

CONTENTS

巻頭言 / Preface

「今またモノづくり」

Focusing on Mono-Zukuri again today

石田 繁夫 1

Shigeo ISHIDA

寄稿 / Contribution

高精度歯車

- 歯車精度と性能の関係および精度確認法 -

久保 愛三 3

Prof. Dr. Aizoh KUBO

特集 ジャトコのよいモノづくり / Special Feature: Jatco's fine 'Mono-Zukuri'

1. JEPS ジャトコ生産方式の概要

Overview of Jatco Excellent Production System

海老原 靖弘 11

Yasuhiro EBIHARA

2. アクチュアル順序生産及び供給方式

Just-in-sequence Production and Delivery

塩谷 和徳 18

Kazunori SHIOYA

3. 熱処理シミュレーションの開発と展望

Development of Heat Treatment Simulations and Their Application Prospects

Kouichi TANIGUCHI

4. CVT2組立部品指示システムの考え方とシステム構成，その効果について

Concept, Configuration and Benefits of the CVT2 Assembly Parts Instruction System

土屋 伸介 井上 智宏 斎藤 寿 佐藤 学 後藤 博 33

Shinsuke TSUCHIYA Tomohiro INOUE Hisashi SAITO Manabu SATO Hiroshi GOTO

5. 複合加工工具による切削加工表面層への圧縮残留応力生成とその制御

Control of Compressive Residual Stress in the Machined Surface Layer using a New Tool for a Combined

Cutting-Burnishing Process

瀬川 俊明 39

Toshiaki SEGAWA

論文・解説 / Technical Papers

1. 歯面強度に優れた浸炭窒化歯車用鋼の開発

Development of Carbonitrided Gear Steel for Excellent Tooth Surface Strength

吉田 誠 永濱 睦久 田中 敏行 新明 正弘 48

Makoto YOSHIDA Mutsuhisa NAGAHAMA Toshiyuki TANAKA Masahiro SHINMYOU

清田 祥司 加藤 直樹 渡辺 陽一

Syouji SEITA Naoki KATO Youichi WATANABE

2. トロイダルCVTのトラクション保証精度の向上による機能改善

Functional Improvement through Improved Measurement Accuracy for Ensuring Traction of Toroidal CVTs

手塚 晃典 吉田 久徳 杉野 史典 58

Akinori TEDUKA Hisanori YOSHIDA Fuminori SUGINO

TOPICS

2004 パリ・オートショー視察報告

2004 Paris Motor Show Highlights

小野田 司 65

Tsukasa ONODA

商品ラインナップ / Product Line-up	70
---	----

新商品紹介 / **Introduction of New Products**

1. 中型車用新型 CVTの開発 Development of a New CVT for Midsize Vehicles	
鈴木 明人 清水 健次 黒沢 実 齊藤 勤	71
Akito SUZUKI Kenji SHIMIZU Minoru KUROSAWA Tsutomu SAITOU	
浅野 日出夫 澤山 稔	
Hideo ASANO Minoru SAWAYAMA	
2. FF車用ベルトCVT F1C1の機能改良内容 Functional Improvement of Steel-belt F1C1 CVT for Front-drive Cars	
殿畑 厚 谷村 中	80
Atsushi TONOHATA Ataru TANIMURA	
3. FF車用4速AT RE4F03B改良型の紹介 Introduction of the improved 4 speed AT RE4F03B for Front-drive Cars	
岩谷 芳美 正尾 幸士	84
Yoshimi IWAYA Koji MASAO	
4. 150/180Nm FF車用スチールベルト式CVTの開発 Development of New 150/180-Nm Steel-belt CVTs for Front-drive Cars	
杉本 裕章	88
Hiroaki SUGIMOTO	

商品紹介 / **Introduction of Products**

1. FF車用4速AT JF405E-H の紹介	93
Introducing the JF405E-H 4-speed AT for Front-drive Cars	
2. FF車用4速AT JF405E-G の紹介	94
Introducing the JF405E-G 4-speed AT for Front-drive Cars	
3. FF車用4速AT JF405E-Q の紹介	95
Introducing the JF405E-Q 4-speed AT for Front-drive Cars	
4. FR車用4速AT JR405Eの紹介	96
Introducing the JR405E 4-speed AT for Rear-drive Cars	
5. FR車用4速AT JR405E-K の紹介	97
Introducing the JR405E-K 4-speed AT for Rear-drive Cars	
6. AWD車用5速ATの紹介	98
Introducing the 5-speed AT for AWD Cars	

事業所紹介 / **Introduction of Business Operation Office**

1. ジャトコ八木工場の紹介 Introducing JATCO's Yagi Manufacturing Department	加藤 裕之	99
	Hiroyuki KATOU	

特許紹介 / Patents	102
-----------------------------	-----

社外技術発表一覧 / List of Released Reports for Public	105
---	-----

巻 頭 言 Preface



「今またモノづくり」

Focusing on Mono-Zukuri again today
Mono-Zukuri: (Japanese) To create something

取締役 社長
President & CEO

石 田 繁 夫
Shigeo ISHIDA

1980年代日本の自動車産業が大きな発展を遂げ、日米自動車戦争とまで言われたことがありました。その解決も一つのきっかけではありましたが、日本の大手自動車会社が米国で自動車生産を開始しました。当時はアメリカの景気が下降線をたどり、治安も悪化したり、労働者がハンマーで日本車を壊すという場面がニュースで流れたりしたので覚えていらっしゃる読者も多いと思います。

当時米国ヴォーゲル教授の「Japan as No.1」とかハーバード大のキム・クラーク教授と当時ハーバード大留学中、現東京大学の藤本隆宏教授の「製品開発力」などで日本の産業、システムが賞賛され、日本の産業界も自信を深めたのです。

しかし、その後のバブル崩壊に端を発した「失われた10年」の間に、中国、韓国などの台頭もあり、日本の産業界の構造変化が起きてきているのは周知のとおりです。もはや日本の製造業は中国、韓国なしでは成り立たない状況です。

そして最近、日本経済の復活の中で、モノづくりへの関心が高くなっています。やはり日本の強さの源泉はモノづくりであると。

そんな中、昨年ジャトコの企業理念を見直しました。

「私たちジャトコはトランスミッションを開発・生産・販売することならびに企業活動そのものを通じて、お客様、クルマ文化、社会に価値を提供する」ことがジャトコの使命です。

During the 1980s, the Japanese automotive industry achieved such dramatic growth that it even sparked talk of a U.S.-Japan auto trade war. A desire to resolve that issue was also one of the factors that prompted Japan's leading automakers to begin building vehicles in the U.S. The U.S. economy at that time was following a downward curve, and public safety had also deteriorated. There are probably many readers who remember seeing the news about American workers destroying a Japanese car with a sledge hammer.

Around that time Harvard University professor Ezra F. Vogel published Japan as Number One, and Harvard Business School (HBS) professor Kim B. Clark and Takahiro Fujimoto, who was then a research associate at HBS and is now a professor at the University of Tokyo, wrote a book titled Product Development Performance. These publications highly praised Japanese industry and production systems, which strengthened the self-confidence of Japan's industrial circles.

However, in later years referred to as the "lost decade," beginning from the bursting of Japan's economic bubble in early 1990s, it is well known that Japanese industry underwent considerable structural changes, due in part to the rise of China and South Korea. Today, the state of Japan's manufacturing industry is such that it would no longer be viable without these two countries.

Amid the recent recovery shown by the Japanese economy, interest in Mono-Zukuri has been rising. As might be expected, the fountainhead of Japan's strength lies in Mono-Zukuri. Against that backdrop, we took another look at Jatco's corporate philosophy last year.

提供する価値とは「よいモノづくり」です。「よい」とは全員が参加し、価値を作りこむことです。

今なぜ、モノづくりなのかというと、私たちジャトコはモノづくりの会社だからというだけでなく、モノづくりが私たちの価値そのものでなければならぬと考えたからです。

ジャトコの商品であるトランスミッションはサプライヤや私たちの生産現場で毎日、毎時、毎分、毎秒造り込まれているわけですが、その毎日、毎時、毎分、毎秒の生産活動そのものが私たちジャトコの商品の価値の一部としての品質、コストを造りこむのです。また、他にも他より優れた性能であったり、ばらつきの少なさであったり、納入日程の正確さであったり色々の価値がありますが、これらの価値をお客様に提供していかなければなりません。即ち、私たち全員が商品の価値を上げることに関わっているのです。

これまで設計開発と生産技術はサイマルテニアスエンジニアリングとしてその部門間連携を進めてきましたが、最近のコンピュータ技術の発達と低廉化により、部門間連携という形から、本当のサイマル化、同期化が可能になってきています。また、今やトランスミッションの開発はエンジンとの協調は勿論のこと、車両開発とのコラボレーションが必須になってきました。従って、その開発の広がり、クルマ全体の理解と対応が我々トランスミッションの開発に必須となってきたと言えます。

同時に、トランスミッションから発想するのではなく、最終商品であるクルマからトランスミッションを考えるということが可能になってきているので、モノづくりに関わる全ての人が価値を同時に造り込むことが出来るのです。

従って、テクニカルレビューの巻頭言にモノづくりはアカデミックでなくそぐわないとお思いかも知れませんが、先に述べたように、敢えて「今またモノづくり」を考えようと読者に提言して筆を置きます。

Our mission at Jatco is "to provide value to our customers, automobile culture and society through our corporate activities, such as the development, production and sale of transmissions."

The value we provide is "Jatco's fine Mono-Zukuri". Fine refers to the creation of value through the contribution of all employees.

Why do we put focus on Mono-Zukuri again today? For one thing, Jatco is a Mono-Zukuri company. But much more than that, it is because we believe that Mono-Zukuri is the very value that we must deliver.

Jatco's products are transmissions that are being built in our and our suppliers' production processes every second of every minute of every hour of every day. These production activities build in the quality and cost that constitute one part of the value of Jatco's products. There are also various other forms of value that we provide, including outstanding performance (superior to the products of other makers), little variation in quality and precise/on time delivery. All of these different forms of value are what we must deliver to our customers. In other words, all of us are involved in enhancing the value of our products.

Our design, engineering and production engineering groups have so far been promoting cross-functional teamwork in the form of simultaneous engineering. Recent advances in computer technology and the lowering of computer prices have made it possible to progress from cross-functional teamwork to truly simultaneous and synchronized activities. Moreover, the development of new transmissions today requires not only coordination with engine development but also collaboration with vehicle body development. Accordingly, the expanding scope of development work has made it essential for us to have a good understanding of the entire vehicle and to factor various considerations into the development of our transmissions.

At the same time, it has also become possible now to consider a transmission from the standpoint of the vehicle as the final product, instead of simply as a gearbox. Consequently, this enables everyone engaged in the manufacture of our products to build in value simultaneously.

There may be some who might feel that manufacturing is not a suitable topic for the preface of a technical review because of its non-academic nature. I would like to conclude my remarks, however, with this proposal to the readers that now is precisely the time to consider a "focus on manufacturing" for the reasons I have outlined here.

高精度歯車

- 歯車精度と性能の関係および精度確認法 -



久保 愛三

Prof. Dr. Aizoh KUBO

1. はじめに

歯車の性能とは、小形軽量で、必要機能を長期にわたり発揮できる強度的信頼性と、滑らかで静かな運転特性を言うことが多い。歯車の性能を良くすることは、Fig. 1に示すように、歯車を用いた機械装置や設備に、より良い特性を実現するための空間や重量を分け与え、交通システム・生産システム・生活必需機械の動作を円滑にし、またその信頼性を向上させ、全産業のインフラの信頼性を向上させることに繋がる。また、滑らかで静かな運転は、特に交通機関においては乗り心地の改善に繋がり、また、入力に対してリニアな出力特性は、機械を操作する人間のフィーリングと機械との対話を喜びに変え、機械と人間との関係をより親しいものとする。このように、単に歯車、単にその性能の向上と言ったことも、人間の生活にとって極めて大きな関係を持つものであり、歯車性能向上には大きな社会性がある。

2. 歯車精度の意味

Fig.2は、4800kWの超大形の電気機関車の駆動歯車で経験した損傷を示す。歯の曲げ強さに対する安全性を確保する必要上、世界に例のないモジュール13mmが採用されたが、稼働後6ヶ月で全85両の機関車の駆動歯車が問題を起こし、一部のギヤボックスには亀裂が入った。歯面損傷は熱的損傷であるスカuffingの特徴が顕著であったため、潤滑油を安価なものから最高の合成潤滑油に変更し、同じ設計の歯車を新製して稼働に供した。寿命は明確に向上したが一年後に歯面をエッチング検査したところ、下図にあるようなスカuffing損傷の前兆が認められた。長期的対策としては、主として歯面の3次元マイクロ形状を最適化する改良設計を実施し、この歯車を稼働に供した。中心距離、歯幅や減速比などの歯車諸元は変更不可能であることが、この対策を採用した主たる理由である。問題はFig.3に示すように完全に解決した^[1]。

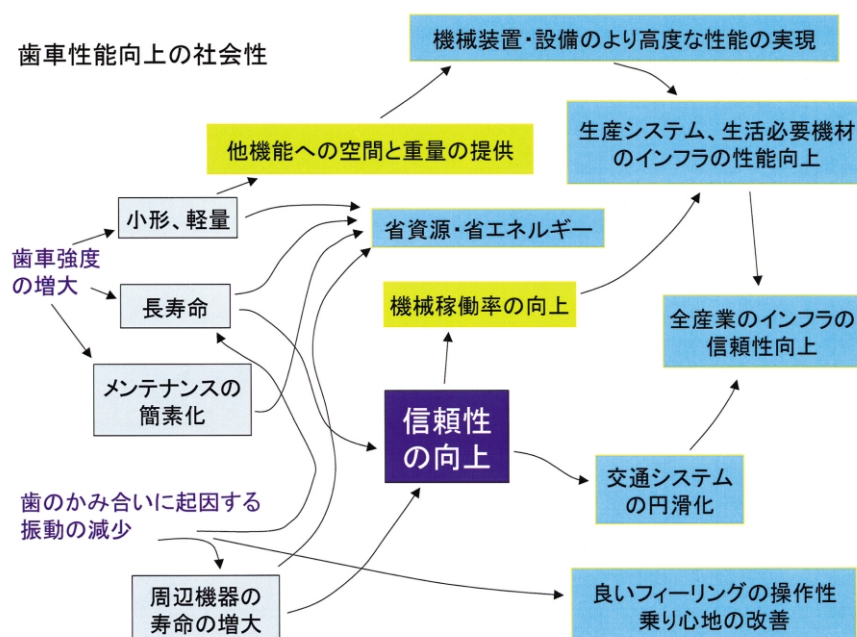
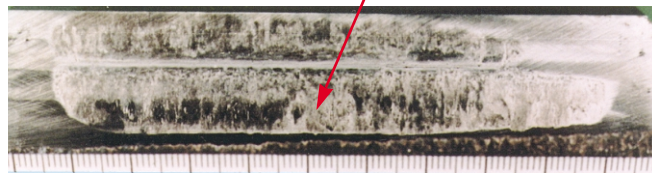


Fig. 1 歯車の性能と社会とのかかわり

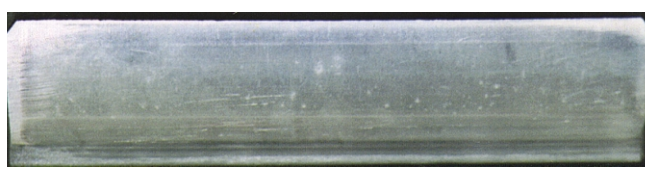


稼働半年で歯面に発生した損傷



同一設計新品歯車に対し、最高の特殊潤滑油を採用し、1年稼働後の状態

Fig. 2 歯車歯面損傷の一例



歯面最適形状設計歯車に対し、最高の特殊潤滑油を採用し、1年稼働後、価格半分の潤滑油を使用して、計5年後の状態



上記状態後、当初と同じ安価な潤滑油に変更、計7年経過後の状態。
現在14年を経過したがまだ全85車両の歯車は無傷

Fig. 3対策が成功し，完全に健全な状態を保つ歯車歯面

かみ合う歯の対を1ミクロンたわませるのに単位歯幅あたり約1.5kgf/mmの力が必要である。したがって、歯面の3D形状を例えば20ミクロン適正化すると、単位歯幅あたり約30kgf/mmストレスが下がることになる。問題の機関車では、この適正化により、同じ歯車で約1200kWトラクションを増やせる勘定になり、同じ動力で駆動する場合には、その分、安全性が高まることになる。もっとも、同時かみ合い歯数などの関係で定量的には上の話しは正しくないが、定性的にはこのイメージである。上例の最適設計はこのような技術的背景のもとに実施したものであり、予想通りの顕著な成果を上げ得た。歯面のミクロンオーダの精度での3D形状の適正化は、歯車の精度の厳密なコントロールに関わるものであり、歯車の精度といった場合、機

構学で取り扱われる理想歯面であるインボリュートヘリコイドと現実歯面の隔たりではなく、設計指示歯面からの現実歯面の隔たりと考えて、生産しなくてはならない。近年のISO1328歯車精度等級規定においても歯車の精度はこのように考えられている。そして、一般的に言って、一定入力のもとでの歯車に働くストレスの変動と歯車精度の関係は、かみ合う歯の対の剛性と形状偏差の積で決まる。

歯車のかみ合いに起因する振動はFig.4の様な経路でギヤノイズになる．歯車のかみ合いによる起振力で歯車振動が起こり，歯に動荷重が働く．

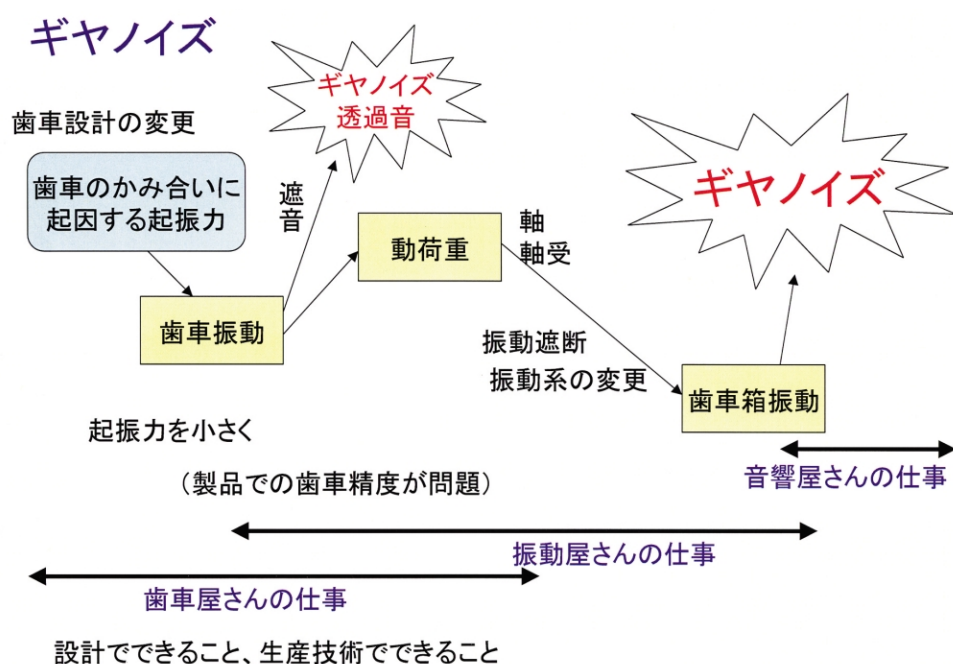


Fig. 4 ギヤノイズの発生機構

Fig. 5は、高精度の歯車とスカフティングをおこし精度劣化した歯車を運転した場合の動荷重状態を、歯元応力の変化として観察した一例である。悪い精度の歯車では振動が極めて大きくなるのが認められることは、すでに多くの人が実感しているとおりである。動荷重は、軸、軸受を介してギヤボックスの振動し易いところを振わせ、これがギヤノイズの主体となる。ギヤノイズはこのように歯車に関わるシステム全体で決まってくるもので、歯車のみで決まるものではない。たとえば、振動源はギヤボックスの外側の歯車に関係のないところにあっても、ギヤボックスの振動し易いところを振わせて出る騒音は、しばしばギヤノイズと間違われる。ギヤノイズに対する対策はしたがって、歯車屋さんの仕事の部分、振動屋さんの仕事の部分、音響屋さんの仕事の部分からなるが、振動屋さんの仕事の部分、音響屋さんの仕事の部分は、しばしば、製品としてのその機械装置構造の設計変更や対処コストの増大を伴うこと、ギヤノイズの問題が顕在化するのには、製品開発の最終段階でその機械装置構造の設計変更は不可能な時であることが多いことなどの理由により、ギヤボックス内部、出来れば生産コストの上昇をあまり伴わない歯車のみで対処することが要求される。すなわち、ギヤノイズに対しては多くの場合、歯車屋が歯車かみ合いに起因する起振力を小さくする対処が求められる。近年は、歯車設計時点において、最大トルク時において歯車が損傷を起こさないことと、運転騒音が問題となるトルク時において歯のかみ合いに起因する起振力を小さくする配慮をするのが一般的である。

音のエネルギーは例えば数ワットでもかなり大きく聞こえる。歯車の伝達パワーに比べれば5桁も低いエネルギーの振動が十分大きいギヤノイズになる。すなわち、ギヤノイズを問題にする場合、歯車の強度に比べて、非常に微小な量を繊細に取り扱わねばならない。ここに、ギヤノイズと歯車精度との間の関係が簡単でない根本的原因があり、過去30年近く世界中の歯車研究者に歯車の振動騒音という研究テーマを与え続けてきた理由がある。これらの研究の結果として、どのような条件で振動が大きくなるとか小さくなるとか言った歯車振動性能の定性的挙動と歯車精度の関係は、かみ合う歯の対のたわみ量と形状偏差量の比で、一般的に決まることが明らかになっている。

3. 実効的歯車精度

ある単体精度を持つ歯車が歯車装置として組み立てられる時、組み付け誤差は不可避である。また、動力を伝達する時、歯車・軸・軸受、そして歯車箱は、加えられた力により弾性変形する。また、近くに熱源がある時には装置が熱変形をする。これらの結果、実際にかみ合う歯面の空間位置は設計図面から描かる状態に比して必ず変化している。歯車の精度と歯車性能の関係を言う場合の精度とは、稼働時の歯車のアライメントが変化している状態について、歯面の空間的位置としての形状が、設計図面で指示されている状態の歯面の空間的位置からどの程度の偏差を持っているかとして理解されなくてはならない。すなわち、実効的歯車精度は、歯車に関わるシステム全体で決まってくるもので、歯車のみで決まるものではない。

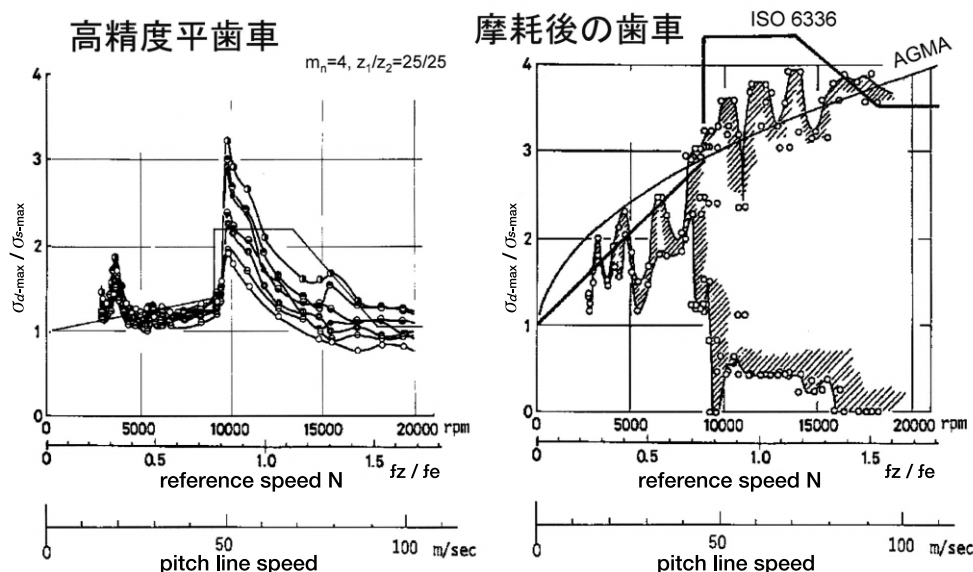


Fig. 5 歯車精度による動的歯元応力最大値の変化状態の違い

例えばギヤノイズを考えた場合、歯車の周りや前後にあるシステムは、一つは、歯車のかみ合いに起因する起振力に影響を及ぼし、今ひとつは、起振力からギヤノイズに変換される過程に影響を及ぼすという、二重の働きがある。また、稼働運転時間の経過にともない、装置の劣化などにより、実効的歯車精度は経時的に変化をしているものである。

このように考えてくると、歯車を持つ装置の性能に結びつく実効的歯車精度は、歯車単体では決まらないことは自明であり、また、歯車の単体精度自体も、稼働運転時間の経過にともない、摩耗の進行等により経時的に変化をしているものである。ここに歯車の教科書だけでは、まともな歯車装置は作れない面白さがある。とは言うものの、単体精度の悪い、ばらつきの大い歯車では、いくらがんばっても、まともな歯車装置は作れない。このことから、歯車の単体精度を正確に把握し、適正な精度のものを使用できるようにすることが、全ての歯車技術の基本であると言って過言ではない。

4. 歯車単体精度の把握

グローバル化の中、世界的に統一されてきている歯車単体精度の評価基準はISO規格によるものであり、歯車精度の測定結果として、その不確かさとトレーサビリティを明らかにすることが要求されている。Fig. 6に示す様に、product

gearの精度を測る測定機はworking artifactで校正され、そのworking artifactは、検定機関でreference artifactにより校正された測定機で検定され、その測定機は国家計量標準機関で検定されたprimary artifactにより校正されていなくては、トレーサビリティが保てない。しかし、この各段階毎に誤差が累積されるので、例えば、product gearで1ミクロンの測定精度を保証するためには、上位段階の校正では、ほとんど不可能な精度が要求されることになる。この状況を回避するために、階層構造の段階を減らし、primary artifactをproduct gearの精度を測る測定機を校正するためのworking artifactとして用いようというのが、現在の歯車測定機の校正に関する世界的動向である。また、産業的に生産される歯車の寸法は企業ごとによりかなりの偏りがあり、そこで用いられる歯車測定機は特定箇所のみが集中的に使用されて、程度の差こそあれ、その箇所のレールが摩耗するなどの精度劣化をきたしている。それにもかかわらず、測定機を校正するインボリュートアーティファクトの寸法は生産歯車と異なることが一般的であり、これを用いた歯車測定機の校正・検定では、この劣化を検出することはできない。ここに現在のやり方では、精度保証の信頼性を上げ得ない一つの理由がある。この状況に対処するためには、校正を、その測定機が通常測定するproduct gearの場合とほぼ同じ測定機セッティングをする必要があり、このような校正を実現するproduct like artifact(実歯車諸元の基準物)を採用しようという世界的動向もある。

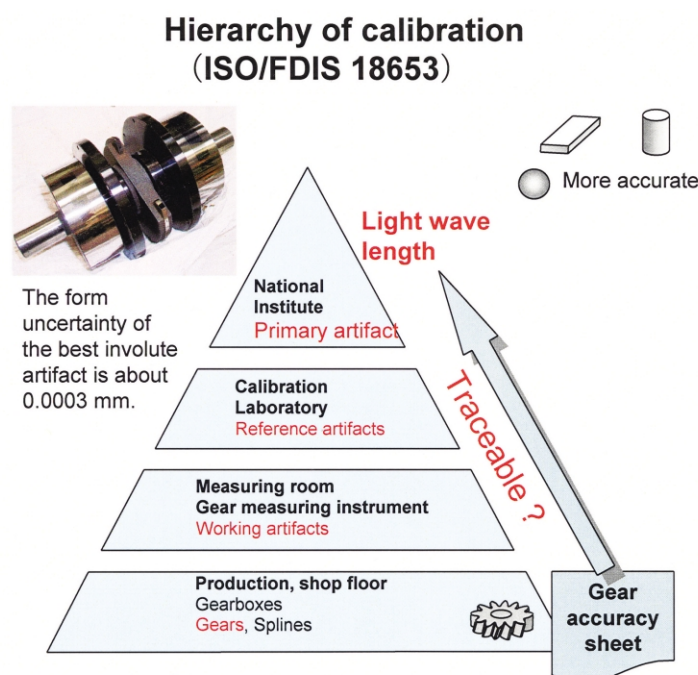


Fig. 6 歯車精度の公的理解

グローバル化の影響で、生産工場が世界的に分布し、設計部門との距離が遠くなっているにもかかわらず、ある程度の現地独立性を維持させながら、品質管理をどのように実現するかを考えると、検査装置の信頼性が問題になる。アウトソーシングの大きな潮流の中で、商取引における品質の保証をどうするかの問題もある。このような状況の中で、歯車精度測定機はどの様にその検査結果の信頼性を保証しなくてはならないであろうか。現状においては、歯車の生産や商取引に関わる多くの人々は、対象歯車を歯車精度測定機で測定し、善人らしく、その出力をそのまま信用している。ところが、歯車精度測定機に対し、どのような出力結果を欲しいと考えているかは、歯車設計者、歯車注文者、歯車納入者の間で、原理的に異なるものである。すなわち、Fig.7に示すように、歯車設計者は歯車精度測定機が出来るだけ真実に近い測定結果を出してくれることを期待しているし、歯車注文者は注文の条件に合致しているか否かが明瞭に判別しやすいような測定結果を出してくれることを期待しているし、歯車納入者は納品時の検収の合格率が最も高くなるような測定結果を出してくれることを期待している。このような状況として構成される市場の中で、市場原理によって測定機は存在し、供給されるものである。

この測定機の存在原理と経時劣化の現実からして、どうしても測定機は、客観的な基準で常に校正されていなくてはならない。校正に用いるartifact（以下、基準物）は次の条件を満たすことが望まれる。

1. 形状精度が正確に作れること
2. 国家計量標準機関でその値付けがトレーサブルに、不確かさも分かって可能なこと。
3. 歯車測定機上でその測定がし易いこと
4. 測定結果の評価が適切に出来ること
5. 実歯車諸元に近いこと
6. Working artifact としての機能を果たすためには、出来るだけ安価に供給できること。

現在、歯形測定機の校正にはinvolute artifact（以下、inv基準物）を使用するのが一般的である。この方法には、校正作業時の測定が容易であり、測定結果の評価が適切に出来る等、校正作業実行についての操作性が良いという美点がある。しかし一方、inv基準物には以下の問題がある：

1. 基準物としての加工精度の限界が生産歯車と同じ
 2. 面全体の3次元形状として値付けをすることが容易でない
 3. 国家計量標準機関でトレーサブルに値付けが出来ない
 4. 表面粗さが悪い
 5. 実歯車諸元の基準物はハンドリングの容易な大きさのものに限られる
 6. 高精度のものは極めて高価
 7. 温度的安定材料の採用は不可能
- また、センサーの不感帯等の非線形性を発見しにくい問題もある。

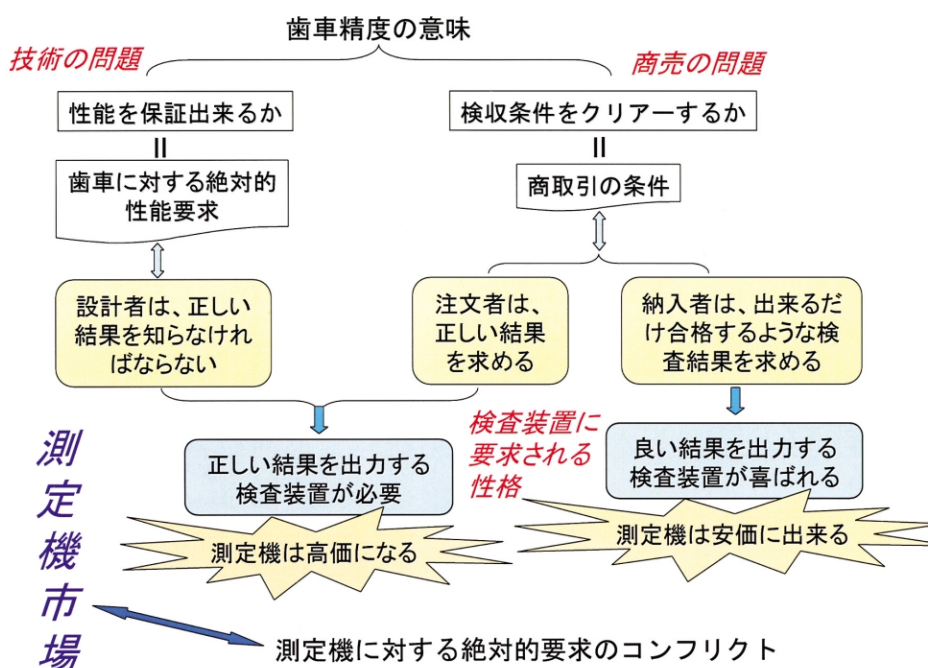


Fig. 7 歯車測定機に求められる特性の本質的な差

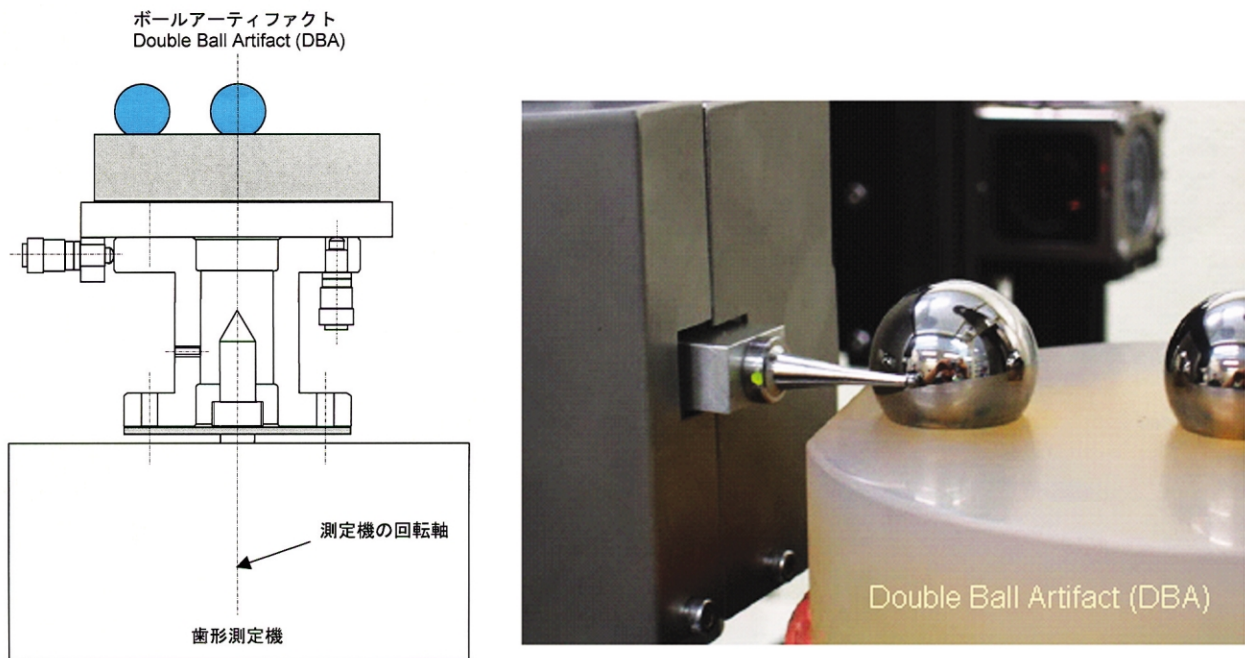


Fig.8 ボールアーティファクトと歯形測定機の校正

これらのinv基準物の問題点を克服ものとして、現実に日本で使われている歯車測定機のほとんど全てがCNCマシンで、測定データのコンピュータ処理は原理的に全く問題ない状況にあることも考慮し、球を基礎として、基準物を構成する考えが提案された^[2]。理論的にはピンマスターを基準物とするのと全く同じであるが、ピンを採用するのに比し、

1. 真球度が50nmより良い球の入手が容易
2. 基準物の製作が容易
3. 二球間の中心距離の測定が容易でトレーサブルに可能

であり、国家計量標準機関が持つ高精度3次元測定機でDBAの証明書の発行が可能である利点がある。

従来、基準物の校正対象測定機への設置が難しいことや、測定結果の出力がそのままでは曲がっており、その評価がinv基準物を用いたようにはいかない問題、歯形測定の際の歯車の転がり角度を十分大きくとれないことが、歯形測定機の校正・検定原器として、非inv基準物を採用することを阻んできた。しかし、測定出力をデジタル処理することにより、基準物の設置精度をそれほど上げる必要もなくなり、測定結果の評価についてもinv基準物を用いた場合と遜色ない状況にすることが可能である。

また、DBAを用いて校正を行った場合には、検

定対象の測定機への取付状態を把握し得た精度程度で、測定機の精度不良の原因を推定できることも明らかとなった。Fig. 9はこの状況の一例を示したもので、二瘤駱駝曲線となるDBAをインボリュート測定機で測定した時の出力と、その理論値との差である評価曲線をデジタル処理により求めた結果である。理論曲線のパラメータを振って、この評価曲線を出来るだけフラットに持って行くと、その状態をもたらしたパラメータ群がその測定機のもつ誤差の状態を示していることになり、その状態に対し設定したパラメータの値が、測定機の持つ誤差原因に対応する。

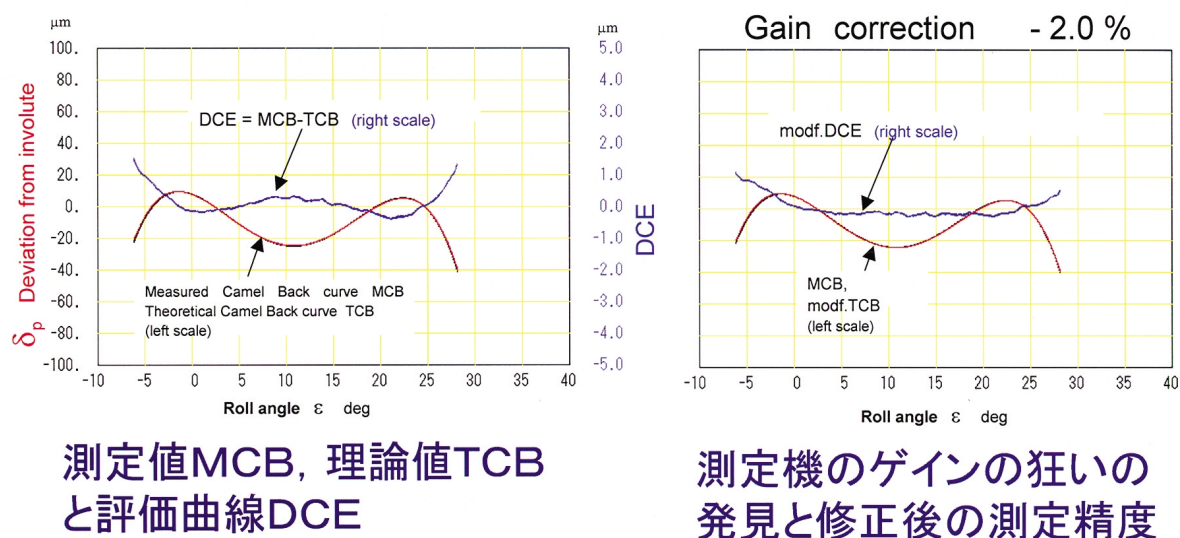


Fig. 9 ボールアーティファクトによる歯形測定機の精度検定

DBAによる校正・検定システムはこのようにコンピュータの能力に強く依存しているが、これをさらに有効に利用する方策がこれから考えられるべきである。例えば、DBAを5ミクロン程度の偏心を許容して校正対象の測定機に乗せ、ボタンをポンと押すと、校正のための測定が自動的に始まり、1, 2分後にはFig. 9右図のような校正結果が出力されるソフトウェアが是非とも開発されるべきである。そうすれば毎日、測定機が使用されている状況において、時間の合間に容易に校正が実行できる。また、その測定作動状態のシミュレーションプログラム、すなわち、バーチャルギヤチェッカーを併用することにより、不確かさを能率的に推定することも可能となる。そして、歯車精度測定の出力紙のどこかに、何時その測定機が校正され、測定結果にどの程度の不確かさがあるかが記載されるようにする。このような測定結果は、その信頼性をトレーサビリティと不確かさを含めて証明することになる。DBAの中心球の代わりにアーバを用いることにより、校正作業時の測定をより容易に行うことも可能であろう。このようなSingle ball artifact (SBA) の証明書の発行も国家計量標準機関が持つ高精度3次元測定機で可能であろうが、DBAの場合に比べて、精度は若干落ちるであろう。しかし、inv基準物に比べると遙かに高精度の値付けが可能である。

5. あとがき

昔と異なり現在は、データ処理にコンピュータが非常に容易に多用できるので、それを活用し、非インボリュートアーティファクトの欠点を殺し、校正・検定に優位な点を生かすことにより、トレーサブルな歯形測定機の校正・検定が可能となってきた。このような状況を鑑み、日本からボールアーティファクト DBA を歯形測定の基準原器の有力な候補とすることを ISO に提案した。各国からは、inv基準物とこれとを併用するのが良いのではないかとの反応でおおむね好意的に受け入れられ、ISO TR 10064-5.2 Cylindrical gears - Code of inspection practice - Part5: Recommendations relative to evaluation of gear measuring instrumentsにもDBAが取り入れられた。現在、ドイツの PTB、イギリスの British Gear Metrology Center、フランスの CETIM と共同作業中で、ISO / TC60 / WG2, AGMA とも情報交換を行っている。これに基づき「デジタル処理による歯車測定機の評価方法、第一部 ボールアーティファクトによる歯形測定精度評価」の JIS 規格が作成されつつある。

DBAによる校正・検定システムは便利さと有用さを持つが、コンピュータに強く依存しているので、危険をも併せ持っている。意図的にされるプログラム上のごまかし操作に惑わされないような配慮、プログラムの改変に対する対処が必要である。コンピュータや通信が進歩して、便利さとともに世の中が不安定になり、人間が幸福になったのか不幸になったのか分からない様なことと同じ

ことが歯車の精度測定という極めて狭いことの中でも起こりうる。所詮，人間の全ての行動を引き起こす根元の力は，広い意味での欲望の充足に他ならないのだから。

参考文献

- [1] 機論C61-582(1995.2), pp.354-361
- [2] 平成15年度産業経済省委託事業，基準認証研究開発事業：「歯車のナノレベル形状評価のための測定機校正原器及びその原器に基づく校正方法の研究とその標準化」成果報告書，産業技術総合研究所

JEPS ジャトコ生産方式の概要 Overview of Jatco Excellent Production System

海老原 靖弘*
Yasuhiro EBIHARA

抄 録 ジャトコが目指すモノづくりを「JEPS : Jatco Excellent Production System (= ジャトコ生産方式)」と称して活動を推進中である。これは、日産自動車の日産生産方式 (= NPW : Nissan Production Way) と連携し、競合他社を凌駕する最高のモノづくりの実現を狙うものである。本稿ではJEPSの考え方や理想像、およびその進め方についての概論を記す。

Summary Activities are under way to implement the Jatco Excellent Production System (JEPS), representing the Jatco way of production that we aim to practice in our manufacturing operations. JEPS is closely linked to the Nissan Production Way (NPW) of Nissan Motor Co., Ltd., with the aim of achieving the best manufacturing system that is superior to the systems of competitors. This article describes the JEPS philosophy, ideal form and the ways in which the system is being promoted.

1. はじめに

JEPS活動を始めて早いもので6年が経過した。従来のTQM・TPM・JITなどの様々な管理・改善手法に加え、JEPS活動独自の手順やツールを整えながら、あるべき姿の実現を目指して活動している。まだ道半ばとはいえ、これまで多くの方々の積極的な取り組みにより、確実に生産方式のレベルは向上してきた。

現在に至るまで、二度の合併を経験する中でも、一貫してJEPS活動を推進することにより、モノづくりの中での「共通のビジョン (= あるべき姿)」、 「共通の言語 (= 定義)」、 「共通の尺度 (= 基準)」の共有化にも有効に機能している。

今後、益々高まるお客様の高い要求にお答えし、更なるモノづくりのレベルアップを図るためには、「ジャトコ生産方式」の構築が必要不可欠であり、その実現のための活動方策が「JEPS活動」である。

2. JEPSのあるべき姿と狙い

JEPSの構築には、第一に全員参加で活動を進めること、そして、品質向上や設備管理など、モノづくりの基盤を強化することが「活動のベース」となる。そして「達成プロセス」は、予め決めた活動手順に従って生産システム(*3本柱)を改革する (Fig. 1)。

*補足：生産システム (= モノづくりの仕組み) は、「生産管理」、「エンジニアリング」、「現場管理」の3つの機能で構成される (3本柱と呼ぶ)

1. Introduction

Six years have already quickly passed since the JEPS program was first initiated. Activities have been conducted to achieve the ideal form of production by developing unique JEPS procedures and tools, in addition to using various traditional methods of management and improvement such as TQM, TPM and JIT. Although still not complete, the level of the production system has definitely been enhanced through the vigorous efforts made by many people so far.

JEPS activities have been consistently pursued despite experiencing two mergers in the intervening years. As a result, JEPS has also functioned effectively in promoting the sharing of a common vision (= ideal form), a common language (= definitions) and a common yardstick (= criteria) in manufacturing operations.

The continued implementation of the Jatco way of production will be absolutely essential in the coming years in order to further improve the level of our manufacturing operations and respond to our customers' rigorous demands that are constantly rising. The JEPS program is the compass of our activities for achieving those goals.

2. Ideal Form and Objectives of JEPS

As shown in Fig. 1, the base on which JEPS is constructed consists of two principles. The first is full participation in JEPS activities by all employees, and the second is to strengthen the fundamentals of manufacturing such as by improving quality and the management of facilities. The process for accomplishing JEPS involves reforming the three pillars of the production system by observing predetermined procedures for carrying out activities. The production system involves the three functions of production control, engineering and shop floor management ("genba kanri"), which are referred to as the three pillars of the system.

* 取締役 専務
Executive Vice President & Member of the Board

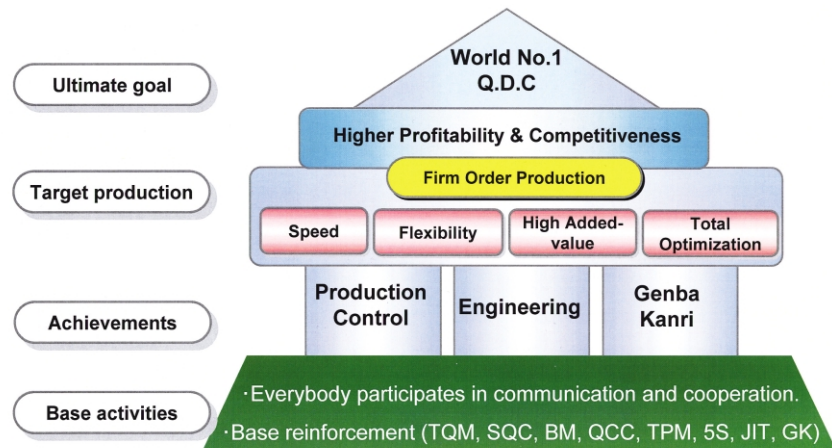


Fig. 1 Ideal form and objectives of JEPS

JEPSの「モノづくりの目指す姿」は、「スピード」, 「柔軟性」, 「高付加価値」, そして「全体最適」, これら4つの重要ポイントを徹底して追求した「受注確定生産」である。「受注確定生産」とは「同期生産」を意味し, お客様から頂いた注文どおりに, 上流工程から下流工程までが一貫して, 時間どおり, 順番どおり, 短い納期で, 高品質な製品をお届けする, という状態である。

このような高効率なモノづくりの状態を作り, 当社が永続的に発展し続けるための収益力・競争力の格段の向上, そして競合他社を凌駕する世界NO.1のQ・D・Cの実力を付けることがJEPSの「あるべき姿と狙い」である。

*補足: Q・D・C (Quality: 品質, Delivery: 納期, Cost: コスト)

受注確定生産 (= 同期生産)における, 生産ラインで実現すべき具体的な姿としては, 粗材～生加工～熱処理～仕上げ加工～組立, そしてお客様までが, あたかも1本のパイプでつながっている状態を作り, 全体で徹底した「リードタイム短縮」を図ることが最も重要となる。(Fig. 2)

The ideal form of manufacturing envisioned for JEPS is an order-driven production system that thoroughly pursues four key points: speed, flexibility, high added value and overall optimization. Order-driven production means production synchronized to firm orders received from customers. This means a condition where integrated efforts are made from the upstream processes to the downstream processes to deliver high-quality products to customers on time, in sequence, with a short delivery lead time and exactly in accordance with their orders.

The ideal form and objectives of JEPS consist of achieving such a high-efficiency manufacturing system, markedly improving our profitability and competitiveness to ensure the company's continued growth permanently, and attaining the abilities to surpass the competition and rank No. 1 one in the world in terms of quality, delivery and cost (QDC).

The specific form desired for the production lines under order-driven or synchronized production is to have all processes, from forging/casting to machining, heat treatment, finish machining, assembly and delivery to customers, interconnected as if to form a single pipeline. The most important point here is to thoroughly reduce the overall lead time (Fig. 2).

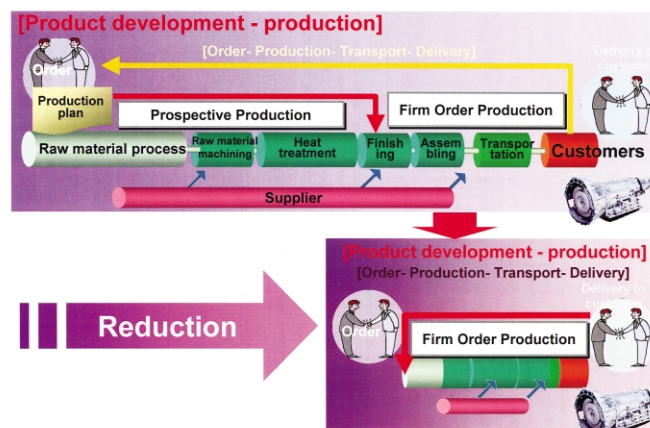


Fig. 2 Conceptual image of synchronized production

リードタイムの短縮には各工程の生産方式を「受注確定生産」にレベルアップすること、そして個々の効率を追求するのではなく、全体最適の視点で最も効率の良い工程間の「つなぎ改善」を実施する必要がある。

*補足：「つなぎ改善」とは、前後の工程の立地が離れていても、あたかも一本のつながったラインのように、節目(在庫)の無い、効率的なモノの流れに改善すること。

このように全体をつなぎ、リードタイム短縮を図る意味は、「限りない課題の顕在化と改革」にある。

個別改善ではわからなかった、より多くの課題を顕在化し、「全員」で総力を上げて改革を図る。そして、「Q・D・Cの総合力向上」に結び付け、強いジャトコのモノづくりを実現することが、JEPS活動の本質である。

《同期生産コンセプト：2つの「限りない」》

限りないお客様への同期
限りない課題の顕在化と改革

3. JEPS活動の特徴

JEPS活動の進め方の特徴は、前述のように要因系の生産の仕組み(=生産方式のレベルアップ)を、結果系の収益力、競争力(Q・D・C)の向上に結び付けて進めることにある。

現状のQ・D・Cなどの結果系指標が悪ければ、それは要因となる生産方式(=生産の仕組み)のレベルの低さに起因するものである。

従って、生産方式をレベルアップし、それを維持運用し、後戻りしない生産の仕組みに改善することで、結果系の目標値の達成につながると考えている。(Fig. 3)

Shortening the overall lead time involves improving the production system in each process to the level of order-driven production. It is also necessary to implement "interface improvements" to achieve the most efficient processes from an overall standpoint, rather than simply pursuing efficiency in individual operations. Interface improvements involve ensuring an efficient flow of things without any seams (i.e., unnecessary inventories), as if the preceding and following processes are integrated into one single line even though they might be situated at different locations.

The significance of interconnecting all processes and shortening the overall lead time lies in endless efforts to uncover issues and institute reforms.

The essence of JEPS is to uncover a greater number of issues that were not identified in individual improvement activities and to mobilize all employees in all-out efforts to implement reforms that lead to total QDC improvements and the construction of a stronger manufacturing system at Jatco.

<Concept of synchronized production: Two endless pursuits>

Endless synchronization of production with customer orders
Endless efforts to uncover issues and implement reforms

3. Features of JEPS Program

The manner of promoting JEPS activities is characterized by the linking of improvements in the various factors of the production system, as mentioned above, to the enhancement of results in terms of profitability and competitiveness in QDC.

If the indices of results, such as the present levels of QDC are poor, the reason stems from the low level of the production system containing the causal factors. Accordingly, improving the production system and production processes so as to maintain and operate at an improved level without any backsliding is regarded as the key leading to the attainment of the targets set for results (Fig. 3).

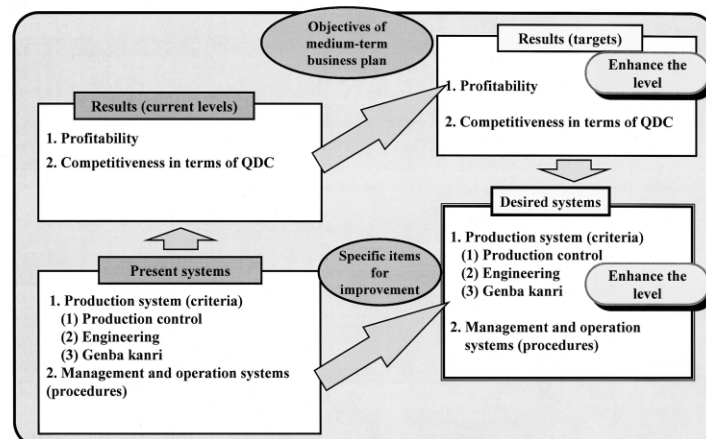


Fig. 3 Characteristics of how JEPS is promoted

《結果系：活動全体の考え方》

結果を「収益力」、「競争力」に直結させること。
あるべき姿(=JEPS「受注確定生産」)を描き、要因となる根本的な『しくみの改革』を図ること。

また、結果系の目標値設定は、部門別には中期経営計画などの方針管理からの落とし込みを行い、それを受けた生産ラインでは、それぞれ「受注確定生産」を狙いとする、より高いレベルへの生産方式の実現＝リードタイム短縮をターゲット設定して、具体的な活動に取り組む。

《要因系：具体的な活動を進める上での考え方》

徹底した『お客様 後工程』指向であること。
・プロダクトアウトからマーケットインで、徹底して『質』と『速さ』を追求すること。
・『質』＝付加価値だけで、
・『速さ』＝一切の停滞を無くして速く、

このようなJEPS活動の特徴は、製造現場やモノづくりだけに限定されるものではない。これらはモノづくりを支える間接部門の業務にもあてはまるものと考えている。

4. JEPS活動の経過と拡がり

90年代初頭、バブル崩壊とともに「多品種少量化」の動きが加速した。これにより、従来のように大量生産で在庫をたくさん持っても売れるという時代は終わり、「売れる物だけを作る」というモノづくりの考え方が、改めて注目され始めた。

この頃、旧日産富士工場において「JIT(just in time)活動」が導入され、'94年に日産自動車の中でもトップを切って「ストレートライン生産」という粗材から加工～組立に至るまでを全体最適の視点で見て、在庫の節目を減らす活動が展開された。この時期に日産自動車の生産部門で「日産生産方式＝NPW」の構築が始まった。

一方、旧ジャトコでも時期を同じくして、従来のTPM活動に加えて「JIT活動」が導入され、ムダの徹底排除の思想によるモノづくりの再構築が始まった。98年に、本格的に「同期生産」導入のキックオフを行い、あるべき姿を「受注確定生産」として共有化した。それを「JEPS」と名付け、活動方策である「JEPS活動」も体系的に確立されていった。

<Results: Concept of overall activities>

Link results directly to improvement of profitability and competitiveness
Envision the desired form of JEPS (= order-driven production) and strive to reform the systems in which the basic causal factors are found

In setting the targets for results, the management goals enunciated in the company's medium-term business plan are broken down and allocated to each group. In accordance with that allocation, each production line sets its target for achieving a higher-level production system (i.e., reduction of lead time) and undertakes concrete activities aimed at accomplishing order-driven production.

<Factors: Concept for undertaking concrete activities>

Must be thoroughly customer (next process)-oriented
・ Shift in emphasis from product output to market-oriented
Thoroughgoing pursuit of quality and speed
・ Quality equals only added value
・ Speed equals rapidness by eliminating all slowdowns

As indicated here, one feature of the JEPS program is that it is not limited to the factory floor or manufacturing operations alone. It also applies to the work processes of the indirect groups that support production activities.

4. Progress and Spread of JEPS

The trend toward large-variety, small-volume production was accelerated at the beginning of the 1990s along with the bursting of Japan's economic bubble. That marked the end of the time when producers could hold and sell large inventories of mass-produced products, as they had been doing previously. Attention began to be focused again on the concept of manufacturing only products that could be sold.

Around that same time a just-in-time (JIT) program was initiated at Nissan's former Fuji Plant, which was the first among Nissan's plants to implement "straight-line production" in 1994. Under that system, efforts were made to reduce the seams represented by lineside inventories from the standpoint of overall optimization, from forging/casting processes to machining and assembly. Nissan's manufacturing group began to construct the Nissan Production Way (NPW) at that time.

Meanwhile, the former Jatco also started to reconstruct its manufacturing system at that same time based on the idea of thoroughly eliminating waste. Toward that end, a JIT activity was implemented, in addition to the previous TPM activity. In 1998, the implementation of full-fledged "synchronized production" was launched, and order-driven production became the shared ideal form of manufacturing. The name JEPS was coined, and the JEPS program was systematically established as the guiding principle of activities for improving manufacturing operations.

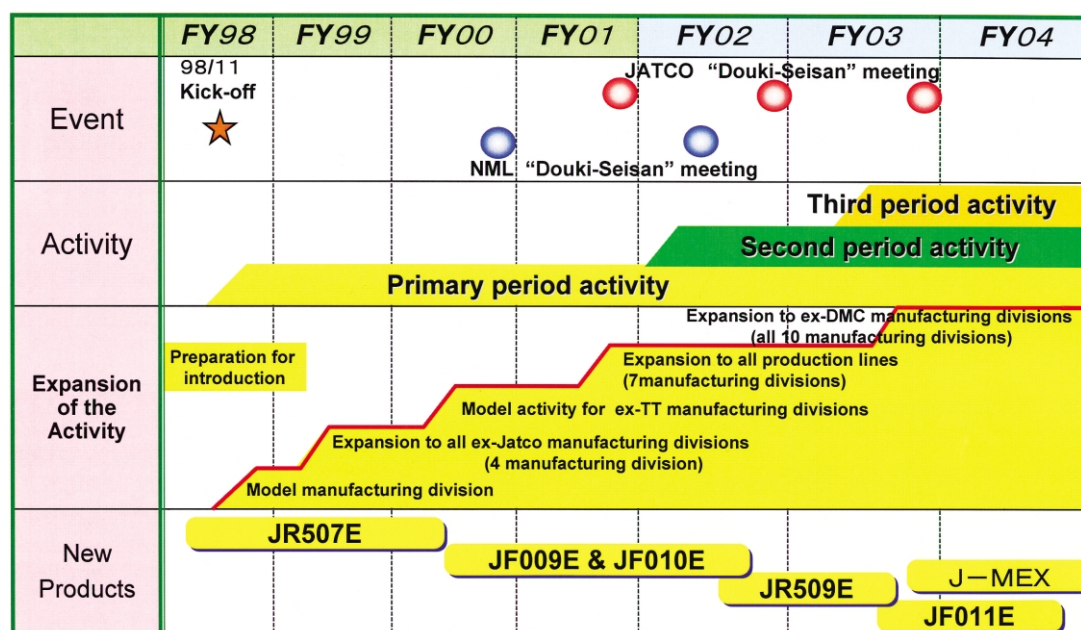


Fig. 4 Progress of JEPS program

その後、二度の合併を経て生産拠点が拡大される中でも一貫してJEPS活動を推進し、ジャトコのモノづくりの考え方の一本化を図ってきた。

JEPS活動は、現行ラインのモノの流れの改善を「第一期活動」、間接業務の効率化を「第二期活動」、費用発生のメカニズムを追求し経費を削減する「第三期活動」に区分し、現在はこの3つの活動をお互いに関係付けながら効果的に同時進行している。(Fig. 4)

第一期活動の拡がりの事例としては、お客様の車両組立ラインの順番どおりに1台ずつ生産するという、生産方式では最も高いレベルである「アクチャル順序生産」に一部のラインが取り組んでいる。お客様～ジャトコ組立～サプライヤまでが、一貫して車両組立ラインと同じ生産情報でつながり、ムダの無い効率的なモノの流れを実現した。なお、「アクチャル順序生産」については本誌に別途論文が掲載されているので、詳しくはそちらをご覧ください。

また、新商品の工程・設備設計段階から、生産ラインへJEPS思想をあらかじめ織込む活動が、生産技術本部で進めている「計画JEPS」である。この活動でポイントとなるのが、生産現場のJEPS活動から生み出された「JEPS評価基準」や、重点活動の実施要領などに示されるストライクゾーン基準などの基準類を活用していることである。このように、生産技術本部と生産本部において、共通のビジョン、共通の尺度でJEPSのあるべき姿を目指していることは大変重要なことである。

Subsequently, the JEPS program was consistently promoted amid the increase in the number of production plants in the course of undertaking two mergers and became Jatco's unified manufacturing philosophy.

The JEPS program is divided into a first-phase activity for improving the flow of things on the current production lines, a second-phase activity for enhancing the efficiency of indirect operations and a third-phase activity for reducing expenses by identifying the mechanisms giving rise to costs. At present, these three activities are being advanced simultaneously and effectively in an interrelated manner (Fig. 4).

As an example of the expansion of the first-phase activity, some Jatco production lines are now engaged in "just-in-sequence production," representing the most advanced level of the production system. In this case, transmissions are produced unit-by-unit in the same sequence as their order of installation in vehicles on the customer's assembly lines. The customer, Jatco's assembly lines and even suppliers are linked together by the same production information on the vehicle assembly lines, thereby achieving an efficient flow of things without any waste.

This Technical Review includes another article about "just-in-sequence production" where more detailed information may be found.

JEPS activity framework

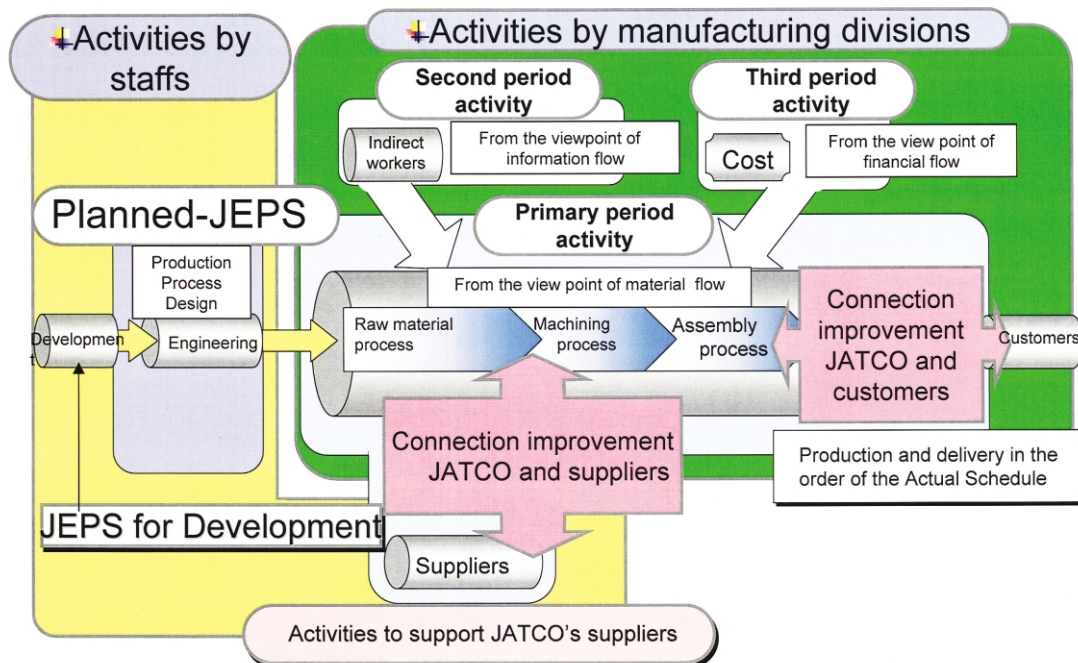


Fig. 5 Scope of JEPS program

また、'04年11月には「開発JEPS(= 開発では、Jatco Engineering Process Solutions)」がキックオフされ、生産本部のJEPS活動と同様の考え方のもと、業務効率化の活動がスタートした。

更にJEPS第一期活動で培ったノウハウは、調達本部のサプライヤ支援活動においても波及されている。そして、社内・外の多数のお客様をお招きして、「同期生産交流・報告会」を毎年定例的に開催し、ジャトコグループ各社の活動事例紹介や情報交換を通して、ジャトコグループ全体のモノづくりの進展を図っている。(Fig. 5)

5. おわりに

前述のように、JEPS活動を通じてモノづくり文化の融合や進展が図られるとともに、現場改善自体も従来の個別改善から仕組み改善への変遷を遂げてきた。

これまで、JEPS活動が確実に収益力・競争力に貢献できている理由として、

「受注確定生産」という、JEPSの「あるべき姿(= ビジョン)」が共有化できていること、

実現するための活動の仕組みにおいて、一般的な考え方や知識を、ジャトコの現場改善に活かせる具体的な手順や帳票に置き換え、体系化できていること、

The production engineering group is moving ahead with its "JEPS Planning" activity for embodying the JEPS philosophy in the production lines from the stage of designing the processes and facilities for a new product. A key point of this planning activity is to make effective use of various types of related standards. These include the "JEPS evaluation criteria" resulting from the implementation of the JEPS program in production processes and the "striking zone criteria" specified in the procedures for carrying out priority activities. It is vitally important that both the production engineering group and the manufacturing group work together in this way toward the ideal form of JEPS based on a shared vision and shared criteria.

In November 2004, "JEPS Engineering" was launched by the engineering group, which refers to JEPS as Jatco Engineering Process Solutions, to improve work efficiency by applying the same concept as the JEPS program of the manufacturing group.

Moreover, the know-how accumulated in the first phase of the JEPS program has also been extended to the supplier support activity of the procurement group. In addition, a meeting for reporting and exchanging information on synchronized production is held regularly every year to which many attendees are invited from inside and outside the company. Examples of activities under way at Jatco Group companies are explained and information is exchanged with the aim of advancing the level of manufacturing throughout the entire Jatco Group (Fig. 5).

活動の仕組みに準じ、同じ考え方、同じ手順で、全事業所・全工程(=粗材、加工、組立、物流など、約500ラインを超える)が、一斉にリードタイム短縮(在庫の削減)や無付加価値作業の排除などをはじめ、多くの課題の顕在化と改革に取り組んでいること、

そして、現場の皆さんの「熱い思い」に支えられた「現場力」が発揮されていることが上げられる。

今後も、更なる生産方式のレベルアップを図り、全員で共有化した「あるべき姿」をより具体的に目に見える形で実現すること、それも全事業所、全工程で実現することが必要である。

その実現のために、製造・保全・技術・生管・品証・開発など、部門間を越えた「総合力」を発揮して活動を推進して行きたいと考えている。

尚、JEPSについての詳細は、'05/1月に全社に配布した『JEPS - ジャトコ生産方式 -』の小冊子にて、詳しく解説されているので有効活用頂きたい。

5. Conclusion

As outlined here, the JEPS program is helping to promote the fusion and progress of an efficient manufacturing culture and has also transformed improvement efforts on the factory floor from piecemeal improvements to systematic improvements.

Several reasons can be given for why the JEPS program has definitely contributed to improving profitability and competitiveness so far.

- (1) Order-driven production is shared as the ideal form or vision of JEPS.
- (2) General thinking and knowledge have been replaced with concrete and systematic procedures and forms for use in improving Jatco's factory floor practices within the framework of the activities for implementing JEPS.
- (3) All factories and processes have acted in concert to apply the same ideas and procedures based on the structures of the JEPS program in uncovering and working to improve many issues. This has involved more than 500 production lines in forging/casting, machining, assembly, logistics and other areas. The issues addressed have included the shortening of lead time (reduction of inventories) and the elimination of non-value-added work.
- (4) The abilities of the factory floor have been effectively displayed, supported by everyone's fervent enthusiasm.

Continued efforts need to be made to raise the level of the production system further and to achieve the ideal JEPS vision shared by everyone in forms that are more concrete and readily visible. This is something that must be accomplished at all plants and in all processes.

Toward that end, it is desirable to promote JEPS through all-out, cross-functional efforts that encompass manufacturing, maintenance, production engineering, production control, quality assurance, engineering and all other groups.

More detailed information about JEPS is explained in the booklet titled "JEPS-The Jatco Production System" that was distributed to all Jatco Group companies in January 2005. It is hoped that effective use will be made of the information in that booklet to promote JEPS activities.

Author



Yasuhiro EBIHARA

アクチュアル順序生産及び供給方式

Just-in-sequence Production and Delivery

塩谷 和徳*

Kazunori SHIOYA

抄 録 03年12月より、当社は日産自動車(株)様(以下、日産とする)栃木工場向けにFR車用5速ATを車両生産と同期させて生産・供給する「アクチュアル順序生産及び供給方式」を導入した。この方式は、車両に搭載するコンポーネントをその車両の生産に同期して供給する方式であり、04年7月には同ATの4WD仕様にも展開した。

コンポーネント間にまたがるこの方式は、日産圏のパートラインとしては初めての取り組みであり、4WDトランスファ担当の(株)フジユニバンス様(以下、ユニバンスとする)とも協力しての活動は、極めて高い評価を得た。今回は、この方式の事例を紹介する。

Summary A just-in-sequence production and delivery system was implemented in December 2003 to manufacture and deliver rear-wheel-drive 5-speed ATs in synchronization with vehicle production at the Tochigi Plant of Nissan Motor Co., Ltd. The system supplies these vehicle components in the same sequence as the order of vehicle production and was expanded in July 2004 to include 5-speed ATs for 4WD vehicles.

This system, extending across different parts makers, was applied to powertrains for the first time in the Nissan Group of companies. Carried out in cooperation with Fuji Univance Corporation (now renamed Univance Corporation) that is responsible for the 4WD transfer case, this project has been highly acclaimed. This article describes an example of the application of this system.

1. はじめに

1.1. アクチュアル順序生産及び供給方式

自動車メーカーの車両組立ラインにおける生産順序と同じ順番で、それに搭載するコンポーネントを生産し、車両工場に供給する方式を「アクチュアル順序生産及び供給方式」という。

1.1.1. 車両組立ラインにおける、従来の供給方式の例

・モジュール方式

車両組立のラインに、より大きなアッセンブリ状態で車両の組立てる順番と同期してコンポーネントを生産・供給する方式。

・シンクロ方式

車両組立ラインに近接した部品工場において、車両の生産計画に従って、その順に生産・供給する方式。

・多数回納入方式

上記に属さない中・小物部品について、回数を多数回(4回～8回/日)に分けて供給する方式。

なお、モジュール、シンクロ、アクチュアルの各方式では、車両の流れる順番に、1台単位で生産・供給する。

1. Introduction

1.1. Just-in-sequence production and delivery system

A system for producing and delivering component parts to a vehicle assembly plant in the same order as the production sequence on the vehicle assembly lines is referred to as a just-in-sequence production and delivery system.

1.1.1. Examples of existing supply systems for vehicle assembly lines

・Modular production system

Under this system, a supplier produces and sub-assembles parts into larger assemblies which are delivered to vehicle assembly lines in synchronization with the order of vehicle production.

・Synchronized production system

Under this system, a parts plant located near vehicle assembly lines produces and delivers parts according to the sequence of the vehicle production plan.

・Multiple delivery system

With this system, small and medium-sized parts that are not included in the above-mentioned systems are delivered in separate batches several times a day (e.g., 4 ~ 8 times daily).

With the modular, synchronized and just-in-sequence systems, the parts involved are produced and delivered in the quantities needed for individual vehicles in the order of the flow of vehicles on the assembly lines.

* JEPS推進部

Jatco Excellent Production System Promotion Department

1.2. 取組の狙い

1.2.1. 顧客ニーズへの適合

近年、カーメーカは、順序納入(指定の順番どおりの納入)を発注の条件とする動きがある。これにより、車両のスケジュールに合わせてATなどの部品を順番通りに供給することができ、組立ラインにおける部品並べ替え作業を効率化し、無駄な在庫を削減するとともに、品質向上にも寄与することができる。また、車両生産計画に従った部品供給を推進することにより、塗装工程などでの順序乱れの弊害を顕在化させ、順序遵守率を向上させようとする意図があるようにも見受けられる。いずれにしても、これらのニーズに応えと同時に、両社にとってメリットのある活動として取り組む。

1.2.2. 収益力・競争力の向上

ジャトコ生産方式(JEPS = Jatco Excellent Production System,以下JEPSという)の基本的な考え方は「お客様に買っていただく納期と量に合わせて作る」という、徹底したお客様指向による受注確定型同期生産にある。

この受注確定型生産を徹底して追及することにより、格段の収益力・競争力の向上、そして世界 No. 1のQ・D・C(Quality, Delivery, Cost)の実現を目指す。その方策のひとつとして、今回紹介するアクチュアル順序生産・供給方式を拡大することにより、更なる基盤強化を実現する。

参考：日産NPWコンセプト

日産NPW(= Nissan Production Way)が掲げる以下の2つのコンセプト

- ・ 限りないお客様への同期(あるべき姿)
- ・ 限りない課題の顕在化と改革(到達までの活動のプロセス)

2. 活動事例の紹介

2.1. 活動の対象範囲

FR車用5速AT(4WD)について、部品～車両まで(Fig. 1)の一貫アクチュアル順序生産・供給を対象とする。



Fig.1 Scope of this project

1.2. Aims of the just-in-sequence system

1.2.1. Meeting the customer's needs

In recent years, automakers have tended to make just-in-sequence delivery (i.e., delivery according to a specified production sequence) a condition when placing orders for parts. This condition enables automakers to have parts such as automatic transmissions (ATs) supplied in the exact order of vehicle production. It improves work efficiency for arranging parts alongside the assembly lines, reduces unnecessary line-side inventories and also contributes to improving quality. Having parts delivered according to the vehicle production plan also appears to be an intentional effort to improve the rate of observing the production sequence by revealing the harmful consequences that result from vehicles not being in the right order in the painting process and other operations. At any rate, in addition to meeting the automakers' needs, we are also promoting this system because it benefits both the supplier and the automaker.

1.2.2. Improvement of profitability and competitiveness

The Jatco Excellent Production System (JEPS) synchronizes production to the receipt of firm orders and is totally customer-oriented. The basic concept of JEPS is to produce transmissions only in the quantities purchased by the customer and by the specified delivery deadlines.

By thoroughly pursuing order-driven production, we aim to improve our profitability and competitiveness markedly and attain the No. 1 ranking in the world in terms of quality, delivery and cost (QDC). One means of achieving that goal is to strengthen our manufacturing foundations further by expanding the use of the just-in-sequence production and delivery system described here.

Reference:

The Nissan Production Way (NPW) embraces the following two concepts:

- ・ Ever-closer synchronization of production with customer orders is the ideal.
- ・ Endless efforts to uncover issues and implement improvements constitute the process of an activity until its completion.

2. Application Example

2.1. Scope of the system

The scope of the just-in-sequence production and delivery system described here encompasses integrated operations from parts manufacturing to installation in the vehicle for the 5-speed AT fitted on 4WD vehicles (Fig. 1).

2.2. 活動内容

日産栃木工場における車両の生産順序計画に基づき、ジャトコ富士宮工場は、その車両に適合するATを生産・供給する。同時にATを組立てる順序に合わせて、ユニバンスは、トランスファを同様に生産・供給する(Fig.2)。

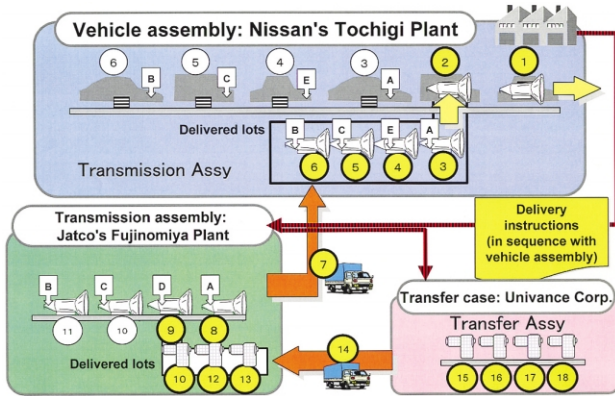


Fig. 2 Conceptual image of just-in-sequence production and delivery

2.3. 活動目標

目標の指標はリードタイムとした。アクチュアル実施前は、部品～ユニット～車両までに89時間を要していたが、目標値を56時間とし、37%減(33時間)とした(Fig.3)。

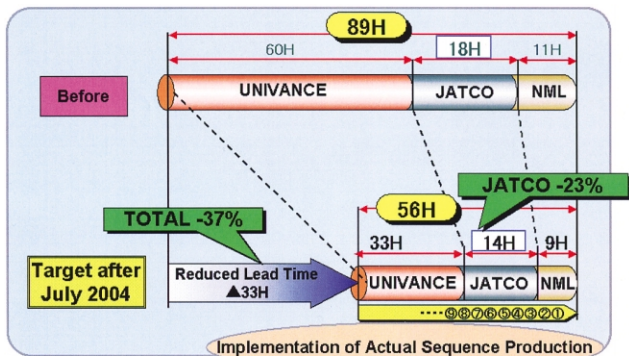


Fig. 3 Lead time goal

上記目標値を達成するための必須条件を以下のように設定した。

2.4. アクチュアル順序生産・供給の成立条件

2.4.1. 情報伝達方法

情報伝達には、以下の主要課題がある(Fig. 4)
日産栃木工場のアクチュアル順序情報を、ジャトコの社内システムに連携させる方法を構築する。
ジャトコからユニバンスに対してアクチュアル順序情報を伝達する方法を構築する。

2.2. Project details

Jatco's Fujinomiya Plant produces and delivers ATs matching the vehicles assembled at Nissan's Tochigi Plant, based on the production sequence plan. Similarly, according to the order in which ATs are assembled, Univance simultaneously produces and delivers transfer cases (Fig. 2).

2.3. Project goal

Lead time was selected as the index of the project goal. Before implementing the just-in-sequence system, it took 89 hours to complete the process of parts manufacturing, transmission assembly and vehicle installation. We set a lead time goal of 56 hours, representing a reduction of 33 hours or 37% (Fig. 3).

The following conditions were set as prerequisites for the attainment of that goal.

2.4. Conditions for viability of just-in-sequence production and delivery

2.4.1. Methods of transmitting information

The transmission of information involved the following crucial issues (Fig. 4).

- (1) A method had to be devised for linking the Tochigi Plant's just-in-sequence production information with Jatco's in-house system.
- (2) A method had to be devised for transmitting just-in-sequence production information from Jatco to Univance.

2.4.2. QDC issues

The respective conditions for meeting QDC requirements had to be identified and addressed in order to make just-in-sequence production and delivery feasible (Fig. 5).

As indicated in Fig. 5, only the straight-through rate was slightly below the target. The principal reason for that was in the seal installation process. Steps were taken to improve cleanliness and standard rules were created for practicing and maintaining the required measures.

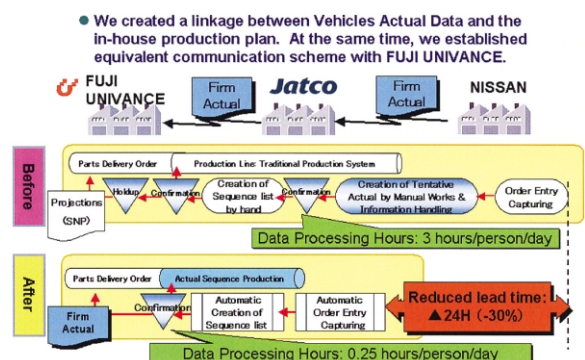


Fig. 4 Flow of information

2.4.2. Q・D・Cの課題

Q・D・C別にアクチュアル順序生産及び供給を成立させるための必要条件を明確にして活動した (Fig. 5)。

	Items	Before	Target	After	
Q	Defect Rate at Delivery	73 ppm	50 ppm	27 ppm	○
	Nonadjusted Ratio	93.6%	99%	98.1%	△
D	Compliance Rate for Hourly Production Volume	72.4%	90%	95.2%	○
	Compliance Rate for Pallet Sequence (Sequence of Palletize Out)	87%	100%	100%	○
C	Productivity: Hourly Production Volume per Person	0.98 units	1.03 units	1.04 units	○

Fig. 5 QDC issues and targets

直行率のみ若干の未達となっているが、主要課題となっているシール部工程のクリーン度向上施策と、これの維持・運用ルールの基準化を進めている。

また「テスト機の誤判定」も発生していたが、継続調査の結果、計測器や測定ユニットまわりの温度環境の安定化によりクリアできた。

(1) 品質向上への具体的な取組み(Q)

納入不良率の低減(コンタミ対策の例)

管理値として50ppm以下を目指した。製造・技術・保全・検査による部門間共同活動で推進した。また頻発していた処置ミスについては異常処理を基準化し、それを実行して撲滅した。

組付不良の低減(組付不良対策の例)

ATとトランスファとのドッキング工程において、各々の仕様情報とIDを利用した取指ランプ(トランスファのピックアップランプ)の設置により、組付け不具合を撲滅した。

(2) 時間・順序遵守の具体的な取組み(D)

時間遵守率の向上(設備故障低減の例)

製造保全の体制を強化。主として、保全士を育成して技能を向上させるべく、自主保全および教育時間として、一人あたり16時間/月を確保した。また、TPMステップ診断における指摘事項については、管理表に記載しておき、クローズするまで徹底してフォローした。

順序遵守率の向上(順序乱れ撲滅の例)

ファイナル工程における無人搬送部分では、コンベア化による分岐ポイントを廃止し、追い越しによって発生する順序乱れを撲滅した。

また、トランスファドッキング工程においては、コンベアによる直結化に加えて、モデルミックスによる振れ対策用に1時間分のストレージを設置した。

There were also times when the test equipment gave false judgments. As a result of a continuous investigation, the problem was resolved by stabilizing the ambient temperature around the test instruments and the units being measured.

(1) Specific efforts for improving quality (Q)

1. Reduction of defective delivery rate (example of anticontaminant measures)

The aim was to achieve a contaminant control value of 50 ppm or less. Cross-department efforts were promoted jointly by manufacturing, production engineering, maintenance and inspection. In addition, troubleshooting measures were standardized and implemented to deal with frequently occurring procedural mistakes and the problems were eliminated as a result.

2. Reduction of installation mistakes (example of a measure against installation errors)

In the coupling process of the AT and transfer case, indicator lamps were installed to indicate which transfer case should be picked, and that eliminated the installation mistakes. The lamps illuminate on the basis of the specification data and ID number of each unit.

(2) Specific measures for observing delivery time and sequence (D)

1. Improvement of rate of observing delivery time (example of reducing equipment breakdowns)

One of the principal steps taken to strengthen the manufacturing and maintenance systems was to train the maintenance technicians and to improve their skills. In addition to self-initiated maintenance procedures, 16 hours of education were conducted per technician every month.

At the stage of analyzing Total Productive Maintenance (TPM), a control chart was used for writing down the items pointed out. Each item was thoroughly followed up until the matter was settled.

2. Improvement of rate of observing delivery sequence (example of eliminating missequencing)

A conveyor was installed to eliminate the branching point in the automatic handling equipment in the final inspection process. That was done to avoid missequencing as a result of certain units getting ahead of others in the wrong order.

In the coupling process with the transfer case, a conveyor was installed to facilitate direct coupling. Additionally, one hour's worth of units were stored alongside the line to deal with fluctuations in the model mix.

In cases where several final testers are used, missequencing can occur due to differences among the equipment, differences in the distance from the flow of units on the line and other factors. At present, such missequencing is corrected in the palletizing area, and this is an issue that we are continuing to work on.

なお、複数のファイナルテスト機を有する場合に、それらの機差やラインの流れからの距離差などによって順番の乱れが発生しており、現在パレタイズ場で順序を補正しているものの、この課題については継続活動中である。

(3) 生産性向上のための具体的な取り組み(C) 組付け作業改善(部品箱縮小化の例)

複数の構成部品を組付ける作業場では、作業者の動きと取りやすさを重視して、個々の部品箱を縮小化することにより、部品棚をコンパクト化するとともに、集中化させた(Fig. 6)

これにより、ストライクゾーン^{*1}・ポイント^{*2}ともに大幅に改善した。

*1: 作業に適した作業範囲をいう。左右は1,370mm, 高さは床面から950~1,575mm, 奥行きは身体前面から615mm。

*2: ストライクゾーンの中で、更に作業に適した範囲をいう。左右は500mm, 高さは床面から950mm~1,380mm, 奥行きは身体前面から315mm。

トランスファシュート改善(間口減少の例)

従来はロット供給により、トランスファの払出しに7間口を要していた。改善後はアクチュアル供給により、富士宮のライン数に合わせて2間口とした。これに伴って在庫が半減した(Fig. 7)

(3) Specific measures for improving productivity (C)

1. Improvement of installation procedures (example of downsizing parts boxes)

Emphasis was put on line worker movement and ease of getting parts in work areas where multiple parts are installed. Parts shelves were made more compact and more highly concentrated by reducing the size of individual parts boxes (Fig. 6). As a result, the striking zone^{*1} and striking points^{*2} were both substantially improved.

*1 This refers to a working area suitable to the job. It measures 1,370 mm laterally, 950 to 1,575 mm in height from the floor and 615 mm in depth from the front of a worker's body.

*2 This refers to the most suitable range for the job within the striking zone. It measures 500 mm laterally, 950 to 1,380 mm from the floor and 315 mm in depth from the front of a worker's body.

2. Improvement of transfer case chutes (example of reduction of number of chutes)

Previously, seven chutes were needed to handle the transfer cases when they were delivered in lots. After making improvements for just-in-sequence delivery, the number of chutes was reduced to two to match the number of assembly lines at the Fujinomiya Plant. As a result, line-side inventories were reduced by half (Fig. 7).

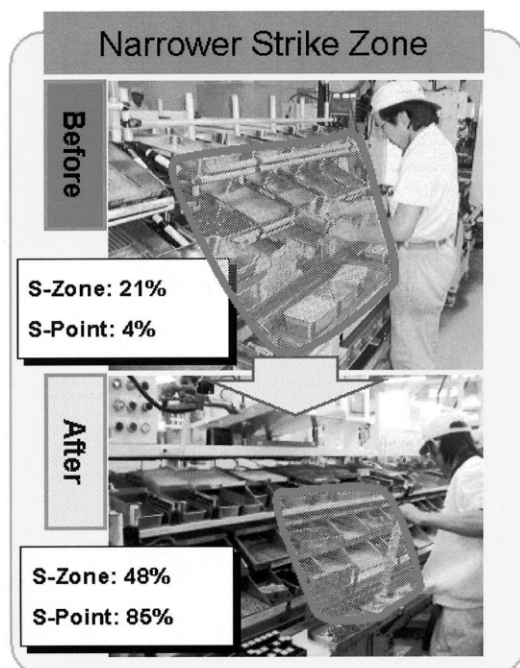


Fig. 6 Effects of improving striking zone and striking points

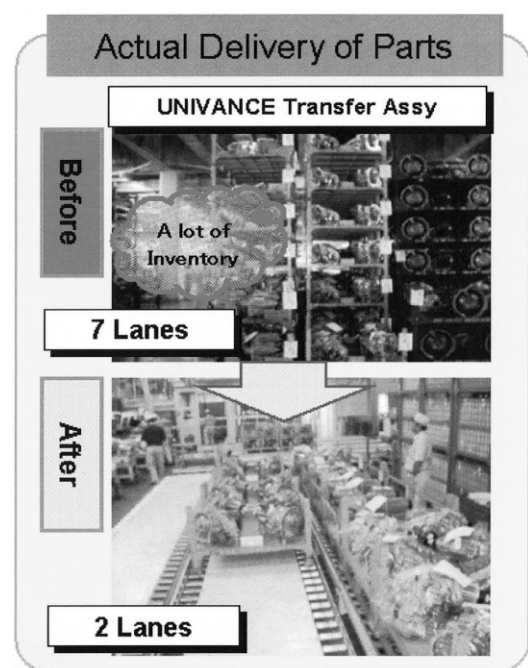


Fig. 7 Improvement of transfer case supply through just-in-sequence delivery

2.5. 成果の確認結果

リードタイムの目標値56時間に対して、53時間を達成し、目標を上回った (Fig. 8)

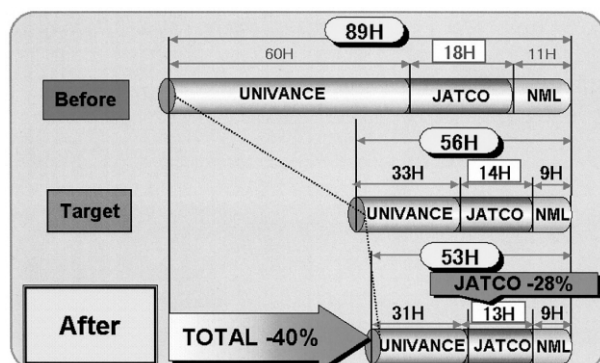


Fig. 8 Lead time reduction results

定性的効果としては、グループ全体でリードタイムを40%削減でき、全体効率が向上した。

アクチュアル順序生産・供給を実施することにより、Q・D・C全般の実力が向上した。

また、お客様やサプライヤーと限りなく近づくことにより、連帯感と緊張感をもった生産ができるようになった (Fig. 9)

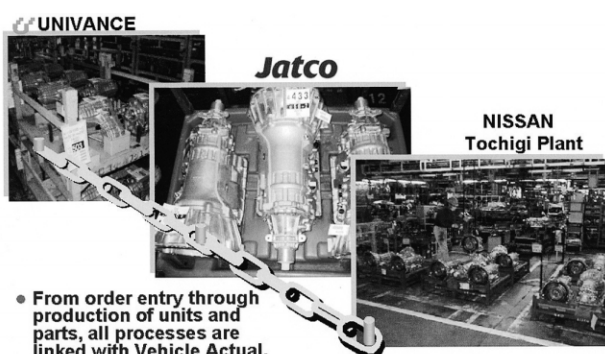


Fig. 9 Closer ties through just-in-sequence production and delivery

3. 新たな挑戦

3.1. アクチュアル生産・供給による効果の評価方法

今回の活動では、効果の指標としてリードタイムを採用した。実際には、この活動を通して新たな課題が顕在化し、それを改善することによって基盤が強化され、JEPS活動を支える生産のインプットである「人・物・設備・方法」のポテンシャルを上げることができた。Q・D・Cの各結果系の指標に対して効果を明確にするため、日産NPWと合同で算出式を現在検討中である (04年11月現在)

2.5. Confirmation of results

The actual lead time achieved was 53 hours, which was even better than the target of 56 hours (Fig. 8).

One qualitative result was that the lead time for the entire group was reduced by 40%, resulting in an improvement of overall efficiency.

As a result of implementing this just-in-sequence production and delivery system, overall improvements were achieved in QDC.

Additionally, as the relationship between the customer and the supplier has become infinitely closer, it is now possible to carry out production with a greater sense of solidarity and vigilance (Fig. 9).

3. New Challenges

3.1. Method of evaluating the benefits of just-in-sequence production and delivery

Lead time was selected as the index of the effectiveness of the present project. In actuality, this project also revealed new issues, and the steps taken to address them further strengthened the foundations of our operations. That made it possible to boost the potential of the inputs of production, i.e., people, materials, facilities and methods, that support the JEPS activity. In order to identify clearly the benefits in terms of the indexes of the results obtained in the areas of QDC, we are now studying suitable calculation equations together with Nissan's NPW Promotion Department. (as of November 2004)

3.2. Further extension

Once the just-in-sequence production and delivery system for the Tochigi Plant has been completed, we plan to mount vigorous efforts during fiscal 2005 to construct a similar system for Nissan's Oppama Plant and Kyushu Plant, which have also requested such a system. (as of November 2004)

3.3. Production leveling efforts

Production leveling is being promoted from two major approaches. One involves an effort to optimize production throughout the entire group as a whole. This activity is aimed at minimizing changes in upstream information concerning vehicles, assemblies and components and in the requested production volumes. The purpose here is to optimize the supply chain between manufacturing and transport operations. An effort is being made to stabilize volumes and variations on a group-wide basis.

The other approach is an in-house effort aimed at devising methods for reducing losses and ensuring smooth production operations. This activity is designed to ascertain the characteristics of the facilities used on

3.2. 更なる拡大

日産栃木工場向けアクチュアル順序生産・供給方法が完結すると、05年度中に日産追浜工場、日産九州工場からもアクチュアル順序生産・供給の要請を受けており、これからも積極的に対応する予定である。(04年11月現在)

3.3. 平準化生産への取り組み

平準化への取り組みとしては、大きく2つの切り口で活動を進める。

ひとつはグループ全体の最適化への取り組みとして、車両～ユニット～部品という上流からの情報や生産要求量の変動を最小限に抑制するよう、活動中である。これは、「つくり」と「運び」の供給連鎖の最適化が目的であり、ボリュームとバリエーションの安定化をグループ全体で進めていく。

もうひとつは、社内での取り組みとして、ロスを減らして円滑な生産ができる手法を目指し、各ライン毎の設備の特性を把握して安定した生産ができるよう、スケジューリング段階でコントロールできるように活動する(04年11月現在)

4. 所感

当初は、アクチュアル順序生産・供給に対する主目的は、お客様ニーズに応えるという意識が先行し、競争力や収益力を高めるための手段であるという認識が薄かった。しかし、活動を重ねるうちに、アクチュアル順序生産・供給方法自体が、基盤強化に繋げるための手段であると受け止められるようになってきた。また、アクチュアル順序生産・供給方法を実行しようとする、それを阻害するような課題が顕在化し、その課題の解決のために現場の改善意欲が引き出されるという、良い循環を得ることができるようになったと思う。

今後は、富士宮工場以外へも拡大を計画している。今回の事例を活かして、よりスムーズな取り組みを目指し、またどここの工場でも取組めるようなアクチュアル順序生産・供給方法の標準化を進める。

最後に、この活動を進めるうえで日産自動車(株)NPW推進部・栃木工場の関係者、並びに(株)フジユニバースの関係者、および社内の皆さまの多大なご協力に感謝申し上げます。

Author



Kazunori SHIOYA

each line so that they can be controlled at the scheduling stage in order to ensure that production proceeds smoothly. (as of November 2004)

4. Impressions

Initially, the principal objective of just-in-sequence production and delivery placed priority on meeting the customer's needs. There was little recognition of the system as a means for enhancing our own competitiveness and profitability. However, in the course of pursuing this project, we came to realize that the just-in-sequence production and delivery system itself was a means of strengthening the foundations of our operations. Moreover, as we moved to implement the system, issues that were hindering the project were revealed and that prompted a desire to improve the workplace so as to remove those obstacles. Thus, a good environment for making reforms was put in place.

We plan to extend this system beyond the Fujinomiya Plant in the near future. Drawing upon the experience gained in the present project, we aim to accomplish the activity more smoothly and standardize just-in-sequence production and delivery methods that can be applied to any plant anywhere.

Finally, the author would like to thank Nissan's NPW Promotion Department and the people involved at the Tochigi Plant, at Univance Corporation and at Jatco for their tremendous cooperation in this project.

2. 熱処理シミュレーションについて

当社では、生産部署のニーズが最も大きいファイナルギアの反りや径変化、プーリの油穴の影響による軸曲がり、ピニオンリダクションギアの軸曲がりとヘリカルギアの捩れ角変化をシミュレーションしている。

熱処理シミュレーションはI-DEAS等の応力シミュレーションの解法として用いられている有限要素法にFig.2で示される金属組織変態・熱・歪の相互作用を考慮した理論を組み込むことで熱処理時の歪や組織変化を計算している。

この熱処理時の組織変態・熱・歪の相互作用は変態・熱・力学 (metallo-thermo-mechanics) と呼ばれている⁽¹⁾。

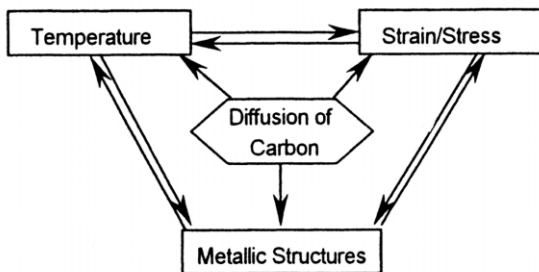


Fig. 2 "Metallo-thermo-mechanics" interactions during heat treatment processes⁽²⁾

当社ではGRANTAS(コマツソフト製)を用いている。当ソフトは、硬度・金属組織・冷却速度・内部応力・歪の解析が可能である。

今回GRANTASを導入した主な理由としては

1. コマツにおいて採用実績があり、適用事例が豊富である。
2. 多数の企業・大学がシミュレーション結果を報告しており⁽³⁾、冷却媒体の熱伝導率や焼き入れ時の組織変態に関するパラメータが入手しやすい。
3. 同様の機能を持つソフトの1/3程度の価格である。

Fig.3にGRANTASによるプーリの解析事例を示す。左に熱処理後の硬度分布を示す。硬度の高い部分は赤く、低い部分は青く示される。右に油穴近辺の残留オーステナイト分布状況を示す。黄色から赤に近づくに従って残留オーステナイトの発生量が多いことを示す。

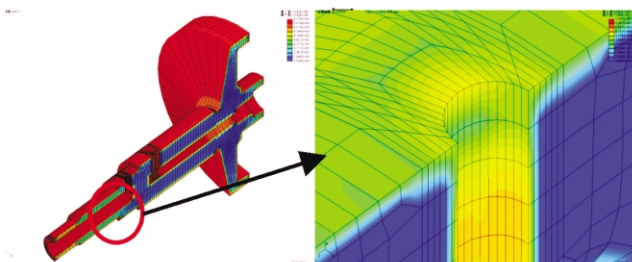


Fig. 3 Hardness & austenite distributions found by GRANTAS HT simulation

Major automakers, steelmakers and heavy equipment manufacturers are now proceeding with a project to research and develop HT simulations substantiated by theory by a target completion date of 2010. At Jatco, we aim to begin implementing HT simulations using technology that is usable at the present time, without waiting for the completion of that R&D work.

2. HT Simulations

We are applying simulations to analyze the warping and diameter changes of final reduction gears, the bending of pulley shafts due to the presence of lubricating oil holes, the bending of pinion reduction gear shafts and changes in the torsional angle of helical gears. Dealing with these distortions is the biggest need of our production group.

A HT simulation calculates the distortion and structural changes that occur during a heat treatment process. This is done by incorporating in the finite element method (FEM) a theory for considering the interactions among structural transformations in metals, heat and strain, as shown in Fig. 2. Generally, FEM is used as the analytical method in stress simulations such as those performed with I-DEAS software. Such interactions during a heat treatment process are referred to as metallo-thermo-mechanics.⁽¹⁾

At Jatco, we conduct HT simulations with GRANTAS created by Komatsu Soft. This program facilitates analysis of hardness, metallic structures, cooling rates and internal stress/strain. The main reasons for using GRANTAS are:

1. It has a record of successful use by Komatsu and an abundance of application examples.
2. Many researchers at companies and universities have reported simulation results obtained with GRANTAS,⁽³⁾ making it easy to obtain data on the parameters concerning the thermal conductivity of the cooling medium and structural transformations during quenching.
3. It costs only one-third as much as other programs with the same capabilities.

Figure 3 shows an example of an analysis of a pulley performed with GRANTAS. The left side shows the hardness distribution after the heat treatment process. Portions with high hardness are shown in red and those with low hardness in blue. The right side shows the distribution of residual austenite around an oil hole. The amount of austenite that formed increases as the color changes from yellow to red.

3.生産準備期間短縮への適用

3.1. 適用状況

歯車・プーリの熱処理シミュレーションにおいては表面硬度や金属組織に関しては既に十分な精度を持っているため、歯車全体の歪や反り、軸付歯車やプーリ軸曲がり等の大変形のシミュレーションを優先させて行う事とした。

現在ファイナルギア・ピニオンリダクションギア・CVTプーリの3部品の適用開発を行っている。実測値と比較して、ファイナルギアとピニオンリダクションギアに関してはほぼ良好な結果が得られている。

3.2. 浸炭歯車熱処理シミュレーション

Fig. 4に今回シミュレーションを行ったファイナルギアとピニオンリダクションギアのモデル形状と解析条件を示す。

ピニオンリダクションギアはヘリカル形状を含めた全体形状をモデル化しているが、ファイナルギアは解析時間が増大するため、ヘリカル歯形状を直歯形状に置き換え、1/2形状に簡易化した。

また、実測値⁽⁴⁾を基に冷却条件を設定した。冷却の速い部分はオレンジ、遅い部分は緑とした。

Fig.5にOver Ball Diameter(以下OBD)・反り・歯筋変化量の測定部位のイメージを示す。点線は熱処理後の形状、実線は熱処理前の形状を示している。

熱処理シミュレーションにおいて焼き入れ時の組織変化による応力・歪は変態膨張係数と変態塑性係数の2つによって制御される、今回A・B・C、3パターンの係数(鋼材パラメータ)を用いて解析値と実測値の比較を行った。

各鋼材パラメータは以下のように調整した。

鋼材パラメータA：形状依存性が少ない

鋼材パラメータB：直径20mm程度のテストピース用

鋼材パラメータC：直径100mm程度のテストピース用

Fig.6にファイナルギアの反りとピニオンリダクションギアの歯筋変化量の結果を示す。Fig. 7にOBDの結果を示す。今回の部品サイズや形状においては鋼材パラメータCが最も実測値との差が少ない事がわかった。

今後適用事例を増やし、部品サイズや形状に適応したパラメータを各部品ごとに決定していくと共に、歯面形状変化に対応した補正手法を開発する。

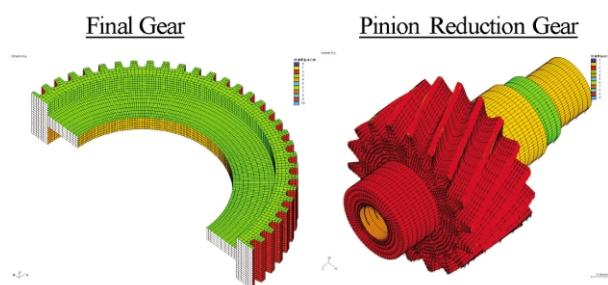


Fig. 4 Final & Pinion Gear simulation model

3. Application for Reduction of Production Preparation Period

3.1. Application situation

It was shown previously that heat treatment simulations for gears and pulleys are sufficiently accurate with respect to surface hardness and metallic structures. Therefore, priority was given to developing simulations for large distortions such as overall gear strain and warpage and the bending of gear shafts and pulley shafts.

Simulations were developed and applied to three existing parts--a final gear, a pinion reduction gear and a CVT pulley. A comparison with the experimental data revealed that rather good agreement was obtained for the final gear and pinion reduction gear.

3.2. Heat treatment simulation for carburized gears

Figure 4 shows the model geometry and simulation conditions for the final gear and pinion reduction gear analyzed in the simulations. The entire shape of the pinion reduction gear, including the helical geometry, was modeled. However, because the final gear required a longer simulation time, a simplified half model was used in which a straight tooth shape was substituted for the helical tooth shape.

The cooling conditions were set on the basis of experimentally measured values.⁽⁴⁾ The portions with a faster cooling rate are indicated in orange and those with a slower cooling rate in green.

Figure 5 illustrates the locations where measurements were made of over-ball diameter (OBD) distortion, warpage and tooth trace change. The solid and dashed lines indicate the shape before and after heat treatment, respectively.

Stress and strain induced by structural changes during quenching were controlled in the heat treatment simulations by the coefficient of transformational expansion and the coefficient of transformational plasticity. Three patterns of coefficients (i.e., steel parameters) denoted as A, B and C were used to compare the simulation and experimental values. The steel parameters were adjusted as noted below:

Steel parameter A: For a material having little shape dependence

Steel parameter B: For a test piece approximately 20 mm in diameter

Steel parameter C: For a test piece approximately 100 mm in diameter

Figure 6 shows the results obtained for final gear warpage and change in tooth trace of the pinion reduction gear. Figure 7 shows the results for OBD distortion. With respect to the size and shape of the test gears, steel parameter C showed the least difference with the experimental values.

In future work, it is planned to increase the number of application examples and to determine parameters for each part that are adapted to the part size and shape, along with developing compensation methods corresponding to the changes in gear tooth shapes.

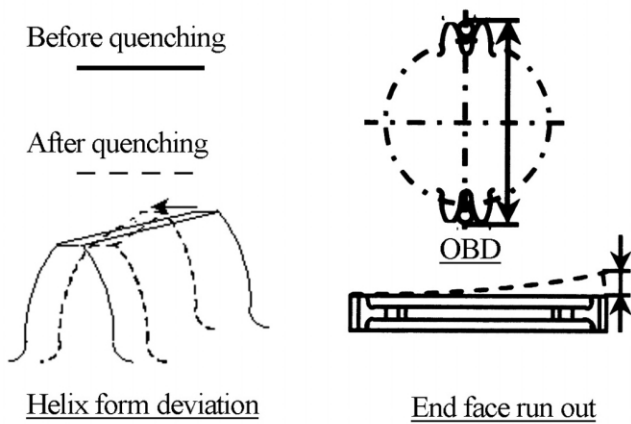


Fig. 5 Gear distortion factors⁽⁵⁾

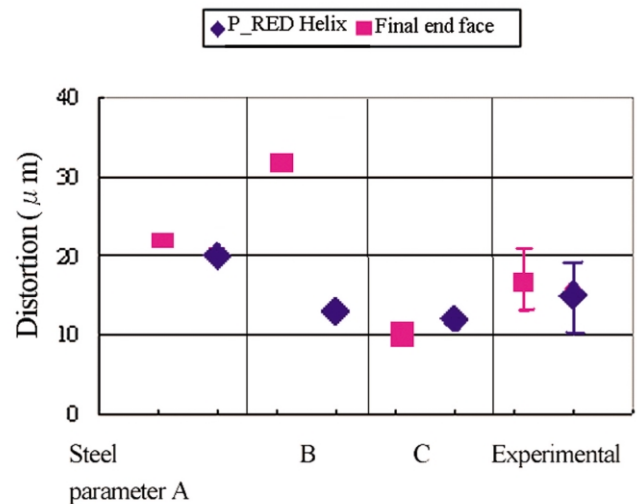


Fig. 6 Helix & end face distortion of final gear & pinion reduction gear

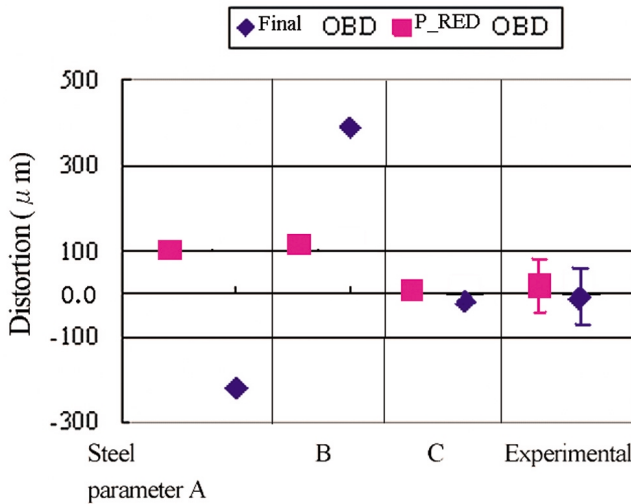


Fig. 7 OBD distribution of final gear & pinion reduction gear

3.3. CVTプーリ熱処理シミュレーション

CVTプーリの熱処理シミュレーションについて説明する。

シーブ面・ボールスプライン溝・パークギア部 (Fig. 8) の表面と内部の解析値と実測値を比較した結果をFig. 9に示す。表面・内部共に良好な結果を得た。

なお歪・軸曲がりのシミュレーションは現在開発中である。

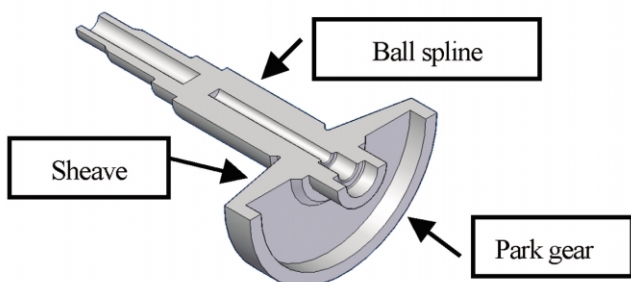


Fig. 8 CVT pulley hardness

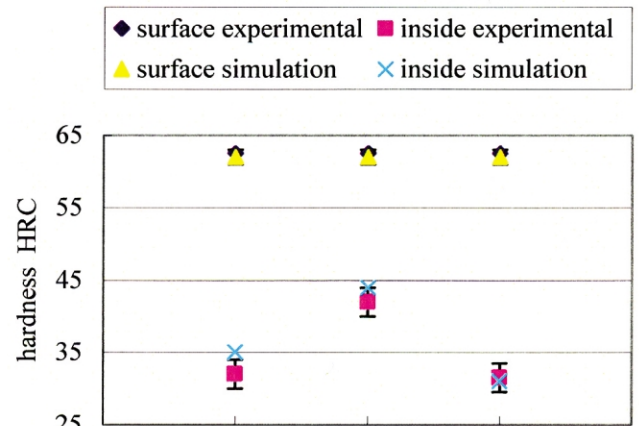


Fig. 9 CVT pulley hardness

4. 量産部品の工程改善への適用

GRANTASは円筒形状部品に対しては高い精度を持っているため、円筒形状の量産部品に適応し、コストダウンを図っている事例を説明する。

Fig.10にGRANTASによる、外径100mm・内径75mm・高さ25mm円筒部品の内径変化量の浸炭熱処理シミュレーション結果を示す。解析値は青線にて、実測値は赤丸にて示し実部品に適用可能な精度を確認した。

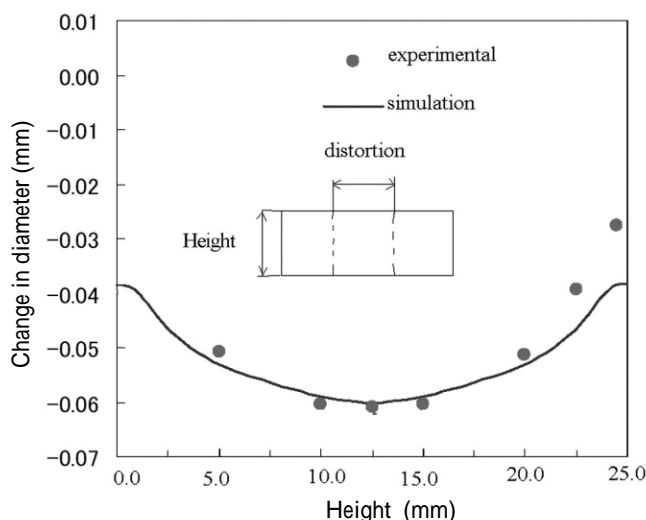


Fig. 10 Comparison of quenching distortion in cylindrical part ⁽⁶⁾

4.1. 熱処理シミュレーションのサンギアへの適用例

円筒形状部品に対しては十分な精度を持つことが確認されているので、今回は量産されているサンギア製造工程の改善案の検討に熱処理シミュレーションを活用した。

Fig.11にサンギアの形状を示す。今回シミュレーションを行ったのは先端部スプライン部の変形・歪である(写真赤丸部)

現在のサンギア量産工程は先端部スプライン内側全体を仕上げ加工しているが、より仕上げ形状に近い形で熱処理を行うことで工程におけるコストダウンを狙った。

その場合、より薄肉の形状で熱処理することによる歪の増大が予想され、研削量と歪量のトレードオフを熱処理シミュレーションにより検討した。

Fig.12にシミュレーションモデル形状と径変化量を示す。Model-Cが現行形状、Model-Bが均一に先端部を減肉した改良案、Model-Aが先端部と奥の部分で肉抜き量を变化させた改良案である。画面の色は中心軸からの膨張・収縮を表示しており膨張の大きい場合は赤、収縮の大きい場合は青で表示する。

4. Application for Improvement of Manufacturing Process of Mass-produced Parts

Because GRANTAS provides high accuracy for cylindrically shaped parts, the program was adapted for mass-produced parts having a cylindrical shape. An example of an application for obtaining cost savings is explained here.

Figure 10 shows the results of a carburizing heat treatment simulation performed with GRANTAS to find the change in the internal diameter of a cylindrical part having an external diameter of 100 mm, an internal diameter of 75 mm and a height of 25 mm. The blue line is for the simulation results and the red dots are the experimental values. The results confirm that the simulation is sufficiently accurate for application to actual parts.

4.1 Application of a heat treatment simulation to sun gears

Having confirmed that sufficient accuracy can be obtained for cylindrically shaped parts, a heat treatment simulation was used to examine a proposed improvement to the mass production process of sun gears. Figure 11 shows the shape of a sun gear. A simulation was run to find the distortion and strain of the splined tip of the gear (red portion in the photo).

The entire inner surface of the splined tip is currently finish machined in the sun gear mass production process. The aim of this application was to reduce the cost by performing the heat treatment process on the gears when they are closer to their final finished shape. In this case, it was predicted that performing the heat treatment on a gear shape with thinner walls would result in greater strain. A heat treatment simulation was performed to examine the trade-off between the amount of wall thinning done by grinding and the amount of strain occurring during heat treatment.

Figure 12 shows the shapes of three simulation models and the amount of change in the sun gear diameter. Model C represents the current gear shape. Model B is a proposed improved shape with uniformly thinner walls at the tip. Model A is a proposed improved shape with different amounts of wall thinning between the tip and the inner part of the gear. The different colors indicate expansion and contraction relative to the center axis. Portions experiencing large expansion are shown in red and those experiencing large contraction are shown in blue.

For Model B, the difference in the change in diameter of the tip's inner circumference, as indicated by the arrows, can be observed on the screen and is larger than that seen for the other models.

Figure 13 shows the simulation results for the distortion of the gear tip. The amount of absolute distortion is the least for Model C, and Model A shows the best results with respect to roundness.

As the best heat treatment results were seen for Model A, it is planned to adopt this improvement on a trial basis.

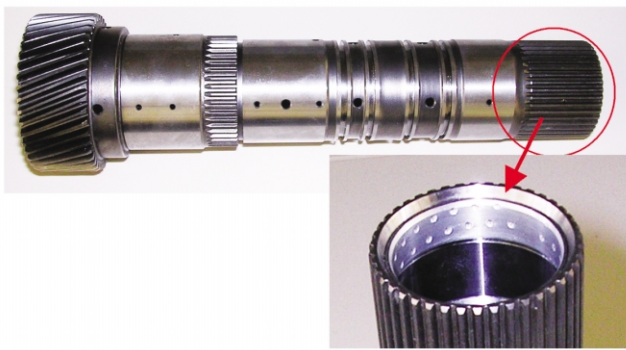


Fig. 11 Sun gear model

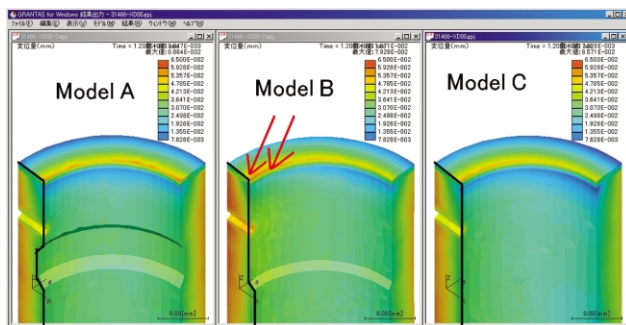


Fig. 12 Sun gear distortion

Model-Bは矢印で指示した先端部内周の径変化量の差が画面上で確認可能であり径変化量の差が他のモデルと比較して大きい。

Fig.13に先端部歪のシミュレーション結果を示す．絶対的な歪量が最小となるのはModel-C，真円度に関してはModel-Aが最も良好との結果となった。

今回の熱処理シミュレーションで良好な結果となった改良案Model-Aをトライアル予定である。

5. 今後の課題

実際の製造工程においてはワークのセット位置やロットによって歪がばらつくことが大きな問題であり，これらを予測することが求められている．その手段として熱流体シミュレーションの利用とデータベース化が挙げられる。

5.1. 熱流体シミュレーションの熱処理シミュレーションへの応用

当社では，外部研究機関と共同でソルト焼入れの熱流体シミュレーションの試験を行っており，これにより実態に即した団体焼入れ時のシミュレーション適用をめざしている。

Fig.14にワーク4段積み焼入れモデル，Fig.15に熱流体シミュレーション結果を示す。

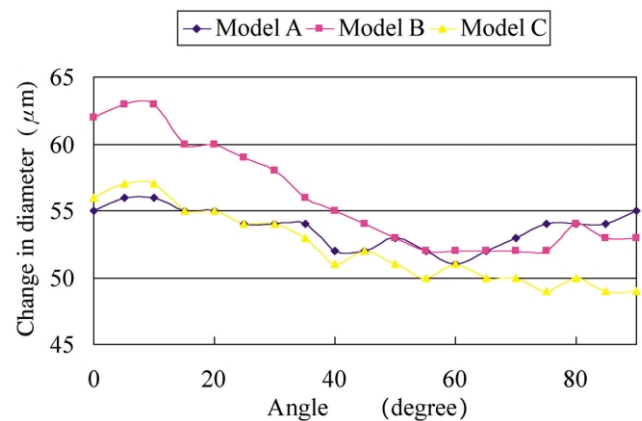


Fig. 13 Sungear distortion

5. Future Issues

In actual manufacturing processes, workpiece setup positions and variation in distortion from one production lot to another are major issues for which accurate methods of prediction are needed. The use of thermal fluid simulations and the creation of a database are possible ways of meeting that requirement.

5.1 Application of thermal fluid simulation to heat treatment simulation

Together with an outside research institute, we have conducted a joint test of a thermal fluid simulation of salt quenching. The aim of the test was to apply a simulation based on the actual conditions during batch quenching.

Figure 14 shows a quenching simulation model for four stacked layers of parts, and Fig. 15 shows the thermal fluid simulation results.

This simulation assumed that molten salt at a temperature of 200 °C was circulated from below to cool the workpieces. The light blue color indicates a temperature of around 200 °C and orange represents a temperature of around 400 °C. The simulation temperature data are for a 1.3 s interval right after the completion of quenching. A maximum temperature difference of approximately 200 °C occurs in the quenching tank between the highest and lowest layers.

A method is currently being researched for incorporating this salt temperature difference seen in the thermal fluid simulation in a heat treatment simulation.

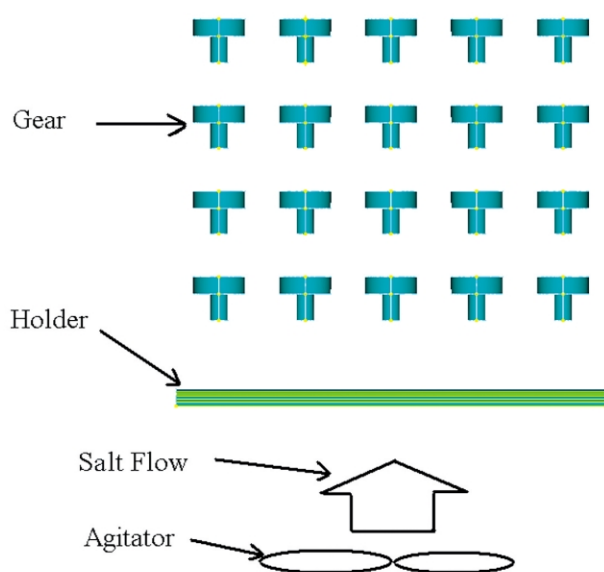


Fig. 14 Thermal fluid simulation model

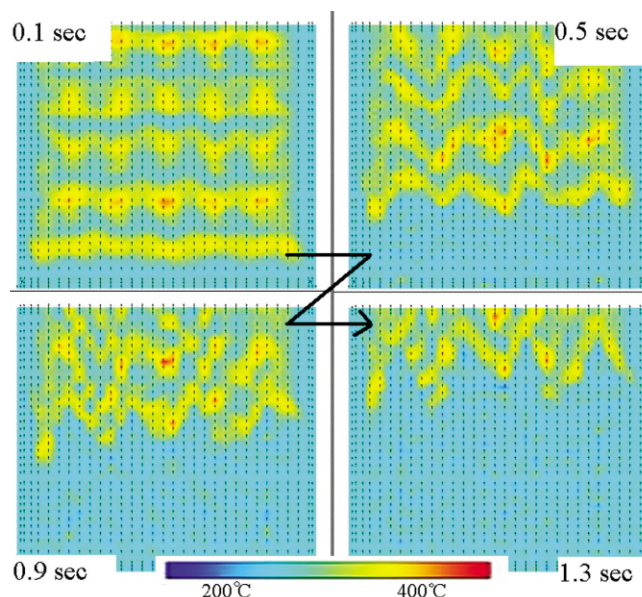
今回は200 のソルトを下部から流す形でワークを冷却しており、水色が200 程度、オレンジが400 程度となる。温度解析データは焼入れ直後より1.3秒間のデータであり、最上段と最下段では最大で200 程度の温度差が焼き入れ槽内に発生している。

現在この熱流体シミュレーションによるソルトの温度変化を熱処理シミュレーションに組み入れる手法を研究中である。

5.2. 実験値との統合・データベース化

熱処理シミュレーションの精度向上には、数多くのコリレーション作業は不可欠である。この作業を少しでも効率的に行い、早期にシミュレーションの適用を行うため シミュレーション結果 生産現場の実測値 コリレーション結果をデータベースに蓄積する必要がある。

現在、日産自動車パワートレイン技術開発試作部との共同で、データベースづくりを行っており、将来は日産圏でこれらの情報を共有する計画である。

Fig. 15 Thermal fluid simulation results
(Temperature in 1.3s internal after quenching)

5.2 Integrated database of simulation and experimental results

A great deal of correlation work is needed in order to improve the accuracy of heat treatment simulations. To do that work with maximum efficiency and apply heat treatment simulations as quickly as possible, it is necessary to accumulate in a database (1) simulation results, (2) data measured experimentally in production processes and (3) correlation results.

A database is currently being built together with the Powertrain Technology and Prototype Development Department of Nissan Motor Company. It is planned to share the data with all Nissan Group companies in the future.

6. おわりに

熱処理は、金属組織の変化が目に見えずわかりにくい技術であるが、本件により可視化し理解しやすくなった。また限られた範囲ではシミュレーションが充分実務に活用できることを示した。今後精度を向上し、誰でも日常業務で使えるように開発を進めていきたい。

最後に多大な協力をいただいた日産自動車パワートレイン技術開発試作部、当社ユニット技術部歯車技術課、CVT工場、第一FFAT工場の方々に御礼を申し上げる。

参考文献

- (1) 井上達雄：熱処理 42巻5号 P.304-310(2002)
- (2) 巨東英：熱処理 42巻5号 P.326-327(2002)
- (3) 日本熱処理技術協会 焼入れとシミュレーション研究部会・日本材料学会塑性工学部門委員会材料データベース研究分科会研究成果発表資料(2004)
- (4) 奈良崎道治：日本熱処理技術協会 焼入れとシミュレーション研究部会・日本材料学会塑性工学部門委員会材料データベース研究分科会研究成果発表資料A - 4(2004)
- (5) 渡辺陽一：IMS0236 熱処理プロセスのモニタリングと最適化のための仮想熱処理ツールの構築に関する研究成果報告書P.134(2003)
- (6) 七野勇人：IMS0336 熱処理プロセスのモニタリングと最適化のための仮想熱処理ツールの構築に関する研究成果報告書P.19(2004)

6. Conclusion

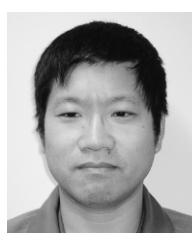
Heat treatment techniques induce structural changes in metals that are unnoticeable to the naked eye and are difficult to understand, but simulations make such changes easier to comprehend by visualizing them. It was shown through this research that heat treatment simulations are fully applicable to actual production processes within a limited scope. In future work, we intend to improve simulation accuracy further and develop simulation tools that anyone can use in everyday work activities.

Finally, the author would like to thank Nissan's Powertrain Technology and Prototype Development Department, Jatco's Gear Engineering Section of the Unit Production Engineering Department, CVT Manufacturing Department and the FF A/T Manufacturing Department No.1 for their tremendous cooperation with this project.

References

- (1) T. Inoue, Journal of The Japan Society for Heat Treatment, Vol. 42, No. 5, pp. 304-310, 2002 (in Japanese).
- (2) Ju Dongying, Journal of The Japan Society for Heat Treatment, Vol. 42, No. 5, pp. 326-327, 2002 (in Japanese).
- (3) Quenching and Simulation Research Group, The Japan Society for Heat Treatment and Materials Database Research Group, Plasticity Engineering Research Committee, The Society of Materials Science, Japan, Data presented at the Research Results Presentation Forum, 2004 (in Japanese).
- (4) M. Narasaki, Quenching and Simulation Research Group, The Japan Society for Heat Treatment and Materials Database Research Group, Plasticity Engineering Research Committee, The Society of Materials Science, Japan, Data presented at the Research Results Presentation Forum, A-4, 2004 (in Japanese).
- (5) Y. Watanabe, Research Results Report Concerning Development of a Virtual Heat Treatment Tool for Monitoring and Optimizing the IMS0236 Heat Treatment Process, p. 134, 2003 (in Japanese).
- (6) H. Shichino, Research Results Report Concerning Development of a Virtual Heat Treatment Tool for Monitoring and Optimizing the IMS0336 Heat Treatment Process, p. 19, 2004 (in Japanese).

Author



Kouichi TANIGUCHI

CVT2組立部品指示システムの考え方とシステム構成, その効果について

Concept, Configuration and Benefits of the CVT2 Assembly Parts Instruction System

土屋 伸介*
Shinsuke TSUCHIYA

井上 智宏*
Tomohiro INOUE

斎藤 寿**
Hisashi SAITO

佐藤 学*
Manabu SATO

後藤 博*
Hiroshi GOTO

抄 録 当社は2Lエンジンクラスの自動車に搭載する新開発のCVT2ユニット(以下本CVTとする)の量産を04年9月より開始した。

本稿では, 本生産ラインにおける組立部品指示システムの考え方, システム構成及びその効果を紹介する。

Summary The newly developed CVT2 for use on vehicles with a 2-liter class engine went into mass production in September 2004. This article describes the concept, configuration and benefits of the assembly parts instruction system used on the CVT2 production line.

1. はじめに

近年, 顧客ニーズの多様化及び生産の増加に伴い, 生産効率を考えるとオフライン拠点近くでの現地生産が急務となった。

また, 生産方式も多品種小ロット生産方式からさらに, 客先要求に沿ったランダム一個送り生産へ移行してきた。

品質については, その履歴情報を一括で管理し, 製品の保証度レベルを向上させるために, トレーサビリティが必要となった。

さらに, 本CVT2組立ラインにおいては, 国内, 海外の二拠点でのスムーズな同時立ち上げを実現させ, その品質情報を相互に把握することにより, 品質管理レベルを向上することを重要課題として取り組み, これらの膨大な品質履歴情報を必要な時に即座に取得することが可能な組立部品指示システムの実現を目指した。

このような背景のもと新たに, グローバルインターネットを介して, 社内のシステムと統合した組立部品指示システムを開発, 導入したので以下に解説する。

1. Introduction

Local production of transmissions near vehicle assembly plants has become an urgent issue in recent years with respect to production efficiency. This situation has come about due to customers' diversifying needs and increased production volumes.

Production systems have also been changing from setups for producing small lots of multiple varieties to random production of individual units according to the customer's requirements.

Traceability has become a necessity for quality assurance purposes. Product information records must be managed collectively for effective use in improving the level of product quality assurance.

Moreover, the CVT2 had to be launched smoothly and simultaneously on assembly lines at two locations, one in Japan and the other one overseas. A critical issue in accomplishing that was to improve the level of quality control by being fully aware of each other's quality information. The aim here was to establish an assembly parts instruction system that would facilitate immediate acquisition of the enormous volumes of information in the quality records whenever necessary.

This article describes the assembly parts instruction system that was developed, implemented and integrated with the existing in-house system through the global Internet against the backdrop outlined here.

* ユニット技術部
Unit Production Engineering Department

** JATCO México, S.A. de C.V.

2. ライン概要

本CVT組立ラインのライン内写真をFig. 1に示し、その工程フローをFig. 2に示す。各サブラインで組み立てられた構成部品は、メインラインに移され、順次CVTユニットが組み立てられる。

完成したユニットは、ファイナルテストにて性能試験を行い、出荷準備工程を経て出荷される。

2. Assembly Line Overview

Figure 1 shows a photograph of the CVT2 assembly line. The flow of the assembly processes is shown in Fig. 2. The component parts assembled on the sub-assembly lines are transferred to the main line and installed in sequence to build the CVT2.

Fully assembled units undergo performance tests at the final test stand, are prepared for shipment and are then delivered to customers.



Fig. 1 CVT2 assembly line

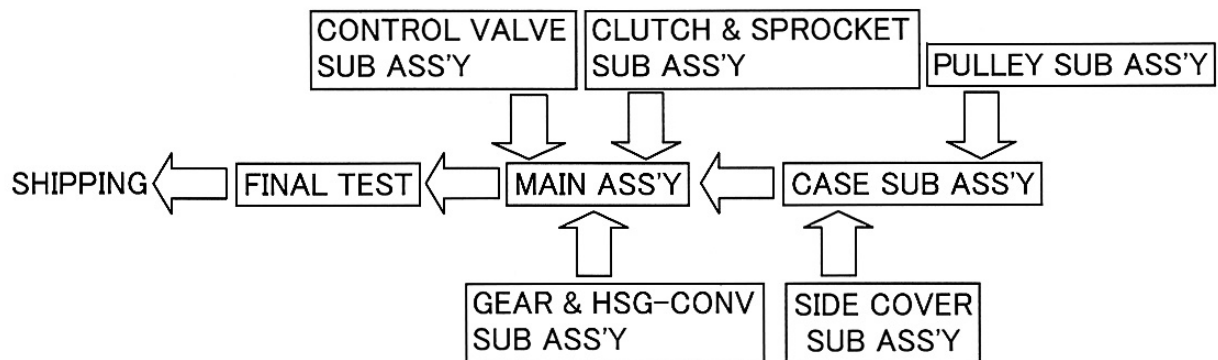


Fig. 2 Flow of CVT2 assembly processes

3. システム導入の目的

3.1. 異品・欠品の防止による品質向上

新ユニットの立ち上げでは、新人の作業人員比率が高いため、人のみに頼らない品質保証システムが要求されている。それに従って、作業者に確認・判断させるのではなく、作業者に対して視認性の高い情報の表示で必要部品を明確に示すことにより、異品・欠品を防止し、品質を向上させる方策が必要であった。

3. Objectives of System Implementation

3.1. Quality improvement by avoiding use of incorrect parts and missing parts

There is usually a high percentage of inexperienced line workers at the time production of a new transmission is launched. Therefore, it was necessary to have a quality assurance system that would not depend solely on human workers. Measures had to be taken to improve quality by preventing the use of incorrect parts and missing parts. That was done by giving assembly line workers highly legible information to clearly indicate the right parts, instead of having them confirm and judge the parts just by themselves.

3.2. 組立品質データの収集及び組付部品ロット情報記録の収集

組付部品のロット情報記録によるトレーサビリティによって、製品の保証度を向上させることは必要不可欠となってきたが、組立品質データ(例えば、締付トルク、選択シムランクなど)収集及びトレーサビリティの実施に伴う作業工数増加及び情報収集の精度が課題であり、その自動化が必要不可欠であった。

3.3. 海外拠点との品質データ共有化

本CVTを生産する国内組立ラインと海外拠点での組立ラインの品質データ(組立品質データ、ファイナルテストデータ、コントロールバルブテストデータ)の共有化を行い、その品質情報を相互に把握することにより、品質管理レベルを同等に保つことが必要であった。

さらに、海外拠点のデータがほぼリアルタイムで得られることによりタイムリーなデータ管理が可能となり、品質管理レベル向上も可能となる。

3.4. リペア工程からのライン投入

リペア作業時にはユニットをワークベース(以下WBとする)より作業台へ移載し、作業を行うため、ユニットとWBに取り付けられたデータキャリア(以下DCとする)の情報が一対一にならないため、リペアユニット投入履歴を管理するシステムが必要であった。

4. システムの狙い

- (1) 部品指示と本システムとの連動による品質向上
- (2) 工場ホストコンピュータとのオンライン化による迅速かつ正確なアクチュアル指示(生産計画)及び組付部品指示端末への情報の展開
- (3) 品質、ロット情報の自動収集、管理及び検索
- (4) 海外拠点との品質データ共有化により、そのデータ量増加による品質の安定
- (5) リペア工程における製品管理レベルの向上

5. システムの概要

Fig. 3に本システムの構成図を示す。本システムは品質データ収集サーバ、品質データ収集端末(Fig.4)、品質データ検索端末、部品指示端末、データ共有化用サーバ(国内、海外)、データ共有化用メンテナンスPC、12台のライン管理盤、4台の品質データ収集管理盤、その他に各設備・各WBに備えるDC及び、タッチパネル式操作盤(以下PTとする)(Fig.5)などで構成される。

3.2. Collection of assembly quality data and records of assembly parts production lot information

It is imperative today to improve the level of product quality assurance through traceability based on records of the production lot information of assembly parts. However, collecting assembly quality data (e.g., tightening torques, selected shim ranks, etc.) and undertaking traceability measures would increase the workload of line workers and could pose problems concerning the accuracy of the collected information. Therefore, automation of such tasks was absolutely essential.

3.3. Sharing of quality data with the overseas plant

The CVT2 assembly line in Japan and the assembly line overseas needed to be aware of each other's quality data in order to maintain the same level of quality control. That was accomplished by sharing quality data such as assembly quality data, final test data and control valve test data.

Moreover, being able to obtain the quality data of the overseas plant almost in real time has facilitated timely data management, which has also contributed to improving the quality control level.

3.4. Line input from repair process

Transmissions requiring repair are transferred from a work base (WB) to a work table where the repair work is done. Consequently, the information in the data carrier (DC) attached to the individual unit and that in the DC on the WB do not match one-to-one. That made it necessary to create a system for managing the records of repaired transmissions input into the line.

4. System Objectives

- (1) To improve quality through the linkage between assembly part instructions and this system.
- (2) To issue just-in-sequence instructions (based on the production plan) accurately and quickly through an on-line connection with the plant's host computer and transfer the information to lineside assembly parts instruction terminals.
- (3) To collect, manage and retrieve quality data and production lot data automatically.
- (4) To stabilize quality through effective use of the increased amount of data available as a result of sharing quality data with the overseas plant.
- (5) To improve the level of product management in the repair process.

5. System Overview

The configuration of the system is shown schematically in Fig. 3. The system mainly consists of a quality data collection server, a quality data collection terminal (Fig. 4), a quality data retrieval terminal, an assembly instruction terminal, servers for sharing data (domestic and overseas installations), a maintenance PC for sharing data, 12 line controllers, 4 quality data collection controllers, and also the DCs attached to each machine and WB as well as touch-panel programmable terminals (PTs), an example of which is shown in Fig. 5.

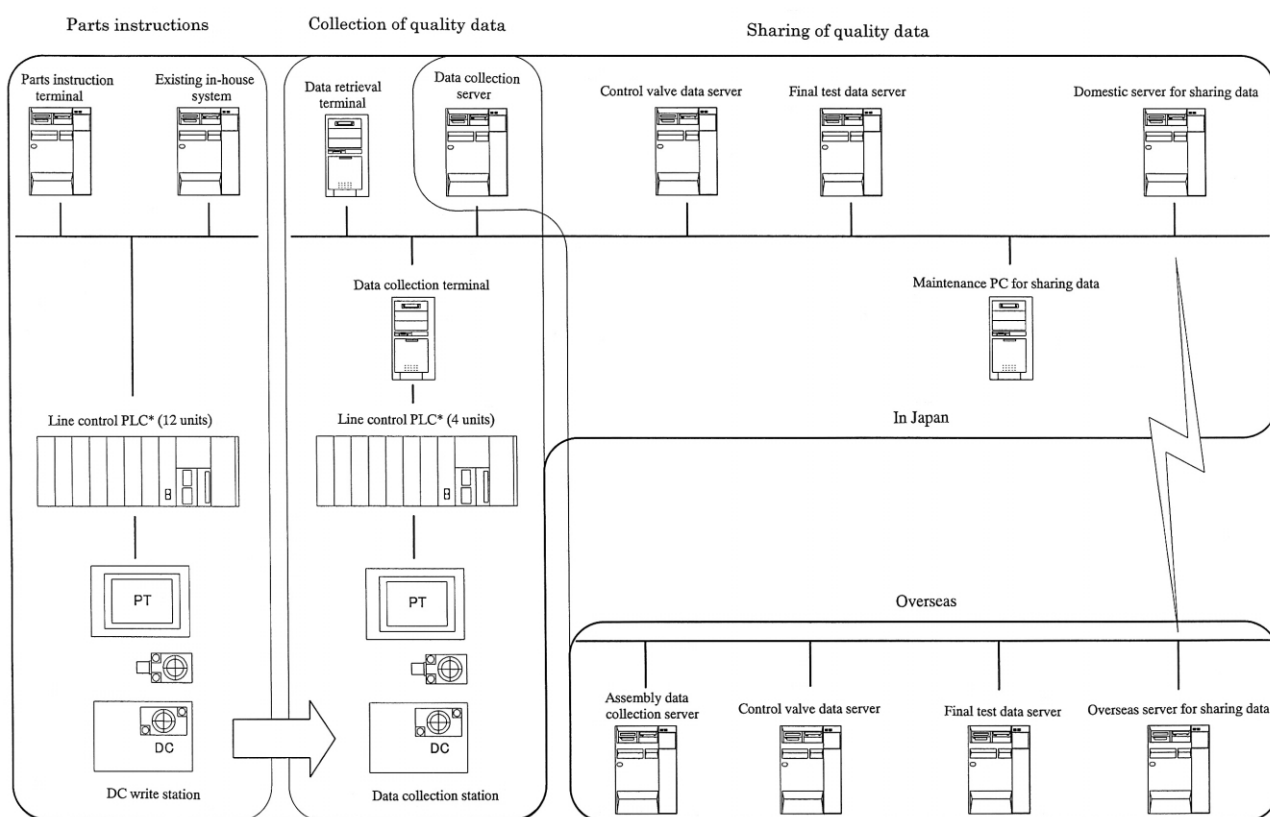


Fig. 3 Configuration of CVT2 assembly parts instruction system



Fig. 4 Quality data collection terminal



Fig. 5 Example of touch-panel monitor screen

5.1. 生産指示情報の伝達

工場ホストコンピュータと本システムの部品指示端末はオンラインで結ばれ、生産指示情報は定期的に送信される。生産指示情報を受信した部品指示端末は、その情報から車種毎の段取り指示情報や組付部品データ情報作成処理を行う。

各ライン管理盤は生産状況に応じて部品指示端末からユニット毎の部品データ情報を読み取り、それらの情報を各WBのDCに書き込むことによって生産指示を行う。

5.2. 組付指示情報の伝達

組付指示情報は、前述の部品指示端末より各ライン管理盤に自動的に送信される。各ライン管理盤は8つのDC書込ステーション(以下DC書込STとする)で構成され、それらの情報の書込処理を行う。

DCの部品情報より供給シュートに取り付けられた、組み付け部品を指示するランプ(以下ピッキングセンサとする)を点灯させ、組み付けるべき部品の取り出しを促す。もし、作業者が必要部品の組み付けを行わなかったり、指示以外の部品を取り出した場合は、警報を鳴らし、WBストッパが下がらないようにした。さらに、各ピッキングセンサの点灯回数及び点灯順序設定をPTにて行えるようにすることで、組付順序通りに点灯させることを可能とした。

また、車種切替時には音声で切替を告知することで、作業者に注意を促す機能も取り入れた。

5.3. 品質、ロット情報の自動収集、管理及び検索

内製外製部品を問わず、主要部品に添付されるロットバーコードを作業者がバーコードリーダで読み込ませる方法と、部品に刻印される二次元コードを組付設備が自動で読み込む方法によってロット管理を行う。

各設備で得られた組立品質データをDCへ書込処理を行い、品質データ収集管理盤によりデータの収集処理を行う。これらの情報を自動で品質データ収集サーバに保存することでデータベースを構築し、容易に検索、データファイルの出力を可能とした。

5.4. 海外拠点との品質データ共有化

国内及び海外拠点共有化用サーバを利用し、各々のサーバが組立品質データサーバ、ファイナルテストデータサーバ、コントロールバルブテストサーバから前回送信完了以降に追加されたデータを抽出し、それを設定時刻に相互で送受信を行うことで、品質データ共有化を図った。

5.1. Transmission of production instruction information

The plant's host computer and the parts instruction terminal of the system are connected on-line to enable transmission of production instruction information at regular intervals. Upon receiving production instruction information, the parts instruction terminal processes it and generates the setup instructions and assembly parts data for the units of each car model.

Each line controller obtains the assembly parts data for each transmission from the parts instruction terminal and generates production instructions by writing that information to the DC of each WB according to the production status.

5.2. Transmission of assembly instruction information

Assembly instruction information is transmitted automatically from the assembly parts instruction terminal to each line controller. Each line controller is composed of eight DC write stations (DC write ST) that perform the data write operations.

The lamps (picking sensors) that are attached to the feed chutes and indicate the parts to be installed are illuminated based on the parts information in a DC. An illuminated lamp indicates to a line worker which part is to be installed. If a worker fails to install a required part or picks a part other than the instructed one, an alarm sounds and the WB stopper does not descend. The number of times each picking sensor should illuminate and the order of illumination can be set from the PT, making it possible to illuminate the sensors according to the sequence of the parts to be installed.

A voice announcement is made when switching from the units for one car model to those of another model, so as to encourage the line workers to be careful.

5.3. Automatic collection, management and retrieval of quality data and production lot information

Production lot information is managed in two ways. Line workers use barcode readers to scan the production lot barcodes affixed to all major components, whether manufactured in-house or procured from suppliers. The two-dimensional codes stamped on parts are read automatically by the assembly line equipment.

The assembly quality data obtained from each machine are written to its DC, and the data are collected and processed by the quality data collection controller. The data are automatically stored on the quality data collection server to create a database, making it easy to retrieve and output data files.

5.4. Sharing of quality data with the overseas plant

Servers for sharing quality data have been installed both domestically and overseas. Each server extracts the data newly transmitted from the assembly quality data server, final test data server and control valve test data server since the completion of the previous data transmission and exchanges the new data with the other server at fixed times. This arrangement enables the domestic and overseas assembly lines to share quality data.

5.5. リペア工程投入ST設置

リペア工程に専用投入STを設け、バーコードリーダーにて車種の読み取りを行い、本ラインと同様にDCに組付指示情報を書き込むことでリペア投入履歴管理を可能とした。

6. システムの導入の効果

6.1. 異品組付・欠品の防止

各手作業組付STには、各部品供給シュートにピッキングセンサを設置し、点灯回数、順序指示機能を持たせ、車種切替時には警報と確認ボタンを設けることにより、作業者は組み付けるべき部品の順序を意識せずとも、組付を行うことが可能となり、精神的負担を軽減することができた。

6.2. 品質、ロット情報の自動収集管理

ユニット1台分の品質記録・集計を自動化することにより工数の削減を実現した。

ロット管理においては、前述の方法により管理し、その作業工数の削減とその精度向上を実現した。

組付部品の傾向が変化した場合には、検索端末により対象ロットの正確な絞り込みが可能となり、解析リードタイム短縮が可能となった。

6.3. 海外拠点との品質データ共有化

海外拠点と品質及び組付部品ロットデータを共有することで、海外拠点での組立ライン立ち上げに際し、データサーバに蓄えられた品質データで種々の解析をすることが可能となり、品質管理レベルの向上を実現した。

7. おわりに

今回立ち上げた組立部品指示システムでは、膨大な品質管理のための情報を自動で保存・管理・共有することでトレーサビリティを実現した。

今後はこれらの品質データを自動で解析し、品質に反映するシステムの構築に取り組んでいきたい。

5.5. Installation of a repair process input station

A dedicated input station was installed for the repair process. A barcode reader reads the car model information, and assembly instruction information is written to a DC, just as is done on the main line. This now makes it possible to manage repair process input records.

6. Benefits of System Implementation

6.1. Prevention of installation of wrong parts and missing parts

A picking sensor is installed at each parts supply chute at manual assembly stations. The sensors illuminate the set number of times and in the specified sequence. An audible alert is given when switching between units for different car models, and workers confirm the change by pushing a button. These measures enable workers to install the right parts without being actively conscious of the sequence, which reduces their mental workload.

6.2. Automatic collection and management of quality data and production lot information

The quality data of each transmission are recorded and compiled automatically, thereby reducing the man-hours required.

Production lot information is managed by the two methods explained earlier, which reduce the workload and improve accuracy.

If the quality trends for assembly parts vary, it is possible to pinpoint accurately the production lot concerned via the quality data retrieval terminal. That ability shortens the lead time needed to analyze the problem.

6.3. Sharing of quality data with the overseas plant

The sharing of quality data and assembly parts production lot data with the overseas plant enabled the plant to conduct various analyses at the time the CVT2 assembly line was launched, using the quality data stored on its data server. That worked to improve the quality control level.

7. Conclusion

The newly implemented assembly parts instruction system makes it possible to store, manage and share enormous volumes of quality control data automatically, thereby ensuring good traceability.

In future work, we want to build a system for automatically analyzing quality data and reflecting the results in product quality improvements.

Authors



Shinsuke TSUCHIYA



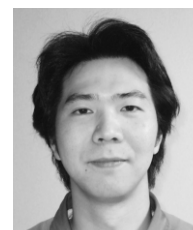
Tomohiro INOUE



Hisashi SAITO



Manabu SATO



Hiroshi GOTO

複合加工工具による切削加工表面層への圧縮残留応力生成とその制御

Control of Compressive Residual Stress in the Machined Surface Layer using a New Tool for a Combined Cutting-Burnishing Process

瀬川 俊明*

Toshiaki SEGAWA

抄 録 加工表面層に生成される圧縮残留応力は機械加工部品の疲労強度を向上させる。そこで本研究では切削加工と同時に加工表面層に圧縮残留応力を生成させる工具の開発を行った。開発した工具は、切刃が加工表面を切削すると同時に、底刃中心部分にあるピンが回転と送りにより加工表面を押しなすことで、加工表面層に圧縮残留応力を生成させる。実験の結果、切削加工と同時に加工表面層に圧縮残留応力が生成できること、また、これをクロスフィード幅の変更で制御できる可能性があることが分かったので、本論ではその結果について報告する。

Summary A new tool, called the compressive residual stress generating (CRSG) cutter, has been developed for inducing compressive residual stress in the machined surface layer concurrently with the milling process. It is expected to improve mechanical properties such as fatigue life. An investigation was made of the possibility of controlling the residual stress state induced by the CRSG cutter in the machined surface layer by varying the machining conditions. It was found that the machining conditions set for the CRSG cutter can control the amount of plastic deformation. The cross-feed width can change the plastic deformation of the machined surface, which is a key factor in controlling the residual stress generated in the surface layer.

1. 緒 言

切削加工によって被削材の加工表面層に生成される残留応力は、通常、引張り残留応力となる。生成された引張り残留応力は加工表面にクラックが発生した場合、これを拡張する方向に作用し、製品の疲労強度を低下させる原因となる。

航空機の主翼用構造部品や自動車用自動変速機の駆動部品など使用用途上、高い疲労強度が要求される部品には機械加工後にショットピーニングにより加工表面層に所要の圧縮残留応力が付与される。ショットピーニングとは鋳鋼などの小球を被加工物に高速で衝突させ、切削加工表面に降伏点以上の力を与えることで塑性変形させ、これにより加工表面層を伸ばし、塑性変形下層からの力によって高い圧縮残留応力を得る方法である。

加工表面層に生成される圧縮残留応力は引張り残留応力とは逆に、加工表面にクラックが発生した場合、これを拡張しない方向に作用し、製品の疲労強度を向上させる。また、これによる部品の軽量化の可能性もある。しかしながら、ショットピーニングは、切削加工後の二次加工となるため効率的ではない、製品精度の維持が困難であるなどのデメリットもある。

1. Introduction

Residual stress induced in the machined surface layer of workpieces by metalcutting processes generally becomes tensile residual stress. When a crack occurs in a machined surface, such tensile residual stress acts to propagate the crack, thereby causing the fatigue strength of the product to decline.

Structural components of the main wings of aircraft and the drive parts of automotive transmissions require high fatigue strength because of their usage conditions. Following machining, such parts are subjected to shot peening to give the machined surface layer the necessary level of compressive residual stress. Shot peening is a process in which small cast-steel spherical particles are bombarded against a workpiece at high speed. By applying a high level of force to the machined surface greater than the yield point, the shot induces plastic deformation that stretches the surface layer. As a result, a high level of compressive residual stress is generated by the force of the layers below the plastic deformation.

* 材料工法開発室
Material & Process Development Department

また、これとは別の方法として、専用のバニシング工具により、切削加工後の加工表面層に圧縮残留応力を付与する方法もある。バニシング工具及び加工条件に関する研究も多く行なわれている⁽¹⁾⁻⁽³⁾が、現状のバニシング工具では、ショットピーニングに比べて加工できる形状に制約が多い上、ショットピーニングと同様に切削加工後の二次加工となるため能率的ではない。また、旋削加工や固定砥粒加工でも一定の条件範囲内において加工後の加工表面層に圧縮残留応力が生成されることが知られており、研究もなされている⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾が安定的に制御された圧縮残留応力を付与できるまでには至っていない。

そこで本研究では、切削加工と同時に加工表面層に安定した圧縮残留応力を生成させる工具を開発している⁽⁷⁾⁻⁽⁸⁾。切削加工と同時に加工表面層に圧縮残留応力が生成できれば、ショットピーニングなどの圧縮残留応力付与加工を行わないことによる加工能率の向上だけでなく、前述した部品の軽量化という通常の切削加工には無い高い付加価値が付与できる。

実験では、回転工具に加工表面を積極的に押しならす部分を備えた圧縮残留応力生成工具の開発を行い、その基本特性及び加工条件と生成される圧縮残留応力の関係を調べた。その結果、切削加工と同時に加工表面層に通常の切削加工では得られない圧縮残留応力が生成できること及びクロスフィード幅を変更することで加工表面層に生成される圧縮残留応力を制御できる可能性があることが分かったので本論にてその詳細を報告する。

2. 圧縮残留応力生成工具

今回開発した圧縮残留応力生成工具をFig. 1に示す。開発工具は市販の高速度工具鋼エンドミルを改造して製作した。工具は直径6mm、長さ70mm、刃数3枚であり、底刃中心部に切削加工面を押しならすためのピンを有する。このピンは超硬合金製で、先端はR 3mmの球面となっている。なお、切刃部、ピンともにコーティングは行っていない。ピンは切刃から0.1mm突き出した状態で工具側面に設けた六角穴付きネジで固定される。

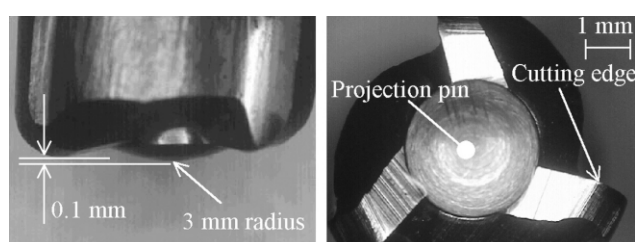


Fig. 1 Photographs of CRSG cutter

Contrary to tensile residual stress, compressive residual stress induced in the machined surface layer does not act to propagate a crack that occurs in the surface and thus works to improve the fatigue strength of products. Moreover, this effect can make it possible to lighten the weight of parts. However, shot peening has the disadvantages that (1) it is not very efficient because it is performed as a secondary process following machining and (2) it is difficult to maintain product accuracy.

Apart from shot peening, another method of imparting compressive residual stress to the surface layer of machined workpieces is to use a special burnishing tool. While many studies have been conducted concerning burnishing tools and process conditions,⁽¹⁾⁻⁽³⁾ the workpiece shapes that current burnishing tools are able to accommodate are greatly limited compared with shot peening. Furthermore, like shot peening, burnishing is done as a secondary process following machining, so it is not very efficient. It is also known that turning and fixed-wheel grinding within a certain range of conditions can also induce compressive residual stress in the machined surface layer following machining. Although these processes have been researched,⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾ they have not reached the point where a controlled level of compressive residual stress can be applied stably.

Accordingly, in this study, a tool was developed that can stably induce compressive residual stress in the surface layer concurrently with the milling process.⁽⁷⁾⁻⁽⁸⁾ If compressive residual stress can be generated in the machined surface layer as machining proceeds, it will improve machining efficiency by eliminating the need to carry out a secondary process later specifically for that purpose. What is more, it can create high added value unobtainable with an ordinary machining process, such as a reduction of the weight of components as mentioned earlier.

Experiments were conducted to develop a rotating tool capable of inducing compressive residual stress in the machined surface layer by providing the tool with a projection that is actively pressed against the workpiece surface to flatten it. Tests were then carried out to investigate the relationship between the fundamental tool characteristics and process conditions and the compressive residual stress induced in the machined surface layer. As a result, it was found that the newly developed tool is capable of inducing compressive residual stress in the machined surface layer concurrently with the milling process, something that cannot be accomplished in ordinary machining operations. It was also observed that the compressive residual stress induced in the machined surface layer can be controlled by varying the cross-feed width. This article describes in detail the results of this study.

次に本工具の加工形態をFig. 2に示す．まず切刃により，任意厚さの材料表面が除去される．それと同時に底刃中心部にあるピンが，材料表面が除去された後の切削加工面を回転と送りにより押しなす．押しなされる加工表面は塑性流動し，元の状態より伸ばされる．伸ばされた加工表面には，その下層から元の状態に戻そうとする力が作用する．この力が圧縮残留応力となって加工表面に作用することになる．

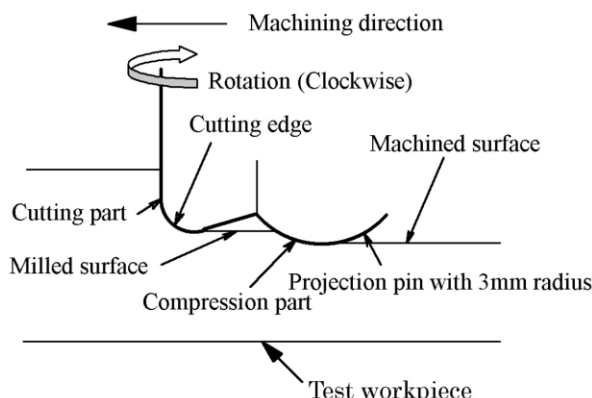


Fig. 2 Mechanism of the machining process with the developed tool

3. 圧縮残留応力生成工具の基本特性

実験材料には加工性が良好で，かつ延性が高く，開発工具の基本特性の評価が容易なアルミニウム合金圧延材7075-T651を使用した．本材料は引張り強度が570MPaと非常に高い．-T651は調質状態であり，溶体化処理後1.5%以上3%以下の永久ひずみを与える引張り加工によって残留応力を低減し，さらに人工時効硬化処理を行っていることを表す．したがって，実験材料は焼鈍状態の材料でない．このため，加工実験前でも素材自体が若干の残留応力を有することは不可避であるが，提案する工具により，加工後の表面層に生成される残留応力には，ほとんど影響が無いことを予備的に確認した．実験材料は長さ150mm，幅90mm，厚さ6mmの平板であり，4個のクランプを用いてテーブル状の治具に固定した．加工方法は基本的にエンドミルによる平面加工に準じたものであり，素材の圧延方向に垂直な方向のクロスフィード加工とした．クロスフィード加工とは，金型加工などにおいて先端が球形のエンドミルを用いて3次元形状あるいは平面を加工する加工であり，工具を送り方向と垂直な方向に微小に移動させながら広い面を加工する加工法のことである．

なお，工具軸は加工面に対して常に垂直な状態で加工した．加工表面層に生成された残留応力はPSPC微小部X線応力測定装置により送り方向及びクロスフィード方向の2方向で測定した．

2. Compressive Residual Stress Generating Cutter

Photographs of the compressive residual stress generating (CRSG) cutter developed in this work are given in Fig. 1. This tool was developed by modifying a commercial high-speed steel end mill. The tool is 6 mm in diameter and 70 mm in length and has with three cutting blades. A projection pin provided in the center of the bottom blade serves to flatten the machined surface. The pin is made of a hardened alloy and its tip is spherical in shape with a radius of 3 mm. Neither the cutting edges nor the pin is coated. The pin projects 0.1 mm outward from the bottom blade and is secured by a hexagonal screw provided in the side of the tool.

The configuration of the machining process performed with this tool is shown in Fig. 2. The cutting edges first remove the surface layer of the workpiece to any desired depth. Simultaneously, following the removal of the surface layer, the projection pin in the center of the bottom blade presses against and flattens the machined surface as a result of rotating and feeding the workpiece. The flattened machined surface undergoes plastic flow and is stretched beyond its original state. The layers below the stretched machined surface exert force on the surface layer to return it to its original state. That force becomes compressive residual stress that acts on the machined surface layer.

3. Basic Characteristics of CRSG Cutter

The test material used in the experiments was a rolled aluminum alloy (7075-T651) that was easy to machine, possessed high ductility and facilitated an easy evaluation of the basic characteristics of the CRSG cutter. This material has exceptionally high tensile strength of 570 MPa. The designation "T651" indicates a heat-treated condition. After the material undergoes a solution heat treatment, residual stress is reduced by performing a stretching process to apply permanent strain between 1.5% and 3%. It further indicates that the material has undergone a process of artificial aging and curing. Accordingly, the test material was not in an annealed state. As a result, the raw material itself unavoidably possessed some residual stress prior to the machining experiments. However, preliminary tests confirmed that such stress had virtually no effect on the compressed residual stress induced in the workpiece surface layer by the proposed CRSG cutter following machining.

The test workpiece was a flat plate 150 mm long, 90 mm wide and 6 mm thick. It was secured in a table-shaped jig by means of four clamps. The machining process was basically comparable to flat-face machining with an end mill. Cross-feed machining was performed perpendicular to the rolled direction of the material. Cross-feed machining refers to a machining process performed on a three-dimensional shape or a flat surface with an end mill having a spherical tip, as in the case of die/mold machining. A wide surface is machined in the process of moving the tool in tiny increments in the feed direction and perpendicular to the workpiece.

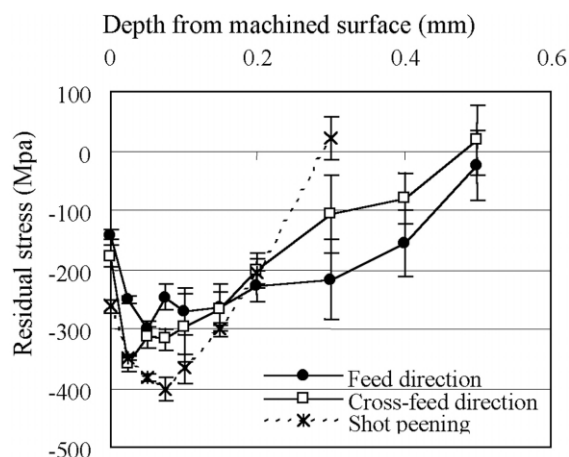


Fig. 3 Distribution of compressive residual stress in a section of workpiece

Fig. 3に開発した圧縮残留応力生成工具を用いて実験材料を加工した場合の加工表面層における残留応力分布を示す。なお、図中、正の方向は引張り残留応力、負の方向は圧縮残留応力をそれぞれ表す。図中には比較のため、ショットピーニングによる残留応力も示す。ショットピーニングの加工条件はショットサイズ：No.230(粒径0.5～1.0mm)、ショット材質：鋳鋼、ショット硬度：45～52HRC、インテンシティ：.006" A (0.1524mm)、カバレッジ：100%である。

Fig. 3より、圧縮残留応力生成工具により加工表面層に圧縮残留応力が生成されていることが分かる。最も圧縮となる位置は加工表面ではなく、加工表面から0.05mm程度の深さにあり、それより深い位置では徐々に圧縮残留応力が減少し、0.5mm前後で圧縮残留応力から引張り残留応力に転ずることが分かる。加工表面では約-150～-200MPa、ピークでは約-300～-350MPaという切削加工のみでは通常生成できない圧縮残留応力が生成可能である。このように高い圧縮残留応力が生成できるのは、ピンによって加工表面層が押しならされた結果、その押しならされた加工表面層の下層から、加工表面を元の状態に戻そうとする力が作用するためと考えられる。

これらの結果をショットピーニングの場合と比較すると、最も圧縮になる位置が加工表面ではなく表面下にありそれ以降は圧縮が低下するという残留応力の分布の傾向は類似している。また、生成されている圧縮残留応力のピークもほぼ同じである。ただし、ピークを示す位置と、圧縮残留応力が引張り残留応力に転じる位置は異なり、圧縮残留応力生成工具の方が加工表面に近い位置でピークを示していると同時に、より深い位置まで圧縮残留応力が生成されている。

加工表面層に生成される残留応力は、加工表面により近い位置で大きい圧縮残留応力となっていること、内部の引張り残留応力が小さいこと、が疲労寿命の延長に有効であるとされている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。したがって、本工具により切削加工と同時に生成される圧縮残留

The tool axis was kept perpendicular to the workpiece surface at all times during the machining process. The residual stress generated in the machined surface layer was measured in the feed direction and in the cross-feed direction with a micro-area x-ray stress analyzer equipped with a position sensitive proportional counter (PSPC).

Figure 3 shows typical distributions of the compressive residual stress induced in the machined surface layer of a test workpiece when machined with the newly developed CRSG cutter. Positive data plots in the figure indicate tensile residual stress and negative data plots are compressive residual stress. The distribution of residual stress applied by shot peening is also shown in the figure for comparison. The shot peening conditions used were a No. 230 shot size (shot diameter of 0.5～1.0 mm), shot material of cast steel, shot hardness of 45～52 HRC, peening intensity of 0.006" A (0.1524 mm) and coverage of 100%.

From the results in Fig. 3, it is clear that the CRSG cutter induced compressive residual stress in the machined surface layer. The place of the greatest compression was at a depth of approximately 0.05 mm from the surface, rather than at the machined surface. At greater depths, compressive residual stress gradually decreased and changed to tensile residual stress at a depth of around 0.5 mm. The results indicate that compressive residual stress of approximately -150～-200 MPa, with peaks of about -300～-350 MPa, can be generated in the machined surface layer with the proposed tool. Such stress levels are ordinarily never produced by a conventional machining process alone. The high levels of compressive residual stress are presumably due to the force of the subsurface layers acting to return the machined surface to its original state, as a result of the surface layer having been flattened by the projection pin.

A comparison of the results with those for shot peening indicates that the distributions of compressive residual stress show similar tendencies. The maximum compressive stress occurred at a subsurface position, and not on the machined surface; the compression gradually decreased with increasing depth from that position. The peak compressive residual stress induced by the two processes was also nearly the same. However, the location of peak compression and the position at which compressive residual stress changed to tensile residual stress differed between the two processes. The stress distribution for the CRSG cutter shows a peak at a position closer to the surface and the presence of compressive residual stress at greater depths.

It has been reported that large compressive residual stress induced at a position closer to the surface and a lower level of tensile residual stress in the interior are effective in extending fatigue life.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ Accordingly, it is thought that the compressive residual stress induced by the CRSG cutter coincident with the machining

応力は、ショットピーニングにより生成される圧縮残留応力よりも有効であると考えられる。

次に圧縮残留応力生成工具で加工した場合の加工表面の状態をFig. 4(a)に、同Fig. 4(b)には比較のためショットピーニングによる加工表面の状態を示す。同図(a)の加工表面には、ピンによる押しならし痕が見られ、同Fig. 4(b)にはショットピーニング特有の梨子地模様が見られる。同図(a)における送り方向の押しならし痕のピッチは、工具1回転当たりの移動量に一致している。本実験では工具軸の振れが10～20 μm程度あることを確認しているが、それにより偏心したピン先端が回転しながら加工面を押しならした結果、このような加工面を生成している。

Fig. 5にショットピーニング及び圧縮残留応力生成工具による加工面の粗さを示す。ショットピーニングによる加工では、中心線平均粗さが3.1 μmである。これに対して、圧縮残留応力生成工具による加工では、0.8 μm以下とショットピーニングと比較しても良好な面となっている。加工表面の粗さは疲労強度に多大なる影響を与え加工表面が良好でない場合には、これらの性能も低下するとされている。ショットピーニングの場合、Fig. 4(b)に示すような、ショットによる深い打痕により加工表面の粗さは低下するが、これを補う加工表面層の圧縮残留応力によって、疲労強度を向上させている。これに対して、圧縮残留応力生成工具では、加工表面の粗さを通常の切削加工による加工面の粗さと同等以上に保ちながら、それと合わせて加工表面層に高い圧縮残留応力が得られる。

4. 圧縮残留応力の制御性に関する考察

前章では圧縮残留応力生成工具の基本特性を評価し、切削加工と同時に加工表面層に通常の切削では得られない圧縮残留応力が生成できることが分かった。そこで本章では加工表面層の塑性流動状態に最も影響を及ぼすと考えられるクロスフィード幅と加工表面層に生成される残留応力の関係について調べ、本工具により加工表面層に生成される残留応力の制御性について検討した。

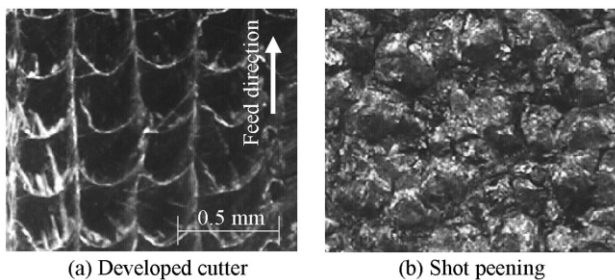


Fig. 4 Comparison of surface condition

process may be more effective in this regard than that generated by shot peening.

The condition of the machined surface obtained with the CRSG cutter is shown in Fig. 4(a) and that of the machined surface following shot peening is shown in Fig. 4(b) for comparison. The flattening marks left by the pin are visible in Fig. 4(a), and the distinctive mat finish produced by shot peening can be seen in Fig. 4(b). The pitch of the flattening marks in Fig. 4(a) coincides with the amount of pin movement per revolution of the CRSG cutter. It was confirmed that tool axis deflection of around 10～20 μm occurred in the machining experiments. The machined surface condition seen in the figure was produced as a result of the surface being flattened by the rotating pin tip subjected to that amount of deflection.

Figure 5 compares the machined surface roughness resulting from shot peening and machining with the CRSG cutter. In the shot peening process, the average surface roughness (Ra) was 3.1 μm, whereas with the CRSG cutter it was less than 0.8 μm, indicating that a better surface finish was obtained compared with shot peening. It is known that machined surface roughness has a substantial effect on fatigue strength, which can be reduced by poor surface quality. In the case of shot peening, the deep pits produced by the shot particles cause machined surface roughness to deteriorate, as seen in Fig. 4(b), but the compressive residual stress of the machined surface layer that works to offset that deterioration has the effect of improving fatigue strength. In contrast, the CRSG cutter achieves a level of surface roughness equal to or better than that of conventional metalcutting processes, while simultaneously inducing high compressive residual stress in the machined surface layer.

4. Study of the Controllability of Compressive Residual Stress

The evaluation of the basic characteristics of the CRSG cutter in the foregoing section showed that,

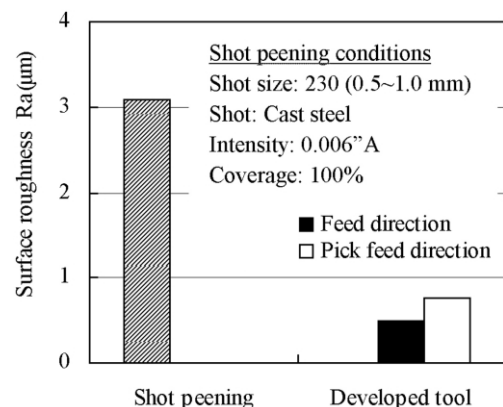


Fig. 5 Comparison of surface roughness

Fig. 6にクロスフィード幅を変化させた場合の加工表面の残留応力を示す．なお，変化させた条件以外の加工条件はTable 1のとおりである．Fig. 6に示すとおり，いずれの加工条件においても，加工表面には通常の切削では得られない圧縮残留応力が生成されていることがわかる．これについては前章の実験と同じ結果となっているが，本実験では生成された残留応力がクロスフィード方向で大きい傾向を示している．この理由については，ピンの通過により材料がピンの左右に押しのけられた状態で，ピンがクロスフィード分だけずれた位置を再び通過するため，材料がクロスフィード方向に伸ばされる量がフィード方向よりも大きくなるためと考えられる．そのように考えると，同図のようにクロスフィード幅が小さいほど表面の圧縮残留応力が大きくなる理由も理解しやすいように思われる．

Fig. 7にクロスフィード幅を変化させた場合の加工表面層の残留応力分布を示す．Fig. 7に示す通り，前述した加工表面だけでなく内部の残留応力分布もクロスフィード幅により大きく異なっていることがわかる．クロスフィード幅を0.9mm，1.5mmとした場合，圧縮残留応力のピーク位置は加工表面から0.025mm程度と極めて浅く，その下層では急激に引張り残留応力方向に移行する．また，生成される圧縮残留応力もクロスフィード幅0.3mmの場合と比較すると非常に小さい値となっている．一方，クロスフィード幅が最も小さい0.3mmの場合，圧縮残留応力のピーク位置は表面から0.1mm程度と他の条件と比較しても深い位置にあり，かつその値も500MPa以上と非常に大きい値となっている．以上のように，クロスフィード幅による残留応力分布の変化は大きく，クロスフィード幅が大きくなる場合には生成される圧縮残留応力は小さくなるとともに，ピークの位置が加工表面に近い極めて浅い位置になることが分かる．

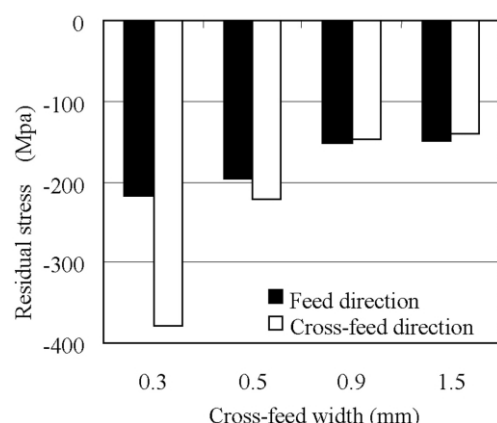


Fig. 6 Comparison of residual stress in machined surface layer

concurrently with the milling operation, it induces in the machined surface layer a level of compressive residual stress unobtainable with an ordinary metalcutting process. An investigation was then made of the relationship between the compressive residual stress generated in the machined surface layer and the cross-feed width, which is thought to exert the greatest influence on the plastic flow regime of the machined surface. That was done to examine the controllability of the compressive residual stress induced in the machined surface layer by the CRSG cutter.

Figure 6 shows the compressive residual stress in the machined surface layer as a function of the cross-feed width. Except for this parameter, all the other machining conditions were the same as those given in Table 1. As is seen in Fig. 6, the proposed tool generated compressive residual stress in the machined surface layer under all the cross-feed conditions used here. The level of that stress is unobtainable with a conventional machining process. While these results are the same as those of the machining experiments described in the previous section, they indicate that large compressive residual stress tended to be generated in the cross-feed direction. The reason for that can be understood as follows. As the pin passes, it pushes material to its right and left sides. Because the pin passes again through a position that differs by an amount equal to the cross-feed width, the amount of material stretched in the cross-feed direction is presumably greater than that in the feed direction. This way of thinking makes it easy to understand the reason why compressive residual stress in the machined surface layer increases with a smaller cross-feed width, as seen in Fig. 6.

Figure 7 shows profiles of the compressive residual stress in the machined surface layer as a function of the cross-feed width. It is clear from these results that not only the compressive residual stress at the surface but also that in the interior differed substantially depending on the cross-feed width. With a cross-feed width of 0.9 mm or 1.5 mm, the position of the peak compressive residual stress was very shallow at around 0.025 mm from the surface, and a rapid transition to tensile residual stress is observed in the layers below that depth. Additionally, the compressive residual stress generated in these cases was much smaller than that seen for a cross-feed width of 0.3 mm.

Table 1 Cutting conditions

Spindle speed	min ⁻¹	10000
Feed per tooth	mm/tooth	0.1
Axial depth of cut	mm	0.3
Cross feed	mm	0.3
Cutting fluid		Cutting oil
Coating		None

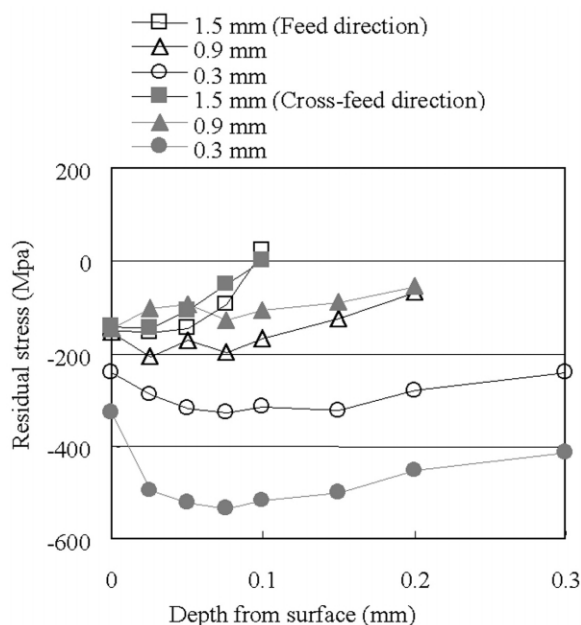


Fig. 7 Residual stress profiles in machined surface layer as a function of cross-feed width

Fig. 8にクロスフィード幅を変化させた場合の加工表面を示す．クロスフィード幅が小さい0.3mmの場合には，加工表面全面が1パスごとにクロスフィード幅でピンによって押しならされた痕が見られる．これに対して，クロスフィード幅がより大きい0.9mm及び1.5mmの場合には，押しならし痕と切れ刃によって切削された部分が交互に見られる．これはクロスフィード幅の増加によってピンが一度に押しならす溝形状の断面積が大となり，横方向に押し出されて盛り上がった部分を切れ刃が切削しているためである．以上の結果より，本報告の実験条件の範囲では，ピンによる加工表面の押しならしを密にすれば加工表面はより伸ばされ，生成される圧縮残留応力は増加することがわかった．その場合でも，加工面の幾何学的状態はほとんど変化しないことも本工具の特徴であると言えよう．

On the other hand, for the smallest cross-feed width of 0.3 mm, the position of the peak compressive residual stress was around 0.1 mm from the surface, which was comparatively deeper than for the other conditions. Moreover, the stress level was also extremely large at more than 500 MPa. As these results indicate, the compressive residual stress profile changed significantly depending on the cross-feed width. With a large cross-feed width, the level of compressive residual stress generated in the machined surface layer decreased and the position of the peak stress was at a very shallow depth close to the surface.

Figure 8 shows photomicrographs of the machined surface for three different cross-feed depths. With the smallest cross-feed width of 0.3 mm, the entire machined surface shows evidence of being flattened by the pin in every pass corresponding to the cross-feed width. In contrast, with the larger cross-feed widths of 0.9 mm and 1.5 mm, the machined surfaces show an alternating pattern of flattening and cutting by the cutting edges. The larger cross-feed width increased the cross-sectional area of the groove shape flattened by the pin in one pass. As a result, the portions pushed up on the sides were cut by the cutting edges, which would account for this alternating pattern.

These results thus showed that, within the range of conditions used in the machining experiments, it was possible to induce greater compressive residual stress in the machined surface layer as a result of stretching the surface further by more closely flattening the surface with the pin. Another feature of the proposed tool is that the geometrical condition of the machined surface hardly changes in this case.

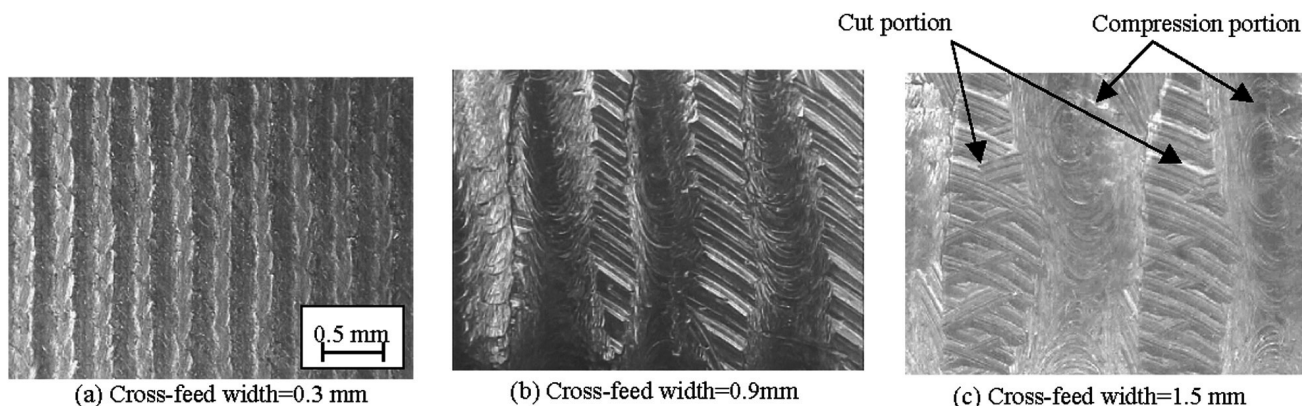


Fig. 8 Photomicrographs of machined surface

5. 結 言

5. Conclusion

本論では、残留応力生成工具による圧縮残留応力の基本特性及び制御性について検討した。その結果以下のような点が明らかになった。

- 1) 開発した工具を用いることで切削加工と同時に加工表面層に表面性状が良好な状態で圧縮残留応力が生成できる。これによって切削加工のみで部品の疲労強度の向上及びこれによる部品の軽量化を実現できる可能性がある。
- 2) クロスフィード幅を変化させることで加工表面の押しならし量及び伸びを変化させ、加工表面層に生成される残留応力を制御できる可能性がある。クロスフィード幅が小の場合、加工表面層の圧縮残留応力は大きくなり、クロスフィード幅が大きい場合は小となる。

謝辞

本研究は筆者が東京農工大学大学院生物システム応用科学教育部博士後期課程の学生として笹原助教授のご指導のもと笹原研究室と共同で実施したものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- (1) Paul S. Prev y, Michael J. Shepard and Paul R. Smith, The Effect of Low Plasticity Burnishing (LPB) on the HCF Performance and Fod Resistance of Ti-6Al-4V, 6th National Turbine Engine High Cycle Fatigue (HCF) Conference, Jacksonville, FL March 5-8, (2001) .
- (2) M.H. El-Axir, An Investigation into Roller Burnishing, International Journal of Machine Tools & Manufacture 40,(2000) 1603 .
- (3) M.M. El-Khabeery and M.H. El-Axir, Experimental Techniques for Studying the Effects of Milling Roller-Burnishing Parameters on Surface Integrity, International Journal of Machine Tools & Manufacture 41, (2001)1705 .
- (4) 田中武司, 磯野吉正, 盛定悦一: CBNホイールによる軟鋼の冷風研削における研削現象, 砥粒加工学会誌, 46, 5(2002) 234 .
- (5) H di Hamdi, Hassan Zahouani and Jean-Michel Bergheau, Residual stresses computation in a grinding process, Journal of Materials Processing Technology, 147(2004) 277 .
- (6) Y Matsumoto, F Hashimoto and G Lahoti, Surface Integrity generated by Precision Hard Turning, CIRP Annals - 1999, STC C, 48,1(1999) 69 .
- (7) 瀬川俊明, 笹原弘之, 石川達郎, 堤正臣: 圧縮残留応力生成工具の開発とその基本特性, 精密

A study was made of the basic characteristics and controllability of the compressive residual stress induced in the machined surface layer by a newly developed compressive residual stress generating (CRSG) cutter. The results made the following points clear.

- (1) The use of the CRSG cutter induces compressive residual stress in the machined surface layer concurrently with machining and while obtaining excellent surface properties. This capability improves the fatigue strength of parts through a metalcutting process alone and offers the possibility of being able to lighten the weight of parts as a result.
- (2) The compressive residual stress induced in the machined surface layer can be controlled by varying the cross-feed width so as to change the amount of flattening and stretching of the surface. The compressive residual stress induced in the machined surface layer increases with a small cross-feed width and decreases with a large cross-feed width.

Acknowledgments

This study was conducted jointly with the members of the Sasahara Laboratory under the guidance of Assistant Professor Hiroyuki Sasahara while the author was a student in the latter part of the doctorate program in the Graduate School of Bio-applications and Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology. The author would like to express his appreciation for their cooperation.

References

- (4) Takeshi Tanaka, Yoshimasa Isono and Yoshikazu Morisada, A Study of Grinding Characteristics in Air-cooled Grinding of Low-carbon Steel with a CBN Wheel, Journal of the Japan Society for Abrasive Technology (JSAT), 46, 5 (2002) 234 (in Japanese).
- (7) Toshiaki Segawa, Hiroyuki Sasahara, Tatsuro Ishikawa and Masaomi Tsutsumi, Development of a Compressive Residual Stress Generating Cutter and its Basic Characteristics, Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 70-6 (2004) 853 (in Japanese).
- (9) Toshiaki Segawa and Hiroyuki Sasakawa, A Study on the Generation of Residual Stress in Aluminum Alloy Machining Processes, Proceedings of the Fiscal 2002 Spring Congress of the Japan Society for Precision Engineering, (2002) 333 (in Japanese).
- (10) Hiroyuki Sasahara, Takuma Takahashi and Yuchiro Hayashi, Effects of Finish Machining-induced

- 工学会誌 , 70-6, (2004)853 .
- (8)Toshiaki Segawa, Hiroyuki Sasahara, Masaomi Tsutsumi, Development of a New Tool to Generate Compressive Residual Stress within a Machined Surface, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44, 11,(2004)1215 .
- (9)瀬川俊明 , 笹原弘之 : アルミニウム合金切削加工による残留応力の生成に関する研究 , 2002年度精密工学会春季大会講演論文集,(2002)333 .
- (10)笹原弘之 , 高橋琢磨 , 林祐一郎 : 疲労寿命に及ぼす切削仕上げによる残留応力と硬さの影響 , 精密工学会誌 , 70 , 6 2004)872 .

Residual Stress and Hardness on Fatigue Life, Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 70, 6 (2004) 872 (in Japanese).

Author



Toshiaki SEGAWA

歯面強度に優れた浸炭窒化歯車用鋼の開発

Development of Carbonitrided Gear Steel for Excellent Tooth Surface Strength

吉田 誠¹⁾ 永濱 睦久²⁾ 田中 敏行³⁾ 新明 正弘⁴⁾清田 祥司⁵⁾ 加藤 直樹⁶⁾ 渡辺 陽一⁷⁾Makoto YOSHIDA Mutsuhisa NAGAHAMA Toshiyuki TANAKA Masahiro SHINMYOU
Syouji SEITA Naoki KATO Youichi WATANABE

抄 録 近年の車両における燃費やドライバビリティ向上の要求から、変速機においてもサイズダウンのための部品のコンパクト化や、低フリクションを狙った潤滑油粘度の低下などにより、動力伝達部品である歯車の使用環境が過酷化する傾向にある。本論文は、前記背景において、その難易度の高さから十分な解決策が見出されていなかった歯車のピッチング、摩耗に対して、浸炭窒化処理に着目し、材料、熱処理双方の最適化により高強度化することにより、従来採用していた高価な二硫化モリブデン処理の廃止を達成した。

Summary Improving gear tooth surface strength in terms of pitting durability and wear resistance is an important issue in increasing the torque capacity of automatic transmissions. In this study, we established an optimum carbo-nitriding process and developed a new steel well suited to this surface-hardening method, thereby making it possible to eliminate the molybdenum disulfide coating previously applied to increase tooth surface strength.

1. まえがき

近年のエンジンの高出力化や燃費向上を目的として、自動車用変速機の小型・軽量化のニーズが増大し、変速機用歯車への負荷は益々厳しくなっている。歯面にピッチング、摩耗、スコアリングなどの損傷が発生すると、歯車強度の耐久性はもちろん、ギアノイズの耐久性も損なわれることになる（Fig. 1）。筆者らは、過去の研究において、浸炭窒化などの特殊熱処理や二硫化モリブデンを代表とする固体潤滑皮膜処理が歯面の耐久強度の向上に有効であることを明らかにした¹⁾。

本稿では、さらに低コストで高強度の歯車を開発するため、浸炭窒化処理に着目し、その処理効果を最大限に発揮できる鋼材を開発した。新開発の鋼材とそれに適する熱処理法を採用することにより、耐摩耗性やピッチング寿命の向上効果に加えて、歯元強度や歯車加工性などの面でも問題の無いことを確認した。これにより、高価な二硫化モリブデン皮膜処理の代替技術が確立され、原価低減が可能となったので、その内容について報告する。

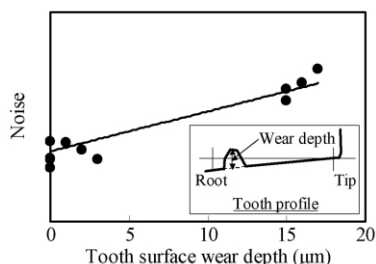


Fig. 1 Relationship between drive gear tooth surface wear depth and gear noise

1. Introduction

There have been increasing demands in recent years to downsize and lighten automotive transmission gears with the aim of increasing engine output and improving fuel economy. These trends have resulted in more severe loads being applied to transmission gears. When tooth surfaces experience pitting, wear, scoring and other forms of damage, it not only affects the durability of gear strength, it also results in greater gear noise (Fig. 1). The results of previous research conducted by the authors have made it clear that the application of a special heat treatment such as carbonitriding or a solid lubrication film typified by molybdenum disulfide is effective in improving tooth surface strength and durability.¹⁾

The present study focused on carbonitriding as an approach to the development of higher-strength gears at lower cost. A new steel was developed that is capable of bringing out the maximum effects of this surface-hardening process. It was confirmed that the use of the newly developed steel and a well-matched heat treatment method is effective in improving wear resistance and pitting life. Additionally, it was confirmed that there are no problems with respect to tooth root strength, gear machineability and other attributes. As a result, a substitute technology for the costly molybdenum disulfide coating process has been established, making it possible to achieve cost savings. This article describes the details of this new technology.

1) 機能部品開発部
Functional Component Development Department

2) (株)神戸製鋼所
Kobe Steel, Ltd.

3) ユニット技術部
Unit Production Engineering Department

4) 構造部品設計部
Structural Component Design Department

5) 実験部
Experiment Department

6) 第一FRA/T工場
FR A/T Manufacturing Department No.1

7) 日産自動車(株)
Nissan Motor Co., Ltd.

2. 歯車の損傷

歯車の損傷形態は、歯元折損と歯面の劣化とに分けられる。ショットピーニングによる疲労強度の向上、また、鋼材の不純物低減(低P, S化)及びMo等の元素添加による衝撃強度の向上などにより、歯元強度は飛躍的に増大した⁽²⁾。従って、歯車の耐久性のポイントは、歯元強度より歯面の劣化であり、筆者らが実施した高負荷条件下における実機加速耐久試験でも、歯元の折損より、摩耗やピッチングによる歯面損傷が先に発生している(Fig. 2)。

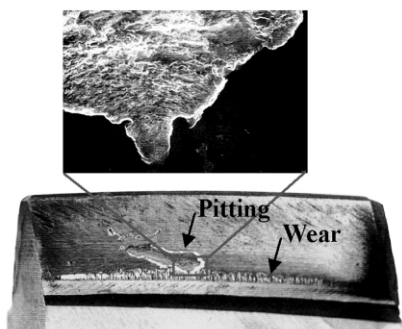


Fig. 2 Example of wear and pitting failure of gear surface

このような過酷な使用環境の下では、歯面が正常に潤滑されたとしても、歯面温度は鋼材の焼戻し温度程度に昇温すると言われており⁽³⁾、多くの研究者は歯面強度が573K焼戻し後の硬さと相関性を持っていると報告している⁽⁴⁾。筆者らも、過去の研究において浸炭窒化処理や二硫化モリブデンを代表とする固体潤滑皮膜処理が有効であることを明らかにしてきており⁽¹⁾、一部の歯車においては高価な二硫化モリブデン皮膜処理を採用した。

しかし自動変速機を取り巻く環境から、安価で高強度な歯車の開発が不可欠であり、従来の浸炭処理に対して簡易な設備変更で製造可能な浸炭窒化処理に着目して、二硫化モリブデンと同等以上の歯面強度を達成するべく鋼材の開発に取り組んだ。

3. 実験方法

3.1. 供試材

鋼材の焼戻しによる軟化を抑えるには、Si, Moが有効であるという知見⁽⁵⁾をもとに(Fig. 3)、供試材はJIS SCR420H(以下 SCR420H)を基準とし、従来の高強度歯車用鋼である鋼種A(Si低減により表面異常層を抑え、Mo添加によって靱性を高めた鋼材)、そして 焼戻し軟化抵抗向上のためSi増量、歯元の靱性を確保するためにMo添加、焼入性を調整するためにMnを低減した鋼材B, Cの4種を準備した(Table 1)。

2. Gear Damage

Types of gear damage can be divided between tooth root breakage and tooth surface degradation. Tooth root strength has been dramatically improved by increasing fatigue strength through shot peening and by enhancing impact strength through the reduction of impurities in steel (e.g., lower levels of P and S) and the addition of elements such as Mo.⁽²⁾ Accordingly, the key point for gear durability is tooth surface degradation, rather than tooth root strength. In accelerated durability tests of actual transmissions conducted under high load conditions, the authors have observed that tooth surface damage due to wear or pitting occurs before tooth root breakage (Fig. 2).

Under the severe environment in which transmission gears are used, it is said that the tooth surface temperature can rise to around the tempering temperature of the steel, even if the tooth surface is properly lubricated.⁽³⁾ Many researchers have reported that tooth surface strength correlates well with hardness following tempering at 573K.⁽⁴⁾ The results of previous studies conducted by the authors have made it clear that carbonitriding and the application of a solid lubrication film typified by molybdenum disulfide are effective in improving tooth surface strength.⁽¹⁾ An expensive molybdenum disulfide coating process has been adopted for some gears.

However, the environment surrounding automatic transmissions necessitates the development of high-strength gears at low cost. Attention was focused on a carbonitriding process that would facilitate gear manufacturing with minimal changes to the equipment already being used for carburizing. Efforts were undertaken to develop a new steel that would attain tooth surface strength equal to or greater than that achieved with a molybdenum disulfide coating.

3. Experimental Procedure

3.1. Test steels

Based on the knowledge⁽⁵⁾ that the addition of Si or Mo is effective in inhibiting the softening of steel due to tempering (Fig. 3), four test steels were prepared, using JIS SCR420H as the baseline material (Table 1). Steel A was an existing high-strength gear steel with a reduced Si content to suppress the surface distorted layer and the addition of Mo for increased toughness. Steels B and C had (1) a higher Si content for improved resistance to softening induced by tempering, (2) the addition of Mo to secure tooth root toughness, and (3) a reduced Mn content for improved quenchability.

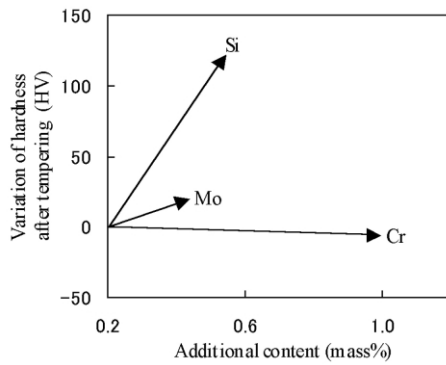


Fig. 3 Effect of chemical element on variation of hardness after tempering at 573K

3.2. 熱処理及びショットピーニング条件

熱処理条件は1173Kで浸炭，浸炭窒化，及び拡散をおこない，1113Kから油焼入れした．浸炭窒化処理では炉内に流すNH₃濃度と時間を変更し，表層に浸入する窒素量を変化させた．次に443Kで焼戻しを実施後，エアノズル式ピーニング装置によるショットピーニング処理を行った．投射条件はショット粒：0.6mm(700HV)，プラスト圧：0.2MPa，アークハイト：0.9mmA，カバレッジ：300%以上である．また，浸炭及び浸炭窒化処理による表層窒素量と硬さの関係を調査するため，10mmのSCR420H材，鋼材Cの表面から深さ50μmまでの切粉を採取し，表層窒素量を湿式分析法で測定した．

3.3. 歯車単体試験

歯面強度試験には，モジュール3.87のはずば歯車を使用した(Table 2)．製造工程は，80の棒鋼より熱間鍛造，焼ならしにより成形した粗材を機械加工した後，前述の浸炭または浸炭窒化処理とショットピーニングをおこない，歯面をねじ状砥石による歯車研削，および内歯車方式によるホーニング仕上げによりJIS0級に仕上げた．

耐久試験には動力循環式歯車試験機を用い，入力トルクは274.4N・mとした．ピッチング寿命を判定するため，適当な間隔の耐久回数にて運転を停止し，ピッチング面積が1歯当り1mm²以上となったときの耐久回数を寿命と判定した．

Table 2 Test gear dimensions

Dimension	Pitting		Tooth root fatigue & impact fatigue	
	Drive	Driven	Drive	Driven
Module	3.87		1.5	
Pressure angle (deg)	17.5		17.5	
Helix angle (deg)	15		34	
Number of teeth	21	29	33	41
Standard pitch circle dia. (mm)	84.1	116.2	59.7	74.2
Tooth width (mm)	10	22	10 (16)	22

() : for impact fatigue

Table 1 Chemical composition of steels used (mass%)

	C	Si	Mn	Cr	Mo
JIS SCR420H	0.21	0.27	0.89	1.23	Tr.
Steel A	0.20	0.05	0.85	1.08	0.41
Steel B	0.18	0.46	0.30	1.45	0.44
Steel C	0.18	0.72	0.30	1.43	0.44

3.2. Heat treatment and shot peening conditions

The heat treatment conditions were carburizing, carbonitriding and diffusion at 1173K and oil quenching from 1113K. In the carbonitriding process, the NH₃ concentration and introduction time in the furnace were changed to vary the amount of nitrogen that diffused into the surface. Tempering was then performed at 443K, followed by shot peening using an air nozzle type of shot peening machine. The projection conditions were a shot diameter of 0.6 mm (700 HV), blasting pressure of 0.2 MPa, arc height of 0.9 mmA and peening coverage of at least 300%. In order to investigate the relationship between hardness and the amount of nitrogen diffused into the surface by the carburizing and carbonitriding processes, chip samples 10 mm in diameter and to a depth of 50 μm from the surface were taken from the SCR420H and steel C specimens. The amount of nitrogen diffused into the surface was measured by wet chemical analysis.

3.3. Gear tests

Helical gears with a module of 3.87 were used in conducting tests of tooth surface strength (Table 2). Rough gears were formed from steel rods 80 mm in diameter by hot forging and normalizing processes, followed by machining. The aforementioned carburizing or carbonitriding and shot peening processes were then performed, and the tooth surfaces were ground using a screw-shaped grinding wheel. Honing was also done using an inner gear honing wheel to finish the test gears to the JIS 0 grade.

A power circulating gear testing machine was used to conduct durability tests at an input torque of 274.4 Nm. In order to assess pitting life, the testing machine was stopped at suitable durability cycle intervals, and the number of durability cycles at which the pitted area reached 1 mm² per tooth was used as the pitting life criterion.

Gears having the specifications shown in Table 2 were used in conducting tests to investigate tooth root fatigue strength and impact fatigue strength. The carbonitriding and shot peening processes performed in manufacturing these test gears were the same as for the gears used in the above-mentioned tooth surface strength tests. A power circulating gear testing machine and a drop impact gear testing machine were used in each test. The number of cycles to tooth root breakage of the drive gear was used as the life criterion.

更に、歯元の曲げ疲労強度、および衝撃疲労強度を調査するため、Table2に示す歯車を用いて試験をおこなった。歯車製作における浸炭窒化やショットピーニング処理は、前述の歯面強度試験と同様であり、各々の試験には動力循環式歯車試験機、落錘衝撃式歯車試験機を使用し、駆動歯車の歯元折損に到る繰返し数を寿命として判定した。

3.4. 歯車の加工性

自動変速機用歯車に鋼材を適用する場合、鍛造や機械加工における製造性の確保も重要な要素である。特にSiは鋼材のフェライト強化元素であり、降伏強度、および変形抵抗を増大させるため、冷間鍛造時の型寿命低下が懸念される。そのため、球状化焼鈍した 20×30mm試験片を常温で圧縮変形させ、変形抵抗を測定した。また、被削性に対する指標として、焼ならし硬さについても調査した。

4. 評価結果および考察

4.1. 丸棒試験片による窒素量測定

浸炭及び浸炭窒化処理 + ショットピーニングした SCR420H材、鋼材Cにおける表層部硬さ、更に573K焼戻し処理した後の硬さと窒素量との関係をFig. 4に示す(いずれも50 μm深さ位置)。

窒素を殆んど含有しない浸炭処理においては、ショットピーニング後の硬さに差異はないが、573K焼戻し後では鋼材Cの方が軟化しにくかった。鋼材Cに含有しているSiやMo成分が軟化を抑制したものと考える。

次に窒素量を0.5mass%程度まで増加させると、SCR420H材、鋼材Cとも573K焼戻しによる軟化が抑制され、大幅に焼戻し後の硬さが向上した。これは、Fig. 5の573K焼戻し前後のX線回折パターンが示すように、組織中に過飽和固溶していた窒素が γ -Fe₄Nとして析出し、硬度強化の微細粒子として作用したためである。また鉄窒化物が析出する場合、応力による核生成促進により析出密度が増加するため⁽⁶⁾、浸炭窒化処理は近年の歯面負荷の増大に対応した有効な熱処理工法と考える。

更に0.8mass%以上まで窒素量を増加させた場合、SCR420H材、鋼材Cとも573K焼戻し後の硬さの増加が鈍化した。これは、後述のベイナイト相と考えられる不完全焼入れ組織が表層に発生したためである⁽⁷⁾。それに加えて鋼中の窒素含有量が増加すると、ボイドの発生等が懸念されるので⁽⁸⁾、573K焼戻し後の軟化を抑制するための適正な窒素量は0.5mass%程度であると考え、そのため、後述の浸炭窒化処理条件全てにこの窒素量を適用した。

3.4. Gear machineability

When selecting a steel material for application to automatic transmission gears, the assurance of workability in the forging and machining processes is another important consideration. Silicon in particular is an element that strengthens the ferrite phase of steel. Because it increases yield strength and deformation resistance, there is concern that the service life of cold forging dies may be shortened. For that reason, spheroidized and normalized test pieces 20 mm in diameter by 30 mm in length were compressively deformed at room temperature and their deformation resistance was measured. Hardness after normalizing was also investigated as an index of machineability.

4. Evaluation Results and Discussion

4.1. Measurement of nitrogen content using round bar specimens

Figure 4 shows the relationship between surface hardness and the nitrogen content of the surface layer for carburized, carbonitrided and shot-peened SCR420H and steel C specimens and for the same materials following tempering at 573K. All of the data plots are for a depth of 50 μm from the surface.

No difference in hardness is seen after shot peening for the carburized specimens, as carburizing imparted almost no nitrogen content to the specimens. However, steel C was less susceptible to softening following tempering at 573K. This suggests that the Si and Mo elements contained in steel C worked to inhibit softening.

When the nitrogen content was increased to around 0.5 mass%, it is seen that softening due to tempering at 573K was suppressed for both SCR420H and steel C, as their hardness after tempering increased substantially. The reason for that can be understood as follows in relation to the x-ray diffraction patterns of the carbonitrided layer shown in Fig. 5 before and after tempering. The supersaturated nitrogen solid solution present in the structure precipitated as γ -Fe₄N, which acted as micro-particles to increase the hardness. When iron-nitrogen compounds precipitate, the precipitate density increases due to the promotion of nuclei formation by stress,⁽⁶⁾ so carbonitriding has been seen in recent years as an effective heat treatment process for coping with the increased tooth surface loads.

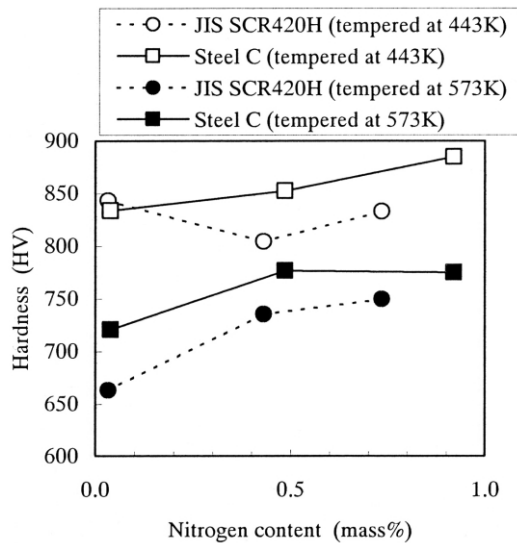


Fig. 4 Relationship between hardness and nitrogen content of surface layer

一方、窒素量0.5mass%程度にてSCR420H材の浸炭窒化処理(443K焼き戻し)+ショットピーニング後に、硬さの低下がみられた。浸炭窒化処理時にCrNが主に旧粒界に析出し、オーステナイト中の固溶Cr量低下に伴い焼入れ性が低下して、表層が不完全焼入れ組織になったこと(Fig. 6, SCR420H材の組織写真において粒界が網目状に濃くエッチングされた部位に相当)、及び窒素の増量によって残留オーステナイトが増加したことがこの原因と考える(Fig. 7)。以上より、歯元疲労強度を含む歯車の強度を向上するには、浸炭窒化処理が有効であるが、その際、鋼材にCr、Moそれぞれを増量、添加することは不可欠と考える。

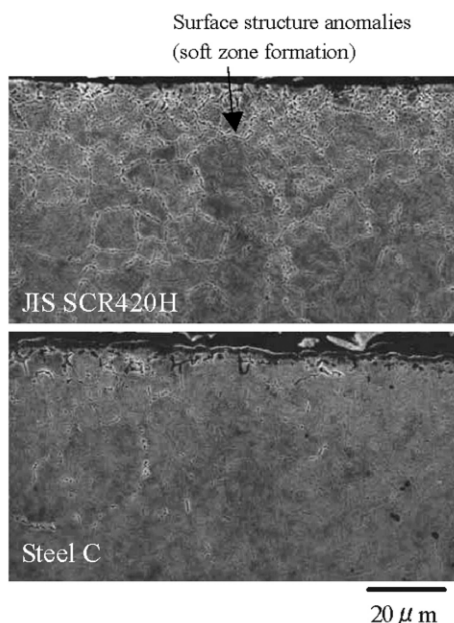


Fig. 6 SEM micrographs of surface layer in carbo-nitrided and shot-peened specimens (Nital etched)

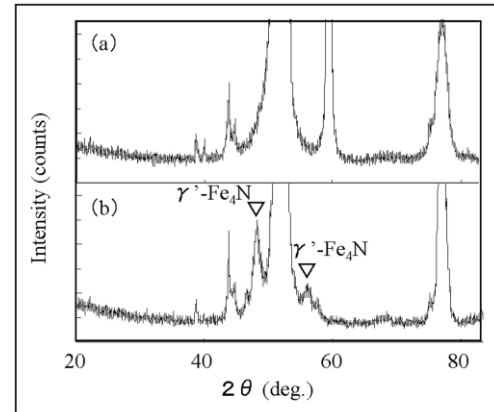


Fig. 5 X-ray diffraction patterns of carbo-nitrided layer (a) carbo-nitriding and (b) tempering at 573K

When the nitrogen content was increased further to 0.8 mass%, the increase in hardness after tempering at 573K leveled off for both SCR420H and steel C. That is attributed to the development in the surface layer of an incompletely quenched structure, presumably the bainite phase which will be discussed later.⁽⁷⁾ In addition to that, there is the concern that voids may develop if the nitrogen content in the steel increases further.⁽⁸⁾ Accordingly, a nitrogen content of around 0.5 mass% is thought to be suitable for inhibiting the softening effect induced by tempering at 573K. Therefore, this nitrogen content was used in all of the carbonitriding conditions mentioned in the following discussion.

On the other hand, with a nitrogen content of around 0.5 mass%, a decline in hardness was seen for the carbonitrided (tempered at 443K) and shot-peened SCR420H specimens. One presumable reason for that is because the surface layer became an incompletely quenched structure. (In the SEM micrograph of SCR420H in Fig. 6, the grain boundaries correspond to the net-like, deeply etched portions.) During carbonitriding, CrN mainly precipitated at former grain boundaries and quenchability declined accompanying a decrease in the quantity of Cr solid solution in the austenite. Another reason is that the retained austenite increased on account of the increased nitrogen content (Fig. 7). These results indicate that, while carbonitriding is effective in improving gear strength, including tooth root fatigue strength, it is indispensable to add greater quantities of Cr and Mo to the steel when using this process.

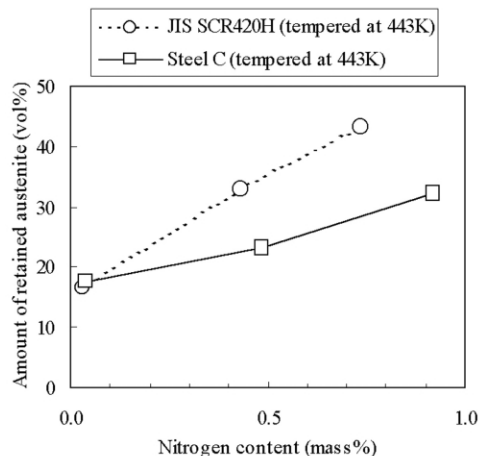


Fig. 7 Relationship between amount of retained austenite and nitrogen content

4.2. 歯面強度試験

動力循環式歯車試験機による歯面強度試験結果をFig. 8に示す。SCR420H歯車を浸炭から浸炭窒化処理に変更することで、ピッチング寿命が44%も改善することが明らかになった。

また、浸炭窒化処理用歯車材では、SCR420H材に対して鋼材Aは寿命向上が認められなかったのに対して、Siを増量した鋼材B、Cでは、ピッチング寿命が長くなり、SCR420H材と比較して、寿命が各々15%、23%も向上した。

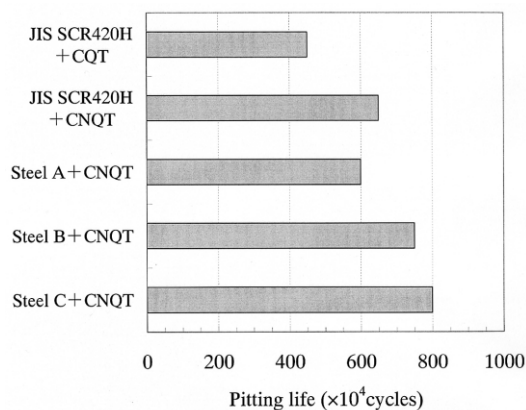


Fig. 8 Results of gear-pitting fatigue test (CQT: carburizing, CNQT: carbo-nitriding)

以上より、ピッチング寿命の向上には窒素量を適正化した浸炭窒化処理の効果が最も大きく、更にSiを増量した鋼材Cを適用することで、SCR420H + 浸炭処理歯車と比較して約70%長寿命化することが判明した。

次に、ピッチング寿命を歯面573K焼戻し後の硬さで整理したグラフをFig. 9に示す。歯車のピッチング寿命と573K焼戻し後の硬さとは、明らかに正の相関関係を示すと言うこれまでの報告⁽⁴⁾をあらためて検証することができた。また耐ピッチング性に優れる歯車は573K焼戻し後の硬さが高いことから、耐摩耗性にも優れると推定できる。

4.2. Tooth surface strength tests

Figure 8 shows the results of tooth surface strength tests conducted with the power circulating gear testing machine. The results indicate that changing from carburizing to carbonitriding improved the pitting life of the SCR420H gear by as much as 44%.

Among the carbonitrided gears, no improvement in pitting life is seen for steel A in comparison with SCR402H. However, the pitting life of gears made of steels B and C, containing more Si, was 15% and 23% longer, respectively, than that of the carburized SCR420H gear.

The foregoing results indicated that optimizing the nitrogen content in the carbonitriding process had the greatest effect on improving pitting life. Furthermore, the use of steel C with a higher Si content extended the pitting life by approximately 70% compared with the carburized SCR420H gear.

The graph in Fig. 9 shows gear pitting life as a function of tooth surface hardness after tempering at 573K. It was reported⁽⁴⁾ previously that a positive correlation was clearly seen between gear pitting life and hardness following tempering at 573K, and the results of these tests once again demonstrated that relationship. Because the gear with the best pitting resistance showed the highest level of hardness following tempering at 573K, it can be surmised that it would also have outstanding wear resistance.

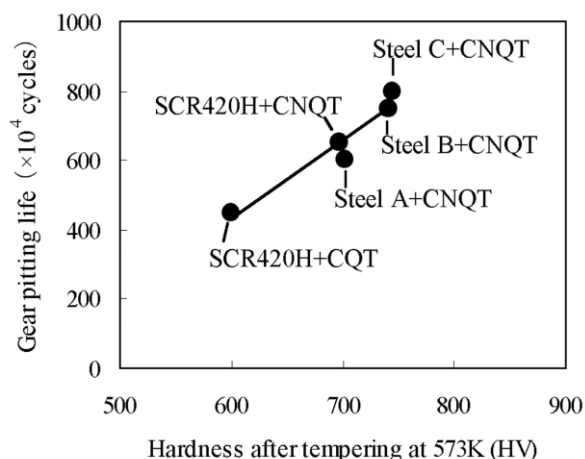


Fig. 9 Relationship between gear pitting life and hardness after tempering at 573K (CQT: carburizing, CNQT: carbo-nitriding)

4.3. 歯車の加工性

冷間鍛造性を左右する変形抵抗に注目すると、Si量をSCR420H材相当の0.3mass%から0.5mass%(鋼材B)に増量しても加工負荷はほとんど増大しないが、0.7mass%(鋼材C)まで増量すると、加工負荷が大きく増大した(Fig. 10)。一方でSi量を0.5mass%まで増量した浸炭窒化処理歯車(鋼材B)のピッチング寿命と573K焼戻し硬さは大幅に改善する(Fig. 8,9)。よって歯車の冷間鍛造性と歯面強度の両面から考え、耐摩耗性、ピッチング寿命に優れた自動変速機用歯車鋼としてSiを0.5mass%含有する鋼材Bを選定した。

また歯車の切削加工性の指標である焼ならし硬さについては、焼ならし時の冷却速度などを適正化することによりベイナイト組織の発生を抑制し、SCR420H材並みの硬さを確保することができた(Fig.11)。

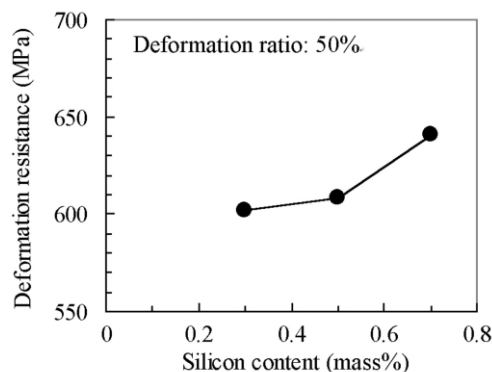


Fig. 10 Relationship between deformation resistance and silicon content based on Steel B

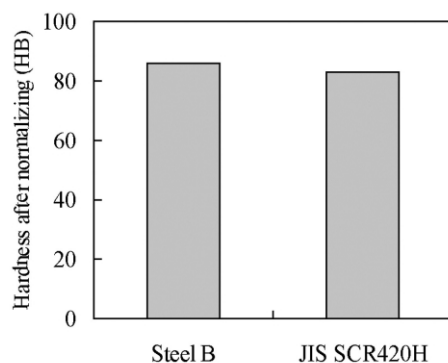


Fig. 11 Hardness after normalizing

4.4. その他の歯車特性

歯面強度に優れるとして選定した鋼材Bによる歯車の歯元曲げ疲労と衝撃疲労試験の結果をFig. 12, 13に示す。浸炭窒化処理歯車は浸炭処理歯車に比べて歯元曲げ疲労強度、衝撃疲労強度とも低下する傾向にあるが、鋼材B + 浸炭窒化処理歯車はSCR420H + 浸炭窒化処理歯車と比較して歯元曲げ疲労強度は+5%、衝撃疲労強度は+19%高く、強度低下を抑制できた。これは浸炭窒化処理したSCR420H材よりCr, Mo量が多い鋼材Bの方が不完全焼入れを防ぐことができ、ショットピーニング

4.3. Gear machineability

Attention is focused next on deformation resistance, which has a large impact on cold forgeability. It is seen in Fig. 10 that increasing the Si content from the 0.3 mass% level of SCR402H to 0.5 mass% (steel B) did not appreciably affect the machining load in terms of deformation resistance. However, the machining load rose substantially when the Si content was increased to 0.7 mass% (steel C). On the other hand, the gear made of carbonitrided steel B, with the Si content increased to 0.5 mass%, showed significant improvements in both pitting life and hardness following tempering at 473K (Figs. 8 and 9). Therefore, considering both the cold forgeability of gears and tooth surface strength, steel B containing 0.5 mass% Si was selected as a steel for making automatic transmission gears featuring excellent wear resistance and pitting life.

Figure 11 shows the results for hardness after normalizing, which was selected as the index of gear machineability. By optimizing the cooling rate in the normalizing process, among other measures, development of the bainite structure was inhibited, making it possible to obtain hardness on a par with that of SCR402H.

4.4. Other gear properties

Figures 12 and 13 show the results of tooth root bending fatigue tests and impact fatigue tests conducted on gears made of steel B that was selected for its superior tooth face strength. The carbonitrided gears tended to show both lower tooth root bending fatigue strength and lower impact fatigue strength compared with the carburized gears. However, the gears made of steel B and subjected to carbonitriding overcame that declining tendency and displayed 5% higher tooth root bending fatigue strength and 19% higher impact fatigue strength than the carburized SCR402H gears. That is attributed to the following reasons. Steel B with higher Cr and Mo contents than the carbonitrided SCR402H was able to avoid incomplete quenching. As a result, the tooth root surface hardness of the steel B gears after shot peening was higher than that of the carbonitrided SCR420H gears (879 HV vs. 859 HV). Additionally, the carbonitrided steel B gears had lower levels of P and S elements, impurities that tend to make grain boundaries brittle.

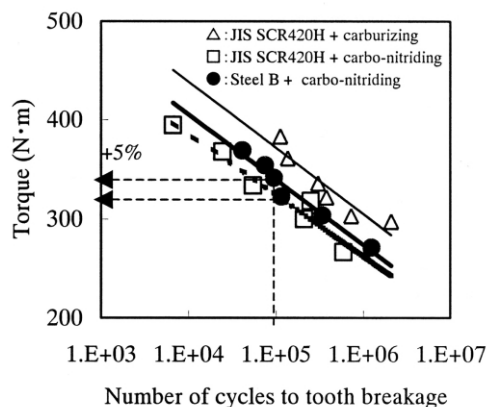


Fig. 12 Results of gear-tooth breakage fatigue test

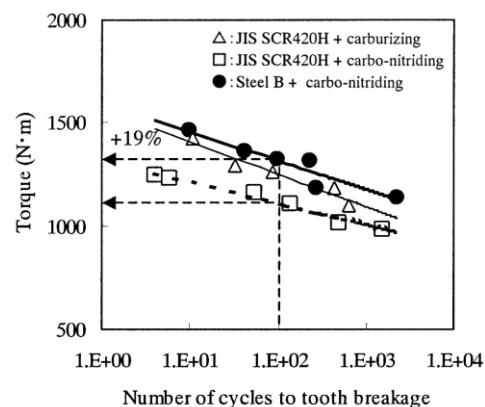


Fig. 13 Results of gear-tooth breakage impact test

後の歯元表面硬さが879HVとSCR420H + 浸炭窒化処理歯車の859HVに較べ高かったこと、及び粒界を脆化させる不純物元素P, Sが低かったことによると考える。

5. ユニットによる効果確認

5.1. ユニット耐久試験結果

従来、なじみ効果を最大限とするため、駆動側であるアウトプットギア(SCR420H浸炭窒化処理)および被動側のアイドルギアの歯車に二硫化モリブデン皮膜を処理していたユニットにおいて、浸炭窒化処理した鋼材Bをアウトプットギアのみ適用し、二硫化モリブデン皮膜処理を省略した歯車対で耐久試験を実施した(トルク320N・mの変速比一定)。その結果、Fig. 14, 15に示す通り、二硫化モリブデン皮膜処理を施したSCR420H材のギアとほぼ同等の摩耗量、ピッチング寿命であることが判明した。

5. Confirmation of Effects in Transmission Tests

5.1. Results of transmission durability test

Previously, a molybdenum disulfide coating has been applied to the output gear (made of carbonitrided SCR420H) on the drive side and to the idler gear on the driven side in order to maximize the running-in effect. In the transmission used in the durability test, carbonitrided steel B was applied only to the output gear and the molybdenum disulfide coating was omitted. The test was conducted at an input torque of 320 Nm and a constant gear ratio. The results are shown in Figs. 14 and 15. The carbonitrided steel B gear displayed nearly the same level of tooth surface wear and pitting life as the gear made of SCR420H and coated with molybdenum disulfide.

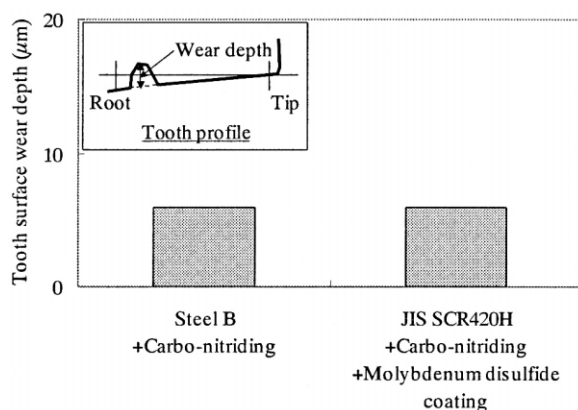


Fig. 14 Results of automatic transmission endurance wear test

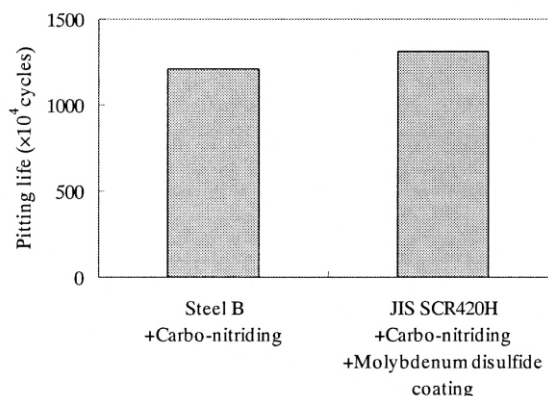


Fig. 15 Results of automatic transmission endurance pitting life test

5.2.実機への適用状況

Fig. 16に本技術を適用したエンジントルク320N・mクラスの自動変速機の断面図を示す。従来はアウトプットギア、アイドルギアに二硫化モリブデン皮膜処理が施されていたが、アウトプットギアには鋼材B相当の浸炭窒化処理品を適用することで、摩耗とピッチング寿命をほぼ同等とすることができた。また、両ギアとも二硫化モリブデン皮膜処理を廃止することにより、大幅な原価低減を実現した。

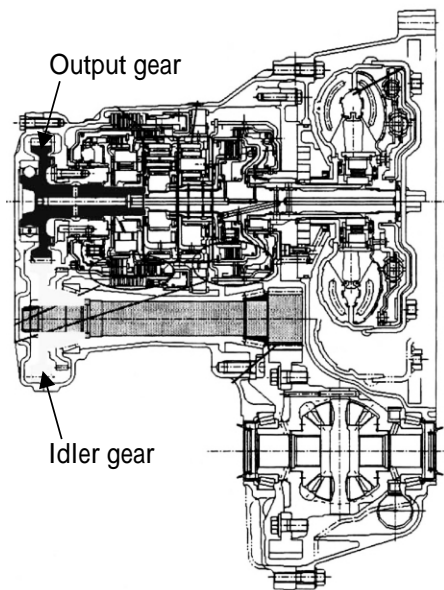


Fig. 16 Cross-sectional view of automatic transmission

6.まとめ

自動変速機用歯車の歯面強度向上を目的として、浸炭窒化処理を前提とした鋼材を開発し、下記の結果を得た。

573Kで焼戻しした後の硬さを増大させるには、鋼材の表層に0.5mass%程度の窒素を含有する浸炭窒化処理を施すことが有効である。

Siを増量した鋼材C+浸炭窒化処理歯車では、SCR420H+浸炭処理歯車に比べて、ピッチング寿命を約70%長くすることができた。

歯車の冷間鍛造性を考慮してSi量を0.5mass%に抑えた鋼材Bを高強度歯車用鋼として選定し、ユニット耐久試験で確認した結果、浸炭窒化処理+二硫化モリブデン皮膜処理したSCR420H歯車とほぼ同等の耐摩耗性、ピッチング寿命を得ることができた。

これを実機のアウトプットギアに適用することで、アウトプットギア、アイドルギアに施していた二硫化モリブデン皮膜処理を廃止することができ、大幅な原価低減が得られた。

5.2. Application to production transmissions

Figure 16 shows a cross-sectional view of an automatic transmission with an engine torque capacity of 320 Nm and incorporating the above-mentioned technology. In the past, a molybdenum disulfide coating was applied to both the output gear and the idler gear. By applying a carbonitrided steel equivalent to steel B to the output gear, virtually the same levels of wear and pitting life have been attained. In addition, substantial cost savings have also been achieved by discontinuing the molybdenum disulfide coating on both gears.

6. Conclusion

Premised on the application of carbonitriding, a new steel was developed with the aim of improving the tooth face strength of automatic transmission gears. The following results were obtained in this work.

- (1) A carbonitriding process that diffuses nitrogen of around 0.5 mass% into the surface layer of steel was shown to be effective in increasing tooth surface hardness after tempering at 573K.
- (2) A gear made of steel C with a higher Si content and subjected to carbonitriding extended the pitting life by approximately 70% compared with a gear made of carburized SCR420H.
- (3) Steel B with its Si content kept to 0.5 mass% in consideration of gear cold forgeability was selected as a high-strength gear steel. The results of durability tests conducted on actual transmissions showed that the wear resistance and pitting life obtained with this steel were virtually equal to that of gears made of carbonitrided SCR402H and coated with molybdenum disulfide.

The application of this steel to the output gear of production transmissions has made it possible to discontinue the molybdenum disulfide coating previously applied to both the output gear and idler gear, thereby resulting in substantial cost savings.

謝辞

本開発に当たり，多大なご協力を頂いた社内外の関係各位に，書面にて深く感謝の意を表する．

参考文献

- (1) 吉田誠, 岡田義夫, 松本隆, 渡辺陽一: 自動車技術会論文集, Vol.27(1996), No.2, p.125.
- (2) Y. Okada, T. Matsumoto, A. Kawaguchi, T. Tanaka, and K. Nishio, International Congress & Exposition, 24-28 February 1992, Detroit, Michigan, SAE Technical Paper Series 920761(1992)
- (3) 藤田公明, 吉田彰, 小幡文雄, 安部克由: 日本機械学会論文集C,45(1976)396,p.945.
- (4) Y. Watanabe, N. Narita, Y. Matsushima, and K. Iwasaki, Proc. of 19th Heat Treating Conference, 9-12 October 2000, St. Louis, MO, ASM International , 52-60(2000)
- (5) 蔵本広志, 安部聡, 松島義武, 渡辺陽一, 成田直樹: 鉄鋼協会講演論文集, Vol.12(1999) , p.1393.
- (6) Y. Tanaka, A. Sano and T. Mori, Acta Metall., 26(1978) , p.529.
- (7) 渡辺陽一, 成田直樹, 三島良直: 熱処理40巻 (2000) , p.18-24.
- (8) 新美格, 恒川好樹, 星野薫: 熱処理, 25巻 (1984) , p14 .

Acknowledgments

The authors would like to thank various people inside and outside the company for their tremendous cooperation in this development project.

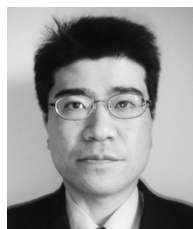
References

- (1) M. Yoshida, Y. Okada, T. Matsumoto and Y. Watanabe, *Transactions of JSAE*, Vol. 27 No. 2, (1996), p. 125 (in Japanese).
- (3) K. Fujita, A. Yoshida, F. Obata and K. Abe, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, C, 45 (1976) 396, p. 945 (in Japanese).
- (5) H. Kuramoto, Y. Abe, Y. Matsushima, Y. Watanabe and N. Narita, *Proceedings of The Iron and Steel Institute of Japan*, Vol. 12 (1999), p. 1393 (in Japanese).
- (7) Y. Watanabe, N. Narita and Y. Mishima, *Journal of The Japan Society for Heat Treatment*, Vol. 40 (2000), pp. 18-24 (in Japanese).
- (8) I. Niimi, Y. Tsunegawa and K. Hoshino, *Journal of The Japan Society for Heat Treatment*, Vol. 25 (1984), p. 14 (in Japanese).

Authors



Makoto YOSHIDA



Mutsuhisa NAGAHAMA



Toshiyuki TANAKA



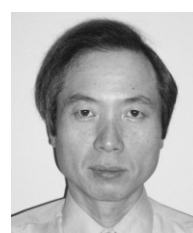
Masahiro SHINMYOU



Syouji SEITA



Naoki KATO



Youichi WATANABE

トロイダルCVTのトラクション保証精度の向上による機能改善

Functional Improvement through Improved Measurement Accuracy for Ensuring Traction of Toroidal CVTs

手塚 晃典*
Akinori TEDUKA

吉田 久徳*
Hisanori YOSHIDA

杉野 史典**
Fuminori SUGINO

抄 録 T-CVT(トロイダルCVT)は、「燃費の低減」と「走行機能の改善」とを両立させる将来型トランスミッションとして1999年に出現した。その後、さらにそれらの優位性を際立たせるための開発を続けている。

本稿は、計測方法を改善し、トラクションを保証するための評価方法を見直すことによって、ディスクとパワーローラ間の押し付け力を低減させCVT機能を改善し、商品性の向上を可能にした事例を紹介する。

Summary The toroidal CVT made its appearance in 1999 as a future-oriented transmission capable of both reducing fuel consumption and improving driving performance. Development efforts have been continuing since then to make its superior features stand out even more. This article describes an example of a measure taken to improve the functionality and customer appeal of toroidal CVTs (T-CVTs) by reducing the axial loading force between the disks and power rollers. That was accomplished by improving the evaluation method for ensuring traction as a result of applying an improved measurement technique.

1. はじめに

近年、環境意識の高まりによる「燃費低減」を成立させる技術として、CVTへの関心が益々高まっている。トロイダルCVTの燃費低減効果は、従来有段ATに比較し、中低速領域では顕著であったものの、高速高負荷領域では改善の余地が残されていた。

高負荷運転状態での効率を向上させるには、ディスクとパワーローラ間の押し付け力(以下、ローディング軸力という)を、伝達トルクに応じた必要最小限の値に維持することが重要であり、色々な運転条件における必要最小限の押し付け力を精度良く決定することが必要となる。

本稿では、計測技術の改善により、ローディング軸力を必要最小限とした事例を紹介する。

1. Introduction

Interest in continuously variable transmissions (CVTs) as a technology for reducing fuel consumption has been continually rising in recent years owing to heightened awareness of environmental concerns. The fuel-saving effect of T-CVTs, compared with conventional stepped ATs, is especially pronounced at low to intermediate driving speeds. However, there is still room for further improvement in the high-speed, high-load range.

In order to improve efficiency further under a high-load operating condition, it is important to maintain the axial loading force between the disks and power rollers at the minimum necessary level in relation to the torque transmitted. That makes it necessary to determine the minimum axial loading force needed under various driving conditions.

This article describes how the axial loading force is kept at the minimum necessary level through the use of an improved measurement technique.

2. Evaluation Method for Ensuring Traction

2.1. Explanation of traction coefficient

The variator of a T-CVT transmits torque by the shearing force of the fluid film squeezed between the disks and power rollers (Fig. 1). This force is referred to as traction force.

As shown in Fig. 2, the ratio of the axial loading force between the disks and power rollers to the traction force is called the traction coefficient μ .

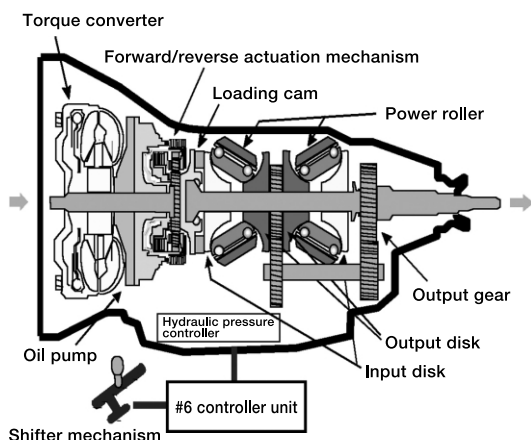


Fig. 1 Longitudinal cross-sectional view of a T-CVT

* 実験部

Experiment Department

** 制御・システム開発部

Control & System Development Department

2. トラクションを保証するための評価方法

2.1. トラクション係数とは

トロイダルCVTのバリエータ部は、ディスク、パワーローラ間に挟まれた油膜のせん断力によって動力を伝えている。この力をトラクション力と呼んでいる。

Fig. 1, 2に示すようにディスクとパワーローラを挟み込むローディング軸力とトラクション力との比を、トラクション係数 μ という。

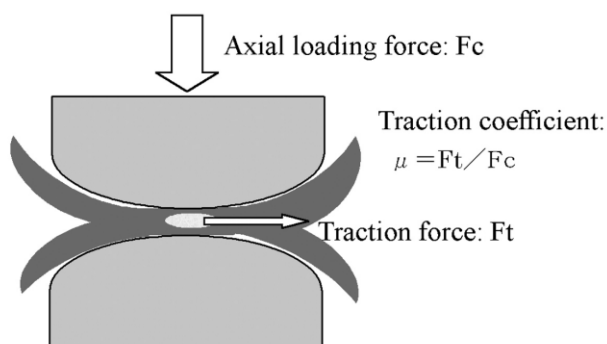


Fig. 2 Definition of traction coefficient

このトラクション係数は、トラクション部の油膜の温度、接触面圧、周速に大きく影響され (Fig. 3), 伝達能力以上のトラクション力が入力すると、グロススリップが発生し、動力伝達不良になってしまう。

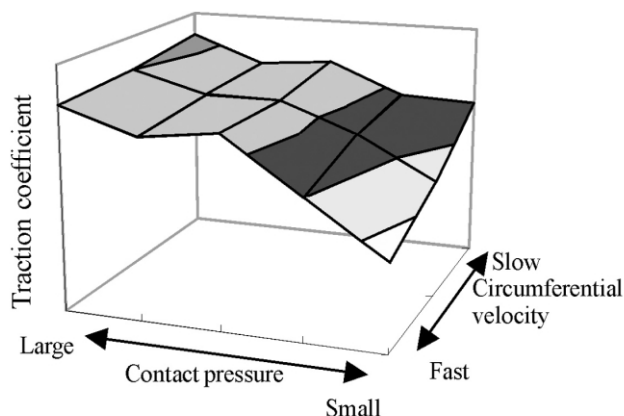


Fig. 3 Change in traction coefficient

グロススリップを防ぐには、ローディング軸力を十分な値に増大しておくのが最も確実な方法であるが、ユニットの伝達効率が低下するとともに、接触面圧の増加に伴って耐久性が悪化する。Fig. 4に示すように、寿命に到る回転数 (rev) は、接触面圧の9乗に反比例する関係⁽¹⁾を持っている。

The traction coefficient is substantially influenced by the temperature of the fluid film at the point of disk-power roller contact, contact pressure and circumferential velocity (Fig. 3). When traction force exceeding the transmission capacity is input, gross slip occurs and the unit is unable to transmit power.

The most reliable method for preventing gross slip is to increase the axial loading force sufficiently. However, that reduces the CVT's transmission efficiency and also degrades durability due to the increased contact pressure. As shown in Fig. 4, the power roller rotational speed leading to the end of service life is inversely proportional to the ninth power of the contact pressure.⁽¹⁾ Accordingly, a key point for enhancing the appeal of T-CVTs is to control the excess ratio of the axial loading force (i.e., actually generated loading force/loading force needed to ensure traction) with high accuracy and reduce the force to the minimum necessary level.

2.2. Causes of gross slip

An increase in the surface temperature at the point of disk-power roller contact, referred to here as the bulk temperature, causes the traction coefficient to drop, giving rise to gross slip. The main causes of heat generation are (1) spin, (2) creep and (3) sideslip.

(1) Spin refers to the rotational motion that occurs at the contact surface (contact ellipse) between the disks and power rollers. Spin occurs when the intersection of the rotational axes of two rotating bodies (a disk and a power roller) does not pass through their common tangential plane. In the case of a half-toroidal CVT, both maximum spin and heat generation theoretically occur when the variator ratio is close to 1.0.

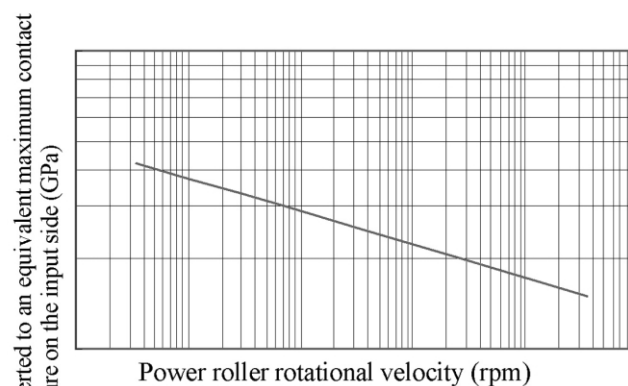


Fig. 4 Fatigue life line

そのため、トロイダルCVTの商品性を向上させるには、このローディング軸力の余裕率を高精度に維持し、ローディング軸力を必要最小限に低減することが重要なポイントである。

2.2. グロススリップの要因

トラクション部の温度(以下バルク温度と呼ぶ)が上昇するとトラクション係数が低下し、グロススリップが発生する。また、発熱の原因は、主として スピン、 クリープ、 サイドスリップである。

スピンとは、ディスクとパワーローラの接触面(接触楕円)における回転運動を表し、二つの回転体(ディスクとパワーローラ)の回転軸の交点で、両者の共通接平面を通らない場合に生じる。ハーフトロイダルタイプでは、バリエータ変速比が1.0近辺で、理論上スピン、発熱とも最大となる。

クリープとは、駆動側、被駆動側の相対速度差である。トラクションドライブでは、滑らかな表面を持つ1対の回転体同士を押し付け、これによってできた弾性変形接触部に油を閉じ込めて、駆動 - 被動間の相対速度に応じたせん断力を発生させている。接触面の中心部の速度差を、入力軸の回転体の周速で除した量がクリープであり、下記の式で表される。

$$C_{r1} = \left(\frac{r_1 \omega_1 - r_2 \omega_2}{r_1 \omega_1} \right)$$

r_1 : 入力ディスク回転半径

r_2 : パワーローラ回転半径

ω_1 : 入力ディスク回転角速度

ω_2 : パワーローラ回転角速度

サイドスリップとは、パワーローラの回転軸を入力ディスクの回転軸に対し、直角方向にオフセットさせ、回転体の接触部に接平面上で転がり方向と直角方向の微小な滑り速度を生じさせることである。これによって誘起されるサイドスリップ力にてパワーローラを傾転させている。

ローディング軸力を低減するには、これらの発熱に伴うバルク温度を正確に把握することが必要である。しかしながら、従来はバルク温度の計測は非常に難しく、トラクション余裕度を精度よく判断することは困難であった。

今回、新計測手法を導入することにより、高精度でトラクション安全率を判定できるようになったので、その手法を以下に示す。

(2) Creep refers to a relative velocity difference between the drive and driven sides. In a traction drive, loading force is applied to a pair of rotating bodies having smooth surfaces, causing the fluid to be enclosed in the contact area of their resultant elastic deformation. Shearing force is thus produced corresponding to the relative velocity between the drive and driven elements. Creep is the quantity obtained by dividing the velocity difference at the center of the contact surface by the circumferential velocity of the rotating body of the input axis. It is given by the following equation.

$$C_{r1} = \left(\frac{r_1 \omega_1 - r_2 \omega_2}{r_1 \omega_1} \right)$$

r_1 : rotational radius of input disk

r_2 : rotational radius of power roller

ω_1 : angular velocity of input disk

ω_2 : angular velocity of power roller

(3) Sideslip refers to the micro sliding velocity that occurs in the rolling and orthogonal directions in the tangential plane of the contact portion of the rolling bodies. It occurs because the rotational axes of the power rollers are offset in the orthogonal direction relative to the rotational axes of the input and output disks. The sideslip force produced as a result tilts the power rollers.

In order to reduce the axial loading force, the bulk temperature resulting from the heat generated by slip, creep and sideslip must be ascertained accurately. However, because it has so far been extremely difficult to measure the bulk temperature, it has been virtually impossible to determine accurately the excess traction margin (i.e., actually generated loading force minus the loading force needed to ensure traction under the given driving conditions).

The implementation of a new method of measuring the bulk temperature has now made it possible to determine the excess traction margin with high accuracy. This new method is explained below.

2.3. Method of measuring bulk temperature

2.3.1. Problems with conventional method

Previously, a sliding contact thermocouple was pressed against a disk to obtain data for estimating the bulk temperature. That method had the following problems which gave rise to measurement error.

2.3. バルク温度の計測法

2.3.1. 従来の計測方法の問題点

従来は、押付け摺動タイプの温度計をディスクに押し当て、バルク温度を予測していたので、以下の課題（測定誤差）があった。

熱電対自体の熱容量により、過渡応答性が悪化。押付けて摺動させるので、摺動熱で温度が上昇。摺動面を傷つける恐れがあり、トラクション転動部から少し離れた所を測定するので、測定温度が低下。

2.3.2. バルク温度の新計測法

新計測法として、物体から放射される近赤外線の放射エネルギーを検出し、その物体の表面温度を推定する計測法を採用した。（Fig. 5）

熱容量の懸念もないので、応答性や分解能に優れる。また、非接触タイプなので、摺動熱の発生もない。さらにパワーローラのバルク近傍に設置して温度が測定できるため、変速位置に関係なく、高精度に測定できる。そのため、前述のクリープ、スピン、サイドスリップが要因となる発熱も定量的に把握できるようになった。

ただ、非接触タイプなので、測温体との間に介在するトラクションオイルの影響が懸念された。これについては、測温体から測定物までの距離を0.5mm程度にすれば、計測波長の近赤外2000nmでは、放射エネルギーのトラクションオイル透過率を90%以上確保できるので、適用可能と判断した（Fig. 6）。

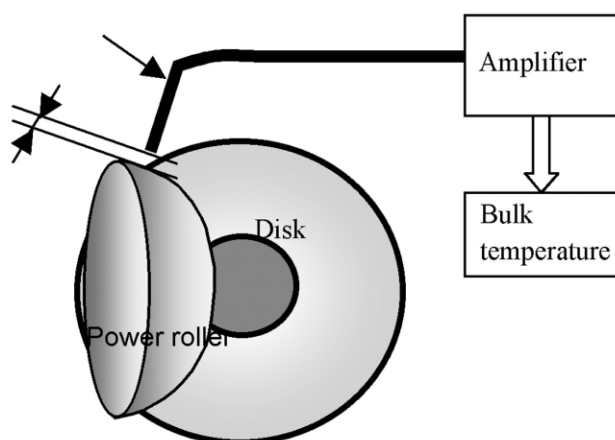


Fig. 5 Measurement of bulk temperature

- (1) The thermal capacity of the thermocouple itself degraded the transient response.
- (2) Pressing the thermocouple against the disk caused the temperature to rise due to the heat produced by sliding.
- (3) The measured temperature was lower than the actual temperature because the measurement was taken at a place slightly removed from the rolling elements of the traction mechanism owing to the danger of scratching their sliding surfaces.

2.3.2. New method of measuring bulk temperature

With the newly adopted measurement method, the radiation energy of near-infrared waves emitted from a power roller is detected, and the surface temperature of the roller is estimated from the measured data (Fig. 5).

This method provides outstanding response and resolution because there is no worry about the influence of thermal capacity. Since it is a non-contact type of measurement, no heat is generated by sliding either. Moreover, the optical fiber can be installed close to the power roller to obtain highly accurate temperature measurements near the point of disk-power roller contact regardless of the shift position. Consequently, the heat generated by spin, creep and sideslip mentioned earlier can also be ascertained quantitatively.

However, because of its non-contact nature, there was concern that the traction fluid present between the power roller and the optical fiber might influence measurement accuracy. It was found that over 90% of the radiation energy would pass through the traction fluid at a near-infrared measurement wavelength of 2000 nm if the distance between the optical fiber and the power roller was around 0.5 mm. That level of transmissivity was judged to make application of this method feasible (Fig. 6).

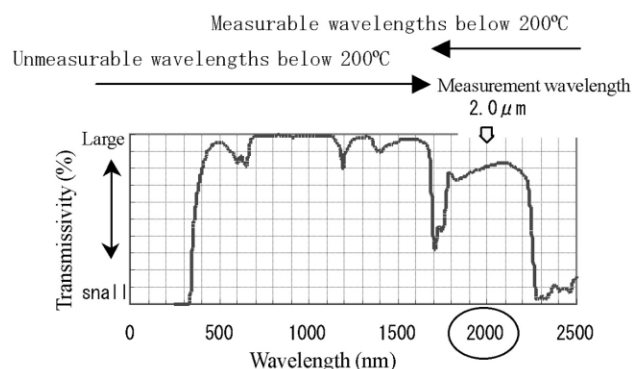


Fig. 6 Transmissivity of near-infrared radiation through 1.0-mm-thick fluid film (data courtesy of the Measurement Engineering Dept. of Nissan Motor Co., Ltd.)

3. バルク温度の測定結果

3.1. 踏み込みダウンシフト時のバルク温度

Fig. 7は実際の踏み込みダウンシフトを繰り返したときの測定波形である。バルク温度は供給油温やオイルパン温度とは全く違った上昇カーブを描くことが判った。

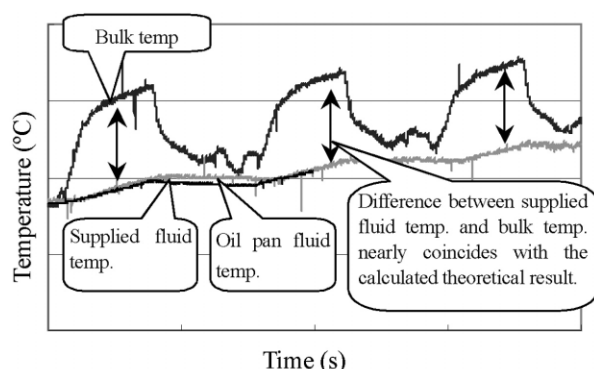


Fig. 7 Change in bulk temperature during downshift

3.2. 机上検討でのスピン+クリープによる発熱

スピン+クリープによる発熱を机上計算で予測し、その値と実験値とのコリレーションをとった。検討値と今回の計測値は、温度上昇分(供給油とバルクの温度差)について両者とも60で一致しており、新手法はより高精度に表面温度が計測できることがわかった。

また、前述運転条件における滑り発生時のバルク温度は、通常の走行では上昇しない温度領域に達していることから、現行ユニットの滑り耐力は十分な余裕率を持っていることがわかった。

バルク温度算出の机上計算式⁽²⁾

$$T_f = q(0.1(h/k_f) + 0.5\sqrt{I_e/(K_s\rho_s C_s \mu_1)})$$

変数定義と単位

- T_f : 供給油温に対する温度上昇量 (K)
- q : 接触楕円の単位面積当たりの発熱量 (W)
- h : 膜厚 (m)
- K_f : 油膜熱伝導率 (W/m/K)
- I_e : 接触部楕円短軸半径 $\times 2$ (m)
- K_s : 転動体伝導率 (W/m/K)
- ρ_s : 転動体密度 (Kg/m³)
- C_s : 転動体比熱 (J/Kg/K)
- μ_1 : 転がり方向の周速 (m/s)

3. Bulk Temperature Measurements

3.1. Measured bulk temperature in power-on downshift

Figure 7 shows the actual waveforms measured in repeated power-on downshifts. It is seen that the rise in the bulk temperature traced a completely different pattern from the supplied fluid temperature and the fluid temperature in the oil pan.

3.2. Theoretical study of heat generated by spin and creep

The quantity of heat generated by spin and creep was predicted in a theoretical calculation, and the correlation between the predicted and measured values was found. Both the calculated and measured values showed a temperature rise of 60°C (i.e., difference between the supplied fluid temperature and bulk temperature). That agreement indicated that this new method makes it possible to measure the power roller surface temperature with higher accuracy.

In addition, it was also found that the bulk temperature at the time slip occurs under the above-mentioned driving conditions reaches a temperature region that is not attained in ordinary driving. That result indicated that the current T-CVT has an ample margin with respect to slip resistance.

Theoretical equation for calculating bulk temperature⁽²⁾

$$T_f = q(0.1(h/k_f) + 0.5\sqrt{I_e/(K_s\rho_s C_s \mu_1)})$$

Definitions of variables and units

- T_f : temperature rise relative to supplied fluid temperature (K)
- q : quantity of heat generated per unit area of the contact ellipse (W)
- h : fluid film thickness (m)
- K_f : thermal conductivity of fluid film (W/m/K)
- I_e : short-axis radius of contact ellipse $\times 2$ (m)
- K_s : thermal conductivity of rolling elements (W/m/K)
- ρ_s : density of rolling elements (kg/m³)
- C_s : specific heat of rolling elements (J/kg/K)
- μ_1 : circumferential velocity in rolling direction (m/s)

3.3. サイドスリップ時のバルク温度

様々な条件下における変速時のバルク温度の変化を示す。実験結果より、サイドスリップでは、スピンやクリーブによる発熱量より少ないことがわかった。

Fig. 8に高回転入力における変速時のバルク温度を示す。入力回転と変速スピードが発熱量に大きく影響することが判明した。

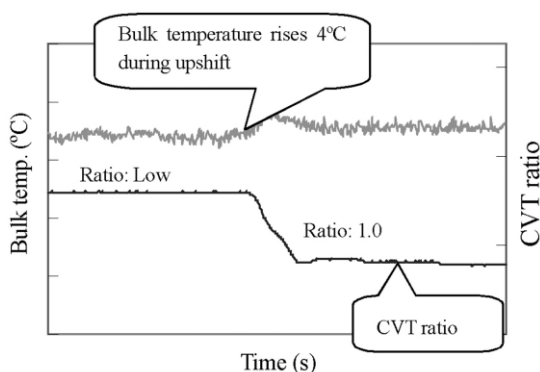


Fig. 8 Change in bulk temperature during upshift

4. ローディング軸力の見直し

4.1. 設計トラクション係数とは

現在のシステムでは、変速機構部の入力側に装着したローディングカムで、ローディング軸力を発生させている (Fig. 1)。

エンジン側からトルクが入力されると、ローディングカムとフロント入力ディスクとの間に挟まれたカムローラーによって、両者を入力トルクに比例した量だけ相対回転させるとともに、ローディング軸力を発生する。

考えられる全ての運転条件において、トルク伝達を維持するための最小限のローディング軸力を比 (ローディング軸力/回転の接線方向力) の形で求めておく。その値の逆数を設計トラクション係数と呼び、そのトラクション係数が大きければ、必要とするローディング軸力は小さくなり、トロイダルCVTの動力伝達能力や効率などが増大し、商品力向上のためには望ましい。

4.2. 設計トラクション係数の見直し

GM社の論文⁽³⁾では、ダブルキャピティタイプの設計トラクション係数として、0.055が用いられている。

今回の評価結果により、その値を10%近く上回ることが可能であることがわかった。

これにより、以下のような効果があり、トロイダルCVTの商品力が数段向上する。

ユニット効率が数%向上。

バリエータの耐力が数十%向上。

3.3. Bulk temperature at time of sideslip

The change in the bulk temperature was found at the time the T-CVT shifted under various operating conditions. The experimental results showed that the quantity of heat generated by sideslip was less than that produced by spin or creep.

Figure 8 shows the bulk temperature at the time the T-CVT shifted under a condition of a high input speed. The results indicate that the input speed and the shifting speed substantially influenced the quantity of heat generated.

4. Revision of Axial Loading Force

4.1. Explanation of design traction coefficient

In the present system, axial loading force is produced by the loading cam installed on the input side of the shift mechanism (Fig. 1). When torque is input from the engine, the cam roller sandwiched between the loading cam and the front input disk causes both of them to rotate at a relative velocity proportional to the input torque, and axial loading force is generated.

The minimum axial loading force needed to maintain the transmission of torque under all conceivable driving conditions is found in advance as the ratio between the axial loading force and the force tangential to the direction of rotation. The reciprocal of that value is called the design traction coefficient. A large traction coefficient reduces the required axial loading force, with the result that the torque capacity, efficiency and other performance attributes of T-CVTs are improved. Accordingly, a large traction coefficient is desirable for enhancing the appeal of T-CVTs.

4.2. Revision of design traction coefficient

A technical paper written by GM engineers used a value of 0.055 as the design traction coefficient of a dual-cavity T-CVT.⁽³⁾ The results of the present evaluation showed that this value could be increased by nearly 10%. That would bring about the benefits noted below, which would markedly improve the appeal of T-CVTs.

- (1) Improvement in overall unit efficiency of several percent.
- (2) Improvement in variator durability of several tens of percent.

5. 今後のトロイダルCVT

前述の設計トラクション係数の見直しだけでなく、
トラクション係数を高めるディスク表面の処理
技術の開発

更なるトラクション係数を高めたトラクション
オイル

を行うことにより、ダブルキャビティ方式では、
現行以上の高出力エンジンへの対応が可能になる。
また、シングルキャビティ方式では、2Lクラスエ
ンジン用の廉価版トロイダルCVTも可能となる。

謝辞

最後に今回の測定にあたり、日産自動車(株)計測
技術部、出光興産(株)営業研究所をはじめ多数の皆
様に多大のご指導とご協力をいただいた。ここに
深く感謝する。

参考文献

- (1) Adrian P. Lee and Jonathan Newall, Durability of a Compact Dual-Cavity Full-Toroidal IVT Variator, SAE 2004-01-0353.
- (2) 田中裕久：トロイダルCVT(コロナ社), 22p-24p, 2000
- (3) Burak A. Gecim, Modeling and Experimental Validation of Optimized Clamp Loading in a Toroidal-CVT, SAE 2004-01-0351.

5. Future T-CVTs

In addition to revising the design traction coefficient as mentioned above, we also plan to make the following improvements to T-CVTs in the coming years:

- (1) Development of a technique for providing grooves in the disk surfaces so as to obtain a higher traction coefficient
- (2) Development of a traction fluid with a higher traction coefficient

These developments will enable dual-cavity T-CVTs to handle higher levels of engine torque than the current units. In addition, they will facilitate the development of low-cost single-cavity T-CVTs for use with 2-liter class engines.

Acknowledgments

Finally, the authors would like to thank many people for their invaluable guidance and cooperation in connection with this new measurement method, especially the Measurement Engineering Dept. of Nissan Motor Co., Ltd. and the Lubricants Research Laboratory of Idemitsu Kosan Co., Ltd.

References

- (2) H. Tanaka, Toroidal CVTs, Tokyo, Corona Publishing Co., 2000, pp. 22-24 (in Japanese).

Authors



Akinori TEDUKA



Hisanori YOSHIDA



Fuminori SUGINO

2004 パリ・オートショー視察報告

2004 Paris Motor Show Highlights

小野田 司*

Tsukasa ONODA

抄 録 04年9月開催のパリ・オートショーを視察したので、自動車、及びパワートレインの動向について解説する。

Summary This article describes the vehicle and powertrain trends observed at the 2004 Paris Motor Show that opened in late September last year.

1. はじめに

このパリ・オートショーは、通常パリ・サロンと呼ばれている。

会場はパリ市内南西部のParis Expo(ポルト・ド・ベルサイユ, Fig. 1)。8つのホールから構成され、展示スペースは幕張メッセの約2倍の広さを有する。今回は世界の自動車・部品メーカ27カ国・432社が出展し、次世代技術、新商品の発表・展示を競った。

(注1) 04年9月25日から10月10日開催。

入場者数: 約150万人



Fig. 1 Paris Expo

2. 車両トレンド

全般的に将来のコンセプト車の展示は少なく、'04、'05MY車両の販売促進に直接寄与する車両・技術の展示が多い。

具体的には、展示車両は、2つの傾向が見られる。

まず、EU拡大に伴ない、東欧市場での車両販売

1. Introduction

The Paris Motor Show, often referred to as the Paris Salon, is held at the Paris Expo Porte de Versailles (Fig. 1), located in the southwestern part of the French capital. Exhibits were spread over eight halls, having a combined exhibition space approximately twice as large as that of Makuhari Messe where the Tokyo Motor Show is held. At the 2004 show, 432 companies, representing vehicle manufacturers and parts suppliers from 27 countries around the world, vied in announcing and displaying their next-generation technologies and newest products.

The show ran from September 25 to October 10, 2004, and attracted approximately 1.5 million visitors.

2. Vehicle Trends

On the whole, there were not so many exhibits of futuristic concept cars. Most of the vehicle and technology exhibits were intended to contribute directly to promoting sales of 2004-05 model year vehicles.

Two concrete trends were evident in the vehicles on display. One trend was seen in the automakers' vigorous introduction of new models in the small car segment, comprising the B and C platform classes with an overall vehicle length of around 4 m. The automakers have their eye on the trend toward rising annual vehicle sales in the Eastern Europe market, accompanying the expansion of the EU.

* 営業業務部
Sales Planning & Administration Department

が年々増加傾向にあることも視野に入れ、各メーカーともスモールカー（Bプラットフォーム、Cプラットフォームクラス：全長4m前後）セグメントへの積極的な新車投入の姿勢が見られる。

例えば、Bプラットフォームで比較的背が高いボデーのルノーMODUS/プジョー1007/日産トーン（日本名：ノート）三菱コルトCZTに加えて、本セグメントへの新規参入として、ダイムラクライスラーAクラス/ビジョンB、Cプラットフォームセグメントには、smart forfour /BMW120i（BMW初めてのFR Cプラットフォームセグメント車）などが挙げられる。



Fig. 2 Renault Modus

第二に、北米で生まれたSUV・ミニバンは、日本・韓国市場では既に成熟していること、更に、欧州市場でも徐々に増加していることを反映し、新車の展示が目立つ。日産 Pathfinder（新型ディーゼル・エンジン搭載）、VW Touareg Sport W12、起亜 Sportage、Volvo XC90 V8、Chevrolet S3Xなどが一例である。

3. 環境との共生とパワートレイン

環境との共生への取り組みに関しては、当面のユーロ4規制への対応を訴求したものが多いが、更に、その先の規制を見据えたコンセプトも各社のブースに見られる。全般的には、燃料電池/HEVを展示したカーメーカーは少なく、高燃費でCO₂排出量が少ない新世代ディーゼル・エンジン搭載の車両展示が目立つ。日系カーメーカーも、ディーゼル・エンジン車の新規投入を積極的に拡大している傾向にある。

また、グローバルなカーメーカーは、利便さ・走行の快適さに加えて、上記環境との共生を実現するための技術として、新機構の自動変速機（AMT/HEVを含む、以下ATと呼ぶ）をPRしている。

Examples of B platform models included those with a relatively tall body like the Renault Modus (Fig. 2), Peugeot 1007, Nissan Tone (Note in Japan) and Mitsubishi Colt CZT. In addition, new entries in this segment were represented by DaimlerChrysler's A-Class and Vision B. The C platform segment included models like the smart forfour and the BMW 120i, which is BMW's first rear-wheel-drive C-platform segment car.

The second trend was seen in the prominent exhibits of new SUVs and minivans, reflecting their steadily increasing number in the European market. These products were originally created in the North American market and have already reached maturity in the Japanese and South Korean markets. Some examples of the displayed models included the Nissan Pathfinder, fitted with a new diesel engine, the VW Touareg Sport W12, the Kia Sportage, the Volvo XC90 V8 and the Chevrolet S3X.

3. Environmentally Friendly Powertrains

With regard to efforts to foster harmony with the environment, many powertrain exhibits emphasized compliance with the Euro 4 regulations that come into effect in 2005. Moreover, concepts aimed at compliance with future emission regulations were also seen at many companies' booths. In general, few automakers presented fuel cell vehicles (FCVs) or hybrid electric vehicles (HEVs). The vehicle exhibits that stood out were ones equipped with new-generation diesel engines boasting high fuel economy and low levels of CO₂ emissions. A trend toward vigorous expansion of new vehicle models fitted with diesel engines was also seen among Japanese automakers.

The global automakers also publicized their automatic transmissions (ATs), including automated manual transmissions (AMTs) and HEV systems. These AT exhibits incorporated new mechanisms as technologies for achieving environmental friendliness, in addition to providing convenience and driving comfort.

Approximately 10 ~ 20% of all the displayed vehicles were equipped with an AT, which is still much lower than the installation rates in North America and Japan. Yet, there was evidence everywhere that the automakers have been putting emphasis on expanding sales of AT-equipped vehicles, compared with the situation at the Frankfurt and other European motor shows in the period from around 1997-2001.

展示車両の中で、AT装着車の比率は約10～20%であり、まだまだ北米・日本市場に比べて低い。しかしながら、'97年～'01年頃のフランクフルトなど欧州での各モーターショーに比べ、各カーメーカーがAT車の販売促進に力を入れ始めているのが随所に見受けられる。

例えば、一般来場者を対象としたプジョー1007・AMT搭載車のデモ・コナでは、来場者に実際に運転席に座って頂き、クラッチ・ペダルを操作せずにシフトレバーを軽く動かすことで変速する機構を説明している。

BMWでは、ステップ式AT車については、走行状態に応じて、アクセル開度の操作だけで自動的に変速する利便性を説明ポイントのひとつとしている。

また、マニュアル走行に慣れた欧州カードライバのニーズを取り入れ、AT車は必ずテプトロ式を設定しており、更に、シフトレバーもソフトタッチ・プラス(前方向にレバーを軽くタッチするだけで変速)の様な使いやすさを狙った機構も登場している(Fig. 3)。



Fig. 3 Soft Touch Plus Shift Lever

AT本体の機構については、欧州は多様な商品が考案・量産化されている市場であり、将来のトレンドを予測し難い状況にある。本モーターショーでAT単体での展示、またはAT搭載車としての展示が全展示物に対する比率は、AMT：19%、DCT：13%、ステップ式AT：37%(・4速：6%、・5速：6%、・6速：25%)、CVT：25%、HEVシステム：6%とバラエティに富んでいる。

3.1. AMT

AMTは各カーメーカーの小型車用内製MTをベースとしたものが多く、smart forfourのようなクリープ走行を可能としたもの、シトロエンC3のようにSTOP & START(アイドル・ストップ)付きにより燃費を向上させたものがある。

For example, Peugeot displayed an AMT-equipped 1007 demonstration model targeted at ordinary visitors. The AMT shift mechanism was explained by letting visitors actually sit in the driver's seat and manipulate the shift lever lightly to shift gears without having to depress the clutch pedal.

BMW exhibited a vehicle equipped with a stepped AT and emphasized the convenience of the gearbox by explaining that the transmission shifted automatically according to the vehicle's operating status when the driver merely operated the accelerator pedal.

All the AT-equipped cars featured a Tiptronic-like mode to meet the preferences of European car drivers who are accustomed to manual shifting. New shifter mechanisms aimed at enhanced ease of operation were also introduced such as the "soft-touch-plus" shift lever that shifts with just a light nudge in the forward direction (Fig. 3).

Many different types of AT mechanisms have been commercialized and put in mass production in the European market, making it difficult to predict future trends. At the Paris show, AT exhibits and AT-equipped vehicle exhibits were rich in variety, as indicated by the following breakdown of the total: AMTs: 19%; dual clutch transmissions (DCTs): 13%; stepped ATs: 37% (4-speed: 6%; 5-speed: 6%; 6-speed: 25%); CVTs: 25%; and HEV systems: 6%.

3.1. AMTs

Many AMTs were based on the manual transmissions (MTs) the automakers manufacture in-house for use on their small cars. Examples included the smart forfour's AMT with creep capability, and the Citroen C3's AMT with automatic engine stop/start capability for improved fuel economy.

VW also exhibited its Direct Shift Gearbox (DSG), a DCT-type AMT that the automaker mass produces for use on its midsize cars. This demonstration featured hands-on experience of the DSG, thereby emphasizing to ordinary car users the comfort of driving without using a clutch pedal and the outstanding feeling of acceleration and quick response provided by this DCT (Figs. 4 and 5).



Fig. 4 VW DCT Demonstration

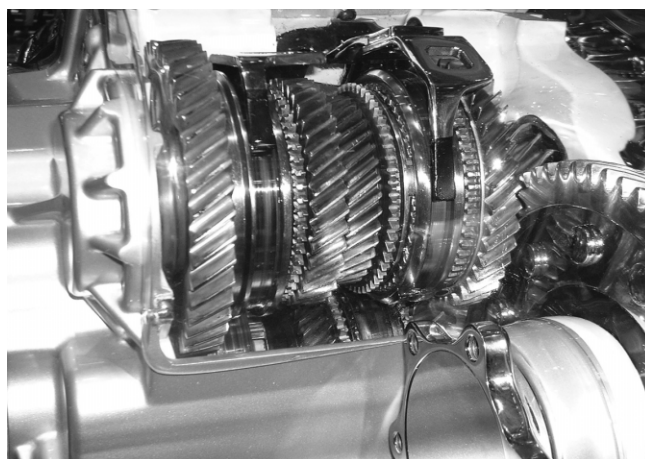


Fig. 5 VW DCT Cutaway Model

更に、VWが中型車用に量産化を実現させたDCT（デュアル・クラッチ式AMT）も、Dynamic Drive DSGの名称で体感シミュレーションのアトラクションを通じて、クラッチ・ペダルのない快適な運転と加速感・応答性の早さを一般カーユーザに訴求している（Fig. 4,5）。

3.2. ステップ式AT

4速から5速、更なるATの多段化が進んでいることを反映し、BMWでは新120i FR6速（ZF製）車、プジョーでは607ディーゼルエンジン＋6速AT（AW製）車を展示している。

また、'03年のフランクフルト・モーターショーでは、ベンツ内製の7速ATが展示されていたが、今回は出展されなかった。

3.3. CVT

ダイムラー・クライスラー Aクラス用スチールベルト式CVT（2Lクラス・内製）、AUDI チェーンベルト式CVT（2.8Lクラス・内製）の出展など、CVTは一般的に小型・中型車用までの適用とされている。その中で日産が新型SUV Murano用パワートレインとして、高トルク3.5リッターエンジン＋CVT（当社製）を組み合わせたカットミッションを出展し、燃費向上と高排気量エンジン車への適合を両立させた新世代CVTの誕生を訴求している。（Fig. 6）

3.2. Stepped ATs

BMW exhibited its new rear-wheel-drive 120i equipped with a 6-speed AT (made by ZF), and Peugeot displayed its 607 featuring a diesel engine mated to a 6-speed AT (made by AW). These exhibits reflected the ongoing transition from 4-speed gearboxes to ATs with five or more speeds.

At the 2003 Frankfurt Motor Show, Mercedes-Benz exhibited a 7-speed AT that it manufactured in-house, but that unit was not displayed at last year's Paris show.

3.3. CVTs

DaimlerChrysler presented a 2-liter class steel-belt CVT manufactured in-house for the Mercedes-Benz A-Class, and Audi displayed a 2.8-liter class chain-belt CVT that it manufactures in-house. These exhibits typified the general thinking at present that CVTs are for small to midsize cars. In contrast, Nissan exhibited a cutaway model of the powertrain used on its new Murano SUV, which combines a 3.5-liter high-torque engine with a JATCO CVT (Fig. 6). This exhibit emphasized the creation of a new-generation CVT that achieves both improved fuel economy and applicability to cars powered by large-displacement engines.



Fig. 6 NISSAN Murano CVT

4. Concluding Remarks

Compared with the Tokyo, Frankfurt, Detroit, Seoul and other motor shows throughout the world, the 2004 Paris Motor Show was a sophisticated international auto show with a vast array of cutting-edge technologies spectacularly orchestrated in a uniquely French manner.

Powertrain needs are rising to new levels every year in the European market and dramatic advances are being made in technological innovations. The author keenly felt that JATCO must undertake wide-ranging market surveys in order to support the company's further growth on a global basis. (DCT is Volkswagen's registered trademark.)

4. 最後に

今回視察したパリ・オートショーは、東京・フランクフルト・デトロイト・ソウルなどの各モーターショーと比べ、フランス特有の華やかな演出の中にも最新鋭の技術を盛り込んだ洗練された国際的なモーターショーと言える。

欧州市場において、年々高まるパワートレインへのニーズと技術革新は目覚しく進歩しており、当社が更に、グローバルに発展するためにも、幅広いマーケット調査が必要であることを痛感した。
(DCTはフォルクスワーゲン社の登録商標です。)

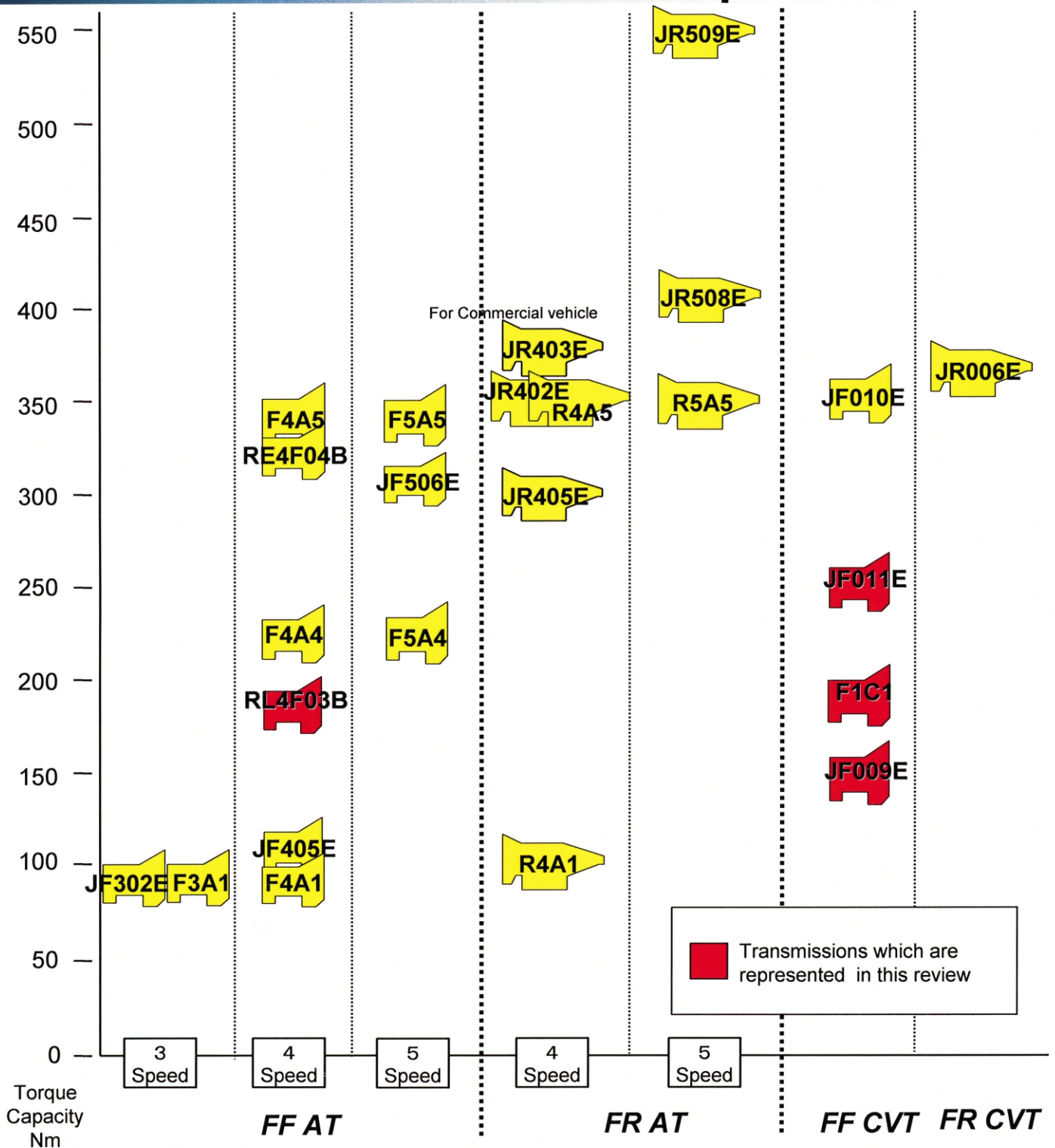
Author



Tsukasa ONODA

Product Line-up

Jatco



中型車用新型 CVTの開発

Development of a New CVT for Midsize Vehicles

鈴木 明人* 清水 健次** 黒沢 実*** 齊藤 勤** 浅野 日出夫**** 澤山 稔**
Akito SUZUKI Kenji SHIMIZU Minoru KUROSAWA Tsutomu SAITOU Hideo ASANO Minoru SAWAYAMA

抄 録 ジヤトコは、2004年11月に2～2.5Lクラスの新型ベルトCVT(以下「CVT2」とする)の生産を開始した。これはHyper-CVTの後継として主に燃費向上、動力性能向上、小型軽量化を目的として開発し、いずれの性能においても世界トップクラスの実力を達成する事ができた。本稿ではこのCVT2の主要構造、性能について紹介する。

Summary In November 2004, JATCO launched production of a new steel-belt CVT (CVT2) for use on 2.0-2.5-L class vehicles. The major development objectives set for this new CVT, which replaces the previous Hyper-CVT, were to improve fuel economy, enhance power performance and achieve a smaller, lighter design. In every attribute, the new CVT2 achieves performance ranking among the best in its class worldwide. This article describes the main structure and performance of the CVT2.

1. はじめに

近年、法規制含めて地球環境問題への関心がますます高まる中で、自動車業界では燃費向上の競争が激しさを増している。その燃費向上技術の中でのCVTは各メーカーで重要視されており、この数年の間にそのシェアを広げてきた。日産は早くからCVTに着目し、他社に先駆けて大容量化の取り組みを行ってきた。まずは1997年に当時としては世界初となる2.0LクラスFFベルトCVTを発表し、中型車に搭載してきた。さらに、2002年に次世代CVTとして燃費性能や動力性能を向上させたXtronic CVTを1.5Lクラス小型車及び3.5Lクラス大型車に投入し、好評を得ている。

今回、新規に開発した中型車用FFベルトCVT(以下CVT2)を2004年12月に発売されたミニバンに搭載し発売することで、日産としては次世代CVTのフルラインナップを実現した。本稿ではこのCVT2の技術内容について紹介する。

2. 開発のねらい

CVT2は先述の燃費向上に加え、衝突安全対応プラットフォームに適用する必要性や、車両の動力性能向上を目的として、下記の3点を開発のねらいとした。

- 1) 燃費向上
- 2) 加速性能向上
- 3) 小型軽量化(全長短縮)

* 日産自動車(株)
Nissan Motor Co., Ltd.
** 第一商品開発室
Product Development Department No.1

*** 第一商品開発本部
Product Development Center No.1
**** 実験部
Experiment Department

1. Introduction

Competition to improve fuel economy has been intensifying in the automotive industry in recent years amid rising concern about global environmental problems and the tightening of related regulations. The automakers have regarded continuously variable transmissions (CVTs) as an important technology for improving fuel economy, and the market share of CVTs has been expanding these last several years as a result. Nissan Motor Company was among the first car manufacturers to focus attention on CVTs and has worked to increase the torque capacity of CVTs ahead of other automakers. For example, Nissan announced the world's first steel-belt CVT for 2.0-L class front-wheel-drive cars in 1997 and applied the unit to midsize passenger vehicles. Subsequently, in 2002, Nissan rolled out the Xtronic CVT, a next-generation CVT featuring improved fuel economy and power performance that has been highly acclaimed on 1.5-L class small cars and 3.5-L class large cars.

The steel-belt CVT2 was newly developed for use on midsize front-wheel-drive vehicles and was adopted on a new Nissan minivan that was released in December 2004. With the introduction of the new CVT2, Nissan has achieved a full lineup of next-generation CVTs. This article describes the technical details of the CVT2.

3. 構造・主要諸元

Fig. 1に主断面図，Fig. 2に外観図(カットモデル)を示し，Table1にCVT2の主要諸元を従来CVT(以下Hyper-CVT)との比較の形で示す．

CVT2はHyper-CVT同様，発進要素にトルクコンバータを採用し，エンジンからの入力トルクは，このトルクコンバータと前後進切替機構部を介して変速機構であるベルト&プリー伝達される．そしてRDCNギヤ列を介して，デフギヤにより左右の駆動輪を駆動する．トルク伝達や変速のための油圧を発生させるオイルポンプはユニット下方に配置され，エンジンと直結された入力軸からチェーンシステムを介して駆動される．制御系の油圧回路は従来同様，ケース下方オイルパン内に配置した．また，Hyper-CVTはラジエータ内蔵のオイルクーラを採用していたが，CVT2はビルトインタイプのクーラを採用し車両搭載性の自由度を高めた．

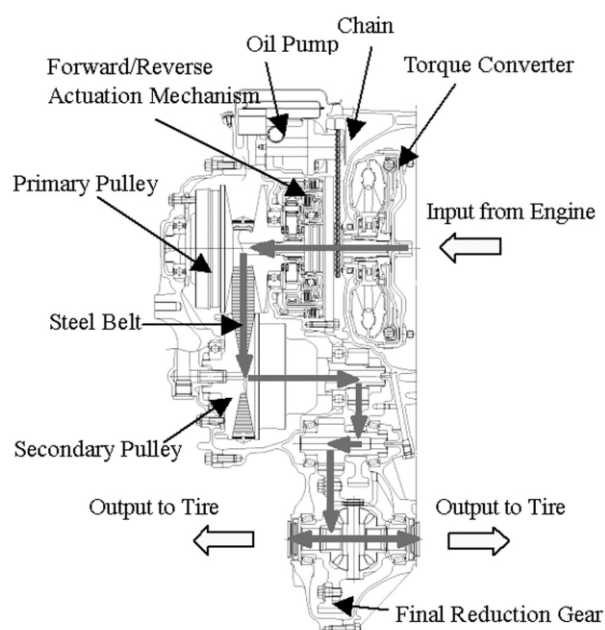


Fig. 1 Main cross-sectional view



Fig. 2 Medium torque capacity CVT

2. Development Objectives

In addition to improving fuel economy, the CVT2 had to be applicable to new vehicle platforms designed for improved crashworthiness and also enhance vehicle power performance. The following three objectives were set for the development of the CVT2.

- (1) Improvement of fuel economy
- (2) Improvement of acceleration performance
- (3) Smaller and lighter design (shorter overall length)

3. Structure and Major Specifications

Figure 1 shows a main cross-sectional view of the CVT2, and its appearance is shown in the cut-away model in Figure 2. The major specifications of the CVT2 and those of the previous Hyper-CVT are compared in Table 1.

Like the Hyper-CVT, the CVT2 adopts a torque converter as the start-off element. Torque input from the engine is transmitted through the torque converter and the forward/reverse actuation mechanism to the belt and pulley system that serves as the shift mechanism. From there, drive torque is transmitted through the final reduction gearset to a differential gear and then output to the right and left drive wheels. The oil pump that produces the hydraulic pressure for transmitting torque and executing ratio changes is located below the CVT. It is driven via a chain system from the input shaft coupled directly to the engine. As in the past, the hydraulic pressure control system is positioned inside the oil pan below the case. While the Hyper-CVT adopted an oil cooler built into the radiator, the CVT2 has a built-in cooler that increases the degrees of freedom for mounting the unit in the vehicle.

Table 1 Major Specifications

Item		CVT2	Hyper-CVT
Torque capacity		250 Nm	200 Nm
Gear ratios	Pulley ratio	2.349~0.394	2.326~0.434
	Ratio coverage	6.0	5.4
	Reverse gear ratio	1.750	1.586
	Final gear ratio	5.407~6.466	5.473/5.743
Weight (kg)		90	94
Overall length (mm)		354.7	396.0
Distance between 1st and 2nd shafts		171.0	168.0
Distance between 1st and 4th shafts		197.0	185.0
Manual mode		6 speeds	6 speeds

4. 性能向上のための要素技術

4.1. 燃費向上

4.1.1. レシオカバレッジ拡大

CVT2は小型化という課題を克服しつつ，レシオカバレッジ(Lowレシオ/Hiレシオ)をHyper-CVTの5.4対して6.0まで拡大した。(Fig. 3)これは，構造解析シミュレーションによるプーリ軸径付近の形状最適化を実施し，プーリ軸径を5%細くできたことが大きく寄与している。(Fig. 4)これにより，発進等の加速性能を犠牲にすることなく高速走行時にエンジン回転を低く保つことが可能となり，燃費性能向上と共に静粛性を改良することができた。

4.1.2. フリクション低減

シールリング，クラッチ等のパワートレイン系部品の摺動抵抗低減や，ギアの攪拌抵抗低減等フリクションの低減アイテムを検討し，CVT2に採用した．特にオイルポンプについては，従来のトロコイドギア式ポンプからベーン式ポンプに変更するとともに，従来入力軸に配置していたポンプを別軸化してチェーン駆動することでポンプ本体を小型化し，機械損失低減による高効率化を実施した。(Fig.5)また，吐出側の余剰油を強制的に吸入側に戻す流量制御弁を設けて圧力損失低減させることで，高回転時における高効率化とともにノイズレベルを低減させることができた。

これらのアイテムにより，Hyper-CVTより代表点で約 - 30%のフリクションを低減することができた。(Fig.6)

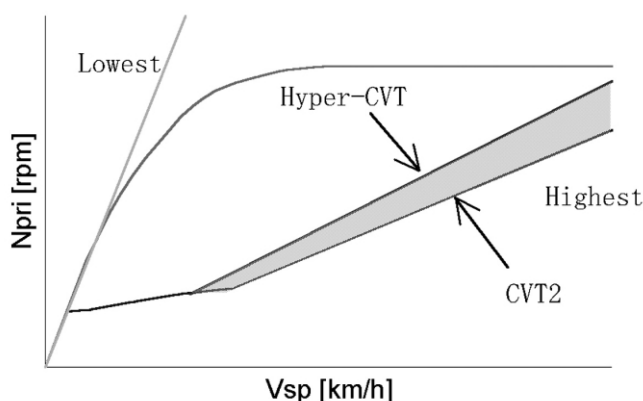


Fig. 3 Shift schedule comparison

4. Key Technologies for Improving Performance

4.1. Improvement of fuel economy

4.1.1. Expanded ratio coverage

The ratio coverage (Low ratio/High ratio) of the CVT2 was expanded to 6.0, compared with 5.4 for the Hyper CVT, while still attaining the downsizing objective (Fig. 3). A major contributor here was the 5% reduction in the secondary pulley shaft diameter that was achieved by optimizing the geometry near the pulley shaft on the basis of a structural analysis simulation. The wider ratio coverage makes it possible to keep the engine speed low during high-speed cruising, without sacrificing start-off acceleration performance. The result is an improvement in fuel economy together with quieter operation.

4.1.2. Reduction of friction

Various means of reducing friction were investigated and adopted for the CVT2. This included reducing the sliding resistance of powertrain parts such as the seal rings and clutches and also reducing the oil agitation resistance caused by the gears. One notable change regarding the oil pump is that the previous internal trochoid gear pump was switched to a vane pump. Instead of positioning the oil pump on the input shaft as was done previously, the pump now has an independent shaft and is driven by a chain. This reduced the size of the pump itself and lowered mechanical losses to increase efficiency (Fig. 5). A flow control valve was also provided for forcibly returning excess fluid on the discharge side to the input side. The resultant reduction of pressure losses improves efficiency at high operating speeds and also reduces the pump noise level.

As a result of adopting these measures, the overall friction level of the CVT2 at a typical operating point has been reduced by about 30% compared with the Hyper CVT (Fig. 6).

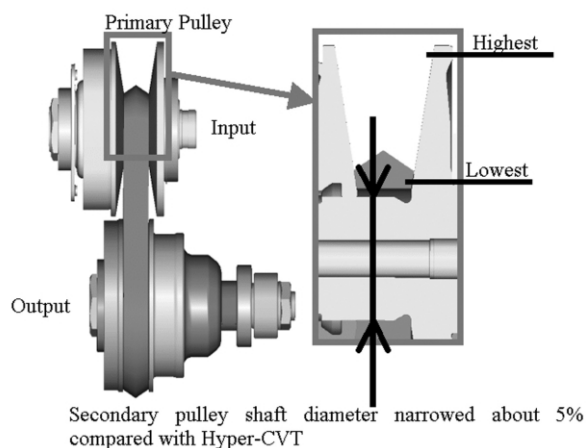


Fig. 4 Pulley and belt assembly

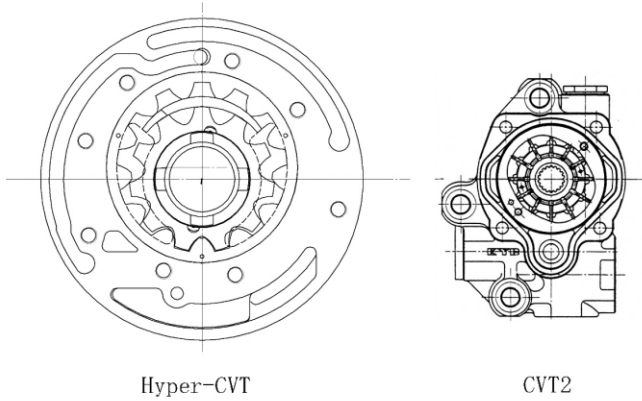


Fig. 5 Comparison of oil pump systems

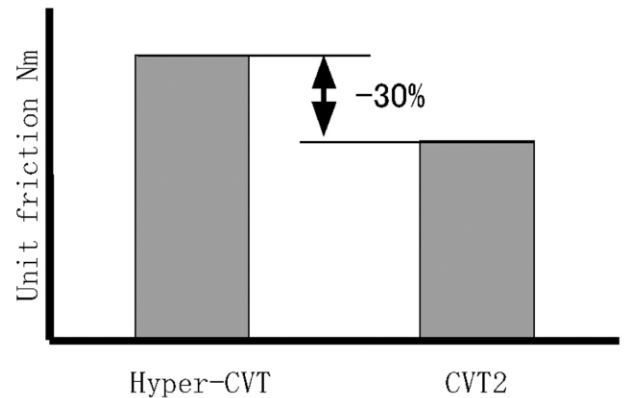


Fig. 6 Reduction of CVT unit friction

4.1.3. 作動油圧の最適化

セカンダリプーリに供給する油圧をライン圧とは独立して制御できるようにリニアソレノイドを追加し、あわせて油圧制御系全体の精度も向上させることで、作動油圧を低減して伝達効率を大幅に向上できた。Fig.7にCVT2の油圧回路図を示す。また、様々な走行条件での作動油圧を細かく分析し、油圧の設定値を最適化した。

4.1.3. Optimization of fluid pressure

A linear solenoid was added to enable the pressure supplied to the secondary pulley to be controlled independently of the line pressure. In addition, the accuracy of the entire pressure control system was improved. These measures allowed the fluid pressure to be reduced for a substantial improvement in transmission efficiency. A block diagram of the hydraulic pressure circuit of the CVT2 is shown in Fig. 7. Additionally, the pressure settings were optimized as result of analyzing the fluid pressure levels in detail under various driving conditions.

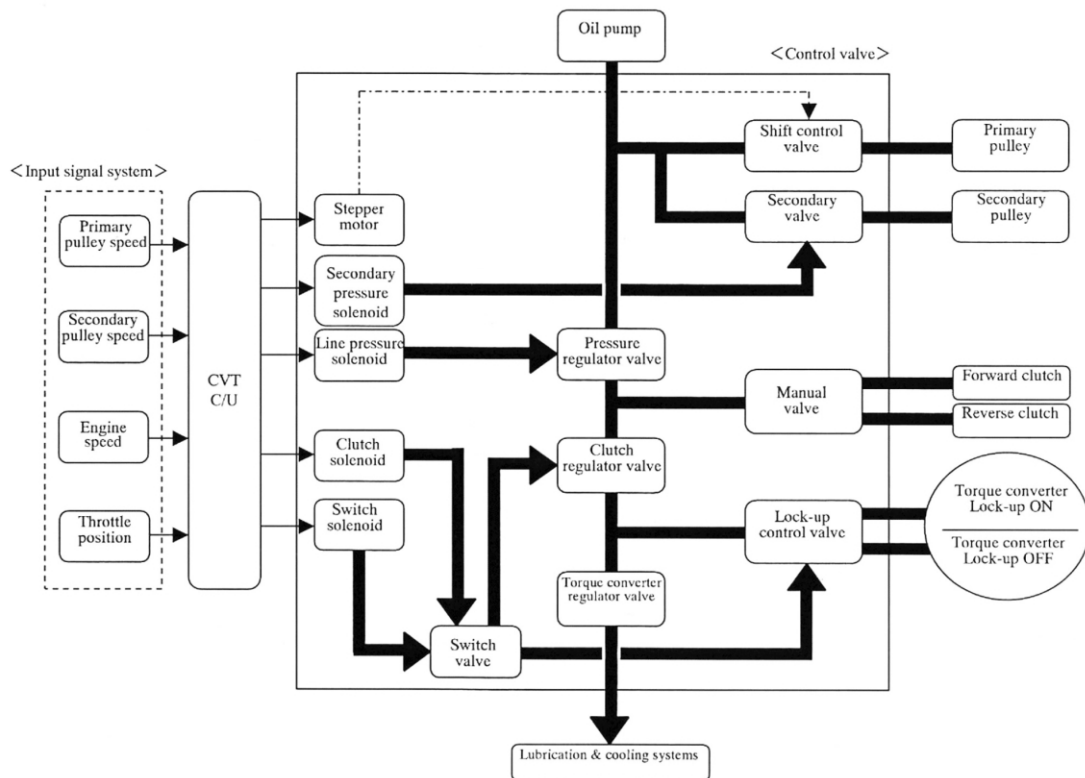


Fig. 7 Block diagram of pressure control system

4.1.4. ロックアップ領域の更なる低車速化

ロックアップをより低速からさせることは燃費向上の有効な手段であるが、それによるこもり音の発生や、エンジン回転数の急変に起因する不快感が副作用として問題になることがある。CVT2では極低車速のロックアップ締結時のエンジン回転数を違和感なく変化させる2自由度型制御系のスリップロックアップ制御を採用し、ロックアップ領域の更なる低車速化を実現した。(Fig.8)

また、コースト時のロックアップ油圧をエンジントルクに応じ必要最低限の容量を確保するように制御することで、急減速時のロックアップ解除応答性を向上することができた。これにより、エンジンのフューエルカット領域を拡大可能となり、燃費を向上させることができた。

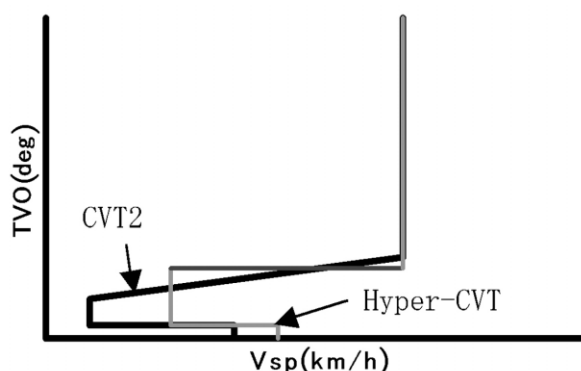


Fig. 8 Lock-up schedule

4.2. 加速性能向上

単に加速性能を求めるのであれば、無段変速により最高出力発生回転一定で走行させるのが最も効果的であるが、フィーリングが悪くなる等加速性能とフィーリングの両立がCVTの課題となっていた。CVT2としてはこの課題を克服するために、変速レスポンスの改善を行った。主な改良点は以下の通りである。

4.2.1. 油圧制御系の改良

プーリー油圧室の容量を低減させることで、少ない油量で変速できるようにした。このために最高油圧をHyper-CVTより30%以上高くする必要があったが、各油圧部品の新設計することで対応した。更には、プーリー両調圧制御の採用、変速制御弁の形状見直し、リニアソレノイド採用、油圧精度向上等の改良を行うことで、安定的に素早い変速が可能になった。

4.2.2. CVTフルードの改良

CVTフルードの改良により、プーリー-ベルト間 μ - v 特性を改善し、より安定的に変速できるようになった。(Fig.9)

4.1.4. Extension of lock-up operation range to lower vehicle speeds

One effective means of improving fuel economy is to initiate lock-up operation at lower vehicle speeds. However, that can also cause undesirable side effects such as booming noise and unpleasant sensations due to sudden changes in engine speed. To avoid such problems, the CVT2 adopts a slip lock-up control system with two degrees of freedom. When engaging the lock-up clutch at an exceptionally low vehicle speed, this control system varies the engine speed without causing any unnatural feeling. As a result, the range of lock-up operation has been extended to lower vehicle speeds (Fig. 8).

Lock-up pressure during coasting is also controlled so as to ensure the minimum necessary torque capacity corresponding to the engine torque. This improves lock-up release response at times when the driver decelerates suddenly, making it possible to expand the range of fuel cut-off to the engine for better fuel economy.

4.2. Improvement of acceleration performance

If one simply aims to obtain powerful acceleration with a CVT, the most effective approach is to run the engine always at the speed where the maximum power is generated. However, that would degrade the feeling of acceleration. One issue for CVTs has been to achieve both powerful acceleration performance and a suitable feeling of acceleration. To overcome this issue with the CVT2, steps were taken to improve shift response. The principal improvements made are described below.

4.2.1. Improvement of pressure control system

The capacity of the pulley pressure chambers was reduced to enable the CVT2 to shift with a smaller quantity of fluid. That made it necessary to set the maximum pressure 30% higher than that of the Hyper-CVT, which was accomplished by redesigning all of the hydraulic circuit components. Other improvements made include the adoption of a control for regulating both the primary and secondary pulley pressures, revision of the shift control valve geometry, adoption of linear solenoids and improvement of pressure control accuracy. These improvements enable the CVT2 to shift stably and quickly.

4.2.2. Improvement of CVT fluid

Improvements made to the CVT fluid served to improve the μ - v characteristics between the pulleys and the belt, enabling the CVT2 to shift more stably (Fig. 9).

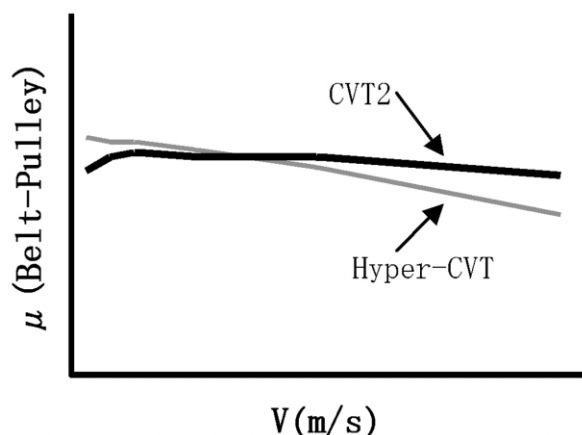


Fig. 9 Improvement of μ - v characteristics with improved CVT fluid

4.3. 小型軽量化

CVT2は後述の改良によりトルク容量，レシオカバレッジ等CVTとしての基本性能を飛躍的に向上させた上で，全長約50mm短縮，重量約4kg軽量化を達成することができた．

4.3.1. トルクコンバーターの超扁平化

流体性能シミュレーション技術を用いてインペラ，タービン，ステータ形状を最適設計することで扁平率を従来の83%に対し61%とした．これにより，トルクコンバーターの軸方向寸法を約20%低減することができた．(Fig.10)

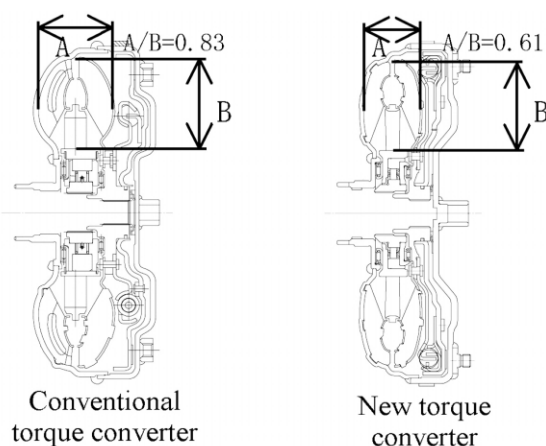


Fig. 10 Cross-sectional views of torque converters

4.3.2. オイルポンプ別軸化

チェーン駆動によってユニット下方に配置することにより全長を短縮させると共にトルクコンステーターSFTをポンプ内に貫通させる必要がなくなることで，ポンプ本体も小型化できた．(Fig.11)

4.3. Smaller and lighter design

The torque capacity, ratio coverage and other basic CVT performance attributes of the CVT2 have been dramatically enhanced through the improvements described here. In addition to that, the overall length of the CVT2 was shortened by approximately 50 mm and its weight was reduced by about 4 kg compared with the Hyper-CVT.

4.3.1. Super-flat torque converter

Hydrodynamic performance simulations were utilized to optimize the geometries of the impeller, turbine and stator, enabling the CVT2 to achieve a flatness ratio of 61% compared with a ratio of 83% for the previous Hyper-CVT. The flatter design made it possible to shorten the axial length of the torque converter by approximately 20% compared with that of the previous unit (Fig. 10).

4.3.2. Separate oil pump drive shaft

Positioning the chain-driven oil pump below the CVT allowed the overall length of the pump to be shortened. The size of the pump was also reduced because the stator shaft of the torque converter no longer has to pass through the pump interior (Fig. 11).

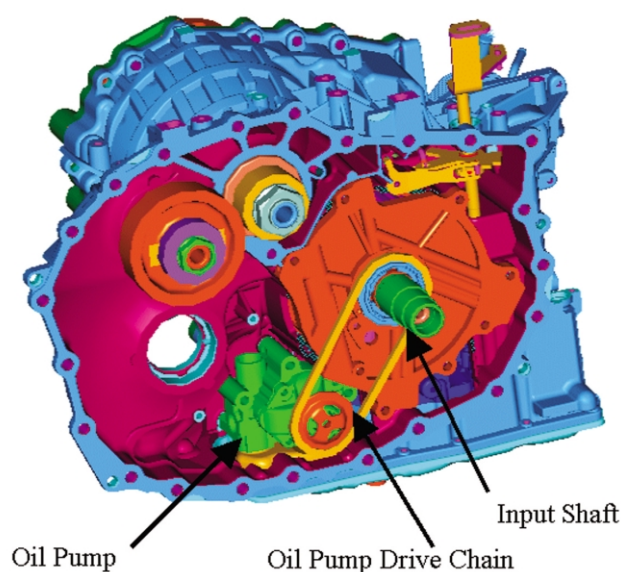


Fig. 11 Oil Pump System

4.3.3. プーリの小型軽量化

プライマリプーリはHyper-CVTのダブルピストンタイプからシングルピストンタイプに変更した。あわせて、製造技術向上によりプライマリ、セカンダリプーリ共に、油圧シリンダとプーリの一体化成形を採用した。またシーブ剛性を向上させてシーブを薄くすることに成功した。

4.3.4. 前後進切替え機構の小型軽量化

Hyper-CVTに対してクラッチサイズ、油圧設定の見直しを行い、クラッチ枚数低減も含めて全長を約9%短縮し、重量も約12%低減した。(Fig. 12)

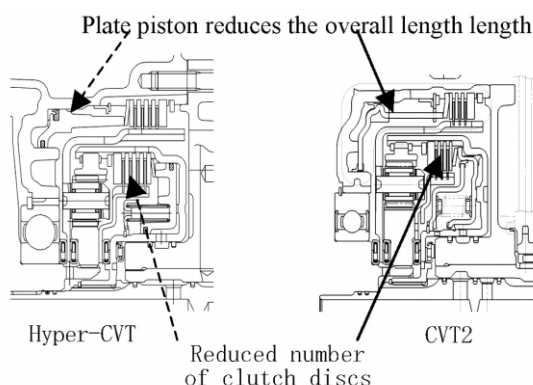


Fig. 12 Forward/reverse actuation mechanism

5. 車両性能に対する効果

5.1. 燃費性能向上

通常お客様が使われる運転を分析し、エンジンの燃料消費効率の高い領域で常に運転できるよう車両ベースで変速制御のチューニングを徹底的に実施した。今回は特にエンジンが新規に開発されたことにより、CVTに適した適合をエンジン側でも実施したことも燃費の更なる向上に寄与している。

この結果、先述のフリクション低減等の改良と合せて、車両の燃費向上に大きな効果を得ることができた。CVT2を搭載したラフェスタでは、Hyper-CVTに対し10.15モード燃費で+11%燃費向上を達成し、車両としてもクラストップの燃費を達成することができた。

5.2. 加速性能向上

変速レスポンスの改善により、車両としての加速性能及びフィーリングを共に向上させることができた。例えば、運転者が加速しようとしてアクセルを踏んでからLow側に変速（エンジン回転が上昇）するまでの無駄時間を短縮することで、フィーリングが向上するとともにこの無駄時間分の加速性能向上にも貢献することができた。また、キックダウン時の初期エンジン回転上昇を抑えることで、加速が始まってからのエンジン回転上昇と

4.3.3. Smaller, lighter pulleys

The primary pulley was changed from the tandem-piston type used for the Hyper-CVT to a single piston type. Moreover, the use of improved manufacturing technologies made it possible to integrate both the primary and secondary pulleys with their hydraulic cylinders. Sheave stiffness was also increased to allow the use of thinner sheaves.

4.3.4. Smaller, lighter forward/reverse actuation mechanism

In comparison with the Hyper-CVT, the clutch size and pressure settings were revised and the number of clutch discs was reduced. As a result, the forward/reverse actuation mechanism is about 9% shorter in overall length and about 12% lighter in weight than the previous CVT (Fig. 12).

5. Effects on Vehicle Performance

5.1. Improvement of fuel economy

Shift control has been thoroughly tuned at the vehicle level by carefully analyzing everyday driving patterns, making it possible to drive at all times in a region where the engine achieves high fuel efficiency. Because the engine paired with the CVT2 was newly developed, measures were specifically taken to ensure that it would be compatible with CVT use, which has also contributed to a further improvement of fuel economy.

As a result, along with the reduction of friction and other improvements mentioned earlier, the CVT2 has a substantial effect on improving vehicle fuel economy. The Nissan Lafesta fitted with the CVT2 improves 10-15 mode fuel economy by 11% over a similar-sized car equipped with the Hyper-CVT. That enables the Lafesta to achieve class-leading fuel economy.

5.2. Improvement of acceleration performance

Improvement of shift response has made it possible to enhance both acceleration performance and the feeling of acceleration at the vehicle level. For example, the time lag from the moment the driver presses the accelerator pedal to accelerate until the transmission shifts to the Low side (i.e., the engine speed begins to rise) has been shortened. Not only does that achieve a better feeling of acceleration, it also contributes to improved acceleration performance to the extent that the time lag is reduced. Moreover, the initial rise in engine speed in a kick-down shift is suppressed to provide a unified feeling that the engine speed and vehicle speed rise together once the vehicle begins to accelerate. The quicker shift response also helped to facilitate shift tuning that enhances the perception of acceleration (Fig. 13).

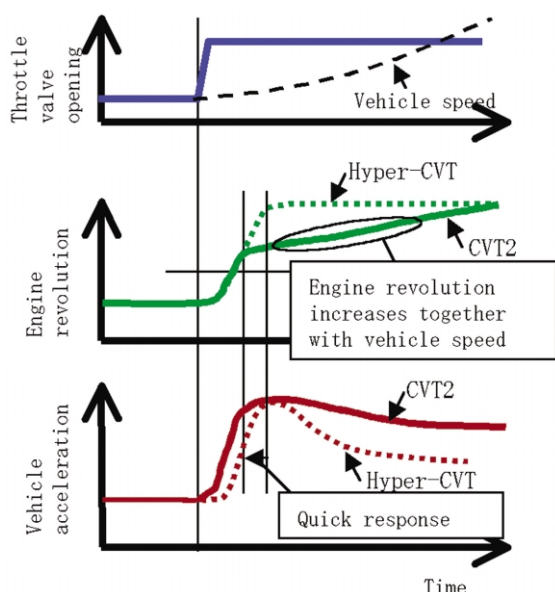


Fig. 13 Improvement of shift control

車速向上の一体感を演出することができる等感应的に变速のチューニングを行うことができたのも、このレスポンス向上が寄与する所である。(Fig. 13)

5.3. 衝突安全対応プラットフォームへの搭載

ラフェスタに採用された新開発プラットフォームは、衝突安全性や音振性能向上を目的として新規エンジンマウントシステムの採用、井桁状サブフレーム追加、サイドメンバー補強等様々な改良が行われておりユニットの小型化が求められていたが、前述の全長短縮を始めとする小型化によりCVT2は新プラットフォームへ対応が可能になり、合せて最小回転半径の縮小にも貢献することができた。(Fig. 14)

6. まとめ

燃費向上、加速性能の向上、小型軽量化を開発のねらいとする2.0-2.5LクラスFFベルトCVTを新規に開発した。

- 1) レシオカバレッジ拡大、フリクション低減、ロックアップ領域の低車速化により、燃費性能向上を実現した。
- 2) 油圧制御系の改良、CVTフルードの改良により变速レスポンスを改善し、加速フィーリングが向上した。
- 3) 各構成部品の小型化やオイルポンプの配置変更等により、重量で約4kgの軽量化と全長で約50mmの短縮を実現し、衝突安全対応プラットフォームへの搭載が可能となった。

最後に本CVT開発及び製品化にあたり、多大なご協力を頂いた社内外の多くの方々に深く感謝する。

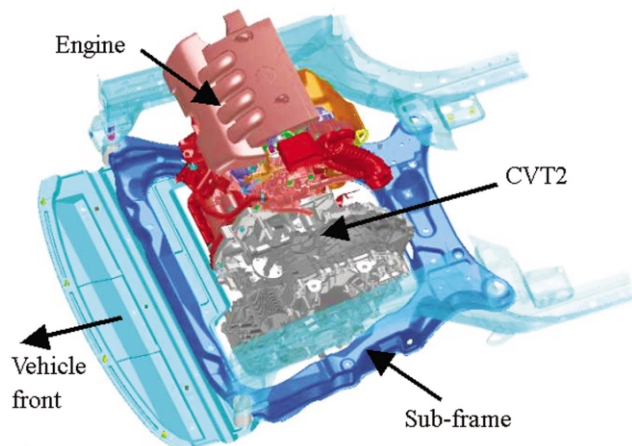


Fig. 14 Layout of new vehicle platform

5.3 Compatibility with platforms designed for improved crashworthiness

The newly developed platform adopted for the Lafesta incorporates various improvements to enhance crashworthiness and noise/vibration performance, which made it necessary to downsize the CVT2. These improvements include the adoption of a new engine mount system, the addition of a cradle-type sub-frame, and the use of side member reinforcements. The CVT2 was reduced in size, including shortening its overall length as was mentioned earlier, to make it compatible with the new platform. The smaller size also contributed to reducing the Lafesta's minimum turning radius (Fig. 14).

6. Conclusion

This article has described a newly developed steel-belt CVT for use on front-wheel-drive cars in the 2.0-2.5-L class. This unit was developed with the aims of improving fuel economy, enhancing acceleration performance and achieving a smaller, lighter design.

- (1) Improved fuel economy has been achieved by expanding the ratio coverage, reducing friction and extending the lock-up operation range to lower vehicle speeds.
- (2) Shift response and the feeling of acceleration have been improved by making improvements to the pressure control system and the CVT fluid.
- (3) As a result of downsizing component parts, relocating the oil pump and making other improvements, the CVT2 is about 4 kg lighter and its overall length is about 50 mm shorter than the previous CVT, making it compatible with a vehicle platform designed for improved crashworthiness.

Finally, the authors would like to thank everyone inside and outside the company who contributed significantly to the development and commercialization of this new CVT.

参考文献

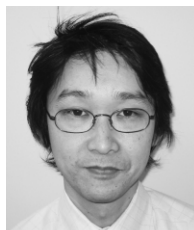
- (1) Shimizu, K., Development of a New Steel-belt CVT with Medium Torque Capacity for Front-wheel-drive Cars, 2005 TVT Symposium, Tsukuba (2005).

References

- (1) Shimizu, K., Development of a New Steel-belt CVT with Medium Torque Capacity for Front-wheel-drive Cars, 2005 TVT Symposium, Tsukuba (2005).

Authors

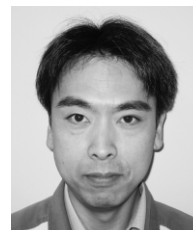
Akito SUZUKI



Kenji SHIMIZU



Minoru KUROSAWA



Tsutomu SAITOU



Hideo ASANO



Minoru SAWAYAMA

FF車用ベルトCVT F1C1の機能改良内容 Functional Improvement of Steel-belt F1C1 CVT for Front-drive Cars

殿畑 厚*
Atsushi TONOHATA

谷村 中*
Ataru TANIMURA

抄 録 従来のF1C1型ベルトCVTを改良したCVTが、2004年10月25日に発表・発売された三菱自動車工業(株)様の新型コルト、コルトプラス(Fig.1)に搭載され発売された。本稿では、従来のF1C1型ベルトCVTをベースとして燃費改善などの機能改良に取り込んできた開発内容を報告する。

Summary Further improvements were made to the previous F1C1 steel-belt CVT, and the improved version was adopted on the new Colt Plus (Fig. 1), the latest generation of the Colt series that Mitsubishi Motors Corporation released on October 25, 2004. This article describes the functional improvements, notably the enhancement of fuel economy, made to the new unit that was developed around the previous F1C1 steel-belt CVT.

1. はじめに

従来のF1C1型ベルトCVT(以下従来型CVT)は00年に三菱自動車工業(株)様初のベルト式CVTとしてランサーセディアに搭載され、車両燃費性能の改善アイテムの一翼を担ってきた。

今回、従来型CVTをベースとして、更なる燃費性能の改善を主目的としながら、機能改良型F1C1(本CVT)を開発した。

1. Introduction

The previous F1C1 steel-belt CVT was adopted on the Mitsubishi Lancer Cedia in 2000. It was the first steel-belt CVT to be used on a Mitsubishi car, and it played a significant role in improving fuel economy.

The current F1C1 CVT has been developed as a functionally improved version of the previous CVT. The principal aim of the development work was to further enhance fuel economy.

2. Structure and Features

A main cross-sectional view of the current F1C1 CVT is shown in Fig. 1. The major specifications of the unit for application to a 2WD vehicle powered by a 1.3-liter engine are given in Table 1. The improvements made over the previous unit are explained in the following discussion.



Fig. 1 COLT PLUS

2. 構造と特徴

本CVTの断面図をFig.2に、1.3Lエンジン用2WDの主要諸元をTable 1に示す。

以下に従来型CVTからの改良点について紹介する。

* 第三商品開発室
Product Development Department No.3

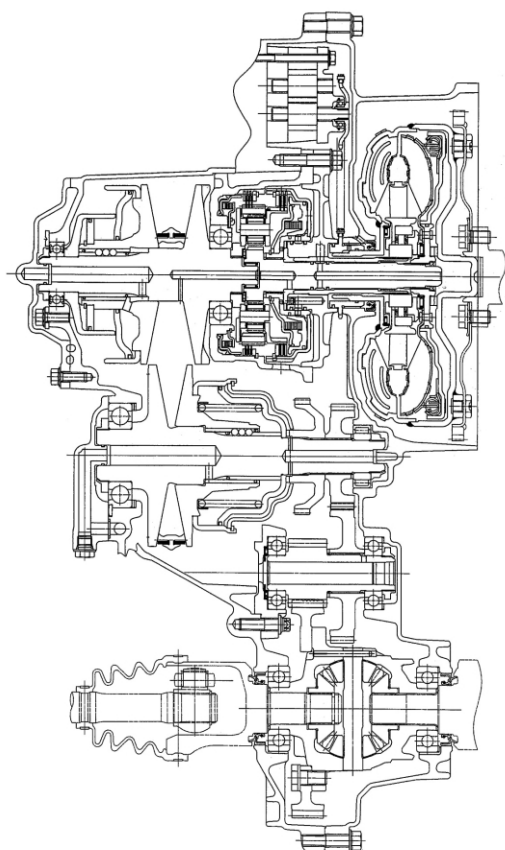


Fig. 2 Main cross-sectional view

Table 1 Specifications

Item		Specification
Engine application		125 Nm/4000 rpm 68 kW/6000 rpm
Torque converter		236 mm dia.
Ratio	FWD	2.319~0.445
	REV	2.588
Ratio coverage		5.211
Final gear ratio		5.219
No. of selector positions		6 (P, R, N, D, Ds, L)
Weight (dry)		75.5 kg
Unit length		394 mm

2.1. Improvement of fuel economy

(1) Reduction of friction

As a result of the improvements explained in (1) through (3) below, the friction level of the current F1C1 CVT has been reduced by 0.6 Nm from the previous unit at a typical driving point (Fig. 3).

(1) Adoption of ball bearings for the third shaft

The previous tapered roller bearings were changed to ball bearings and a thrust needle bearing was also added, with the result that bearing friction was reduced by 49% (Figs. 4 and 5). Tapered roller bearings were not used for the other shafts from the beginning.

(2) Shape of brake plate oil grooves

The shape of the oil grooves in the brake plate friction material, which turns freely during forward travel, was changed to improve fluid drainage, resulting in a maximum drag torque reduction of 22% (Figs. 6 and 7).

(3) First shaft oil seal

Friction was reduced by improving the rubber material and the lip shape and by reducing the weight (Fig. 8).

(2) Expansion of lock-up operation range

As shown in Fig. 9, the lockup operation range at low loads has been extended from 15 km/hr to a lower speed of 8 km/h for an improvement in fuel economy.

2.1. 燃費向上

(1) フリクション低減

～ の改良により従来型CVT に対し代表運転ポイントでフリクションを0.6Nm低減した。(Fig.3)

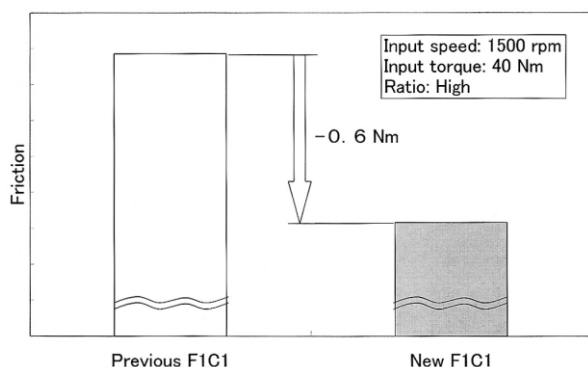


Fig. 3 Reduction of CVT friction

第3軸用軸受けのボールベアリング化

テーパローラBRGをボールBRG + スラストニードルBRG化し, 軸受けのフリクションを49%低減した(Fig. 4,5). なお, 他の軸にはテーパローラBRGを使用していない.

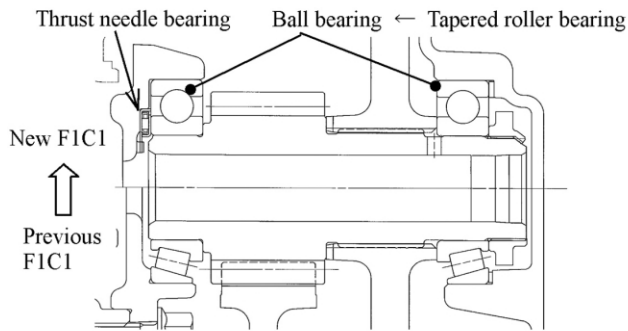


Fig. 4 Structure of third shaft bearings

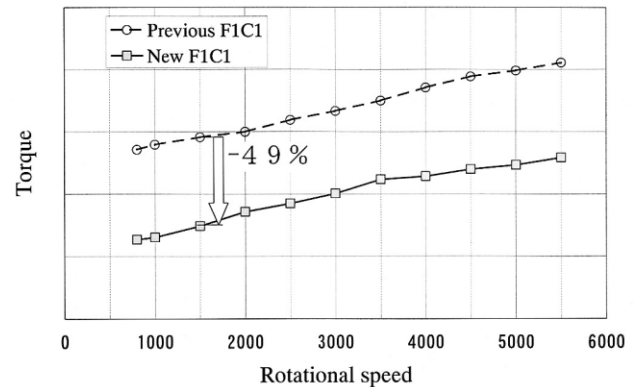


Fig. 5 Effect on reducing friction

ブレーキプレート油溝形状
前進走行中空転するブレーキプレート摩擦材の溝形状を変更して、油の排出性を向上し、引きずりトルクを最大22%低減した。(Fig. 6,7)

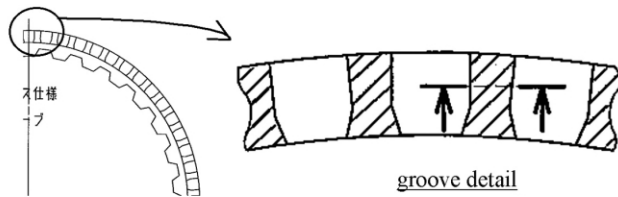


Fig. 6 Oil groove geometry

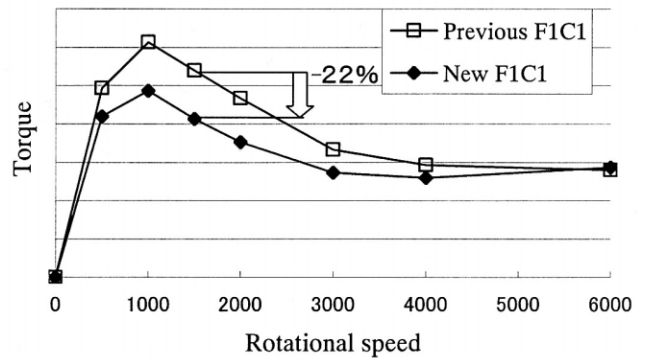


Fig. 7 Effect on reducing friction

第1軸オイルシール

ゴム材料およびリップ形状の改良，荷重の軽減により，フリクションを低減した。(Fig. 8)

(2) ロックアップ領域の拡大

Fig. 9に示すように，低負荷域でのロックアップ領域を低速まで拡大し(15~8km/h)，燃費を改善した。

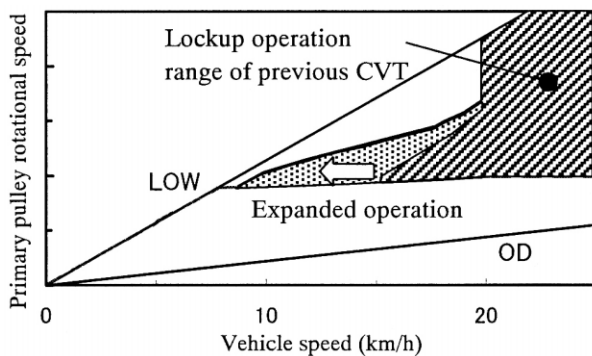


Fig. 9 Expansion of lockup operation range

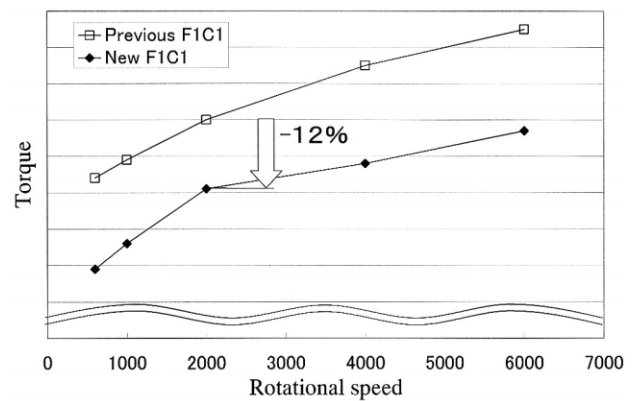


Fig. 8 Effect on reducing friction

2.2. その他の機能向上内容

(1) ギヤ噛合い音の低減

RDCNギヤに熱処理後歯面仕上げを追加することにより起振力のばらつきを低減し、ギヤ噛合い音を低減した。

(2) セレクト制御の改良

N Dセレクトなどでは、新設したN D負荷信号をCVT側からエンジン側に送信し、CVTとエンジンとの間の制御タイミングを同期させて制御の安定性を向上した

4. まとめ

本CVTの開発を通して、燃費改善・機能向上に寄与する仕様が完成させることができ、車両の商品力向上に貢献できた。

最後に三菱自動車工業(株)様をはじめとする社内外関係各位に御礼申し上げます。

2.2. Other functional improvements

(1) Reduction of gear meshing noise

A gear face finishing process was added for the final reduction gear after the heat treatment, thereby reducing the variation in excitation forces for a reduction in gear meshing noise.

(2) Improvement of shift control

A Neutral→Drive load signal was newly added that is sent from the CVT to the engine when executing N→D shifts. This signal is used to synchronize the control timing between the CVT and the engine for improved control stability.

4. Conclusion

In the process of developing the current F1C1 CVT, specifications were incorporated for improving fuel economy and functional performance. The newly completed specifications contribute to improving the appeal of the vehicle.

Finally, the authors would like to thank the people involved at Mitsubishi Motors Corp. and within Jatco for their cooperation in the development of the current F1C1 CVT.

Authors



Atsushi TONOHATA



Ataru TANIMURA

FF車用4速AT RE4F03B改良型の紹介

Introduction of the improved 4 speed AT RE4F03B for FF vehicles

岩谷 芳美*
Yoshimi IWAYA

正尾 幸士*
Koji MASAO

抄 録 RE4F03B改良型FF4速自動変速機(以下、本ATとする)は、従来のRE4F03B型FF4速自動変速機(以下、従来型ATとする)をベースに日産自動車(株)様のティエダに搭載するべく開発され、2004年9月に発表・発売された。本報では、このAT開発の成果などを紹介する。

Summary The improved RE4F03B FF 4 speed Automatic Transmission, (hereafter This AT) has been developed based on the former RE4F03B FF 4 speed Automatic Transmission (hereafter Former AT) for the Nissan TIIDA from Nissan Motor Co., Ltd., and has been presented and launched in September 2004. The following article will introduce the developmental achievement of This AT.

1.はじめに

従来型FF用4速ATは、1998年8月 日産自動車(株)様のプリメーラに初めて搭載された。

今回新開発の本ATは、これをベースに、日産自動車(株)様のティエダ(Fig. 1, 2)に搭載するべく、短期開発にもかかわらず、客先のニーズに応えるため、電子制御、変速機構の改良を行い、変速性能の向上を実現した。



Fig. 1 Nissan TIIDA



Fig. 2 Nissan TIIDA LATIO

1. Introduction

The FF 4speed Former AT was adopted on the Nissan Primera August 1998 for the first time. This AT which has been newly developed at this time, was based on the Former AT and will be adopted on the Nissan TIIDA (Fig. 1, 2). Regardless of it being a short-term development, in order to respond to customer needs, improvements of both electronic controls and shift change mechanisms has been made, which resulted in superior shift performance.

2. Structure and features

The main cross-sectional view of This AT are shown in Fig. 3, and the main specifications are shown in Table 1.

Based on the Former AT, new modifications on the following component parts have been made to improve shift performance.

- (1) Addition of powertrain sensor
- (2) Addition of centrifugal cancel mechanism to the high clutch
- (3) Improvement of oil groove machining of the reverse clutch drum
- (4) Improvement of the dish load-stroke of reverse clutch and low & reverse brake
- (5) Improvement of hydraulically controlled system parts, such as control valve, band servo, and accumulators
- (6) Improvement of electronic control by AT control unit

* 第一商品開発室
Product Development Department No.1

2. 構造と特徴

本ATの主断面図をFig. 3に、主要諸元をTable 1に示す。従来型ATをベースに、以下の要素部品について、新たな改良を加えて、変速性能の向上を行った。

- (1) パワートレーンセンサの追加
- (2) ハイクラッチへ遠心キャンセル機構の追加
- (3) リバースクラッチドラムの油溝加工を改良
- (4) リバースクラッチ、ロー&リバースブレーキのディッシュ荷重ストロークを改良
- (5) コントロールバルブ、バンドサーボ、アキュムレータなどの油圧制御系部品の改良
- (6) ATコントロールユニットの電子制御改良

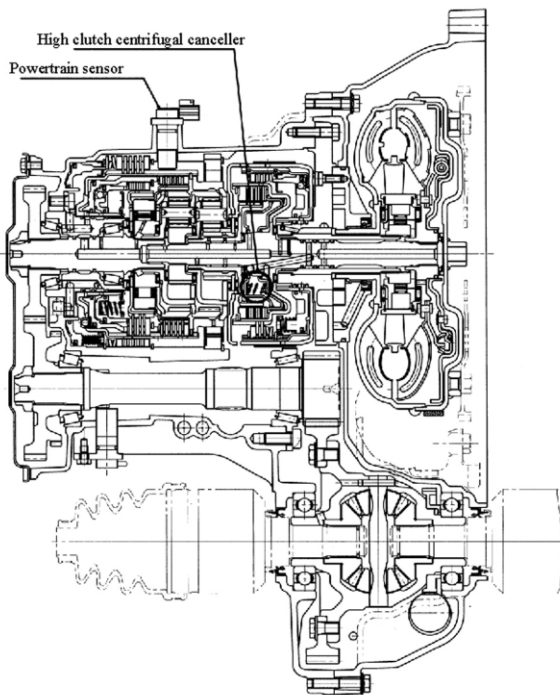


Fig. 3 Main cross-sectional view

3. 変速性能向上

本ATの開発にあたっての日産自動車(株)様からの要求は、競合トップ集団レベルと同等以上の性能を有する変速性能を狙うことであった。さらに経時、個体バラツキ、環境変化に対する変速性能のロバスト性の要求にも応えることを主眼に、提示された目標評点及び競合他車とのベンチマーキングを基に目標値を設定して、下記の適合を行った。

Table 1 Specifications

Max. input torque		160 Nm
Max. input speed		7,000 rpm
Max. vehicle weight		1,700 kg
Control system		Electronic
Torque converter		236 mm dia.
Gear ratio	1 st	2.861
	2 nd	1.562
	3 rd	1.000
	4 th	0.697
	Rev	2.310
Final drive gear ratio		3.605 ~ 4.342
No. of selector positions		6(P, R, N, D, 2, 1)
Overall length		387.5 mm
Center distance between engine and differential		186 mm
Dry weight		61 kg

3. Improvement of shift performance

The requirements from Nissan Motor Co., Ltd in developing This AT was to have an above equal shift performance level to that of their top competitors group. Furthermore the following adaptations have been made, aiming to fulfill the requirements of robustness in shift performance against time degradation, dispersion among the products, and various environmental conditions, as well as setting the target value based on the benchmark of competitors and the provided target point of evaluation.

- (1) パワートレーンセンサの採用によるエンジントルクダウンの量とタイミングの高精度制御，及びエンジントルク信号を用いた変速油圧制御の採用，アップシフトの変速油圧学習制御の高機能化，によりロバスト性を向上し，常時最適な変速性能を達成した．Fig. 4参照(代表変速；21downshift)
- (2) ハイクラッチへ遠心キャンセル機構を追加し，キャンセル油圧室に対抗する遠心油圧を発生させることで，ドリフトオンボールによる遠心油圧の排出，次回クラッチ締結時にピストン油圧室を充満する必要がなくなり，応答性の高いスムーズで安定した変速を可能とした．
- (3) リバースクラッチドラムの油溝加工を改良し，バンドブレーキ締結時の油切れを良くすることで，低温時の滑らかなアップシフトを達成した．Fig. 5参照
- (4) リバースクラッチ，ロー&リバースブレーキのディッシュ荷重ストロークの改良，コントロールバルブ，N-Dアキュムレータなどの油圧制御系部品の改良により，セレクトショックの改善を行った．

- (1) By adopting the power train sensor, it has made the amount and timing of the engine torque-down control highly accurate, and by adopting the hydraulic shift control using engine torque signal, and enhanced learning control of the hydraulic pressure at the upshift, constant optimum ideal shift performance have been accomplished as well as improvement of robustness. Refer to Fig. 4
- (2) By adding the centrifugal cancel mechanism to the high clutch in order to produce centrifugal oil pressure corresponding to the oil pressure cancel chamber, the need to drain the centrifugal hydraulic pressure through the check ball, and to refill the piston pressure chamber at the next clutch application are eliminated, which has enabled high response, smooth and stable shift.
- (3) The smooth shift up at a low temperature has been achieved by reforming the machining oil groove of the reverse clutch drum and improving oil purge when applying band brake. Refer to Fig. 5
- (4) Shift shock was reduced by modifying the dish load-stroke of reverse clutch and low & reverse brake, and by reforming the hydraulic pressure control system parts such as control valve and N-D accumulator.

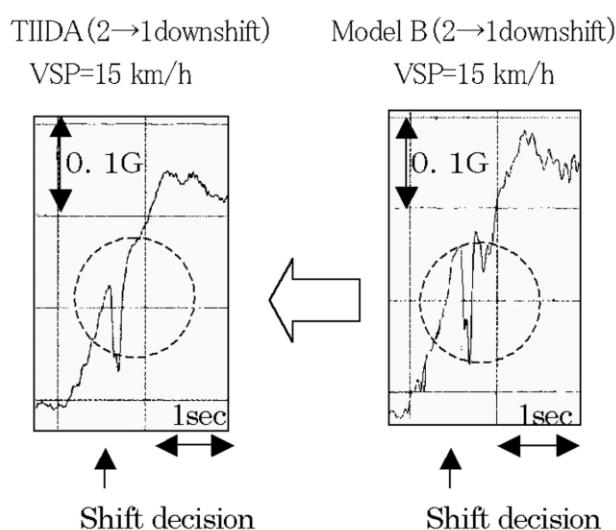


Fig. 4 D range downshift waveforms

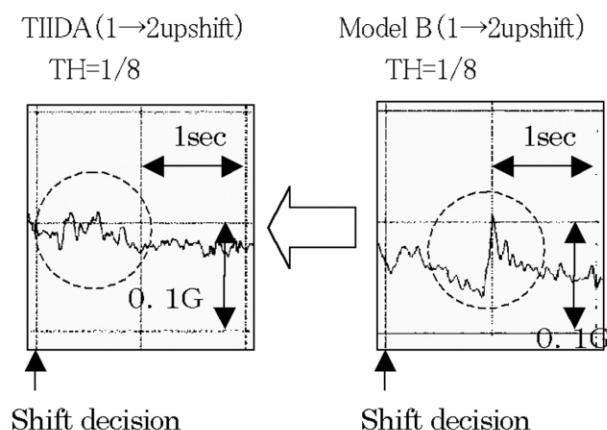


Fig. 5 D range upshift waveforms (low temperature)

4. その他の改善項目

RE4F03B系制御として採用されている付加制御について、機能向上させて採用した。その項目を次に示す。

- (1) ロックアップ車速の低速化
- (2) コーストロックアップ領域の拡大
- (3) エンジントルク信号を使用することによるライン圧の最適化
- (4) シフトマップの最適化

5. あとがき

RE4F03B型ATは、油圧制御式のF03A型が1989年に日産自動車(株)様のサニー、パルサーに初めて搭載されて以来、電子制御化など数々の改良が加えられ、実に15年をこえるロングセラーATになっている。今回開発したRE4F03B改良型は、そのような歴史のあるATのまさに集大成ともいえる変速性能を達成できた。是非試乗してクイックさと滑らかさとが両立したシフトクオリティを実感していただきたい。最後に本ATの開発に多大な協力を頂いた、日産自動車(株)様、社内外関係部署の方々に厚くお礼申し上げます。

4. Other items of improvements

Concerning the additional control adopted on RE4F03B series' control system, functional improvements have been carried out and adopted.

Those items are shown below.

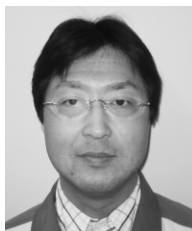
- (1) Lock-up operation at lower vehicle speed
- (2) Expansion of the coast lock-up zone
- (3) Optimization of line pressure by using engine torque signal
- (4) Optimization of a shift map

5. Postscript

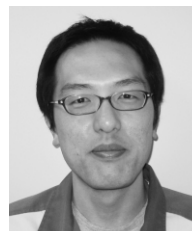
RE4F03B type AT, the successor of hydraulically controlled type F03A which was first introduced in 1989 to the Sunny and Pulsar of Nissan Motor Co., Ltd., have undergone much improvements as electrolyzing its controls, and has become a long seller AT exceeding over 15 years.

The RE4F03B Improved Type which has been developed at this time, has succeeded in becoming an AT that attains shift performance which summarizes the history of AT. Please experience the shift quality which realized both quickness and smoothness, by test driving the vehicle. Finally, I would like to show my deepest gratitude to Nissan Motor Co., Ltd., and the various departments involved (both internal and external), for their tremendous cooperation in developing This AT.

Authors



Yoshimi IWAYA



Koji MASAO

150/180Nm FF車用スチールベルト式CVTの開発

Development of New 150/180-Nm Steel-belt CVTs for Front-drive Cars

杉本 裕章*

Hiroaki SUGIMOTO

抄 録 日産自動車(株)様から発売されているキューブに搭載されたFF車用CVT(以下「前CVT」とする)をベースに新開発したCVTが、日産自動車(株)様から発売されたティーダ(1.5L, 1.8L)に搭載されたので紹介する。

Summary This article describes the new CVTs used on the Nissan Tiida, powered by 1.5-L and 1.8-L engines. These new CVTs, with a torque capacity of 150 Nm and 180 Nm, respectively, were developed around the CVT used on the front-wheel-drive Nissan Cube.

1. はじめに

前CVTが立ち上がった2002年8月から、150N・m対応のCVTは1年11ヶ月、180N・m対応のCVTは2年3ヶ月の短期間で開発した(新開発した150Nm対応CVTと180Nm対応CVTの両方を「両CVT」という)。

両CVTはティーダ(Fig.1)から、順次拡大採用される予定である。

2. 開発のねらい

前CVTに対して、燃費規制対応のための燃費改善技術の織り込み、及び日産1.8Lエンジン対応のためのトルク容量アップを柱として開発した。

150N・m対応のCVT + ティーダ搭載のエンジンの外観図をFig.2に示す。



Fig. 1 Nissan TIIDA

1. Introduction

The new CVTs were both developed in a short period of time following the launch of the previous CVT in August 2002. The 150-Nm CVT was developed in 23 months and the 180-Nm CVT in 27 months. Applications of both CVTs will be steadily expanded from their initial use on the Tiida (Fig. 1).

2. Development Objectives

One principal development objective was to incorporate measures for improving fuel economy over the level obtained with the previous CVT in order to meet more stringent fuel economy regulations. Another major focus was to increase the torque capacity to accommodate a 1.8-L Nissan engine.

The appearance of the 150-Nm CVT and the engine used on the Tiida is shown in Fig. 2.



Fig. 2 150-Nm CVT and HR15DE engine used on the TIIDA

* 第一商品開発室
Product Development Department No.1

3. 構造と仕様

3.1. 構造

150N・m対応CVTの断面図をFig.3に示す。両CVTのパワートレインは極力共用化を図り、原価低減を図った。レイアウト要件を除き、両CVTの違いはプライマリプーリ マイクロショットピーニング追加 Diffサイズ ロックアップダンパー特性の3点である。

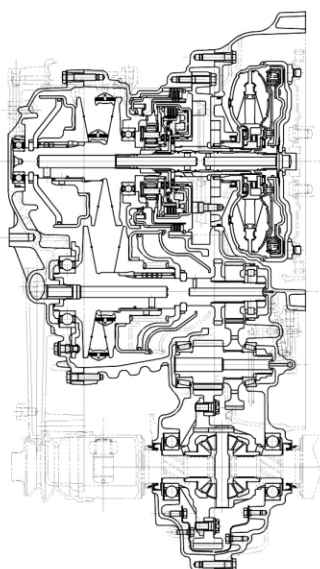


Fig. 3 Cross-sectional view of 150-Nm CVT

3.2. 主要諸元

両CVTの主要諸元をTable 1に示す。

4. 新規開発項目1【燃費/フリクション改善】

4.1. ロックアップ制御

燃費改善目的のため、ロックアップ低車速化(完全締結車速18km/h)した。ロックアップ低車速化に伴うエンジン回転段差の不快感を改善するために、スリップロックアップ制御を採用したことにより

3. Structure and Specifications

3.1. Structure

A cross-sectional view of the 150-Nm CVT is shown in Fig. 3. Both CVTs share the same powertrain components as much as possible in order to reduce costs. Excluding their layout requirements, there are three main differences between the two CVTs: (1) the addition of micro shot peening to the primary pulley, (2) the size of the differential and (3) the lock-up damper stiffness.

3.2. Main specifications

The main specifications of both CVTs are given in Table 1.

4. First Development Objective: Improvement of Fuel Economy/Reduction of Friction

4.1. Lock-up control

The vehicle speed at which the lock-up clutch is fully engaged was further reduced to 18 km/h for the purpose of improving fuel economy. In conjunction with the lower vehicle speed for the onset of lock-up operation, a slip lock-up control system was adopted to mitigate any unpleasant sensation resulting from a step-like difference in engine speed. This system improves both fuel economy and driveability. In order to expand the range of lock-up operation, the stiffness of the torque converter damper was reduced, compared with that of the previous CVT.

Table 1 Technical specification

		150-Nm CVT	180-Nm CVT
Vehicle	Model	TIIDA 1.5L	TIIDA 1.8L
	Drive system	2WD	←
	Weight (Dry) kg	H/B: 1147	H/B: 1173
		SED: 1117	SED: 1144
	Engine type	HR15DE	MR18DE
	Max. power kw/rpm	80/6000	93/5600
	Max. torque Nm/rpm	148/4400	176/4800
CVT	Pulley ratio	2.561~0.427	←
	Final gear ratio	5.473	←
	Overall length mm	354.7	352.9
	Distance between pulley shafts mm	156	←
	Weight (Wet) kg	73.6	74.2

「燃費性能」と「運転性能」を両立させた。ロックアップ領域拡大のために、トルコンダンパー特性を前CVTに対して低剛性化している。

4.2. オイルポンプ部シールリング

断面形状をT字仕様へ変更することにより、背面側へも油が廻り込むことで押し付け力を打ち消し、フリクションを低減した。オイルリーク量については、合い口形状を工夫することで目標性能を確保した。

Fig.4にイメージ図を示す。

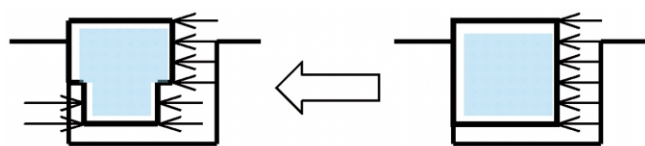


Fig. 4 Geometry of oil pump seal ring

4.3. プーリ

プライマリプーリピストンの受圧面積をセカンダリプーリピストンの受圧面積に対して1.2倍に(前CVTは1倍)することで、プライマリ油圧を低下させることができ、フリクションを低減した。

4.4. デフサイドベアリング

テーパベアリングからボールベアリングへ変更し、フリクション低減と原価低減を図った。

4.5. デフ部セパレータ

ファイナルギアにより掻き上げられたオイルが再びデフ室に流れ込むのを防ぐために、ファイナルギア廻りにセパレータを設定した。それにより従来ユニットよりファイナルギア部のオイルレベルが下がりファイナルギアの攪拌抵抗を減らすことができ、フリクションを低減した。

Fig.5にイメージ図を示す。

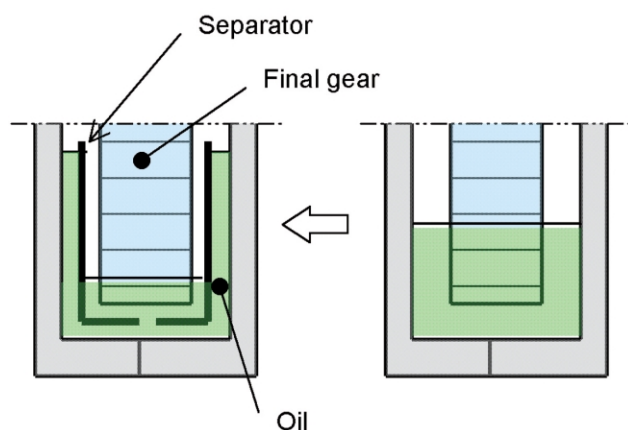


Fig. 5 Separator added to differential

4.2. Seal ring of oil pump

The cross-sectional geometry of the seal ring was changed to a T-shape to allow the fluid to flow around to the backside as well, thereby countering the thrust force and reducing friction. A well-matching shape was designed to achieve the performance target set for oil leakage. The seal ring geometry is illustrated conceptually in Fig. 4.

4.3. Primary pulley

The pressure-bearing area of the primary pulley piston was made 1.2 times greater than that of the secondary pulley piston, compared with an equal pressure-bearing area in the previous CVT. This reduces the primary pulley pressure, resulting in lower friction.

4.4. Bearing on differential side

The previous taper bearing was changed to a ball bearing, thereby reducing both friction and the cost.

4.5. Differential separator

A separator was provided around the final gear to prevent oil scraped up by the gear from flowing back into the differential chamber. As a result, the oil level in the final gear is now lower than in the previous unit. That makes it possible to reduce the oil agitation resistance caused by the final gear, thereby reducing friction. A schematic illustration of the separator is shown in Fig. 5.

4.6. Reduction of pressure

Based on an analysis of experimental data, excessive pressure levels were reduced wherever possible, resulting in a reduction of friction.

4.6.1. Optimization of secondary pulley pressure

The minimum secondary pulley pressure was reduced to 0.35 MPa, 0.05 MPa lower than the 0.40 MPa level of the previous CVT, to achieve a reduction in belt friction.

4.6. 油圧低減

実験データを解析し、余剰な油圧を極力低減させることで、フリクションを低減した。

4.6.1. セカンダリプリー油圧の最適化

セカンダリの最低油圧を前CVTの0.4MPaより0.05MPa下げ0.35MPaとし、ベルトフリクションを低減した。

4.6.2. プライマリ回転補正ライン圧低減制御

タービントルクが80N・m以下の時に作動し、プリー比、プライマリ回転数に応じて、余剰なライン圧をさげてフリクションを低減した。

4.7. エコノミーモード対応変速制御

高燃費を達成するために、燃費に最適なエコノミーモード変速線を設定した。反面、運転性が損なわれないように工夫している。

走行条件に応じてエンジンコンピュータよりCAN(Controller Area Network)を通じて送信される意図検知信号に応じエコノミー変速線とノーマル変速線の補間計算を行うことで、「燃費性能」と「動力性能」を両立させた。

5. 新規開発項目2【トルク容量アップ】

5.1. トルクコンバータ

180N・m対応として、カバー、ロックアップピストン等の部品を強化した。またロックアップ容量確保のため、ロックアップピストンの受圧面積を拡大することで、前CVT、150N・m対応CVTと同等のロックアップ差圧で180N・mまで成立できた。それにより、前CVTと新開発の両CVTとでコントロールバルブを共用化でき原価低減することができた。

先にも述べたがロックアップ領域拡大のため、若干のレイアウトを見直すことでダンパー特性の低剛性化を図った。

Fig.6に断面を示す。

ハッチング部が前CVTに対して変更した部品である。

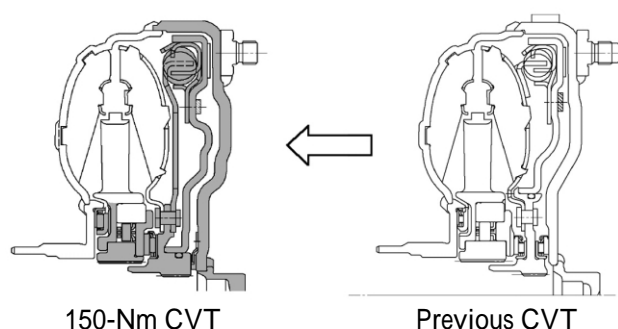


Fig. 6 Cross-sectional views of torque converters

4.6.2. Line pressure reduction control matching primary pulley's rotational speed

This control is activated when the turbine torque is 80 Nm or lower. It reduces excessive line pressure to match the pulley ratio and primary pulley's rotational speed, thereby decreasing friction.

4.7. Shift control corresponding to economy mode

An economy mode shift line is provided for optimal fuel economy, making it possible to attain higher fuel efficiency. The shift line has been designed so as not to sacrifice driveability.

Signals indicating the driver's intention are sent through the Controller Area Network (CAN) from the engine computer according to the operating conditions. Interpolation calculations for selecting the economy mode shift line or the normal mode shift line are performed on the basis of those signals, thereby achieving good fuel economy combined with the desired power performance.

5. Second Development Objective: Increased Torque Capacity

5.1. Torque converter

The cover, lock-up piston and other parts were strengthened to accommodate 180 Nm of engine torque. Additionally, to secure sufficient lock-up capacity, the pressure-bearing area of the lock-up piston was expanded. That made it possible to accommodate 180 Nm of torque with the same lock-up differential pressure as the previous CVT and the 150-Nm CVT. As a result, the same control valves can be shared by the previous CVT and both newly developed CVTs, resulting in a cost reduction.

As mentioned earlier, the stiffness of the torque converter damper was reduced in connection with a slight layout change made to expand the lock-up operation range.

Cross-sectional views of the 150-Nm CVT and the previous CVT are shown in Fig. 6. The hatched areas have been changed in relation to the previous CVT.

5.2. Primary pulley

A micro shot peening (wide peening cleaning, WPC) treatment was added to the primary pulley of the 180-Nm CVT to improve wear resistance. That was done to accommodate the increased torque capacity, in addition to increasing the pressure-bearing area of the piston for the purpose of reducing friction.

5.2. プーリ

180N・m対応CVTはフリクション低減目的の受圧面積アップに加えて、トルク容量アップ対応としてマイクロショットピーニング(WPC)を追加し、耐摩耗性を向上させた。

5.3. 4点ギア

トルク容量アップに伴う、4点ギアの最弱部位であるリダクションギアのピッチング対策として、リダクションギア、ファイナルギアの歯幅4.5mmアップ・ファイナルギアのweb厚2mmアップ・歯面修正を行うことで、保証距離のピッチング性を満足できた。また、両CVTでギアを共用化することで、ケースも共用でき原価低減を図れた。

5.4. デフ

トルク容量アップに伴い、180N・m対応CVTはR180へサイズアップした。150N・m対応CVTは前CVTと同サイズのR160である。

6. まとめ

新開発CVTを搭載したティーダは以下の燃費性能の効果が得られた。

同HR15DEエンジンを搭載したAT車と比較して10-15モードで8.3%向上した。(18.2 16.8km/L)

参考として、前CVT搭載車での同車両、同エンジン(CR14DE)でのAT車と比較した結果は4.9%向上であった。(17.2 16.4km/L)

最後に両CVTの短期開発に協力して頂いた、日産自動車(株)様、社内関連部署の方々に感謝する。

5.3. 4-point gears

In connection with the increase in torque capacity, measures were taken to address pitting of the reduction gear, which is the weakest aspect of four-point gears. The tooth width of the reduction gear and the final gear was increased by 4.5 mm, the web thickness of the final gear was increased by 2 mm, and the tooth surface was modified, making it possible to satisfy the guaranteed mileage for gear pitting life. In addition, the sharing of gears by both CVTs also allows the use of the same case, resulting in a cost saving.

5.4. Differential

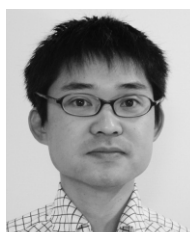
The differential used with the 180-Nm CVT was increased in size to a radius of 180 mm in connection with the increase in torque capacity. The differential used with the 150-Nm was kept at a radius of 160 mm, the same size as that of the previous CVT.

6. Conclusion

The use of the new CVTs on the Tiida has resulted in the following fuel economy benefits. Fuel economy in Japan's 10-15 test mode has been improved by 8.3% (from 16.8 to 18.2 km/l) compared with an AT-equipped model fitted with the same HR15DE engine. By way of reference, a model fitted with the previous CVT improved fuel economy by 4.9% (from 16.4 to 17.2 km/l) compared with the same vehicle fitted with an AT and the same CR14DE engine.

Finally, the author would like to thank everyone at Nissan Motor Co., Ltd. and in the related departments at JATCO for their cooperation in facilitating the development of the new CVTs in a short period of time.

Author



Hiroaki SUGIMOTO

FF車用4速AT JF405E-Hの紹介

Introducing the JF405E-H 4-speed AT for Front-drive Cars

98年10月にスズキ(株)様のワゴンR RRに初めて搭載されたJF405E-H型自動変速機は、世界トップレベルの小型・軽量で、小型乗用車にジャストフィットしたFF4速自動変速機です。

高効率トルクコンバータ、スリップロックアップの採用と、メカロスの低減により軽自動車トップレベルの燃費性能に貢献しています。06年1月に発売になった新型MRワゴンにも搭載されています。

The JF405E-H AT was first adopted on the Suzuki Wagon R RR in October 1998.

As one of the world's smallest and lightest units, this front-drive 4 speed AT is just the right size for small cars. The use of the high-efficiency torque converter, slip lock up, and reduction in mechanical loss contributes to it's position as the top of the line fuel efficient AT for minicars.

This AT is also adopted on the new MR Wagon model which went on the market in January 2006.

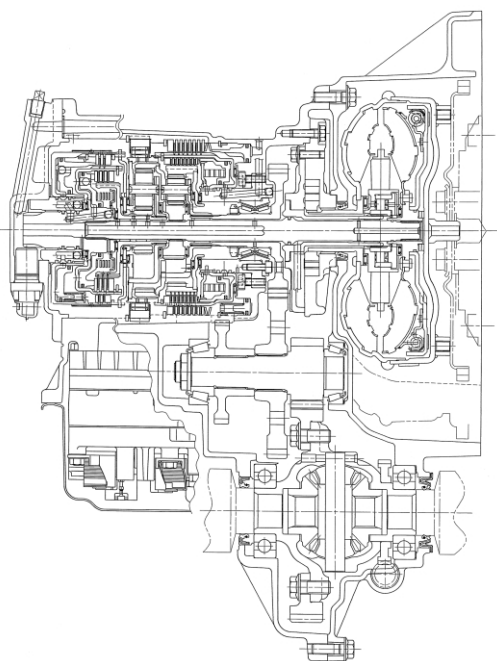


Fig. 1 Main cross-sectional view

Table 1 Specifications of JF405E-H

Max. input torque		110 Nm
Max. input speed		7,800 rpm
Max. vehicle weight (GVW)		1,235 kg
Control system		Electronic
Torque converter		186 mm dia.
Gear ratios	1st	2.914
	2nd	1.525
	3rd	1.000
	4th	0.725
	Rev.	2.642
Final drive gear ratio		4.017~5.804
No. of selector positions		6 (P,R,N,D,2,L)
Overall length		359.9 mm
Center distance between engine and differential		172 mm
Dry weight		45.7 kg

Typical model fitted with the JF405E-H AT



WAGON R RR



MR WAGON

FF車用4速AT JF405E-Gの紹介

Introducing the JF405E-G 4-speed AT for Front-drive Cars

02年7月にGM大宇オート&テクノロジー社様のMatizに搭載されたFF4速自動変速機JF405E-Gは、スリップロックアップ採用による燃費性能の向上と、電子制御の高度化による変速性能の向上をしたATとして新型Matizに搭載され、韓国市場と欧州、その他の地域に輸出されています。

The front-drive JF405E-G 4-speed AT was adopted on the Matiz, produced by GM Daewoo & Technology Company, in July 2002.

This AT has been adopted on the new Matiz model after improving both fuel efficiency with the use of slip lock up and shift performance with the upgrade in electronic control, and is exported to the South Korean Market, Europe and other areas.

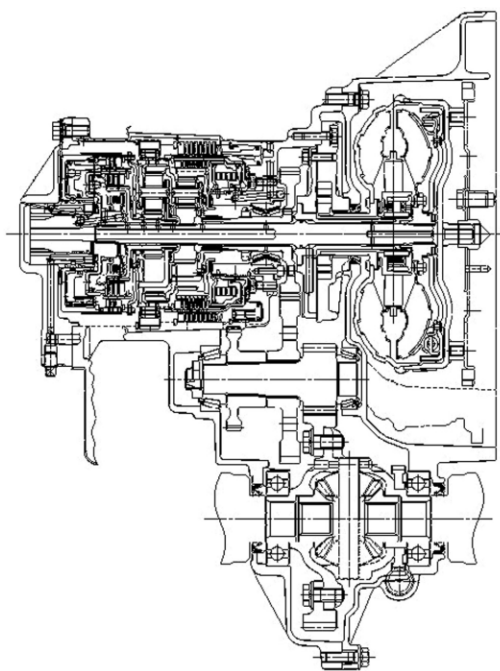


Fig. 1 Main cross-sectional view

Table 1 Specifications of JF405E-G

Max. input torque		71.5 Nm
Max. input speed		6,500 rpm
Max. vehicle weight (GVW)		1,217 kg
Control system		Electronic
Torque converter		186 mm dia.
Gear ratios	1st	2.914
	2nd	1.525
	3rd	1.000
	4th	0.725
	Rev.	2.642
Final drive gear ratio		4.709
No. of selector positions		6 (P,R,N,D,2,L)
Overall length		359.9 mm
Center distance between engine and differential		172 mm
Dry weight		45.7 kg

Typical models fitted with the JF405E-G AT



Matiz

FF車用4速AT JF405E-Qの紹介

Introducing the JF405E-Q 4-speed AT for Front-drive Cars

99年10月に韓国軽自動車初のFF4速自動変速機として起亜自動車様のMorningに搭載されたJF405E-Qは、スリップロックアップ採用による燃費性能の向上と、電子制御の高度化により変速性能の向上をし、韓国市場だけでなく、欧州、その他の地域にも輸出されています。

In October 1999, the JF405E-Q was adopted on the Kia Morning as the first front-drive 4 speed AT to be used on Korean minicars. Fuel efficiency was improved due to the adoption of slip lock up and shift performance was improved due to the enhancement in the electronic control system. This AT is not only sold in the South Korean market, but its also exported to Europe and other areas.

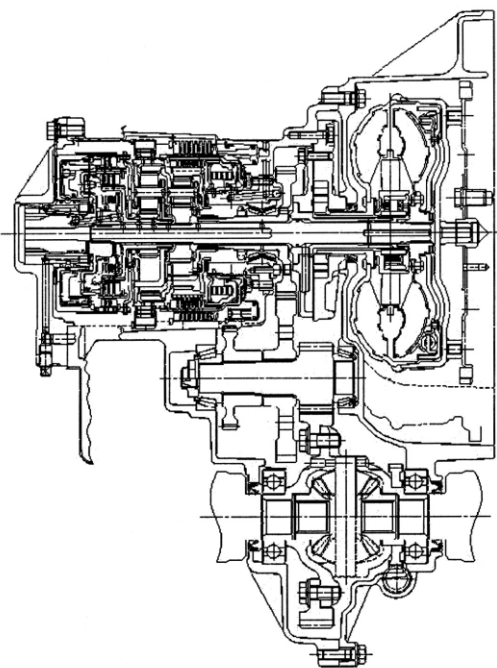


Fig. 1 Main cross-sectional view

Table 1 Specifications of JF405E-Q

Max. input torque		96 Nm
Max. input speed		6,000 rpm
Max. vehicle weight (GVW)		1,350 kg
Control system		Electronic
Torque converter		186 mm dia.
Gear ratios	1st	2.914
	2nd	1.525
	3rd	1.000
	4th	0.725
	Rev.	2.642
Final drive gear ratio		3.977
No. of selector positions		6 (P, R, N, D, 2, L)
Overall length		359.9 mm (Excluding mounting bracket)
Center distance between engine and differential		172 mm
Dry weight		45.7kg

Typical model fitted with the JF405E-Q AT



MORNING

FR車用4速AT JR405Eの紹介

Introducing the JR405E 4-speed AT for Rear-drive Cars

JR405E型自動変速機は、クラッチ圧の直接電子制御を特徴とするFR車用4速自動変速機です。1999年6月にマツダ(株)様のボンゴに初めて採用され、マツダ(株)様経由のOEMで日産自動車(株)様のバネット及び三菱自動車工業(株)様のデリカと多くの商用車に採用されています。

The JR405E 4-speed AT is designed for use on rear-wheel-drive cars and features direct electronic control of the clutch pressure. It was first adopted on the Mazda Bongo in June 1999 and has been used on many commercial vehicles. Applications include the Nissan Vanette, supplied to Nissan by Mazda under an OEM arrangement, and the Mitsubishi Delica.

Table 1 Specifications of JR405E

Max. input torque		294 Nm
Max. input speed		7,000 rpm
Max. vehicle weight (G.V.W)		3,250 kg
Control system		Electronic
Torque converter		236 mm dia
Gear ratio	1st	2.785
	2nd	1.545
	3rd	1.000
	4th	0.694
	Rev.	2.272
No. of select positions		6(P, R, N, D, S, L)
Dry weight		63 kg

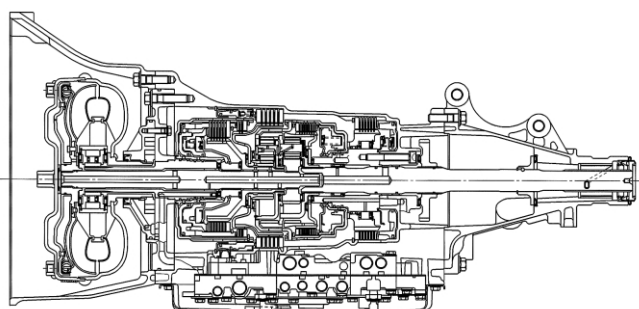


Fig. 1 Main cross-sectional view

Typical model fitted with the JR405E AT



Mazda Bongo Van

FR車用4速AT JR405E-Kの紹介

Introducing the JR405E-K 4-speed AT for Rear-drive Cars

JR405E-K型自動変速機が、いすゞ様のタイ向けピックアップトラック D-MAXに採用されましたので紹介します。D-MAXは日本国内では販売はされておりませんが、タイでは好評を博しております。

Introduced here is the JR405E-K 4-speed AT that has been adopted on the D-Max pickup truck marketed in Thailand by Isuzu Motors Ltd. Although the D-Max is not sold in Japan, it has acquired good reputation in Thailand.

Table 1 Specifications of JR405E-K

Max. input torque		294 Nm
Max. input speed		7,000 rpm
Max. vehicle weight (GVW)		3,250 kg
Control system		Electronic
Torque converter		250 mm dia.
Gear ratios	1st	2.785
	2nd	1.545
	3rd	1.000
	4th	0.694
	Rev.	2.272
No. of selector positions		7 (P, R, N, D, 3, 2, 1)
Dry weight		63 kg

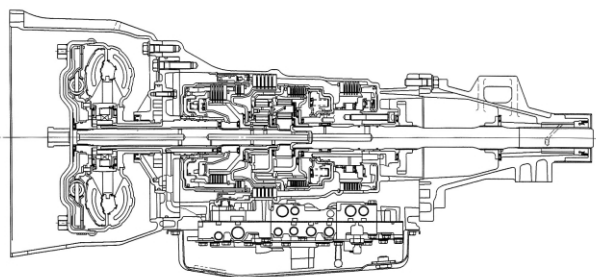


Fig. 1 Main cross-sectional view

Typical model fitted with the JR405E-K



D-MAX

AWD車用5速ATの紹介

Introducing the 5-speed AT for AWD Cars

本ATはAWD(All Wheel Drive)対応した新型5速ATとして2003年の富士重工業(株)様向けレガシィに初めて採用されました。

この5速ATはJR07E型 FR5速ATをベースにFR部分をジャトコが開発し、軽量、小型で高効率を特長としています。さらにベースATとの部品共用化率を高めることで、高い信頼性と低コストを実現させました。なお、本ATにおいては富士重工業(株)様にトルクコンバータ、プラネタリギヤ、クラッチ、コントロールバルブ、ATコントロールユニットの各部品を提供しています。

本ATは2003年の新型レガシィに引き続き2004年モデル、2005年モデルに継続採用され、さらに2005年には同社様の新型車トライベッカに拡大採用されるに至りました。

This new five-speed AT for use on all-wheel-drive (AWD) cars was first adopted on the Subaru Legacy made by Fuji Heavy Industries Ltd. in 2003. It is based on the JR07E 5-speed AT for rear-wheel-drive cars and features a compact, lightweight design that delivers high efficiency. The rear-wheel-drive portion was developed by Jatco. Moreover, high reliability and low cost were achieved by increasing the percentage of parts shared with the base AT. For this 5-speed AT, Fuji Heavy Industries supplies the torque converter, planetary gearset, clutches, control valves and AT control unit.

Following its adoption on the new generation of the Legacy in 2003, the TG5C was also successively used on the 2004 and 2005 models. Its application was further expanded to the new Tribeca that Fuji Heavy Industries rolled out in 2005.

Table 1 Specifications

Vehicle			LEGACY	TRIBECA
Drive system			AWD	AWD
Applied engine			EJ20 (191 kW/6000, 357 Nm/2400)	EZ30-R (180 kW/6600, 297 Nm/4200)
Transmission model			TG5C	TG5C
Torque converter			Torque converter with wet multi-plate lock-up clutch	Torque converter with wet multi-plate lock-up clutch
Gear ratio	Main ratios	1st	3.540	3.841
		2nd	2.264	2.352
		3rd	1.471	1.529
		4th	1.000	1.000
		5th	0.834	0.839
	Rev	2.370	2.764	
	Final gear ratio	3.272 (GT) 3.583 (GT specB)	3.583	
Transfer case			Compound planetary gearset with center differential (VDT)	Compound planetary gearset with center differential (VDT)
Oil	Fr diff	Subaru Gear Oil (FFX 75W-90)	Subaru Gear Oil (FFX 75W-90)	
	ATF	ATF RED-1	ATF RED-1	

Typical model fitted with this AT



TRIBECA

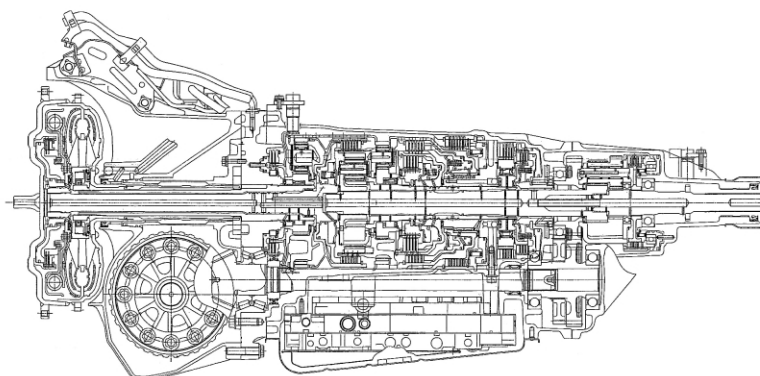


Fig. 1 Main cross-sectional view

ジャトコ八木工場の紹介

Introducing JATCO's Yagi Manufacturing Department

加藤 裕之*

Hiroyuki KATO

1. 概要

2003年4月に新たにジャトコと統合した八木工場を紹介する(Fig. 1).

所在地：京都府船井郡八木町室橋10番地の1
従業員数：503人(職制・プロパー・派遣社員合計
2006年1月1日現在)

八木工場は三菱自動車工業(株)以下MMC)の事業所として1998年8月に完工，2000年4月より操業を開始したMMC向け小型車用CVTを生産する事業所としてスタートした．その後，2002年7月に歯車加工用エリアが完成，2003年5月に京都事業所より歯車ラインの移設が完了し，現在に至っている．その間，2003年2月に「快適職場推進計画認定事業所」の認定，同年7月には「労働安全京都労働局長奨励賞」を受賞している．

工場は『グリーンファクトリー』をコンセプトとして設計され，

- ・地球にやさしい工場
- ・周辺環境，地域に調和した工場
- ・お客様に安心して頂ける工場



Fig. 1 Yagi Manufacturing Department

1. Overview

This article introduces the Yagi Manufacturing Department that was newly integrated with JATCO's operations in April 2003 (Fig. 1).

Location: 10-1, Murohashi, Yagi-cho, Funai-gun, Kyoto, Japan

Workforce: 503 employees (total including managers, full-timers and seconded personnel as of January 1, 2006)

The Yagi Manufacturing Department was completed in August 1998 as a manufacturing facility of Mitsubishi Motors Corp. (MMC) The Yagi Manufacturing Department launched production operations on CVTs for use on MMC's small cars in April 2000. Subsequently, a shop for machining gears was completed in July 2002. Transfer of the gear production line from the Kyoto Machinery Works was completed in May 2003, and the line is still in operation today. During that interval, the The Yagi Manufacturing Department was certified in February 2003 under a government certification program to promote the creation of comfortable workplaces, and in July of that year it also received a labor safety encouragement award from the Director-General of the Kyoto Labor Bureau.

The plant was designed around the concept of a "clean factory" and was constructed so as to be:

- an environmentally friendly plant,
- a plant in harmony with the surrounding environment and community, and
- a plant in which people can trust.

The buildings are laid out so that noise does not escape from the premises; the latest comprehensive waste treatment facilities are installed so that waste water can be released into the source of the Katsura River, which supplies water for the residents of Kyoto; no fences are built around the premises so as to eliminate boundaries between the plant and the community; and facilities are provided so that visitors can tour the plant safely and comfortably. The plant is one of JATCO's state-of-the-art manufacturing facilities (Fig. 2).

* 八木工場
Yagi Manufacturing Department



Fig. 2 Assembly line

であるべく建設された。工場の騒音を敷地外に漏らさない建屋レイアウト、京都市民の水源地である桂川の源流に排水するための最新総排設備、敷地の周辺はフェンスレスとし境界の排除、お客様が安心して見学できる見学者用設備を備えており、ジャトコに於いても最新の工場である(Fig. 2)。

2. 組織と業務内容

八木工場では先に紹介したように、MMC向けCVT(以下FC1)の組立、FC1用部品の加工、FF/FR車用並びにMT用歯車部品の加工、熱処理を行っており、組立能力は月産20400台(426H)、歯車部品の加工能力は月産20万個(426H)を有している。

組織はFC1の組立及び、FC1用の部品を加工する第一製造課、歯車部品の加工、熱処理を行なう第二製造課、技術・保全・品質をとりまとめる第七技術課で構成されている。

工場内には他に関連会社のジャトコツール、ジャトコプラントテック、日産クリエイティブサービス他の協力会社が常駐している。

また、お客様を意識した工場でもあることからCSを主に活動するグループである「八木を良くする会」を設け、玄関口ビーに季節感あふれる飾り付けを行い、国内や地元のお客様をはじめ、海外のお客様もあたたかく迎え入れるよう活動している。

3. 環境

八木工場のある八木町は京都市中心部より北西の方向に35km程離れた山あいの町で(Fig. 3)、八木工場は周囲を小高い山にかこまれ、美しい山並みを一望できる高台にある(Fig. 1, 4)。北側にはキャンプ場を備えた文覚池を有し、春には美しい花が

2. Organization and Work Operations

As mentioned earlier, the Yagi Manufacturing Department assembles CVTs (FC1) for use on MMC vehicles. It also machines FC1 parts as well as gear parts for front- and rear-wheel-drive AT-equipped vehicles and MTs, and performs heat treatment operations. The monthly CVT assembly capacity is 20,400 units (426 hrs.), and the monthly gear machining capacity is 200,000 pieces (426 hrs.).

The organization consists of Manufacturing Section No. 1 that assembles FC1 units and machines FC1 parts, Manufacturing Section No. 2 that machines gear parts and performs heat treatment operations, and Engineering Section No. 7 that comprehensively handles engineering, maintenance and quality matters.

Other companies also have permanent operations on the premises, including JATCO subsidiaries like JATCO Tool Ltd. and JATCO Plant Tec Ltd., and cooperating companies such as Nissan Creative Services Co., Ltd., among others.

The Association for a Better Yagi makes visitor hospitality the primary focus of its activities in line with the plant's emphasis on customer satisfaction. This group decorates the front lobby with displays exuding a seasonal feeling and undertakes activities to warmly welcome visitors from the local area, from around Japan and also from overseas.

3. Surroundings

The town of Yagi, home of the Yagi Manufacturing Department, is located in the mountains about 35 km northwest of downtown Kyoto (Fig. 3). The plant sits on a high ground commanding a panoramic view of the beautiful low mountain range surrounding the facility (Figs. 1 and 4). It is blessed with a natural environment that allows full enjoyment of the changes in the four seasons. Located on the north side is Mongakuike Pond furnished with a camping ground. Here beautiful cherry blossoms bloom magnificently in the spring, the songs of nightingales resound in early summer, and a chorus of chirping insects can be heard on autumn evenings.



Fig. 3 Plant location

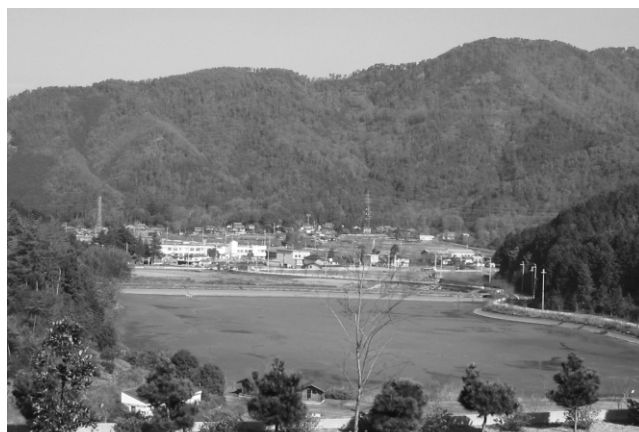


Fig. 4 Scenic view from the plant cafeteria

咲き誇り，初夏にはうぐいすの鳴き声が響き渡り，秋の夜には虫の合奏が奏でられる，四季折々の変化を堪能できる自然に恵まれた工場である．

この環境のもと，地域への浸透を図るべく，積極的に学校関係をはじめとした工場見学を受け入れたり，年に一度地元の人たちと協力したビッグイベントとしてジャトコフェスタを開催している．

4. 八木工場の今後

八木工場においては，今後新ユニットの展開も計画されており，計画が立上った時には八木工場は西地区の主要拠点となることが予想される．

そのため，八木工場の社員は関係部署と一丸となって，高品質でお客様に満足して使っていただけるユニットを生産すべく準備しているところである．

In this natural setting, the plant strives to be an integral member of the community. Plant tours by schools and other groups are actively welcomed, and once a year the plant joins hands with the local residents in putting on the JATCO Fiesta as a major community event.

4. Future of Yagi Manufacturing Department

Production launches of new transmissions are scheduled for the Yagi Manufacturing Department in the near future. When those units come into production, the plant is expected to be one of JATCO's major manufacturing centers in Western Japan.

Toward that end, the Yagi Manufacturing Department is working closely together with employees in related departments to make preparations for producing high-quality transmissions that customers can use with full satisfaction.

Author



Hiroyuki KATOU

特 許 紹 介

Patents

1. 自動変速機のコントロールバルブ構造

(Fig. 1)

出 願：出願日 1993.10.4 特願平5 - 247263
登 録：登録日 2002.5.10 特許第3303037号
名 称：自動変速機のコントロールバルブ構造
発 明 者：機能部品開発部 広瀬 郁夫

【目的】

バルブボディとトランスミッションケースとの油圧回路の受け渡し部において油圧回路が交差するような場合でもバルブボディを大型化することなく、コンパクト化を図ることが可能な自動変速機のコントロールバルブを提供することを目的とする。

【発明の構成】

トランスミッションケース1の固定面1aに固定されるコントロールバルブ2は、複数のバルブボディ21,22,23を重ねて、各バルブボディ21,22,23の間にセパレートプレート24,25を介装させて構成され、前記バルブボディ22,23どうしが互いに重なる重合面の少なくとも片側一辺が同一寸法に形成される。この同一寸法でバルブボディ22,23どうしが重なっている部分では、バルブボディ23との重合面とは反対側のバルブボディ22の面が固定面1aに当接され、バルブボディ22,23を固定面1aに向けて貫通する軸状の固定部材31,32によって同バルブボディ22,23がトランスミッションケース1に固定される。そして、固定面1aと、この固定面1aに当接しているバルブボディ22との間で油圧回路の受け渡しが行われる。

【作用・効果】

バルブボディとトランスミッションケースとの間の油圧回路の受け渡しの部分で油圧回路が交差しそうな時には、バルブボディの重なり合った部分において上下方向に迂回させることができ、油圧回路の迂回のために両バルブボディを水平方向に拡大させたり、板厚を厚くしたりする必要がない。また、水平方向の寸法が小さくなるので、両バルブボディ間の当接面積が小さくなり、取付ボルトの本数が少なくて済み、オイル漏れも生じ難くなる。

1. Control valve arrangement of automatic transmission

Application Number : 5-247263
Application Date : 10.4.1993
Patent Number : 3303037
Registration Date : 5.10.2002
Title : Control valve arrangement of automatic transmission
Inventor : Ikuo Hirose
Functional Component Development Department

【Summary of the invention】

It is an object of the present invention to provide a control valve arrangement of an automatic transmission, which is attaining without enlarging the control valve arrangement.

According to the present invention, there is provided a control valve arrangement for use in an automatic transmission having a transmission case. The control valve arrangement comprises means defining in a lower portion of the transmission case a recess having therein a mounting surface, the mounting surface being formed with outlet and inlet openings communicated with fluid passages formed in the transmission case. A valve unit is provided with a first valve body having an upper surface put on the mounting surface and having therein a hydraulic circuit. The first valve body has a first given portion formed with inlet and outlet openings mated with the outlet and inlet openings of the transmission case when the first valve body is properly put on the mounting surface. A second valve body is provided with an upper surface put on a lower surface of the first valve body and having therein a hydraulic circuit. The second valve body is constructed to have the same width as the first valve body so that the second valve body has a second given portion located just below the first given portion of the first valve body. A third valve body is tightly mounted on the upper surface of the first valve body and has therein a hydraulic circuit. A first separate plate is interposed between the first and second valve bodies and a second separate plate is interposed between the first and third valve bodies. A rod-like member passes through the second given portion, the first separate plate, the first given portion, and the second separate plate, and is detachably connected to the mounting surface to tightly mount the valve unit to the mounting surface.

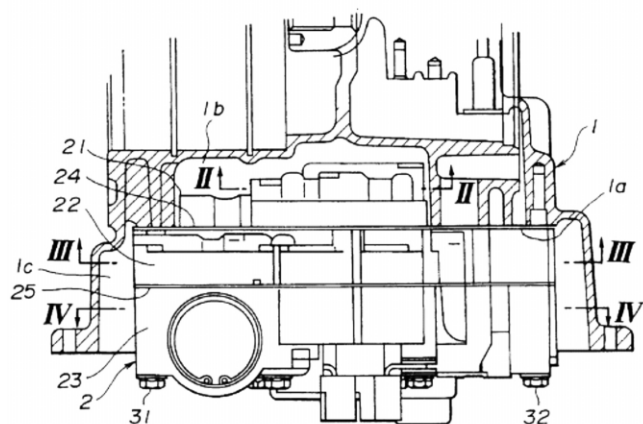


Fig. 1

2. 自動変速機の学習制御装置

(Fig. 2)

出願：出願日 1994.12.1 特願平6-298122
 登録：登録日 2002.11.29 特許第3374167号
 名称：自動変速機の学習制御装置
 発明者：制御・システム開発部 飯塚 尚典

【目的】

本発明は、変速に関与する学習対象のパラメータの値を、変速を経験する毎に学習補正する自動変速機の学習制御装置において、変速の種類にかかわらず計測値を目標値により近づける学習補正を達成することを目的とする。

【発明の構成】

本発明は、自動変速機の学習制御装置であって、スロットル開度を検出するスロットル開度検出手段(g)と、変速機作動油温を検出する変速機作動油温検出手段(h)と、学習対象パラメータ補正手段(d)による補正量の上限值と下限値をスロットル開度と変速機作動油温の大きさに応じて設定する補正量限界値設定手段(f)とを設け、学習対象パラメータ記憶手段(c)を、全スロットル開度域を多数の領域に分けた区分領域毎で、且つ、所定の油温幅による変速機作動油温毎にパラメータ記憶部を有する手段により構成する。

【作用・効果】

学習対象パラメータ補正手段(d)は、変速時に変速種類判別手段(a)により判別される変速の種類毎に学習対象パラメータ記憶手段(c)に記憶されているパラメータの値を、物理量計測手段(b)からの物理量計測値を目標値に近づけるように変速の種類

2. Automatic transmission learning control apparatus

Application Number : 6-298122

Application Date : 12.1.1994

Patent Number : 3374167

Registration Date : 11.29.2002

Title : Automatic transmission learning control apparatus

Inventor : Naonori Iizuka

Control & System Development Department

【Summary of the invention】

It is a main object of the invention to provide an improved automatic transmission learning control apparatus which can bring the gear shift operation related parameter into agreement with its target value regardless of gear shift operation modes.

There is provided, in accordance with the invention, an automatic transmission learning control apparatus for use in an automotive vehicle including an internal combustion engine having a throttle valve and an automatic transmission operable on a working fluid. The automatic transmission learning control apparatus comprises gear shift mode sensor means(a) sensitive to one of gear shift operation modes, physical quantity measuring means(b) for measuring a physical quantity related to a gear shift operation made in the automatic transmission, memory means(c) for storing parameters in memory locations specified for respective gear shift operation modes, updating means(d) for updating the parameter stored in the memory location specified by the sensed gear shift operation mode in a direction to bring the physical quantity into agreement with a target value, throttle valve position sensor means(g) sensitive to a degree to which the throttle valve opens, working fluid temperature sensor means(h) sensitive to a temperature of the working fluid, limiting means(f) for limiting the parameter to be updated between upper and lower limits set for each of the gear shift operation modes based on the sensed throttle valve position and working fluid temperature, and control means(e) for employing the parameter stored in the memory location specified by the sensed gear shift operation mode to control the gear shift operation.

毎に補正する。

変速指令時，変速制御手段(e)は，学習対象パラメータ記憶手段(c)に記憶されているパラメータの値を変速種類判別手段(a)の判別結果に基づいて読み出し，読み出されたパラメータの値を用いて変速制御を行う。

学習対象パラメータ補正手段(d)は，補正量限界値設定手段(f)によって，変速時のスロットル開度及び変速機作動油温の大きさに応じて最適な補正量の上限値と下限値が設定され，スロットル開度 - 変速機作動油温による区分領域毎に学習対象パラメータのきめ細かな補正を行うことができる。

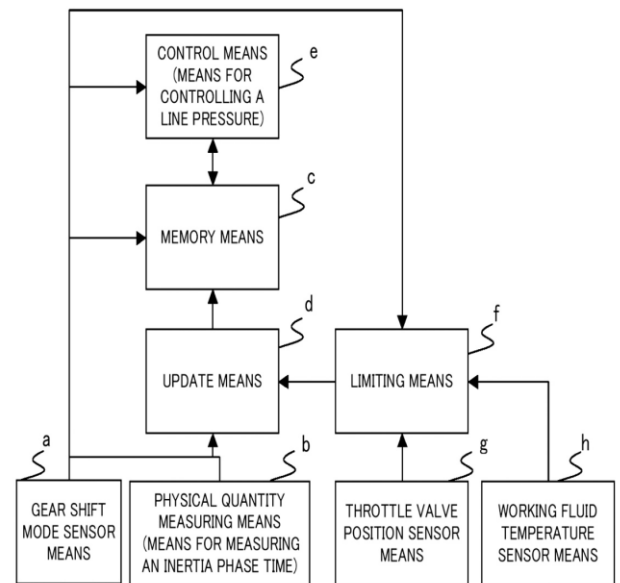


Fig. 2

社外技術賞受賞発表一覧 (2004年1月1日～2005年6月30日)

発表日	発表先	表題	発表者
2004.5	自動車技術会賞 技術開発賞	3.5リッターエンジン対応 高トルクベルトCVTの開発	第一商品開発室 開発管理部 日産自動車(株) 菅野 一彦 安保 佳寿 早崎 康市
2005.5	技術開発賞 (日本フルードパワーシステム学会)	大容量無段変速機の油圧電子 制御技術	機能部品開発部 機能部品開発部 機能部品開発部 機能部品開発部 日産自動車(株) 若原 龍雄 山本 雅弘 富永 真和 尾下 秀樹 石森 義則
2005.5	自動車技術会賞 論文賞 (社団法人 自動車技術会)	歯面強度に優れた浸炭窒化歯 車用鋼の開発	機能部品開発部 ユニット技術部 構造部品設計部 (株)神戸製鋼所 日産自動車(株) 吉田 誠 田中 敏行 新明 正弘 永濱 睦久 渡辺 陽一

社外技術発表一覧 (2004年1月1日～2005年6月30日)

発表日	発表先	表題	発表者
2004.1	(社)自動車技術会 「自動車技術」vol.58 no.1	変速機を取り巻く環境とCVT 技術	日産自動車(株) 日産自動車(株) 開発管理部 日景 繁行 日比 利文 安保 佳寿
2004.3.8	日本機械学会	自動車用自動変速機を取り巻く 環境と技術動向	材料工法開発室 松原 正己
2004.3.8～11	SAE (Detroit, USA)	A Study on the Torque Capacity of Belt CVTs for 2.0-Liter and 3.5-Liter Front-Drive Cars	構造部品設計部 実験部 構造部品設計部 加藤 芳章 山下 弘 河野 義裕
2004.4.21	DSPACEユーザー会2004 (横浜)	自動変速機の電子制御開発への dSPACE製品適用の現状と 将来展望	制御・システム開発部 制御・システム開発部 制御・システム開発部 松村 利夫 市川 修二 勝 生水
2004.5.23～27	FISITA 2004 (Barcelona, Spain)	Development of a New- Generation Steel-Belt CVT for Use with 3.5L Engines	機能部品開発部 機能部品開発部 制御・システム開発部 山本 雅弘 若原 龍雄 岡原 博文
2004.6.2	(社)自動車技術会中部支部 研究発表会 (名古屋)	薄型トルクコンバータの開発	第二商品開発室 機能部品開発部 機能部品開発部 岡田 克彦 野田 俊明 立脇 敬一
2004.9.2～4	2004 CCA/ISIC/CACSD (台湾)	The development of a controller confirmation system for automatic transmission and its applications	制御・システム開発部 制御・システム開発部 制御・システム開発部 JATCO USA, Inc 松村 利夫 市川 修二 勝 生水 佐藤 雅行
2004.9.6～9	日本機械学会 2004年度年次大会 (札幌)	自動車用トルクコンバータの ステータ周り流れ解析	第二商品開発室 千葉工大 千葉工大 岡田 克彦 江尻 英治 神林 浄和
2004.9.23～25	International Continuously Variable and Hybrid Transmission Congress (San Francisco, USA)	Hydraulic System, Shift and Lockup Clutch Controls Developed for a Large Torque Capacity CVT	機能部品開発部 機能部品開発部 制御・システム開発部 機能部品開発部 山本 雅弘 若原 龍雄 岡原 博文 尾下 秀樹
2004.9.28-30	Global Powertrain Congress (Detroit, USA)	Development of the Super Ultraflat Torque Converter	第二商品開発室 機能部品開発部 岡田 克彦 立脇 敬一

発 表 日	発 表 先	表 題	発 表 者
2004.9	(社)自動車技術会 「自動車技術」vol.58 no.9	海外の最新ドライブトレイン 技術動向	構造部品設計部 加藤 芳章 日産自動車(株) 日景 繁行 日産自動車(株) 佐渡 英樹 アイシン精機(株) 清水 勝 日産ディーゼル工業(株) 計盛 啓一 トヨタ自動車(株) 駒田 英明
2004.10.27~29	(社)自動車技術会 学術講演会 秋季大会 (仙台)	ベルトCVT油の金属間摩擦係 数測定方法に関する考察ー各種 添加剤および試験方法の影響	機能部品開発部 村上 靖宏 機能部品開発部 茂木 靖裕
2004.10	(社)自動車技術会論文集 vol.35 no.4	歯面強度に優れた浸炭窒化歯 車用鋼の開発	機能部品開発部 吉田 誠 (株)神戸製鋼所 永濱 睦久 ユニット技術部 田中 敏行 構造部品設計部 新明 正弘 実験部 清田 祥司 第一FRA/T工場 加藤 直樹 (株)神戸製鋼所 岩崎 克浩 日産自動車(株) 渡辺 陽一
2004.11.5	(社)自動車技術会 無段変速機・ハイブリッド研究会 (東京)	ベルトCVT油の金属間摩擦係数測定 方法に関する考察 ー各種添加剤および試験方法の影響ー	機能部品開発部 茂木 靖裕 機能部品開発部 村上 靖宏
2004.11.10~12	トライボロジー会議2004秋 (鳥取)	ベルトCVTの金属間摩擦係数 に及ぼす表面粗さの影響	機能部品開発部 伊藤 靖朗 構造部品設計部 加藤 芳章 機能部品開発部 吉田 誠
2004.11.13~19	ASME International Mechanical Engineering Congress (Anaheim, USA)	Control of the Mechanical Property on Machined Surface by a New Tool for Cutting-Burnishing Combined Process,	材料工法開発室 瀬川 俊明
2004.11.25~26	日本機械学会 流体工学部門講演会(北九州)	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	第二商品開発室 岡田 克彦
2004.11.26~27	MPT2004シンポジウム 〈伝導装置〉(大阪)	トランスミッションと歯車技 術動向	プロジェクトセンター 鈴木 義友
2004.11.26~27	MPT2004シンポジウム 〈伝導装置〉(大阪)	歯表面改質処理による浸炭歯 車の接触疲れ寿命の改善	構造部品設計部 陳 勇 実験部 山本 明弘 構造部品設計部 大森 克之
2004.11.29~ 12.2	3rd CTI-Symposium Innovative Automotive Transmissions	Development of New Belt CVTs with High Torque Capacity	制御・システム開発部 渡辺 正樹
2004.12.1	(社)自動車技術会 シンポジウム「動力伝達系の最新 技術2004」(東京)	トロイダルCVTの変速性能の 特徴と適用技術	実験部 西原 康幸 実験部 岡崎 誠 実験部 手塚 晃典
2005.3.2	静粛工学セミナー(研究会) 第39回 (東京)	CVTベルトノイズの評価法に ついて	実験部 横山 嘉昭
2005.3.16	The 11th Annual Fuel & Lubes ASIA Conference (中国)	JASO自動変速機油分科会活 動の今後について	機能部品開発部 村上 靖宏
2005.4.11~14	SAE (Detroit, USA)	Development of a Method for Analyzing CVT Casing Radiated Noise Induced by Belt Excitation Forces	実験部 甫立 昌弥 実験部 横山 嘉昭 実験部 成岡 聡
2005.4	精密工学会誌 Vol.71,No.4,2005	圧縮残留応力生成工具による 加工表面層の残留応力制御	材料工法開発室 瀬川 俊明 東京農工大学 笹原 弘之 東京農工大学 鍵谷 夕 東京農工大学 新槇 壮一 東京農工大学 堤 正臣
2005.5.18~20	(社)自動車技術会 学術講演会 秋季大会(横浜)	中型車用新型Xtronic CVTの 開発	日産自動車(株) 鈴木 明人 第一商品開発室 清水 健次 第一商品開発本部 黒沢 実 第一商品開発室 齊藤 勤 実験部 浅野 日出夫

発 表 日	発 表 先	表 題	発 表 者
2005.5.31	日本熱処理技術協会 第60回大会(東京)	自動変速機部品における熱処理 シミュレーションとその検証	材料工法開発室 谷口 光一 材料工法開発室 上野 完治 成形技術部 林 達志
2005.5	精密工学会誌 Vol.71, No.5, 2005	アルミニウム合金のドライ穴 加工における切りくず排出過 程の可視化と分析	材料工法開発室 瀬川 俊明 東京農工大学 笹原 弘之 東京農工大学 鍵谷 夕 東京農工大学 新槇 壮一 東京農工大学 堤 正臣
2005.6.15	(社)自動車技術会中部支部研究発 表会(名古屋)	180Nm FF車用スチールベル ト式CVTの開発	第一商品開発室 杉本 裕章
2005.6.16	KSTLE AUTOMOTIVE SYMPOSIUM(韓国)	自動車用自動変速機を取り巻 くトライボロジー技術	機能部品開発部 村上 靖宏
2005.6.21	Heat treatment and surface engineering in automotive applications (Riva del Garda, Italy)	Development and View of Heat Treatment Simulation	材料工法開発室 谷口 光一 材料工法開発室 上野 完治 成形技術部 林 達志
2005.6	トライボロジー学会誌 トライボロジスト6月号	自動車用自動変速機開発の50 年を振り返るー自動変速機の 開発と摩擦材, 油剤のトライ ボロジー技術ー	機能部品開発部 村上 靖宏

編集後記

2000年に創刊号を発行してから、毎年1冊のペースで発行を続けてきましたが、今年は発行が遅れてしまい、前回のNo.5を発行してから1年以上を経過してしまいました。論文を書いて下さった皆さん、またジャトコ・テクニカル・レビューをご愛読下さっている皆様には、ご迷惑をおかけしてしまったこと、この場をお借りしてお詫び致します。

さて、今までは開発主体の論文が多かったのですが、今回のNo.6ではジャトコのモノづくりに焦点をあてました。ジャトコはAT, CVTというモノづくりの会社です。ジャトコのモノづくりを支えるいろいろな良い技術を、皆様に知って頂ければ幸いです。

- ジャトコ・テクニカル・レビュー事務局 佐藤真琴 -

編集委員会 (Editorial Committee)

委員長 (Chairman)

土井 利 政 取締役 専務
Toshimasa Doi Executive Vice President & Member of the Board

委員 (Members)

森 田 美 樹 法務知財部
Haruki Morita Legal & Intellectual Property Department
金 丸 裕 二 情報システム部
Yuuji Kanamaru Management Information Systems Department
栗 原 広 幸 品質管理部
Hiroyuki Kurihara Quality Administration Department
坂 本 重 信 営業業務部
Shigenobu Sakamoto Sales Planning & Administration Department
三 浦 美 利 第三商品開発室
Mitoshi Miura Application Development Department
加 藤 芳 章 構造部品設計部
Yoshiaki Kato Structural Component Design Department
村 上 靖 宏 機能部品開発部
Yasuhiro Murakami Functional Component Development Department

横 山 嘉 昭

Yoshiaki Yokoyama

横 山 昇

Noboru Yokoyama

佐 藤 朋 由

Tomoyoshi Sato

榎 村 勉

Tsutomu Kashimura

事務局 (Secretariats)

増 田 茂 樹

Shigeki Masuda

佐 藤 真 琴

Makoto Sato

山 元 浩 子

Hiroko Yamamoto

実験部

Experiment Department

実験部

Experiment Department

第三事業所

Manufacturing Division No.3

生産管理部

Production Control Department

開発管理部

R&D Administration Department

開発管理部

R&D Administration Department

開発管理部

R&D Administration Department

ジャトコ・テクニカル・レビュー No.6

JATCO Technical Review No.6

発行 ©禁無断転載
発行・編集人 2006年3月
 ジャトコ・テクニカル・レビュー
 編集委員会
発行所 ジャトコ株式会社
 開発管理部
 静岡県富士市今泉700-1
 〒417-8585 0545(52)2661
印刷所 スルガ印刷
 静岡県富士市今泉3丁目6-20

March, 2006
Publisher JATCO Technical Review
(Editor) Editorial Committee
Distributor R & D Administration Department
 JATCO Ltd
 700-1, Imaizumi, Fuji City
 Shizuoka, 417-8585, Japan

Copyrights of all articles described in this Review have been preserved by JATCO Ltd. For permission to reproduce articles in quantity or for use in other print material, contact the chairman of the editorial committee.