このダウンサイジングターボエンジ ンと組み合わされるJatco CVT8(以下, CVT8)の変速 **Summary** The automotive transmission naturally contributes to vehicle fuel economy, and there have been strong demands in recent years for it to contribute to driveability as well. Because a CVT can control shifting to match the characteristics of the engine it is combined with, it can provide crisp shifting with a directly connected feeling that is required for good driveability. This article describes new shift control methods that reconcile fuel economy and driveability.

1. Introduction

By taking advantage of its flexibility for selecting gear ratios, a CVT enables a vehicle to be driven at a gear ratio matching the vehicle concept. For example, when fuel economy is emphasized, a gear ratio is selected that enables the engine to propel the vehicle on less fuel. This capability has been achieved by conventional CVTs as a matter of course.

Meanwhile, there have been increasing demands for driveability that provides a feeling of vehicle acceleration matching the driver's accelerator pedal inputs.

In connection with the development of a new vehicle, new shift controls were developed that reconcile fuel economy and driveability, which was difficult to accomplish previously.

2. Development Aim

The ECLIPSE CROSS, a new vehicle model from Mitsubishi Motors Corp., is equipped with a newly developed downsized turbocharged engine. An essential

* ジヤトコエンジニアリング株式会社エンジニアリング事業部 車両適用開発部 Vehicle application Development Department, Engineering Division, JATCO Engineering Ltd

** ジヤトコエンジニアリング株式会社エンジニアリング事業部実験部 Experiment Department, Engineering Division, JATCO Engineering Ltd

*** 三菱自動車工業株式会社 EV・パワートレイン技術開発本部ドライブトレイン開発部 Drivetrain Engine Department, EV Powertrain Engineering Development Division, Mitsubishi Motors Corporation 制御(ソフトウェア)を大幅に見直し、燃費性能と運転性 能の両立を図る。

燃費性能を重視する領域は、必要駆動力を確保しつ つ燃料消費が少ない変速比に設定し、CVTの特長であ る滑らかな変速フィーリングにする.

また、運転性能を重視する領域は、ダウンサイジングター ボエンジンのトルクフルな特性を活かした変速比に設定 し、ダイレクトでキビキビした変速フィーリングにする.

このように、運転シーンに応じて、狙いの変速比にコン トロールすることで、 燃費性能と運転性能の両立を実現 する. 次項3で上記変速制御の詳細を説明する.

3. 変速制御性の向上

CVTは変速比設定の自由度は高いが、素早い変速 応答時は変速の安定性との両立が難しく、さらなる運転 性能アップには、変速制御性の改良が必要であった。

Fig. 1に従来の変速制御ブロック図を示す.

従来の変速制御は,目標変速比に対してフィードフォ ワード補償器(以下, FF補償器)で変速指示を与え, 実 変速比とのズレをフィードバック補償器(以下,FB補償 器)で補正をしていた.

Fig. 2に新変速制御の変速制御ブロック図を示す.



Fig. 1 Conventional shift control software



Fig. 2 New shift control software

requirement for the development of this new model was to achieve both good fuel economy and driveability. For that reason, the shift control software of the Jatco CVT8 that is combined with this downsized turbocharged engine was extensively revised to reconcile these two attributes.

In the region where fuel economy is emphasized, gear ratios are selected that allow the engine to consume less fuel while still ensuring the necessary driving force. This provides a feeling of smooth shifting that characterizes CVTs. In the region where driveability is emphasized, gear ratios are selected that take advantage of the torqueful character of the downsized turbocharged engine to provide crisp shifting with a directly connected feeling.

In this way, the aimed-for gear ratio is controlled according to the driving situation so as to deliver both fuel economy and driveability. The following Section 3 describes the improved shift control methods in detail.

3. Improvement of Shift Controllability

A CVT has high flexibility for selecting gear ratios, but quick shift response is hard to reconcile with shift stability. In order to enhance driveability further, it was necessary to improve shift controllability.

Figure 1 is a block diagram of the existing shift control software. With this conventional shift control, a feedforward (FF) compensator issues a shift command relative to the target gear ratio, and a feedback (FB) compensator corrects any deviation between the actual gear ratio and the target ratio.

Figure 2 is a block diagram of the new shift control software. The FF compensator used for shift control in this new shift control software was improved so as to reconcile quick shift response and shift stability.

That was done by improving the accuracy of the steadystate shift characteristics of the existing FF compensator and also by adding a new FF compensator that takes into account transient shift characteristics. As a result, the actual gear ratio can now follow the target gear ratio even in situations where fast shifting is desired.

Figure 3 presents one example of the effects of the new shift control software. Shown here is the gear ratio behavior when a fast shift was executed from a high to a low ratio. Relative to the target gear ratio, the new shift control software improves response in the initial shift phase and also convergence in the later shift phase.

新変速制御では「素早い変速応答」と「変速の安定 性 |の両立を図るため、変速制御に使っているFF補償器 を見直した.

従来のFF補償器の変速定常特性の精度を高め. さら に変速過渡の特性を考慮したFF補償器を追加した. こ の結果、素早く変速したい場合でも、目標変速比に実変 速比が追従できるようになった.

Fig. 3は,新変速制御効果の一例として, Highから Lowへ素早く変速させた際の変速比挙動を示す. 新変 速制御では,目標変速比に対し変速初期の応答性と, 変速後期の収束性が向上している.

この新変速制御の効果で、アクセルワークに見合った 変速レスポンス(ダイレクト感)と、必要駆動力でピタッと止 めることができる変速収束(キビキビ感)となり、ドライバー の意図通りの運転性能が実現できた。

4. ダウンサイジングターボエンジン特性にマッチした CVT変速制御

変速制御性の向上により. 目標変速比に実変速比が 素早く追従できるようになった. この新変速制御をベース に、ダウンサイジングターボエンジン特性にマッチした新た なCVT変速制御を構築する.

加速意図の強い追い越し加速では、アクセルの踏み量 に応じて、変速比ホールドと段階的なダウンシフトを使い分 け、ターボラグが感じにくい駆動力コントロールを実現した.

また、中・高速定常走行では、微小なアクセルワーク に対しては適切な変速比で固定し,有段AT車と同様な 駆動力コントロールを実現する.



Fig. 4 Operating regions of new CVT shift controls



Fig. 3 Improvement of ratio convergence

The effects of this new shift control software achieve driveability matching the driver's intention in form of shift response (directly connected feeling) corresponding to accelerator pedal inputs and shift convergence (feeling of crispness) that stops exactly at the ratio providing the necessary driving force.

4. CVT Shift Controls Matching Downsized Turbocharged **Engine Characteristics**

As a result of improving shift controllability, the actual gear ratio can now promptly follow the target gear ratio. Based on this improved shift controllability, new CVT shift controls were constructed that match the characteristics of the downsized turbocharged engine.

In a passing acceleration situation where the driver strongly desires vehicle acceleration, selective use is made of gear ratio holding and gradual downshifting according to the driver's depression of the accelerator pedal. This achieves driving force control that masks any feeling of turbo lag.

In addition, when driving at a steady medium to high speed, a suitable gear ratio is held in relation to slight accelerator pedal inputs, which provides driving force control similar to that stepped AT vehicles.

Figure 4 shows the operating regions (those in the black frames) of the newly added CVT shift controls. The specific methods of the new CVT shift controls are explained in the following Sections 4.1 and 4.2.

4.1 CVT shift control for passing acceleration

A CVT can quickly downshift to the gear ratio needed for passing acceleration. However, when a CVT is combined with a downsized turbocharged engine, if downshifting increases



Fig. 5 Waveforms for conventional shift control operation

Fig. 4で今回追加した新CVT制御の作動域(黒枠 で囲われてた領域)を示す.次項4.1,4.2でCVT変速制 御の具体的な手法を紹介する.

4.1 追い越し加速時CVT変速制御

CVTは、追い越し加速時に必要な変速比に素早いダ ウンシフトが可能である.しかし、ダウンサイジングターボ エンジンとの組合せの場合、ターボの過給によるトルク増 幅のタイミングよりも、ダウンシフト変速による駆動力増幅 のタイミングが早いと、ドライバーが期待する以上の駆動 力となる(Fig. 5). 場合によっては、ドライバーはアクセル を戻し駆動力を減らそうとするが、CVTはそのアクセル ワークに対してアップシフトをしてしまうため、ドライバーが 期待する以上に駆動力が減少する、よって、アクセルワー クに対して意図通りの加速コントロールが難しい.

そこで、ターボの過給によるトルク増幅のタイミングに合 わせて、変速比を適切にホールドする.変速比をホール ドすることで、不要なアクセル踏み増しや踏み戻しを防止 し、ドライバーが期待する駆動力に近づけることができた.

Fig. 6に新変速制御の場合の波形を示す. 従来 の変速コントロールにおける同一アクセルワークの場合 (Fig.5)と比較して、安定した加速コントロールができて いることがわかる。

また、追加制御として、変速比をホールドしている状 況から、さらに駆動力増加が必要なアクセル踏み増しや、 駆動力減少が必要なアクセル戻しの場合は、その時に必 要な変速比に素早く移行しホールドすることで、ドライバー 期待通りの駆動力となるよう、CVT変速をコントロールした.

Fig. 6 Waveforms for new shift control operation

the driving force at an earlier timing than torque is increased by the turbocharger boost, the resultant driving force will be greater than what the driver expects (Fig. 5). In some cases, the driver may try to reduce the driving force by letting up on the accelerator pedal. However, the accelerator input will cause the CVT to upshift, resulting in a reduction of driving force greater than what the driver expects. Consequently, the driver will have difficulty controlling vehicle acceleration as desired through accelerator pedal inputs.

Therefore, this new CVT shift control holds the gear ratio at a suitable level matching the timing for the increase in torque by the turbocharger boost. Holding the gear ratio prevents unnecessary additional depression or return of the accelerator pedal, thus making it possible to approach the driver's expected driving force.

Figure 6 shows the waveforms obtained with this new shift control. The results indicate that stable acceleration control is obtained compared with the conventional shift control in Fig. 5 for the same accelerator pedal inputs.

Moreover, consider situations where further depression or return of the accelerator pedal is needed to increase or reduce the driving force from a condition where the gear ratio is being held. In these cases, the newly added control promptly transitions the gear ratio to the necessary level and holds it there so as to control CVT shifting and provide the driver's expected driving force.

4.2 CVT shift control for steady medium to high speed driving

A CVT can finely change the gear ratio in conjunction with slight accelerator pedal inputs for adjusting the vehicle speed in high speed cruising, but the engine speed is apt to vary (Specification A in Fig. 7).

4.2 中・高速定常走行時のCVT変速制御

CVTは、高速巡航時の車速調整で微小なアクセルワー クに連動して微小に変速比を変えることができるが、エン ジン回転が変動しやすくなる(Fig. 7 Spec A).

そのため、従来は変速コントール(Fig. 7 Spec B)をし てエンジン回転変動を抑えていた.しかし、車速の上昇と ともに駆動力が減少するので、その駆動力を補うために アクセルを踏み増していた. そこで, 適切に変速比を固 定することでエンジン回転変動を抑制し、 アクセルワーク に対する駆動力変化がリニアになるようにした.

これにより有段ATのように駆動力をアクセルワークのみ で操作することで、より車速調整もしやすくなった.

特にターボ車のようにトルクフルなエンジンの場合は、エ ンジントルクだけでも必要駆動力が確保できる領域が広 いため、この変速比固定は運転性能の向上に有効とな る. Fig. 8に仕様A. 仕様B. 仕様Cのアクセルワークに 対するエンジン回転変更, 駆動力変化を示す.



Fig. 7 Comparison of shift control specifications

For that reason, the conventional method has been to suppress engine speed fluctuations through shift controlling (Specification B). However, because driving force decreases as the vehicle speed rises, the driver needs to depress the accelerator pedal further to compensate for the decline in driving force. Therefore, the new shift control is designed to suppress engine speed fluctuations by holding the gear ratio at a suitable level, thus enabling a linear change in driving force in relation to accelerator pedal inputs. This also makes it easier to adjust the vehicle speed because the driving force is manipulated only by accelerator pedal



Fig. 8 Waveforms for three CVT shift control specifications under steady medium to high speed driving

5. まとめ

変速制御性の向上により, 狙った変速比に素早く変速 することが可能になった. この向上により, 加速意図が強 い場合の変速コントロールと、一定車速巡航時の変速コ ントロールを改良することができ、燃費性能と運転性能の 両立を達成することできた.

本開発では、ダウンサイジングターボエンジンの特性に マッチした変速コントロールを実現させたが、 今回のダウ ンサイジングターボだけでなく、今後はさまざまなエンジ ンバリエーションや車両コンセプトにマッチした変速コント ロールで、多くの車両に適用していく.

最後に本稿執筆にあたり、多大なる協力をいただいた 社内外の方々に,深く感謝の意を表す.



Fig. 9 Mitsubishi ECLIPSE CROSS

Authors





Hiromasa MASUDA

Nobuhiko MORIFUJI



Mitsuki ISHIZUKA

Hitoshi GOKA

inputs similar to the operation of stepped AT vehicles.

In the case of torqueful engines in particular like those of turbocharged vehicles, there is a broad range where the necessary driving force can be secured by the engine torque alone. Consequently, holding the gear ratio is effective in improving driveability. Figure 8 shows the change in engine speed and driving force in relation to accelerator pedal inputs for Specifications A, B and C.

5. Conclusion

This improvement of shift controllability has now made it possible to shift quickly to the desired gear ratio. Because of this improvement, shift control has been improved in driving situations where strong acceleration is desired and in situations involving steady speed cruising. As a result, both fuel economy and driveability can be improved.

In this development project, shift control methods were achieved that match the characteristics of a downsized turbocharged engine. In future work, we want to develop shift control methods matching various engine variations and vehicle concepts, not just downsized turbocharged engines, and apply them to many different vehicle models.

Finally, the author would like to thank everyone involved inside and outside the company for their invaluable cooperation.



Azusa SHIMODA



Masataka OHTSUKA



Noritaka AOYAMA



Ken HIRASHITA

多目的最適化によるCVT変速性能高精度予測モデルの構築

Construction of a High-accuracy Prediction Model for CVT Shift Performance based on Multiobjective Optimization

北島 徹* Toru KITASHIMA

木内 一雅* Kazumasa KIUCHI

佐野 孝** Takashi SANO

抄録 モデルベース開発を推進するために、車両シス テムレベルで網羅的かつ高精度にCVTの変速性能を予 測できるモデルのニーズが高まっているが, 従来の手法 では複数の運転パターンで同時に精度の高いモデルの 構築は難しかった. そこで今回は、多目的最適化の手法 を導入することで複数パターンでの同時の精度向上を実 現した.本稿では、その多目的最適化の手法と手法導入 によって得られた変速特性に関する知見を紹介する.

Summary In order to advance model-based development work, there has been a growing need for a model that can predict CVT shift performance comprehensively and with high accuracy at the vehicle system level. However, with conventional approaches, it has been difficult to construct a model capable of predicting shift performance with high accuracy in multiple driving patterns simultaneously. In this study, a multiobjective optimization technique was applied to improve prediction accuracy simultaneously under multiple driving patterns. This article describes the multiobjective optimization technique and presents the findings obtained when it was applied to an analysis of shift characteristics.

1. はじめに

昨今のモデルベース開発の普及に伴い, CVT開発にお いても,なるべく早い段階で変速性能が車両システムに与 える影響をシステムレベルで高精度に予測するニーズが高 まっている.

CVT変速性能を高精度に予測する場合,無段変速の CVTは有段変速のステップATに比べて細やかな変速挙 動を実現できる反面、その変速挙動は複雑になる傾向が あるため、より細かな運転パターンを様々に想定してモデル 内部の設計変数を同定する必要がある. しかし従来の手 法では一度に想定できるパターン数に限界があった. そこ で,多目的最適化の手法を導入することで複数のパターン を考慮した複数の内部設計変数の同定手法を構築した.

2. CVTの変速性能のモデル化

2.1 プーリ変速特性のモデリング

CVTの変速を考えるうえでベルト&プーリの変速特性は 重要なファクターであるため、今回はその特性のモデル化を 考える

1. Introduction

The diffusion of model-based development in recent years has heightened the need to predict with high accuracy the influence of shift performance on vehicle systems at the system level at the earliest possible stage of the CVT development process.

A stepless CVT displays finer shift behavior than the step shifts of a stepped AT and its shift behavior tends to be more complex. For that reason, a variety of more detailed driving patterns must be envisioned for identifying the design parameters in the model in order to predict CVT shift performance with high accuracy. However, the number of patterns that can be assumed at one time has been limited with conventional approaches. Therefore, a multiobjective optimization technique was applied to construct a method for identifying multiple design parameters in the vehicle system model taking into account a plurality of driving patterns.

2. Modeling of CVT Shift Performance

2.1 Modeling of pulley shift characteristics We will consider the modeling of the shift characteristics of the belt and pulleys here because they are key factors in

System Development Office

プーリ比を算出するためのベルト&プーリの特性は、プー リ比を一定に保つ静的な特性とプーリ比を変動させる動的 な特性で分けて考える.

静的な特性としては、Fig. 1に示す推力比特性がある. これはベルトとプーリにかかる力のつりあい式を解くことによ る理論的な計算で求めることができ、「ベルトが伝達可能な トルク容量とプーリ入力トルクの比(以下,トルク比)」と「プ ライマリプーリ推力とセカンダリプーリ推力の比(以下,推 力比)」のマップで表現できる(1). このマップから求められる、 変速比を一定に保つための推力をここではバランス推力と 呼ぶことにする.

動的な特性としては、Fig. 1に示す差推力特性がある. この特性は、「プーリの軸方向移動速度(以下、プーリスト ローク速度)」と「バランス推力と実推力の差(以下,差推 力)」が比例関係にあることを示している⁽²⁾.

これらの特性をFig. 2に示すようなモデルに織り込み計 算を行うことで、プーリの変速比を予測することが可能と なる.



Fig. 2 Pulley ratio calculation model

Tin:プーリ入力トルク Tmax:トルク容量 ip old:現在のプーリ比 Fp:プライマリプーリ実推力 Fpb:プライマリプーリバランス推力 Fs:セカンダリ実推力 dF:差推力 Stksp:プーリストローク速度 dip:プーリ変速速度 ip:プーリ比



Fig. 1 Thrust ratio characteristic and differential thrust characteristic

a consideration of CVT shifting.

Belt and pulley characteristics must be considered for calculating the pulley ratio. We will separately consider the static characteristics under which the pulley ratio is kept constant and the dynamic characteristics when the pulley ratio is varied.

One example of a static characteristic is the thrust ratio characteristic as shown in Fig. 1. This characteristic can be calculated theoretically by solving an equation for the balance of forces acting on the belt and pulleys. It can be expressed in a map of the torque ratio, i.e., the ratio of the transmissible torque capacity of the belt to the pulley input torque, and the thrust ratio, i.e., the ratio of the primary pulley thrust to the secondary pulley thrust.⁽¹⁾ Here, we will refer to the thrust needed to keep the pulley ratio found from this map constant as the balanced thrust.

One example of a dynamic characteristic is the differential thrust characteristic as shown in Fig. 1. This characteristic shows the proportional relationship between the pulley stroke speed, i.e., the speed of pulley movement in the axial direction, and the differential thrust, i.e., the difference between the balanced thrust and the actual thrust.(2)

Performing calculations with a model like that shown in Fig. 2 which incorporates these characteristics makes it possible to predict the pulley ratio.

Tin: pulley input torque Tmax: torque capacity ip_old: current pulley ratio Fp: actual thrust of primary pulley Fpb: balanced thrust of primary pulley Fs: actual thrust of secondary pulley dF: differential thrust Stksp: pulley stroke speed dip: pulley shift speed ip: pulley ratio

^{*} ジヤトコ エンジニアリング株式会社 エンジニアリング事業部 部品システム開発部 ** システム開発室

Hardware System Development Department, Engineering Division, JATCO Engineering Ltd

2.2 精度向上前のモデル精度

モデルベース開発での設計検討を想定し,前述の推力 比特性および差推力特性を織り込んだ車両レベルのCVT システムモデルで精度を検証した (Fig. 3).

そしてプライマリプーリ回転数, ドライブシャフトトルク, プー リ比について、実車実験と解析結果の比較により精度の 確認をしたところ、複数の運転パターンで改善の余地があ ることが分かった(Fig. 4).





2.3 精度向上手法の課題と解決方針

2.2項で確認したモデル精度の誤差要因として、2.1項で 示した推力比特性と差推力特性の理論計算はプーリやそ れを支持する部品を剛体として計算しているなどの理論と 実機の差が影響していると推定した.

しかし、 プーリ単体試験などを用いて実車搭載状態の推 力比特性などのプーリ特性を計測するのは非常に困難で 時間もかかる. そこで、プーリ油圧、回転数、変速比など 実車試験で計測できる物理量から推力比特性および差推 力特性を同定し、モデルの精度向上を行うことに着目した.

また、車両システムモデルが使われる検討は、通常さま ざまな運転パターンを考慮する場合が多い. ゆえに、今 回対象としているモデルでもさまざまな運転パターンで一 様に精度を高くすることが求められる.しかし、従来の同 定手法では、同時に精度向上できるパターン数に限界が ある. そこで今回は多目的最適化の手法を活用して, 複 数の運転パターンで一様に精度の高いモデルの構築をす ることとした.



Fig. 3 Vehicle system model

2.2 Model accuracy before improvement

An investigation was made of the accuracy of a CVT system model at the vehicle level, assuming a design study in the model-based development process. The model incorporated the thrust ratio characteristic and differential thrust characteristic explained above (Fig. 3).

To confirm the accuracy of the model, a comparison was made of the experimental and simulated results for the primary pulley rotational speed, drive shaft torque and pulley ratio. The results obtained for multiple driving patterns showed there was room to improve the accuracy of the model (Fig. 4).

2.3 Issues in accuracy improvement method and resolution approach

In the theoretical calculation shown in section 2.1 for the thrust characteristic and differential thrust characteristic. the pulleys and the parts supporting them were calculated as rigid bodies. It was inferred that the difference between theory and reality influenced the factors causing the error in model accuracy confirmed in section 2.2.

However, it is extremely difficult and also timeconsuming to measure pulley characteristics, such as the thrust ratio characteristic, in a vehicle-mounted state using pulley tests and other experiments. Therefore, attention was focused on improving the accuracy of the prediction model by identifying the thrust ratio characteristic and differential thrust characteristic based on physical quantities measurable in vehicle tests, such as the pulley pressure, pulley rotational speed and pulley ratio.

Many different driving patterns are usually considered in design studies involving the use of a vehicle system model. Accordingly, the model investigated in this study would also need to provide uniformly high accuracy under a variety of driving patterns. However, the number of patterns for which accuracy could be improved simultaneously has been limited with conventional identification methods. Therefore, a multiobjective optimization technique was

3. 多目的最適化

3.1 解析条件

CVTが使われるシーンはさまざまあるが、今回はCVTの 基本的な運転性能を決める操作条件の中で課題が出る ことの多い. 踏み込みダウン時の変速に焦点を絞り精度 向上を試みた.具体的な運転パターンとしては、車速40、 60, 100km/hの3パターンそれぞれに対し, スロットル開度0 °→40°, 0°→80°の2パターンとして, 合計6パターンでの同 時精度向上に取り組んだ.

3.2 目的関数の設定

最適化のプロセスを実行するためには、精度誤差を定 量的に判定する計算式が必要である. 波形の類似性を評 価する一般的な指標としては相関係数が使われるが、今 回は実測との比較をより厳密に行うため、式(1)に示すよう な実測値と計算値の誤差積分をとることとした。

また、この計算のイメージをFig. 5に示す.

【目的関数値の定義】

目的関数値 = 「abs(実測値-計算値)dt ・・・(1)

a:スロットル開度立ち上がり時刻 b:計算終了時刻



Fig. 5 Concept of objective function

積分の開始時点は踏込開始時点とし、その時刻はスロッ トル開度の変化から求め、積分の終了時点はシミュレーショ ンの終了時刻とした.

式(1)に基づき精度誤差を評価する状態量としては、踏 み込みダウン時に大きく変化をする主要な信号の中から, プライマリプーリ回転、ドライブシャフトトルク、プーリ比をとる こととした.

utilized in this study to construct a model that would provide uniformly high prediction accuracy under multiple driving patterns.

3. Multiobjective Optimization

3.1 Simulation conditions

While CVTs are used in a wide variety of driving situations, a power-on downshift was selected as the focus for improving accuracy in this study. This is a shift operation in which issues often appear among the operating conditions determining the basic driving performance of a CVT. The specific driving patterns used involved three vehicle speeds of 40, 60 and 100 km/h and two acceleration patterns involving a change in the accelerator pedal angle from 0° to 40° and from 0° to 80° . An effort was made to improve prediction accuracy simultaneously for a total of six patterns.

3.2 Definition of objective function

Execution of the optimization process requires a calculation formula for quantitatively assessing accuracy error. A correlation coefficient is often used as a general index for evaluating the similarity of waveforms. However, it was decided to find the integration error of the experimental and simulated values as shown in Eq. (1) in order to make a more rigorous comparison with the experimental values. The concept of this calculation is shown in Fig. 5.

Definition of objective function value

Value of objective function = $\int abs(experimental value)$ - simulated value)dt \cdots (1)

a: time for rise of accelerator angle waveform

b: time for completion of calculation

The time for the start of integration was defined as the onset of accelerator pedal depression found from the change in the accelerator pedal angle, and the time for the end of integration was defined as the simulation end time.

Based on Eq. (1), the state quantities selected for evaluating accuracy error were the primary pulley rotational speed, drive shaft torque and pulley ratio, which are among the principal signals that change greatly at the time of a power-on downshift.

Together with the simulation conditions mentioned in section 3.1, simultaneous optimization was performed for 18 objective functions involving 6 driving patterns x 3 signals.

3.1項の解析条件と合わせて考えると,目的関数としては,6パターン×3信号の18個の目的関数の同時最適化を行った.

3.3 設計変数の設定

今回の設計変数としては、今回誤差があると推定した 推力比特性と差推力特性を調整する6つのパラメータを設 定した(Fig. 6およびTable 1).



Fig. 6 Design variables

Table 1 Design variables

- (A) Thrust ratio axis gain in thrust ratio characteristic map
 (B) Thrust ratio axis offset in thrust ratio characteristic map
 (C) Torque ratio axis gain in thrust ratio characteristic map
 (D) Value of differential thrust at first breakpoint in differential thrust characteristic map
- (E) Value of pulley stroke at first breakpoint in differential thrust characteristic map (F) Value of differential thrust at second breakpoint in differential thrust characteristic map

3.4 寄与度分析

最適化で対象とする設計変数を選定するために, プー リ特性に関する6因子の設計変数が目的関数に及ぼす寄 与度を分析した.具体的な手法としては,各設計変数を 単独で交互作用を考慮せずに最大最小のパターンで振っ た場合の目的関数の変動量を確認した.その結果はFig. 7に示すように,(A)推力比特性の推力比軸に対するゲイン, (B)同オフセット,(E)差推力特性の第一変曲点のプーリ ストローク速度値の寄与度が大きいことが分かった.よって, 設計変数を6因子から寄与度の大きかった3因子に絞り込 んで最適化を実施することとした.

3.5 最適化計算

最適化計算を行う仕様としては直交表L12で初期世代 をとり、一般的な遺伝的アルゴリズムの1つである多目的遺 伝アルゴリズムで100世代進化を行うこととした.その結果、 Fig. 8に示す通り全ての運転パターンで目的関数が小さく 3.3 Definition of design variables

As the design variables in this study, six parameters were defined for adjusting the thrust ratio characteristic and differential thrust characteristic, which were presumed to have error (Fig. 6 and Table 1).

3.4 Contribution analysis

In order to select the design variables targeted for optimization, an analysis was made of the contribution to the objective function of six design variables as factors related to pulley characteristics. The specific method used was to confirm the amount of change in the objective function when each design variable was varied independently in maximum/minimum patterns without considering their interaction. The results are presented in Fig. 7. It was found that the largest contributions were attributed to (A) the thrust ratio axis gain in the thrust ratio characteristic map, (B) the thrust ratio axis offset in the thrust ratio characteristic map, and (E) the value of the pulley stroke speed at the first breakpoint in the differential thrust characteristic map. Therefore, it was decided to perform the optimization by narrowing down the design variables from six factors to the three factors having the largest contributions.



Fig. 7 Objective function values in contribution analysis

3.5 Optimization calculation

The specification for performing the optimization calculation was to use an L12 orthogonal table to obtain the first generation and to evolve it through 100 generations using a multiobjective genetic algorithm, which is a general type of genetic algorithm. As the results shown in Fig. 8 indicate, the value of the objective function became smaller and accuracy was improved in all the driving patterns. With regard to the value of the objective function for the primary なっており,全ての運転パターンの精度向上ができた.回 転数の目的関数の値で言えば,全パターン平均70%以上 の精度向上が出来た.また,時系列波形でも確認をおこ ない,高い精度で踏み込みダウン時の変速挙動を再現で きるモデルとなっていることを確認した(Fig.9).







Fig. 9 Primary pulley rotational speed profile before and after optimization

4. まとめ

CVTの変速性能を評価するうえで重要な操作であるア クセル踏み込みダウン時について、多目的最適化を活用し て複数の運転パターンを考慮したモデルの精度向上をお こない、高精度な変速性能予測モデルを構築できた.

さらに、CVT変速性能予測モデルの精度向上では推 力比特性の推力比軸に対する補正と差推力特性のプー リストローク速度軸に対する補正が寄与が高く、これらを 変動させる因子が理論と実機の誤差要因となることを推 定できた.

今後は、オートアップなどの踏み込みダウン時以外の変 速のシーンやロックアップ性能などで、今回導入した多目的 最適化手法の有効性を検証していきたい。 pulley rotational speed, accuracy was improved by 70% on average in all the driving patterns. Confirmation was also made on the basis of the time-history waveforms, which showed that the model reproduced with high accuracy the shift behavior at the time of a power-on downshift (Fig. 9).

4. Conclusion

A power-on downshift is an important driving operation for evaluating CVT shift performance. A model for predicting CVT shift performance with high accuracy was constructed under multiple driving patterns by using multiobjective optimization to improve the accuracy of the prediction model.

Moreover, it was found that compensation of the gain in the thrust ratio axis of the thrust ratio characteristic and of the gain in the pulley stroke speed axis of the differential thrust characteristic made large contributions to the improvement of the accuracy of the model for predicting CVT shift performance. It was inferred that the factors causing these variables to fluctuate were the causes of error in the theoretical and experimental values.

In future work, the authors intend to verify the effectiveness of the multiobjective optimization technique used in the present work by applying it to other shift situations besides power-on downshifts such as automatic upshifts and also to an evaluation of lock-up performance.

Finally, the author would like to thank everyone involved inside and outside the company for their invaluable cooperation.

5. References

- Michihiro Maruyama, et al., "A Study on Shifting Mechanisms of Metal Pushing V-belt Type CVT," Preprints of JSAE Scientific Lectures, No. 108-02, 20025608 (in Japanese).
- (2) Hirokazu Uchiyama, et al., "On the Shifting Mechanism of a Metal V-Belt CVT," Subaru Technical Review, Vol. 28, pp. 73-80, (2001) (in Japanese).
- (3) Toru Kitashiima, Kazumasa Kiuchi and Takashi Sano, "Construction of a High-Accuracy Prediction Model for CVT Shift Performance Based on Multiobjective Optimization," 2017 JSAE Autumn Congress, No. 272 (2017) (in Japanese).
- (4) IDAJ, "Handouts of Basic Optimization Course," Lectures on Theory, IDAJ Numerical Analysis Academy, 62 pp. (2012) (in Japanese).

最後に本稿執筆にあたり, 多大なる協力をいただいた	
社内外の方々に, 深く感謝の意を表す.	

5. 参考文献

- (1) 丸山倫弘他:金属VベルトタイプCVTの変速機構に 関する研究, JSAE学術講演会前刷集, No108-02, 20025608
- (2) 内山博一他:金属VベルトCVTの変速メカニズムに ついて, SUBARU Technical Review, Vol.28, p.73-80(2001)
- (3)北島徹,木内一雅,佐野孝:多目的最適化による CVT変速性能高精度予測モデルの構築,自動車技 術会秋季大会 No. 272(2017)
- (4) IDAJ: IDAJ 数値解析アカデミー 理論講座 最適化 基礎コース 資料集, (2012), 62p

Authors



Toru KITASHIMA



Takashi SANO

Memo

32

トルクコンバータ性能予測CFDの新検証手法の開発

Development of a New Method for Validating CFD Calculations about Predicting Torque Converter Performance

川島 一訓*	佐野 明彦**	岡田 克彦***	高橋 祐二*
Kazunori KAWASHIMA	Akihiko SANO	Katsuhiko OKADA	Yuji TAKAHASHI

抄録 トルクコンバータの流体性能開発において,CFD (Computational Fluid Dynamics:数値流体力学)の精 度向上が望まれている.その取り組みの一つとして,定 常CFDのトルクコンバータ内3次元速度場を直接検証 する技術を開発した.ダイナミックステレオPIV(Particle Image Velocimetry:粒子画像流速測定法)計測による 非定常3次元速度ベクトルの計測,および計測結果から 位相平均速度場を求めることでトルクコンバータ内の3次 元の速度場を構築する.本稿では,本開発技術の概要を 紹介する.

Summary It is desirable to improve the accuracy of computational fluid dynamics (CFD) calculations for developing the hydrodynamic performance of torque converters. As one effort toward that end, we developed a method for directly validating steady-state CFD calculations of 3D velocity fields in a torque converter. The 3D velocity fields in a torque converter can be constructed based on measurement of unsteady 3D velocity vectors obtained with a dynamic stereo particle image velocimetry (PIV) system and the phase-averaged velocity fields found from the measured results. This article outlines this newly developed method.

1. Introduction

transmissions and to reduce their size and weight in order

to enhance environmental friendliness and fuel economy.

In the torque converter development process, it is desirable

to improve the accuracy of CFD calculations in order

to increase hydrodynamic performance. Performance

requirements have risen higher and become more diversified

in recent years especially as a result of engine downsizing.

At the same time, the required performance must be

achieved with a smaller torus, i.e., the fluid coupling circuit

formed by the three elements of the impeller, turbine and

stator. Because the circuit is used in higher flow velocity

regions, CFD calculation accuracy has tended to deteriorate

it is necessary to obtain in an actual torque converter not

only performance values based on torque and rotational

speed in the results system, but also the flow fields as the

factors system. There are reports in the literature about the

application of PIV to visualize the complex flow inside a

*** 未来技術センター

Future Technology Center

In order to validate the accuracy of CFD calculations,

more than before.

There is a need to improve the efficiency of automatic

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.トルクコンバータの開発 においては,流体性能の改善のため,CFDの精度向上 が望まれている.特に昨今のエンジンダウンサイズ化に伴 う要求性能の高性能化や多様化,一方でこれを小型トー ラス(インペラ,タービン,ステータの羽根車3要素で構成 する回路)で実現する必要があり,より高い流速域で使 用されることから従来よりも精度が悪化傾向となっている.

CFDの精度検証にあたっては、結果系であるトルクと 回転数に基づく性能値だけでなく、要因系である流れ場 を実機において取得する必要がある.トルクコンバータ 内流れの可視化にPIVを適用した報告例¹⁾²⁾はあるが、サ ンプリング周波数が低いため非定常流を捉えるには至っ ておらず、ステータ周りの非回転流路内の時間平均速 度計測に適用されるに留まっている.

著者らは、高速度カメラ2台による高周波(3,000frames/ sec)ステレオPIVを適用することで、ステータ翼列周りの 非定常流動の3次元速度成分を定量化し, 翼前縁で渦 構造を伴う剥離が生じることを示した³⁾. また, 立体視に よるトルクコンバータ内の非定常な流れ場全体を視覚的 に観察する手法を開発した⁴⁾.

次の取り組みとして、定常および非定常CFD結果にお ける羽根車3要素全ての流れ場を直接検証する方法を 検討している.本稿では第一段階として、定常CFDを検 証するため羽根車3要素全体の3次元平均速度場を定 量化する方法を検討した.高周波ステレオPIV計測にお いて、非定常流動を捉える分解能を利用することで、膨 大な翼の位相違いの流速データが抽出可能となる.この 計測結果から、各羽根車が形成する位相平均を算出 する方法を検討した.得られた位相平均を用いることで、 周方向の流動分布を3次元的に再構築した(以下空間 再構築と呼ぶ).この空間再構築された3次元流れ場は、 時間平均乱流モデルによる定常CFDの3次元流れ場と 直接比較することができる.したがってCFD精度の有効 な検証方法となる.

2. PIV計測結果に基づく新手法

2.1 考え方

PIVの原理をFig. 1に模式的に示す⁵⁾. 流れ場に微細 なトレーサ粒子を混入させ, パルスレーザ光などでシート 状に照射し, 2時刻の瞬時粒子群画像の相関から流れ 場の各位置の速度を同定する. 後述するようにシート光 に厚みを持たせ, 粒子群をステレオ撮影することによって, 断面上の3次元流速ベクトル分布が得られる.

トルクコンバータの特徴として, 羽根車とともに流路が 回転していることが挙げられる. 各羽根車は異なる速度 で回転するため, 流路内部に固定されたシート光におい て, 時々刻々, 各翼の位置関係としてあらゆる組み合わ せの断面を撮影することができる.

したがって、これらの撮影データを同じ位置関係で分類・平均し(位相平均)、空間方向の翼の並びに合わせ て配置することで3次元の速度場が得られる.これが空 間再構築の原理となる.

以下,ダイナミックステレオPIVシステム,位相平均, 空間再構築の3つのフェーズに分けて詳細を記述する.



Fig. 1 Conceptual diagram of PIV

torque converter.⁽¹⁻²⁾ However, unsteady flows were not captured because of the low sampling frequency that was used. Application did not go beyond measurement of the time-averaged velocity in the non-rotating flow passages around the stator.

The authors applied a high-frequency (3,000 frames/s) stereo PIV system, using two high-speed cameras, to quantify the 3D velocity components of the unsteady flow around the stator blade cascade. The results showed that separation accompanied by a vortex structure occurred at the leading edge of the stator blades.⁽³⁾ In addition, we developed a method for visually observing the overall unsteady flow fields in a torque converter by means of stereopsis.⁽⁴⁾

As our next project, we are investigating a method for directly validating the flow fields of all three bladed elements in the CFD results for steady and unsteady flows. This article presents a study of a method for quantifying the 3D average velocity fields of all three bladed elements for the purpose of validating steady-state CFD calculations as the first stage of this project. High-frequency stereo PIV measurements make it possible to extract huge volumes of flow velocity data for different blade phases using resolution sufficient for capturing unsteady flows. Based on the measured results, a method was investigated for calculating the phase-averaged flow formed by each bladed element. The phase-averaged flows thus obtained were used to reconstruct the three-dimensional flow distribution in the circumferential direction (referred to here as spatial reconstruction). Spatially reconstructed 3D flow fields can be compared directly with steady-state CFD 3D flow fields obtained with a time-averaged turbulence model. Accordingly, this is an effective method for validating the accuracy of CFD calculations.

^{*} 先行技術開発部

Advanced Technology Development Department

^{**} 日産自動車株式会社 パワートレイン技術開発本部 パワートレイン先行技術開発部

Powertrain Advanced Engineering Department, Powertrain Engineering Division, Nissan Motor Co., Ltd.



Fig. 2 Acrylic model of torque converter



Fig. 3 Schematic of experimental apparatus for flow visualization

2.2 ダイナミックステレオPIVシステム

トルクコンバータモデルとしては、各羽根車、インペラと 外周固定され容器を構成するカバー部品,これらを格 納する水槽を全て透明アクリル樹脂により製作した(Fig. 2). 計測システムの概略をFig. 3に示す. 位相平均を実 現するためには、各羽根車が回転を繰り返しても位置関 係が確実に再現される必要がある. そこで1台のモータ 軸からギアボックスを介してインペラ軸とタービン軸を駆動 する構造とし, 速度比の設定はギアの組み合わせで行っ た. 回転位置の検出には分解能0.5度のロータリーエン コーダを用いた.

作動流体は、アクリル樹脂の屈折率に合わせたマッチ ング流体としてヨウ化亜鉛水溶液を用いた⁶. 密度1.84× 10³kg/m³,動粘性係数1.31×10⁻⁶m²/sであり、実機回転 速度の1/7程度で同等のRe数が得られる.本計測では、

2. New Method based on PIV Measured Results

2.1 Concept

The principle of PIV is shown schematically in Fig. 1.⁽⁵⁾ Tiny tracer particles are mixed into a flow field and illuminated by a sheet of light from a pulsed laser or other light source. The velocity at each point in the flow field is identified from the correlation between instantaneous particle group images obtained at two time points. As will be described later, a 3D flow velocity vector distribution is obtained in the measurement cross section by giving the sheet of light depth and stereophotographing the particle groups.

One feature of a torque converter is that the flow passages rotate together with the bladed elements. Each bladed element rotates at a different speed, so it is possible to photograph various combinations of cross sections every moment as the positional relationships of the blades in a stationary light sheet formed in a flow passage.

Therefore, 3D velocity fields can be obtained by classifying and phase averaging the photographed data at the same positional relationships and positioning them according to the arrangement of the blades in the spatial direction. This is the principle of spatial reconstruction.

The following sections separately explain in detail the three phases of the dynamic stereo PIV system, phase averaging and spatial reconstruction.

2.2 Dynamic stereo PIV system

As the torque converter model, each bladed element, the cover parts forming the container attached with the impeller, and the water tank in which everything was contained were all made of a transparent acrylic resin (Fig. 2). A schematic of the flow measurement system is shown in Fig. 3. In order to accomplish phase averaging, the positional relationship of each bladed element must be reliably reproduced even though they are rotating repeatedly. To accomplish that, the impeller shaft and turbine shaft were driven by one motor shaft via a gearbox. The impeller-turbine speed ratio was set by a combination of gears. The rotational positions of the impeller shaft and turbine shaft were detected with a rotary encoder having a resolution of 0.5° .

A zinc iodide solution was used as the working fluid that served as an index-matching fluid, which was adjusted to match the refractive index of the acrylic resin.⁽⁶⁾ It had a density of 1.84 x $10^3\ kg/m^3$ and a kinematic viscosity coefficient of 1.31 x 10⁻⁶ m²/s. By using a rotational speed that



Fig. 4 Definition of blade phase (segmentation)

インペラ回転数は250rpm,速度比は0.1と0.6の2条件と した.トレーサ粒子として、金属被服されたプラスチック 粒子(平均粒径20µm, 密度1.63×10³kg/m³)を用いた.

レーザシート光(Nd:YLFレーザ, 10mJ/pulse@1kHz) の位置は、回転軸に対し放射方向に設定した、厚さは 2mmとし、ステレオ配置された2台の高速度カメラ撮影 することで速度3成分が計測される(幅128pixel×高さ 512pixelで4,000frames/sec). 撮影断面に対しステータ は固定となるため、後述するように翼の1ピッチ間を8等分 に分割し、角度を変化させて撮影を行った.

2.3 位相平均

位相平均フェーズでは、時々刻々の測定データを各 羽根車の位置関係で分類して平均を採る. 位置関係を 定義するため、各羽根車の翼の1ピッチの区間において、 位相の番地を定義する.本検討では、インペラを14分割 (0.49°刻み), タービンを17分割(0.49°刻み), ステータ を8分割(1.07°刻み)とし、計1904通りの位相関係を定 義した. 各時刻の測定データは、撮影断面を通過する 翼の位置関係において、本定義の番地に全て当てはめ ることができる. そこで各時刻の測定データベクトルをV" (t), 番地情報ベクトルをPh_m(t)として, 時間でひも付けして (*Data*(*t*)ベクトル)管理する(Fig. 4).

$$Data(t) = \begin{pmatrix} Ph_m(t) \\ V_m(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ph_{m-1}(t) \\ ph_{m-1}(t) \\ ph_{m-2}(t) \\ V_m(t) \end{pmatrix} \quad (1)$$

以上より、1904通りの同じ番地の組み合わせにおいて、 V_m(t)の平均を採ることが可能となる.

Divided into 8 segments per pitch (1.1 deg) Divided into 14 segments per pitch (0.5 deg) Impeller: 250 rpm Stator: fixed (measured for every segment) Turbine: 25 rpm (speed ratio of 0.1) 150 rpm (speed ratio of 0.6) Divided into 17 segments per pitch (0.5 deg)

was approximately 1/7 of that of an actual torque converter, the same Reynolds number (Re) was obtained. In the flow measurements, the impeller speed was set at 250 rpm and two speed ratios of 0.1 and 0.6 were used. Plastic particles covered with metal were used as the tracer particles, having an average diameter of 20 μ m and a density of 1.63 x 10³ kg/m^3 .

The laser light sheet (Nd:YLF laser: 10 mJ/pulse@1 kHz) was positioned in the radial direction relative to the rotating shafts. Its thickness was 2 mm, and three velocity components were measured by photographing a cross section (128 pixels wide x 512 pixels high) with two high-speed (4,000 frames/s) cameras positioned side by side. Because the stator was stationary relative to the photographed cross section, as will be explained later, one blade pitch was divided into equal eight segments and the cross section was photographed every varied angle.

2.3 Phase averaging

In the phase-averaging step, the measured timeseries data were classified and averaged according to the positional relationship of each bladed element. In order to define the positional relationships, phase numbers were defined in one pitch section of the blades of each bladed element. In this study, the impeller blade pitch was divided into 14 segments (0.49° intervals), the turbine blade pitch into 17 segments (0.49° intervals) and the stator blade pitch into 8 segments (1.07° intervals), thereby defining 1,904 patterns of phase relationships. The data measured at each time corresponded to all the defined phase numbers for the positional relationships of the blades passing through the photographed cross section. Therefore, letting $V_m(t)$ represent the vector data measured at each time and $Ph_m(t)$ the phase number vectors, (*Data(t)* vectors) can be linked by time and managed as shown in Fig. 4.



Fig. 5 Schema of 3D flow field reconstruction

2.4 空間再構築

各位相平均データを周方向に並べて3次元の流速分 布を得る.本検討では、羽根車の90°の範囲で空間再 構築を実施した. Fig. 5で, 各色違いの線の周方向のな らびは各羽根車の翼の配列を表している. このとき, あ る角度θにおける翼の位置関係は、先に定義した各番地 で表すことができ. θと番地情報をひも付けしてベクトル **Ph**_r(θ)で管理する.

$$\boldsymbol{P}\boldsymbol{h}_{r}(\boldsymbol{\theta}) = \begin{pmatrix} ph_{r_t}(\boldsymbol{\theta}) \\ ph_{r_t}(\boldsymbol{\theta}) \\ ph_{r_s}(\boldsymbol{\theta}) \end{pmatrix} \quad (2$$

 θ でひも付けした番地 $Ph_r(\theta)$ と測定データの時間でひ も付けした番地 $Ph_m(t)$ が一致した場合、その時刻の測 定データV_m(t)は,再構築空間の位置θにおける流速デー タ(*V*_r(θ)とする)に当てはめることができる.

$$\boldsymbol{V}_{r}(\theta) = \frac{1}{N_{\theta}} \sum_{i=0}^{3.5E+5} \boldsymbol{V}_{m}(i \times \Delta t) \left(\text{if } \boldsymbol{P}\boldsymbol{h}_{r}(\theta) = \boldsymbol{P}\boldsymbol{h}_{m}(t) \right) \quad (3)$$

$$\boldsymbol{Data}(t) = \begin{pmatrix} \boldsymbol{Ph}_{m}(t) \\ \boldsymbol{V}_{m}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ph_{m-}i(t) \\ ph_{m-}t(t) \\ ph_{m-}s(t) \\ \boldsymbol{V}_{m}(t) \end{pmatrix} \quad (1)$$

Based on the above, $V_m(t)$ can be averaged in 1,904 combinations of the same phase numbers.

2.4 Spatial reconstruction

The phase-averaged data were arranged in the rotational direction to obtain the 3D flow velocity distribution. In this study, spatial reconstruction was performed in a 90° range of the bladed elements. In Fig. 5, the different colored lines arranged in the circumferential direction represent the blade cascade of each bladed element. In this example, the positional relationship of the blades at a certain angle θ can be expressed by the phase numbers defined above. The angle θ and the phase number information can be linked and managed by vector $\boldsymbol{Ph}_{r}(\boldsymbol{\theta})$.

$$\boldsymbol{P}\boldsymbol{h}_{r}(\theta) = \begin{pmatrix} ph_{r}\underline{i}(\theta) \\ ph_{r}\underline{t}(\theta) \\ ph_{r}\underline{s}(\theta) \end{pmatrix} \quad (2)$$

If the θ -linked phase number $Ph_r(\theta)$ and the phase number $Ph_m(t)$, representing the time-linked measured data, coincide, the measured data $V_m(t)$ obtained at that time correspond to the flow velocity data $(V_r(\theta))$ at the θ position in the reconstructed space.

$$\boldsymbol{V}_{r}(\theta) = \frac{1}{N_{\theta}} \sum_{i=0}^{3.5E+5} \boldsymbol{V}_{m}(i \times \Delta t) \left(\text{if } \boldsymbol{P}\boldsymbol{h}_{r}(\theta) = \boldsymbol{P}\boldsymbol{h}_{m}(t) \right)$$
(3)

Accordingly, the final spatial reconstructed result was obtained by performing the correspondence operation and averaging operation on all the measured data.



Fig. 6 Phase-averaged results for an example cross-section (in-plane)

従って、全測定データに関して、当てはめ作業と平均 化作業をすることで、 最終的に空間再構築結果が得ら れた.

なお、本検討で実施した諸々の条件については以下と なる. 撮影断面数はサンプリング周波数2kHzに対し, ス テータの1角度当たり43.800フレーム×8角度で約35万枚 となった. 再構築した空間の分解能は,90°の範囲で84枚, 位相平均は1角度あたりおよそ90枚で平均を採った.

3. 結果

位相平均結果に関し、ある一断面を代表してFig. 6に 示す. 図の左に示したものは、同断面における羽根車の CAD図である. 図中に示した環状の矢印は、断面上で みたトルクコンバータの回路上の主要流れ(循環流)で、 流速は低速度比ほど高速となる. 図の右に示した二つは、 位相平均結果の子午面流速分布で、それぞれ速度比0.1 と0.6の結果を示している.結果を見ると循環流が発生し ていることがわかる.また、両速度比の結果を比較すると、 速度比0.1の結果の方が速い流速を得られており、上記 知見と合致している.

次に同断面における面外方向すなわちトルクコンバー タの回転方向の流速分布の結果をFig. 7に示す. 紙面 の手前方向にインペラ、タービンは運動する. ここで示し た流速は、おおよそ各羽根車の回転数に比例して変化 するので、タービンの領域において、回転数の大きい速 度比0.6の方が速い流速を得られており、本結果におい ても、トルクコンバータの知見と合致している.



Fig. 7 Phase-averaged results for an example cross-section (out-of-plane)

The followings were the conditions examined in this study. Approximately 350,000 cross sections were photographed at a sampling frequency of 2 kHz, representing 43,800 frames per stator angle x eight angles. The resolution in the reconstructed space resulted in 84 cross sections in a 90° range and in roughly 90 cross sections on average per angle by phase averaging.

3. Results

Figure 6 shows the phase-averaged results obtained for a certain cross section as an example. On the left side is a CAD diagram of the bladed elements in the same cross section. The annular arrow in the center of the diagram represents the principal circulating flow in the torque converter circuit as seen in a cross-sectional view. It is observed that the flow velocity increased with a lower speed ratio. The two graphs on the right show the phase-averaged results for the flow velocity distribution in the meridional plane; the left side is for a speed ratio of 0.1 and the right side is for a speed ratio of 0.6. The results reveal that circulating flow occurred. A comparison of the results for the two speed ratios shows that faster flow velocities were obtained for the speed ratio of 0.1, which is consistent with the general knowledge of torque converters mentioned above.

Figure 7 presents flow velocity distributions for the same cross section in the out-of-plane direction, i.e., in the direction of torque converter rotation. The impeller and turbine rotate in the forward direction of the figure. The flow velocities shown here presumably change approximately in proportion to the rotational speeds of the bladed elements. For that reason, faster flow velocities were obtained in the turbine region for the speed ratio of 0.6 for which the



Fig. 8 3D reconstructed velocity field

Fig. 8に空間再構築結果を示す. 左は正面から見た 流速分布,右は側面から見た流速分布を示している. 側面からみた流速分布において、インペラ53枚、タービ ン43枚の翼枚数(翼ピッチ)違いに対応した周期的な流 速分布を形成している. また. 正面からみた流速分布に おいて、同図に示したタービンCADとの対比より、翼形状 に沿った流速分布が得られていることが確認できる.

従って, 位相平均結果とともに本空間再構築結果は 確からしいものと判断する.

4. 結論

ダイナミックステレオPIV計測および速度場の空間再構 築により、トルクコンバータ羽根車内の3次元流れ場を可 視化することができた、本結果は、インペラ・タービン・ステー タの任意の位置関係に対する平均速度場を与えており. 時間平均乱流モデルを用いたCFD結果を直接に検証す ることのできる測定結果を提供する.次のステップとして, 実際に定常CFD結果の流れとの比較により精度向上の 検討を実施する.

また、さらなるトーラス小型化においては、循環流速が 増加し細部の流れ場への影響が大きくなることから、非 定常特性の解析が重要となってくる. 今後はLES(Large Eddy Simulation)といった非定常CFDを直接検証する 手法を検討し、小型でかつ高い性能要求に対し、最適 な仕様提案につなげたい.

最後に本稿執筆にあたり、多大なる協力をいただいた 社内外の方々に,深く感謝の意を表す.

rotational speeds are higher. This result also agrees with the general knowledge of torque converters.

Figure 8 presents the results for a spatially reconstructed velocity field. On the left is the flow velocity distribution as seen from the front and on the right is the flow velocity distribution as seen from the side. In the flow velocity distribution as seen from the side, a periodic flow velocity distribution is formed corresponding to the difference in the number of blades (blade pitch) between 53 impeller blades and 43 turbine blades. In the flow velocity distribution as seen from the front, a comparison with the CAD view of the turbine in the figure confirms that the flow velocity distributions obtained follow the blade shapes.

Accordingly, it is concluded that both the phaseaveraged results and the spatially reconstructed results are reasonable.

4. Conclusion

The 3D flow fields of the elements inside a torque converter were visualized on the basis of dynamic stereo PIV measurements and spatial reconstructions of the flow fields. The measured results can be used for direct validation of CFD results obtained with a time-averaged turbulence model. That is done by giving the averaged velocity fields for arbitrary positional relationships of the impeller, turbine and stator. As the next step, improvement of accuracy will be examined by making a comparison with CFD results for actual steady-state flows.

Moreover, reducing the torus size further will increase the circulating flow velocity, which will have a greater influence on the detail flow fields, making the simulation of unsteady characteristics more important. In future work, we intend to investigate a method for directly validating unsteady CFD calculations such as large eddy simulations (LES) in order to propose the optimal specifications to meet demands for smaller and higher performance torque converters.

Finally, the author would like to thank everyone involved inside and outside the company for their invaluable cooperation.

5. 参考文献

1) 國嵜、谷口、小林、 トルクコンバータ内部の流れの可視化. 可視化情報, Vol.23, No.91 (2003) pp. 214-219. 2)神林、江尻、岡田、 自動車用トルクコンバータのステー タまわりの流れ計測 日本機械学会流体工学部門講演会 (2004) 3) 佐野, 岡田, 本田, 西野, トルクコンバータ内の非定常流動可視化計測. 可視化情報学会全国講演会,会津,2013. 4)佐野,川島,岡田,高橋, PIV及び立体視によるトルクコンバータ内の非定常流 動可視化、ジヤトコ・テクニカル・レビュー、2017. 5)PIVハンドブック, 可視化情報学会編, 第1章「PIVとは」、森北出版 (2002) 6) 西野. インデックスマッチングを利用した流れの可視 化実験、日本機械学会流体工学部門ニューズレター、 2006年9月号

Authors





Kazunori KAWASHIMA

Akihiko SANO

5. References

- (1) Yasunori Kunisaki, Nobuyuki Taniguchi and Toshio Kobayashi, "Visualization of Internal Flow Field of Torque Converter," Journal of the Visualization Society of Japan, Vol. 23, No. 91 (2003), pp. 214-219 (in Japanese).
- (2) Kiyokazu Kanbayashi, Eiji Ejiri, and Katsuhiko Okada, "Experimental Flow Analysis around the Stator of an Automotive Torque Converter," Proceedings of JSME Fluids Engineering Conference, (2004) (in Japanese).
- (3) Akihiko Sano, Katsuhiko Okada, Makoto Honda and Koichi Nishino, "Visualization and Measurement of Unsteady Flows in a Torque Converter," Proceedings of the National Conference of the Visualization Society of Japan, Aizu, 2013 (in Japanese).
- (4) Akihiko Sano, Kazunori Kawashima, Katsuhiko Okada and Yuji Takahashi, "Visualization of Unsteady Flows in a Torque Converter by PIV and Stereopsis," JATCO Technical Review, No. 16 (2017), pp. 57-64 (in Japanese).
- (5) PIV Handbook, Ed. The Visualization Society of Japan, Chapter 1 "What is PIV?", Tokyo: Morikita Publishing Co., Ltd., (2002) (in Japanese).
- (6) Koichi Nishino, "Flow Visualization Experiment using an Index-matching Technique," JSME Fluids Engineering Division Newsletter, September 2006 issue (in Japanese).



Katsuhiko OKADA



Yuji TAKAHASHI

トルクコンバータの単板ロックアップクラッチの動特性解析

Analysis of Dynamic Characteristics of a Single-plate Lock-up Clutch for a Torque Converter

川島 一訓*	岡田 克彦**	高野 亮*
Kazunori KAWASHIMA	Katsuhiko OKADA	Akira TAKANO

抄 録 車両の燃費性能向上のため、トルクコンバータ に組み込まれたロックアップ(以下LU)クラッチの作動応 答性の向上が望まれている. 一方その技術開発は, これ まで実験および経験的判断に頼られてきた.

本稿の取り組みでは, CFD (Computational Fluid Dynamics: 数値流体力学)を用いることで, LUの作動 応答性に関わるメカニズムを内部流れと関連付けて明ら かにしたので、詳細について紹介する.

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 化が求められている. トルクコンバータにおいては. すべ りによるエネルギー損失を抑えるため、入力と出力を機 械的に直結するLUクラッチが組み込まれている. 当社 では発進時からLUクラッチのすべり量を制御する発進ス リップロックアップ制御123の開発・適用を実現している が、適用域の拡大や車両の運転性を低下させずに燃費 向上効果を上げるためには、LUクラッチの制御性の一 層の改善が必要とされる.

トルクコンバータへの供給および排出油圧により制御さ れる単板LUにおいては、速度比上昇にともない作動応 答性が悪化することが経験的に分かっている. 実験では LU作動応答時のクラッチ周辺の流れや圧力の分布の 非定常な変化をとらえることは困難なため、詳細なメカニ ズムを示すには至っていない. 最近ではCFDの適用が 検討されており、LUクラッチにかかる推力が定常解析に よって計算されている4).また、供給および排出油圧の時 間変化を考慮した非定常解析が行われており、ドライブ 領域の速度比やインペラ回転数などのパラメータがLUク ラッチの応答性へ及ぼす影響が調べられている⁵⁾.

Summary In order to improve vehicle fuel economy, it is desirable to improve the response of the lock-up clutch incorporated in a torque converter. To date, R&D efforts toward that end have relied on experiments and empirical judgments. This article presents the details of an analysis in which computational fluid dynamics (CFD) software was used to make clear the mechanism involved in the response of the lock-up clutch in relation to the internal flow through the torque converter.

1. Introduction

Automatic transmissions are required to obtain higher efficiency in order to improve environmental friendliness and fuel economy. A torque converter incorporates a lockup clutch that mechanically connects the input and output shafts directly so as suppress energy losses due to slipping. At JATCO, we have developed and implemented a start-off slip lock-up control for controlling the amount of slipping of the lock-up clutch from the time of vehicle launch.⁽¹⁻ ³⁾ However, controllability of the lock-up clutch must be improved further in order to expand the region of lock-up operation and enhance the effect on improving fuel economy without causing any decline in vehicle driveability.

A single-plate lock-up clutch is controlled by the supply and discharge oil pressure of the torque converter. It is known empirically that the response of the clutch worsens as the speed ratio is increased. Because it is difficult to capture experimentally the unsteady changes in fluid flow and pressure around the lock-up clutch at the time of its response, the detailed mechanism involved has yet to be demonstrated. In recent years, the application of computational fluid dynamics (CFD) for this purpose has been investigated, and the thrust applied to the lock-up clutch has been calculated in a steady-state simulation.⁽⁴⁾



Fig. 1 Fluid flow in torque converter with lock-up clutch

本稿の取り組みでは、CFDを用いることで、単板LU クラッチ締結時の作動応答性を定量的に解析するととも に、作動応答性に関わるメカニズムを内部流れと関連づ けて明らかにした、具体的には、使用頻度が比較的高 いドライブ領域(速度比1.0未満)だけでなく、コースト領域 (速度比1.0超)も含めた総合的な作動応答性を評価し た. また作動応答実験との比較により解析の確からしさも 検証した.

2. 数值解析方法

2.1 LUクラッチの作動原理

Fig. 1にトルクコンバータ内の油の流れを示す. 図(a) は、ドライブ領域においてLUクラッチを解放した状態を示 している. タービン軸中心からリリース圧(以下PRe)で油 が供給され、LUクラッチとフロントカバー間の隙間を通り 抜けた後、トーラス(インペラ、タービン、ステータの羽根 車3要素で構成する回路)やワンウェイクラッチ、スラスト 軸受などの潤滑や冷却を行い、インペラシェルとステータ 軸の隙間の流路からアプライ圧(以下PAD)で排出される. この時、LUクラッチには図の左方向に推力が働き、LUク ラッチはタービン側に押し付けられた状態となっている.

図(a)の状態からPApを増加させ、PReを減少させていく と、締結に向けてLUクラッチが作動する、図(b)に示す ように、この過程でLUクラッチとフロントカバー間の隙間 を通り抜ける流れの方向は逆転し、LUクラッチにはタービ ンからフロントカバーへ向かう方向に働く推力が増加し, やがてクラッチのフェーシングがフロントカバー内面に接触 してLU締結動作が完了する.

** 未来技術センター Advanced Technology Development Department Future Technology Center

In addition, an unsteady simulation has been conducted that took into account time-related changes in the supply and discharge oil pressure. An investigation was made of the influence of the speed ratio, impeller speed and other parameters in the drive region on the responsiveness of the lock-up clutch.⁽⁵⁾

In the study presented here, CFD software was used to analyze quantitatively the response of a single-plate lock-up clutch at the time of engagement and also to make clear the relationship of the internal flow to the mechanism involved in the response. Specifically, the response of the lock-up clutch was evaluated comprehensively not only in the driving range used relatively frequently (speed ratio less than 1.0), but also in the coasting region (speed ratio exceeding 1.0). The validity of the simulation results was verified by making a comparison with the results of response time by experiments.

2. Numerical Simulation Method

2.1 Operating principle of the lock-up clutch

Figure 1 shows the fluid flow in a torque converter. The diagram in (a) shows the state with the lock-up clutch released in the driving region. Fluid supplied under release pressure $(P_{P_{e}})$ from the center of the turbine shaft flows through the clearance between the lock-up clutch and the front cover to cool and lubricate the torus (fluid coupling circuit formed by the three elements of the impeller, turbine and stator), one-way clutch, thrust bearings and other parts. It is then discharged under applied pressure (P_{Ap}) through the flow passage between the impeller shell and the stator shaft. At that time, thrust acts on the lock-up clutch from the left side in the figure, pressing the clutch toward the turbine.

Increasing P_{Ap} from the condition in diagram (a) and reducing P_{Re} causes the lock-up clutch to operate toward engagement. As shown in diagram (b), in this process the fluid flow in the clearance between the lock-up clutch and the front cover reverses direction, and thrust acting on the clutch increases to move it from the turbine toward the front cover. Eventually, the clutch facing comes in contact with the inner surface of the front cover to complete the engagement of the lock-up clutch.

^{*} 先行技術開発部

2.2 解析モデルと基本設定

Fig. 2に解析の対象としたトルクコンバータ実機の断面 図を示す. トーラス外径は \$250mm, LU クラッチの外径 はゆ260である. トーラス内を循環する流量は. LUクラッ チを通過する流量に比べて圧倒的に多いため, 循環流 がLUクラッチ周りの流れ場に対して影響を与える.しかし ながら、その影響はLUクラッチ外径部の圧力境界条件 のみで表せると考えられるため、LUクラッチの作動応答 性を解析するにあたり、Fig. 3のように解析領域をLUク ラッチの周辺に限定して計算格子を作成した.

CFD解析には、有限体積法による汎用熱流体解析ソ フトANSYS CFX (ANSYS, Inc., 2009)を用いた. 乱流 モデルとしてSST (Shear Stress Transport) モデルを使 用した.後述する非定常計算時に格子の変形が大きい フェーシング近傍に5面体プリズム格子を用い、それ以外 はすべて四面体要素で格子を生成した. 計算領域は周 方向に5°の広がりを持つ扇型(総格子数は約2.5×105) とし、両側面には周期対称の境界条件を、固体表面に はすべり無しの境界条件を設定した. 作動流体は80℃ のCVTFを想定し, 密度 p=808 kg/m³, 動粘度 v=10.8 $mm^2/sELtz$.

回転数は、タービン回転数N2(=LUクラッチ回転数)は 1200rpm一定とし、インペラ回転数N1(=フロントカバー回 転数)として、1500rpm、1200rpm、1000rpmの3条件を 設定した. これらはそれぞれ速度比e(=N₂/N₁)では, 0.8. 1.0, 1.2に対応する.



Fig. 2 Cross-sectional view of torque converter

2.2 Simulation model and basic definitions

Figure 2 shows a cross-sectional view of an actual torque converter that was the object of analysis in the simulation. The external diameter of the torus is 250 mm and that of the lock-up clutch is 260 mm. Because the amount of fluid circulating inside the torus is overwhelmingly larger than the amount passing through the lock-up clutch, the circulating flow influences the flow field around the clutch. However, it is assumed that the influence can be expressed just by the pressure boundary condition on the outer diameter of the lock-up clutch. Therefore, in analyzing the response of the lock-up clutch, the computational meshes were created by limiting the region of the analysis to the area around the clutch as shown in Fig. 3.

ANSYS CFX software (2009, ANSYS, Inc.), a generalpurpose thermal fluid analysis program based on the finite volume method, was used in conducting the CFD simulation. The shear stress transport (SST) model was used as the turbulence model. As will be explained later, in the unsteady flow calculations a five-face triangular prism elements was used near the clutch facing, where the mesh undergoes large deformation. Four-face tetrahedral elements were used to create the mesh for all other places. A fan-shaped region with an expansion of 5° in the circumferential direction was defined as the computational domain (total mesh number of approximately 2.5×10^5). A boundary condition with periodic symmetry was defined on both sides and a non-slip boundary condition was defined for the solid surface. The working fluid was assumed to be a CVT fluid with a temperature of 80°C, density $\rho = 808$ kg/m³ and kinematic viscosity $v = 10.8 \text{ mm}^2/\text{s}$.



Fig. 3 Computational meshes for flow around lock-up clutch



Fig. 4 Pressure time histories for different boundary conditions

圧力は、Fig. 3に示すP*(外径側)とP**(内径側)に 境界条件として与える. P*は実験で求めるのが困難であ るため、トーラス内の定常流れ計算によって求めたP*部 とPAp部の圧力差を入力条件のPApに加えることによって 求めた、P**はP**≅Preと考えられるため、Preを近似値と して用いた、各圧力の時間変化をFig. 4に示す、図中の ΔP は差圧(P_{Ap} - P_{Re})を表す.

2.3 非定常解析

LUクラッチの時々刻々の動きは非定常である。計算の フローチャートをFig. 5に示す. 非定常計算の時間刻み を∆tとする、本稿で用いた解析では、各時刻のLUクラッ チにかかる推力を定常CFDにより解析し、Δt における LUピストンの剛体運動を推力と慣性質量の関係から算 出した.

まずクラッチフェーシング表面とフロントカバー内側表面 間のクリアランスcの初期値co=1.4mm(=LUクラッチの切 れ代)のときの推力FT=0となる圧力P*, P**およびその 時刻toを求める. ある時刻tにおける圧力P*とP**の値を 与えて定常解析を行うと、LUクラッチの両面の圧力分 布が計算され, 推力(時刻tの初期はマイナス値, Fig. 3 で左向き)が求まる.従って、Fig. 4に示す時間経過に 沿った圧力P*とP**を境界条件として定常解析を繰り返 し行っていくことでなを求めることができる。次に、時刻 t1=t0+Δtにおける圧力P*, P**をFig. 4から読み取り, こ れを境界条件として定常解析を行い、推力F_T(Fig. 3 で右向きを正)を求める、同時刻なにおけるクリアランス $c_1=c_0+\Delta c$ は、LUクラッチの質量をm、速度をviとして、 $v_1 = F_T / m \cdot (\Delta t)$ より、近似的に式(1)を使って求められる。



Fig. 5 Flowchart for unsteady flow analysis

The turbine rotational speed N_2 (= lock-up clutch rotational speed) was kept constant at 1200 rpm while the impeller rotational speed N_1 (= front cover rotational speed) was varied among three speed levels of 1500 rpm, 1200 rpm and 1000 rpm. These rotational speeds corresponded to speed ratios e (= N_2/N_1) of 0.8, 1.0 and 1.2.

As shown in Fig. 3, pressures of P^* (outer diameter side) and P** (inner diameter side) were applied as boundary conditions. Because P^* was difficult to determine experimentally, it was determined by adding the pressure difference between the P^* section and the P_{Ap} section, which was found by calculating the steady flow in the torus, to the input condition P_{Ap} . An approximate value of P_{Re} was used for P^{**} because it was assumed that $P^{**} \cong P_{P_0}$. The temporal change in each pressure is shown in Fig. 4. The notation ΔP in the figure expresses the differential pressure $(P_{Ap} - P_{Re}).$

2.3 Unsteady flow analysis

The time-series movement of the lock-up clutch is unsteady. Figure 5 shows a flowchart of the calculation procedure used in the unsteady analysis. The time interval of the unsteady calculation was set at Δt . In the analysis presented here, the thrust applied to the lock-up clutch at each time point was found by a steady CFD flow analysis. The rigid body motion of the lock-up clutch piston at Δt was calculated from the relationship between thrust and inertial mass.

次の時刻 $t_2=t_0+2\Delta t$ におけるクリアランス $c_2=c_1+\Delta c$ は,同 様にして時刻t2における圧力P*, P**をFig. 4から読み取 り、これを境界条件として定常解析を行って推力Frを求 めた後、近似的に式(2)を使って求められる。

$$\Delta c = -\frac{1}{2} \cdot v_1 \cdot (\Delta t) = -\frac{1}{2} \cdot \frac{F_T}{m} \cdot (\Delta t)^2 \tag{1}$$

$$\Delta c = -\frac{1}{2} \cdot \frac{F_T}{m} \cdot (\Delta t)^2 - v_1 \cdot (\Delta t)$$
⁽²⁾

以降, 順次同様の手順で計算を繰り返し, 設定するク リアランスcが十分ゼロに近づいたところで計算を終了す る. 本計算では、LUクラッチの全体質量を2.45kgとした. 計算の安定化のためクーラン数が1以下となるように考慮 して、時間刻み∆*t*は2×10⁻⁵sとした.

3. 解析結果と実験結果の比較

速度比e=0.8. 1.0. 1.2における. 非定常解析によって 計算されたクリアランスcの時間履歴をFig. 6に示す.本 解析では、最小クリアランスc=0.2mmで計算を終了させ た. これはソルバーに組み込まれている機能である. 流 体中の剛体運動を織り込む6自由度ソルバーによるメッ シュの変形(スライディングメッシュ)に対応したもので、ク リアランスが小さくなるにつれて計算格子が軸方向に潰 れた形になり、収束性が悪化するためである.

Fig. 6より, 速度比eの増加に伴ってクラッチが動き始め る時刻が遅くなっており、LUクラッチの作動応答性が悪 化していくことがわかる. また. クラッチの軸方向に動く速 度についても速度比とともにわずかながら増加する傾向 が確認できる。





First, pressures P^* and P^{**} and the time t_0 at which thrust $F_{\rm T} = 0$ are found when clearance *c* between the clutch facing and the front cover inner surface has an initial value $c_0 = 1.4$ mm (end of clearance of the lock-up clutch). Values of pressures P^* and P^{**} at a certain time t are given and a steady flow analysis is conducted. The pressure distributions on both faces of the lock-up clutch are thus calculated to yield the thrust, which has a minus value at initial time ttoward the left side in Fig. 3. Consequently, t_0 can be found by repeating the steady flow analysis using pressures P^* and P^{**} as the boundary conditions following the time process shown in Fig. 4. Next, pressures P^* and P^{**} at time $t_1 = t_0 + t_0$ Δt are read from the data in Fig. 4. A steady flow analysis is then conducted using these values as the boundary conditions to find thrust $F_{\rm T}$ (positive value toward the right side of Fig. 3). The clearance $c_1 = c_0 + \Delta c$ at the same time t_1 can be calculated approximately with Eq. (1), where m is the lock-up clutch mass and v_1 is the speed, expressed as $v_1 = F_T / m (\Delta t)$. Next, the clearance $c_2 = c_1 + \Delta c$ at time $t_2 = c_1 + \Delta c$ $t_0 + 2\Delta t$ is calculated approximately with Eq. (2) after first finding thrust $F_{\rm T}$ in the same way by reading the pressures P^* and P^{**} at time t_2 from Fig. 4 and using these values as the boundary conditions in a steady flow analysis.

$$\Delta c = -\frac{1}{2} \cdot v_1 \cdot (\Delta t) = -\frac{1}{2} \cdot \frac{F_T}{m} \cdot (\Delta t)^2$$
(1)
$$\Delta c = -\frac{1}{2} \cdot \frac{F_T}{m} \cdot (\Delta t)^2 - v_1 \cdot (\Delta t)$$
(2)

Subsequently, the calculation is repeated in turn using the same procedure until the specified clearance c is sufficiently close to zero, at which point the calculation is concluded. The overall mass of the lock-up clutch was set at 2.45 kg in this calculation. To stabilize the calculation, the time interval Δt was defined as 2 x 10⁻⁵ s, considering that the Courant number would be less than 1.

3. Comparison of Calculated and Experimental Results

Figure 6 shows time histories of clearance c calculated in the unsteady flow analysis at speed ratios e = 0.8, 1.0 and 1.2. The calculation was concluded in this analysis when minimum clearance c = 0.2 mm. The reason for that was related to the inherent function of the solver and it corresponded to the deformation of the sliding mesh due to the six-degree-of-freedom solver for treating rigid body motion in a fluid. As the clearance became smaller, the computational mesh collapsed in the axial direction, thereby causing convergence to deteriorate.



Fig. 7 Configuration of clearance measurement apparatus

以上の結果の確からしさを検証するため、LUクラッチ の作動時間において,実験との比較を行った.作動時 間は、クリアランスc=1.4mmから0mm(接触)までに要す る時間と定義した. 計算はc=0.2mmまでのため、接触す る時刻はc=0.2mmにおける接線で直線外挿して求めた.

実機でのクリアランスを計測するための実験装置の概 略をFig. 7に示す. フロントカバーに同一半径上90°間隔 で取り付けた4本の非接触変位センサを用いて計測を 行った. この非接触変位センサによってLUクラッチ表面と カバー内面との隙間を計測し、この隙間からフェーシング の厚みを差し引いてクリアランスcの値とした.なお、4本 の非接触変位センサの出力はスリップリングによって外部 に取り出し,変換器で増幅の後,データロガーに記録した. これら4つのセンサ出力値を平均したものを最終的にクリ アランスcの実験値とした.

Fig. 8に実験値と計算値を重ね書きしたものを示す. 実験における回転数は、計算同様にタービン回転数N₂を 1200rpm一定としている.両者に定量的に差はあるものの 速度比上昇にともない作動時間が長くなるという定性的 な傾向は一致しており, 計測精度や計算における形状 再現の簡略化等を考慮すれば、計算の精度として十分 妥当な結果を与えていると考えらえる. 従って, 本解析 結果は確からしさを有していると判断し、以降、解析結 果における流れ場を基にLUクラッチの作動応答性に関 する考察を示す.

The results in Fig. 6 show that the clutch begins to move at a later time as the speed ratio e is increased, indicating that the response time of the lock-up clutch worsens. It is also seen that the speed of the clutch movement in the axial direction tends to increase, albeit slightly, along with the increase in the speed ratio.

In order to verify the validity of the foregoing results, a comparison was made with experimental data for the response time of the lock-up clutch. The response time was defined as the time needed for clearance c to change from 1.4 mm to 0 mm (= clutch contact). Because the calculation was made to c = 0.2 mm, the response time was found by linear extrapolation from a tangent drawn at c = 0.2 mm.

Figure 7 shows the configuration of the experimental apparatus used to measure the clearance in an actual torque converter. Clearance was measured with four noncontact sensors attached to the front cover at 90° intervals on the same radius. These noncontact sensors measured the clearance between the lock-up clutch surface and the inner surface of the front cover. The value of clearance c was obtained by subtracting the thickness of the clutch facing from the measured clearance. It will be noted that the output of the four sensors was extracted by means of a slip ring, amplified by a converter and then recorded by a data logger. The value obtained by averaging the output of the four sensors was taken as the final experimental value of clearance c.

Figure 8 compares the calculated and experimental time required for lock-up clutch response. In the experiment, the turbine rotational speed N_2 was kept constant at 1200 rpm, the same as in the calculation. Both sets of data show the same qualitative tendency that the response time increased with an increasing speed ratio, although there is



Fig. 8 Calculated and experimental time required for lockup clutch enagement



Fig. 9 Time histories of mass flow through the computational domain at e=0.8 and 1.2

4. 解析結果の考察

速度比e=0.8とe=1.2における、 圧力P*部を通過する 流量Q_mの時間履歴をFig. 9に示す. 流量Q_mの符号は, 外向きをマイナス,内向きをプラスとしている.速度比 e=0.8では、時刻t=1.0s付近でLUクラッチが動き始める が、時刻t=1.1s付近で流れの方向が外向きから内向きに 逆転している. また速度比e=1.2では, 時刻t=1.3s付近 でLUクラッチが動き始めるが、その時既に流れの方向が 内向きの状態になっている. 流れ場を通過する流量は速 度比の影響をあまり受けず、LUクラッチが移動開始する ときに不安定となるものの、時間に対してほぼ直線的に 変化することがわかる.

速度比e=0.8とe=1.2における,同時刻t=1.22sの等圧 線図をFig. 10に示す. この時刻において, e=0.8ではクリ アランスcはおよそ0.3mm, e=1.2ではc=1.4mmで左側壁 面に接触している。また、どちらの速度比においても流れ の方向は内向きとなっている. Fig. 10より, e=0.8のときの 方がe=1.2のときと比較してLUクラッチ外周付近の圧力 が若干高くなっている. これはLUクラッチの外周付近が トーラス外径部に連通しており、かつこの部分の圧力は インペラ回転数のほぼ二乗に比例するように変化するか らである. このことは, Fig. 4で同時刻におけるP*の大小 関係に対応している. Fig. 10において, いずれの速度比 においてもタービンとLUクラッチの間の領域には流体の 通り抜けはないので、この領域はタービン外径部付近を 除いてほぼ剛体として一定の回転数(1200rpm)で回転 する強制渦に近い状態にあると考えられる.

some quantitative difference between them. Considering the measurement accuracy, simplified shape reproduced in the calculation and other factors, the calculated results are presumed to be sufficiently accurate. Therefore, it is concluded that the analysis results are valid. The following section discusses the response of the lock-up clutch based on the flow field in the analysis results.

4. Observation of Analysis Results

Figure 9 shows time histories of the mass flow Om passing through the pressure P^* section at speed ratios e =0.8 and e = 1.2. The sign of the mass flow Q_m is negative in the outward direction and positive in the inward direction. At the speed ratio of e = 0.8, the lock-up clutch began to move in the vicinity of time t = 1.0 s and at time t = 1.1 s, the direction of the flow reversed from outward to inward. At the speed ratio of e = 1.2, the lock-up clutch began to move in the vicinity of t = 1.3 s and the direction of the flow was already inward at that time. The mass flow through the flow field was not influenced very much by the speed ratio, and it changed almost linearly in relation to time, although it showed some instability at the time the lock-up clutch began to move.

Figure 10 presents equipressure contours for the two speed ratios of e = 0.8 and e = 1.2 at time t = 1.22 s. At this time, clearance c was 0.3 mm at e = 0.8 and 1.4 mm at e= 1.2, indicating contact with the front cover wall on the left side. In addition, the flow direction was inward for both speed ratios. It is seen in the figure that the pressure near the outer perimeter of the lock-up clutch was slightly higher at e = 0.8 than at e = 1.2. That was because the vicinity of the outer periphery of the lock-up clutch is interconnected with the torus outer diameter and also because the pressure in that area changes almost in proportion to the square of the impeller rotational speed. The pressure there corresponded to the relationship with the magnitude of pressure P^* at the same time in Fig. 4. Because there was no through passage for the fluid in the region between the turbine and the lockup clutch, it is assumed that for both speed ratios this region in Fig. 10 resembled a state of a forced vortex rotating at a constant speed (1200 rpm) as a nearly rigid body, excluding the vicinity of the turbine outer diameter.

Here, we will consider a through flow with shear between the lock-up clutch and the front cover. In Fig. 10, pressure P^{**} at the exit on the inner diameter side was the same for both speed ratios. However, as mentioned



Fig. 10 Pressure contours for two speed ratios of e=0.8 and 1.2 at t=1.22 s

以下、LUクラッチとフロントカバー間のせん断がある通 り抜け流れについて考察する. Fig. 10において, 内径 側出口の圧力P**は二つの速度比で同一であるが、前 述のように外径側入口での圧力P*はe=0.8の時の方が大 きい.このことは、二つの速度比で通り抜け流れの流量 はほぼ同じであることから、e=0.8ではより大きな圧力損失 を必要とすることを意味する. このためクリアランスcが小 さくなりこの圧力損失をつくり出しているものと考えられる. 以上のことから、速度比が低いほどLUクラッチの応答性 がよいということがいえる.

5. 結論

トルクコンバータの単板LUクラッチ締結時の作動応答 特性について、設定された供給・排出油圧スケジュール に基づき、LUクラッチの慣性質量を考慮した非定常解 析を行った. その結果, 速度比上昇によってLUクラッチ の作動応答性が悪化するメカニズムを示すことができた。 また、LUクラッチの締結までの作動時間の実験値との比 較により. 非定常解析の確からしさを示した.

今後は本結果のメカニズムを元に、LUクラッチの作動 応答性の改善策につなげたい. またこれまで経験上分 かっている作動応答性に影響する因子として、 トルクコン バータ流体性能やタービンロー付け有無やハブタービン の連通孔がある. これらは、トーラス内部の流れ解析と の連成により検証を実施していきたい.

最後に本稿執筆にあたり、多大なる協力をいただいた 社内外の方々に、深く感謝の意を表す.

above, pressure P^* at the inlet on the outer diameter side was higher for e = 0.8 than for e = 1.2. This signifies that a larger pressure loss was necessary at e = 0.8 because the flow rate of the through flow was nearly the same for both speed ratios. Presumably, that pressure loss was produced by a smaller clearance c. Based on the foregoing results, it can be inferred that the smaller the speed ratio is, the better the lock-up clutch response is.

5. Conclusion

An unsteady flow analysis was conducted to investigate the response of a single-plate lock-up clutch for a torque converter. The analysis took into account the inertial mass of the lock-up clutch and was based on the schedule defined for the supply and discharge oil pressure of the torque converter. The results revealed the mechanism that worsens the response of the lock-up clutch due to a higher speed ratio. In addition, a comparison with the experimentally measured time until contact of the lock-up clutch confirmed the validity of the unsteady flow analysis.

In future work, we want to devise measures for improving the response of the lock-up clutch based on the mechanism revealed by the present results. From previous experience it is known that factors influencing the response of the lock-up clutch include the hydrodynamic performance of the torque converter, whether the turbine blades are brazed or not, and the connecting holes of the hub turbine. We want to validate these factors based on a coupled analysis of the flow in the torus as a whole torque converter system.

Finally, the author would like to thank everyone involved inside and outside the company for their invaluable cooperation.

6. 参考文献	6. References	Memo
 1)歳藤,尾崎,河口, 発進スリッブ制御および技術開発,ジヤトコ・テクニカル・ レビュー、2013. 2)安田, 齊藤, 荒木, トクコンバータ発進スリップ制御の小型車への適用, だいコ・テクニカル・レビュー、2016. 3)歳藤, 神谷, 3)西線, 石谷, 小しビュー、2017. 4)「白丁, 4) Analysis of flow in the lock-up clutch of an automotive torque converter, JSME International Journal, Series 3, Vo.149, No.1 (2006), pp.131-141. 5) 山口,田中, 3) 公元流体解析によるトルクコンバークロックアップ解 オ、ターボ機械, Vol. 43, No. 4(2015), pp.35-41. 	<list-item><list-item><list-item><list-item></list-item></list-item></list-item></list-item>	



Kazunori KAWASHIMA Katsuhiko OKADA

Akira TAKANO

バーチャルエンジンを使ったトランスミッションの運転性の検証が可能なVRSテストベンチの開発

Development of a Virtual Reality Simulator Test Bench Capable of Validating Transmission Driveability using a Virtual Engine

米倉	健志*	神代	洋記*	木村	悟*	遊作	次郎*
Kenji YONE	EKURA	Hiroki KUM	MASHIRO	Satoru KIN	MURA	Jiro YU	USAKU
	濱中 Tatsuaki HA	達明* MANAKA	田内 Tatsuo T	達夫* AUCHI	熊籔 Shinya KU	伸也* MAYABU	

抄録 近年のトランスミッション開発は、仕様検討や運 転性評価の実車実験工数が増加傾向にあり,実験工数 を低減することが大きな課題である.

そこで、品質を向上させながらも工数を低減するため、 トランスミッション以外を全てバーチャルで構成し、自動オ ペレーションと自動評価の機能を有したテストベンチを開 発した.

Summary In the process of developing a new transmission, the man-hours spent on specification studies and for conducting in-vehicle tests to evaluate driveability have tended to increase in recent years. Reducing testing man-hours has become a serious issue. Therefore, we developed a virtual reality simulator test bench consisting entirely of virtual elements except the transmission and incorporating functions for automatic operation and evaluation.

1. はじめに

現在の自動車は使用環境が複雑化しており. 実験の 工数が増加している. トランスミッション開発をスピードアッ プするためには、実験の効率化が必須である. 我々は、 自動運転・評価機能を有し車両性能を再現できるテス トベンチを開発し、車両での評価と同等のトランスミッショ ン評価ができる環境を構築した. そのための要件として. 以下4つを満たすようなテストベンチを目指した.

1) エンジントルクの再現

2) 車両挙動の再現

3) 再現したエンジントルクおよび路面からの反力をトラ ンスミッションへ反映

4)自動オペレート/自動評点システム

これらの要件とその達成手法.および開発したVRS (Virtual Real Simulator)テストベンチが有する機能に ついて説明する.

1. Introduction

The environments in which vehicles are driven are becoming more complex at present, which is increasing the man-hours needed for testing at the development stage. Improving testing efficiency is necessary for speeding up the development of new transmissions. We have developed a test bench incorporating functions for automatic operation and evaluation and have constructed a virtual reality environment for evaluating transmissions in the same way as in vehicle testing. This test bench was built with the aim of satisfying the following four requirements for accomplishing that.

1) To reproduce engine torque

2) To reproduce vehicle behavior

3) To reflect in the transmission the reproduced engine torque and the reaction force from the road surface

4) To construct automatic operation and automatic evaluation systems

The following sections explain these requirements and the methods adopted for accomplishing them as well as the functions incorporated in the test bench.

Development of a Virtual Reality Simulator Test Bench Capable of Validating Transmission Driveability using a Virtual Engine



Fig. 1 Configuration of the VRS test bench

2.システム概要

Fig. 1に本稿で報告するテストベンチの概略図を示す. 本テストベンチは、低慣性ダイナモモータ、ECU(Engine Control Unit) 付シミュレーションモデル (HILS: Hardware In the Loop Simulation), 自動オペレートシステム, 自動 評点システムで構成されている. このテストベンチに実機 のCVTおよびTCU(Transmission Control Unit)をセット する. モータはエンジントルクを再現する駆動側と, 走行 抵抗を再現する吸収側で計3台が存在する.

Fig. 1のHILS内に存在する各シミュレーションモデル は、I/O(Input Output)モデルを通じて信号を授受する形 となっている. エンジンモデルではエンジントルク. 車両挙 動モデルでは走行抵抗による反力や車両加速度を演算 している. 計算したトルクは, 駆動側および吸収側モータ へ指令値として出力される.

本テストベンチでは、自動オペレートシステムと自動評 点システムを組み込んでいる. 自動評点システムはJAES (Jatco Automatic Evaluation System)を採用した.

3.各要件達成手法

1章であげた1)~4)の要件を達成した手法について 説明する.

3.1 エンジントルク再現手法

モデル上の演算で、実エンジンのトルクをさまざまな使 用環境において、忠実に再現したい. そのために導入し たのが以下2点である.

* ジヤトコ エンジニアリング株式会社 エンジニアリング事業部 実験部 Experiment Department, Engineering Division, JATCO Engineering Ltd

2. System Overview

Figure 1 shows the configuration of the virtual reality simulator (VRS) test bench schematically. This test bench consists of a low-inertia dynamo motor, a simulation model equipped with an engine control unit (ECU) for conducting hardware-in-the-loop simulations (HILS), an automatic operation system and an automatic evaluation system. The CVT to be tested and the transmission control unit (TCU) are set up on the test bench. A total of three motors are used including one for reproducing engine torque on the drive side and two for reproducing running resistance on the absorption side.

The simulation models incorporated in HILS in Fig. 1 exchange signals with each other through the input/output (I/O) model. The engine model calculates the engine torque, and the vehicle behavior model calculates the reaction force induced by running resistance and the vehicle acceleration. The calculated torque values are output as command values to the drive side and absorption side motors.

This test bench incorporates an automatic operation system and an automatic evaluation system. The Jatco Automatic Evaluation System (JAES) was adopted as the automatic rating system.

3. Methods for Achieving Each Requirement

This section explains the methods adopted to accomplish the four requirements listed in Section 1.

3.1 Method for reproducing engine torque

The engine torque calculated by the model must faithfully reproduce the actual engine torque in a wide variety of driving environments. The following two procedures were adopted to accomplish that.

3.1.1 Control using an actual ECU

Because it is difficult at present to reproduce the operation of an ECU in real time with a model, an actual ECU is used. The model must reproduce the signals needed by the ECU for the latter to operate properly. For signals that are difficult to reproduce, the actual components are mounted in the interface (I/F) Box. Among the various devices needed for proper operation of the ECU, Table 1 lists the principal sensors and actuators, which are mounted in the I/F Box.

Table 1 Model reproduction for using the ECU, and sensor and actuator systems using actual components

	Model reproduction	Actual components used
Sensors	Crankshaft rotation sensor, camshaft rotation sensor, accelerator pedal position sensor, A/F ratio sensor, O_2 sensor, airflow sensor, intake air temperature sensor, intake manifold pressure sensor	Throttle position sensor
Actuators	Valve timing control	Injector, spark plugs, electronic throttle, solenoid for valve timing control

3.1.1 実物のECUを利用した制御

現在はモデル上でECUの動作をリアルタイムで再現さ せることが困難なため、実物のECUを使用した. ECUを 正常動作させるために、ECUが必要とする信号をモデル で再現し、再現が難しいものは実物をI/F(Interface) Box に搭載した. Table 1に、ECUの正常動作に必要なセンサ・ アクチュエータ系の中で,主要なものを示す.これらはI/F Boxに実装されている. Fig. 2にECU-I/F Box-HILS間の つながりと、エンジントルクを算出するフィードバックループ を示す. ECU-I/F Box-HILS間において. 指令値に対す るアクチュエータの作動量から. モデルが算出した模擬 センサ値をフィードバックすることで, Fig. 2のようなECUに よる制御ループを作り出している、これにより、ECUから正 常な制御信号を出力させることが可能になった.

3.1.2 エンジンプラントモデルによるトルク再現

エンジンプラントモデルに要求されるのは、トルク精度お よびECUと同期するためのリアルタイム動作である. 両 方を満たすために、本テストベンチでは、平均値モデル1) で吸入空気量を計算した、この方法ならば、1サイクル毎 の吸入空気量がわかるため、 そこから出力トルクを計算 している. また, 吸入空気量と燃料噴射信号から, 空燃 比を計算することが可能になった.

以上のようなモデルとI/F Box, ECUを用いてフィード バックループを作成することにより, 要件1)を満たすトルク 再現環境を構築できた.

3.2 車両挙動再現手法

要件2)の車両挙動再現では、以下3点について考慮 することが必要となる.

3.2.1 ホイール反力再現

ホイールからの反力は、ホイールが路面から受ける走 行抵抗をトルク換算することで演算している. この際, 路

Figure 2 shows the connections between the ECU, I/F Box and HILS and the feedback loop for calculating the engine torque. In the control loop formed by the ECU, I/F Box and HILS, based on the amount of work done by the actuators in response to the command values, the engine model calculates and feeds back simulated sensor values to the ECU. This loop enables the ECU to output proper control signals.

3.1.2 Torque reproduction using an engine plant model

The engine plant model requires torque accuracy and real-time operation for synchronization with the ECU. In order to satisfy both of these requirements, the test bench uses an average-value model(1) to calculate the intake air volume. With this method, the intake air volume is known for every cycle, so the output torque can be calculated on that basis. In addition, the air/fuel ratio can also be calculated based on the calculated intake air volume and the fuel injection signal.

As explained here, a torque reproduction environment was constructed for satisfying requirement 1) by forming a feedback loop using the engine plant model, I/F Box and ECU.

3.2 Method of reproducing vehicle behavior

The following three points must be taken into account in order to reproduce vehicle behavior and satisfy requirement 2).

3.2.1 Reproduction of wheel reaction force

The reaction force from the wheels is calculated by converting the running resistance imparted to the wheels from the road surface to an equivalent torque value. This calculation of the running resistance imparted from the road surface takes into account the influence of the road grade, road surface friction coefficient and tire rolling resistance.

3.2.2 Reproduction of a continuously changing driving environment

Because the road surface friction coefficient and road grade in the real world are not constant but are always changing, running resistance also continuously changes in the same manner. For the test bench described here, a model

面から受ける走行抵抗は勾配・路面摩擦係数・転がり 抵抗の影響を考慮している.

3.2.2 連続的に変化可能な走行環境再現

路面摩擦係数や勾配は,現実では一定ではなく連続 的に変化しているため、走行抵抗も同様に連続的に変 化する. 本稿のテストベンチにおいても, 現実と同様に路 面摩擦係数と勾配は、任意のタイミングで任意の値に変 更できて走行抵抗が変化するモデルを作成した.

3.2.3 車両加速度再現

実車での運転性能評価は、ドライバーが実際に感じる 加速感やショック. 振動を感覚的に数値に置き換えて評 価していた. しかし, 本稿のようなテストベンチではひとが 乗って評価できないため、車両の前後加速度を演算し、 評価指標とした. トランスミッション評価では、車両の前後 方向の加速度で充分評価できるためである.

3.3 再現したエンジントルクおよび路面からの反力を トランスミッションへ反映

指示トルクの反映、およびHILSに対するモータ回転計 の応答速度は速くなければならない. 仮に応答速度が遅 いと、トルク演算時にモータ回転の現状とモデル内への モータ回転計返り値が乖離して、うまくフィードバックルー プが回らず、演算トルクが大きく変動したり、巨大な値に なってしまうからである.

本稿で報告する設備では、トルク指示に対する各トル ク計及び回転計の応答時間は、正常に稼働することが できる時間内で収まっている。また、本稿の設備制御では、 エンジンやホイールが持つイナーシャを考慮することによ り、慣性補償を施したトルクを演算している.



Fig. 2 Feedback loop between the ECU, I/F Box, and HILS

was created for varying the running resistance by randomly changing the road surface friction coefficient and road grade to arbitrary values similar to changes occurring in the real world.

3.2.3 Reproduction of vehicle acceleration

In evaluating transmission driveability in vehicle testing, the test driver intuitively converts the acceleration feeling, shift shocks and vibrations actually felt into numerical values for making an evaluation. However, with the test bench described here, test engineers cannot actually ride on the bench to evaluate a transmission. Therefore, vehicle longitudinal acceleration is calculated as an evaluation index. This index was selected because a transmission can be sufficiently evaluated on the basis of acceleration in the vehicle's longitudinal direction.

3.3 Reflection in the transmission of the reproduced engine torque and reaction force from the road surface

The reflection of the torque command in the transmission and the response speed of the motor tachometers to HILS must be fast. The reason is that if the response speed is slow, the actual motor speed at the time of the torque calculation and the motor speed returned from the tachometers to the model would diverge. Because that would prevent proper feedback, the calculated torque would fluctuate greatly or the value would become extremely large.

With the test bench described here, the response time of each torque meter and tachometer to the torque command is kept within the time that allows proper operation. In addition, the test bench control system calculates torque that includes compensation for inertia by taking into account the inertia of the engine and wheels.

The use of these methods and the test bench equipment makes it possible to reproduce the same behavior as an actual vehicle with respect to the measured torque, engine speed and also the vehicle speed calculated by the model.

3.4 Automatic operation/evaluation systems

With regard to requirement 4), testing efficiency was enhanced by automating the operation of the test bench and by automatically reading the measured and calculated results into an automatic evaluation system.

3.4.1 Automatic operation system

The automatic operation system generates driving patterns by specifying the timing, amount of change and holding time for the operation of the accelerator, brake pedal and gear shift lever. All that is needed is to simply register



Fig. 3 Graphs of standing start acceleration at full throttle (VRS and real vehicle)

これらの手法・設備機器を用いることで、計測トルク・ 回転やモデルでの車速計算でも,実車と同等の挙動が 再現できた.

3.4 自動オペレート/自動評価システム

要件4)ではテストベンチを自動オペレート化し、その計 測・演算結果を自動評点システムに読み込ませることで, 実験の効率化を図った.

3.4.1 自動オペレートシステム

自動オペレートシステムは、走行パターンをアクセル・ブ レーキ・レンジのタイミング・変化量・保持時間を指定す ることによって実現している. 走行パターンの登録さえして おけば、後はプログラムを実行するだけであるため、大量 の走行パターンを人手をかけることなく実施することができ る. なおかつ, 自動オペレートシステムでは操作にばらつ きがなく、高い再現精度で走行パターンを実施できる。

3.4.2 自動評点システム

JAESでは加速度センサ値や演算した加速度, トルク から評点を計算し、運転手の感覚に近い評価を行うこと ができる. その他に、油圧やトルクから実機の制御状態 や機械油圧システムが、正常に稼働しているかどうかを 監視することもできる. なお、 JAESは実車およびテストベ ンチでの実験両方において、リアルタイム評価ができるシ ステムとなっている. また. 評価に必要な計測信号が揃っ ていれば、計測データをJAESに代入することで、実験終 the driving patterns. After that the program is executed automatically, so a large number of driving patterns can be executed without requiring much manpower. Moreover, the automatic operation system can execute driving patterns with high reproducibility because driving operations are performed uniformly without any variation.

3.4.2 Automatic evaluation system

JAES calculates evaluation scores based on acceleration sensor values and the computed acceleration and torque, making it possible to perform evaluations close to the perception of human drivers. In addition, JAES can also monitor the control state of the transmission under test and whether the mechanical and hydraulic systems are operating properly based on the pressure and torque values. It will be noted that JAES can perform real-time evaluations for both driving tests and experiments conducted with the test bench. If the measured signals needed for an evaluation are all available, the evaluation score can be calculated following the conclusion of a test by inputting the measured data into JAES.

The automatic operation/evaluation systems made it possible to construct a test bench capable of automatically executing driving patterns and evaluating transmission driveability.

4. Vehicle Performance Reproduction and Confirmation of Automation

Figure 3 shows the data measured with the VRS test bench and the data measured in a vehicle driving test. The results indicate that the test bench reproduced the



Fig. 4 Full-throttle standing start acceleration data obtained with the test bench at an elevation of 3.000 m

了後に評点を演算させることも可能である.

これらのシステムにより、自動オペレートと自動評価が 可能なテストベンチを構築することができた.

4. 車両性能再現および自動化達成確認

Fig. 3に、今回構築したテストベンチで計測したデータ と、実車実験で測定したデータを示す.構築したVRSテ ストベンチが、実車と同等の挙動を再現できていることが わかる.また.グラフ中には実際の運転性評価点を示し ている. JAESの評点が人の感覚とほぼ一致していること がわかる.

Fig. 4では、標高3000mでのフルスロットル発進加速を再 現したデータを示す. Fig. 4中の点線は標高0m設定のデー タである. 標高3000mでの加速度は, 標高0mのデータより も低くなっている.標高が高い場合は気圧が低いため,吸 入空気量が減少し、エンジントルクも減少する. その結果と して、車両の加速度が低下することを再現できている.

Fig. 5では、路面摩擦係数が瞬間的に変化した場合 を再現したデータを示す. 凍結路のような路面上・車速 40km/h・アクセル踏込量0から、フルスロットルまで踏み 込んだ後に通常の摩擦係数を持つ路面に侵入した場合 を再現している. スロットルを開けた直後は低摩擦路面 なので、エンジン回転は上昇するもののスリップし、ほとん ど加速しない. 高摩擦路面に侵入した瞬間に加速度が 跳ね上がり、エンジン回転が一旦下がってスリップ状態か ら復帰している.

Fig. 5 Vehicle behavior reproduced with the test bench when entering a high-friction road surface from a low-friction road surface.

same behavior as that of the actual vehicle. The graphs also indicate the actual driveability evaluation scores. The evaluation score obtained with JAES nearly coincides with the perception of the human test driver.

Figure 4 presents data that reproduce full-throttle standing-start acceleration at an elevation of 3,000 m. The dotted lines in the graph are the data for an elevation of 0 m. It is seen that vehicle acceleration at an elevation of 3,000 m is lower than that for an elevation of 0 m. Because the atmospheric pressure is lower at higher elevations, the intake air volume decreases, resulting in less engine torque. The resultant decline in vehicle acceleration is reproduced in the test bench data.

Figure 5 presents data that reproduce a case in which the road surface friction coefficient changes instantaneously. The data reproduce a situation where a vehicle is traveling on an icy road surface at a speed of 40 km/h with no accelerator pedal depression; following full throttle acceleration, the vehicle enters a road surface having an ordinary friction coefficient. Because the vehicle is on a low-friction road surface right after the throttle is fully opened, the engine speed increases, but slipping occurs and there is almost no vehicle acceleration. The instant the vehicle enters a high-friction road surface, acceleration rises suddenly and the engine speed falls momentarily, so the vehicle recovers from the slipping condition.

The foregoing results confirmed that the VRS test bench has been built to satisfy all the requirements 1)-4) mentioned earlier.

In addition, the number of days needed for testing has been reduced to one-fifth of the previous time by incorporating the automatic operation system and JAES into the test bench.

以上の点から, 要件1)~4)を満たすVRSテストベンチ を構築できていることを確認できた.

また,自動オペレートシステムとJAESを組み込むことで, 実験に必要な日数を5分の1まで低減することができた.

5. まとめ

本件では低慣性ダイナモモータとECU付シミュレーショ ンモデルを用いて,自動運転・評価機能を有し車両性能 を再現できるテストベンチを開発することができた.

今後の展望として、以下のシステム開発が挙げられる. ・今回開発したVRSテストベンチに, TCUの制御パラ メータの最適点を自動的に決定できる自動適合システム を追加したい.

・エンジンができていない開発初期でも、要求スペックを 再現して使用できる汎用的なエンジンモデルを作成したい.

本設備を構築する際にご協力いただいた社内外関係 者の方々へ感謝の意を表す.

6. 参考文献

1) 申鉄龍, 大畠明:自動車エンジンのモデリングと制御, pp.40-45, コロナ社(2011年).

5. Conclusion

In this project, a low-inertia dynamo motor and a simulation model with an attached ECU were used to develop a test bench that can reproduce vehicle performance and incorporates functions for automatic operation and evaluation.

The following are examples of systems that are envisioned for development in future work.

• To the newly developed VRS test bench, we want to add an automatic calibration system that can automatically determine the optimal points of the control parameters of the TCU.

• We want to create a general-purpose engine model that can be used to reproduce the required transmission specifications even at an early stage of the development process when the engine has not been built yet.

The authors would like to thank everyone concerned within and outside the company for their invaluable cooperation for the development of the VRS test bench.

6. References

1) Shen Tielong and Akira Ohata, Modeling and Control Design for Automotive Engines, Corona Company, pp. 40-45, 2011.



Kenji YONEKURA



Hiroki KUMASHIRO



Tatsuaki HAMANAKA



Authors

Tatsuo TAUCHI

Satoru KIMURA



Jiro YUUSAKU



Shinya KUMAYABU



Memo

Development of a Virtual Reality Simulator Test Bench Capable of Validating Transmission Driveability using a Virtual Engine

ホブ加工におけるワークと工具との関係が歯車精度に及ぼす影響解析

Analysis of the effect on gear accuracy of workpiece/tool positioning accuracy in the hobbing process

松尾 浩司*	鈴木	義友**	藤木	賢一***
Kouji MATSUO	Yoshitomo	SUZUKI	Kenichi F	FUJIKI

抄録 自動車用歯車の製造工程において「ホブ ⇒ 熱処理 ⇒ ギヤホーニング」を実現する初工程であるホ ブ工程では、ワークと工具との位置関係が、ワークの歯 車精度に及ぼす影響を把握することが重要となる.

そこで、本報では、ワークの組付け精度を含めたホブ 加工の歯車精度を解析できるホブ加工シミュレーションを 考案し,加工実験で検証した結果,その有効性を確認 できたので報告する.

Summary A hobbing process is the first operation of an automotive gear manufacturing process consisting of hobbing, heat treatment and gear honing. It is essential to know the effect on gear workpiece accuracy of the positional relationship between the workpiece and the tool in the hobbing process. For that purpose, a hobbing simulation was developed for analyzing gear accuracy in the hobbing process, including the effect of workpiece mounting accuracy. This article describes the hobbing simulation and presents the results of hobbing experiments that verify its validity and effectiveness.

1.はじめに

自動車変速機用歯車には、低騒音な歯車を低コスト で実現することが求められている.この要求に応えるため. ジヤトコでは、ギヤノイズの発生源対策として、熱処理後 の仕上げ工法であるギヤホーニングを採用してきた. 従 来. 「ホブ ⇒ ギヤシェービング ⇒ 熱処理 ⇒ ギヤホーニ ング」の製造工程が一般的であったが、最近では、製造 コストを低減することを目的に、ギヤシェービングを廃止し た「ホブ ⇒ 熱処理 ⇒ ギヤホーニング」の製造工程(以 下. ホブ+ホーニング工法と呼ぶ)を一部採用している. しかし, ホブ+ホーニング工法では, (1) ギヤホーニング の歯面取代が増加すること、(2)ギヤホーニングは歯車 研削と比べて強制力が高くないためにホブ加工のピッチ 誤差が除去されにくい傾向がある. 言い換えると、ホブ 加工には、加工精度向上が必須の要件となる.

そこで、本研究では、ホブ加工精度向上の第一歩とし て、ホブ加工シミュレーションを考案し、精度向上の一助 としたので報告する.

1. Introduction

Low-noise gears that can be manufactured at low cost are needed for use in automotive transmissions. In response to this need, JATCO adopted a gear honing process as the finishing method following heat treatment as a measure for addressing the sources of gear noise. Gears have generally been manufactured in a series of processes consisting of hobbing, gear shaving, heat treatment and gear honing. However, for the purpose of reducing manufacturing costs, some manufacturers have eliminated gear shaving in recent years, resulting in just the processes of hobbing, heat treatment and gear honing. This simplified method is referred to here as hobbing plus honing. However, this hobbing plus honing method has certain tendencies. (1) The amount of stock removed from the tooth surface by gear honing increases. (2) Because gear honing applies less cutting force than gear grinding, it is more difficult to eliminate the pitch error that occurs in the hobbing process. In other words, improving the machining accuracy of the hobbing process is an essential requirement for the hobbing plus honing method.

developed in this study as a first step toward improving hobbing accuracy.

** 技術統括部

Engineering Management Department

This article describes a hobbing simulation that we

2. ホブ加工シミュレーション

2.1 ホブ加工シミュレーションの概要

ホブ加工シミュレーションは古くから研究1)-7)されている が、いずれも工具の取り付け誤差・ホブ盤自体の回転誤 差,工具製作誤差に着目しており、ワークの取り付け誤 差は含まれていない. 一方, 近年では,

- (1)工具(ホブ)の製作精度向上
- (2)テーブルマスタウォームギヤの廃止によるダイレクトド ライブ化

の2点により、ワークと工具との位置関係が歯車精度に 及ぼす影響が大きくなっている.

以上のことから、量産加工を鑑み、ワーク取り付け誤差 も考慮したホブ加工シミュレーションを考案した. 本シミュ レーションで考慮できる要因系の因子をFig.1に示す.

Workpiece	Run-out/		Outer dia. run-out
	Alignment error		End face run-out
Hob	Run-out/	Anatoria	Right end run-out
	Alignment error	- wanter	Left end run-out
Hobbing	Motion control	Workpiece	Feedrate/Feed direction
Machine			Crowning motion
		Bottom	Hob shift

Fig. 1 Factors considered in hobbing simulation

結果系の因子としては、ホブ工程の要求精度を明確 にするため、Fig. 2に示すとおり、歯形、歯筋形状に加え て、ピッチ誤差、歯溝の振れをも取り上げ解析した.

2.2 シミュレーション手順

以下にシミュレーションの手順を示す.

- (1)ホブ諸元から、各切刃のインボリュートヘリコイド座 標点を求め, 仮想ホブを算出する(Fig. 3).
- (2) 仮想ホブに、ホブ加工条件(ワーク、ホブ諸元、セッ ト角, 中心間距離, 送り量)にて定まる創成運動の 座標変換を行う、次に、ワーク外径振れ/端面振れ/ 外径振れと端面振れの位相差.およびホブ右端振



Fig. 3 Virtual hob

2. Hobbing Simulation

2.1 Simulation overview

Methods of simulating the hobbing process have been studied for many years.⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾ All of them, however, focused on tool mounting error, rotational error of the hobbing machine itself, or tool manufacturing error, but workpiece mounting error was not examined. In recent years, tool (hob) manufacturing accuracy has been improved and directdrive hobbing machines have been created by eliminating the master worm gears of the table. As a result of these two factors, the positional relationship between the workpiece and the tool now has a greater effect on gear accuracy.

In view of this situation, we developed a hobbing simulation based on actual production machining and also taking into account workpiece mounting error. The factors that can be considered with this simulation are shown in Fig. 1.

Figure 2 shows the results-based factors that were simulated in order to make clear the accuracy required in the hobbing process. In addition to the tooth profile and tooth-trace geometry, the pitch error and tooth space runout were also selected for analysis in the simulation.

Workpiece	Gear accuracy	All teeth	Pitch error
	a nor be a new p	AAAA FA	Tooth thickness
	2		Tooth space run-out
	21+++- 21+++	\square	Tooth root fillet profile
			FA:Top / Middle / Bottom
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		FFA: Top / Middle / Bottom
		TTT	FH: Root / Middle / Tip
	********		FQA: Root / Middle / Tip

Fig. 2 Results considered in hobbing simulation

2.2 Simulation procedure

The procedure of the hobbing simulation is explained here.

(1) The involute helicoid coordinate points of each cutting blade are determined from the hob specifications and a virtual hob is calculated (Fig. 3).

(2) The coordinates of the shape generating motions determined by the hobbing conditions (workpiece and hob specifications, hob setting angle, center distance and feedrate) are converted to the virtual hob. Next, coordinate conversion is performed taking into account workpiece outer diameter run-out, workpiece end face run-out and their phase difference as well as left end and right end runout of the hob and their phase difference.

^{*} 部品システム開発部 *** 部品技術部 Hardware System Development Department Parts Process Engineering Department

れ/左端振れ/右端振れと左端振れ位相差を加味し た座標変換を行う

- (3) 仮想ワークの任意断面を通過する全ての切刃座標 点群とその包絡を数値解析で求め、 ワーク全周の 歯形輪郭座標を算出する.
- (4)全周歯形輪郭座標から全歯の法線誤差(FA. FFA, FH, FQA)およびピッチ誤差・歯溝の振れ・ 歯厚を算出する.

なお、上記(3)で全周の歯形を算出することで、歯底フィ レット形状の解析まで可能とした. Fig. 4に(2)~(4)の解 析イメージを示す.



Fig. 4 Simulation procedure

3. 実加工実験によるシミュレーション妥当性検証

考案したシミュレーションの妥当性を検証するために、 ホブ加工実験を行った.対象のワークは当社の中型車 向けCVTユニット(Jatco CVT8) 用の1次減速ギヤとし た.対象ワークの歯車諸元をTable 1に示し、ホブ諸元を Table 2に示す.

1	ab	le	I	Gear	speci	ticat	tion
---	----	----	---	------	-------	-------	------

cifications Table 2 Hob specifications

Module	mm	1.95	Module	mm	1.95
Pressure angle	deg.	17.2	Pressure angle	deg.	17.2
Helix angle	deg.	30.5(LH)	Number of gashes		16
Number of teeth	-	52	Number of starts	-	3(LH)
Tip diameter	mm	123.5	Tip diameter	mm	80
Root diameter	mm	112.038	Total length	mm	180
Face width	mm	28.7			

本考案のシミュレーションの妥当性を確認するため,工 具回転数(rpm),送り量(mm/rev.),ワーク振れ(µm), ホブカッタ振れ(µm)の4種類の要因の組み合わせを変 更して行った6種類の実験一覧表を、Table3に示す.

実験1は、ワーク振れとホブ振れを抑え、工具送り量は 1.5mm/revとし、実験2は工具送り量を0.5mm/revとした 条件,実験3はワーク外径振れ50µmを与えた条件,実 験4はワーク外径振れ100µmを与えた条件,実験5はワー ク端面振れ50µmを与えた条件,実験6はワーク端面100 umを与えた条件とした.

(3) The coordinate point group and envelope of all the cutting blades passing through an arbitrary cross section of the virtual workpiece are found by numerical analysis, and the tooth shape profile coordinates around the entire circumference of the workpiece are calculated.

(4) The normal error (FA, FFA, FH and FQA) of all the teeth and the pitch error, tooth space run-out and tooth thickness are calculated from the tooth shape profile coordinates around the entire circumference.

It will be noted that calculating the tooth profile around the entire circumference in step (3) above makes it possible to simulate as far as the tooth root fillet shape. Conceptual representations of steps (2) to (4) are shown in Fig. 4.

3. Validation of Hobbing Simulation based on Actual Hobbing Experiments

Hobbing experiments were conducted to verify the validity of the hobbing simulation. The target gear used in the experiments was the primary reduction gear of the JATCO CVT8, which is used on midsize vehicles. The gear specifications are listed in Table 1 and the hob specifications in Table 2.

Six types of experiments were conducted using different combinations of four factors in order to verify the validity of the hobbing simulation. The factors examined were the hob rotational speed (rpm), feedrate (mm/rev), workpiece run-out (μm) and hob cutter run-out (μm) as shown in Table 3.

Table 3 Experimental conditions

Evn	Speed	Feed	Workpiec	e run-out	Hob 1	run-out
Елр.	m/min.	mm/rev	Outer (µm)	Face (µm)	Left (µm)	Right (µm)
1	150	1.5 Climb	0 target	0 target	10-20	10-20
2	↑	0.5 Climb	↑	↑	↑	↑
3	↑	1.5 Climb	50 target	↑	↑	\uparrow
4	↑		100 target	↑	↑	↑
5	L ↑	^	0 target	50 target	↑	↑
6	↑	↑	0 target	100 target	↑	\uparrow

In experiment 1, the hob feedrate was set at 1.5 mm/ rev while controlling workpiece run-out and hob run-out. The condition given in experiment 2 was a hob feedrate of 0.5 mm/rev. The condition given in experiment 3 was workpiece outer diameter run-out of 50 μ m and that in experiment 4 was workpiece outer diameter run-out of 100 μ m. The condition given in experiment 5 was workpiece end face run-out of 50 μ m and that in experiment 6 was workpiece end face run-out of 100 μ m.

Based on the results measured in experiments 1-6, the following seven parameters were selected as ones deemed important for securing the required gear accuracy after the

以上の実験1~6の実験結果から、ホブ加工後の歯車 要求精度のうち(1)歯形形状、(2)歯筋形状、(3)累積ピッ チ誤差,(4)歯溝の振れ,(5)周期誤差,(6)歯形誤差 FFA-平均(全歯). (7) 歯筋誤差FH-bias (全歯) につい て、実測データと本シミュレーション結果との比較を行い、 その妥当性の検証を行った.

3.1 歯形形状の比較

ホブ加工精度である歯形形状のシミュレーション結果 と実測結果の一例をFig. 5に示す. 左側が実験1, 右側 は実験4の歯形形状を示す.上段が右歯面,下段が左 歯面を示し、青線(上)の形状が実測形状、橙線(下)の 形状がシミュレーションで求めた形状である.

本結果から,実測とシミュレーションの形状はよく一致 していることが確認できた.



Fig. 5 Comparison of tooth profiles

3.2 歯筋形状の比較

歯筋形状の比較結果の一例をFig. 6示す.比較デー タの並びは歯形形状データと同じである。歯筋形状でも、 歯筋うねりの数やその形状は実測とシミュレーションとがよ く一致していることが確認できた.

本結果から、歯面形状(歯形・歯筋誤差)は、実測と シミュレーションはよく一致していることが確認できた.

3.3 歯車精度の検証結果

歯形・歯筋形状はよく一致することを確認できたので、 歯車の累積ピッチ誤差、歯溝の振れ、17次成分(ワーク歯 数÷ホブ条数)の周期誤差について、シミュレーション結果 とTable 3の実測値との比較した結果をFig. 7~9に示す.

本結果からも、加工された歯車の累積ピッチ誤差、歯 溝の振れ、および周期誤差においても、実測値は本シミュ レーション結果とよく一致することが確認でき、 シミュレー ションの妥当性を検証できた.

hobbing process: (1) tooth profiles, (2) tooth trace geometries, (3) cumulative pitch error, (4) tooth space run-out, (5) periodic error, (6) average tooth shape error FFA of all teeth and (7) tooth trace error FH-bias of all teeth. The measured data and the simulated results for these seven parameters were then compared to verify the validity of the hobbing simulation.

3.1 Comparison of tooth profiles

Figure 5 compares the simulated and measured results for tooth profiles, which are representative of hobbing accuracy. The left-hand graphs show the tooth profiles for experiment 1 and the right-hand graphs the tooth profiles for experiment 4. The upper graphs are for the right tooth flank and the lower graphs are for the left tooth flank. The upper blue lines are the measured tooth profiles and the lower orange lines are the simulated tooth profiles. The results confirmed that the measured and simulated tooth profiles agreed well.

3.2 Comparison of tooth traces

An example of a comparison of the measured and simulated tooth traces is presented in Fig. 6. The data for comparison are arranged in the same way as the tooth profile data. It was found that the measured and simulated tooth traces also agreed well in terms of the number of undulations and their shapes.

These results confirmed that the measured and simulated tooth surface shapes showed good agreement with regard to tooth profile and tooth trace error.

3.3 Gear accuracy verification results

Having confirmed that the measured and simulated tooth profiles and tooth traces agreed well, the simulated and measured values for gear cumulative pitch error, tooth space run-out and periodic error (17th order component = number of workpiece teeth divided by the number of hob starts) were then compared. The simulated results for these three parameters are compared with the measured values in Table 3 in Figs. 7 to 9, respectively.



Fig. 6 Comparison of tooth traces

4. ホブ工程の工程管理値

ホブ+ホーニング工法におけるホブ工程の管理項目を, 考案した解析シミュレーションを用いて検討した.検討項目 としては、(1)ワーク外径振れ、(2)ワーク端面振れ、(3)ホ ブ右端,左端振れ、(4)ホブシフトの影響についてシミュレー ション解析を行った.

その結果、ワーク外径振れは、特に累積ピッチ誤差に与 える影響が大きくなる(Fig. 10).



Fig. 10 Effect of workpiece outer diameter run-out

また、工具の位置精度は、歯形、歯筋のうねりへの影響 が大きく、加えて累積ピッチ誤差に周期的な誤差を与える 影響が大きいことがわかった.一方,ホブの振れは特にホ ブ振れ量が小さい場合に、累積ピッチ誤差や周期誤差へ の影響が大きいことがわかった(Fig. 11).



Fig. 11 Effect of hob run-out (initial phase of left end and right end hob run-out $= 0^{\circ}$ and 180° , respectively)

このようにワークと工具との位置関係から、ワークの歯車 精度の影響を定量的に明らかにすることが可能となり、ホ ブ工程における重要な管理項目とその管理値を要求目標 に合わせて設定することができるようになった.





Fig. 9 Periodic error

These results confirmed that the measured and simulated values also agreed well for the cumulative pitch error, tooth space run-out and periodic error of the machined gears, thereby verifying the validity of the hobbing simulation.

4. Process Control Values for the Hobbing Process

The hobbing simulation was then used to investigate the control factors of the hobbing process in the hobbing plus honing method. Simulations were conducted to analyze the effects of the following factors: (1) workpiece outer diameter run-out, (2) workpiece end face run-out, (3) hob left end and right end run-out, and (4) hob shift.

The results revealed that workpiece outer diameter runout has an especially large effect on cumulative pitch error (Fig. 10).

In addition, tool positioning accuracy has a large effect on the tooth profile and tooth trace undulations and it also has a marked effect on imparting periodic error to cumulative pitch error. On the other hand, the results showed that hob run-out has a large effect on cumulative pitch error and on periodic error, especially when the amount of hob run-out is small (Fig. 11).

As these results have indicated, it is now possible to show quantitatively the effect of the workpiece on gear accuracy based on the positional relationship between the workpiece and the tool. The hobbing simulation can be used to identify important control factors of the hobbing process and to define control values matching the required accuracy targets.

5. まとめ

(1)本研究にて、ホブ工程におけるワークの累積ピッチ誤 差や歯溝の振れを含めた歯車精度に及ぼす影響を解析 できるホブ加工シミュレーションを考案した.

(2)その妥当性を加工実験にて検証した.

(3)さらに、本シミュレーションを活用し、ホブ工程における ワーク振れとホブ振れなどの重要な管理項目とその管理値 を決定する手順を明らかにした.

最後に本稿執筆にあたり,多大なる協力をいただいた 社内外の方々に,深く感謝の意を表す.

なお、本論文はThe JSME International Conference on Motion and Power Transmissions, MPT 2017 - Kyoto で著者らが発表した論文(Analysis of the effect on gear accuracy of workpiece/tool positioning accuracy in the hobbing process)を要約したものである.

6. 参考文献 / References

(1)Ariura, Y., Chiu, H., Umezaki, Y., Improvement of Gear Accuracy in Gear Hobbing 1st Report, Transactions of the JSME (in Japanese), Vol. 52, No. 480, C (1986), pp. 2160-2166. (2)Umezaki, Y., Ariura, Y., Chiu, H., Improvement of Gear Accuracy in Gear Hobbing 2nd Report, Transactions of the JSME (in Japanese), Vol. 52, No. 480, C (1986), pp. 2167-2173. (3)Chiu, H., Ariura, Y., Umezaki, Y., Improvement of Gear Accuracy in Gear Hobbing 3rd Report, Transactions of the JSME (in Japanese), Vol. 53, No. 493, C (1987), pp. 1996-1999. (4)Chiu, H., Umezaki, Y., Ariura, Y., Improvement of Gear Accuracy in Gear Hobbing 4th Report, Transactions of the JSME (in Japanese), Vol. 54, No. 503, C(1988), pp. 1525-1529. (5)Chiu, H., Umezaki, Y., Ariura, Y., Improvement of Gear Accuracy in Gear Hobbing 5th Report, Transactions of the JSME (in Japanese), Vol. 55, No. 509, C (1989), pp. 162-165. (6) Chiu, H., Ariura, Y., Ueno, K., Ozaki, H., Sato, E., Improvement of Gear Accuracy in Gear Hobbing 6th Report, Transactions of the JSME (in Japanese), Vol. 58, No. 545, C (1992), pp. 258-262. (7)Gravel, G., Simulation of Deviations in Hobbing and Generation Grinding, VDI-Berichte 2199.1 (2013), pp. 367-378.

Authors



Kouji MATSUO

Yoshitomo SUZUKI

5. Conclusion

(1) In this study, a hobbing simulation was developed for analyzing the effect of workpiece/tool positioning accuracy in the hobbing process on gear accuracy, including workpiece cumulative pitch error and tooth space run-out.

(2) The validity of the hobbing simulation was verified on the basis of actual hobbing experiments.

(3) In addition, the hobbing simulation was used to clarify a procedure for determining important control factors in the hobbing process, such as workpiece run-out and hob run-out, along with their control values.

Finally, the author would like to thank everyone involved inside and outside the company for their invaluable cooperation.

It will be noted that this article is a summarized version of a paper entitled "Analysis of the effect on gear accuracy of workpiece/tool positioning accuracy in the hobbing process," which was presented at The JSME International Conference on Motion and Power Transmissions, MPT 2017-Kyoto.





Kenichi FUJIKI

CVTケース鋳造設備における省エネルギー化への取り組み

Energy-saving Efforts for CVT Case Die Casting Machines

近藤 崇夫**

Takao KONDO

太田 博人* Hirohito OHTA

抄 録 近年,ジヤトコが保有するCVTケース生産用の 鋳造設備が設備更新のタイミングを迎えており、ここにあ わせて新技術への取り組みを進めている.

本稿では、大型ダイカストマシンの省エネルギー化へ の取り組み事例を紹介するとともに、ジャトコの考える将 来の鋳造工場のあり方について考察する。

1. 大型ダイカストマシンの技術開発の動向

ジヤトコで生産するCVTに使用されるトランスミッション ケースは、型締め力2000トン超級の大型ダイカストマシン で生産される.

この大型ダイカストマシン業界の技術動向として、各 ユーザーの古いマシンの更新ニーズに対して、高機能、 高付加価値製品に適した,設備の高性能化(射出速度 の向上等)が各社にて進められている.

2. 省エネルギー化への取り組み

このような社会環境の中、ジヤトコではCVTケース部 品に要求される薄肉,複雑形状等の高度な部品スペッ クに対する技術対応を進めながら、並行して、当社の環 境方針である「環境とクルマが共生できる社会の実現」 を実践できる生産工場を目指した新技術への取り組みを 進めてきた.

すなわち,我々の考える将来の鋳造工場のあるべき姿 としては、高品質・高機能なCVTケースを、安全・環境 に配慮して生産していくことであり、その実現には、省エ ネ. 省スペース性能に優れた設備の開発が必要である. (Fig. 1)

そして、その課題解決のキーポイントが電動化である。

** ジヤトコメキシコ社 エンジニアリング部

Engineering Department, JATCO Mexico, S.A. de C.V.

* 素形材工場

Casting & Forging Plant

Summary In recent years, the time came for us to update the die casting machines JATCO uses to produce CVT cases. Toward that end, we have been proceeding with the development of new technologies.

This article presents examples of efforts made to promote energy savings for large sized die casting machines and describes the desired form of the casting plant JATCO envisions for the future.

1. Technology Development Trends for Large sized Die **Casting Machines**

The cases for JATCO CVTs are produced using large sized die casting machines having a die rock force over 2000-ton class. One technological trend in the large sized die casting machine industry is that manufacturers are enhancing the performance of their equipment such as by increasing the injection speed. Machines suitable for products with advanced functions and higher added value are being provided to meet user needs for updating their old machines.

2. Efforts for Energy Savings

Amid today's social environment, JATCO has been promoting technical measures for meeting the advanced specifications required of CVT case parts, including downgauging and complex shapes among other aspects. JATCO has also been working in parallel on developing new technologies intended for manufacturing plants that can achieve the company's environmental policy of "creating a society enabling the symbiosis of vehicles and the environment."

In short, the desired casting plant we envision for the future is one where high-quality, high-performance CVT cases can be produced in consideration of safety and the environment. To accomplish that, it is necessary to develop casting machines with outstanding energy- and spacesaving performance (Fig. 1).



Fig. 1 Desired casting plant JATCO envisions for the future

具体的には、設備の電動化を推進し、既存の油圧技 術を電動化へ置き換える、または電気と油圧ハイブリット 化するような技術の活用が. あるべき姿を実現するため に不可欠な取り組みであると考え,開発を進めてきた.

これに対して、近年、各種工作機械における高効率 な電動化機器(モーター、ボールねじ等)の開発、採用 が進み、大型ダイカストマシンの使用にも耐えうるサイズ の機器が普及してきた. ここに設備更新のタイミングが重 なったことで,既存設備改造の枠を超えた設備仕様の 見直しが可能になり、電動化の推進を大幅に前進させる ことができた。

取り組みを紹介する前に、ダイカストマシンの電動化と、 火災・環境事故対策ならびに省エネルギーの関連性に ついて説明する.

2.1 油圧系統のシンプル化による火災・環境対策

従来のダイカストマシンのおもな駆動動力は油圧に 頼っており、当社で使用するクラスの大型機では2000L を超える多量の作動油を設備内部で使用している.

これに対してアルミダイカストの現場における最大の安 全上のリスクのひとつは火災である. ダイカストは高温の 溶融金属(溶湯)を常時取り扱う工程であり、この溶湯(火 種)と、多量の作動油(可燃物)の接触は、大規模火災 に直結するリスクがある.

従って, 作動油には安全性の観点から, 水・グリコー ル系の難燃性油脂を選定している.しかしながら.作動 油に於ける安全性と漏洩時の環境に与える影響度は. 一般的にトレードオフの関係にあり、その両立は難しいこ とが知られている.

Electrification is a key technology for resolving this issue. Specifically, we have been promoting electrification of casting machines, the substitution of electric casting machines for existing hydraulic ones and effective use of hybrid electric-hydraulic technologies. Such efforts are indispensable to the attainment of the desired form of casting and we have been pursuing the development of these machines.

In this regard, machine parts with highly efficient electric equipment such as motors and ball screws have been developed and adopted in recent years. Such equipment of a size capable of being used for large sized die casting machines has been spreading. This development has coincided with the timing for updating our casting machines and has enabled a review of equipment specifications going beyond the framework of merely rebuilding existing machines. This situation has greatly advanced the promotion of electrification.

Before describing the present project, we will explain how the electrification of die casting machines is related to measures for preventing fire and environmental incidents and promoting energy savings.

2.1 Prevention of fire/environmental incidents by simplifying hydraulic systems

Conventional die casting machines have relied on hydraulic pressure as the major source of their motive power. Our large die casting machines internally use large quantities of working fluid exceeding 2000L.

In this respect, one of the largest risks to safety in aluminum die casting workplaces is fire. Die casting is a process in which high-temperature molten metal (melt) is constantly handled. Contact between the melt (sparks) and the large quantity of flammable working fluid poses a direct risk of a large-scale fire.

Therefore, from the standpoint of safety regarding the working fluid, we selected a water-glycol fire-resistant hydraulic fluid as the working fluid. However, there is generally a trade-off between the safety of a hydraulic fluid and the degree of impact on the environment in the event of leakage. It is well known that this trade-off is difficult to resolve.

For that reason, we reasoned that an effective measure for reducing both the risk of fire and environmental incidents would be to develop a casting machine that would lower the risk of leakage by decreasing the number of hydraulic devices. We then set about to develop such a machine.

このため、火災・環境事故の両方の発生リスクを削減 する対策として、油圧機器類を減らし、漏洩リスクを削減 する設備開発が有用であると考え、その取り組みを進め てきた.

2.2 電動化の推進による省エネルギー化

油圧に代わる駆動動力源として, 電動化がもっとも有 効な方策であることは前述した通りである. 特にジヤトコ の生産部品であるCVTケースへの適用を考えた場合. 電動化によるエネルギー削減の狙いは次の2点である.

①アイドル電力の削減

ダイカストマシンのシステムの一部を電動化することに よって,待機時間(アイドル時)の無駄なポンプ,モーター を止めることで省エネルギー化を図るものである. CVT ケースのような大型のダイカスト品の場合、鋳造サイクル タイムが比較的長く、かつ、ロボット等の付帯システムの 動作時間が長い.

したがって、鋳造サイクル中でもダイカストマシンは待機 している時間の割合が高いので、特に有効である。

②電気→油圧の動力変換ロスの削減

従来のダイカストマシンは, 電気の力をモーターで油圧 に変換し,発生させた油圧で設備や金型を動かすシス テムである.このため電動化によって動力変換をなくす(減 らす)ことで、省エネルギー化させることが期待できる。特 にCVTケース生産においては金型のサイズ・重量が大 きいために、型締め・型開き動作での必要動力が大きく、 この部分の電動化,直動化が最も効果的であると考えた. (Fig. 2)

以上の考察から、型締め系統の電動化(油圧→電気 への置き換え)と、それに伴う油圧システムのシンプル化 をターゲットとした新しいダイカストマシンの導入を進める こととした.

2.3 導入効果

当社では昨年度までに新システムのダイカストマシンの 導入を完了し、実際にCVTケース生産に供することで従 来機との比較を行った.

まず,今回見直しを行った中子・型締め機構における 油圧系統のシンプル化の効果をFig. 3に示す.

2.2 Energy savings by promoting electrification

As noted above, electrification by substituting sources of electric motive power for hydraulic pressure is the most effective approach. Considering application to the production of cases for JATCO transmissions in particular, the following two aspects are concrete aims for reducing energy consumption through electrification.

(1) Reduction of idle electric power

Electrifying some elements of die casting machine systems would promote energy savings because unnecessary pumps and motors could be turned off during waiting (idle) time. For large die cast parts like CVT cases, the casting cycle time is relatively long, and also as is the operating time of auxiliary systems such as robots. Accordingly, the proportion of the casting cycle when the die casting machines are idle (waiting) is long, so electrification would be especially effective for conserving energy.

(2) Reduction of energy loss due to conversion of electricity to hydraulic pressure

Conventional die casting machines convert electric energy to hydraulic pressure by means of a motor. The resulting hydraulic pressure is then used to operate the machine and die. Consequently, energy savings could be expected from electrification because it would eliminate or reduce the need for this power conversion. The dies used in CVT case production in particular are big and heavy, so large power is needed to close and open them. Electrification and direct drive would be most effective for obtaining energy savings (Fig. 2).

Based on the foregoing thinking, we set about to implement new die casting machines targeted at electrification of the die locking system by switching from



Fig. 2 Electrification of die casting machine



Fig. 3 Reduction of constituent elements of hydraulic system

油圧系統における構成要素数は、従来仕様機に対し て▲50%のシンプル化を達成することができた.

次に実生産における消費電力量の比較を行った.同 機種金型での1ヶ月間の生産における実際の電力消費を 測定した結果、型締め機構の電動化を導入することで、 Fig. 4に示すように従来仕様に対して月間で▲70%もの 大幅な省電力化を達成することができた.

この結果はCVTケースのような大型ダイカスト部品に 対する電動化のアプローチの正当性を示すものである.

3. 今後の課題

ここまでに詳述してきたダイカストマシンの電動化の残 された課題のひとつが設備の設置スペースである. 電動 化に伴うモーター類の設置スペースを確保するため、マ シン全長が従来仕様に対してわずかに拡大してしまった. そこで、現在ジャトコでは、この課題にも対応するため に、近年普及してきた2プレート式のダイカストマシンをは じめとした新技術の着手している.





hydraulic pressure to electricity and at simplification of the hydraulic system as a result.

2.3 Implementation results

We finished implementing the new die casting machine system at JATCO in the previous fiscal year. A comparison was made with the existing system by actually using the new system for CVT case production.

First, Fig. 3 shows the result obtained by simplifying the hydraulic system of the core and die locking mechanism that was revised in this project. This simplification reduced the number of constituent elements of the hydraulic system by 50% compared with the existing specification.

A comparison was also made of electric power consumption in actual case production. The amount of electric power actually consumed in one month for producing cases using the same type of die was markedly reduced by 70% compared with the existing specification, as shown in Fig. 4, by electrifying the die locking mechanism.

These results confirm the validity of our electrification approach for large die cast parts like CVT cases.

3. Future Issue

Besides the electrification of die casting machines as described above, another remaining issue of the machines is the floor space needed for installation. Because of electrification, space must be secured for installing the electric motors used. Consequently, the overall length of the casting machine increases slightly over that of the existing machine specification. To deal with this issue, at JATCO we have started to develop new technologies such as two-plate die casting machines that have become more common in recent years.

4. まとめ

本稿では、CVTケース鋳造用大型ダイカストマシンの 電動化による設備の省エネルギー化ならびに安全性向 上,環境負荷低減に向けた取り組みを報告した.

ジヤトコではこれらの取り組みを,長年,CVTケースの 生産を行ってきた設備ユーザーとしての知見をもとに最 適条件を見極め、大幅な改善効果をあげることができた.

今後は,残された省スペースに対する課題解決を進め, 将来の鋳造工場のあるべき姿に向けた取り組みを追求し ていきたい.

最後に、本設備の立ち上げにあたり、多大なご協力を いただいた社内外の諸氏に対して、感謝の意を表す.

4. Conclusion

This article has described the efforts made to promote electrification of large sized die casting machines used to produce CVT cases for the purpose of obtaining energy savings, improving safety and reducing the environmental impact.

Based on our knowledge gained as a user of such machines for many years to produce CVT cases, these efforts were successful in identifying the optimal casting conditions, which were effective in achieving major improvements.

In future work, we want to pursue activities toward the ideal casting plant of the future by resolving the remaining issue of the machine installation space needed.

Finally, the authors would like to thank everyone involved inside and outside the company for their tremendous cooperation concerning the launching of the improved casting machine system.

Authors



Hirohito OHTA





箱物フレキシブル加エラインの立ち上げ

Flexible Case Machining Line

岩崎 剛己*	中村 重敏*	是枝 隆浩*	佐藤 博**
Gouki IWASAKI	Shigetoshi NAKAMURA	Takahiro KOREEDA	Hiroshi SATOU

抄録 新規ユニットの立ち上げ、増産対応等で工場 内に面積の確保が必要となった際には、現有の少量ライ ンを撤去し、少量生産部品を外注加工に移管すること が多かった. その結果、追加の加工費用が発生した. この費用発生を低減するため、多種多様な部品を1つの 生産ラインでフレキシブルに加工可能とする箱物フレキシ ブルラインの開発を行った.

本稿では、多種多様な部品をフレキシブルに加工する ために、マシニングセンタ・洗浄機・真空乾燥機・リーク テスターでの技術開発事例を紹介する.

1. はじめに

ユニットがモデル末期になると生産台数が減少する. 一般に, 生産ラインは, 量産時に生産効率が最良となる ようなライン構成になっている. そのため, 少量生産になっ た場合は、生産効率が著しく悪化する、その結果、現有 ラインを少量生産にマッチさせるには、大規模な改造費 用が必要となる.

そこで、いくつもある少量生産になったFig. 1に示す 多種多様な部品(小型エクステンション、中型ハウジング、 大型ハウジング)を1つのラインに集約したフレキシブルな 加工ラインが必要となる.

このフレキシブルラインで多種多様な部品の生産を行 うため、遊休機のマシニングセンタを改造、洗浄機・真 空乾燥機・リークテスターを新設しフレキシブルラインを 立ち上げた(Fig. 2). 以下その技術を説明する.

* ジヤトコ エンジニアリング株式会社 プロダクション事業部 製造部

Manufacturing Department, Production Division, JATCO Engineering Ltd

Summary Existing small-lot production lines were previously dismantled when it was necessary to secure space at a plant for launching production of a new transmission or increasing the production volume. The machining of parts produced in small quantities was then often outsourced, which resulted in additional machining costs.

In order to reduce the occurrence of such costs, a flexible case machining line was developed for flexibly machining multiple varieties of parts on one production line.

This article presents examples of the technical features that were developed for the machining centers, washer, vacuum dryer and leak tester for flexibly machining a wide variety of parts on this line.

1. Introduction

Production volumes decrease toward the end of the model life of a transmission. In general, production lines are configured so as to achieve optimum efficiency during mass production operations. For that reason, production efficiency drops drastically under a condition of small-lot production. Adapting existing production lines to smalllot production involves substantial costs for large-scale modifications.

Therefore, a flexible machining line is needed that can handle small-lot production of multiple varieties of parts when it becomes necessary. The operations should be concentrated on a single line as shown in the example in Fig. 1 for a small extension, a medium-sized housing and a large housing.

We launched a flexible line for producing various types of parts by rebuilding idle machining centers and newly installing a washer, a vacuum dryer and a leak tester (Fig. 2). The following sections explain the technical features incorporated in this flexible line.

Small extension

Fig. 1 Concept of flexible case machining line

2. マシニングセンタ

マシニングセンタは、多種多様な部品を加工するため に、設備への部品の取り付け・取り外し、部品の取り付 け精度の確保などが必要となる. そのため, 油・空圧に よる自動クランプ装置,部品の位置決め・検出装置など を有する大型治具を採用していた.

少量多品種生産では、部品の取り付け・取り外し 時間よりも、多数回の段取りを行い、段取り後の部品の精 度を確保する事が重要である.

そこで、治具構成をFig. 3に示すように固定治具・交 換治具との構成にし, 交換治具を品種毎製作することで 多種多様な部品対応を可能とした.また、固定治具・交 換治具の治具構成を実現するために以下の4つの技術 を取り入れた.



Fig. 3 Configuration of machining center and jigs

①高精度なロケートピンの選定

交換治具を交換する際. 固定治具と交換治具との温 度差を考慮する必要がある. 固定治具に対する交換治 具の位置精度を高精度にするために、その間をつなぐロ ケートピンは、円錐形状で断面が丸型の主ロケート(丸ロ ケートピン)と、位置決め精度は確保しつつ、固定治具と 交換治具の温度変化による熱膨張等を吸収するために,

** FR A/T工場

FR A/T Manufacturing Plant



Fig. 2 Configuration of flexible line

2. Machining Centers

In order to produce multiple varieties of parts on machining centers, it is necessary to mount parts on the machine and later remove them and to ensure that parts are mounted accurately, among other tasks. For that reason, large jigs have been adopted that are equipped with automatic clamping devices actuated by hydraulic/air pressure and with devices for detecting/positioning parts, among other functions.

In small-lot, large-variety production, parts are set up multiple times and the task of ensuring the positioning accuracy of parts following each set-up is more important than the time spent mounting and removing parts.

Therefore, the jigs selected for the flexible line consist of both fixed and exchangeable ones as shown in Fig. 3. Various types of parts can be produced on the machining centers by manufacturing an exchangeable jig for each part variety. The following four technical approaches were adopted to facilitate a jig lineup consisting of fixed and exchangeable jigs.

(1) Selection of high-accuracy locating pins

The temperature difference between fixed jigs and exchangeable jigs must be taken into account when changing the latter jigs. Two types of locating pins are used between an exchangeable jig and a fixed jig in order to position the former with high accuracy in relation to the latter (Fig. 4). The master type is a round locating pin that has a cone shape with a round cross section (round Locating pin). The slave locating pin has a cone shape with a diamond shape cut out (diamond Locating pin). It serves to absorb thermal expansion due to the temperature difference between the fixed and

Flexible Case Machining Line



Fig. 4 Structure of fixed and changeable jigs

円錐形状をひし形に切り欠いた従ロケート(ダイヤロケート ピン)で位置決めをした(Fig. 4).

②ロケートピンの保護

①のロケートピンのみでは、治具取付け・取外しの際 に損傷や摩耗により、再現性の悪化が考えられる.

そこでFig. 5に示すように、 ラフガイドを装備し①のロ ケートピンの損傷・摩耗を防ぎ再現性の悪化を防止した.



Fig. 5 Structure of rough guide

③治具の軽量化

少量多品種生産では、段取り時間短縮が重要であり量 産時の治具重量に比べ1/3に出来た事例をFig. 6に示す.

この改良治具は、クランプ方法を油圧式クランプから 手締め式クランプに変更すると共に、交換治具の本体の 軽量化を徹底的に追求した. ④高精度なクランプ

手締め式クランプには、カム方式、トグル方式などさま ざまな方式があるが、部品の変形などを防止するために は、クランプ力の制御が必要となる.

今回は、松葉方式によるクランプを採用し、さらにトルク レンチを用いて締付トルクを一定にすることによって,通 常の松葉クランプ式に対してクランプ精度を格段に向上 することができた(Fig. 7).

exchangeable jigs while ensuring positioning accuracy. (2) Protection of locating pins

With only the locating pins mentioned in (1) above, they might be damaged or wear when the jigs are mounted and removed, which could worsen their reproducibility. Therefore, as shown in Fig. 5, the locating pins were fitted with a rough guide to prevent damage and wear and thereby avoid any decline in reproducibility. (3) Reduction of jig weight

It is important to reduce the set-up time in small-lot, large-variety production. Figure 6 shows an example of a jig the weight of which was reduced to one-third that of the one used in mass production. The clamping method of this improved jig was changed from a hydraulic clamp to a manual tightening clamp, and thorough efforts were made to reduce the weight of the exchangeable jig proper. (4) High-accuracy clamps

There are various kinds of manual tightening clamps, including cam and toggle types. The clamping force must be controlled so as not to deform or damage the part being clamped.

Ring clamps were adopted for the flexible line. In addition, the tightening torque is kept constant by using a torque wrench. This has dramatically improved clamping accuracy compared with that of an ordinary ring clamp (Fig. 7).

3. Washer

The dedicated washer used in mass production has fixed nozzles, so the positions of the nozzles must be adjusted every time parts are set up. Therefore, a machining-type washer like that shown in Fig. 8 was adopted that allows washing to be adjusted to match the part shape. The following technical features were incorporated in the washe (1) Highly versatile nozzles

Three types of nozzles (universal, downward and plane),



Fig. 6 Location of change from hydraulic clamp to manual tightening clamp



Fig. 7 Structure of ring clamp

3. 洗浄機

量産の専用洗浄機では、ノズルが固定式になっており、 部品段取りごとにノズル位置調整が必要となる.

そこで、Fig. 8に示すような部品形状に合わせた洗浄 が可能な、マシニング型の洗浄機を導入した.また、導入 するにあたり、以下に示す技術を盛り込んだ. ①汎用性の高いノズル

万能ノズル・下向きノズル・平面ノズルの3種類のノズ ルとマシニング型洗浄機のNC機構との組み合わせによ り、多品種多様な部品のさまざまな方向に洗浄をできるよ うにした. (Fig. 9).



Fig. 9 Three types of nozzles

②洗浄機の脱着パレットによる部品対応 多品種少量生産を効率よく行うには部品の脱着を容 易に行う必要がある.

そこでFig. 10に示すような部品形状に合わせた脱着 パレットを製作することで多品種対応可能とした.

the machining-type washer and a numerical control (NC) system are combined to facilitate the washing of multiple varieties of parts from various directions (Fig. 9).

Plane nozzles: for washing parts overall

Downward nozzles: for washing holes

Universal nozzles: for washing holes and surfaces from various directions

(2) Removable washer pallets for accommodating different parts

It must be possible to mount and remove parts easily in order to mass-produce small lots of multiple varieties of parts efficiently. To do that, removable pallets matching the shapes of various parts are manufactured as shown in Fig. 10, making it possible to accommodate multiple varieties of parts.



Fig. 8 Washer

4. Vacuum Dryer

A vacuum dryer well-suited to the flexible machining line was installed instead of the previous air blower type of dryer. One feature of this vacuum dryer is that it can accommodate various part shapes. Another feature is that vacuum drying eliminates any residual washing fluid, so the accuracy of leakage detection in the leak test process that follows the washing operation is not affected (Fig. 11).

5. Leak Tester

With the leak tester used in mass production, a sealing jig is positioned on the equipment. When parts are changed, set-up time is required to replace the sealing jig or a largescale device is needed to facilitate automatic jig exchange and set-up.

A new type of leak tester (Fig. 12) was installed that is suitable for the flexible machining line. A distinct feature of



Fig. 10 Removable pallet

4. 真空乾燥機

従来のエアーブロー方式の乾燥機からフレキシブル加 エラインに適した真空乾燥機を導入した. なお. この真 空乾燥機は、様々な部品形状に対応でき、かつ、 真空に することで洗浄液残りが無くなる等の洗浄工程の後工程 であるリークテストの漏れ検出精度に悪影響を与えない 特徴を有している.(Fig. 11)



Fig. 11 Vacuum dryer



量産のリークテスタでは、設備側にシール治具を保持し ており、部品変更の際は、段取り時間をかけて、このシー ル治具を交換するか、または、自動交換(段取り)のため の大掛かりな装置が必要であった.

今回は、フレキシブル加工ラインに対応するため、新型 のリークテスタを導入した(Fig. 12). このリークテスタの特 徴は、部品形状に合わせて柔軟に対応できることである.

Fig. 13に示すように、部品側にシール治具を取り付け、 シール治具付きの部品を設備に取り付けた後、シール治 具駆動用および漏れ検出用のエア配管をつなぎこむ構 造とした. それぞれの部品形状に対応したシール治具を 製作することで多品種対応可能とした.

this leak tester is that it can flexibly accommodate different part shapes.

As shown in Fig. 13, the sealing jig is installed on the part to be tested. The part with the sealing jig is then mounted on the equipment, and the pipes for supplying air to drive the sealing jig and for leak detection are connected. This structure can accommodate multiple varieties of parts by manufacturing a sealing jig corresponding to the shape of each part.



Fig. 12 Leak tester

6. Conclusion

The machining centers, washer, vacuum dryer and leak tester embodying the various new technical features explained above were incorporated into a line facilitating flexible production of various varieties of parts. The line is currently being used for small-lot, large-variety production.

As a result, this line reduced capital investment by 30% and shortened production preparation time by 50%.

Facilities optimally suited to small-lot, large-variety production were achieved in this project as a result of thoroughly and carefully examining existing technologies.

In the future, we intend to pursue the manufacturing of even better products by thoroughly investigating technologies without being satisfied with the current status.



Fig. 13 Structure of leak tester jig

6. まとめ

以上の新技術を取り込んで、多種多様な部品のフレキ シブル生産を可能にするマシニングセンタ・洗浄機・真 空乾燥機・リークテスタをライン化し、現在、少量多品種 生産中である.

この結果.投資費用の削減(▲30%)・生産準備期間 の短縮(▲50%)が出来た.

本活動を通して、現有技術を徹底的に見極めることに より多品種少量生産に最も適した設備の実現ができた.

今後も、現状に満足せず常に新しい技術だけでなく身 近に存在する技術にも目を置いて徹底的に技術を見極 め、より良い製品作りができるようにしていきたい.

最後に,関係部署のご協力して下さった方々に深く感 謝の意を表す.

7. 参考文献

(1) 松本憲治

JEPS活動 箱物加工ライン「0.1分/工程 |の紹介 JATCO Technical Review No.4, pp. 105-110 (June, 2003)

(2) 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 Global CVT Line 加工・熱処理・組立の事例 JATCO Technical Review No.14, pp. 91-96 (2014)

This will include not only constantly examining new technologies, but also focusing on technologies that are present around us.

Finally, the authors would like to profoundly thank all the related departments for their invaluable cooperation.

7. References

- (1) Kenji Matsumoto, "Introducing the Transmission Case & Torque Converter Housing Machining Lines with 0.1 Minute/Operation," JATCO Technical Review, No. 4, pp. 105-110, (June 2003).
- (2) Nobuhiko Inoue, Kouichi Yamashita, Norimitsu Kawamoto, Hideki Takaboshi, Masaru Suzuki, "Establishing JATCO Standard Line: Global CVT Line, Examples of Machining, Heat Treatment and Assembly," JATCO Technical Review, No. 14, pp. 91-96, (2014).

Authors



Gouki IWASAKI



Takahiro KOREEDA



Shigetoshi NAKAMURA



Hiroshi SATOU

ロボット活用による組立自動化率向上

Improvement of Automated Assembly Rates through Effective Use of Robots

川本 典弘* Norimitsu KAWAMOTO

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対応がある. その実現の ために無人工場化を掲げている. 今回組立ラインにおけ るロボットを活用した自動化の開発事例の紹介,ならび に今後の無人工場への方向性を明らかにする.

Summary Assembly lines that can cope with transmission model changes and production volume fluctuations are the ideal form desired for future manufacturing plants in the year 202x. Full automation can be cited as one approach to achieving such lines. This article describes examples of newly developed automation technologies that effectively use robots on assembly lines and makes clear a future direction toward fully automated, unmanned plants in the years ahead.

1. はじめに

日本国内の労働人口減少に伴う労働力不足や海外 拠点の労務費上昇がユニットコストに大きな影響を及ぼ している.

202x年に目指す生産のありたい姿として、アクシデント、 デフェクト、ストップ、ストック、エミッションの5つのゼロ目標 を掲げ、製品、工程、工場それぞれに戦略を持って活 動を推進中である(Fig. 1).

なかでも工場/工程の戦略のありたい姿である組立ライ ンの無人ライン(全自動)を目指すために、自動化の促進 がより一層望まれている.



Fig. 1 Form of manufacturing aimed for by 202x

* ユニット技術部 Unit Process Engineering Department

1. Introduction

The labor shortage in Japan due to the declining population and the rise in labor costs at overseas manufacturing plants have a substantial impact on the cost of transmissions. With the aim of achieving the desired form of production operations by 202x, we have set five zero targets, namely, zero accidents, defects, production stoppages, line-side stocks, and emissions. Strategies have been defined for products, processes and plants, and activities are under way to implement them (Fig. 1).

In this regard, automation is being promoted ever more vigorously in the process and plant strategies with the aim of achieving fully automated, unmanned assembly lines as the desired form of manufacturing.

This article describes the approaches being taken to increase the automation rates on assembly lines and examples of technical developments for that purpose.

2. Activities for Improving Automated Assembly Rates

One issue to be resolved on assembly lines is to have the flexibility for handling three or more types of transmissions on the same line. (Two types are already accommodated.) In addition to that, flexibility for coping with production volume changes has also been required in recent years.

本稿では組立ラインにおける自動化率向上の進め方、 およびその開発事例を紹介する.

2. 組立における自動化率向上活動

組立ライン上の解決すべき課題は、3機種以上の種類 対応できるフレキシビリティであった(2機種は対応済み). 近年はこれに加えて、生産台数変化へのフレキシビリティ をも求められている.

これらの要求に対応するために、従来採用してきた専 用装置から汎用装置へ変える活動を推進中である. こ の活動により、週末の非稼働日のみで組立ラインの機種 追加対応が期待できる.

それを達成するキー技術として,近年安価になってい る多関節ロボットの活用を積極的に促進している.併せ て、設備投資削減も同時に進めていくために、ロボットを 用いた共通プラットフォームの装置開発を装置メーカと共 同で行い、装置のコモンモジュール化(標準化)活動も 推進中である.

3. 組立ラインのありたい姿を実現するための課題と その進め方

部品の組立作業を人が行う場合は、以下の動作と感 覚が必要である.

	組み付けに必要な動作	必要な感覚
1	位置確認	視覚
2	姿勢確認	視覚
3	つかむ	視覚/触覚
4	持ち上げる	触覚/平衡感覚
5	組み付け位置へ運ぶ	触覚/平衡感覚
6	組み付けする	触覚
7	位置を合わせる	視覚/触覚
8	組み付け結果確認	視覚

視覚に関しては、画像処理技術および距離センシング の進歩により自動化が可能となってきたが、機器が高額 であること、トランスミッションの多くの部品が金属製のた め、カメラ照明が反射したり、防錆油付着などによる誤 認識が発生したりと今後解決すべき課題はある.

一方, 触覚に関しては, 部品の固さ, 柔らかさをセンシ ングする技術、組み付け時の力の強弱、あるいは人のカン、 コツをどのように機械化するかが課題である.



Fig. 2 Desired form of assembly lines in 202x

In response to these requirements, we are proceeding with activities to switch from the specialized equipment traditionally used to general-purpose equipment (Fig. 2). Only on weekends when the assembly lines are not operating can we expect to install equipment for accommodating additional transmission models.

Effective use of articulated robots that have become lower in price in recent years is being actively promoted as a key technology for accomplishing this change. In addition, for the purpose of simultaneously reducing capital investment in facilities, we are also working jointly with equipment manufacturers to develop common equipment platforms that make use of robots. Activities are also under way to develop standardized common equipment modules.

3. Issues and Approaches for Achieving the Desired Form of Assembly Lines

The actions and senses noted in the following table are needed in order for human workers to assemble parts.

	Actions needed for installation	Necessary senses
1	Determining position	Sight
2	Determining orientation	Sight
3	Grabbing	Sight/touch
4	Lifting	Touch/sense of balance
5	Moving to installation position	Touch/sense of balance
6	Installing	Touch
7	Aligning position	Sight/touch
8	Confirming installation	Sight

Advances in image processing techniques and distance sensing have made automated vision possible, but there are many issues yet to be resolved. Machine vision systems are expensive. Moreover, because many transmission parts are made of metal, false recognition occurs owing to camera light refection, presence of anti-rust oil on parts and other reasons.

そこで我々は人の作業を細かく分析し、可能な限りに 数値化していくことで方策を見出している。 その具体的 な開発事例2件を紹介する.

4. 具体的な開発事例

4.1 事例紹介-1 ハンマリング圧入の自動化

ハンマリング圧入とは, 締め代を持った部品をハンマー で相手部品にたたいて圧入させる作業である. 衝撃圧 入とも呼ばれる. 圧入荷重が大きい部品に対しては油圧, またはモータを用いて自動圧入で行っているが. 圧入荷 重が大きくない部品(例:ダウエルピン、スチールボール) は、手作業で圧入していることが多い.

これらの部品は機種により、組み付け位置、角度がさ まざまでフレキシビリティを維持した自動化は困難な状況 でもあった.一方,本作業はエルゴノミクスの観点からも自 動化の要望があった.



Fig. 3 Press-fitting operation by hammering

本作業の自動化の課題は、例えば木材に釘を打つ作 業時に人が行っている位置合わせを行うことと真っ直ぐ に打ち込むことの2点であった.

人の作業をそのままロボットに行わせるということで,鉄 板から器を叩きながら成形するロボット技術1)を参考に. 今回のハンマリング圧入ユニットを開発した.(Fig. 4)

開発当初は、圧入力不足や部品が途中で傾くといっ た課題も発生したが、作業者の動作を細かく分析し、慣 らし打ち行為を再現することで解決した. 人作業の徹底 的な数値化により, 圧入開始時の傾き防止のための打 撃力コントロールが可能とすることができた.

また. ハンマリングユニットの設計. トライアル. および 改良までを全て内製で行い、量産ラインへ装置導入した.

Issues that must be resolved regarding the sense of touch include developing techniques for sensing the hardness or softness of parts and determining the proper level of force when installing them, as well as the question of how to mechanize human intuition and knack.

Therefore, we analyze in detail the assembly operations done by line employees and convert the results to numerical values as much as possible. Two specific examples of resulting technical developments are described below.

4. Specific Examples of Technical Developments

4.1 Example 1: Automation of press-fitting by hammering

Press-fitting by hammering refers to the operation of using a hammer to drive in a part with a tightening margin into its mating part (Fig. 3). It is also referred to as impact press-fitting. For parts requiring a large press-fitting force, hydraulic pressure or a motor is used to press-fit them automatically. However, dowel pins, steel balls and other parts requiring a small press-fitting force are often pressfitted manually.

These parts are installed in different locations and at various angles depending on the transmission model, which has made automation difficult while still maintaining flexibility. There has also been a desire to automate pressfitting operations from an ergonomic standpoint.

Issues involved in automating press-fitting operations are analogous to two points in the task of pounding a nail into a piece of wood. The positions of the nail and wood



Fig. 4 Press-fitting machine by hammering

なお, 導入工程においては, ハンドチェンジを行うことで ワークの反転作業も行わせており、ロボット活用による工 法フレキシビリティも持たせることができた.



Fig. 5 Effect of adding breaking-in hammering

さらに、標準化と多部品への適用拡大トライアルも実施 し. 類似工程のグローバル展開を行った.

4.2 事例紹介-2 トルクコンバータ(T/C)組み付け

T/C組み付けは、部品間の少ないクリアランスに組み 付けを行う精密嵌合箇所が複数あり、組み付けの位相 合わせも必要となるスプライン嵌合も有している. 加えて 内蔵物が固定されておらず,組み付け時に視覚による 芯合わせ, 位相合わせが困難であるため, 人による組み 付け作業でも難しい工程である.(Fig. 6)

従来,大型装置による自動組付技術を有していたが, 部品を左右に回転させたり、 揺動させたりすることを微妙 な調整の元に行っているため、部品の組み合わせにより、 目標サイクルタイム未達や、完全に組み付けができないと いった生産性上の課題を抱えていた。

今回、共通プラットフォーム装置に変えるため、圧入ユニッ ト用装置と同型式のロボットを採用した. さらにロボットに触 感を持たせることができる力覚センサーを用い、組み付け 時にフィードバック制御を行うことで解決を図ったこの力覚 センサーは組み付け時に発生している力を検出することが できるため、うまく組み付けできずに指定以上の力が発生 すると、反対方向にロボットを逃し、正しい組み付け位置に 移動させることができる. また, 必要以上の押し付け力を 与えてしまうと、部品が回転できなくなるため、高さ方向の 力をキャンセルさせることで、人が組み付けを行う時と同様 にT/C自重相当での組み付けを再現させることができた.

must be aligned and the nail must be driven in straight.

In order to have a robot perform the operation of a human worker without making any changes, a machine for press-fitting by hammering was developed in reference to the robot technology(1) for forming a container by hammering a steel sheet (Fig. 4).

Problems that occurred during the initial development phase included insufficient press-fitting force and the tilting of the hammered part during the insertion process. Those issues were resolved by carefully analyzing the motions of a human worker and reproducing a breaking-in hammering action (Fig. 5). Striking force control for preventing tilting at the outset of press-fitting was achieved by thoroughly converting the human operation to numerical values.

The design of the press-fitting machine, trial operation and improvement were all done in-house, followed by installation on a mass production line. In the process where the machine is installed, the workpiece is also turned over by having the robot switch hands. This effective use of robot technology thus imparted flexibility to the automated method.

In addition, trials were undertaken to standardize the machine and expand its application to multiple parts. It has since been deployed globally on similar production lines.



Fig. 6 Concept of TC installation



Fig. 7 Functional explanation of force sensor

対象としたユニットでは、3つの嵌合箇所を有していた ため、力覚センサーによるフィードバック値とロボットの組 み付け位置,および回転速度を連動させることで,一段 ずつ正確に組み付けを行い. 最終三段目の組み付けポ イントまで一連での制御を実現させた.

なお、この力覚センサーは、先に述べた人の触感を担 う物の一つであり、他の組み付け作業自動化においても 適用できる可能性が高い.



Force sensor Installation hand Transmission

Fig. 8 Configuration of equipment for installing TC

5. 今後の活動方向性

今後の重点活動としては.

1) ハーネス、ゴム製品といった"柔らか物"自動化 2)コントロールバルブ(C/V)スプールなどの"超精密嵌 合"自動化 3) 人協働, 人協調ロボットの活用 4) 安価な自動化技術開発 などを進め、さらなる自動化を促進していきたい.

4.2 Example 2: Torque converter (TC) installation

Installing a TC involves precision fitting at multiple places in narrow spaces between parts. It also includes spline fitting that requires the aligning of installation positions. In addition, internal TC parts are not fixed, so difficult aligning and positioning must be done visually, making the installation a difficult process to do even for human workers (Fig. 6).

Previously, we had an automated installation system using a large machine, but it had issues with respect to productivity. Parts were rotated and swung left and right, which was done on the basis of making subtle adjustments. Consequently, the work of assembling the parts prevented the attainment of the target cycle time and complete installation was impossible.

The same type of robot was adopted as that of the pressfitting machine in order to change the system this time to one with a common platform. In addition, the robot is equipped with a force sensor giving it tactile capability, and feedback control is performed at the time of installation, thereby resolving the above-mentioned issues (Fig. 7). Because the force sensor can detect the force produced during installation, the robot is retracted in the opposite direction if force exceeding the specified level is generated when the installation operation is not going smoothly. The robot is then moved to a position for correct installation. In addition, if pressure greater than necessary is applied, the part may be unable to rotate, so the force in the height direction is cancelled. As a result, installation of the TC corresponding to its own weight is thus reproduced, similar to the installation process done by a human worker.

The transmission targeted for this automated installation process has three fitting points. The TC is accurately installed at one level at a time by linking the value fed back from the force sensor, the installation position of the robot and the rotational speed. This linked control is performed until the final installation point at the third level (Fig. 8).

It will be noted that the force sensor has tactile capability like the human sense of touch for carrying things, giving it high potential for application to the automation of other installation tasks.

6. まとめ

本稿では、組立技術における自動化率向上活動の開 発事例を紹介した.

今後ますますロボット主体の装置へ変貌して行くことが 予想されるため、ノウハウをしっかりと蓄積し、標準化す ることを徹底して行きたい.

また、工程のフレキシビリティをさらに向上させ、インダ ストリ4.0の具現化,工程情報から得られるBig Dataを活 用した202x年の組立ラインのありたい姿の実現へとつな げて行きたい.

最後に、開発ならびに現場導入に多大なる協力をい ただいた社内外の方々に、深く感謝の意を表す.

7. 参考文献

1)田中秀岳,浅川直紀,平尾政利,

"塑性変形型ラピッドプロトタイピングの開発研究-CAD データに基づいた鍛金加工の成形特性". 日本機械学会論文集C編, Vol.71, No.711, (2005), pp. 3360-3366.

Author



Norimitsu KAWAMOTO

5. Direction of Future Activities

We intend to promote further automation by proceeding with the following priority activities.

- (1) Automated assembly of soft parts such as wiring harnesses and rubber parts
- (2) Automated assembly of control valve spools and other parts involving super-precise fitting
- (3) Effective use of human-robot cooperation and collaboration
- (4) Development of low-cost automation technologies

6. Conclusion

This article has presented examples of technologies developed for improving automated assembly rates. It is predicted that a transformation to equipment centered on robots will increasingly take place in the coming years, so we want to thoroughly accumulate and standardize automation know-how. In addition to improving process flexibility further, we want to make Industry 4.0 a concrete reality and utilize the Big Data obtained from process information to achieve the desired form of assembly lines by 202x.

Finally, the author would like to thank everyone involved inside and outside the company for their invaluable cooperation for the development and workplace installation of the technologies described here.

7. References

(1) Hidetaka Tanaka, Naoki Asakawa and Toshihiko Shintani, "Development of a Forging Type Rapid Prototyping System: Phenomenon in Metal Hammering on the Basis of CAD Data," Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, Vol. 71, No. 711, (2005), pp. 3360-3366 (in Japanese).



技術報告

補修ユニット種類最少化のための自動車販売会社でのデータ書き込みシステム開発

Development of a Data Writing System for Car Dealers to Minimize the Number of Service Transmission Types

小幡 久修* Hisanori OBATA

静 仁盛 ** 安西 幸弘*** Yoshimori SHIZUKA Yukihiro ANZAI

抄 録 RWD車 用5速AT(JR507E, JR509E) はATコ ントロールユニット(以下ATCU)がトランスミッション本体と 一体になった機電一体システムを採用しているため、補 修ユニットの種類が多くなり、工場やサービス部品センター での管理工数が増大していた. これに対処するために、 日産自動車が既に市場展開していたエンジンコントロール ユニット(以下 ECU)におけるデータ書き込みシステムを ベースに、日産自動車と共同で当社製トランスミッションと して初めて,自動車販売会社(以下 販社)でのデータ書 き込みシステムを実現した、このシステムを実現したことで、 補修ユニットの種類数を大幅に削減することができた.

本稿では、この販社でのATCUへのデータ書き込みシ ステムの概要を紹介する.

1. はじめに

RWD車用5速ATは2000年に生産を開始し、2002年に は機電一体タイプも生産を開始した。

機電一体タイプでは、ATCUがコントロールバルブと一体 構造となってATに内蔵されている.

機電一体ATのメリットはATとATCU間の電装ハーネス が不要となり、車両の原価低減になる、また、AT電装品を モジュール化できるため、ATも原価低減となる¹⁾. 一方で、 ATCUに書き込まれているデータは、車両仕様ごとに設定 が必要となる、そのため、車種増加した場合に、一般的な 機電が独立しているATCUであればATCUの種類数が増 加になるが、機電一体タイプは、ATの種類数が増加してし まうデメリットがある.

Summary The JR507E and JR509E 5-speed ATs for use on rear-wheel-drive (RWD) vehicles adopt an integrated electro-mechanical system in which the AT control unit (ATCU) is integrated with the transmission proper. As a result, this increased the number of service AT types, resulting in more man-hours for executing and managing related operations at both the plant and the service parts center. To address this issue, we developed the first data writing system for JATCO transmissions in cooperation with Nissan Motor Co. for use at car dealers. This system is based on a data writing system for the engine control unit (ECU) that Nissan previously deployed in global markets. The development of this system has markedly reduced the number of service AT types.

This article outlines the new system for writing data to the ATCU at car dealers.

1. Introduction

The 5-speed ATs for RWD vehicles went into production in 2000 and production of integrated electro-mechanical types began in 2002. The latter types are built with the ATCU integrated with the control valve and housed inside the transmission.

One advantage of an integrated electro-mechanical AT is that it reduces the vehicle cost by eliminating the wiring harness between the transmission and the ATCU. Another advantage is that the electrical components of the AT can be modularized to reduce the cost of the AT as well.(1) On the other hand, the data written to the ATCU must be defined for each vehicle specification. Consequently, in the event the vehicle model variations are increased, the number of ATCU types increases for ordinary ATCUs with an independent electro-mechanical system. However, the integrated electro-mechanical type has the disadvantage that the number of AT types increases.

ジヤトコ エンジニアリング株式会社 エンジニアリング事業部 車両適用開発部 Vehicle application Development Department, Engineering Division, JATCO Engineering Ltd

** 日産自動車株式会社 電子技術・システム技術開発本部 電子アーキテクチャ開発部 Electronics Architecture Engineering Development Department, EE and Systems Engineering Development Division, Nissan Motor Co., Ltd.

*** 日産自動車株式会社 グローバルアフターセールス事業本部 グローバルサービスエンジニアリング&テクニカルトレーニング部 Global Service Engineering and Technical Training Development Department, Global Aftersales Division, Nissan Motor Co., Ltd.

2. 現状把握と要因分析

2.1 AT種類数の増加の要因

2002年に生産を開始したRWD車用5速機電一体ATは、 現在までセダン, SUV, ミニバン, トラック, 商用車など多種 多様な車両に適用してきた. これに加えて、エンジン排気 量も2~5.6Lと幅広く、駆動タイプ(2WD,4WD)も合わせると、 「車種×エンジンバリエーション×駆動タイプ | で計算され る数だけデータが分かれることになる. さらに同じ車両, 同 じエンジンでもマイナーチェンジなどで法規への適合や性 能向上を行うと、ATハードウェアは変わらなくてもデータの 変更をする場合があるため、ATをその都度新規に設定す る必要があり、種類数が年々増加した(Fig. 1). この種類 数が、そのまま市場サービス向け補修ユニット(以下補修 AT)数の増加につながることとなる。



Fig. 1 Increase in number of AT types according to vehicle specification

2.2 補修AT種類数増加の影響

従来の補修ATは、生産工場である富士宮工場(以 下 工場)で主にATを作動させる制御データ(以下 主デー タ)を書き込み、日産自動車相模原部品センター(以下 SPC)に納入する. SPCでは車両仕様ごとに必要となるデー タ(以下 車両仕様データ)を書き込み、世界中の各販社 に納入していた. 受け取った販社では車両仕様にあった 補修ATを交換する.

データを書き込む前のATハードウェア仕様差のみのAT 種類数は100程度である. これに工場で主データを書き込 むことで約2倍となり、SPCで車両仕様データを書き込むこ とで、さらに2倍になっていた. (Fig. 2)

2. Identification of Current Situation and Analysis of Causal Factors

2.1 Factor causing increase in AT types

The 5-speed integrated electro-mechanical ATs that went into production in 2002 have been applied to a wide variety of vehicles to date, including sedans, SUVs, minivans, pickup trucks and commercial vehicles, among others. In addition, they have also been mated to a wide variety of engines ranging in displacement from 2.0L to 5.6L and to both 2WD and 4WD drive systems. Combining them all by just calculating the vehicle models x engine variations x drive system types results in an enormous number of types with divergent data. Moreover, even for the same vehicle model or engine variation, when a minor model change is executed, the transmission performance may be improved and compliance with legal requirements is necessary. Even if the transmission hardware is not changed, there are times when the control data are updated. Consequently, it is necessary to establish a new transmission model every time, so the number of transmission types has been increasing every year (Fig. 1). The number of transmission types leads directly to an increase in the number of service ATs that are provided to the market for replacement use.

2.2 Impact of increase in service AT types

Previously, service ATs were delivered to the Sagamihara Parts Center (SPC) of Nissan Motor Co. after mainly inputting the control data (base data) for operating them at our Fujinomiya Plant (plant) where they were manufactured. At SPC, the data necessary for each vehicle specification (vehicle specification data) were written to the ATs, which were then delivered to the car dealers concerned throughout the world. The car dealers who received the



Fig. 2 How to increase the number of types by ROM writing

これだけの種類に対し、SPCでは車両仕様データ書き込 み作業、受発注作業、在庫管理などが年々増加していた、

3. 改善の検討

3.1 改善の狙い

補修ATは工場およびSPCで、2度のデータ書き込みを実 施することで種類数が増加することから、工場での主デー タ書き込みと、SPCでの車両仕様データ書き込みの両方を 販社で実施できれば、ATハードウェア種類数である100程 度まで削減できる. これを実現させるために. 先例のECU における販社データ書き込みシステムをベースに機電一体 ATでも使える販社データ書き込みシステムの開発に取り組 むこととした.

3.2 システム開発の前提

販社におけるデータ書き込みは、既にECUにおいて市 場で実施されていた、このため、機電一体ATとしても販社 におけるデータ書き込みの導入をスムーズに行うため、デー タ書き込み手順は、ECUの場合の手順に合わせることとし た. その書き込み手順は次の通り3つとなる(Fig. 3).

- 手順1: 持ち込まれた車両の情報を車両診断ツールが自 動で読み込む.
- 手順2:車両診断ツールが新旧互換性データリスト(Old and New Compatibility sheet, 以下 ONC)から 適切なデータを自動選択する.
- 手順3: 選択されたデータを車両診断ツールが自動で書 込む.

3.3 システム開発の課題

ECUに書き込まれるデータは、機電一体ATで使う主デー タに相当する. それは, 販社に持ち込まれた車両の部品 番号情報から、ONCに基づき選択され、ECUにデータが 書き込まれている. それに対し, 機電一体ATは前述(2.2 項)の通り、主データと車両仕様データの2つのデータをもっ ているため、2度の選択と書き込みが必要となる、車両仕 様データは、主データとはデータ形式が異なるため、ECU の書き込みシステムは流用できない. さらに作業手順の増 加は望まれない. 従って, 機電一体ATのデータを一度に 書き込み可能とするための車両診断ツール用ソフトの開発 と、このソフトに対応したONCの開発が必要となった.

service ATs used them for replacement according to the vehicle specifications.

Just on the basis of the AT hardware specification differences, there were around 100 AT types before the control data were written. The number increased about two times after the base data were written at the plant. The number doubled again after the vehicle specification data were written at SPC (Fig. 2).

Because of this large number of types, the workload at SPC for writing the vehicle specification data, ordering and receiving service units, inventory management and other related operations was increasing every year.

3. Study of Improvement

3.1 Aim

The number of service AT types increased by writing control data twice, first at the plant and then other data were written at SPC. It was estimated that the number of service AT types could be reduced to around 100, i.e., the number of AT hardware types, if car dealers were able to write both the base data, heretofore done at the plant, and the vehicle specification data, heretofore done at SPC. In order to accomplish that, we set about to develop a data writing system that car dealers could use even for integrated electro-mechanical ATs. It would be based on the example of the ECU data writing system developed earlier for use by car dealers.

3.2 Assumptions for system development

The task of writing data to ECUs was already being done by car dealers in the field. Therefore, in order to smoothly implement the writing of data to integrated electro-mechanical ATs by car dealers, it was decided to adopt data writing procedures matching those used for ECUs. The following three data writing procedures were selected (Fig. 3).

Procedure 1: Data from a vehicle brought to a car dealer are automatically read by a vehicle diagnostic tool.

Procedure 2: The vehicle diagnostic tool automatically selects suitable data from the old and new compatibility (ONC) sheet.

Procedure 3: The vehicle diagnostic tool automatically writes the selected data to the AT.

3.3 Issues involved in system development

The data written to an ECU correspond to the base

3.4 車両診断ツールのソフト開発

車両診断ツールで2つのデータを一度の作業で書き込め るよう、日産自動車と連携して、車両診断ツール用ソフトを 開発した、主データ書き込み後の情報に基づき、車両仕様 データを選別し、書き込む機能を追加した. これにより、従 来は書き込み方法が異なった2つのデータの書き込みを1 つの処理で収めることができた.

3.5 ONCの開発

ONCは、ATの交換を必要としている車両に対し、書き 込むべき主データと車両仕様データを数百種類の中から1 つずつ選ぶための情報と,新旧部品の互換性情報を持っ たデータベースである. ONCが持つ情報から一部抜粋し たものがFig. 4で、 左からコラム1が販社に持ち込まれた車 両を車両診断ツールが読み込んだ部品番号と照合する 情報、コラム2がデータ書き込み後の番号情報、コラム3が データ書き込みで使用する主データの情報、そして、機電 一体AT 特有の車両仕様データを新たにコラム4として加 えた. 縦方向の関係は、最上位に最新仕様、以下順に 互換性がある旧仕様が並んでいる。例えば、販社に持ち 込まれた車両が、コラム1の旧仕様のAAAAや最新仕 様のCCCCCが書きこまれている場合は、いずれも最新の CCCCCを選択するようコラム2で指示している. この情報が あることで、車両診断ツールが沢山ある情報から旧仕様と、 互換性のある最新仕様の1つを選択することが可能となる.

ONCは、汎用の表計算ソフト上で作られたONC作成ツー ルを使用し、車両診断ツールに対応したテキストファイル形 式に変換して出力される. ONCの入力ミスは、販社での誤 書き込みにつながり、車両性能に影響を与えるため、避け なければいけない. 機電一体AT特有の車両仕様データ



Fig. 4 Image of ONC data output from ONC sheet



Fig. 3 Data writing procedure at car dealer

data used for integrated electro- mechanical ATs. The data are selected on the basis of the ONC sheet using the part number information of the vehicle brought to the car dealer and are written to the ECU. In contrast, because integrated electro-mechanical ATs have two types of data-base data and vehicle specification data-as explained earlier in section 2.2, data selection and writing must be done twice. Because the format of the vehicle specification data differs from that of the base data, the ECU data writing system could not be diverted for AT use. Moreover, it was not desirable to increase the workload. Therefore, it was necessary to develop software for the vehicle diagnostic tool that would make it possible to write data to integrated electromechanical ATs in just one operation. An ONC sheet would also have to be developed for the software.

3.4 Development of vehicle diagnostic tool software

Software for the vehicle diagnostic tool was developed in cooperation with Nissan Motor Co. so that the tool could write the two types of data in one operation. A writing function was added that selects vehicle specification data based on information following the writing of the base data. As a result, the two types of data previously written by different methods can now be written in one processing operation.

ing ver.)	Column 3 Base data information	Column 4 Vehicle specification data information
	75	
)	XXXXXX01234.dat	AT_CCCCC.CSV
)	XXXXXX01234.dat	AT_CCCCC.CSV
)	XXXXXX01234.dat	AT_CCCCC.CSV
	:	:
à	XXXXXX56789.dat	AT_GGGGG.CSV

追加により、入力ミスのリスクが増えたため、ポカヨケ機能 を2つ付けた、その1つは、部品番号の誤記入を防止する 機能である. ONC作成ツールに記載する部品番号情報に はいくつか決まりがある. 異なった入力値に対し, 部品番 号入力箇所に入力規制を設けて、エラー表示させる. さら にONCの出力も禁止させている.

ポカヨケ機能の2つ目は、ONCと書き込みに必要な各デー タの整合性をチェックする機能である. ONC作成ツールは, ONC作成ツールに記載した主データおよび車両仕様デー タのファイル名、さらに、車両仕様データの中に書かれてい る部品番号情報とも照合し、全て整合しない場合はエラー 表示をし、ONCの出力も禁止させている(Fig. 5).



Fig. 5 Confirmation of ONC creation tool

4. 補修ユニット種類削減効果

2013年3月のアメリカ、カナダを皮切りに全仕向け地に展 開していった結果,補修ユニットの種類数はピーク時の約 1/3まで削減できた(Fig. 6).



Fig. 6 Reduction in the number of AT models

3.5 Development of ONC sheet

The ONC sheet represents a database containing information that enables selection of both the base data and the vehicle specification data that should be written to the AT from among several hundred types of data. It also contains information on the compatibility between the old and new parts of the vehicle requiring replacement of the AT. Figure 4 shows some examples of information extracted from the data in the ONC sheet. Starting from the left side, Column 1 shows current information in comparison with that for the part number read by the vehicle diagnostic tool for the vehicle brought to the car dealer. Column 2 shows the part number information after writing the data. Column 3 shows the base data information for use in writing the data. Column 4 was newly added for the vehicle specification data specific to integrated electromechanical ATs. From the top, the first line shows the latest specification version and the lines under it show the old specification versions in the order of interchangeability. For example, consider that AAAAA is written as the old version and CCCCC as the latest version in Column 1 for the vehicle brought to a car dealer. In this case, Column 2 indicates that the latest version CCCCC should be selected for both lines. With this information, the vehicle diagnostic tool can select an old version and a new specification having interchangeability with it from among large quantities of data.

Using the ONC sheet creation tool prepared with ordinary spreadsheet software, the ONC sheet is converted to a text file format corresponding to the vehicle diagnostic tool and output. Data input mistakes on the ONC sheet must be avoided because they will lead to incorrect writing of data at the car dealers, which will impact vehicle performance. Because the addition of vehicle specification data specific to integrated electro-mechanical ATs increased the risk of input mistakes, two foolproof functions were added. One is a function for avoiding entry of the wrong part number. There are several rules concerning how part number information should be inscribed in the ONC sheet creation tool. When an incorrect value is input, an input restriction is applied to the place where the part number is input, and an error indication is displayed. In addition, outputting the ONC sheet is also prohibited.

The second foolproof function is for checking consistency between the ONC sheet and the data that need to be written. The ONC sheet creation tool checks the main data inscribed in the tool, the vehicle specification data file names and also the part number information contained in the vehicle specification data. It displays an error indication if everything is not consistent and also prohibits the output of the ONC sheet (Fig. 5).

5. まとめ

1. RWD車用5速機電一体ATで販社でのデータ書き込 みを実現する技術を開発できた.

2. 販社でのデータ書き込みシステム開発を実現するキー は以下2つ.

1)車両診断ツールにより、1度で2つのデータを自動選 択および書き込みを可能としたソフト開発

2)この自動選択および書き込みをサポートするONC の開発と、ONCを正しく作るためのポカヨケシステ ム構築

3. 上記2の二つの課題を解決したシステムにより下記効 果を実現できた.

1) 補修AT種類数を1/3に削減

2)工場およびSPCの管理工数を削減

最後に、本システムの開発にあたりご協力いただいた関 係部署の方々に深く感謝の意を表す。

6. 参考文献

1)FR車用 5速AT JR507E(RXO)の紹介,Jatco Technical Review No.4, pp.147-148(2003)

Authors



Hisanori OBATA

Yoshimori SHIZUKA

4. Effect on Reducing the Number of Service AT Types

Beginning with the U.S. and Canada in March 2013, the system has now been deployed in all markets where JATCO ATs are shipped. As a result, the number of service AT types has been reduced to approximately one-third compared with the peak period (Fig. 6).

5. Conclusion

(1) A system was developed that enables car dealers to write control data to 5-speed integrated electro-mechanical ATs used on RWD vehicles.

(2) Two key issues were addressed to facilitate the development of this data writing system for car dealers.

1) Development of software that enables the vehicle diagnostic tool to automatically select and write two sets of data at once.

2) Development of an ONC sheet that supports this automatic selection and writing of data and the provision of foolproof functions to ensure the ONC sheet is created correctly.

(3) The following benefits have been obtained by this system that resolved these issues.

1) The number of service AT model types has been reduced to one-third of the previous number.

2) Inventory management man-hours for executing and managing related operations have been reduced at both the plant and SPC.

Finally, the authors would like to profoundly thank everyone concerned in related departments for their invaluable cooperation for the development of this system.

6. References

1) "Introducing the JR507E (RXO) 5-speed AT," JATCO Technical Review, No. 4, pp. 147-148, (2003).







Yukihiro ANZAI

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」

Quality Health Check Aimed at Further Improving Suppliers' Product Quality

金子 忠司**

Tadashi KANEKO

長谷川 公一* Kouichi HASEGAWA

抄 録 2017年度より品質保証部と調達モノづくりサ ポート部が合同で、お取引先さまの品質管理体制の強 化促進を目的とした「品質健康診断」活動を開始した. その活動の実施に至った経緯と意義、そして今後の展 開について紹介する.

Summary The Quality Assurance Department and the Purchasing Monozukuri Support Department jointly launched the Quality Health Check activity in fiscal 2017 with the aim of strengthening and enhancing suppliers' quality control systems. This article explains

1. 近年のユニットの品質と購入品品質の実態

近年、車両メーカは車種やプラットフォームの統合化が 進み、それに併せて、ジヤトコもユニットや部品の統合・ 共有化を進めてきた. その結果、一つのユニットや部品の 不具合が,これまで以上に複数の車両やその自動車ユー ザーさまに影響を及ぼす事例が見られるようになった.

一方、ジヤトコがお客さまに提供しているミッションユニッ トの不具合は、自動車ユーザーさまの安全や、自動車メー カが永年築き上げてきたブランド力に影響を及ぼす可能 性が高い.

このような背景から、ジヤトコは"Zero Defect"を目指し た活動を推進し、社内はもとよりお取引先さまにもご協力 いただき、継続的な品質改善活動を継続的に実施中で ある.

お取引先さまの積極的な取り組みもあり、購入品品質 は近年飛躍的に向上し、ジヤトコ社内の品質活動との 相乗効果により、ジヤトコ製ユニットの信頼性や満足度は 年々向上している.

しかしながら、お客さまや自動車ユーザーさまへの不 具合件数は減少しているものの. 依然として目標である "不具合のゼロ化"には至っていない.

1. Status of Transmission Quality and Purchased Parts Quality in Recent Years

the background leading up to the implementation of this

activity, its significance and plan for future deployment.

JATCO has been integrating and sharing transmission parts in recent years as vehicle manufacturers have been moving to integrate their vehicle models and platforms. As a result, instances are now seen where a problem in one transmission or part impacts more vehicle models and vehicle owners than ever before. A problem in a transmission that JATCO supplies to our OEM customers has a strong possibility of affecting the safety of vehicle owners and also the brand strength that a vehicle manufacturer has built up over many years.

For these reasons, JATCO has been promoting activities aimed at achieving zero defects. Continuous activities to improve product quality are consistently being carried out not only in-house but also with the cooperation of suppliers.

The quality of purchased parts has improved dramatically in recent years thanks to the positive efforts made by suppliers. Along with JATCO's in-house quality improvement activities, the resulting synergies have worked to enhance the reliability and customer satisfaction of JATCO transmissions year after year.

However, although instances of dissatisfaction by customers and vehicle owners have been decreasing, we have still not reached our goal of zero problems.

2. 品質不具合"ゼロ化"へ向けた新たな課題

近年のお取引先さまの不具合を分析すると、

- ・不具合品が、品質検査工程があるにも関わらず、0 K判定.
- これまで不具合が出ていないお取引先さまから突然 発生.
- などの事例が多いことが分かった.

また、お取引先さまのご協力のもと、各事例の発生要 因を調査したところ、過去主な不具合の発生原因であっ た4M(Man, Machine, Material, Method)変更時の管理 項目の不足やその対応の不備などが起因している事例 は激減しているものの.

- ・作業基準書や標準書の不遵守
- ・異常発生時の行動や処理の方法の不適切
- ・間違ってNG品を良品に混入

など、生産現場におけるヒューマンエラーに起因する ケースが減っていないことがわかった。

お取引先さまにはそれぞれ品質を維持するために知 見や過去の不具合の振り返りから設定されたルールがあ るが、改めてお取引先さまの工程内不具合も含めて調 査すると、実際は守られていなかった事例が多く見られた.

このルールや基準類を守れない理由を徹底的に分析 したところ.

- ・現場管理力が弱く、作業者まかせ
- ・教育や指導する工数不足と技量不足
- ・現状を見直す機会の不備

など、現場管理レベルの課題も再認識することができた.



2. New Issues for Achieving Zero Quality Problems

An analysis of problems at suppliers in recent years revealed that the following cases were numerous.

- Parts with problems were judged to be OK despite going through a quality inspection process.
- · Problems suddenly occurred at suppliers who had not had any problems previously.

The causes of these cases were investigated with the cooperation of the suppliers involved. Previously, problems were caused by insufficient control parameters or inadequate countermeasures when changes were made in methods, machines, materials or manpower (4M). It was found that problems due to these causes had been markedly reduced. However, cases caused by human error in production workplaces had not decreased, including the following:

- Failure to observe work procedure manuals or operation standards
- Improper action or method of handling an abnormal condition that occurred
- Mixing unacceptable products with good products by mistake

All of the suppliers have established their own rules for maintaining quality based on their knowledge and what they have learned from problems in the past. A fresh survey that also looked at problems in processes at suppliers revealed many cases where such rules were not actually being observed.

The reasons why the rules and procedure/operation standards were not being observed were thoroughly analyzed. The following results made us realize anew that there were issues in workplace management levels such as:

この現場管理レベルを向上することはもとより. 高い品 質を維持するためには、その状態を維持できる環境や仕 組みの必要性がある.

そのためには

- ①現状とあるべき姿を社内で共有し、阻害している問 題点を見える化すること
- ②問題点を解決し、後戻りしない改善を進めステップ アップしていくこと

の2つの活動が必要である.

また, 不具合発生時の対策プロセスの視点で過去の 不具合対策事例を分析した結果,不具合内容からす ぐに改善対策を行っているお取引先さまと、阻害してい る問題点をひとつひとつ解決した上でステップアップして いったお取引先さまを比べると、後者の方が、特にヒュー マンエラーに属する不具合の再発率や同類の不具合発 生率において優位性があった.

以上のように、お取引先さまの品質を「改善する能力」 や「維持継続する管理力」などは、お取引先さまの品質 管理体制を測る上で重要な要素になることが今回改め て認識できた。

一方. これまでジヤトコが行っていた不具合実績によ る評価では、現状のお取引先さまの実態が反映できず、 新たな評価指標の必要性を改めて認識できた.

3.健康診断の意義

前述の通り「お取引先さまの"今"の品質管理の状態 を見える化すること」を目的とした活動が2017年度からス タートした.

同様な目的で数年前より活動されていた日産自動車株 式会社の事例を一部参考にさせていただき、お取引先さ まとコミュニケーションを円滑にし、品質を健全な状態に 保ちたいという意志をこめて「品質健康診断」という名称 をつけた.

新製品や工程変更時に実施するさまざまな監査やデ ザインレビューを製品や生産ラインそのものを評価・是正 する活動とすると、「品質健康診断」は前述の通り、お取 引先さまの品質を維持・管理する力量を見える化する活 動である.

観察対象は

・設計・技術などの製品・工程設計部門

- Workplace management capabilities are inadequate and things are left to the workers
- Insufficient man-hours spent on education and training and lack of skills
- Not enough opportunities to review and correct current conditions

Besides improving the level of workplace management, an environment and organization are needed to keep the improved state so as to maintain high quality. The following two activities are necessary for that purpose.

- (1) The current situation and the desired state should be shared internally and problematic points blocking improvement must be made clear.
- (2) The problems must be resolved and efforts made to improve skills and advance improvements so as not to regress to the previous condition.

Examples of previous measures taken to address problems were analyzed from the standpoint of process countermeasures taken when problems occurred. The results revealed that depending on the nature of a problem some suppliers took steps immediately to address it, and other suppliers improved their processes by solving one by one the problems that were hindering their operations. A comparison of the two types showed that the latter were superior with respect to the recurrence rate of problems and the incidence of similar problems that originated especially in human error.

The foregoing results made us realize anew that the ability to improve quality and the management ability to maintain and continue quality levels are among the key elements for gauging suppliers' quality control systems.

At the same time, we also realized that JATCO's evaluations to date of problems occurring at suppliers had not actually reflected the present realities of the suppliers and that there was a need for new evaluation indexes.

3. Significance of Quality Health Check Activity

The Quality Health Check activity was started in fiscal 2017 with the aim of revealing the present circumstances of quality control at suppliers as described above. Reference was made to some examples of activities that Nissan Motor Company has been undertaking for the last several years for the same purpose. The activity was named Quality Health Check, which embodies our intention to promote smooth communications with suppliers and desire to maintain quality in a healthy state.

・生産管理や工務などの管理部門

・製造・物流など工場部門

などの多岐に渡り、確認内容も各部署とその業務が無 理なく実施されているか. 基準やルールが守られている か,問題点や異常な点を認識できる環境が整っているか, 修正・是正が速やかに行われているのかといった、マネ ジメントやコントロールが有効に機能しているかを作業観 察やインタビューによって可能な限り見える化できるような 工夫をしている.

IATF16949に準拠した内容の確認はもちろん、従業員 の方々の生産活動や品質改善活動に影響を及ぼし、人 の心理や行動の変化の起点となりうる「5S(整理・整頓・ 清掃・清潔・躾)」、「安全」、「作業環境」まで、項目に いれていることが、ジヤトコの活動の大きな特徴である.

一方,ジャトコがお取引先さまの品質評価を行う際, これまでプロジェクトごとやプロセスごとにいろいろな基準 書やチェックリストを使って調査してきた結果、ジヤトコ・ お取引先さまとも多くの工数が発生し、新製品のプロジェ クトが併行している期間では混乱を引き起こす要因とも なっていた

今回「品質健康診断」を定期的に実施することにより、 お取引先さまの品質管理評価を統廃合し、ジヤトコとお 取引先さまの「Simplification(作業簡素化)」を促進させ ることも大きな目的のひとつである.

4.「診断」は目的ではなく手段・ツール

私たちが毎年受診している「体の健康診断」を連想 していただければお分かりいただけるが、「品質健康診 断」はお取引先さまの品質を維持・管理するしくみと現 在の状態を確認し、今後品質を悪化させるリスクを見え る化するための手段であり、結果を基にしてお取引先さ まが自ら弱みの改善につなげることが本来の目的である.

人間の健康診断でも、アドバイスに基づいて、精密検 査や治療行為などの適切な改善活動につなげなければ, 健康の回復は望めないどころか. 思い込みや間違った 対処をすると状態をさらに悪化させてしまうこともある.

「品質健康診断」も同様に、今問題が起こっていないか らといって放置しておくと、いつか不具合の発生や流出 につながるリスクがあることをお取引先さまに認識してい ただくことが狙いである.

	Function (機能)+ Quality(品質)
value (個個) =	Cost (기지ト)

Fig. 2 Definition of value

The various audits and design reviews that are conducted when launching new products and changing processes are intended to be activities for evaluating and correcting products and production lines. The Quality Health Check is designed to be an activity for ascertaining the abilities of suppliers to maintain and manage quality as mentioned above.

A wide variety of things are observed in this activity including the following:

- Product and process design departments including their design methods and technologies
- Management departments including production management and operations
- Plant departments including manufacturing and logistics

The details to be confirmed are also designed to make clear as much as possible whether management and control functions are working effectively based on observations of operations and interviews. For example: Are all the sections and departments carrying out their operations in a reasonable manner? Are standards and rules being observed? Is there an environment in place that enables recognition of problems and abnormal conditions? Are revisions and corrections made promptly?

Naturally, details are confirmed in accordance with International Automotive Task Force (IATF) standard 16949 concerning quality management systems requirements for automotive production and relevant service parts organizations. A prominent feature of our Quality Health Check activity is that it also includes items pertaining to the 5S activity, safety and working environment, which influence the production activities and quality improvement activities of the employees and can also serve as the starting point for changing human psychology and behavior.

JATCO has used various standards and check lists to investigate and evaluate suppliers' quality in every project and process to date. It was also found that such evaluations require many man-hours for both JATCO and suppliers and that they can be the cause of confusion when conducted in parallel with a project for a new product.

One of the major purposes for conducting Quality Health Check regularly is to consolidate quality control evaluations of suppliers and to promote a simpler activity for both JATCO and suppliers.

この診断結果をお取引先さまやジヤトコの関係部署が 共有し、業務に従事している方々の声を拾いながら改善 活動に取り組むことが重要である. 当然, 一朝一夕では 解決しない課題や問題もあるが. "弱い部分"や"悪い部 分"を認識して生活(生産活動)をするのとしないのとで は、健康(品質)の維持には大きな違いが出てくる。時間 がかかっても着実に問題をつぶしていき、改善と維持を 継続的に実施していただきたいと考えている.

5. 今後の展開~品質サイマル活動を初めとした ユニット品質向上への狙い

新製品には.

・つくり易い製品設計

・製品保証工程のインライン化、デジタル処理化

などが、品質を直接つくり込む製品設計・生産工程に 求められる、その場合、設備を正常な状態に維持管理す る事や異常発生の際の"ひと"が品質を維持管理する鍵 であることは間違いない. そう考えると, 平常時に品質を 保証できる環境が維持されることがますます重要になって くる.

この「品質健康診断」を通し、新製品や新ラインを立ち 上げる際の環境づくりの早期化を促進していきたい.

そして, ジヤトコとお取引先さまの企業価値をお互いに 強化するwin-winのパートナシップにつなげたいと考えて いる.

最後に本稿執筆にあたり、多大なる協力をいただいた 社内外の方々に、深く感謝の意を表す.

4. Quality Health Check: A Means and Tool not a Goal

The Quality Health Check is a means for enabling suppliers to maintain and manage quality, to confirm their present circumstances and to bring to light any risks that might worsen quality in the future. The intended purpose is for suppliers themselves to take action leading to improvement of their weak points based on the results. This can be understood by likening it to a health examination that employees typically undergo every year.

A personal health examination should lead to health improvement activities such as more detailed medical examinations or a treatment program based on the doctor's advice. A misconceived or mistaken procedure may cause a condition to worsen, not to mention offering no hope for a healthy recovery.

The same is true for the Quality Health Check. The aim is to have suppliers recognize that letting a situation go, though no problem has occurred at present, entails a risk that a problem may occur or be passed on at some point later.

The results of the Quality Health Check are shared by the supplier and JATCO's related departments. It is essential to pursue improvement activities while gathering the opinions of the employees engaged in the operation concerned. Naturally, there are also issues and problems that cannot be resolved overnight. Yet, whether a person recognizes weak points and bad points healthwise and does or does not live (pursue production activities) accordingly will result in huge differences with regard to maintaining good health (quality). We want continuously to implement improvements and maintain them by steadily addressing problems even if it takes time.

Sourcing	F	rocess esign	ocess All tools Prod. process		Mass prod	uction
Product Design Development prototype production		Production trial				
			FY 17 -			
Quality	Mass m	igration			- FY 16	Plant QA
assess- ment	RFQ evaluation	Simultar Purchas	neous activity (Qu sed parts design r	ality + Cost) eview	Initial flow management	ANPQP Quality improvement
Evaluation	of system	Rank up	activity		Evaluation of q GSQM	uality performance

Fig. 3 Front loading for building in quality



Kouichi HASEGAWA

5. Future Deployment: Aim is to Improve Transmission Quality further through Simultaneous Quality Activities

For new products, the following are required of product design and production processes because they are directly related to the task of building in quality:

- Product designs that are easy to build
- In-line product quality assurance process and digital processing

In this case, there is no doubt that people are the key to managing and keeping equipment operating properly and to maintaining and managing quality when an abnormal condition occurs. With this in mind, it is ever more essential to maintain an environment in which quality can be assured in normal times.

Through the use of the Quality Health Check, we want to promote the early implementation of a proper environment for launching new products and production lines.

In that way, we want to form a win-win partnership that mutually strengthens the corporate value of both JATCO and suppliers.

Finally, the author would like to thank everyone involved inside and outside the company for their invaluable cooperation.

Authors



Tadashi KANEKO

AI活用による品質情報の自動分析

Automatic Analysis of Quality Information by utilizing Artificial Intelligence

武坂 英明* Hideaki BUSAKA

抄録 ジヤトコでは、品質向上活動の一つとして定常 的に市場の品質情報の分析を行っているが、活動のス ピードを加速するために、分析をより早く、より効率的に行 う必要がある.

そこで分析を担当するコーポレート品質保証部門で は、分析の自動化に取り組んでいる、この取り組みの中 でAI(Artificial Intelligence)を活用した分析の自動化 を実用化したので、本稿でその事例を紹介する.

Summary At JATCO, we regularly analysis information on product quality fed back from the market as part of our efforts for improving quality. In order to accelerate the speed of this activity, there has been a need to analyze information faster and more efficiently. Toward that end, the Corporate Quality Assurance Division that is responsible for analyzing such information has been working to automate analyses. As part of this effort, we have implemented an automatic analysis system based on the use of artificial intelligence (AI). This article describes the new system and an example of its practical application.

1. はじめに

ジャトココーポレート品質保証部門では、品質向上活 動としてお客さま(OEM)から提供された市場品質情報 を現象ごとに分類して状況把握,要因分析,対策改善 を行っている. ただ. 近年はデータ件数やデータ項目の 増加により、ひとによる個別の分析では処理しきれない状 況になってきている.

そこで、分析作業の効率化を目的として、AIを活用し た自動分析システムの開発に取り組んだ.

2. 課題と解決方法

分析を行う品質情報は、車両の生産情報や診断情報 および車両所有者の不具合申し立て内容等の情報が含 まれている.この情報を元に、既知の課題であれば各課 題のカテゴリに分類することで、状況の把握を行っている. 一方, 未知の課題に分類された案件は, 詳細調査を行 い現象の確認を進めることになる.

従来、この分析は一案件ごとに人が情報を読み解く必 要があるため、多くの工数を費やしていた.また、分析

* 品質企画管理部

1. Introduction

As one activity for improving quality, JATCO's Corporate Quality Assurance Division classifies quality information fed back from the market by customers (OEMs) according to each type of incident. The details involved are ascertained, causes are analyzed and measures for improvement are implemented. However, owing to the increasing volume and types of data in recent years, it has become impossible for employees to process all the information in analyses conducted separately for each incident. Therefore, we have developed an automatic analysis system using AI for the purpose of improving analysis efficiency.

2. Issues and Solutions

The quality information analyzed includes data on vehicle production, diagnostic data and the details of a problem as stated by the vehicle owner. Based on this information, if the problem is a known issue, it is classified in the relevant category and the details of the situation are ascertained. On the other hand, for cases classified as unknown issues, a detailed survey is conducted to confirm the nature of the problem.





Fig. 1 Configuration of automatic analysis system

者のスキルレベルによって分析結果に差が生じてしまう 状況であった. 加えて, 近年は取扱うデータの種類が増 大したことで分析に多大な工数を要しており、市場品質 の全容を把握する際の課題となっていた.

そこで,分析作業の自動化に着目し課題の解決を図った.

3. 自動分析システム概要

自動分析は2段階の構造になっている(Fig. 1).

まず,人が判断している判定条件や判断順序を完全 一致条件として登録、この条件に一致した案件を、各カ テゴリに分類する(Analysis 1).

ただし,分析する品質情報には,人が入力したコメン ト情報が含まれており、統一化された情報にはなってい ない. そのため, 既知課題の判断条件に一致せず分類 できない案件が残る. 全てのパターンを調べ、判断条件 を網羅することで分類できる割合は高くなるが、全ての 条件を抽出することには限界がある. そこでAI技術の一 つである『機械学習』により残りの案件を分析する構成と した(Analysis 2).

4. 機械学習とは

機械学習とは、人間が自然に行っている学習能力と同 様の機能をコンピュータで実現しようとする技術・手法の ことである. 機械にデータを学習させ、データに潜むパター ンや特性を発見し、未知のデータを予測させることが可 能となる.

この機械学習には、統計手法を用いて人間が判断の 特徴を定義する技術と、特徴を自動的に抽出するディー プラーニングと呼ばれる技術がある(Fig. 2).

ただし、ディープラーニングは判断基準がブラックボック スになってしまい、結果の修正が困難であることが課題 である. そのため、今回は判断基準が明確に説明できる 前者の統計手法を用いた機械学習技術を活用した.

Previously, in this analysis, employees had to read and understand information on each incident separately, which was very time-consuming. Moreover, the analysis results tended to vary depending on the skill level of the people doing the analysis. In addition, because the types of data treated in the analysis have increased in recent years, many man-hours have been required to analyze a problem, which was an issue in trying to ascertain the overall quality of our products in the market. Therefore, in an effort to resolve these issues, we focused on a system for automatically analyzing quality information.

3. Overview of Automatic Analysis System

The automatic analysis system has a two-level structure as shown in Fig. 1. First, the judgment criteria and judgment process undertaken by employees are registered in the system as perfectly matching conditions. A case that coincides with such conditions is classified in an appropriate category (Analysis 1).

However, the quality data to be analyzed also include comments input by the people involved, which are not unified. For that reason, cases remain that do not coincide with the judgment criteria of known issues and therefore cannot be classified. The percentage of classifiable cases can be increased by investigating all the operating patterns and by applying comprehensive judgment criteria. However, there are limitations on the criteria that can be extracted. Therefore, the system is structured such that the remaining cases are analyzed by machine learning, which is one type of AI technique (Analysis 2).



Fig. 2 Artificial Intelligence, Machine Learning

Quality Planning and Administration Department

5. 機械学習システム

分析する品質情報は、お客さまの申し立てコメントや、 販売会社での対処内容を記載したコメント情報が、判断 材料として重要な情報となっている.

そこで、今回の取り組みにおいては、文書データの分 類に効果を発揮する機械学習手法である, ナイーブベイ ズフィルタを用いた.

ナイーブベイズフィルタとは、文書をどのカテゴリに属す るのかを判定させるテキスト分類システムであり、一般的 には. 電子メールを「迷惑メール |と「それ以外 |というカ テゴリへ分類するフィルタや、Webページを「政治・経済」 「コンピュータ・IT」などのカテゴリへ自動分類する機能と して実用化されている機械学習システムである(Fig. 3).

なお、機械学習システムの実装は汎用プログラミング 言語のPythonを利用した.

6. ナイーブベイズフィルタ概要

ナイーブベイズフィルタとは、ある文書が与えられた時 に文書中の単語から各カテゴリに属する確率を、 ベイズ の定理により算出し、一番高い確率のカテゴリに分類す る手法である. 単語間の関係は無視し, 単語の出現確 率は独立とみなすことからナイーブ(単純)と呼ばれる.

カテゴリにどのような単語が、どれくらいの確率で含ま れているかを、教師データ(見本となるデータ)を与え事 前に学習させておく必要がある.

教師データとして十分なデータ数を確保するために、 過去に行った分析結果と、Analysis1で得られた結果を 利用した.

6.1 ベイズの定理

確率計算に用いるベイズの定理とは、結果からその原 因の確率を推定する理論であり,条件付き確率に関して 成り立つ定理である. 文書Dが与えられた場合にカテゴ リCに分類される確率(事後確率)は、P(C | D) としてべ イズの定理より式(1)で表せる.

 $P(C \mid D) = \frac{P(D \mid C)P(C)}{P(D)} \propto P(D \mid C)P(C)$ (1) $P(D \mid C)$: 尤度、カテゴリCが与えられた場合に文書D が得られる確率



Fig. 3 Naïve Bayes filter

4. Overview of Machine Learning

Machine learning refers to a technique or method for incorporating in computers a function like the learning ability naturally displayed by humans. After learning the presented data, the machine discovers patterns and characteristics hidden therein, enabling it to predict unknown data.

Machine learning includes an approach for using statistical methods to define the features of human judgement and an approach called deep learning for automatically extracting features (Fig. 2).

However, one issue of deep learning is that it is difficult to correct the results because the judgement criteria are in a black box. Therefore, we decided to use a machine learning approach based on statistical methods that allow an explicit explanation of the judgement criteria.

5. Machine Learning System

The quality information to be analyzed includes the vehicle owner's complaints and the details of the dealer's response. This information is valuable for judging the situation. Therefore, in this project, we adopted a naïve Bayes filter, which is effective in classifying document data.

A naïve Bayes filter refers to a text classification system for judging to which category a document belongs. It is generally implemented in machine learning systems as a filtering function for automatically classifying items into categories, such as categorizing email as being either spam or ham, or web pages as being related to politics, economics, computers, IT or other fields (Fig. 3). It is noted that such machine learning systems run on Python, a general-purpose programming language.

6. Naïve Bayes Filter

A naïve Bayes filter refers to a method of classifying words in a document into the most probably category to which they belong based on the probability calculated with the Bayes' theorem. The method is called naïve because

P(C): 事前確率. カテゴリCが得られる確率. カテゴ リCと判定された文書数/全文書数.

P(D):文書Dが得られる確率.一定であり省略できる.

尤度P(D | C)は、単語出現確率の独立性を仮定して いるため、カテゴリの中で各単語が得られる確率の積で 近似できる. 式(2)

(2) $P(D \mid C) \cong P(W_1 \mid C)P(W_2 \mid C)\dots P(W_n \mid C)$ よって、式(1)は以下のように表すことができる. $P(C \mid D) \cong P(W_1 \mid C)P(W_2 \mid C)...P(W_n \mid C) \times P(C)$ (1)' ここで、P(Wi | C)は式(3)のように、教師データのカテ ゴリCに単語Wiが出てきた回数を、カテゴリCの全単語数 で割ったものである.

number of W_i $P(W_i \mid C) = \frac{number of vocabulary in category C}{number of vocabulary in category C}$ (3)

6.2 Bag-of-wordsモデル

次にP(Wi | C)を算出するためにBag-of-wordsモデル を利用する. これは、文書に単語が含まれているかどう かのみを考え、並び順は考慮しない出現回数を表すモ デルである. 文書中に単語があれば1, 無ければ0として 重複した場合は加算する. P(Wi | C)は、この単語出現 回数を,各カテゴリの単語総数で割ることで得られる.

例えば教師データが次の文書の場合, P(C)および P(Wi | C)は Table 1のようになる([]内はつながっている 文書と仮定).

Table 1 P(C) & P(Wi|C)

Noise:	[Customer, Noise, Acceleration]	
Noise:	[Noise, Gear, Shift]	
Speed sensor:	[Customer, Sensor, Acceleration]	
Lack of power:	[Customer, Acceleration, Shift, Noise]	

Tugining document	Category	Category	Category
Training accument	Noise	Speed Sensor	Lack of Power
P(C)	2 / 4	1 / 4	1 / 4
$P(W_1 C)$: Customer	1/6	1/3	1 / 4
$P(W_2 C)$: Noise	2 / 6	0/3	1 / 4
$P(W_3 C)$: Gear	1/6	0/3	0 / 4
$P(W_4 C)$: Shift	1 / 6	0/3	1 / 4
$P(W_5 C)$: Acceleration	1/6	1/3	1 / 4
$P(W_6 C)$: Sensor	0 / 6	1/3	0 / 4

relationships between words are ignored and the probability of words occurring is regarded as being independent. Training data (sample data) must be learned in advance in order for the system to know what types of words are contained in each category and with what probability.

In order to ensure a sufficient number of training data, we used the results of previous analyses and the results obtained in Analysis 1.

6.1 Bayes' theorem

Bayes' theorem used in probability calculations refers to a theory for estimating the probability of causes based on the results. It is a viable theorem for conditional probability. The probability (posterior probability) that input document D will be classified in category C is expressed in Eq. (1) as P(CID) based on Bayes' theorem.

$$P(C \mid D) = \frac{P(D \mid C)P(C)}{P(D)} \propto P(D \mid C)P(C)$$
(1)

P(D|C): likelihood. Probability of obtaining document D when category C is given.

P(C): a priori probability. Probability of obtaining category C. Number of documents judged to be in category C/total number of documents.

P(D): Probability of obtaining document D. Value is constant and can be omitted.

Because likelihood P(D|C) assumes that the probabilities of words occurring are independent, it can be approximated by adding up the probabilities of obtaining each word in a category as expressed in Eq. (2) below.

(2) $P(D \mid C) \cong P(W_1 \mid C)P(W_2 \mid C)\dots P(W_n \mid C)$ Hence, Eq. (1) can be expressed as shown below.

 $P(C \mid D) \cong P(W_1 \mid C) P(W_2 \mid C) \dots P(W_n \mid C) \times P(C)$ (1)' Here, P(WilC) is found by dividing the number of times word Wi occurs in the training data in category C by the total number of words in category C.

$$P(W_i \mid C) = \frac{number of W_i}{number of vocabulary in category C}$$
(3)

6.2 Bag-of-words model

Next, a bag-of-words model is used to calculate P(WilC). This model only considers whether a word is included in a document and it expresses the number of times words occur without considering the order in which they appear. If a word occurs in a document, it is assigned a 1 and if not, a 0. Multiple occurrences are added up. The value of P(WilC) is obtained by dividing the number of times the word Wi occurs by the total number of words in each category.

Table 2 New document's P(CID)

New document [Customer, Shift, Noise]

New document	Category Noise	Category Speed Sensor	Category Lack of Power
$P(W_x C)$: Customer = $P(W_1 C)$	1/6	1/3	1/4
$P(W_y C)$: Shift = $P(W_4 C)$	1/6	0/3	1/4
$P(W_z C)$: Noise = $P(W_2 C)$	2/6	0/3	1 / 4
$P(D/C) = P(W_x C) \times P(W_y C) \times P(W_z C)$	1 / 108	0	1 / 64
P(C)	2 / 4	1 / 4	1 / 4
$P(C/D) = P(D/C) \times P(C)$	1/216	0	1/256

Table 1で学習させたシステムに対し、以下の新規文 書が与えられた場合を計算するとTable 2のような結果が 得られ, カテゴリはP(CID)が一番高いCategory Noiseに 分類される.

6.3 単語の重み付け

Table 2のままでは、全ての文書に共通して現れる 「Customer」も他の特徴的な単語「Noise」等と同じ重 みで計算されてしまい誤判定につながるため、単語の重 み付けを行う必要がある. 重み付けの値は単語の出現 頻度-逆文書頻度TF-IDF (Term Frequency - Inverse Document Frequency) を用いた.

TFは単語の出現頻度であり、5.2で行った単語のカウン トと同様である.

一方, IDFは, 特定のカテゴリで出現頻度が高い単語 を重要な単語として重みを定義する考え方である.

TF-IDFは、TFとIDFを掛け合わせた指標で式(4)のよ うに表せる.

$$TFIDF(W,D) = TF_{W,D} \times \log\left(\frac{N_D}{DF_{W,D}}\right)$$
(4)

TFW,D:ある文書Dに出現した単語Wの回数 DFW.D:単語Wが含まれている文書の数 ND:全ての文書数

算出したTF-IDFにより, 各単語P(WnlC)の重み付けを 行い. この値をもとに未知文書の分類を行う.

以上のアルゴリズムによりナイーブベイズフィルタを実装 した。

このシステムにより判定率が向上した例を示す.

以下の品質情報の場合はAnalysis1では分類不可で あったが、Analysis2では『Pressure sensor』と分類された.

[Customer] CUSTOMER STATES SERVICE ENGINE SOON LIGHT IS ON

For example, given the following documents as training data, the values of P(C) and P(WilC) are found as shown in Table 1 where () assumes that the documents are not linked. After learning the data in Table 1, the system performs calculations when presented with new documents shown below, and the results obtained are given in Table 2. Category P(CID) is classified in the category Noise having the highest values.

6.3 Weighting of words

The word "customer" commonly occurs in all the documents, as does other distinctive words such as "noise". If calculations are performed on the words in Table 2 as they are using the same weighting, it would lead to a misjudgment. To avoid that, it is necessary to weight the words in the table. Weighting is done according to the formula of term frequency - inverse document frequency (TF-IDF).

The notation TF indicates the frequency at which a word occurs. It has the same value as the word count done in Section 5.2. The notation IDF, on the other hand, indicates that a word occurring with a high frequency in a particular category is treated as a key word and its weighting is defined in line with this idea. TF-IDF is expressed as an index as shown in Eq. (4) in which TF and IDF are multiplied.

$$TFIDF(W,D) = TF_{W,D} \times \log\left(\frac{N_D}{DF_{W,D}}\right)$$
(4)

TFW,D: number of times the word W occurs in a certain document D

DFW,D: number of documents containing the word W ND: total number of documents

The calculated value of TD-IDF is used to weight each word P(WnlC), and unknown documents are then classified on the basis of the values obtained.

The foregoing algorithm was then implemented in the naïve Bayes filter. The following is an example of how this system improved the identification rate. The following quality information was not classifiable in Analysis 1, but it was classified under "pressure sensor" as a result of Analysis 2.

Customer: CUSTOMER STATES SERVICE ENGINE SOON LIGHT IS ON.

Technician: CONFIRMED COMPLAINT FOUND CODE P 0847 FLUID PRESS SEN SW B PERFORMED ESM DIAG FOUND TEST RESULTS OUT OF SPECS.

Under the perfectly matching conditions of Analysis 1, P0847 and pressure sensor were registered, but a space

[Technician] CONFIRMED COMPLAINT FOUND CODE P 0847 FLUID PRESS SEN SW B PERFORMED ESM DIAG FOUND TEST RESULTS OUT OF SPECS

Analysis1の完全一致条件は、「P0847」と「PRESSURE SENSOR」が登録されていたが、分析情報では、スペー スが間に含まれていることと、省略された表記となってい るため、条件に合致せず分類不可となった.

しかしAnalysis2では、『Pressure sensor』の教師デー タに同じ単語列を含んだ文書が登録されていたため、分 類が可能となった.

人間は経験的にPRESS SEN = PRESSURE SENSOR と読み替えられるが、機械は同じような読み替えは通常 できない.しかし、機械に十分なデータを与えて学習させ ることにより、上記の例のように人間と同じように判断させ ることが可能となった.

7. 分類性能評価と実務適用

機械学習モデルの性能評価は、精度と再現率の調和 平均であるF1-measureu(マイクロ平均)により行った。

適合率(Precision)は、陽性と判定されたサンプルのう ち、実際に正解が陽性である率(誤検出の少なさ)で、式 (5)で表される.

再現率(Recall)は、正解が陽性であるサンプルのうち、 正しく陽性と判定された率(見落としの少なさ)で、式(6) で表される.

カテゴリ数をNとした時、F1-measureu(マイクロ平均) は式(7)で表せる.

$$Precision_{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^{N} TP_{i}}{\sum_{i=1}^{N} (TP_{i} + FP_{i})} \quad (5) \quad Recall_{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^{N} TP_{i}}{\sum_{i=1}^{N} (TP_{i} + FN_{i})} \quad (6)$$
$$F1 - measure_{\mu} = \frac{2Recall_{\mu} \times Precision_{\mu}}{Recall_{\mu} + Precision_{\mu}} \quad (7)$$



		Actual	
		Positive Category C	Negative Not Category C
Duadiat	Positive	True Positive	False Positive
	Category C	(TP)	(FP)
Treater	Negative	False Negative	True Negative
	Not Category C	(FN)	(TN)

was included in the code notation and the description was abbreviated in the quality information. Consequently, this case was unclassifiable because it did not match any of the conditions.

However, in Analysis 2, documents containing the same string of words, "pressure sensor", were registered in the training data, making it possible to classify this case.

Humans would know from experience that "press sen" can be read as pressure sensor, but a machine cannot ordinarily make this same substitution. However, applying sufficient training data to a machine enables it to learn to make the same judgment in this case as humans would.

7. Classification Performance Evaluation and Practical Application

The performance of the machine learning model was evaluated on the basis of the F1-measure μ (micro-average), which is the harmonic average of precision and recall. Precision is expressed by Eq. (5) below where it indicates the rate of correct positive results among all the samples judged to be positive (i.e., few false detections). Recall refers to the rate of correct positive results among all the correct positive samples (i.e., few oversights) and is expressed by Eq. (6).

Letting N represent the number of categories, the F1measure μ is expressed by Eq. (7).

$$Precision_{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^{N} TP_{i}}{\sum_{i=1}^{N} (TP_{i} + FP_{i})} \quad (5) \quad Recall_{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^{N} TP_{i}}{\sum_{i=1}^{N} (TP_{i} + FN_{i})} \quad (6)$$
$$F1 - measure_{\mu} = \frac{2Recall_{\mu} \times Precision_{\mu}}{Recall_{\mu} + Precision_{\mu}} \quad (7)$$

The validation results for the model showed that F1measure $\mu = 0.86$ (86%), thus confirming that the model has the same level of performance as the results of analyses performed by employees.

However, there was concern that, with the algorithm described above, quality information would be classified under one of the categories regardless of how low the precision was. Consequently, even unknown cases would be buried in an existing category. To prevent that, a threshold value was additionally defined for the identification rate so that identification rates below the threshold value would be processed as being unclassifiable (Fig. 5).



Fig. 4 Configuration of automatic analysis system (2)

検証の結果 F1-measure µ = 0.86 (86%) となり、ひ とで行っていた分析結果と同等レベルの性能であること を確認できた.

ただし、上述のアルゴリズムでは、どんなに適合確率が 低くても、いずれかのカテゴリに分類されてしまうため、未 知案件が出現しても既知カテゴリに埋もれてしまう懸念が ある. そこで、判定確率にしきい値を設定し、しきい値以 下の判定は分類不可とする処理を追加した(Fig. 4).

調整の結果、判定率はAnalysis1では41%であったが、 Analysis2により84%となり、本システムの有効性が確認 できた.

効率化の効果は大きく,従来のひとによる分析では毎 月100時間程度必要であったが、本システムを利用する ことで、5分程度で分析結果を得られるようになった.

8. まとめ

AIを活用した自動分析システムの開発により、分析作 業の効率化が実現でき、市場品質の全容把握が容易に なった.また、分析要領を見える化し機械的に分析を行 うことにより、ひとに依存する分析結果の差異を解消する ことができた. さらに, 自動分類されなかった案件を重点 的に分析することにより,新規課題の早期発見,早期対 策に注力することが可能となった.

今後は機械学習による異常検知等を適用し,新規課 題への対応のさらなる早期化に貢献していきたい.

最後に本システム構築に多大な助力をいただいた関 係諸氏に感謝の意を表す.

As a result of this adjustment, the identification rate in Analysis 1 that was 41% previously was improved to 84% by Analysis 2, thereby confirming the utility of this system.

This system has had a large effect on improving efficiency. Previously, analyses conducted by employees required about 100 hours a month. The use of this system enables the evaluation results to be obtained in around five minutes

8. Conclusion

The development of this automatic analysis system utilizing AI has improved the efficiency of analysis work, making it possible to grasp the whole picture of product quality in the market. In addition, the previous differences in analysis results among different employees have been eliminated by visualizing the analysis procedure and conducting analyses automatically. Moreover, prioritizing the analysis of cases that cannot be classified automatically has made it possible to concentrate on the early discovery and early resolution of new issues,

In future work, we intend to apply machine learning to other tasks, such as the detection of abnormal conditions, so as to contribute to even quicker resolution of new issues.

In conclusion, the author would like to thank everyone involved for their invaluable cooperation with the development of this automatic analysis system.

9. 参考文献

(1) scikit learn Feature extraction http://scikit-learn.org/stable/modules/feature_ extraction.html (2)Wikipedia 単純ベイズ分類器, tf-idf (3)朱鷺の杜Wiki http://ibisforest.org/index.php?F%E5%80%A4

Author



Hideaki BUSAKA

9. References

- (1) scikit-learn, Feature extraction, http://scikit-learn.org/ stable/modules/feature_extraction.html
- (2) Wikipedia, Naïve Bayes classifier, tf-idf.
- (3) Tokinomori Wiki



日産自動車向け Infiniti QX50 用 Jatco CVT8 (JF017E)の紹介

Introducing the Jatco CVT8 (JF017E) for Nissan's New Infiniti QX50

2018年2月に米国で発売された日産自動車株式会社の 新型車「Infiniti QX50」にJatco CVT8(JF017E)が搭載さ れました.

JF017Eの低フリクションとワイドレシオカバレッジの特長を 生かし、新開発したロックアップ制御と、変速の安定性を 高めつつ, 高応答な変速を両立させたコントロールバルブ による変速制御等により,世界初の量産型可変圧縮比エ ンジン「VCターボ」の性能を引き出し、運転性能のフィーリ ング向上とカテゴリートップレベルの燃費性能の実現に貢 献しています.

また、シフトバイワイヤーシステムに対応し、商品力の向 上も担っています.



Fig. 1 Main cross-sectional view

The Jatco CVT8 (JF017E) is installed on the new generation of the Infiniti QX50 that Nissan Motor Co., Ltd. released in the U.S. in February 2018. Effective use is made of the JF017E's distinctive low friction characteristic and wide ratio coverage to bring out the full performance of the VC-Turbo engine, the world's first mass-produced variable compression ratio engine. This is mainly accomplished through the newly developed torque converter lockup control and the control valve-based shift control that reconciles fast shift response with improved shift stability. As a result, the JF017E contributes to the attainment of an enhanced feeling of driveability and toplevel fuel economy in this vehicle category.

In addition, the JF017E is compatible with a shiftby-wire system for improved product appeal and competitiveness.

Motor Actuator Assy	Tal
A MARK	Torq
AL AUR	Torq size
	Pulle
	Ratic
a tak had p	Final
New Control Valve Assy	Num
	Over
	Weig

Fig. 2 Exterior of JF017E

ble 1 Specifications of JF017E

Torque capacity	380 Nm
Torque converter	236 mm
size	
Pulley ratios	2.413-0.383
Ratio coverage	6.3
Final gear ratio	5.846
Number of selector	4 (P, R, N, D)
positions	+Shift By Wire
Overall length	370.0 mm
Weight (wet)	100.0 kg

Introduction on Products

商品紹介

2017年11月に欧州、2018年1月に北米、そして3月に日本 で発売された三菱自動車工業株式会社の新型車「エクリ プスクロス」にJatco CVT8(JF016E)が搭載されました.

JF016Eの低フリクションとワイドレシオカバレッジの特長と 大幅に見直した変速制御(ソフトウェア)により,新型4気筒 のダウンサイジングターボエンジンとあわせ、 燃費性能と運 転性能の向上に貢献しています.

特に新開発の制御による「加速意図の強い追い越し加 速」と「中・高速定常走行」の運転性向上は、お客さまか ら高い評価を得ています.



Fig. 1 Main cross-sectional view

Typical model fitted with the JF016E CVT



Mitsubishi ECLIPSE CROSS



Typical model fitted with the JF017E CVT

Infiniti QX50



三菱自動車向け エクリプス クロス用 Jatco CVT8(JF016E)の紹介 Introducing the Jatco CVT8 (JF016E) for the Mitsubishi ECLIPSE CROSS

The Jatco CVT8 (JF016E) is mounted on the new ECLIPSE CROSS that Mitsubishi Motors Corp. released in Europe in November 2017, in North America in January 2018 and in Japan in March 2018. Featuring low friction, wide ratio coverage and extensively improved shift control software, the JF016E contributes to improving fuel economy and driveability together with a new downsized turbocharged 4-cylinder engine. The newly developed shift control software notably improves driveability for passing acceleration where the driver desires strong acceleration and also in steady medium to high speed driving. This performance has been highly acclaimed by vehicle owners.

Table 1 Specifications of JF016E

Torque capacity	250 Nm
Torque converter size	236 mm
Pulley ratios	2.631 - 0.378
Ratio coverage	7.0
Final gear ratio	6.386
Number of selector positions	4 (P, R, N, D) +Manual shift mode
Overall length	366.0 mm
Weight (wet)	94.2 kg

2017年のトピックス

Highlights of 2017

1. 各国モーターショーへの出展

3月31日~4月9日に,韓国国際展示場で開催された「ソ ウルモーターショー2017」に出展した. 韓国内に開発・ 営業拠点を持つ当社は2年に1度の開催時には毎回出展 しており、今回で7回連続の出展となった.

また、4月19日~28日に、上海の国家会展中心で開催さ れた「上海モーターショー2017」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.

さらに、10月25日~11月5日に東京ビッグサイトで開催 された「第45回東京モーターショー2017」にも出展した. 「JATCO future vision」をテーマに、電動化、自動運転、 コネクティッドと大きく変わろうとしているモビリティ社会に おいても、クルマの進化に合わせてトランスミッションも進 化していくため、今後もジャトコは挑戦し続けるというメッ セージを発信した.

11月17~26日に、「第15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(11月17~19日)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た.



2. JSAE主催イベントへの参加と支援

5月24日~26日にパシフィコ横浜で、6月28日~30日にポー トメッセ名古屋で、それぞれ開催された「人とくるまのテ

1. JATCO exhibits at various motor shows

JATCO presented a booth at the Seoul Motor Show 2017 held at the Korea International Exhibition Center from March 31 to April 9. JATCO has participated every time in this biennial motor show organized in South Korea where the company has engineering and sales offices. This was JATCO's seventh consecutive time to exhibit products at this event.

JATCO also exhibited products at Auto Shanghai 2017 held at the National Exhibition and Convention Center in Shanghai from April 19-28. China is one of the most important markets for JATCO's future growth. By presenting a booth at this motor show, JATCO publicized its contributions to the development of China's motorized society by providing CVT technologies with outstanding benefits for vehicle fuel economy and driveability.

Moreover, JATCO also presented a booth at the 45th Tokyo Motor Show 2017 held at the Tokyo Big Sight from October 25 to November 5. Under the theme of "JATCO's Future Vision," JATCO sent a message that the company will continue to undertake the challenge of evolving its transmissions to match the evolution of vehicles in the mobility industry now undergoing profound changes due to electrification, autonomous driving and connectivity.

The 15th China Guangzhou International Automobile Exhibition (Auto Guangzhou) was held at the China Import and Export Fair Complex in Guangzhou from November 17-26, 2017. JATCO had a booth at the International Auto Parts & Accessories Exhibition from November 17-19. The exhibits mainly featured the Jatco CVT7, Jatco CVT8, Jatco CVT7 W/R and other units produced at JATCO Guangzhou.

2. Participation in and support for JSAE-sponsored events

JATCO presented a booth at the 2017 Automotive Engineering Exposition held at the Pacifico Yokohama Exhibition Hall from May 24-26 and at the Nagoya International Exhibition Hall (Portmesse Nagoya) from June 28-30. Through displays of the latest CVT technologies related to vehicle fuel economy and driveability, JATCO introduced the strengths of CVTs and the enormous 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 ンのクルマの性能への多大な貢献を紹介した.

また. 8月5日. 6日にパシフィコ横浜で開催された「キッ ズエンジニア2017」に出展した.「遊星ギヤって何だろ う?」のプログラムを通じ未来のエンジニアへ遊星ギヤの 仕組みを説明した. クルマの仕組みから環境問題まで, クルマを中心としたさまざまな分野の科学技術について, 体験教室や展示プログラムなどで学べるこのイベントを当 社は2008年の開催当初から支援している.

9月5日~9日に小笠山総合運動公園(ECOPA)で「第 15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、両社が技術支援を実施した名城大学、千葉工業 大学はともに昨年よりも好成績を残した.

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15件の学術論文発表を実施した. 最新 のCVT制御技術, 生産技術, CAE技術, 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、米国、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

7月5日・6日に独ボンで「第17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 運転性に優れたトルコンの新ロックアップ制御の技術講 contributions that the transmission makes to vehicle performance.

In addition, JATCO also had a booth at Kids Engineering 2017 that was held at the Pacifico Yokohama Exhibition Hall on August 5-6. JATCO's program entitled "What is a planetary gearset?" explained the mechanisms of a planetary gearset to future engineers. JATCO has been a supporter of this event since it was first organized in 2008. Hands-on classroom activities, demonstration programs and exhibits enable the participants to learn about science and technology in various technical fields centered on vehicles, ranging from vehicle mechanisms to environmental issues.

The Ogasayama Sports Park (ECOPA) was the venue for the 15th Student Formula SAE Competition of Japan from September 5-9, 2017. JATCO and JATCO Engineering provided support for this competition, and employees also contributed to it by serving as judges. Meijo University and Chiba Institute of Technology, which received technical support from the two companies, both made an excellent showing that was even better than last year.



3. Participation in SAE conferences in various countries

JATCO employees presented a total of 15 technical papers at SAE conferences organized in the U.S., China, South Korea and Japan. These presentations introduced JATCO's activities in a wide range of technical fields, including the latest CVT control technologies, production engineering technologies, CAE tools, and measurement techniques, among other areas. Moreover, JATCO also presented a booth at the SAE Congresses held in Japan, the U.S. and China, giving visitors an opportunity to recognize the outstanding fuel economy and superb driveability achieved with CVTs.

演を実施した. また. 欧州でも注目が高まるCVTは. VDI においても10月10日・11日に今年からCVT会議単独で 開催され、当社常務執行役員が48Vマイルドハイブリッド に対応するCVTに関する基調講演を実施したほか. 当 社社員が新データロガーのインターネット活用によるCVT 開発の技術講演を行った.

また、9月13~15日に独ミュンヘン郊外で行われた「第 7回VDIギアカンファレンス」では、当社社員が田口メソッ ドを使用したホブ加工解析とホブ加工条件による歯元強 度影響解析の2件を発表した.

5. CTI講演会への参加

5月15日~18日に米ミシガン州のノバイで「第11回CTIシン ポジウムUSA が開催され、ジヤトコは、当社専務執行役 員が当社のグローバル品質管理の基調講演を,また当社 社員がトルコンの新ロックアップ制御. インターネットを利用 した新データロガー、リアルワールドにおけるトランスミッショ ンタイプ別パフォーマンスの3件の技術講演を行った.

9月25日~27日に中国上海で開催された「第6回CTIシ ンポジウムChina」で、ジヤトコ広州の開発責任者がジヤ トコの中国における開発・生産の取り組みについて講演 した.また、当社社員がトランスミッションの新ベンチマー キングツールの技術講演を行った.

12月4日~7日に独ベルリンで開催された「第16回CTIシ ンポジウム」で、当社役員がパワートレインの電動化時代 におけるCVTについて基調講演を実施した.また.当社 社員が非接触でのCVTチェーンの計測手法, トランスミッ ションの新ベンチマーキングツールの2件の技術講演を 行った.



4. Participation in VDI conferences

The 17th International VDI Congress "Drivetrain for Vehicles" was held in Bonn, Germany, on July 5-6, 2017, sponsored by the Verein Deutscher Ingenieure (The Association of German Engineers). A JATCO employee gave a technical presentation on the company's new torque converter lockup control that contributes to outstanding vehicle fuel economy and driveability. Amid the rising interest in CVTs even in Europe, VDI held a special conference this year dedicated to "CVT in automotive applications" on October 10-11. A JATCO executive delivered a keynote speech concerning the suitability of CVTs for 48V mild hybrids, and a JATCO employee also gave a technical presentation on CVT development activities using a new Internet-based data logger.

In addition, two JATCO employees gave presentations at the 7th VDI International Conference on Gears 2017 held in a suburb of Munich, Germany, on September 13-15. One presentation dealt with the use of the Taguchi Method to analyze the hobbing process and the other one concerned an analysis of the effect of hobbing conditions on gear tooth root strength.



5. Participation in CTI Symposiums

A JATCO executive delivered a keynote speech on the company's global quality control activities at the 11th CTI USA Symposium held in Novi, Michigan, on May 15-18, 2017. Three JATCO employees also gave technical presentations explaining the company's new torque converter lockup control, new Internet-based data logger, and the real-world performance of different types of automotive transmissions.

At the 6th CTI China Symposium held in Shanghai, China, on September 25-27, 2017, an employee responsible for development activities at JATCO Guangzhou gave a

6. AT, CVTのグローバル累計生産台数1億台を達成

3月末、当社が生産したステップATとCVTの累計生産 台数が1億台に達した.

ステップATは、1967年4月に日産吉原工場で生産を開始 したRWD車用3速AT「3N71」(日産:「ダットサン サニー 1000」向け)に始まり、1989年に世に送り出し、現在に至る ステップATの多段化を加速するきっかけとなった世界初の 電子制御RWD車用5速ATやFWD車用6速AT, RWD車 用7速AT, RWDハイブリッド車用7速ATなど約6,500万台.

CVTにおいては、1997年に世界初の2リッタークラス金属 ベルト式CVT「F06A」(日産:「プリメーラ」向け)によって現 在にいたるCVT時代の幕が開いた. 2004年に市場投入し た中型FWD車用CVT「JF011E」は、累計生産台数1,300 万台のベストセラーとなり多くの車種に搭載されてCVTの 市場拡大に大きく貢献した.また、2009年に軽・小型車用 に世界初の副変速機付CVT「Jatco CVT7」を市場投入す るなど、CVTのパイオニアとして常に業界をリードしてきた. 世界的なCVT需要拡大に対応するため、2005年11月には メキシコで、2009年9月には中国で、2013年7月にはタイで 生産を開始し、グローバルな生産体制を構築している.海 外累計生産台数は1,400万台を超えた. 海外生産を含め CVTのグローバル累計は約3,500万台となっている.

7. ジヤトコ広州 10周年記念式典開催

2007年創立されたジヤトコ広州は2017年に10周年を 迎え、その記念式典が6月28日に現地にて行われた. カー メーカーやサプライヤーの来賓の方々、ジヤトコ広州の 歴代社長らを迎え盛大に執り行われ,伸び行く中国市場 での一層の発展を誓った.



presentation on JATCO's development and production activities in China. A JATCO employee also gave a technical presentation on a new transmission benchmarking tool.

A JATCO executive delivered a keynote speech on the role of CVTs in the age of powertrain electrification at the 16th International CTI Symposium held in Berlin, Germany, on December 4-7, 2017. In addition, two JATCO employees gave technical presentations on a new non-contact method for measuring the CVT chain and on a new transmission benchmarking tool.

6. Cumulative global AT and CVT production reaches 100 million units

At the end of March 2017, JATCO's cumulative global production of stepped ATs and CVTs reached 100 million units. Production of stepped ATs began at Nissan's Yoshiwara Plant in April 1967 with the 3-speed 3N71 for rear-wheeldrive (RWD) vehicles and used on Nissan's Datsun Sunny 1000. In 1989, JATCO released the world's first electronically controlled 5-speed AT for RWD vehicles, which served to accelerate the addition of more speeds to stepped ATs, leading to the present AT models. It subsequently led to a 6-speed AT for front-wheel-drive (FWD) vehicles, a 7-speed AT for RWD vehicles, and a 7-speed AT for RWD hybrid vehicles, among other units, which have recorded cumulative sales of approximately 65 million units.

As for CVTs, the curtain of the present CVT age opened in 1997 with the F06A CVT, the world's first 2-liter-class steel-belt CVT that was used on the Nissan Primera. The JF011E CVT that was released in 2004 for midsize FWD vehicles became a best seller and was mounted on many vehicle models. With a cumulative production volume of 13 million units, the JF011E contributed greatly to expanding the CVT market. In 2009, JATCO put on the market the Jatco CVT7, the world's first CVT with an auxiliary gearbox and designed for use on minivehicles and small cars. With these and other CVT models, JATCO has consistently led the industry as a CVT pioneer.

In order to meet the expanding global demand for CVTs, JATCO has put in place a global production network by launching CVT production in Mexico in November 2005, in China in September 2009, and in Thailand in July 2013. Cumulative overseas production has surpassed 14 million units. Together with the overseas production volume, JATCO's cumulative global CVT production has reached approximately 35 million units.

8. 資源循環技術・システム表彰受賞

ジヤトコは、「平成29年度 資源循環技術・システム表 彰|(主催:一般社団法人産業環境管理協会,後援: 経済産業省)において、経済産業省産業技術環境局長 賞を受賞した. 今回の受賞は、当社が1989年から28年 間にわたり取り組んでいる、ステップATとCVTのリマニュ ファクチャリングの技術が、環境資源の効率的な利用に 大きく貢献していると評価されたことによるものである. ま た、当社はリマニュファクチャリングしやすい部品設計、 修理しやすい構造設計にも取り組んでおり、今後一層、 資源の有効活用に貢献していく.



9. 各種受賞

ゼネラルモーターズ(GM)社から、2016 GM Supplier of the Year Awardsを受賞し3月30・31日に授賞式が行 われた. この賞は、GM社が取引サプライヤーを定期的 に評価しているStrategic Supplier Engagement (SSE)の 結果などをもとに、1年に1回選出される。約1万社にも上 るGM社のサプライヤーのうち約100社のみという狭き門 を通っての受賞は当社の総合的なパフォーマンスが評価 されたものである.

9月28・29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「ドッ キングアップ」が協会特別賞を受賞した.また、OCサー クル大会においては、7月の全国大会でヤッターマンサー クルが、9月の全国大会でコスモワールドサークルが、そ れぞれ感動賞を受賞. さらに、6月の京滋地区大会で TENKISYOUサークルが感動賞を、7月の東海支部選抜 大会でODGサークルが特別賞を受賞した.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

7. JATCO Guangzhou holds 10th anniversary celebration

Established in 2007, JATCO Guangzhou celebrated its 10th anniversary in 2017 by holding a commemorative ceremony locally on June 28. Among those attending the grand celebration were guests from vehicle manufacturers and suppliers as well as the successive presidents of JATCO Guangzhou. The company pledged to achieve further growth in China's expanding automotive market.

8. Recipient of the awards program for Resources Recirculation Technologies and Systems

JATCO received an Award of the Director-General of the Industrial Science and Technology Policy and Environment Bureau, Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) under the FY 2017 awards program for Resources Recirculation Technologies and Systems. This program is organized by the Japan Environmental Management Association for Industry and is supported by METI. JATCO was honored with this award because the company's remanufacturing technologies for stepped ATs and CVTs were highly evaluated for contributing substantially to the efficient use of environmental resources. JATCO has been working on re-manufacturing technologies for 28 years since 1989. In addition, JATCO has also been promoting part designs for easy re-manufacturing and structural designs for easy repairs. JATCO intends to contribute even more to effective utilization of resources in the years ahead.

9. Various awards received by JATCO

JATCO received a 2016 GM Supplier of the Year Award from General Motors and a presentation ceremony was held on March 30-31, 2017. The recipients of this award are selected once a year based largely on the results of the Strategic Supplier Engagement program under which GM regularly evaluates its suppliers. It is only given to approximately 100 companies among GM's some 10,000 suppliers. This difficult-to-win award attests to the high evaluation given to JATCO's overall performance.

The Karakuri Kaizen Exhibition was held at the Nagoya International Exhibition Hall (Portmesse Nagoya) on September 28-29, 2017. Among the eight exhibits presented by JATCO, the "docking improvement" innovation was awarded the Special Prize by the Japan Institute of Plant Management. In QC activities, the Yatterman QC Circle

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. ジヤトコ広州が中国自動車業界トップ10ブランド受賞

9月9日、香港で行われた「第12回アジアブランドセレモ ニー |で、ジヤトコ広州が「中国(業界)十大リーダーブラン ド」(中国自動車業界でトップ10のブランド力)を受賞した. アジアブランドセレモニーは、中国におけるアジアブランドの ランキングを決める指標とされ、今年で12回目、中国にお けるジャトコブランドの価値を示す栄えある受賞となった.

11. 本社ロビーエントランスをリニューアル

3月. 本社のロビーエントランスを13年ぶりにリニューア ルした. ジヤトコでは近年ブランドイメージを統一し, 社内 外のみなさまに一貫性をもったジャトコブランドを伝える活 動を行っている. 今回のリニューアルはその一環であり、 お客さまがジヤトコに接する最初のポイントであり、「ジヤ トコブランド」を発信するための大切な場所としてふさわ しいものとなるよう行われたものである.



received the Most Impressive Award at the National QC Circle Congress in July and the Cosmo World QC Circle received the same award at the National QC Circle Congress in September. In addition, the Tenkisyou QC Circle won the same award at the Keiji Region QC Circle Congress in June and the ODG QC Circle won the Special Prize at the Tokai Chapter Invitational Congress in July. These awards for the Karakuri Kaizen that have no particular power source or control devices and QC circle activities to improve quality on the shop floor were presented based on the high evaluation of JATCO's commitment to quality in production workplaces and outstanding creativity for making improvements.

10. JATCO (Guangzhou) receives Chinese Auto Industry Top 10 Brand Award

At the 12th Asian Brand Ceremony held in Hong Kong on September 9, 2017, JATCO Guangzhou received a Top Ten Brand Power Award, recognizing JATCO as being a leading brand in China's automotive industry. The Asia Brand Ceremony has been organized twelve times to date and is regarded as an indicator determining the ranking of Asian brands in China. This prestigious award attests to the value of the JATCO brand in China.



11. Renewal of Head Office lobby entrance

The lobby entrance at the Head Office underwent a renewal for the first time in 13 years in March 2017. In recent years, JATCO has been proceeding with activities to unify its brand image so as to convey a consistent impression of the JATCO brand to everyone inside and outside the company. This renewal of the lobby entrance is one part of that effort. As the first point of contact with JATCO for visiting customers and others, the entrance has been appropriately renewed as a key spot for conveying the JATCO brand.

特許紹介

出願番号

特許番号

登録日

発明者

出願日

1. 油圧スイッチの故障判定装置

: 特願 2013-203568 号

:特許第 6006884 号

発明の名称:油圧スイッチの故障判定装置

: 2013.9.30

: 2016.9.16

: 嶌津尊充,

伊藤洋次

特

許

(Fig. 1)

紹

Patents

介

Application Date:

Registration Date:

Patent Number:

Title:

Inventors:

Application Number: 2013-203568



【発明の概要】

自動変速機の油圧回路では油圧振動が発生することが 知られており、この油圧振動が油圧スイッチのオンオフの 切り替わる閾値に重なると、油圧スイッチから出力される 信号がオンとオフとを繰り返すいわゆるチャタリングが発 生する. 油圧スイッチのチャタリングが発生すると, 作動 油圧の状態を誤って検出し油圧制御に影響を及ぼすこ とがある.

本発明の目的は、油圧スイッチの故障判定装置において 誤判定を防止することである.

本発明によれば、ソレノイド弁と前記摩擦締結要素との 間に介装され、作動油圧が所定の閾値以上でオンオフ 信号を出力する油圧スイッチと、 ソレノイド弁の作動状態 と油圧スイッチの信号とに基づいて油圧スイッチの故障 を判定する故障判定手段とを備え、故障判定手段は所 定の走行条件が成立したときに供給電流を所定電流値 以下に制御して前記油圧スイッチの故障を判定する. これによりチャタリング発生時における作動油圧の状態の 誤検出を防止できる.

(SUMMARY OF THE INVENTION)

1. Hydraulic switch malfunction assessment device

30.9,2013

6006884

16.9.2016

Youji Itou

assessment device

Takamitsu Shimazu,

Hydraulic switch malfunction

(Fig. 1)

A hydraulic switch malfunction assessment device includes a solenoid valve disposed in a hydraulic circuit of an automatic transmission and having a characteristic such that a hydraulic pressure supplied to a frictional engagement element changes due to a change in an electric current supplied to the solenoid valve, and a hydraulic switch interposed between the solenoid valve and the frictional engagement element and configured to output an ON signal when the hydraulic pressure is higher than or equal to a threshold value and output an OFF signal when the hydraulic pressure is less than the threshold value. Also provided is a controller configured to control the supplied current to a prescribed current value or less when a predetermined running condition has been met, and then assess a malfunction of the hydraulic switch, based on a state of operation of the solenoid valve and the signal from the hydraulic switch.



(Fig. 2)

2. 無段変速機の変速制御装置

出願番号 : 特願 2013-165601 号 出願日 : 2013.8.8 特許番号 :特許第 5941882 号 登録日 : 2016.5.27 発明の名称:無段変速機の変速制御装置 発明者 :本間知明, 小林隆浩

2. Transmission control device for continuously variable transmission (Fig. 2) Application Number: 2013-165601 8.8.2013 Application Date: 5941882 Patent Number:

Registration Date: 27.5,2016 Title: Transmission control device for continuously variable transmission Inventors: Tomoaki Honma, Takahiro Kobayashi

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明の目的はエンジンのトルク制御との整合を確保し、 変速ショックを確実に抑制する.

【発明の概要】

本発明によれば、変速速度の遅い第一走行モードでの 第一の第一走行モード時に変速比の保持及び第一変 速速度によるアップシフトを行い車速を増大させつつアッ プシフト時にエンジントルクを減少させる第一疑似有段 アップシフト制御を実施する第一制御手段と、第二走行 モード時に変速比の保持及び第二変速速度によるアップ シフトを行い車速を増大させつつアップシフト時にエンジ ントルクを減少させる第二疑似有段アップシフト制御を実 施する第二制御手段と, 走行モードの切替と第一制御 手段及び第二制御手段の制御状態とに応じて二つの疑 似有段アップシフト制御の切替を制御する第三制御手段 とを備える. 第三制御手段は第一疑似有段アップシフト 制御でのアップシフト中に走行モードが第二走行モード へ切り替えられた場合、アップシフトが完了するまでは第 一疑似有段アップシフト制御を維持する. 疑似有段アッ プシフト制御におけるアップシフト中に運転者が走行モー ドを切り替えた場合は、第一の疑似有段アップシフト制 御が維持される. これにより, アップシフトの途中で速い 変速速度に変化することがないため, 疑似有段アップシ フト制御とエンジンのトルク制御との整合性を確保するこ とができ、変速ショックを確実に抑制できる.

First control unit performing first pseudo stepwise upshift control that, in first travelling mode, increases vehicle speed while performing hold of transmission ratio and up-shift by first shifting speed and reduces engine torque upon up-shift, second control unit performing second pseudo stepwise up-shift control that, in second travelling mode, increases vehicle speed while performing hold of transmission ratio and up-shift by second shifting speed and reduces engine torque upon up-shift, and third control unit controlling change of travelling mode and switch between two pseudo stepwise up-shift controls according to control states of first and second control units, are provided. When travelling mode is changed to second travelling mode during progress of up-shift in first pseudo stepwise up-shift control, third control unit maintains first pseudo stepwise up-shift control until up-shift is completed. With this, harmonization between pseudo stepwise up-shift control and engine torque control is secured, then shift shock is suppressed.



Fig. 2

発行人(Issuer)

大曽根竜也 CTO Tatsuya OSONE Chief Technical Officer

編集委員会(Editorial Committee)

株式会社

東京都三鷹市牟礼 6丁目 25 番 28 号

編集長(Chief Editor)	副編集長(Deputy Editor)		
日 比 利 文 Toshifumi HIBI	未来技術センター Future Technology Center	法 谷 和 ジ Kazunori SHIBUY	徳 グローバル広報部 A Global Communications Department	
委員(Members)				
鈴木義友 Yoshitomo SUZUKI	技術統括部 Engineering Management Department	梅里和 Kazuo UMESATC	生 開発部門 R&D Division	
杉本正毅 Masaki SUGIMOTO	技術統括部 Engineering Management Department	藤森直 Naoki FUJIMORI	樹 国内営業部 Domestic Sales Department	
森本功 Isao MORIMOTO	調達管理部 Purchasing Administration Department	松田 Hiroshi MATSUD/	浩 お客さま品質保証部 A Customer Quality Assurance Department	
太田進 Susumu OOTA	R&D マネージメント部 知的財産管理室 IP Management Office			
編集(Editor)				
和 田 彩 子 Ayako WADA	グローバル広報部 Global Communications Department			
ジヤトコ・テク、	ニカル・レビュー No.17	JATC	O Technical Review No.17	
© 禁禁 発行7 2018 発行所ジヤト グロー 〒 222 神奈J	無断転載 年2月 ・コ株式会社 -バル広報部 2-0033 川県横浜市港北区新横浜 2-8-12	Fel Distributor Glo JA 2-8 Yo	bruary, 2018 obal Communications Department TCO Ltd 8-12 Shin-Yokohama, Kohoku-ku, kohama City, Kanagawa, 222-0033, Japan	
TEL: FAX: 印刷所E-グ	045-286-0386 045-473-8107 ラフィックス コミュニケーションズ	Copyrights Of A Have Been Pres	All Articles Described In This Review erved By JATCO Ltd. For Permission	

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.