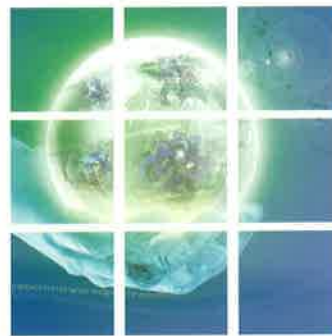


YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW

ヤマハ発動機 技報



2008-12
No.44





2008-12

No.44

▶ 巻 頭 言

1

ヤマハ発動機の技術の目指すところ

The vision of what Yamaha Motor technology aims to accomplish

鈴木 正人

▶ 製 品 紹 介

4

北米、欧州向け New VMAX

New VMAX for the European and North American Markets

仲秋 一 中島 彰利 室尾 振郎 渡邊 隆志 中川 善富 安西 信也 平塚 東

10

2008年北米向けXV1900 RAIDER

The 2008 North American Market model XV1900 RAIDER

鈴木 正人 桑田 正明 酢谷 茂智 前田 周

18

ATVスポーツモデル YFZ450R

ATV Sports Model YFZ450R

伊藤 英一 鈴木 豪仁 川村 浩史 川副 耕資 太田 啓二郎 大岡 久洋 下村 伊千郎 太田 博

25

スノーモビル RSVenture GT

The snowmobile model RSVenture GT

中野 太久二 澤淵 敦志 佐藤 隆行 真下 和人 竹田 達也 高柳 智一 岡田 弘之
窪田 隆彦 石井 一久

▶ 技術紹介

- 33 **新事業・新商品企画支援ツールの開発**
Development of New Business and New Product Planning Support Tools
原 以起 米田 洋之
- 43 **UMVのためのカルマンフィルタを応用した姿勢センサー静定技術の紹介**
Static Determinacy Technology for a Kalman Filter-fitted Attitude Sensor for UMVs
木戸 徹
- 48 **ロボットカーによる建設現場における無人測量、および経路追従制御のための位置・姿勢推定技術**
Construction site measurement by UGV (unmanned ground vehicle) and position/posture estimation technology for path-tracking control systems
石山 健二 神谷 剛志
- 54 **LEXUSプレミアムスポーツIS F用エンジンの開発**
Engine developed for LEXUS premium sports model IS F
鈴木 篤 前田 裕幸 飯倉 雅彦 川村 誠 近藤 丈雄 鈴木 保之 武藤 好永 原 隆
- 63 **無人ヘリコプター用農薬散布装置の飛散低減技術**
Technology for reducing agrichemical "drift" in unmanned helicopter crop dusting
金城 友樹

▶ 技術論文

- 70 **EXUP-BUSH用耐熱ステンレス軸受の開発**
Development of a heat-resistant stainless steel bushing for EXUP
高橋 尚久
- 78 **燃焼安定性におけるポート噴射の影響**
The Influence of Port Fuel Injection on Combustion Stability
加藤 昇一 林田 高典 飯田 実
- 88 **ARXモデルシステム同定手法を用いた燃料挙動パラメーター適合方法**
Fuel behavior parameter optimization method using the ARX model system identification technique
田辺 大樹 榎井 直継 小出 充敏 鳥越 昌樹 迫田 茂穂
- 99 **MQLによるギヤシェーパーの高効率バリレス加工法**
High-efficiency burrless machining method for shaping gears using MQL
森 一明
- 116 **CFマグネシウムダイキャスト材の機械的性質および耐食性**
Mechanical and Corrosive properties of the CF Magnesium Die-Casts
鈴木 貴晴 稲波 純一 小池 俊勝



巻頭言

ヤマハ発動機の技術の目指すところ

The vision of what Yamaha Motor technology aims to accomplish

鈴木 正人


I wonder what everyone thinks technology is. The Japanese dictionary describes it as techniques for skillfully accomplishing tasks; technical arts; methods for changing natural states with artificial means in ways that are useful for people's lives; also, methods that make practical use of scientific developments towards those aims. It seems that the crucial point is "useful for people's lives." So, what is technology for the Yamaha Motor group?

I believe that first of all, technology is a means to achieve or corporate mission of "Creating *Kando*." What we aim to supply to the customers and to society is not ordinary products and service but ones that bring the excitement. Therefore, technology should naturally be a means for "Creating *Kando*" as well.

We should also look at technology from another aspect: its social aspect. In today's world, there is no value to a corporation's existence if it is not respected by society. Yamaha Motor should have its own unique way of winning society's respect, and that should be our reason for existence as a company. I believe that our uniqueness as a company is the variety of "value" we supply to the customers and to society.

I believe that our technology should be both "a means for creating *Kando*" and "a means for creating a variety of 'value' for the customers and society."

In 1990 we formulated a technology vision called "Trinics." It was a vision based on the three pillars of Mechanics, Electronics and "Humanonics." It was a concept that expressed the "What" of technology. Now, as a further development on the Trinics concept, we have formulated a new technology vision. It is a vision that expresses the value that we want to provide through technology. This "Technology Vision," this "policy of value we aim to supply to the customers and society through our technology," is expressed in the new term "E.MOTIONICS." The value that we provide through technology should be value that moves people to the soul and excites their senses in ways that are in sync with their sensibilities. The root of E.MOTIONICS is Motion. And we can describe our technology rooted so deeply in Motion and employing engineering based on Trinics to provide a wide variety of value as the "engineering of motion" that we express in the term "Motionics." And, to the vision of using the "engineering of motion" (Motionics) to create value that appeals to people's Emotions we give the new name E.MOTIONICS. For example, if we look at the case of electronic control technologies for a motorcycle, in Yamaha Motor's case, the technology should not be used simply for the purpose of providing convenience. It should move the customers to the soul and excite their senses, otherwise it cannot really be called Yamaha technology.



Today, the Yamaha Motor faces a very difficult business environment. In light of present conditions, our priorities should be addressing the issues of the environment, product safety and assurance and strengthening quality and cutting costs—in other words, strengthening the foundations of our business and product creation. However, at the same time we must never forget the unique value that Yamaha Motor supplies to our customers, the “joy of riding” and the “pride of ownership” that only we can offer; in short, the value created by the technology vision of E.MOTIONICS.

皆さん、技術ってなんだと考えていますか？「大辞林」によると、「物事を巧みにしとげるわざ。技芸。」「自然に人為を加えて人間の生活に役立てるようにする手段。また、そのために開発された科学を実際に応用する手段」とあります。「人間の生活に役立てる」という点がポイントのようです。では、私達ヤマハ発動機グループにとっての技術とはいったい何なのでしょう。

まず第一に、私達ヤマハ発動機グループの企業目的である「感動創造」を達成するための手段の一つだと思います。私達がお客様や社会に提供しているのは単なる商品、サービスではなく、「感動」なのです。したがって当然のことながら技術も「感動創造」を達成するための手段であるはず。

もう一つの側面、社会との関係で考えてみます。今、企業は社会から尊敬される存在でなければ存在価値がありません。当社には当社なりの、社会からの尊敬のされ方に独自性があるべきで、それが当社の存在意義だと思います。当社の独自性、それはお客様、社会に対して「多様な価値を提供する」ことだと思います。

私達の技術はこの「感動創造のための手段」と「お客様、社会に多様な価値を提供するための手段」の二つを備えたものであるべきだと思います。

当社では1990年に「トリニクス」という技術ビジョンを策定しました。「メカニクス」「エレクトロニクス」「ヒューマノニクス」の3分野を柱としたビジョンです。これは技術の「What」を表現したものでした。このたび「トリニクス」の発展形として、新しい技術ビジョン(図1参照)を策定しました。それは、私達の技術の目指すところを、技術の提供する価値の側面から表現したものです。「技術ビジョン」、言い換えると、「私達の技術が、お客様、社会に対して提供する価値の指針」を、「エモーショニクス(E.MOTIONICS)」という言葉で表現しました。私達の技術の提供する価値は、人の心を動かし、人の感性に響くものであるべきです。「エモーショニクス(E.MOTIONICS)」の核にあるのは「動(Motion)」です。「動く」ことにこだわり、トリニクスに基づいたエンジニアリングを通して、幅広い価値を生み出している私達の技術は、いわば「動のエンジニアリング(Motionics)」です。「動のエンジニアリング(Motionics)」を通じて「エモーション(Emotion)」つまり人の心に訴える価値を実現するのが「エモーショニクス(E.MOTIONICS)」です。たとえば、車両の制御技術を例に挙げると、当社の制御技術は単に、「便利」さを提供するものではないはずです。そこにお客様の心を動かし、感性に響くものがなければ当社の技術とは言えません。

現在、当社は非常に厳しい環境下にあります。今、私達が最優先で取り組むべき課題は、環境、安全、品質、コストといった、いわば基盤を強化することです。しかし、そんな中でも忘れてはならないことが、「乗って楽しい」「所有して誇らしい」といった当社独自の提供価値すなわち「エモーショニクス (E.MOTIONICS)」であろうと考えています。

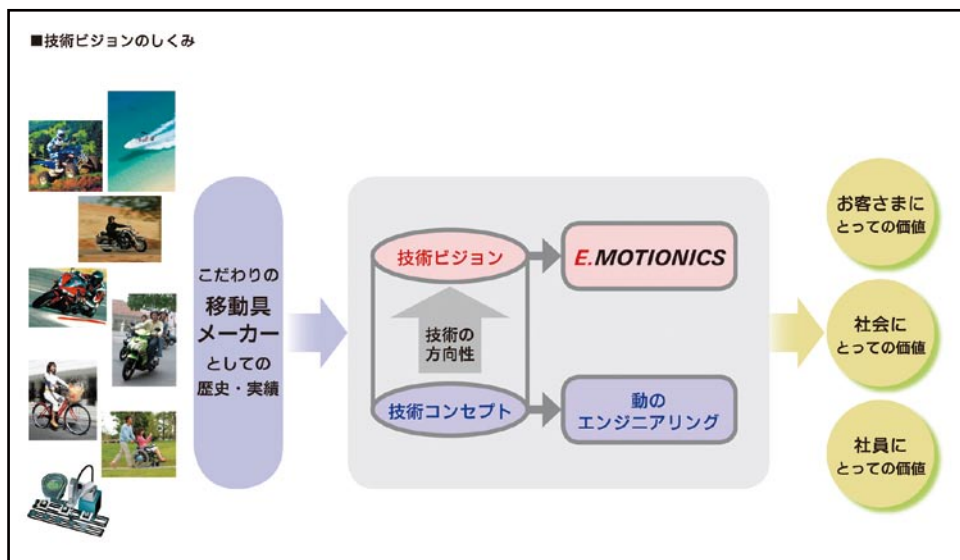


図 1 技術ビジョンの仕組み

■著者



鈴木 正人
Masahito Suzuki
取締役

製品紹介

北米、欧州向け New VMAX

New VMAX for the European and North American Markets

仲秋 一 中島 彰利 室尾 振郎 渡邊 隆志 中川 善富 安西 信也 平塚 東



図 1 New VMAX

Abstract

The VMAX was released originally on the U.S. market in 1985 and then on the European and Japanese markets. Since then it has continued an almost unprecedented record of 24 years of continued sales and popularity. During these years, as the other makers launched a variety of models, the VMAX maintained its unique aura and the devoted fans that loved it. Eventually the VMAX came to be recognized as “one of a kind” and a model that drove the Yamaha brand with its powerful presence.

In this report we introduce the development of the next-generation VMAX that will carry on the tradition of this model that can be seen as an irreplaceable asset of the Yamaha brand.

1 はじめに

VMAXは、1985年モデルとして米国で発売、さらには欧州、および、日本でも発売され、類を見ない24年ロングライフモデルとなった。この間、他社からさまざまな機種が発売されたが、VMAX独自の世界感は崩れることなく、長きに渡りお客様に受け入れられ続けた。結果、「VMAXはVMAX」と言われるまでとなり、ヤマハ発動機(以下、当社)のブランドを引っ張る力強い牽引力のひとつとなった。

この当社の財産ともいえるモデルを次代へ引き継ぐため、New VMAX(図1)を開発したので紹介する。

2 開発のねらい

「パワフル&コンフォート」これはVMAXの基本となる最も重要なキーワードである。このキーワードこそが、次代へ引き継ぐ最も重要な項目であり、開発にはこのキーワードを達成するために多大なる労力を要した。代表的な課題は「怒涛の加速感と心地よいクルージング」といった純技術的には二律背反事象を解決することであった。以下、このキーワードを達成するための各技術の詳細説明をする。

3 エンジン

3.1 基本諸元

怒涛の加速感を達成するため、水冷・4ストローク・65度・V型4気筒・DOHC4バルブ・フューエルインジェクションエンジンを新開発した。また、YCC-T(Yamaha Chip Controlled Throttle:ヤマハ電子制御スロットル)、YCC-I(Yamaha Chip Controlled Intake:ヤマハ電子制御インテーク)も装着し、緻密なエンジン統合制御を行うことにより、「全域Vブースト」と言わせる加速感を達成している。図2にエンジン外観、表1にエンジン主要諸元表を示す。



図2 エンジン外観

表1 エンジン主要諸元表

原 動 機 種 類	水冷・4ストローク・DOHC・4バルブ
気 筒 数 配 列	V型4気筒
総 排 気 量	1,679cm ³
内 径 × 行 程	90.0 × 66.0mm
圧 縮 比	11.3 : 1
最 高 出 力	147.2kW/9,000min ⁻¹
最 大 ト ル ク	166.8N・m/6,500 min ⁻¹
始 動 方 式	セル式
潤 滑 方 式	ウエットサンプ
燃 料 供 給	燃料噴射式
点 火 方 式	TCI 式
1 次 減 速 機 構	ギア
2 次 減 速 機 構	シャフトドライブ

3.2 性能

ボア・ストローク90.0×66.0mm、排気量1,679cm³、圧縮比11.3:1から、最高出力147.2kw/9,000min⁻¹、166.8N・m/6,500min⁻¹を発揮する。また、YCC-T、YCC-Iによる出力制御により、低中速域から高速域まで、よどみない加速感を引き出している。

3.3 YCC-T

V型4気筒としては初の採用となる。直列4気筒と違い、スロットルバルブを連結するシャフトが前後2本となるため、樹脂ギアにより前後スロットルバルブを連結し、正確に作動させている。また、エンジン回転速度、アクセル開度、水温等のセンシング、および、ECUの3CPU化による高速演算によりスロットルバルブ開度を最適制御させ、ライダーの微妙な感覚に呼応するレスポンスを達成している(図3)。

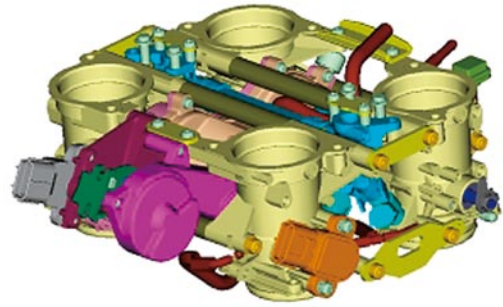


図3 YCC-T

3.4 YCC-I

怒涛の加速感と高速域でのエンジンの回転上昇感を達成するためにYCC-Iを採用。エンジン回転速度に応じ、吸気ファンネル長を切り替える。 $6,650\text{min}^{-1}$ を超えると、ロングファンネルが分離、ショートファンネルからの吸気となる。駆動はサーボモーターで行われ、運転中は切り替わり感を感じさせない滑らかなセッティングを施している(図4)。

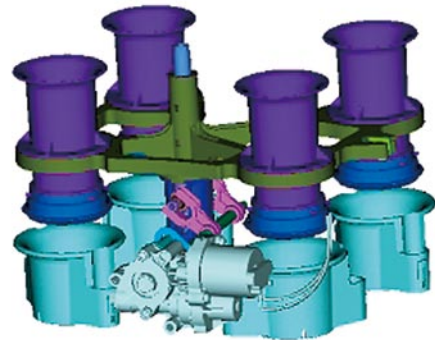


図4 YCC-I

3.5 チェーン／ギア併用カムギア駆動

ヘッドシリンダー周りのコンパクト化のため、吸気側カムシャフトのみチェーン駆動とし、排気側カムシャフトは吸気側カムシャフトによりギアで駆動される。これによりバルブ挟み角を29度とすることができ、4バルブのペントルフ型燃焼室含め、非常にコンパクトな燃焼室を実現した(図5)。



図5 カムシャフト周り

3.6 スリッパークラッチ

急激なシフトダウンにおいても、クラッチの伝達トルクを最適化し、過度のエンジnbr레이크を抑止するために、スリッパークラッチを採用した。

4 車体

4.1 基本諸元

乗車感、および、視覚的にも「VMAXはエンジンが主である」との基本コンセプトのもと、ホイールベース1,700mm、キャスト・トレール 31°・148mmを基本諸元をとし、エンジンを取り囲むオールアルミダイヤモンド型フレーム、および、アルミ一体鋳造662.5mmロングリアアームを採用した。これにより、加速中は加速に、クルージング中はクルージングに集中できる乗車感と、エンジンを前面に押し出すデザインを達成することができた。表2に車体主要諸元表を示す。

表 2 車体主要諸元表

全	長	2,395mm
全	幅	820mm
全	高	1,190mm
軸 間 距 離		1,700mm
シ ー ト 高		775mm
フ レ ー ム 形 式		ダイヤモンドタイプ
キ ャ ス タ ー		31°
ト レ ー ル		148mm
タイヤサイズ	前	120/70-R18M/C 59V
	後	200/50-R18M/C 76V
制動装置形式	前	油圧式ダブルディスク
	後	油圧式シングルディスク
燃 料 タ ン ク 容 量		15.0 L

4.2 アルミフレーム

エンジンを半ループ状に取り囲む4分割重力鋳造アルミ中空ダイヤモンド型フレーム(図6)とし、強烈な加速感を受け止めつつ、エンジンの視覚的存在感を出すことを両立させた。また、必要剛性の確保、および、車両重量バランスを確保するために、エンジン前側、および、Vバンク間のエンジン懸架は铸铁製としている。



図 6 フレーム

4.3 アルミ鋳造一体リアアーム

リアアームは、強大なトルクを受け止め、常に安定したトラクション感を確保し、かつ、エンジントルクを視覚的に表現するために、超ロング極太アルミ低圧鋳造一体型としている(図7)。



図7 リアアーム

4.4 酸化チタンコーティング正立フロントフォーク

強大なトルクを受け止め、かつ、しなやかな乗車感を達成するために、外径52mmインナーチューブをもつ正立式のフロントフォークを採用した。また、インナーチューブには酸化チタンコーティングを施し、良好な作動性を確保している(図8)。

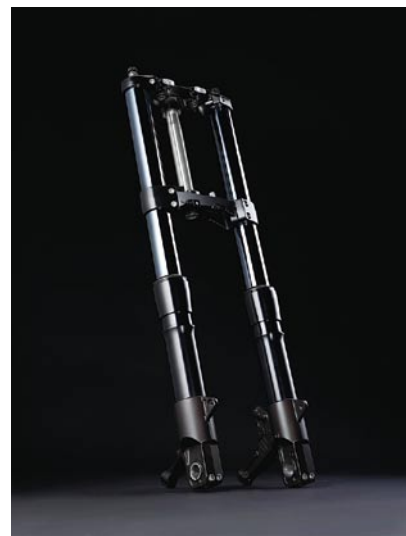


図8 フロントフォーク

4.5 樹脂製フューエルタンク

重量バランス最適化、および、最適燃料容量確保のため、樹脂製フューエルタンクを採用。また、環境対応のため、表面にフッ化処理を施している。

4.6 ブレーキ

フロントブレーキには、対向6POTキャリパーをラジアルマウント方式で装着。ラジアルポンプ式フロントマスターシリンダー、および、外径320mmウェーブディスクと合わせて強大な制動力を発揮する。また、3ポジションABSシステムを標準装備とした(図9)。



図9 フロントブレーキ

5 電装

5.1 有機ELマルチファンクションディスプレイ

ユーザーへ多くの情報を提供するため、多機能表示、視認性、好応答性が特徴である有機EL (Electro-Luminescence) マルチファンクションディスプレイをトップカバー上面に装着した。表示画素数は256×64ドットで、オド&トリップ計、時計、燃料計、水温計、ギアポジション、瞬間燃費、吸気温度、アクセル開度等を表示する。また、カウントダウン機能付ストップウォッチも搭載した(図10)。



図 10 有機 EL メーター

6 おわりに

2008年6月に行われた、米国、および、ヨーロッパでの記者発表後の各メディアの評価、および、好調な受注状況からNew VMAXは好調な滑り出しとなっている。本号が出される頃には発表試乗会も終了し、正に、お客様にNew VMAXが届くタイミングとなる。初代VMAX誕生から24年、New VMAXで目指したものが、お客様に体感、享受していただけることを確信している。

■著者



左から

仲秋 一 Hajime Nakaaki
MC事業本部 商品開発統括部 第2ボディ設計部

安西 信也 Shinya Anzai
MC事業本部 商品開発統括部 商品実験部

渡邊 隆志 Takashi Watanabe
MC事業本部 商品開発統括部 コンポーネント開発部

室尾 振郎 Sakio Muroo
MC事業本部 商品開発統括部 第2ボディ設計部

中島 彰利 Akitoshi Nakajima
MC事業本部 商品開発統括部 エンジン設計部

平塚 東 Akira Hiratsuka
MC事業本部 商品開発統括部 商品実験部

中川 善富 Yoshitomi Nakagawa
MC事業本部 商品開発統括部 コンポーネント開発部

製品紹介

2008年北米向けXV1900 RAIDER

The 2008 North American Market model XV1900 RAIDER

鈴木 正人 桑田 正明 酢谷 茂智 前田 周



図1 XV1900 RAIDER

Abstract

A journey in search of the trends in American style cruiser bikes began for us at the “Bike Week” event in Daytona, Florida, USA, in the spring of 2005. Some 100,000 bike fans gather on their motorcycles for this big annual event that marks the start of the motorcycling season in North America. This makes it an excellent place to observe the latest trends in biking.

Although it has many unchanging aspects, a closer look at this event reveals big changes from ten years ago. There is a big change for example in the “chopper” style bikes epitomized in the past by the 1969 movie *Easy Rider*.

From these observations of large numbers of customized models began the project to develop a new production model based on the existing Yamaha cruiser model “XV1900A ROADLINER.” Here we report on the development of the resulting new model “XV1900 RAIDER.”

1 はじめに

2005年春、米国・フロリダのデイトナで開催されるバイクウィークにアメリカンクルーザーのトレンドを探る旅に出た。米国ではバイクシーズンの始まりを告げる代表的なイベントである。全米から10万人以上のファンがバイクに乗って集結する。このイベントを観れば大体のトレンドが推察できるのである。

一見不変に見えるイベントであったが、実際は10年前と比較すると大きくトレンドが変化していた。チョッパーバイクから想像するものは、昔の映画のイージーライダーに出てくるデザインが一般的であったが、現在では大きく変わっている。

そこで、既存モデルの「XV1900A ROADLINER(以下、ROADLINER)」(図2)をベースに、数多くのカスタム車を考察し(図3)、マスプロダクトの設計に置き換えたNewモデル「XV1900 RAIDER(以下、RAIDER)」(図1)の開発を行うこととなった。



図2 XV1900A ROADLINER



図3 RAIDER のデザインシミュレーション

2 開発のねらい

RAIDERの企画コンセプトのキーワードは「Factory chopper with power and sensual」。チョッパーのアーティスティックなデザインと、チョッパーの概念を覆す走行性能(中低速のハンドリングと加速感)の両立を目指した。それらを実現するために、以下にポイントを置いて開発を行った。

- ・操縦安定性の確保(ヨーク角の付与、3軸ピッチ選定、骨格剛性・サスペンションセッティング)
- ・カスタムスタイリングの実現(高いヘッドパイプ位置とそれによるエンジン上方の空間確保、極太リヤタイヤ、大径フロントホイール、ライディングポジション、ブラックアートフィーリング)
- ・外観向上(スロットルケーブルや電気線の配索工夫によるクリーンなフロント周り)

チョッパーデザインの特徴は、大きな角度で倒れているフロントフォーク。最近では、そこに極太リヤタイヤと大径21インチフロントホイールが加っている。マスプロダクトでは極端なデザインは実現不可能とまでいわれていたスペックであるが、今回はそれを成立させることに主眼をおいての開発となった。ユーザーの使用用途は割り切って、町を軽く乗り回してショーオフすることをイメージした。

また、今回はもうひとつの思想として、工場生産効率を考え、プラットフォームの統一を視野に入れたスペック決めを行っている。商品特性は大幅に違うものの、エンジン・骨格部品の約90%以上はROADLINERと共通部品を使い、工場においても最小限の設備変更で対応した。

3 デザインコンセプト

デザインは、最近のトレンドから以下の3つのキーワードを取り入れた。これらを基に外観デザインを行った。

- ・Take off Movement (飛行機が頭を上げて離陸していくイメージ)(図4)
- ・Black Art Quality (中世の鎧や兜、少し尖ったデザイン)(図5)
- ・Strong Rider Attitude (低いシート高と、風に向かってパンチしているような手を水平に伸ばしたライディングポジション)

また、上記キーワードによるデザインに加え、リヤの極太タイヤは重要なポイントとなっている。

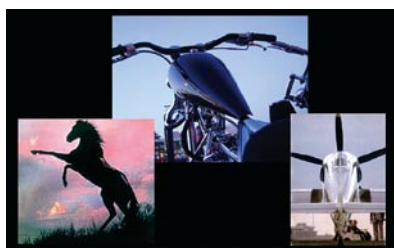


図 4 Take off Movement

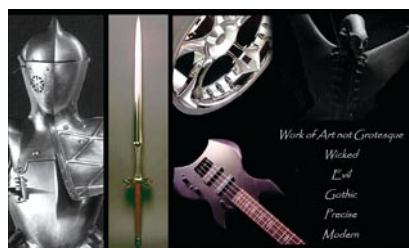


図 5 Black Art Quality

4 エンジン

エンジン本体は、低重心をねらったROADLINERの空冷OHVを採用し、全高を低くするため、ロッカー式の4バルブタイプとした(図6、図7)。性能の追求と燃焼効率を考慮し、4バルブ・ツインプラグを採用している。空冷フィンハNC切削を施し、めっきパーツを組み合わせて美しい造形を作り出しているROADLINERのものをそのまま流用した。車体全体のデザインに対応するため、排気系全体を新作、エアクリナーの一部の形状変更を行った。

エンジン性能は、ほぼROADLINERと同じ値を維持している(図8)。1次、2次減速比も共通のため、車体の特性に合わせてFIの適合のみで作り込みを行った。最大トルク回転を2,500rpmとし、発進から高速域までフラットな特性とし、力強い走りと乗りやすさを両立させた。表1にRAIDERのエンジン諸元を示す。

以下、特徴的な構造を紹介する。



図 6 エンジン外観

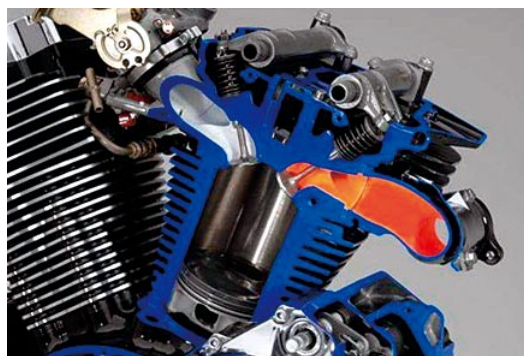


図 7 エンジンカットモデル

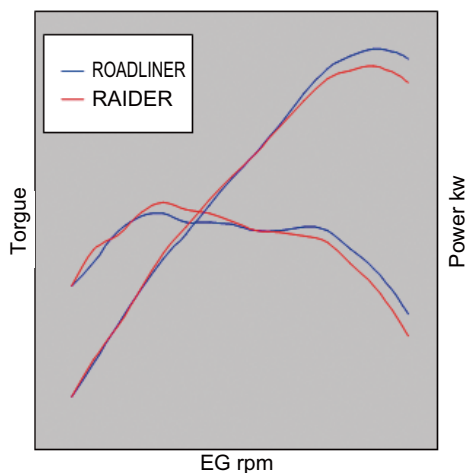


図 8 エンジン性能特性

表 1 エンジン諸元

項 目	RAIDER
総 排 気 量 (cm ³)	1,854
ボ ア (mm)	100
ス ト ロ ー ク (mm)	118
圧 縮 比	9.48
気 筒 配 列	48 度 V 型 2 気筒
バル ブ 駆 動 方 式	OHV
バル ブ 数	4
冷 却 方 式	空冷
潤 滑 方 式	ドライサンプ
最 高 出 力 (kw/rpm)	N.A.
最大トルク (N・m/rpm)	167.8/2,500

4.1 バランサー構造

バランサーは、高速域での振動低減と、すべての回転領域でのパルス感を演出するため、1次ツインバランサー構造とし、クランクケース左右に分割して配置した(図9)。バランス量は原動機の往復質量の50%をねらうのが通常であるが、RAIDERでは左右のバランス量を変え、振動バランスを崩してパルス感を引き出している。

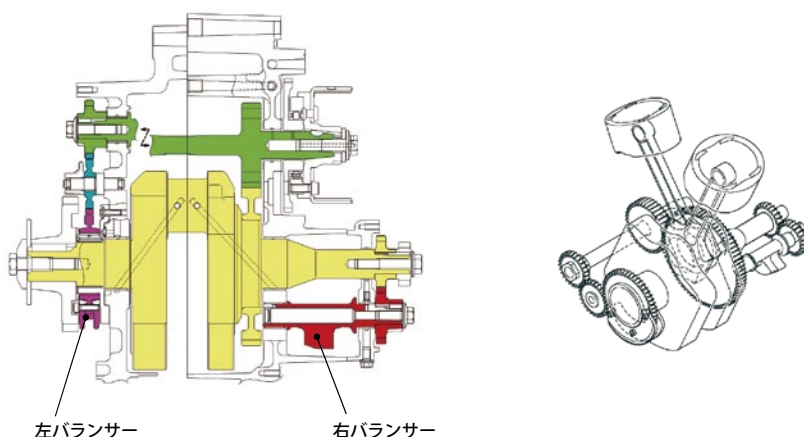


図9 バランサー構造

4.2 排気系

排気系は、デザインに対応するため、ROADLINERの2-1-1形態から2-1-2形態へ変更した(図10、図11)。このレイアウト変更により、触媒を1個から2個に振り分けた。走行時のパルス感を出すためにサイレンサーは短く配置し、できるだけライダーの耳に近づけるようにした。さらに排気口は下向きにし、歯切れの良い音が路面に反射してライダーの耳に入り込むようにした。

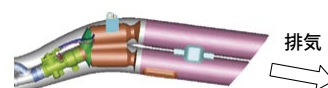


図10 マフラー外観

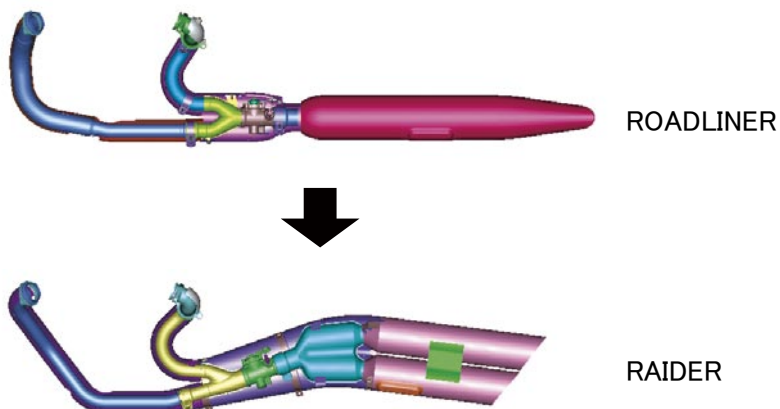


図11 マフラー構造

4.3 吸気系

デザインの肝であるヘッドパイプ下の空間を強調するため、エアクリナー下部の形状をROADLINERから変更した(図12)。

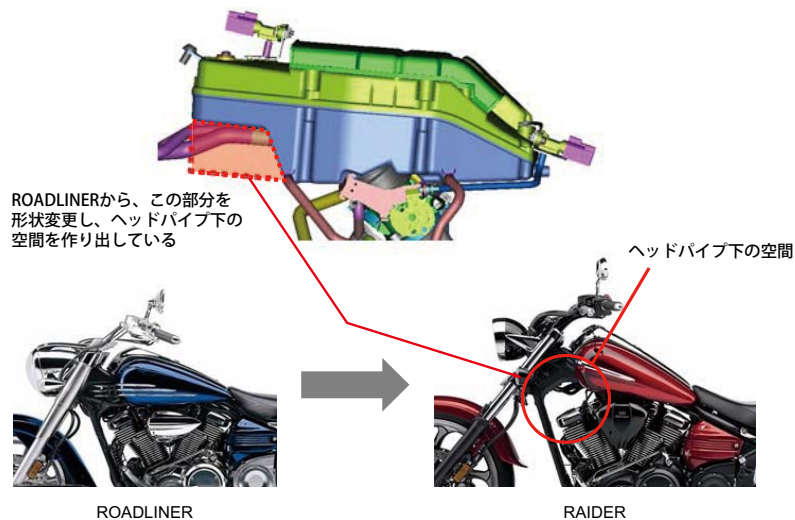


図 12 エアクリナー

5 車体

車体は、ROADLINERの基本骨格をベースに、主にヘッドパイプ周り、フロントフォーク周り、リヤタイヤ周り、燃料タンク、前後フェンダー、テールカウルを変更して、全く別のデザインを作り上げた。最大の特徴は、ヘッドパイプをROADLINERに対し上に30mm持ち上げ、フロントフォークに6度のヨーク角を付け、大径21インチのフロントホイールを組み合わせ、斬新かつライトなイメージを成立させていることである。リヤタイヤはヤマハ最大幅の210mmを採用し、迫力あるデザインに仕立てた。この前後タイヤの組み合わせは重要なポイントである。

ホイールベースはヤマハ最大の1,799mmであるが、外観の大きさからは想像できないほどの乗りやすさを作り出すことに成功した。ROADLINERの素質を踏襲し、ヘッドパイプ周りのヨーク角レイアウトを抱き合わせることで、癖の無いハンドリングを実現している。さらにシート高を限界まで低くし、安心感が持てるライディングポジションとした(図13)。表2にROADLINERとRAIDERの車体諸元を示す。

以下、特徴的な構造を紹介する。

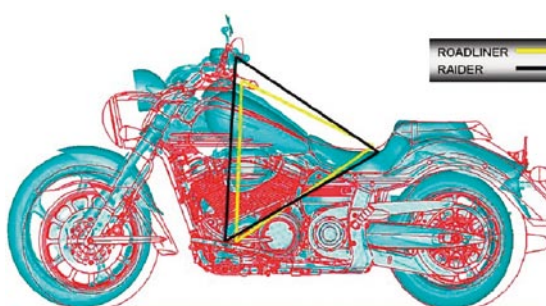


図 13 “Strong Rider Attitude” を成立させるライディングポジション

表 2 車体諸元

項 目	RAIDER	ROADLINER
全 長 (mm)	2,572	2,580
全 幅 (mm)	925	1,100
全 高 (mm)	1,165	1,100
シ ー ト 高 (mm)	695	735
軸 間 距 離 (mm)	1,799	1,715
燃 料 タ ン ク 容 量 (L)	15.5	17
タイヤサイズ/フロント	120/70-21	130/70R18
タイヤサイズ/リヤ	210/40R18	190/60R17

5.1 フレーム

アメリカンクルーザーの世界では鉄パイプフレームが主流であったが、軽量化と高剛性をねらい、アルミ鋳造フレームを採用した。ヘッドパイプとタンクレール以外、後半の部材はすべてROADLINERと共通とした。ヘッドパイプ位置を30mm上方向に移動し(図14)、エンジンヘッド上部に空間を作ると同時にデザインキーワードの”Take off Movement”を成立させた。

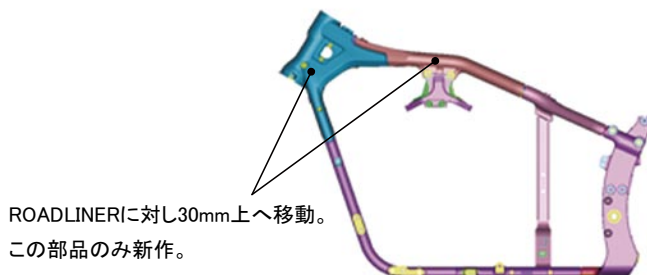


図 14 フレーム

5.2 リヤアーム

フレーム同様にアルミ鋳造とした。3部品を組み合わせて作った形状は、ROADLINERに対し、両サイドの意匠面のデザイン変更を行い、基本的なスペック(ピボットからリアアクスルシャフトまでの距離)はROADLINERと同じ寸法とした(図15)。

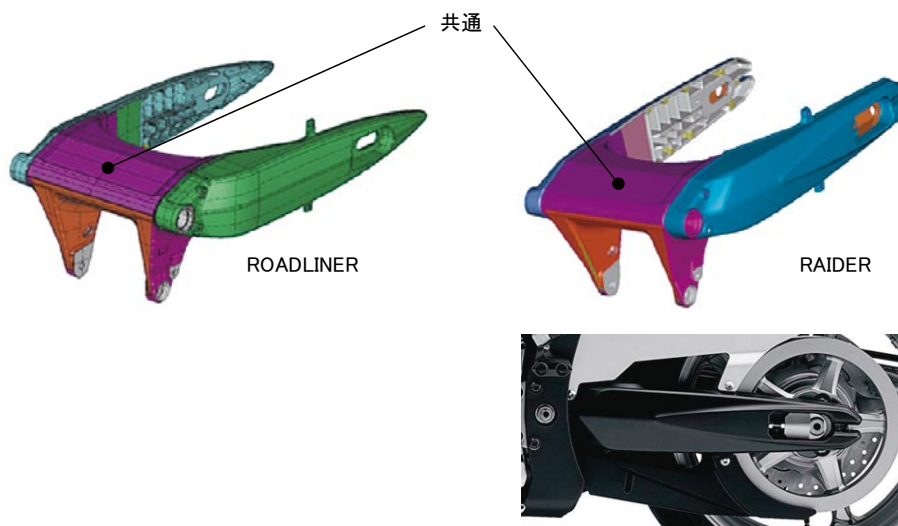


図 15 リヤアーム

5.3 燃料タンク

燃料タンクはシームレス構造を採用し、高いプレス技術により美しい流線形を作った(図16)。容量はサブタンクとともに15.5Lを確保し、カスタム車でありながら十分な航続距離を確保した(図17)。



図 16 燃料タンク外観

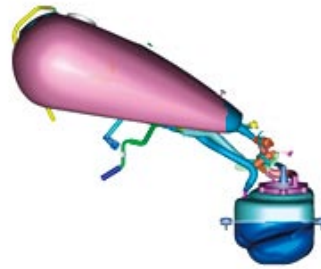


図 17 燃料タンク、サブタンク

5.4 フロント周り

ヘッドパイプとフロントフォークに6度のヨーク角をつけることで、デザインと乗りやすさを両立させている(図18)。視覚上はフロントフォークが倒れているが、ヨーク角をつけることでオフセット量をミニマムに抑え、ハンドリングの癖を取り去ることができた。機械加工と組立性に難はあったが、各関連部署の協力により克服することができた。

アンダーブラケットはV字形状のデザインとし、フォーク周りがよりライトなイメージになるようにした(図19)。また、ヘッドパイプBOXの中にメインハーネスとスロットルワイヤを、ハンドルバーとハンドルポスト(ホルダーハンドル)の中にハンドルスイッチのリード線を配索することで、フロント周りのクリーンな外観を達成している(図18参照)。

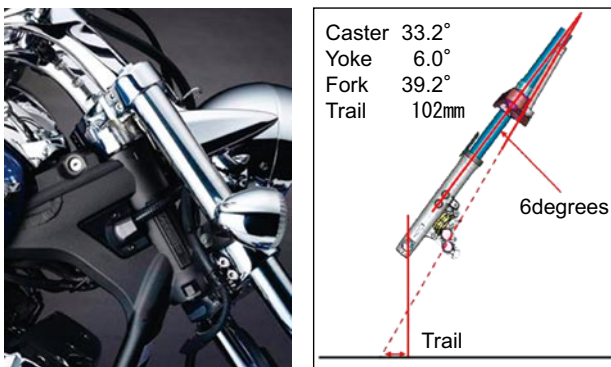


図 18 ヘッドパイプ周り



図 19 アンダーブラケット

5.5 フロント／リヤホイール

120/70-21のフロントホイールと、210/40R18のリヤホイール(図20)との組み合わせにより、今までの市販のカスタムスタイリング車のイメージを覆す操縦安定性を成立させた。リヤの幅広タイヤをROADLINERのディメンジョンで成立させるために、今回はカーボン心材を使った幅狭ベルトを採用した。



図 20 フロントホイール、リヤホイール

5.6 シート形状

シート高を低くするとともに、シート自体の形状の作り込みを行った。シットイン形状という、でん部がシートにはまり込み、一体感を感じる形状とした。リヤシートはデザインキーワードの” Black Art Quality”を展開し、特徴的な造形形状にした(図21)。



図 21 シート形状

6 おわりに

開発当初、本モデルの突出したデザインを不安視する声が上がったが、開発者の強い意志により、コンセプト通りのモデルを作り上げることができた。結果、現在の米国市場で好評を得ている。

この場をお借りし、難易度の高いチャレンジに賛同していただいた企画・開発・製造、すべてのメンバーに感謝いたします。

■著者



左から、

酢谷 茂智 Shigenori Sutani

MC事業本部 商品開発統括部 エンジン設計部

鈴木 正人 Masato Suzuki

MC事業本部 上海R&D

桑田 正明 Masaaki Kuwata

MC事業本部 商品開発統括部 第2ボディ設計部

前田 周 Shuu Maeda

MC事業本部 品質保証統括部 品質革新部

製品紹介

ATVスポーツモデル YFZ450R

ATV Sports Model YFZ450R

伊藤 英一 鈴木 豪仁 川村 浩史 川副 耕資 太田 啓二郎 大岡 久洋
下村 伊千郎 太田 博



図1 ATV スポーツモデル YFZ450R

Abstract

Yamaha Motor Co., Ltd. released the YFZ450 in 2003 as a “Pure Sport ATV.” The YFZ450 was developed with an engine based on the power unit of the production motocrosser YZ450F, with its reputation for outstanding performance. In the sport ATV category of the U.S. market with its annual demand of approximately 110,000 units, the YFZ450 has been the second-best selling model behind the Yamaha Raptor 700R. As this sales record indicates, the YFZ brand has won the trust and support of the market for its overall balance of outstanding performance and ease of use that appeals to a broad demographic from beginners to veteran riders.

Now, five years after the launch of the original YFZ450, we have developed and launched on the market the new model “YFZ450R” with the aim of securing a position of “The No. 1 Pure Sport ATV” by adding the latest spec improvements throughout to answer the expectations of today’s market. In this report we give a summary of this new model and its development.

1 はじめに

ヤマハ発動機(以下、当社)は、2003年にPure Sport ATV「YFZ450」を発売した。このYFZ450は、優れた走破性で定評のある当社製市販モトクロッサー「YZ450F」のエンジンをベースに開発したモデルで、USA市場において約11万台の規模をもつATVスポーツカテゴリーの中で、同じく当社製モデルである「Raptor700R」に次ぎ、2番目の売り上げを誇るモデルである。その売り上げが示すように、その卓越した性能と乗りやすさのトータルバランスが、ベテランからエントリーのお客様まで幅広く支持され、YFZブランドとして信頼を得ている。

初代モデルの発売より5年が経つ今、各部に最新スペックをまとい、市場の期待に応えた名実共にNo.1 Pure Sport ATVの座を堅持するモデルとして、Newモデル「YFZ450R」(図1)を市場に導入することとなった。ここにその概要を紹介する。

2 開発のねらい

本モデルは現行モデル「YFZ450」の「高次元なスポーツ走行が楽しめるPure Sports ATV」の基本コンセプトを継承しつつ、さらに広範囲の使用条件を想定してQFD(Quality Function Deployment:品質機能展開)を行い、以下の《キーワード》を抽出して、開発のねらいを設定した。表1にYFZ450Rの仕様諸元を、図2にフィーチャーマップを示す。

表1 YFZ450R 仕様諸元表

項 目	諸 元 値
全 長	1,795mm
全 幅	1,240mm
全 高	1,065mm
シ ー ト 高	810mm
軸 間 距 離	1,270mm
最 低 地 上 高	235mm
装 備 重 量	184kg
原 動 機	種 類 水冷・4 ストローク・DOHC・5バルブ
	排 気 量 449cm ³
	内 径 × 行 程 95.0mm × 63.4mm
	点 火 方 式 TCI
キ ャ ス タ ー	5°
ト レ ー ル	21mm
タ イ ヤ サ イ ズ	前 AT21 × 7R10
	後 AT20 × 10R9
ブ レ ー キ	前 油圧シングルディスク× 2
	後 油圧シングルディスク× 1
懸 架 方 式	前 ダブルウィッシュボーン・独立
	後 スイングアーム・非独立

- 1) エンジン:《ヒット感》
 - ・低中速域性能の向上
 - ・クイックなレスポンスとヒット感の両立
 - ・適応機能の向上
- 2) 車体:《応答性の良いハンドリング》
 - ・軽快性と安定性の両立
 - ・ライディングポジションの自由度向上
 - ・コンフォート性の向上
- 3) スタイリング:《Cool》
 - ・YZ/YFZ-DNAの継承
 - ・新規性と機能美の両立



図2 YFZ450R フィーチャーマップ

3 エンジン概要

3.1 YZ/YFZ-DNAの継承と進化

本モデルのエンジン(図3)は、市場で高い評価を得ているYZ450F/YFZ450のチタン製バルブ、マグネシウム製ヘッドカバー／クラッチカバー、アルミめっきシリンダー、鍛造ピストンといった技術を踏襲しつつ、軸配置の見直し、オイルタンク、および、オイル通路のクランクケース一体化等により、独自の進化を遂げている。

軸配置についてはクランク、バランサー、トランスミッションの基本的な部分からシフター系、始動系に至るまで、全面的な見直しを行い、軽量コンパクトという基本コンセプトを崩すことなく後述するエンジン性能向上に適應している。

最新のYZ450F等でも採用しているオイルタンク一体のクランクケースは、車体側のレイアウト自由度向上にも貢献している(図4)。例えば、左側ケースカバーとクランクケース本体との空間もオイルタンクとして有効に活用し、オイルタンク容量を増やすことでATVの特性(旋回時に受ける横Gの影響)にも配慮している。また、このレイアウトにより、現行モデルに対してエンジン前方に75mmのスペースが確保でき、そこに冷却水のリカバリータンクを配置している。



図3 エンジン外観

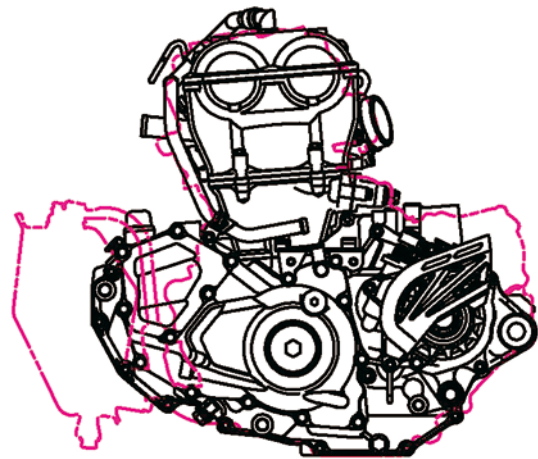


図4 現行モデルとのエンジンサイズ比較

3.2 低中速域性能の向上、クイックなレスポンスとヒット感の両立

スポーツカテゴリーの宿命であるエンジン性能向上に関しては、FI(Fuel Injection)採用も含め、扱いやすく、誰もが速く走れるエンジン特性とするため、“低中速性能の向上”を主眼にカム仕様の見直しを行った。吸排気系とのマッチングを図ることで、高速域を犠牲にすることなく大幅な改善を達成している。

FI装着に伴う燃料ポンプ等の電気負荷増大には希土類磁石発電機を採用して対応し、クランクシャフトについても大端周りのサイズアップをウェーブ形状の変更で相殺することで、クランク系の慣性マスを現行モデル同等とした。また、リヤサスペンションとフレームの間を通るエアクリーナーからスロットルボディへの吸気通路を滑らかにし、スロットルボディのバルブ位置も極力吸気バルブ側に近づけ、インジェクターからの燃料噴霧にも配慮した吸気ポート形状を採用する等の吸気系の最適化で、“クイックなレスポンスとヒット感の両立”を達成している。

3.3 コンフォート性にも配慮したエンジン

従来から採用している balanser については、クランク側とのバランス率の配分を見直し、ライダーに与える不快なエンジン振動を低減させ、コンフォート性も向上している。また、ISC (Idle Speed Control) を採用することで、エンジンの暖機状況や気象条件等に影響されることなく、アイドル回転数を一定に保ち、様々な環境での良好な始動性を確保している。

4 車体概要

4.1 フレーム

軽量化、低重心、強度の要求を踏まえ、当社製ATVとしては初めてフレーム上側部分をアルミとし、下面のみ鉄パイプ構成とした(図5)。アルミ部品は、金型鋳造、ダイカストの5部品のボルト結合とし、コスト低減、デザインの自由度拡大による新規性を実現した。また、リヤサスペンション周りの取付け等を1部品で完結するようにし、精度を確保している。フレーム下面については路面との接触が多いATVの使用状況を考慮し、従来通りの鉄パイプ構成とすることで耐久性を確保している。



図5 フレーム

4.2 サスペンション

前後ともワイドトレッドとし、ロングホイールトラベルとすることにより、悪路走破性、コーナリング性に加え、コンフォート性の向上を実現した。フロントサスペンション(図6)のタイプは、従来機種同様にダブルウィッシュボーンを採用。ジオメトリの最適化を行い、理想的なアライメント変化としている。フロントショックアブソーバーは、クラス最大のピストン径に加え、(株)ミヤキのカシマコート(超潤滑硬質アルマイト)を採用。衝撃吸収性とフィーリングの向上を実現。また、3ピース構造とすることで、外観品質も向上させた。



図6 フロントサスペンション

4.3 新規パターン開発による高性能タイヤ

タイヤは、現行モデルと同様にラジアルタイヤを採用し、コーナリング性、トラクションの両立を図った。車両特性に合わせるために、フロント(図7a)、リヤ(図7b)共にパターン含め新規開発をした。



図 7a フロントタイヤ

図 7b リヤタイヤ

4.4 リヤブレーキウェーブディスク採用

リヤブレーキディスクは、当社製ATV初となるウェーブディスク(図8)を採用し、軽量化と外観新規性を実現した。



図 8 リヤブレーキディスク

4.5 様々な走行シーンに対応する操作系

当社製ATV初となるYZタイプの可変ハンドルマウントを採用、スロットルレバー新作と合わせ操作性向上を実現した。また、新形状シート、ワイドフートレストの採用、リヤフェンダーのライダーの足が当たる部分に軟質樹脂等を採用したことにより、ライダーコンフォート性の向上も図った(図9)。



図 9 シート、フェンダー

4.5 外装部品

タンクからシート後端までの流れをフラットでスリムなレイアウトとすると共に、前後フェンダー間のスペースを大きく取るデザインにより、走行中のポジションの自由度を向上した。また、外装部品へ電装品を取付けないレイアウトとすると共に、取付けボルトを大幅に減らすことにより、外装部品の脱着を容易にし、整備性を向上した。

5

制御概要

5.1 Raptor700Rの踏襲と進化

本モデルでは、FI装着モデルとして市場実績のあるRaptor700RのECU(Engine Control Unit)の燃料噴射制御、点火制御、ダイアグノーシス機能を踏襲しつつも、スポーツATVに特化したECUを新作した。高性能32bitマイコンの採用、ISC機能の追加、ECUへの機能集約化を行い、高精度燃料噴射、耐環境性アップ、整備性アップ、小型軽量化を達成している。

5.2 小型ECUによる軽量化

ISC機能の追加や、複数のリレーを使っているスターターカットオフ回路のリレー機能を取り込んだにも関わらず、ECUのサイズアップを最小限に止め、軽量化に寄与している。

5.3 高精度燃料噴射制御

高性能32bitマイコン採用による制御周期短縮化によって、高回転運転時や過渡運転時の高精度燃料噴射演算を可能にした。これによりクイックなレスポンスやヒット感を達成している。

5.4 ダイアグノーシス機能

システムの簡素化のため、エンジンやセンサーが故障していることを知らせるダイアグノーシス機能は、エンジン警告ランプを点滅させることにより実現している。さらにサービスツールを接続することにより、モーターサイクルのメーターと同様に、以下の情報を表示してエンジン、センサー、アクチュエーターの状態が分かるようになっている。

- ・エンジン回転速度
- ・異常コード
- ・ダイアグモード

6

電装概要

6.1 軽量化

始動性を確保した上で、バッテリーを小型化し、ディスクコンミタイプの新型スターターモーターを採用することで、トータル約650gの軽量化を達成した。

6.2 ハーネスレイアウト

スポーツATVはモデルの性格上、車体をコンパクトにまとめる必要があり、必然的に内部スペースが狭くなる。さらに、FI装着による回路数の増加は、ワイヤーハーネスの幹線径を太くする要因となる。この相反する要件を成立させるためにジョイントコネクタを採用した。これにより、幹線内でのハーネスの往復を減らすことができ、幹線径を細くすることができた。

6.3 ヒューマンインターフェース

現行モデルでは、ニュートラル、水温警告灯のみであったが、本モデルではこれに加え、エンジン警告灯、および、燃料警告灯を追加することで、ユーザーの利便性向上を図っている。

7

おわりに

市場での評価はこれからとなるが、開発担当、各関連部署の努力により、初代YFZ450からの進化と高い性能／品質目標が実現でき、多くのお客様にご満足いただき、感動していただける商品に仕上げる事ができたと確信している。

今後も開発を通じ、お客様の期待を超える商品を提供し続けていきたいと考えている。最後に多大なご協力を頂きました関係各位にお礼を申し上げます。

■開発メンバー





スノーモビル RSVenture GT

The snowmobile model RSVenture GT

中野 太久二 澤淵 敦志 佐藤 隆行 真下 和人 竹田 達也 高柳 智一
岡田 弘之 窪田 隆彦 石井 一久



図 1 RSVenture GT

Abstract

The main markets for snowmobiles are the USA, Canada, Europe and Russia and the four main model categories are 1) sports, 2) tandem touring, 3) mountain and 4) utility-use models. Among these, tandem touring models account for about 20% of overall demand in the Canadian and European markets.

In light of this market make-up, Yamaha Motor Co., Ltd. has followed up on its launch of the 4-stroke snowmobile “RX-1” in 2002 with launches of three 4-stroke tandem touring models: the “RSVenture” in 2004, the “RS Viking Professional” in 2005 and the “Venture Multi-Purpose,” featuring a fuel injected 4-stroke engine, in 2006. The originally introduced RSVenture (hereafter “the original model”) won popularity in the market for its performance that was sporty enough to enjoy in solo riding as well as tandem riding. With the subsequent introduction of new models in this category by the competitors and other changes in the market, however, calls eventually emerged for a next-generation model from Yamaha for this category. Under these circumstances, the new model “RSVenture GT” was developed as the next-generation successor to the original model.

1 はじめに

スノーモビルの主な市場は、米国、カナダ、欧州、ロシアであり、モデルのカテゴリーは、①スポーツ、②2人乗りツーリング、③マウンテン、④ユーティリティの4つに大別される。そのうち、カナダ、欧州における2人乗りツーリングカテゴリーは、両市場全体の約2割を占めている。

そういった中、ヤマハ発動機(以下、当社)は、2002年に4ストロークスノーモビル「RX-1」を発売して以来、4ストロークの2人乗りツーリングモデルとして、2004年に「RSVenture」、2005年に「RS Viking Professional」、2006年にはFIエンジン搭載の「Venture Multi Purpose」を発表してきた。最初に投入したRSVenture(以下、現行モデル)は、1人乗りでも十分に楽しめるスポーティーさが受け、市場で高評価を得てきたが、競合他社の同カテゴリーへのニューモデル投入もあり、市場では、当社製次期モデルへの期待が高まっていた。このような状況の中、現行モデルの後継モデルである「RSVenture GT」(図1)を発売することとなったため、ここで紹介する。

2

開発のねらい

現行モデルの売りである、“1人乗りでも十分に楽しめるスポーティー感”を維持しつつ、“さらに2人でもっと楽しめるスポーツツアラー”をキーコンセプトとした。これを、以下の通りお客様目線で細分化し、これをさらに要求仕様に展開し開発を行った。

●キーコンセプト

“2人でもっと楽しめるスポーツツアラー”

●細分化したコンセプト

1) スポーティーに走る喜びを味わいたい!

＜要求仕様＞

- ・最高出力向上、および、中速トルク向上
- ・スロットルレスポンス向上

2) 2人で走る楽しみを味わいたい!

＜要求仕様＞

- ・ライダーフォワードポジション採用
- ・ウィンドプロテクション確保
- ・アジャスタブルバックレスト採用
- ・パッセンジャーの乗り心地向上

3) 最上級モデルを所有したい!

＜要求仕様＞

- ・低温始動性向上、および、メンテナンス頻度の低減
- ・上位モデルであるRX-1の前側外観、および、メーターの採用
- ・後側外観に新スタイリング採用
- ・LEDテールライト採用
- ・発電機出力アップ

これらを踏まえて設定したRSVenture GTの仕様諸元(表1)とフィーチャーマップ(図2)は次の通りである。

表 1 仕様諸元表

寸法	全長	3,185mm	ドライ ブ	動力伝達装置	1次減速機構	Vベルト自動変速機
	全幅	1,225mm			1次減速比	3.8～1:1
	全高	1,380mm			クラッチ機構	自動遠心式
エンジン	種類	4ストローク4バルブ			クラッチイン回転数	3,100rpm
	気筒数、配列	3気筒、並列			シフト回転数	8,250rpm
	冷却方式	水冷			2次減速機構	チェーン
	ボア×ストローク	82.0mm×66.2mm			2次減速比	1.70 (39/23)
	総排気量	1,049cm ³			総減速比	6.44～1.70
	圧縮比	11.0:1			リバーシ機構	有(減速比2.17)
	点火方式	TCI		制動装置	形式	ディスクブレーキ(油圧式)
	冷却水容量	5.4L			操作方法	左手
	潤滑方式	ドライサンプ			ブレーキ有効径	185(外径220)mm
	THBメーカー・型式	ミクニ、41E1DW×2			駐車ブレーキ	有
車体	フレーム形式(材質)	モノコック(アルミ)		緩衝装置	スキー	懸架方式 ダブルウィッシュボーン式 バネ方式 コイルスプリング
	ラゲッジボックス容量	28.4L			トラック	懸架方式 スライドレール式 バネ方式 コイルスプリング/ トーションスプリング
	スキースタンス	1,086mm				幅×接地長 381mm×985mm
	ハンドル幅	735mm				
	キャスト角	23°		電装	ヘッドライト	ハロゲン 12V60/55W×2
	最小回転半径	4.3m			テールライト	LED
	シート有効長	FR:401mm, RR:317mm			容量	12V 18AH
	フェーエルタンク容量	35.6L				
	オイルタンク容量	2.8L				

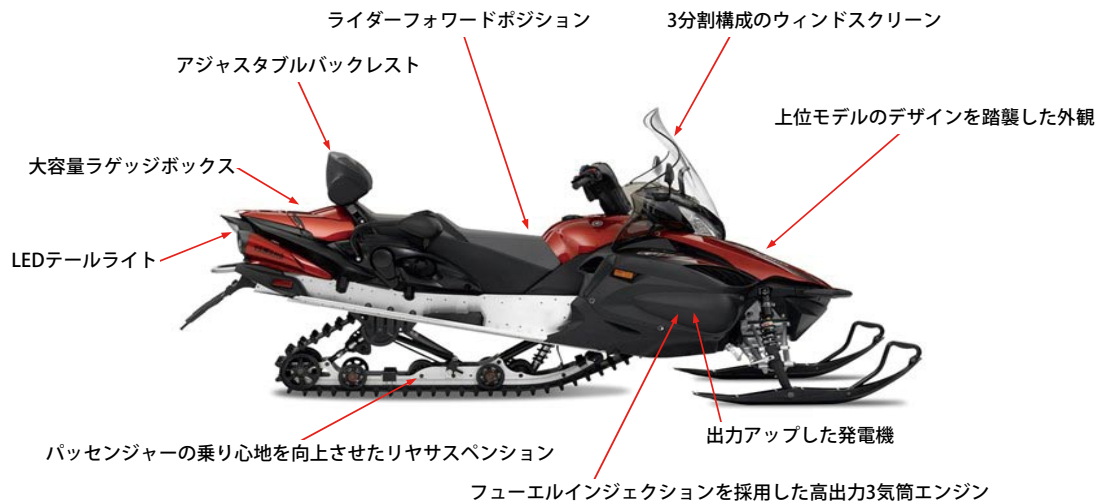


図 2 フィーチャーマップ

3 エンジン概要

RSVenture GTのエンジンは、“スポーティーに走る喜びを味わいたい!”との要望に応えるため、2007年に発売開始したモデル「FX Nytro」用エンジンをベースに開発を行った(図3、図4)。ツーリングモデルというキャラクターに合わせて、中低速トルクを上げ、力強さを出し、さらに、常用使用回転数を下げることにより、静粛性、走行燃費向上を達成した。なお、現行モデルからの変更内容という観点からは、主に以下の変更点が挙げられる。

＜現行モデルからの変更点＞

- ・フューエルインジェクション装着 ⇒
- ・排気量アップ(973cm³→1,049cm³) ⇒
- ・油圧カムテンショナー採用 ⇒
- ・クランクシャフト軽量化 ⇒
- ・アイドルスピードコントロール ⇒

＜その効果＞

- ・メンテナンス頻度の低減／低温始動性向上
- ・全域のトルクアップ／最大出力向上
- ・カムチェーン挙動の安定化
- ・エンジンレスポンスアップ
- ・アイドル回転数調整不要
- ・エンジンブレーキ低減による減速時の
フィーリング向上

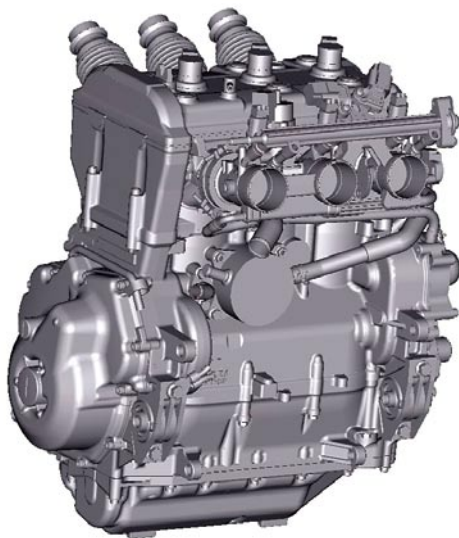


図3 エンジン外観

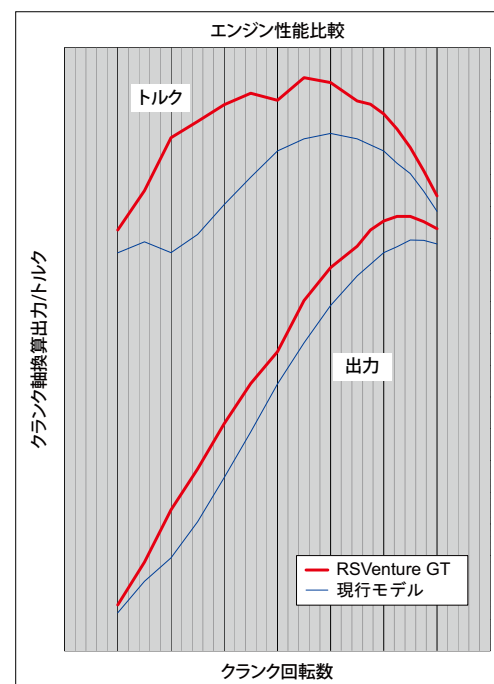


図4 エンジン性能比較

4 車体概要

“2人で走る楽しみを味わいたい!”, “最上級モデルを所有したい!”との要望に応えるため、車体では以下の仕様展開を行った。

4.1 ライダーポジション

RX-1にて好評を得ている“ライダーフォワードポジション”を本モデルにも採用した(図5)。このポジションは、着座から立ち乗りへのスムーズな移行をサポートし、これが走行時の疲労軽減、ギャップ路走行時の安心感を生んでいる。さらに、RX-1に対して幅広のシート形状とすることで、臀部にかかる面圧を下げ、ツーリングモデルとしての快適性を実現した。

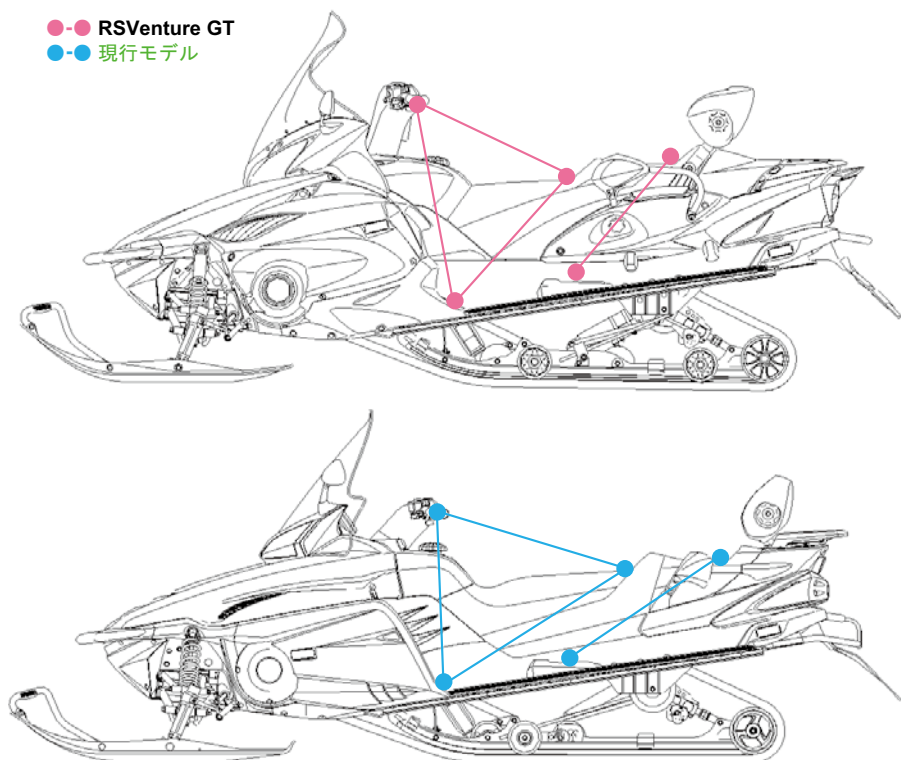


図5 ライディングポジション比較

4.2 ウィンドプロテクション

スノーモビルツーリングは当然、寒冷地で行われる。そのため、ウィンドプロテクションに対するお客様の要望は非常に高い。そういった中、現行モデルのうち、TFというバリエーションモデルはこの要望に高い次元で応えることができていた。そこで、本モデルは、このTFのウィンドプロテクション性能を目標に開発に着手した。しかしながら、ライダーフォワードポジションの採用に伴い、ライダー乗車位置が前方かつ上方へ移動するため、ウィンドスクリーンもこれに合わせて大きく設計を変更する必要がある(図6)。また、ウィンドプロテクションを満足させるためには全投影面積を大きくする必要があるが、これは高速走行時のウィンドスクリーンの変形に対しては不利に働く。これらを踏まえて、流体解析、強度解析、風洞テストを雪上テスト前に実施し、十分な仕様検討を前もって実施したことで、TFと同等以上の高いウィンドプロテクション性能を達成した(図7、図8)。

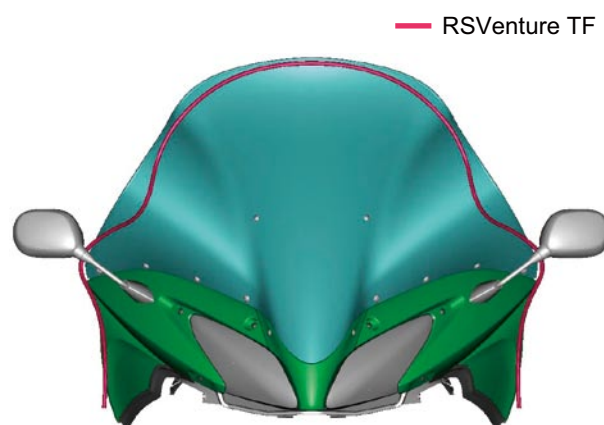


図6 ウィンドスクリーン形状比較

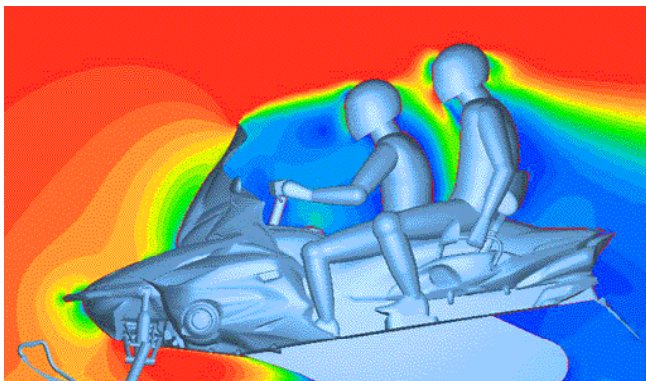


図7 ウィンドプロテクション解析結果



図8 ウィンドプロテクション実験風景

さらに、スタイリングにおいてもお客様に満足頂けるよう、部品構成に配慮した。現行モデルのウィンドスクリーンは熱プレス成形品1個での構成であったが、本モデルでは、両サイド、および、中央の3分割構成とし、かつ、両サイドの部品にインジェクション成形品を採用することにより、熱プレス成形品1個では表現できなかった造形美を実現した(図9)。



図9 分割構成のウィンドスクリーン

4.3 アジャスタブルバックレスト

市場では、パッセンジャーとして、大柄な方や小柄な方など、いろいろな体格の方が乗車する。本モデルでは、これに対応すべくアジャスタブルバックレストを採用した。バックレストに位置と角度調節の機能を付加することにより、お客様の体格や、その時々体調に合った微妙な要望に応えられるようになっている。さらに、パッセンジャーを両脇から包み込むようなクッション形状とすることで、コーナリング時などにおけるパッセンジャーの安心感の向上を図った。また、アジャストによっては、ライダー用のバックレストとしても機能できるようレイアウトした(図10)。



図10 ライダーサポート状態のバックレスト

4.4 外装

眺めているだけでも満足感を得られるようなモデルとするため、上位モデルであるRX-1の前側外装や、LEDタイプのテールライトを採用した。さらに、美しい塗装部品を新作し、これを車両にバランスよく配置することで、GTモデルとしての高級感を訴求した。また、シート後部に28Lの大容量ラゲッジボックスを確保したが、この周辺の外観スペースを利用して軽快感のあるスタイリングの演出を図った(図11a、図11b)。以上により、モデル全体として高級感のあるスタイリングを実現した。



a) ラゲッジボックスのふた閉時



b) ラゲッジボックスのふた開時

図 11 後側外観

4.5 リヤサスペンション

“2人でもっと楽しめるスポーツツアラー”をコンセプトに、パッセンジャー着座位置をリヤサスペンションの中央付近に変更し、これに合わせて、サスペンションの反力特性と出力位置を最適化した。さらに、センターショックアブソーバーの容量アップ、リヤショックアブソーバーの容量アップと減衰アジャストを採用することで、2人乗りにおけるパッセンジャーの乗り心地は格段に向上した。また、各構成部品の強度アップ、リヤサスペンション全体のねじれ剛性を向上させたことで、ギャップ走破性能・耐久性は目標以上のレベルを達成した(図12)。

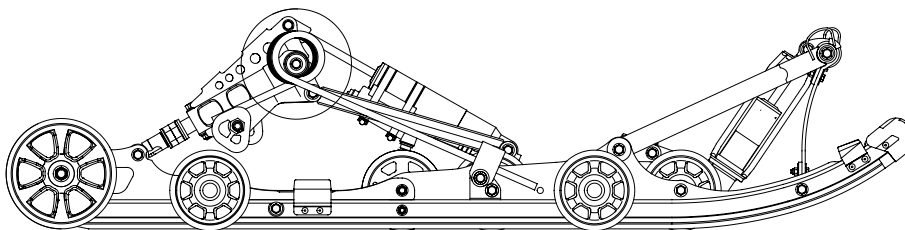


図 12 リヤサスペンション

4.6 電装

GPSやヘルメットのシールドヒーター(曇り取り用)などを使いたいというお客様の要望に応えるべく、発電機の出力量アップを図った。これにより、2種類のDCアウトプットの設定を可能とし、なおかつ、現行モデルでは制御していたアイドリング時のライダー、および、パッセンジャー用グリップウォーマーの発熱量を最大近くまで使用できるようにした。これにより、走行前のエンジン暖気時などにおいてもお客様に快適さを提供することを可能とした。また、メーターは、上位モデルであるRX-1用をベースとし、さらに、フューエルトリップや、オイル交換時期を知らせるオイルトリップメーター機能を追加し、サービス性の向上を図った。

5

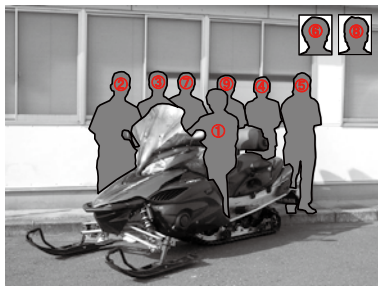
おわりに

スポーツツアラーというモデルカテゴリーへの要求品質は高く、これを満足すべく、開発期間中、細部まで徹底的に作り込みを行った。この結果、でき上がった今回のモデルの完成度は非常に高く、多くのお客様に満足頂けるものと確信している(図13)。開発中の作り込みは開発部門だけでは成り立たず、社内外問わず、ここでは書ききれない数多くの方の協力が不可欠であった。最後に、本誌面をお借りして、関係各位に厚く御礼申し上げます。



図 13 試乗風景

■著者



①中野 太久二 NAKANO, Takuji
RVカンパニー

②澤淵 敦志 SAWABUCHI, Atsushi
RVカンパニー RV開発部

③佐藤 隆行 SATOU, Takayuki
RVカンパニー RV開発部

④真下 和人 MASHIMO, Kazuto
MC事業本部 商品開発統括部 コンポーネント開発部

⑤竹田 達也 TAKEDA, Tatsuya
MC事業本部 商品開発統括部 コンポーネント開発部

⑥高柳 智一 TAKAYANAGI, Tomokazu
MC事業本部 商品開発統括部 コンポーネント開発部

⑦岡田 弘之 OKADA, Hiroyuki
RVカンパニー RV開発部

⑧窪田 隆彦 KUBOTA, Takahiko
RVカンパニー RV開発部

⑨石井 一久 ISHII, Kazuhisa
RVカンパニー RV開発部

技術紹介

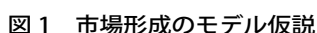
原以起 米田洋之

Planning new businesses and new products means discovering “new value” that facilitates the creation of future new markets as well as pioneering and uncovering new demand. However, in mature markets where commodities are overflowing and consumer values are also diversified, it becomes extremely difficult to find out just what is likely to succeed and then to go on to create and validate it. A particularly crucial key to creating products with new value is how well one can capture the latent values of consumer groups.

This paper presents the results obtained to date from this research.

新事業・新商品の企画とは、将来、新市場を形成できるような“新しい価値”を発見し、「新しい需要を開拓する・掘り起こす」ことである。ところが、モノやコトが何不自由ない程満ち溢れ、消費者の価値観も多様化した成熟市場においては、いったいどんな価値ならイケそうなのか・・・それを創出し、検証を進めていくのは極めて難しくなる。特に、潜在的な価値観を持つ消費者のグループをいかにうまく捉えられるかは、新しい価値を具現化する上で、極めて重要な鍵となってくる(図1)。

本稿では、当研究内容について、これまでに得られた成果を紹介する。



2

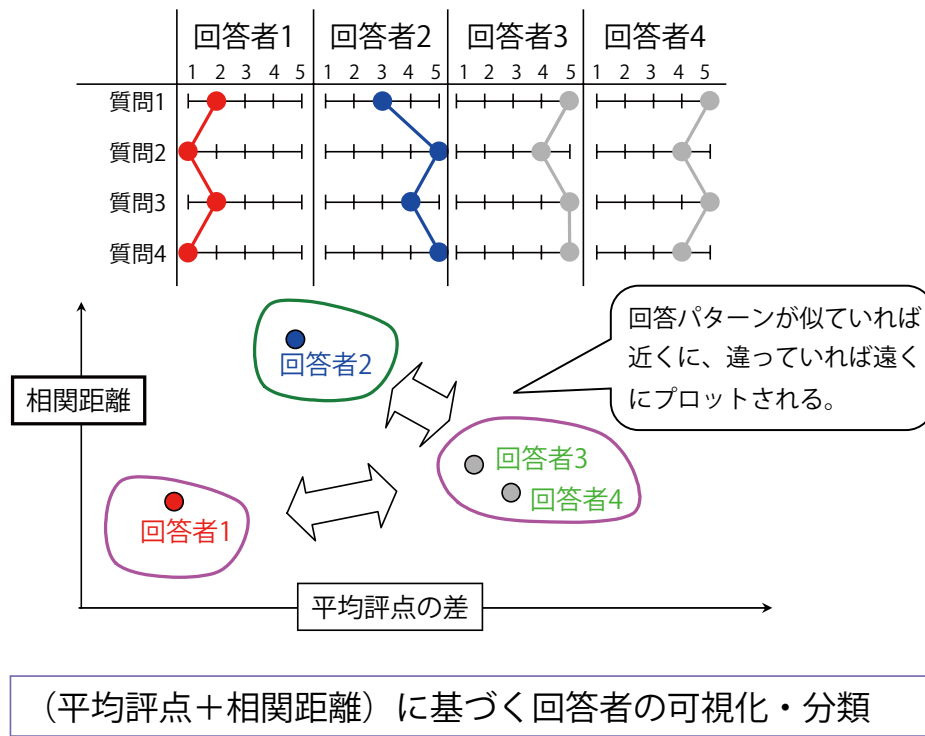


図2 評点相関マップの原理

では、回答者2と回答者3や4とはどうだろうか。点数そのものは、いずれも“高め”なので、一見すると同じようなグループに属しそうだ。しかし、回答パターンをみると、“逆転”傾向にある(実際に相関係数を求めると、マイナス相関となる)。両者の共通点は、質問毎の点数が高めであることだけである。という具合に、回答パターンの類似性が、距離に置き換え表現される。

ところが、ここでちょっとした問題が考えられる。回答者1と回答者3、4のグループについてみる場合がそれだ。これらの違いはかなり明白である・・・ように見える。なにしろ、点数自体が1～2付近を行ったり来たりしているのと、4～5付近なのとでは、ある対象に対する評価は全く違うといってよい。しかし、特に回答者1と回答者4と比べてみると、回答パターンは同じである。故にこの両者については、次のような解釈だって成り立ってしまう。

「回答者1は、基本的に評価がシビアで、めったに高得点を付けない。回答者4は、いつも評価が友好的で、よほど意にそぐわない限り、高得点を付ける。ということは、この2人は、単に点数を付けるときの“水準”が違うだけで、ある対象に対する印象は同じかもしれない・・・」

このように、回答パターンからの分析だけで、それぞれのグループの特徴を捉えることは危険なので、マーケティングの現場で必要となる「各グループの特徴付け」を“安全に”行うため、当手法では、常にその対象に対する「購買意欲度」や、後に述べる「プロファイリング」とセットで調査・解析を行っている。

3 検証事例

続いて実際の調査での検証事例を紹介する。今回は、事業開発部における新事業テーマ探索活動の一環として行われた「アウトドアライフスタイル調査」でトライした。図3にあるように、新しいアウトドアでのアクティビティ(シーン)のアイデアを6つ提示し、それぞれのアクティビティに対する印象質問10個に対して、その“あてはまる度合い”を5段階で回答してもらい、「評点相関マップ」を用いて、これらの事象全体に対する共感度別に分類した。ここでは図4のように、まず「共感層」「中間層」「非共感層」という大きな3つのグループに分類できた。さらに、それぞれの回答パターンを詳細に見ていくと「A」「B」グループに分けられ、全部で6つのグループが形成された。

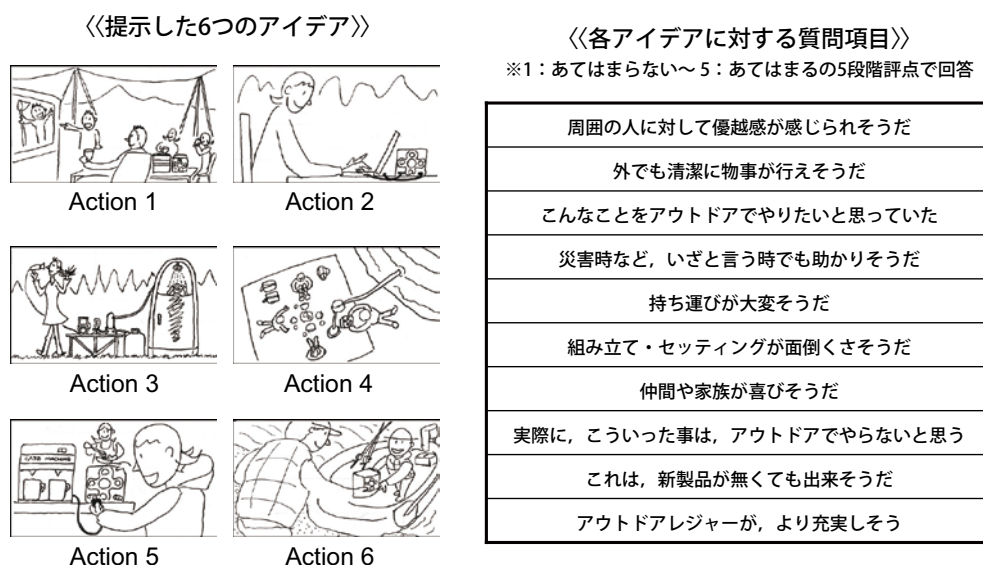


図3 アウトドアライフスタイル調査事例(抜粋)

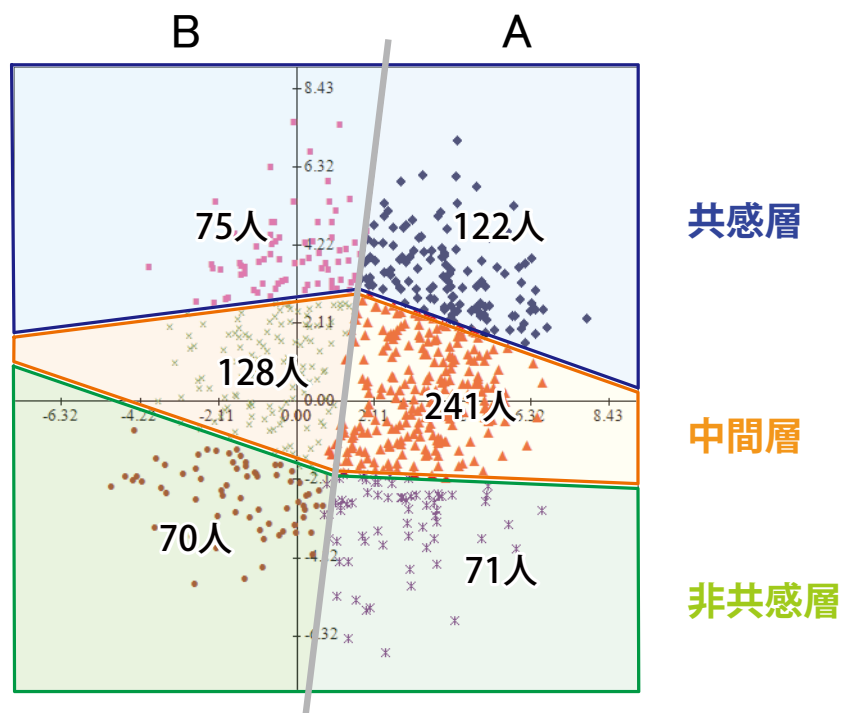


図4 評点相関マップによるアウトプット

次に、各グループの質問と評点そのものに着目し、対象に対する“特徴的な傾向”を同チャート上に表現した(図5)。ここから読み取れることは、

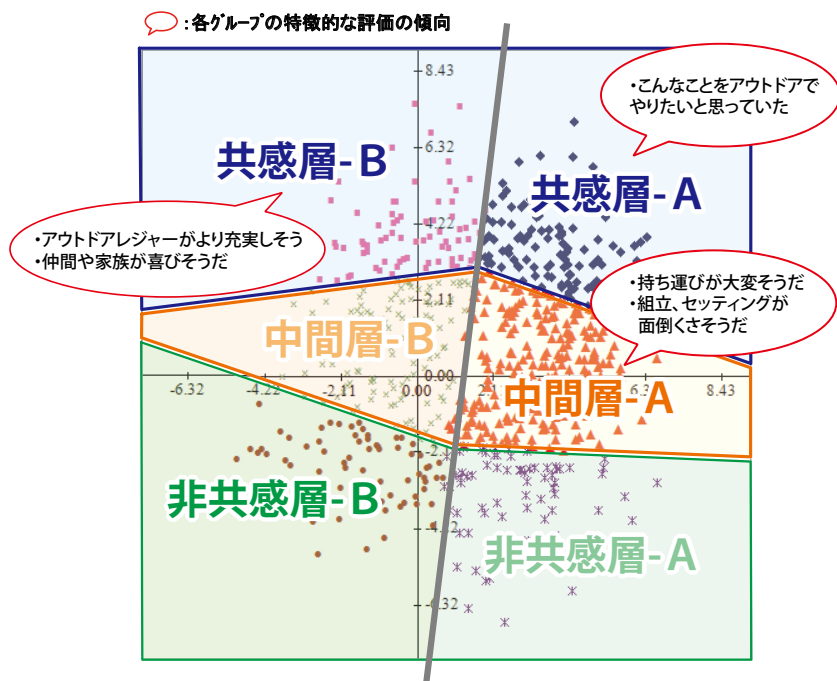


図5 対象に対する評価の傾向

①共感層の中でも、AとBとは共感の主要因が微妙に違う。

②中間層のうちAグループについては共感し得ない理由が明確に現れている。

このように、普通は一括りにしてしまいがちな微妙な差を持つグループを見出すことで、潜在的なニーズや価値観の発見が可能であることが分かった。

では、こうしたことは、従来手法では見えないのだろうか？企画者が日頃より慣れ親しんでいる「主成分分析」を用いて分析し、その結果で比較してみた(図6)。ここでは、回答者が“共感する／共感しない”理由として、何が効いているのかを抽出しているが、どちらの理由も複数の項目が重なって表現され、全体的な“ムード”はつかめるものの、その中でどの要因が決定的なのかは、はっきりとは分からない。あくまでも主成分分析は、調査対象や回答者の全体的な傾向を捉えるのに適しているのもので、多くの要因が絡む問題をまずシンプルに理解する時に用いるべきである。逆に、異なるグループ間の感性の微妙な違いを抽出したい時には、この「評点相関マップ」が威力を発揮しそうだということが分かった。

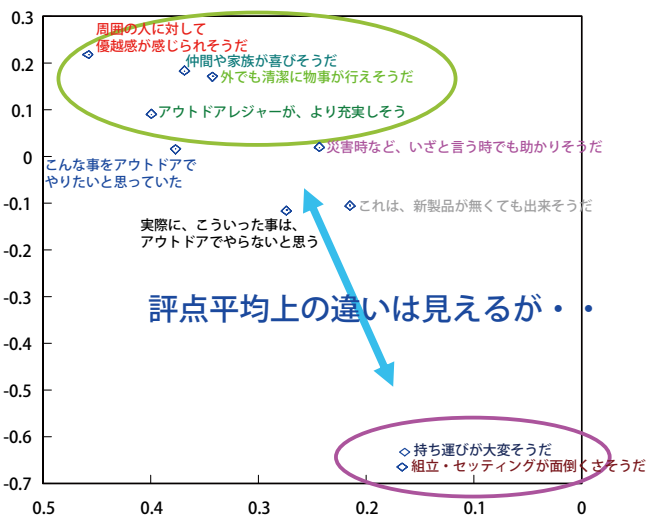


図6 主成分分析によるアウトプット

次に、分類された各グループを特徴付ける「プロファイリング」を行うために、基本的な属性(性別、年齢など)の他に、趣味、消費特性についても質問している(図7)。これらの情報を「数量化Ⅲ類」という手法を用いて、先の評点相関マップで得られたグループごとに「特徴付け(プロファイリング)」を行った(図8)。ここから、この調査で知りたかった「ちょっと変わっていて、でもちょっと新しいアウトドアライフ」に共感する人達の人となりは、下記のような特徴があるということが見て取れる。

- ・Aグループ:「LOHASな生き方」に共感し、「自然環境保護のため実行できること」はやっていて、でも「ブランド物が好き」な、性別に関係なく30歳代を中心とした人達。
- ・Bグループ:「ペット」や「旅行」が好きで、「日常の消耗品にこだわり」があり、「ガーデニング」や「マネー情報」にも興味がある人達。

興味深いのは、同じ共感層でも、このように個性が全く異なるグループが存在することが分かったことだ(それは中間層でも非共感層でも同じことがいえる)。

以上のことから、当プロセスは、はじめに立てたターゲットの仮説、商品の仮説の正否を判断するだけでなく、予め予想し得なかったターゲット層やニーズの発見によって、企画者が目指すべき方向を、先入観に囚われない新鮮な視点から再考察することを可能とし、企画の精度向上を図ることができる。また、こうした企画面でのメリットのみならず、初期想定とは違う客層とのコミュニケーション(メディアの選択やキャッチコピーの作成)など、新製品のプロモーション戦略にも応用できるものと考えられる。

趣味	消費特性	年代, 性別
エンターテインメント	デザインよりも機能や性能を重視する	20-29歳
旅行	新製品に興味がある	30-39歳
アウトドアレジャー	既製品をカスタマイズするのが好きだ	40-49歳
スポーツ	“ブランド”ものが好きだ	50-60歳
ファッション・ビューティー	日常の消耗品でもデザインにこだわる	男性
IT・パソコン・デジタル家電	デザインやブランドより価格を重視する	女性
ビジネスキャリア	自然環境保護のため、実行できることをやっている	
マネー情報	ストレス解消が得意だ (リフレッシュ術を知っている)	
住宅・インテリア	仕事に満足していない	
クルマ・バイク	人生に刺激を求める	
ライフ (生活情報)	時間で管理される仕事のほうが自分に合っている	
スポーツ観戦	目標のために頑張るのは苦にならない	
料理	防災情報や防災番組に興味がある	
ペット	LOHAS (ロハス) な生き方に共感する	
ガーデニング	防災用品を充実させたい	
	時間があればアウトドアレジャーに出かける	
	アウトドアレジャーに出かけたいと、しばしば思う	
	私生活に満足している	

図7 プロファイリング設問

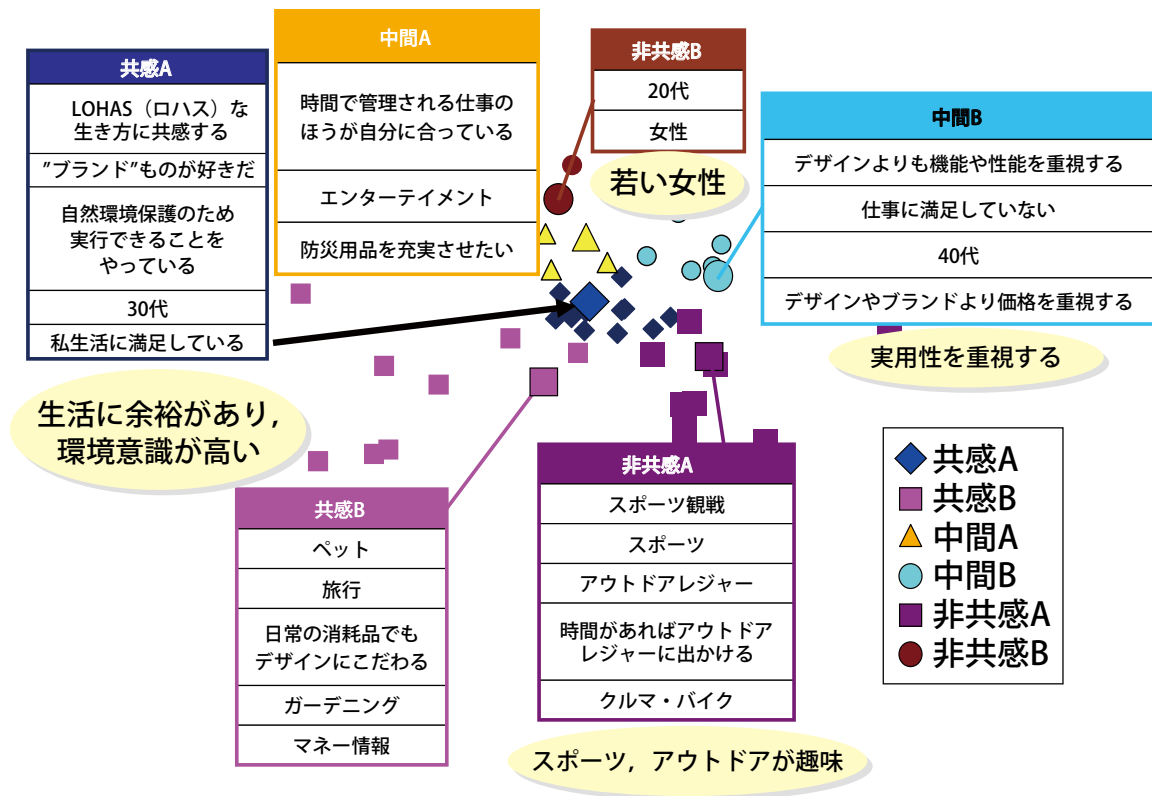


図8 プロファイリング

4 ツール化

ここまで、潜在的な価値観を持つグループの発見のための理論について述べてきた。今年度は、基礎的な理論の検証を終え、いよいよ前述のような分析をなるべく容易に行うことができるツール(ソフトウェア)の製作ステージに移行した。我々が製作しているツール(図9)は「VDA: Visual Data Analyzer」と名付けられ、潜在的グループ発見の核となる「評点相関マップ」の他、回答のノイズ(まじめに答えていない、誤記、回答漏れ等)を除去するフィルタ機能、プロファイリング機能、自由記述からキーワードを抽出するテキストマイニング機能も備え、それらを分析の目的に応じて自由に組み合わせられると共に、プロセスを可視化しながら「直感的に解析を進められる」といった特徴を持つアンケート調査分析ソフトである。このツールによって、ただでさえ難解な統計解析技術を少しでも身近なものにし、商品企画や営業政策に関わっている人達が、自分の納得のいくまで、何度も仮説検証を繰り返しながら、コンセプトを自分の腹に落とすといったような、企画現場の課題解決に少なからず貢献できるものと信じている。

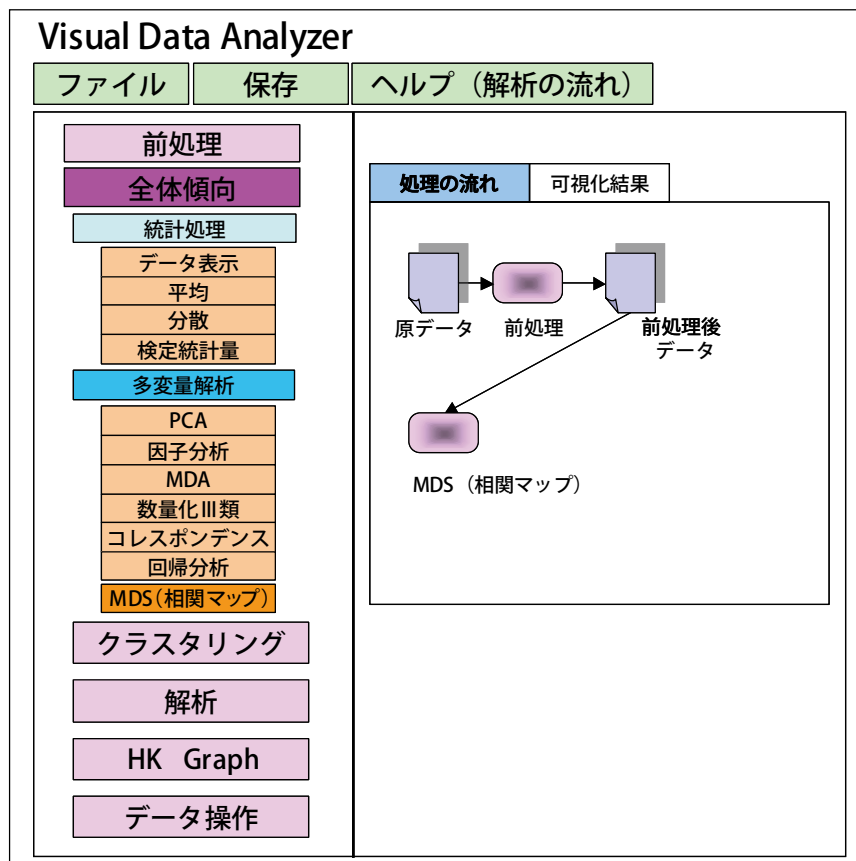


図 9 Visual Data Analyzer 画面イメージ

5 おわりに

冒頭述べたように、当研究は、名古屋大学大学院計算理工学専攻—古橋・吉川研究室との共同作業で進められているものである。この活動は、大学の研究者と企業の企画者という、いわば全く違う価値観・目的・個性を持った者同士が交流し協力し合うことで成り立っている。研究室の教授をはじめ、スタッフの皆様には、時には企業側の論理を押し付ける場面も多々ある中で、その都度ご理解頂き、目標を共有し、達成に向けご尽力して頂いたことに、この場を借りて感謝致します。

■参考文献

- 1) 伊藤寛訓, 吉川大弘, 古橋武 (名古屋大学), 原以起, 望月卓也 (ヤマハ発動機株式会社): “評点の相関に基づく回答者の可視化に関する検討”, 第9回日本感性工学会総会・大会, D75 (6p), 2007.8.3
- 2) 伊藤寛訓, 吉川大弘, 古橋武 (名古屋大学), 原以起, 望月卓也 (ヤマハ発動機株式会社): “個性により分類された回答者群の特徴づけに関する検討”, 第23回ファジィシステムシンポジウム, pp.48-52, 2007.8.29
- 3) 深見俊和, 吉川大弘, 古橋武 (名古屋大学), 原以起, 山田剛 (ヤマハ発動機株式会社): “評点傾向と平均評点に基づいた2次元マップを用いたアンケートデータ解析”, 情報・システムソサイエティ誌, 2008.年2月
- 4) 山家慎一郎, 吉川大弘, 古橋武 (名古屋大学), 原以起, 山田剛 (ヤマハ発動機株式会社): “被験者群の属性傾向の可視化による意味づけに関する検討”, 2008.年2月
- 5) 深見俊和, 吉川大弘, 古橋武 (名古屋大学), 原以起, 米田洋之 (ヤマハ発動機株式会社): “可視空間上でのインタラクティブクラスタリングによるマイノリティ発見に関する検討”, 2008.年9月

■著者



原 以起

Ioki Hara

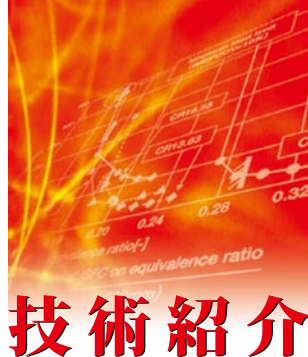
コーポレートR&D統括部
事業開発部



米田 洋之

Hiroyuki Yoneda

コーポレートR&D統括部
事業開発部



技術紹介

UMVのためのカルマンフィルタを応用した 姿勢センサー静定技術の紹介

Static Determinacy Technology for a Kalman Filter-fitted Attitude Sensor
for UMVs

木戸 徹

Abstract

Yamaha Motor Co., Ltd. is involved in the development of a small autonomous, unmanned electric-powered marine observation vehicle (UMV) for scientific measurement or surveillance purposes. One of the essential technologies for an autonomous vehicle or craft is sensing technology to determine the attitude angles of the vehicle/craft itself. Attitude sensing can be achieved by measuring attitude angle acceleration with a gyro-sensor and applying time integration to the resulting data. Due to the fact that integration alone produces an accumulation of deviation data, an attitude sensing system is normally augmented by means of an acceleration sensor and direction sensor to correct for integration error. However, the data output from a gyro-sensor contains a bias component that differs with each power-on operation, and if this bias component is allowed to accumulate without being compensated for, even augmenting the system with an acceleration sensor will not eliminate the element of error.

In this paper we report on the development of an attitude angle calculation method employing an extended Kalman filter (EKF) and simultaneously performing a gyro bias estimation function and the results of this method in application on a UMV.

1 はじめに

ヤマハ発動機では、計測・測量用途を目的とした自律型無人小型電動観測船(Unmanned Marine Vehicle 以下、UMV)(図1)を開発している。自律移動体にとって、自身の姿勢角をセンシングする技術は不可欠な要素技術のひとつである。姿勢角をセンシングするにはジャイロセンサーで角速度を計測し、それを時間積分することで求めることができる。積分のみでは誤差が蓄積されていくため、一般的には加速度センサーおよび方位センサーと複合化することで積分誤差を補正する。ジャイロセンサー出力には電源投入毎に異なる値のバイアス成分が含まれており、このバイアス分を除去しないまま積分すると、例え加速度センサーと複合化したとしても誤差を除去することができない。



図1 自律型無人小型電動観測船の外観

本稿では、拡張型カルマンフィルタ(Extended Kalman Filter 以下、EKF)を適用したジャイロバイアス量推定も同時に行う姿勢角演算手法と、これをUMVに適用した結果を紹介する。

2 UMVの概要

①主な用途

- 前方監視ソナーによる水中探査、捜査、観察
- ナローマルチビームによるダム の堆砂測量
- 海底藻場の観察や調査
- ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler: 音響ドップラー流速計)による河川の流速分布調査

②主要諸元

全長	2.85 m (防舷材を含まず)
全幅	0.98 m
主機	DCモータ×2機
満載排水量	200 kg
最大速力	4 knot(巡航速力 3 knot)
航続距離	20km

③動作モード

- 自律制御モード
- 無線操縦モード

④通信機能

- 無線LAN IEEE802.11b または 3G携帯電話

3 EKFを適用した姿勢角推定システム開発のねらい

地上で電源投入できる移動体であれば、起動後に静止状態を保つことで、その状態でのジャイロセンサー出力値をバイアス値として検出する手法が使える。しかしながら揺れる水上で起動するUMVではその適用が難しく、小型なUMVは小さな波にも揺られやすい。そこで、EKFを適用し、姿勢角推定とともにジャイロバイアス推定も同時に行う姿勢角演算手法をUMVに適用した。使用したジャイロセンサーのバイアスの大きさは、仕様では $\pm 1 \text{ deg/sec}$ 未満である。バイアス推定の誤差目標は、各軸で $\pm 0.05 \text{ deg/sec}$ 以下とした。

4 姿勢角推定システム概要

4.1 システム構成要素

姿勢角推定システムの構成要素を図2に示す。センサー部と姿勢演算部に大別される。センサー部は、船体軸のロール、ピッチ、ヨー方向の3軸の角速度を検出するジャイロセンサーと船体軸のX、Y、Z方向の加速度を検出する加速度センサーから成る慣性センサーユニット(ストラップダウン方式)と、UMVの船首向きを絶対方位で検出する磁気方位センサーから構成される。3軸加速度センサーから求まる傾斜角は、角速度積分によるロール/ピッチ角の蓄積誤差を補正、同様に磁気方位センサーからの絶対方位はヨー角の蓄積誤差を補正する役割を持つ。

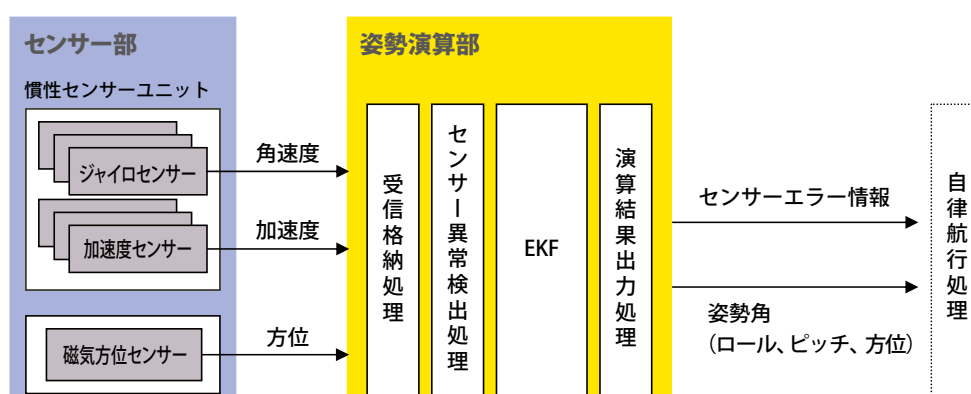


図2 システム構成

4.2 フィルタ演算部

姿勢演算部では、EKFによる姿勢角推定演算を行う。図3はEKFで解く状態方程式と観測方程式である。状態変数 x の ϕ 、 θ 、 ψ が求めたい船体の姿勢角であり、 b_r 、 b_p 、 b_y が姿勢角と同時に推定されるジャイロバイアス値である。座標系は、原点が船体中心で原点を含む地球局所水平面をxy平面、鉛直下方向をz軸とした。状態方程式は、船体軸での真の角速度 ω がオイラー変換されて姿勢角の時間微分となる関係を示している。真の角速度 ω は、ジャイロセンサーからの観測角速度 ω_m から直接は観測できないバイアス分 b と観測ノイズ分 w を補正した値としてモデル化している。また、推定バイアス b については、使用した光ファイバージャイロの安定性からバイアス時間変化は0として扱った。観測値は、3軸加速度の観測値 a と方位 h である。観測方程式は、重力方向を鉛直方向として、姿勢角により成分分解される重力と加速度観測値 a との関係、および、方位＝ヨー角が成り立つ式とした。

状態変数

$$\mathbf{x} = (\varphi \quad \theta \quad \psi \quad b_r \quad b_p \quad b_y)^T \quad \text{状態の中にバイアス値を盛り込み、姿勢角の推定と同時にバイアス値も推定する}$$

状態方程式

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \\ \dot{b}_r \\ \dot{b}_p \\ \dot{b}_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \sin \varphi \tan \theta & \cos \varphi \tan \theta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \varphi \sec \theta & \cos \varphi \sec \theta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_{mr} - b_r + w_r \\ \omega_{mp} - b_p + w_p \\ \omega_{my} - b_y + w_y \\ b_r \\ b_p \\ b_y \end{pmatrix} = f(\mathbf{x}(t), \mathbf{w}(t))$$

φ : ロール角
 θ : ピッチ角
 ψ : ヨー角
 b_r : 船体ロール軸ジャイロ推定バイアス
 b_p : 船体ピッチ軸ジャイロ推定バイアス
 b_y : 船体ヨー軸ジャイロ推定バイアス
 ω_{mr} : 船体ロールレート(ジャイロ観測値)
 ω_{mp} : 船体ピッチレート(ジャイロ観測値)
 ω_{my} : 船体ヨーレート(ジャイロ観測値)
 w_r : 観測ノイズ
 w_p : 観測ノイズ
 w_y : 観測ノイズ

観測値

$$\mathbf{y} = (a_x \quad a_y \quad a_z \quad h)^T$$

観測方程式

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} g * \sin \theta \\ -g * \sin \theta \cos \theta \\ -g * \cos \varphi \cos \theta \\ \psi \end{pmatrix} + \mathbf{v} = h(\mathbf{x}(t)) + \mathbf{v}$$

a_x : 車体軸x軸加速度
 a_y : 車体軸y軸加速度
 a_z : 車体軸z軸加速度
 h : 方位
 g : 重力加速度
 \mathbf{v} : 観測ノイズ

図3 状態モデルと観測モデル

5 搭載結果

本システムをUMVに搭載し航行させた時の計測結果を示す。表1は、評価を行った時の水面の揺れの程度を示すために掲載した。表1の環境下で本システムを水上で起動し、図4に示す軌跡でUMVを航行させた時のバイアス推定精度を評価した。評価にあたり、バイアス推定が正しく行われているか否かを確認できるように、あらかじめ地上にてジャイロバイアス検出を行い、バイアス値を0近傍に校正した上で、故意に一定値のバイアス値をジャイロ出力に加算した。加算したバイアス値は、ロール軸0.5deg/sec、ピッチ軸-0.7deg/sec、ヨー軸+0.9deg/secである。

図5は、こうして取得した起動から航行終了までの本システムでのバイアス推定結果(横軸は起動からの経過時間(sec))である。300sec経過時のバイアス推定結果として、それぞれの軸において加算したバイアス値を真値と見た時の推定バイアスの誤差が0.05deg/sec以下となっており、目標を達成する結果を得ることができた。

表1 評価時におけるUMVの揺れの程度

	角速度 (deg/sec)		最大傾斜角 (deg)
	平均 (絶対値)	最大	
ロール軸	15.0	± 60	± 10
ピッチ軸	7.1	± 30	± 6~7

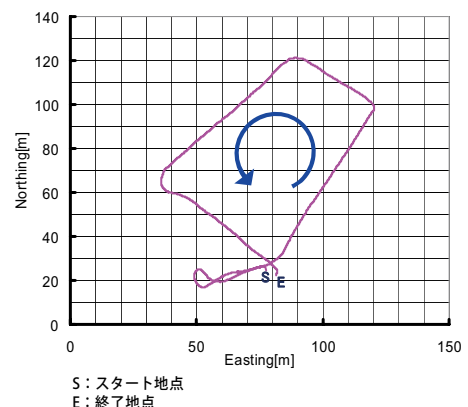
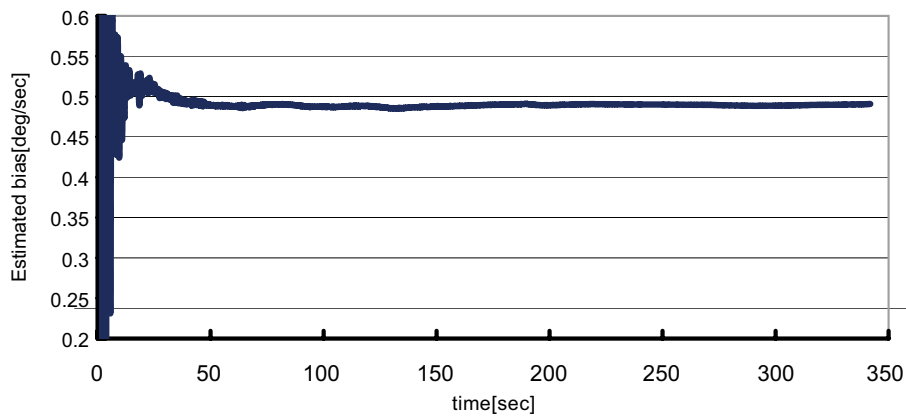
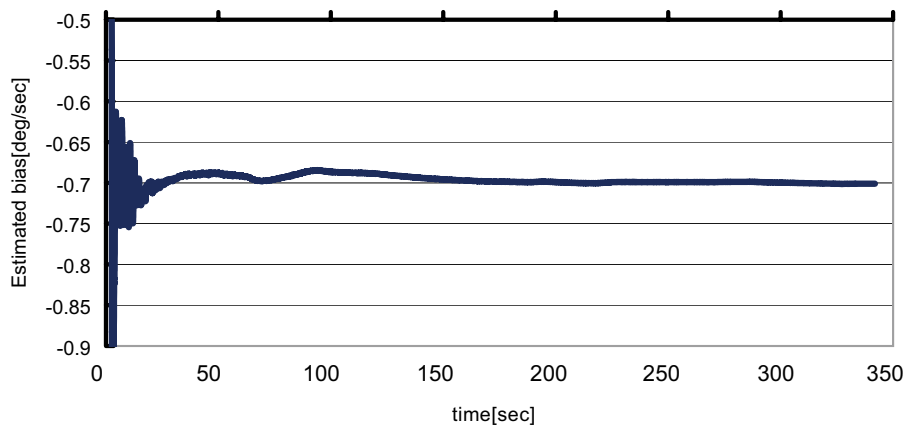


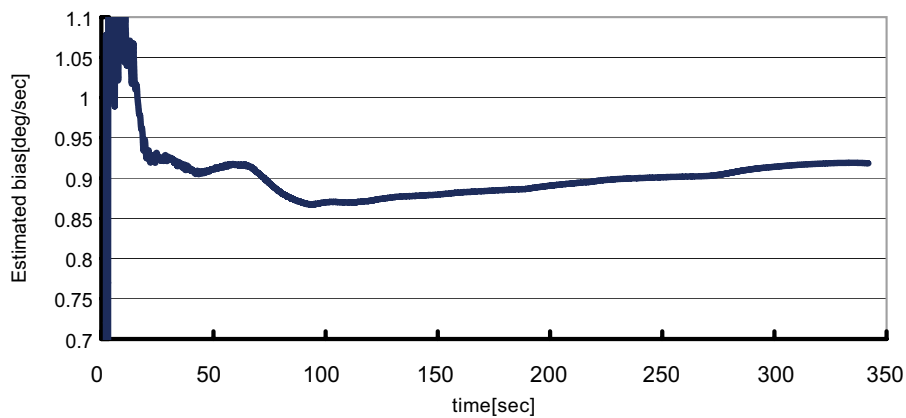
図4 UMV 航行軌跡



a) ロールバイアス推定結果



b) ピッチバイアス推定結果



c) ヨーバイアス推定結果

	ロール	ピッチ	ヨー
平均推定誤差(deg/sec)	0.014	0.0023	0.022
標準偏差(deg/sec)	0.015	0.0034	0.023

d) 起動から 300sec 経過時点の推定精度
(4 回試行時の平均値(絶対値)と標準偏差)

図 5 バイアス推定結果

6 おわりに

EKFを用いたジャイロバイアス推定を行う姿勢角演算手法と、これをUMVに適用した結果を紹介し、揺れのある中で起動してもバイアス推定が有効に機能することが確認できた。

ビークルロボット化により、移動体の姿勢や位置の検出は、より重要な技術となると考えられる。今後は、小型／低価格ではあるがバイアス安定性の低いMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)振動ジャイロの採用や、GPSを構成に加えたGPS-INS(Inertial Navigation Systems)への拡張を図る予定である。

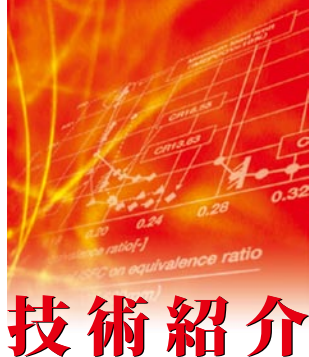
■著者



木戸 徹

Toru Kido

コーポレートR&D統括部
システム技術研究部



ロボットカーによる建設現場における無人測量、 および経路追従制御のための位置・姿勢推定技術

Construction site measurement by UGV (unmanned ground vehicle) and
position/posture estimation technology for path-tracking control systems

石山 健二 神谷 剛志

Abstract

As increasing attention has come to focus on the capabilities of UGVs (unmanned ground vehicles) for performing rescue/relief tasks in natural disasters and security surveillance and observation tasks, UGV research and development programs are being pursued actively in Japan and overseas. In the construction industry, UGVs for unmanned construction work have now reached the stage where practical use is viable. In this report we introduce an example of experimental use of a UGV for unmanned construction site measurement tasks based on joint application of Yamaha Motor Co., Ltd. vehicle control technologies and Toa Corporation measurement data management systems.

The aim of this experiment was to attempt to establish an automated measurement system, to test and evaluate the basic performance of a UGV and isolate problems to be solved for practical use, and to evaluate the accuracy of measurements performed by the UGV. This report focuses primarily on measurement accuracy. In the first half of the report we give a summary of the UGV automated measurement system and comparison of measurement accuracy vs. conventional manual measurements, while the latter half of the report deals with efforts to solve the problems of vehicle control using EKF (Extended Kalman Filter) technology.

1 はじめに

近年、ロボットカー(以下、UGV:Unmanned Ground Vehicle)は、防災やセキュリティ、計測などの分野で活躍が期待されており、国内外で研究・開発が盛んに行われている。建設現場における無人施工技術も実用段階に入りつつある。本稿ではヤマハ発動機株式会社(以下、当社)の車両制御技術と東亜建設工業株式会社の測量情報管理システムを組み合わせ、UGVを用いて建設現場で無人測量実験を行った事例を紹介する。

本実験の目的は自動測量システム確立を目指し、UGVの基本動作確認および実運用を行う際の課題抽出、測量精度検証を行うものである。本稿では特に測量精度に関して述べる。前半ではUGVによる自動測量システムの概要および従来の有人方式との測量精度比較について、後半では拡張型カルマンフィルター(以下、EKF:Extended Kalman Filter)を用いて車両制御における問題を解決した点について述べる。

2 システム概要

埋立て工事において従来からバギー車とGPSを用いた埋立て地盤の高さ計測が行われている(図1)。雨天時や夏の猛暑、冬の厳しい寒さなど悪条件下においても、作業者は車両に搭載されたパソコン画面上に示される目標経路に沿って、車両を正確に低速で長時間運転する必要がある。

当社は東亜建設工業と協力し無人測量用UGV(図2)と基地局システムを開発した。UGVは当社製サイドバイサイドビークルRhino660をベースに改造を行ったもので、固定基地局はパソコンや簡易操作インターフェイスなどから構成される。無線LANを介して基地局から車両に対して作業開始・終了などの指示を与えたり、車両ステータスや測量データを基地局でモニタリングしたりといったことが可能である。

UGV車両側は、モード管理や軌道計算を行うパソコン、アクチュエーターコントローラー(操舵モーター、ブレーキモーター、スロットルモーターやセンサーなどを管理)、リモコン操縦のためのビデオ装置、通信装置、GPS受信機、障害物センサー、傾斜計などから構成される(図3)。GPS受信機にはRTK-GPS+WADGPSハイブリッド方式のNavcom社製StarFireを用いた。



図1 有人での地盤高測量



図2 測量用UGV

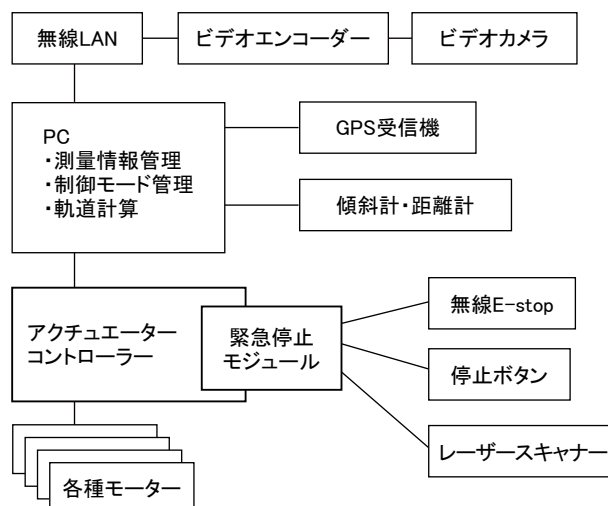


図3 UGV 車両側システム構成

3 測量実験結果

UGV無人走行での地盤高計測精度を確認するため、従来の有人バギーによる測量およびUGV手動走行による測量と比較を行った(図4、図5)。これらは80m×15mの矩形エリア内に5m間隔で測量線(直線)を設定し、その線に沿って地盤高計測しながら走行させた時の計測結果である。十分な計測ポイント数を得るため車両は5km/hという低速で走行した。図4、図5より有人バギーによる計測との差分の2 σ はおおよそ0.02mであり、測量精度の点からみると従来の有人測量に置換えることが可能であると確認できた。

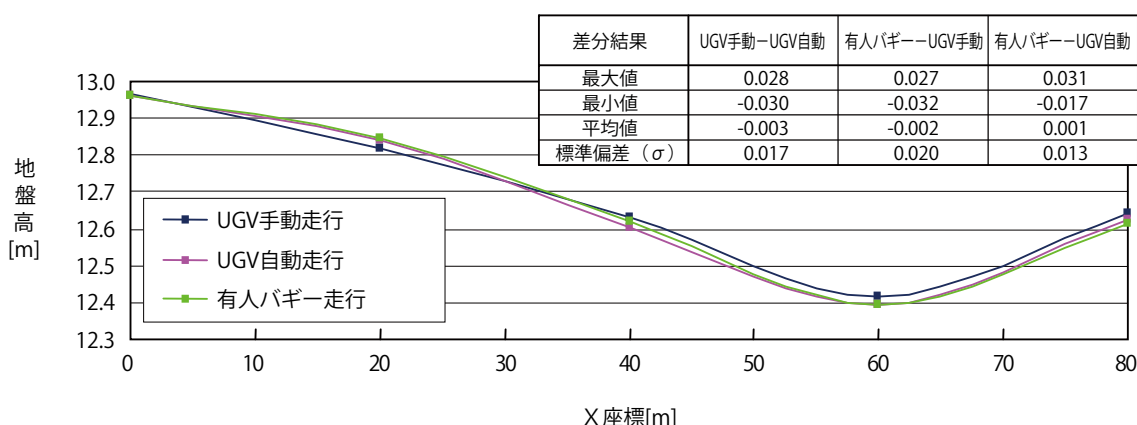


図4 各種計測における地盤高比較 (某工事現場内)

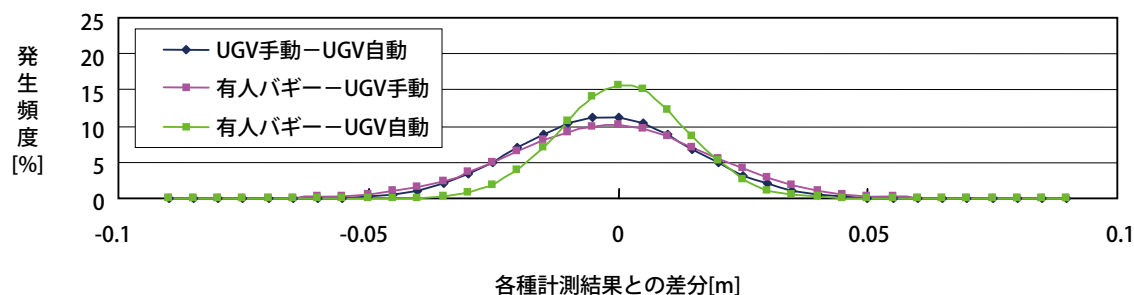


図5 各種計測結果との差分分布 (某工事現場内)

4 軌道追従制御における問題解決

UGVの目標軌道への追従方法は、車両前方軌道上の適当な点を目標とし、操舵角度を決定するものである。精度良く追従させるには車両がどの方向を向いているかを正確に知ることが重要となる。高性能な方位センサーやIMU(Inertial Measurement Unit:慣性計測装置)を用いれば簡単に実現できるが、今回は測量用に搭載されているセンサーのみを用いて最小限のコストでの機能実現を目指した。

本UGVには測量用に高精度RTK-GPSが搭載されており、まず初めに車両走行軌跡から車両ヨー角を計算し追従制御を行った。その時の車両軌跡を図6に示す。目標軌道に対して大きく蛇行しているのが分かる。これは車両ヨー角の計算に誤差や高周波ノイズを含むためである(図8)。高周波ノイズは操舵輪の細かいぶれの原因になる。データの比較参照用にはHemisphere社製高精度GPSコンパスVector Sensor(精度0.15deg)を用いた。

ヨー角が正確に得られない原因として、過去の軌跡を用いることによる遅れや、GPSのサンプリング周波数が遅い(10Hz)ことなどが挙げられるが、最大の原因はGPSアンテナが測量を兼ねるため、フロント操舵輪付近に搭載されていたことである。このためGPS軌跡と車両進行方向が必ずしも一致せず、また路面の凹凸などによる細かい操舵乱れによりヨー角計算にノイズが混入する。

そこで、定常旋回をしている場合は実際の車両ヨー角速度とGPS軌跡から得られるヨー角速度が同じであるという仮定をし、GPSのみからある程度操舵角の影響を考慮した車両ヨー角計算を行った。GPSに加えて車速センサーや操舵角センサー、加速度センサー(x,yの2軸)を用い、単純なデッドレコニングのモデルと合わせてEKFによる補正を行った。車速センサーと操舵角センサーははもともとUGV制御用に組み込まれているものである。加速度センサーも安価なものを用いコスト上昇を抑えた。図7にEKFを用いて追従制御を行った時の車両軌跡を、図9にその時の車両ヨー角の計算値を示す。ヨー角計算におけるノイズが除去され、追従誤差RMSは25cmから15cm以下に改善された。

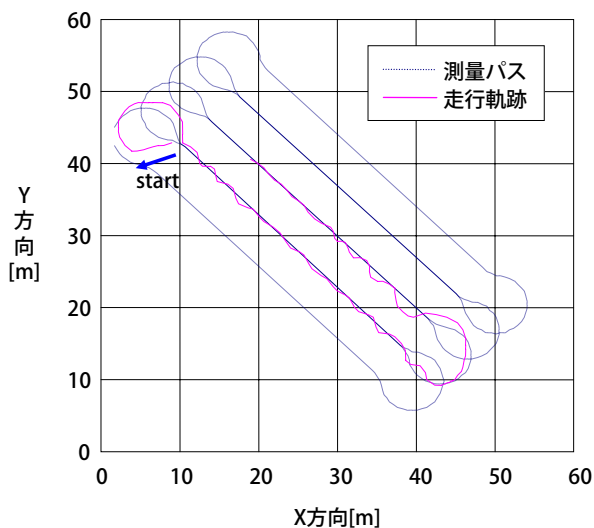


図6 GPSのみを用いた追従制御軌跡

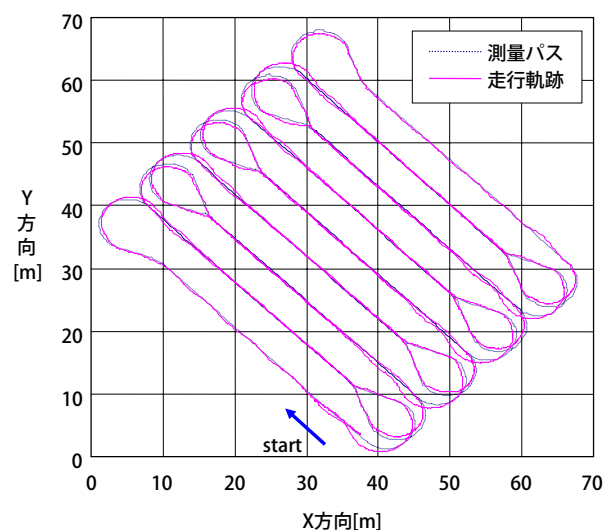


図7 EKFを用いた追従制御軌跡

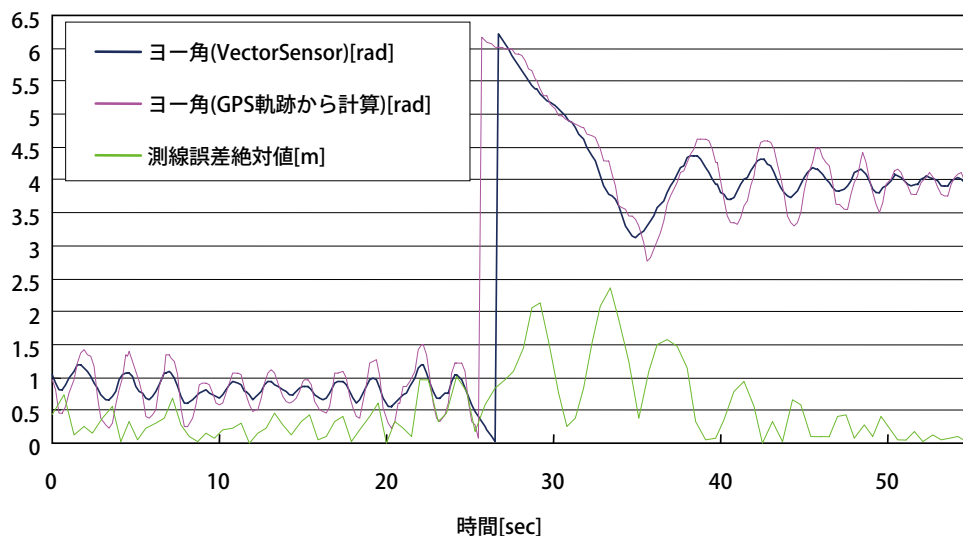


図8 GPSのみを用いた車両ヨー角計算

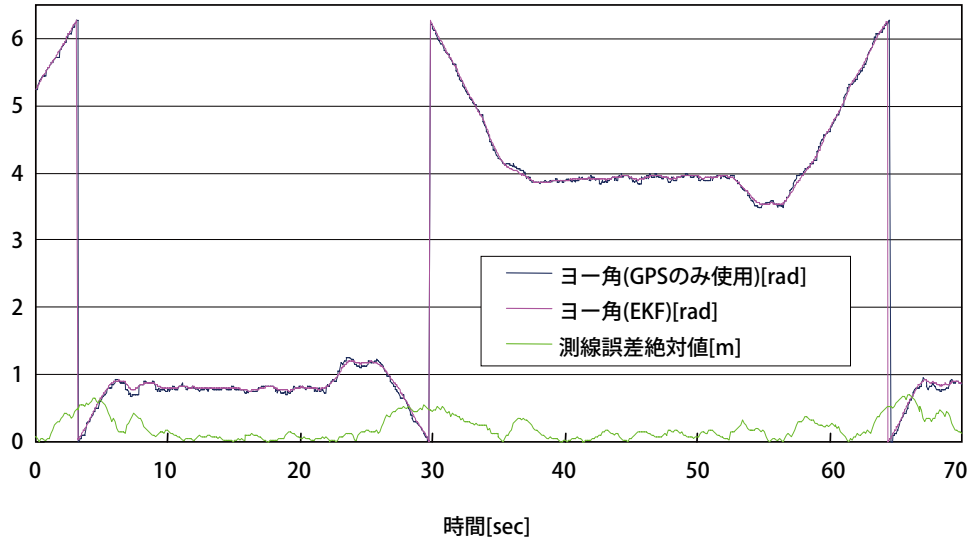


図9 EKFを用いた車両ヨー角計算

EKFによる推定とは運動モデルによる予測誤差およびセンサー誤差の分散を重みとした重み付線形和で表される。以下に今回用いたEKFの式を示す。

測量UGVで用いた式

状態変数

$$\mathbf{x} = (x, y, v, \theta, \dot{\theta}, a_x, a_y, \varphi)^T$$

x : 車両x座標

y : 車両y座標

v : 車両速度

θ : 車両方位

$\dot{\theta}$: 車両方位角速度

a_x : 車両進行方向加速度

a_y : 車両横方向加速度

φ : 操舵角度

運動モデル

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{x}_{k-1} + \Delta t \begin{bmatrix} v \cos \theta \\ v \sin \theta \\ a_x \\ \dot{\theta} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \mathbf{w}$$

\mathbf{w} : ノイズ

Δt : 時間ステップ

センサーデータ

x_{gps} : 車両x座標(GPS受信機)

y_{gps} : 車両y座標(GPS受信機)

v_{gps} : 車両速度(GPS受信機)

θ_{gps} : 車両方位

GPS受信機のデータから前処理により計算

v_{enc} : 車両速度(ECU情報: 車速パルス)

φ_{steer} : 操舵角(ECU情報: 操舵角センサ)

g_x : 車両進行方向加速度(加速度センサ)

g_y : 車両横方向加速度(加速度センサ)

ω_{gyro} : 車両方位角速度(ジャイロ)

観測モデル

更新時間が異なるセンサ毎に分割し、
値が更新された時だけ観測修正を行う。

$$\mathbf{z}_{gps} = \begin{bmatrix} x_{gps} \\ y_{gps} \\ v_{gps} \\ \theta_{gps} \end{bmatrix} = \mathbf{h}_{gps}(\mathbf{x}, \mathbf{r}_{gps}) = \begin{bmatrix} x \\ y \\ v \\ \theta \end{bmatrix} + \mathbf{r}_{gps}$$

$$\mathbf{z}_{veh} = \begin{bmatrix} v_{enc} \\ \varphi_{steer} \\ f(v_{enc}, \varphi_{steer}) \end{bmatrix} = \mathbf{h}_{veh}(\mathbf{x}, \mathbf{r}_{veh}) = \begin{bmatrix} v \\ \varphi \\ L\dot{\theta} \end{bmatrix} + \mathbf{r}_{veh}$$

$$\mathbf{z}_g = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \mathbf{h}_g(\mathbf{x}, \mathbf{r}_g) = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ v\dot{\theta} \end{bmatrix} + \mathbf{r}_g$$

$$\mathbf{z}_{gyro} = [\omega_{gyro}] = \mathbf{h}_{gyro}(\mathbf{x}, \mathbf{r}_{gyro}) = [\dot{\theta}] + \mathbf{r}_{gyro}$$

\mathbf{r}_{***} : ノイズ

L : 前後車軸間長

5 まとめ

前半ではUGVによる測量と従来の有人バギーによる測量とで比較を行い、測量精度の点からUGVによる無人測量が有効であることを示した。今後は完全な無人運用を実現するために障害物回避を含む安全機能、耐久性、使い勝手などを含めて研究開発を進めていく。後半ではEKFを導入し、安価なセンサーのみで制御における問題点を解決し測量に必要な性能を実現した例について説明した。

UGVをはじめとする自律移動ロボットは急速に発展しているが、人の手を放れて全てを自律的に行うにはまだ多くの課題がある。実用化を考えた場合、目的を明確にして必要な機能を最小限の時間とコストで実現するのは重要なポイントである。

■参考文献

- 1) 東亜建設工業(株)：ベルーガシステム <http://www.toa-const.co.jp/techno/method/sokuryou/r06/index.html>
- 2) Greg Welch, Gary Bishop,: An Introduction to the Kalman Filter, SIGGRAPH 2001

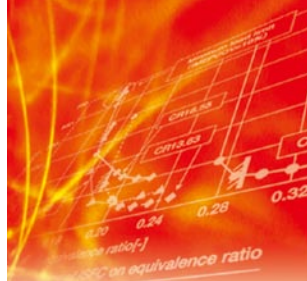
■著者



石山 健二
Kenji Ishiyama
コーポレートR&D統括部
システム技術研究部



神谷 剛志
Tsuyoshi Kamiya
コーポレートR&D統括部
システム技術研究部



技術紹介

LEXUSプレミアムスポーツIS F用エンジンの開発

Engine developed for LEXUS premium sports model IS F

鈴木 篤 前田 裕幸 飯倉 雅彦 川村 誠 近藤 丈雄 鈴木 保之 武藤 好永 原 隆



図1 LEXUS IS F

Abstract

Amidst the growing demands for environmental friendliness in products, it is also important to answer the demands involved in making a car that is “fun to drive,” which is the inherent appeal of an automobile.

The “F” in the LEXUS Premium Sports IS F designation stands for this Fun to Drive and is a statement that this model has been developed to achieve the ultimate in driving pleasure and fun. Working on the base of the 1UR-FSE/2UR-FSE engines for the LEXUS LS with their excellent combination of good fuel economy and low emissions as well as excellent output performance, we succeeded in developing the naturally aspirated “2UR-GSE” engine specifically for the IS F. This new power unit achieves its developmental goals of achieving “limitless depth of power,” “Response” and “Sound” that appeal to the sensibilities and perceptions of the driver. This engine has been developed jointly by Toyota Motor Corp. and Yamaha Motor Co., Ltd. In this report we introduce this development project with a focus on these three performance elements and the environmental performance of the engine.

1 はじめに

地球環境への対応の必要性が高まっている中で、クルマ本来の魅力である『運転する楽しさ』の要求に応えることも重要である。

“F”の名を冠したLEXUSプレミアムスポーツIS F(図1)は、この『運転する楽しさ』を極限まで追及し開発された。低燃費・クリーンな排気ガスと出力性能を両立させたLEXUS LS用1UR-FSE、2UR-FSEエンジンをベースに、「伸び感」、「レスポンス」、「サウンド」の3つの感性に訴えかける性能を追求したIS F専用として、自然吸気エンジン2UR-GSEを実現させた。このエンジンはトヨタ自動車(株)とヤマハ発動機(株)との共同開発である。本報では、この3つの性能と環境性能を中心にエンジン概要を紹介する。

2 エンジン概要

本エンジンは環境性能を確保した上で、さらにスポーツエンジンとしてのトルク特性を徹底的にチューニングし、加えて最高出力を向上させた。

排気量を5.0Lとして低速域での十分なトルクを確保、エンジン回転とリニアに上昇するトルク特性、かつ高回転での爽快なパワーフィールを追求し、最高出力を2UR-FSE 比21kW向上させた。

日欧米の排ガス規制達成、北米燃費Gas Guzzler Taxクリア等の環境性能と出力性能を両立するため、ベースのUR系エンジン同様にTOYOTA D-4S[※] (Direct injection 4-stroke gasoline engine Superior version)とVVT-iE (Variable Valve Timing-intelligent by Electric motor)を採用した。また高回転域での吸気効率を向上させるため、専用のシリンダーヘッド(以下、ヘッド)や吸排気系を新設計し、吸気バルブに軽量のチタンを採用した。

さらにスポーツ走行を想定してスカベンジポンプの追加や水冷オイルクーラーも採用した。図2にエンジン概要を、表1に基本諸元を示す。

※TOYOTA D-4Sは、トヨタ自動車(株)の登録商標です。

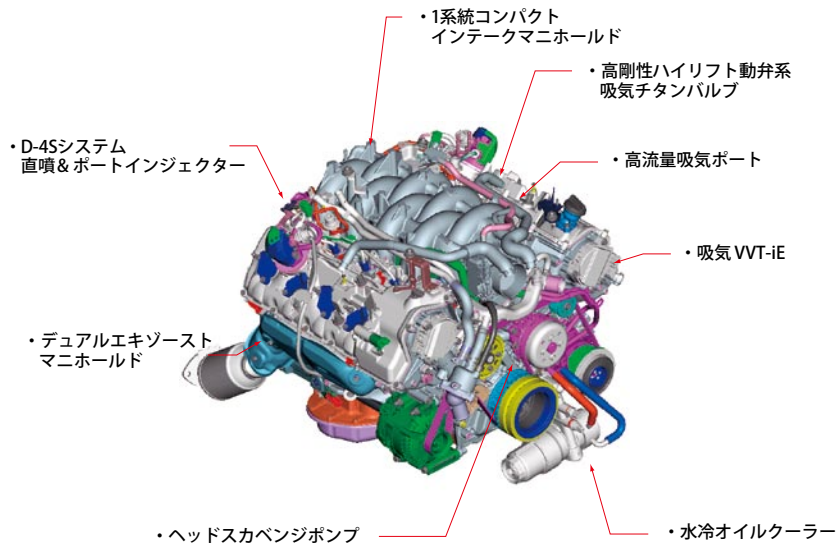


図 2 エンジン概要

表 1 エンジン主要諸元

エンジン形式		2UR-GSE	2UR-FSE	1UR-FSE
気 筒 配 置		90° V 型 8 気筒	←	←
ボア×ストローク (mm)		94.0 × 89.5	←	94.0 × 83.0
排 気 量 (c m ³)		4968	←	4608
圧 縮 比		11.8	←	←
動 弁 系 機 構		INT:VVT-iE / EXT:VVT-i	←	←
バ ル ブ 数		DOHC 4 弁ローラーロック	←	←
		固定ピボット	油圧ラッシュアジャスタ (HLA)	←
バルブリフト (mm)	吸気	12.0	10.9	←
	排気	11.0	10.7	←
燃 料 供 給 装 置		筒内直接+ポート燃料噴射装置 (D-4S)	←	←
エンジンオイルシステム		WET, ヘッドスカベンジポンプ	WET	←
エ ン ジ ン オ イ ル 冷 却		水冷オイルクーラー	なし	←
最 高 出 力 (kW/rpm)		311 / 6600	290 / 6400	283 / 6400
最 大 ト ル ク (N・m/rpm)		505 / 5200	520 / 4000	500 / 4100
排 ガ ス 規 制		J-SULEV (☆☆☆☆)	←	←
搭 載 車 両		LEXUS IS F	LEXUS LS600h	LEXUS LS460

3 特徴

3.1 伸び感

最高出力の向上と回転数とリニアに上昇するトルク特性を作り込み、伸び感のあるエンジン特性を得るために、次の項目を重点に開発した。

(1) 吸気ポート

高回転での吸気効率を向上させるために、高流量吸気ポートを開発した。ポート噴射のインジェクターの小型化と共に、ポート内へのインジェクター突き出し量を低減し、加えて吸気ポートの入り口断面を楕円形状とすることで、ストレートでスムーズなポート形状とした(図3)。これにより吸気ポートの流量係数を、2UR-FSEに対して11%向上させた(図4)。

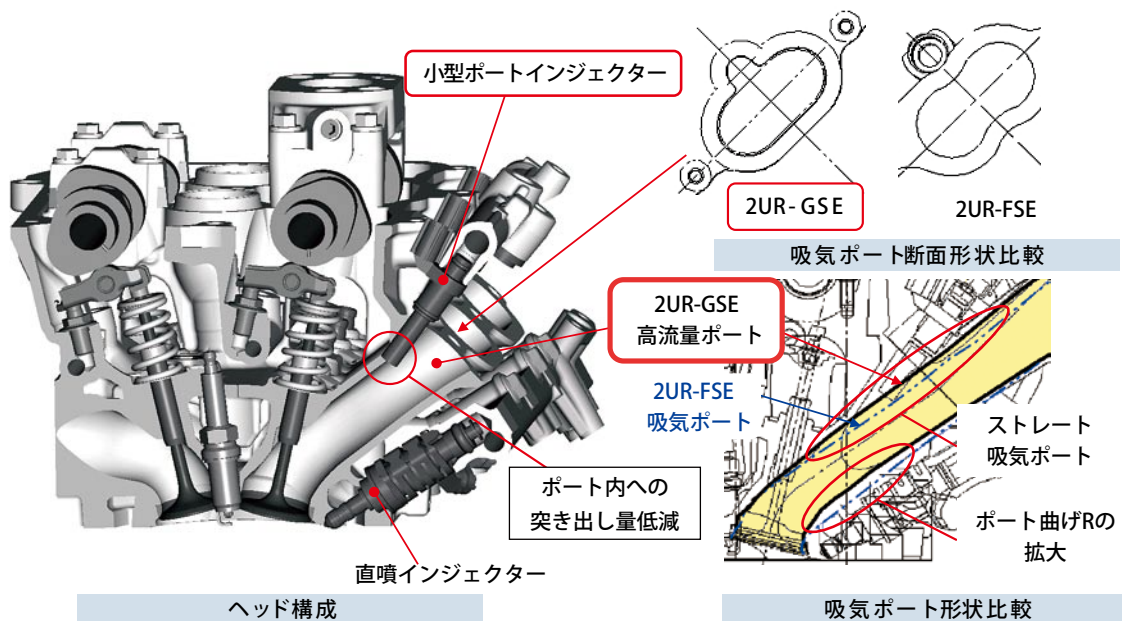


図3 吸気ポート

(2) インテークマニホールド(以下、インマニ)

ベースUR系エンジンが採用している2系統切替えタイプではなく高流量1系統タイプを採用し、高回転で伸びのあるトルク特性を作り込んだ。

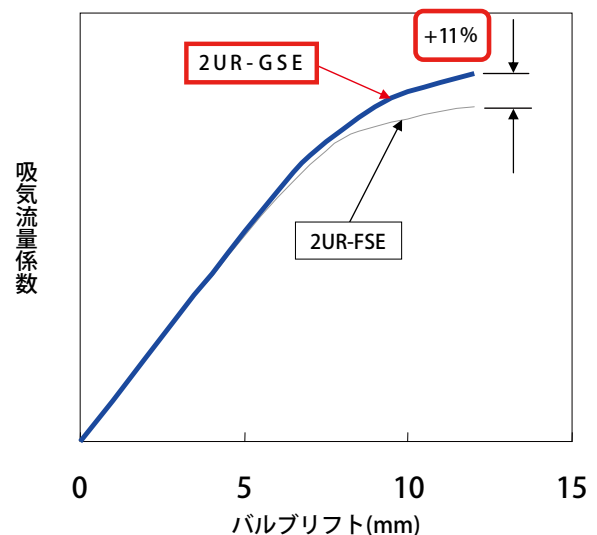


図4 吸気流量計数

(3) 動弁系

バルブリフト量の拡大をねらい、慣性質量低減と剛性向上を図った。吸気チタンバルブの採用で、ベースに対し40%軽量化した。また、支持剛性向上のため、カムジャーナルをボアセンターに配置し、油圧ラッシュアジャスターから固定ピボットに変更した。これらによりバルブリフト量を2UR-FSEに対して吸気バルブで9%、排気バルブで3%拡大させた(図5)。

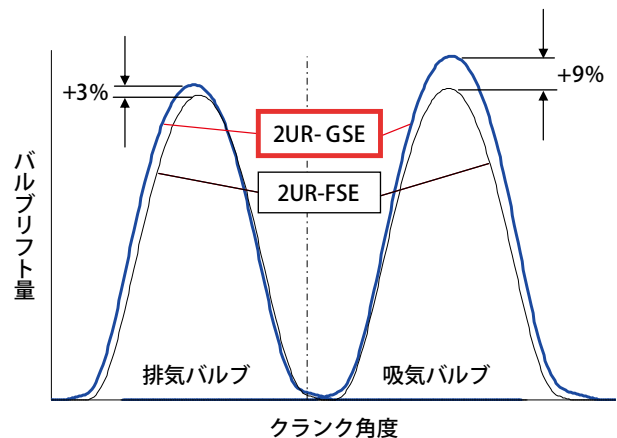


図5 バルブリフト比較

(4) 車両吸気系

デュアルエアインテークシステムでは、低回転域ではプライマリーエアインテークから吸気し、中高回転域ではさらにセカンダリーエアインテークを開き吸気圧損を下げることで、高出力のための必要空気量を確保した(図6)。

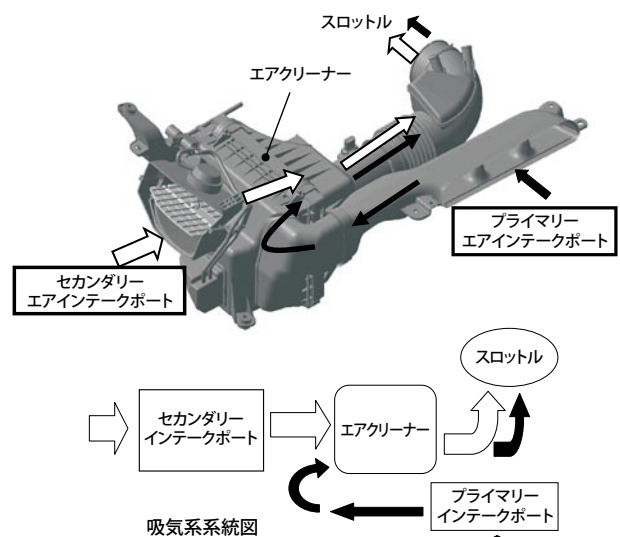


図6 デュアルエアインテークシステム

(5) エキゾーストマニホールド

搭載制約条件が非常に厳しい中でも高回転域の排気干渉を低減して気筒内の体積効率が向上するデュアルタイプとして性能向上を図った(図7)。

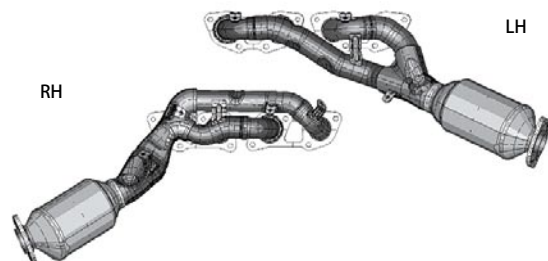


図7 エキゾーストマニホールド

(6)フリクション低減

オイルパンバッフルプレートの改良で、オイル攪拌抵抗を低減させた。またチタンバルブ採用により、バルブスプリング荷重を2UR-FSE比約20%低減させ、動弁系フリクションも低減させた。

(7)まとめ

以上の効果と最高出力点の高回転化(+200rpm)により、2UR-FSEに対して21kWの出力向上と伸び感のあるトルク特性を達成した(図8)。

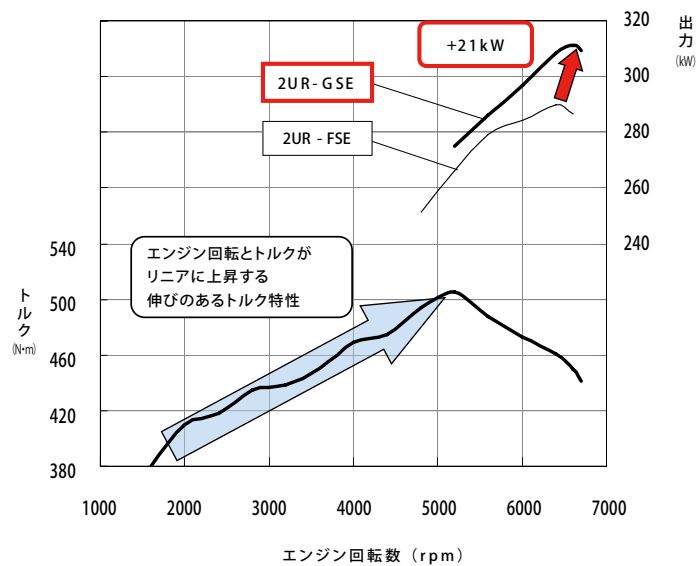


図8 エンジン性能曲線

3.2 レスポンス

本エンジンは、自然吸気エンジンならではのレスポンスの良さをねらった。レスポンス向上にはアクセル操作と吸入空気量のタイムラグを無くすることが必要であり、これには吸気系の容積を低減させることが効果的である。本エンジンでは流体解析によって吸気系形状の適正化を図ることで性能を低下させることなく、最もコンパクトな容積比を実現させた(図9)。これによりスロットルを閉じた時の吸気管の圧力応答時間を1UR-FSEに対して約30%短縮させた(図10)。

加えてトランスミッション制御とエンジン制御とを緻密に連携させることにより、世界最速レベル(0.1sec)のアップシフトや、素早いブリッピングダウンシフトなどで(図11)、パワートレイン系全体として運転する楽しさを追求している。

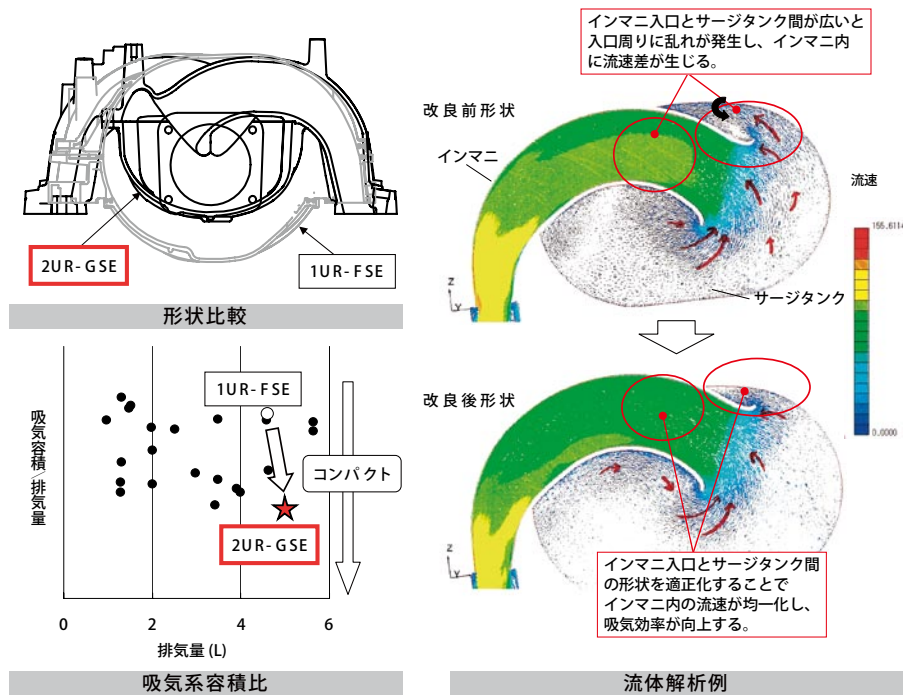


図 9 インテークマニホールド

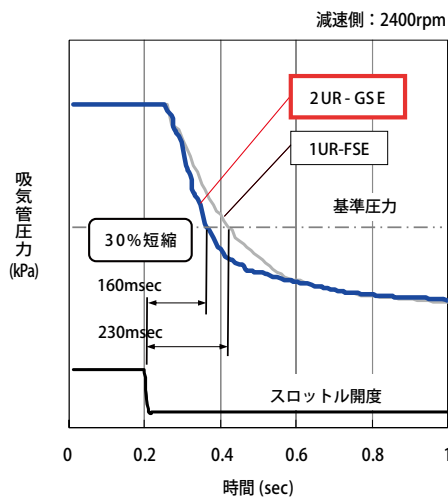


図 10 吸気圧力応答比較

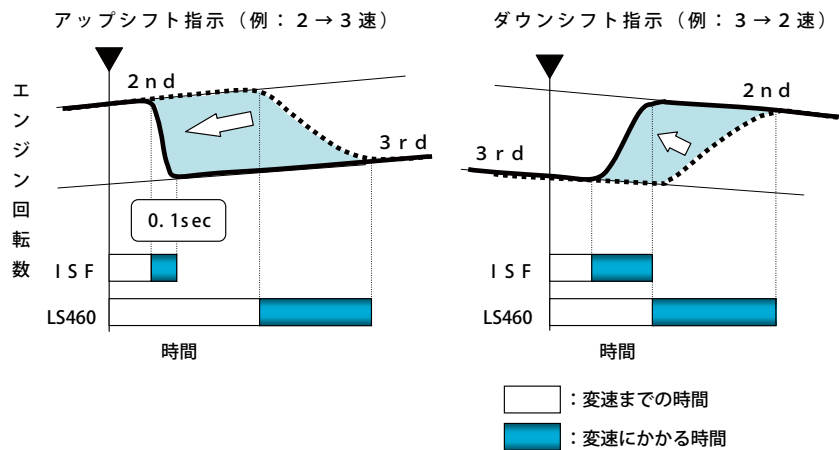


図 11 変速時間比較

3.3 サウンド

スポーツエンジンとしてのサウンド開発は、低回転域では排気音中心の低音サウンドを、中速回転域では力強い吸気音を、高回転域ではクリアなメカニカル音を出すということを目指して進めた。

中速回転域における吸気音によるサウンド作りにはデュアルエアインテークシステムを活用し、切り替え回転数をチューニングした。低回転域ではプライマリーエアインテークのみの静かな吸気音により排気音中心の低音で迫力のあるサウンドを、3600rpm以上の中速回転域になるとセカンダリーエアインテークが開きプライマリー＋セカンダリーの力強い吸気音によるサウンドを実現した。

高回転域ではエンジンからのノイズ成分を排除しつつ、いかにクリアなメカニカル音だけを残すかという目標に対し、遮音だけではノイズと同一周波数域のメカニカルサウンドも消えてしまうため、ノイズを発生させないように押さえ込む手段を取った。これらの一つが前述のカムジャーナルの支持位置変更や吸気チタンバルブの採用等によるものである。それに加え吸気音に強い共振域があると濁り感のあるノイズとして感じるため、共振域の少ない吸気系レイアウトを採用することで高回転域までクリアでリニア感のあるサウンドを得た(図12)。

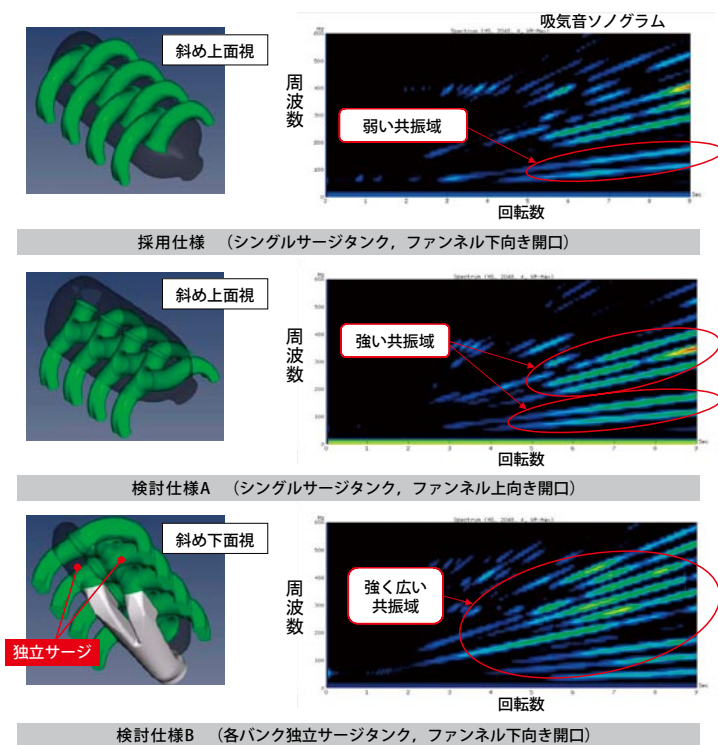


図 12 形状違いによる吸気サウンド比較

これらにより、走行中の車内音は走行状態によって図13の3段階に変化する。またシフトダウン時には、瞬時にエンジン回転を上げて素早いシフトをさせるブリッピング制御による吸気音の演出も加え、走りを楽しむためのスポーツサウンドを実現させた。

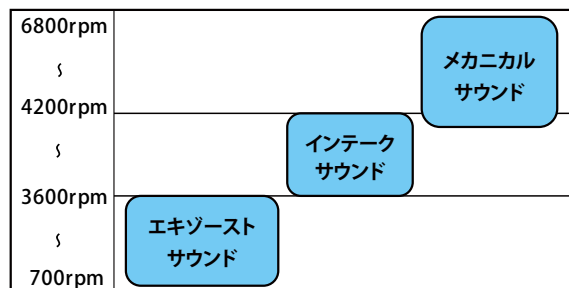


図 13 3段階のサウンドイメージ

3.4 スポーツ走行への対応

スポーツ走行時の高い旋回Gが掛かった際にヘッドからのオイル戻りの悪化を防ぐために、通常のオイルラインに加え左右バンクの各ヘッドよりオイルを強制的に回収するスカベンジポンプを新設した。ポンプは各バンク個別に設置しており、1.2Gという高い旋回Gが加わってもスカベンジポンプ無しに対して油圧低下を半減させ、必要油圧を確保した(図14)。また水冷オイルクーラーを採用して厳しい走行条件下でも油温を5℃以上低減させ、エンジン性能を最大限に発揮できる様にした。これらによりスポーツ走行でも安定したオイル潤滑を可能としている。

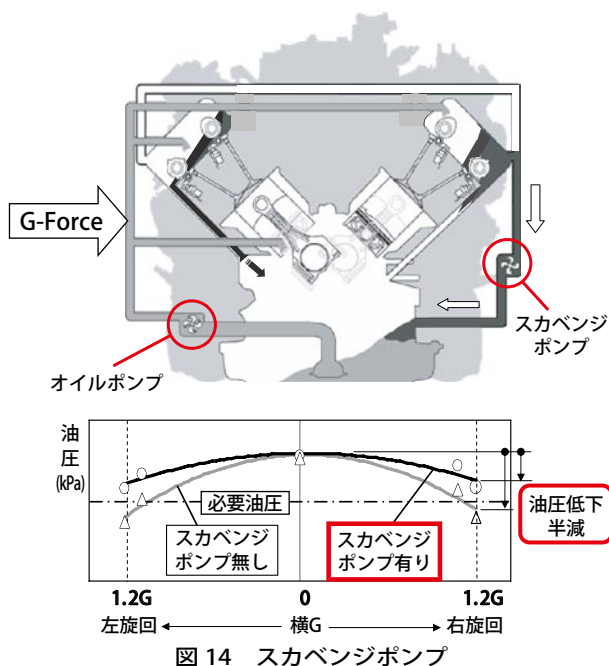


図14 スカベンジポンプ

3.5 環境性能

本エンジンでは、出力性能と環境性能の両立のための主要アイテムとして各気筒に2つの燃料噴射系を持つD-4Sシステムと、電動モーターを用い低温から幅広くバルブタイミング制御可能なVVT-iEをベースのURエンジンと同様に採用した。

加えて、シリンダーブロックの構造最適化と熱処理の追加、ウォータージャケットスパーサーの採用によるボア変形の抑制も同様に実施した。

これらにより本エンジンを搭載したLEXUS IS Fは、北米燃費でGas Guzzler Taxをクリア、北米排ガス規制ではULEV IIを取得、国内排ガス規制は最も厳しい平成17年度基準排ガス75%低減レベル(☆☆☆☆)をクリアしている。燃費は4.0Lクラスながら加速性能では6.0Lクラスの運動性能を誇り、環境性能と出力性能を両立している。図15に燃費と加速性能を示す。

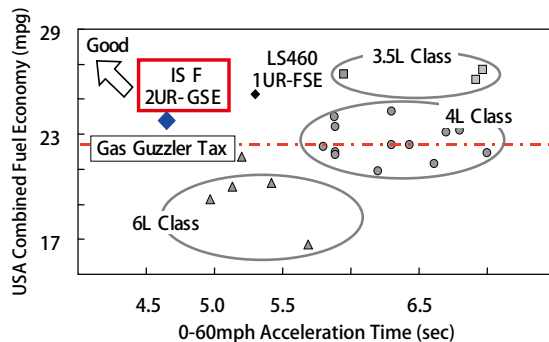


図15 燃費と加速性能

4 おわりに

本エンジンは運転する楽しさを追及するスポーツエンジンの方向性の一つを示すことができたと考えている。このエンジンは運転する楽しさを維持しつつ、市街地走行からスポーツ走行まで幅広い使用域を可能としている。エンジンに対する環境対応の要望が厳しい中、環境対応と運転する楽しさを両立させたエンジンの技術開発を今後も継続していく。

最後に2UR-GSEの開発と製品化に携わったトヨタ自動車(株)、および社内外の多くの関係者の皆様に感謝の意を表します。

■著者



前列左より

武藤 好永 Yoshihisa Muto
AM事業部AM第1技術部

前田 裕幸 Hiroyuki Maeda
AM事業部AM第1技術部

鈴木 篤 Atsushi Suzuki
AM事業部AM第1技術部

飯倉 雅彦 Masahiko Iikura
AM事業部AM第1技術部

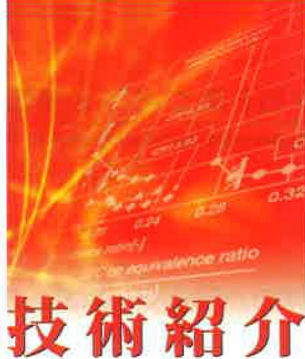
後列左より

川村 誠 Makoto Kawamura
AM事業部AM第1技術部

鈴木 保之 Yasuyuki Suzuki
AM事業部AM第2技術部

近藤 丈雄 Takeo Kondo
AM事業部AM第1技術部

原 隆 Takashi Hara
AM事業部AM第1技術部



無人ヘリコプター用農薬散布装置の 飛散低減技術

Technology for reducing agrichemical "drift" in unmanned helicopter crop
dusting

金城 友樹

Abstract

The use of unmanned helicopters such as the RMAX manufactured and marketed by Yamaha Motor Co., Ltd. (hereafter "the company") for airborne crop dusting and fertilizer spreading has become widely accepted in Japanese agriculture because of its inherent efficiency in use on rice paddies and other types of farming. However, recent amendment of laws concerning residual agrichemical levels in crops has brought the need for farmers to use agrichemicals with greater care and precision. In response to these conditions, the company has developed a new agrichemical dispensing device for unmanned helicopters that restricts the amount of drift (blow-off) of the agrichemicals onto other plants during crop dusting, without sacrificing the excellent spreading efficiency inherent to unmanned helicopter dusting. In this report we discuss a case in which computer-aided fluid flow dynamics (CFD) analysis of the trajectory and flow of agrichemicals from helicopter crop dusting was used to show that it is possible to reduce agrichemical drift.

1 はじめに

ヤマハ発動機(以下、当社)のRMAXに代表される産業用無人ヘリコプターによる農薬の空中散布(図1)は、高効率で実用性に優れることから、水稻をはじめとする日本の農業市場に広く受け入れられて利用範囲を拡大してきた。農作物の残留農薬基準値に関する改正法が施行され、より厳格な農薬使用が農業従事者に要求される中、当社では、無人ヘリコプターの特長である高い散布効率を損なうことなく、他作物への薬剤の飛散量を抑えてより適正な農薬散布を実現できる無人ヘリコプター用新型散布装置の開発を行った。本稿では、数値流体解析法(CFD)を利用してヘリコプターから散布する薬剤の飛散経路を解析し、薬剤飛散(ドリフト)の低減を可能とした事例について紹介する。



図1 RMAX を用いた薬剤散布

2 ポジティブリスト制度の導入

日本国内で流通する野菜や果物等の農作物は、消費者の健康を害することのないよう、食品衛生法によって農薬の残留量が厳しく規定されている。輸入食品の増加などを背景にこの法律の一部が見直され、国内未登録の農薬等、これまで残留基準値が未整備であった全ての農薬について一律に基準値を設ける、いわゆる「ポジティブリスト制度」が2006年より導入されている。

このポジティブリスト制度の導入以後、農業従事者が農薬を使用する際には、対象と隣接する他作物に意図せず薬剤が付着したりすることの無いよう、一層の注意を払い作業を行っている。

3 ドリフト低減への取り組み

空中に散布した薬剤が風に流され、意図する範囲を超えて飛散することを「ドリフト」という。ポジティブリスト制度の導入後、ドリフトの多い農薬散布器具はその使用が敬遠される傾向にあり、各農機具メーカーからは薬剤の飛散が少なくなるよう改良を加えたドリフト低減型散布装置が次々に発売されている。

産業用無人ヘリコプターを使用した薬剤の空中散布は、地上からの防除作業と比較して大面積を一度に効率よく散布できるという利点がある一方、気象条件によっては強風等で薬剤が遠方に飛散する可能性があり、ドリフト回避のために散布作業を実施する風速に制限を設けたりするのが実状であった。

当社の無人ヘリコプターRMAXに装着使用する液剤散布装置については、耐ドリフト性を向上し、より正確な薬剤散布を行うことができる新製品の開発を進め、2008年から販売を開始した。新型散布装置の設計に際して、薬剤飛散のメカニズムをシミュレーションにより解明することで、ドリフト特性を大きく向上させることができた。

4 薬剤粒子の空中での挙動

従来型の無人ヘリコプター用液剤散布装置を図2に示す。機体下部から左右に伸びるスプレーブームの中間と先端の4箇所にノズルが設けられており、ポンプにより圧送された薬剤はここから下方に向けて円錐状に噴射される。

ノズルから吐出する薬剤の粒子径は平均 $120\mu\text{m}$ 程度と小さく軽量であり、自重での落下が僅かであるに加えてその運動エネルギーも小さいため、空気抵抗によってすぐに初速を失い、周辺の気流に運ばれて地面に到達する。したがって、薬剤粒子の飛散経路は、ヘリコプターのメインローターから発生する吹下し(ダウンウォッシュ)の状態に支配されていると考えることができる。RMAXでは、水平飛行時には流速約 15m/s の強力な吹下しを起こして飛行しており、この気流の中で薬剤を吐出することで農作物に向けて効果的に薬を吹き付けている。



図2 機体に装着した液剤散布装置

一方、この強力な吹下しには、周囲の空気を巻き込んで気流の渦を作る性質があり、ヘリコプターが前進飛行するのに合わせて機体後方に後流渦を形成する(図3)。この後流渦に薬剤粒子が一旦巻き込まれると、下向きの速度成分が不十分なために長時間空中を漂うこととなり、周囲の風に流されドリフトしやすい。したがって、無人ヘリコプター用散布装置におけるドリフト低減のポイントは、メインローターからの強力な吹下しを有効に利用しながら、後流渦に巻き込まれる薬剤をいかに抑えるかということになる。



図3 機体後方に後流渦を引く様子

5 後流渦の作る流れ場

メインローターの後流渦は、2枚1対で回転するブレード(翼面)が揚力を発生すると共に翼端部から連続的に放出され、前の時刻に作られた渦軌跡と相互干渉を繰り返しながら複雑な流れ場を形成していく。また、機体の進行速度とメインローターの回転速度との関係により、機体左右の渦の干渉位置はそれぞれ異なり、機体後方にたなびく後流渦の振る舞いは必然的に左右で非対称になる(図4)。

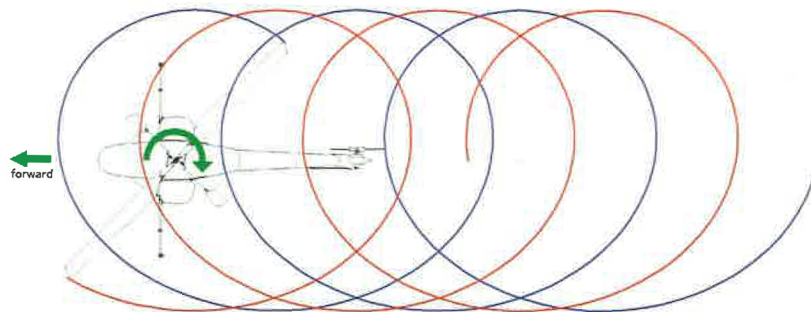


図4 ブレード翼端の軌跡

従来、相互干渉する後流渦の流れ場の予測は複雑で困難なものであったが、計算機的能力向上に合わせて応用分野の広がったCFDを適用することで、無人ヘリコプターの後流渦の机上評価が可能となった。解析には(株)ソフトウェアクレイドルのSCRYU/Tetraを使用し、図5に示す解析モデルによって、前進飛行中のヘリコプターのローター翼端渦が干渉しあう非定常な流れ場を計算した。解析結果の一例を図6に示す。このようにCFDを用いることで、空間内の任意の場所での流れを観測できる上に、実機試験でよくある横風や、機体の状態変化に伴う種々の擾乱要素を排除した流れの素性を捉えることが可能になる。

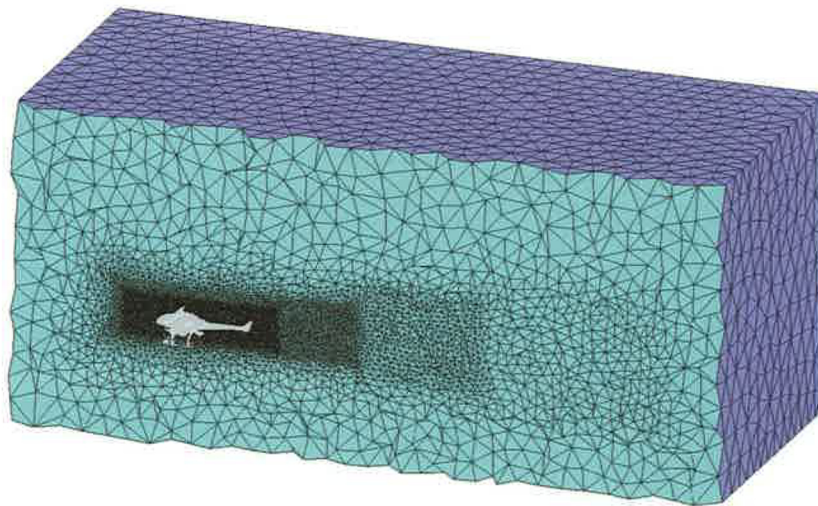


図5 ローター後流の解析モデル

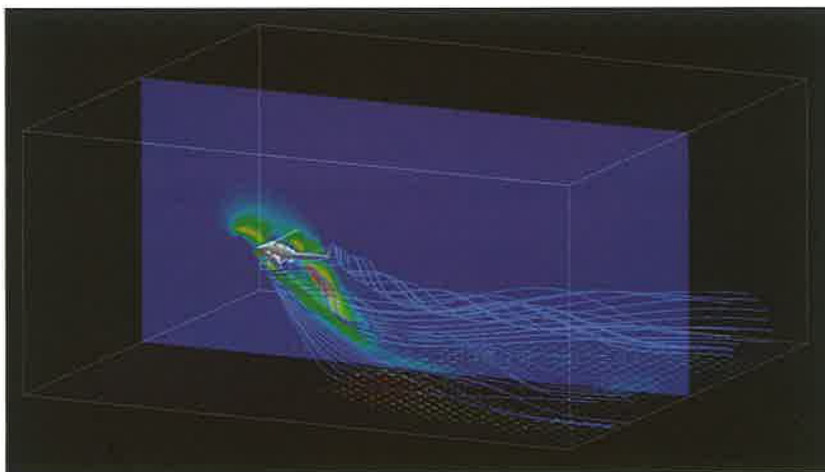


図6 計算されたローター後流の様子

6 ノズル位置と後流巻き込み

従来型散布装置のノズルから吐出された薬剤の飛散の様子をシミュレートしたものと、実機の薬剤散布試験の写真とを比較したものを図7に示す。ブーム内側のノズルから吐出される薬剤はほぼ直線的に地面に運ばれ、ブーム外側ノズルから出る薬剤は、その多くがローターの後流渦に巻き込まれる様子が解析結果でも再現されている。外側のノズルはブレードの翼端に近い位置にあるため、内側ノズルに比べて後流渦に巻き込まれやすい。また、実機写真では分かりづらいが、解析結果では機体の左右で飛散経路が非対称になっており、右側ノズルの方が薬剤の巻き込みが大きくドリフトしやすいことが確認できる。新型散布装置では、これらの点に着目して耐ドリフト性の向上を図っている。



図7 解析結果と実機試験の比較

7 新型散布装置の改良点

今回新たに開発した飛散低減散布装置のノズルレイアウトを図8に示す。従来仕様と比較して、左右端のノズルを内側に配置するとともに、右側のノズルを機体後方にずらして取り付けられている。後流渦への巻き込みが発生しやすい右側のノズルを、より強い吹下しが得られる機体後方に配置することで、薬剤粒子の下向き速度が増して後流渦への巻き込みが減少する(図9a)。この左右スプレーブームの前後オフセット量は、ローターの回転軸に対して対称配置とすることで、機体を後進させながら薬剤を散布する場合にも、前進時と同様のドリフト低減効果を得ることができる。

また、機体中央に新たに追加したセンターノズルは、フライト中の送信機操作で任意に切り替えて使用することができ、狭い範囲に的確に薬剤を散布したい場合に有効である(図9b)。

新型散布装置ではさらに、RMAX本体に搭載するGPSユニットから得られる速度情報に応じ、薬剤を圧送するポンプの吐出圧力を制御する「速度連動機能」を追加している。これにより、ヘリ操縦者の操作の加減による飛行速度の緩急が生じた場合にも、単位面積当たりの使用薬剤量が一定レベルに収まるように自動で調整され、過不足ない農薬使用と適正な薬効を期待できる。

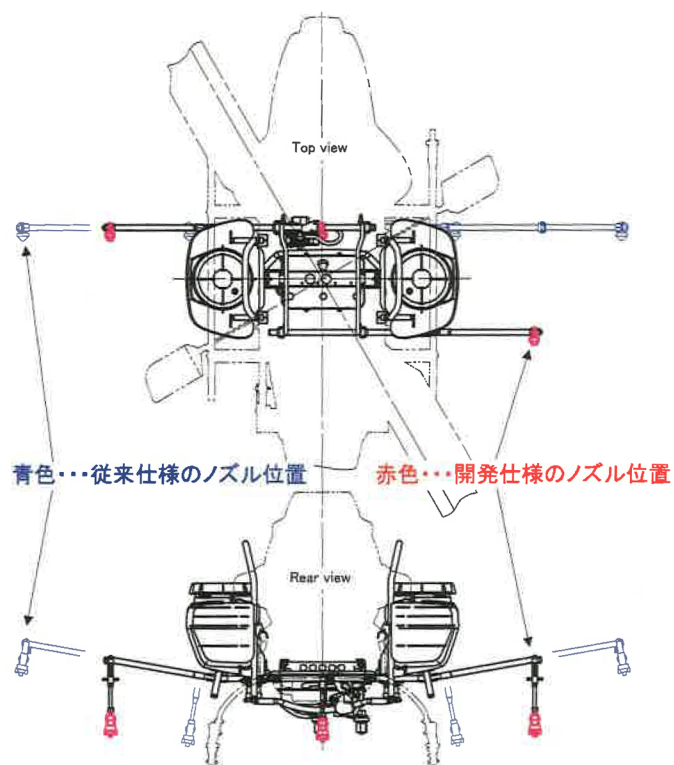


図8 新型散布装置のノズル配置



a) サイドノズル



b) センターノズル

図9 ドリフト低減仕様の薬剤飛散

8 おわりに

無人ヘリコプターによる農薬散布は、現在では稲作を中心に多くの農業従事者に認知されており、農業人口の減少や高齢化が進む国内農業において生産性の向上に貢献している。RMAXは販売開始から10年になるが、その間には遺伝子組換えによる品種改良や無農薬栽培の技術も日々進歩している。農業を取り巻く環境は常に変化を続けており、その変化に柔軟に対応できる無人ヘリコプター技術の開発を今後も継続する予定である。

■著者



金城 友樹
Tomoki Kaneshiro
スカイ事業部
開発グループ



EXUP-BUSH用耐熱ステンレス軸受の開発

Development of a heat-resistant stainless steel bushing for EXUP

高橋 尚久

Abstract

Many of the sports type models designed and manufactured by Yamaha Motor Co., Ltd. adopt the Exhaust Ultimate Power-valve system (abbreviated name EXUP) to control the vehicle's exhaust flow characteristics. EXUP improves the torque characteristics of the low- to mid-speed range, is effective in stabilizing engine idling rpm and reducing exhaust noise. Because the EXUP valve located in the exhaust passage is constantly exposed to high temperatures, the valve bushing must be highly resistant to oxidation and abrasion and must have lubricity as well.

With such qualities in mind, we tested a "SUT" sintered stainless steel based bushing and a copper based bushing for EXUP. The "SUT" we tested is the type mainly used in the EGR (Exhaust Gas Recirculation) valve bushings of automobiles. SUT is an austenitic substrate stainless steel with a 20% content of hard Co-based particles distributed through the alloy that improves the oxidation resistance and abrasion resistance. However, when such an SUT bushing was used in the system's development stage it made a disagreeable noise when the valve of EXUP was rotating, and there was a problem of occasional fixation of the valve due to adhesion to the housing parts. As for the copper based bushing—often used in sliding bushings—it was found to be lacking in heat resistance, which caused adhesion and fracture.

To solve these problems, we developed a new SUT-based bushing by adding graphite and varying amounts of a hard particle and the chemical composition of the stainless steel alloy. After uniformly mixing in particles with highly differing specific gravities, the powdered metal was molded and sintered. When sintering, the Cr carbide is extracted in the base metal. And then a cylindrical bushing is made by machining and evaluated for (a) oxidation resistance, (b) wear and adhesion resistance and (c) noise. From these tests we were able to obtain performance that was satisfying enough.

The bushing of the SUTG series developed in this way was adopted on the production model YZF-R1 in 1998 and has since been improved based on its performance on many other models. Until now, more than one million units of the SUTG bushing for EXUP valve have been produced, including those adopted on products of other companies' products.

要旨

ヤマハ発動機(以下、当社)製の二輪車のうち、多くのスポーツ系モデルには、排気ガス流量を制御する排気バルブ装置「EXUP (Exhaust Ultimate Power-valve)」が装着されている。これは、低～中速トルクの改善や、アイドリングの安定化、騒音低減などに有効である。EXUPは排気通路に設けられるため、バルブは常に高温の排気ガスに曝されており、このバルブを支える軸受には、耐高温酸化性、耐摩耗性、および潤滑性が要求される。

そこで、ステンレス焼結軸受「SUT」と銅系軸受を、EXUP用軸受としてテストした。SUTは従来、主に自動車のEGR(Exhaust Gas Recirculation:排気ガス再循環装置)バルブに取り付けられていたもので、20%Coベースの硬質粒子を分散し、耐酸化性と耐摩耗性を有したオーステナイト基ステンレス鋼である。しかしながら、EXUP用軸受として開発初期に使用した際、バルブ回転時に不快なノイズを鳴らし、バルブ軸やハウジングとの凝着によるバルブの固着を引き起こすという問題があった。さらに、すべり軸受でよく用いられる銅系の軸受は、耐熱性に劣り、凝着や破損が生じた。

そこで、SUTをベースに自己潤滑性を持つステンレス軸受を開発することとした。原料段階で黒鉛を加え、硬質粒子の量とベースのステンレスの化学成分を調整した。これら比重の大きく異なる粒子を均一に混合した後に、成形し、焼結する。この焼結の際に、黒鉛の一部をCr炭化物として基地中へ析出させ、残りは遊離黒鉛として分散させる。そして、機械加工によって円筒軸受に仕上げられる。

単品および車両により、a)耐高温酸化性、b)耐摩耗性・耐凝着性、c)ノイズの評価を行い、十分満足な性能を得ることができた。

こうして開発したSUTG軸受は、1998年YZF-R1で採用されて以来、モデルの性能向上に応じて改良され、SUTGシリーズとして量産され続けている。これまでに、他社の採用もふくめ、100万個以上生産されている。

1 はじめに

当社製二輪車のスポーツ系モデルには、性能向上のため排気ガス流量をコントロールする排気バルブ装置「EXUP」が設けられている。エンジンの回転数に応じて、排気管中にあるバルブを連結されたサーボモーターで開閉することにより、排気圧を制御し、主に中低速域のトルク特性を改善している。またアイドル時の回転数の安定化、騒音低減、排ガス濃度低減などの効果もある。低回転～中回転域ではバルブは閉じており、高回転域では全開となる。約700℃以上の排気ガスをバルブで制御しているため、バルブ、および、軸受(bush)には大きな熱負荷がかかっており、高温・高面圧・無潤滑などの環境下に耐えられる軸受材料が要求されている。

そこで、従来自動車で使われていたステンレス焼結軸受「SUT」に注目し、基地へのCr炭化物の析出と、遊離黒鉛の分散を行い、耐摩耗性と自己潤滑機能を向上させた材料を開発し、量産二輪車に採用した。本報では、その材料特性を報告する。

2 排気バルブ装置「EXUP」

二輪車スポーツ系主要モデルは、主にDOHC・4気筒・600cm³以上のエンジンを搭載し、エンジンの前側から4本のエキゾーストパイプを配して、2本もしくは1本の排気管に連結・統合され、後輪側に配置した消音器より排気ガスを排出する。この排気管連結部にEXUPを搭載している。**図1、2**にSUTG軸受を採用したモデル「FZ1」の排気系および車両全体図、**図3**にEXUPの断面図を示した。

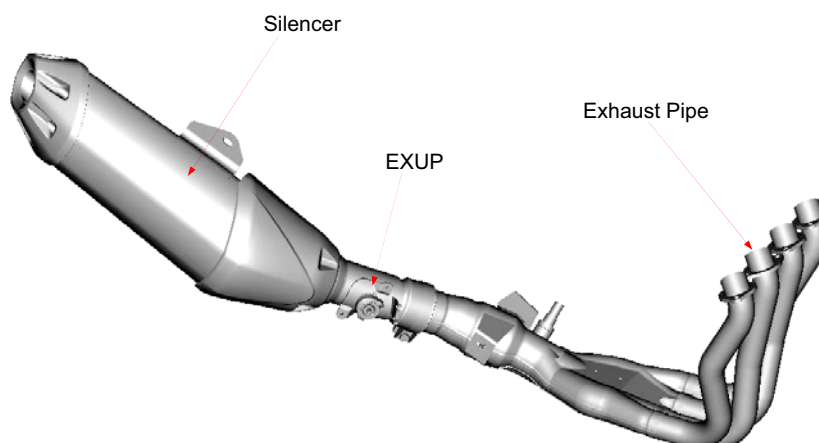


図 1 Exhaust System of FZ1 Model



図 2 2008 年モデル FZ1

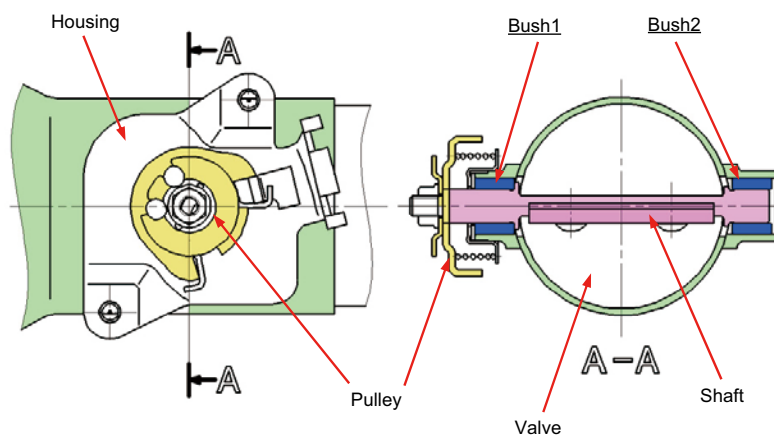


図 3 Valve System of EXUP

3 黒鉛分散ステンレス軸受材料

3.1 開発材料

従来のステンレス焼結軸受「SUT」は、オーステナイト系ステンレス基地に20% Co基硬質粒子を分散させて、高温耐酸化・耐摩耗性を向上させた材料である^{1,2)}。しかし、EXUP用軸受として使う場合、バルブ作動時にバルブ軸やハウジングとの擦れ音が発生したり、凝着磨耗や固着が発生する恐れがあった。そこでSUTに固体潤滑剤を分散して自己潤滑性を持たせる改良を行った。固体潤滑剤としては、二硫化モリブデン(MoS₂)、窒化硼素(BN)、PTFE(Polytetrafluoroethylene)、黒鉛などが知られているが、排気ガス温度800℃を想定し、耐熱性の高いBNと黒鉛を検討し、最終的に、黒鉛を選択した。基材のステンレス鋼種、および、硬質粒子と黒鉛の配合量により特性が変わるため、開発材は10種類以上作製しているが、本報では量産で用いた2種類(SUTG-2、SUTG-3)について報告する。表1に化学成分を示した。基地のCr・Ni量は、凝縮水に対する耐食性と、耐高温酸化性に影響する。硬質粒子はCo-28Mo-9Cr-2.5Si合金であり、Mo珪化物が主たる硬質相を形成していて、耐摩耗性・耐凝着性に効果がある²⁾。焼結時に黒鉛の一部を基地と反応させることで、基地中にCr炭化物を析出させ、気孔には遊離黒鉛が分散するようにした。

原料粉の比重は、ステンレス鋼粉7.7~7.9、硬質粒子8.8に対し、黒鉛は1.7と非常に小さいため、均一混合が難しく、また比重分離する前に成形する必要があった。また同じ成分系でも焼結温度を変化させてCr炭化物の析出量を制御した。炭化物の析出が多すぎると、基材の耐食性・衝撃強度が低下し、逆に少ないと遊離黒鉛が多く分散すぎて、基材強度が低下する。これらを基礎評価して条件を確立した後に、耐高温酸化性・耐摩耗性および相手との凝着性、バルブ作動音の評価を行った。

表 1 Chemical composition of Bush (mass%)

		Cr	Co	Ni	Mo	Si	C	Fe
Conventional	SUT	15	12	10	8	1	-	Bal.
Developed	SUTG-2	16	12	9	6	1	3	Bal.
	SUTG-3	21	12	15	6	1	3	Bal.

3.2 ミクロ組織

前述のように、成分比率の異なる開発材が2種類あるものの、基本的なミクロ組織は同じである。SUTと比較して図4に示した。基地はオーステナイト系ステンレスで、開発材は微細なCr炭化物が析出している。粒径150μm以下の硬質粒子は、混合時のままの形態を保ちながら焼結されている。気孔中には遊離黒鉛が分散している。

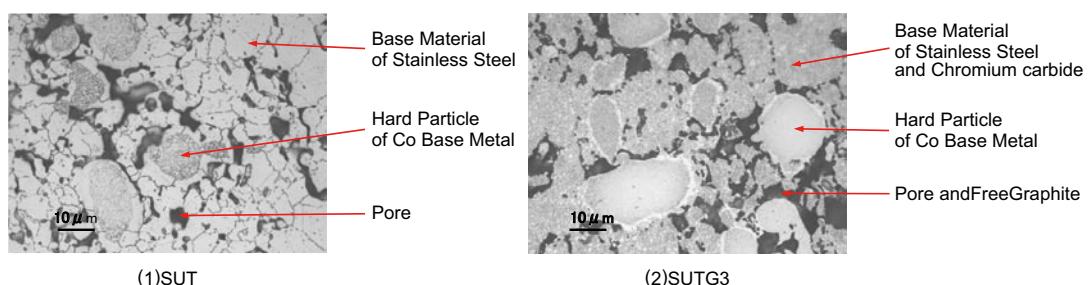


図 4 Microstructure of Bush Materials

3.3 材料特性

円筒軸受の内外径における相手材は、オーステナイト系ステンレス溶製材である。排気ガス熱によりハウジングとバルブ軸、および、軸受がそれぞれ膨張するため、バルブ回転を確保するクリアランスを保たなくてはならない。初期クリアランスを広げすぎると振動による異音発生となる。初期クリアランスを狭めるためには、軸受材の熱膨張率を低く抑えることが望ましい。表2に熱膨張係数を示した。焼結材はもともと溶製材より熱膨張係数は低くなるが、開発材はCr炭化物の析出により、さらに小さくなっている。

表2 Thermal Expansion coefficient ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

Temp.	Bush			wrought SUS304
	SUT	SUTG-2	SUTG-3	
RT-200°C	15.0	13.0	10.4	17.3
RT-500°C	16.9	14.9	13.0	18.4

3.4 機械的性質

軸受材の試験片における機械的性質を表3に示した。遊離黒鉛の分散により、焼結密度はSUTより6～9%下がり、見掛け硬さも11～28%低下するが、相手攻撃性の点で有利に働いている。

引張強度は、参考であり軸受の機能としてはそれほど重要ではない。

表3 Mechanical property

		SUT	SUTG-2	SUTG-3
Density	Mg/m ³	6.7	6.1	6.1
Apparent hardness	HRB	83	70	60
Tensile strength	N /mm ²	215	250	180

※ (reference value)

4 高温酸化試験

4.1 試験条件

排気ガス中の酸素濃度は低いものの、長時間の熱負荷に耐えられなくてはならない。そこで大気炉加熱による高温酸化試験を行った。試験片は500°C-100hr、および、700°C-100hr後の酸化増量を測定した。

4.2 試験結果

図5に結果を示す。酸化増量は加熱前後の試験片の重量を天秤により測定して試算した。比較材としてSUS316相当のステンレス焼結材を用いた。Cr炭化物の析出により、オーステナイト基地中のCr濃度が低下するため、比較材やSUTに比べると耐酸化性はやや劣るものの、実用上は問題なかった。

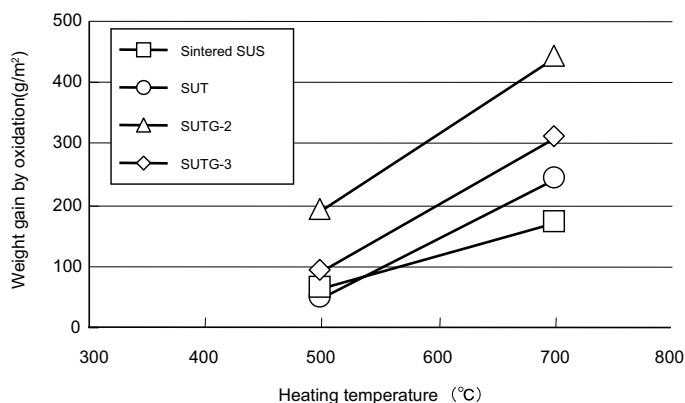


図5 Comparison between sintered stainless and SUT series in oxidation test

5 高温摩耗試験

5.1 試験方法および条件

SUTと比較材、および、SUTG-2、SUTG-3の耐摩耗性を評価するため、SRV高温摩耗試験を実施した。試験方法、および、試験条件を図6に示す。評価する材料をディスク形状に加工し、相手材はロールにする。固定されたディスクの上を荷重のかかったロールが往復動する。評価材のディスクは下からヒーターにより所定の温度へ加熱される。相手材はSUS316のクロマイズ処理されたものを使用。表面硬さはおおよそ1000~1200HVである。EXUPの使用環境は無潤滑であるため、ここでも無潤滑であり、オイル滴下等を行っていない。試験雰囲気は大気中である。

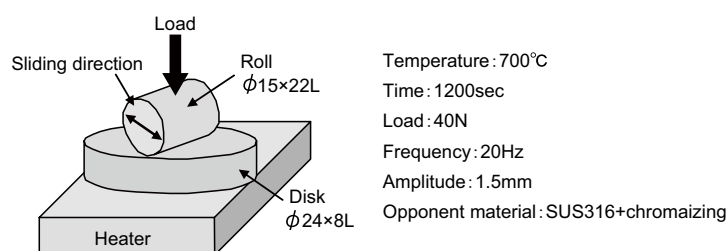


図6 Comparison between sintered stainless and SUT series in Thermal wear test

5.2 試験結果

図7に摩耗試験結果を示した。硬質粒子のない普通のステンレス焼結材は、表面酸化が少ないものの摩耗量は多くなっている。それに比べ、SUTの摩耗量は約1/10に減少し、SUTG-2は、SUTのさらに約1/10まで減少している。SUTは硬質粒子分散により耐摩耗性は向上するものの、オーステナイト基地部分が柔らかいため、不利である。SUTGシリーズは、基地にCr炭化物を析出させているため、非常に優れた耐摩耗性を発揮している。また、相手部品の材質が同系のステンレスの場合、高温時の凝着摩耗が心配されるが、SUTGシリーズは、遊離黒鉛が分散しているため、凝着も起こりにくくなっている。

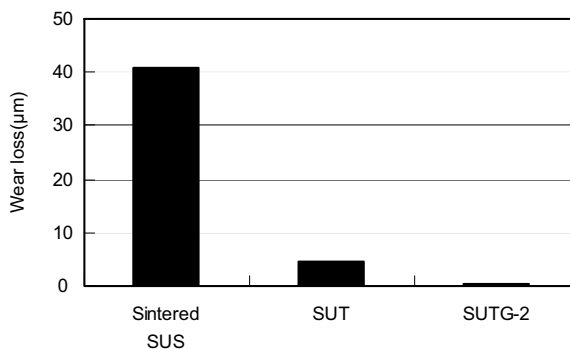


図7 Result of wear amount of specimen in SRV wear test

6 加熱振動試験

6.1 試験方法

EXUPにおけるバルブの動きは、ワイヤ、プーリーを介したモーター駆動による回転方向での往復と、エンジン、および、路面振動による上下微動である。このような動きを再現する摩耗試験機は無いため、実機部品からEXUP部分を取り出し、市販の振動試験機にて、加熱しながら振動させて摩耗測定を行った。試験装置の外観を図8に示す。試験条件は表4に示す通りで、二輪車の走行1万km以上におけるバルブ軸、および、軸受の摩耗状態が再現できるように設定した。



図 8 Equipment of Vibration test

表 4 Vibration condition

Vertical vibration	Sine wave	325Hz
	Accelerated velocity	490m/s ²
Motion of valve	open-close cycle	1cycle/2sec
	open angle	0 ~ 100°
Atmosphere of test		combustion gas
Temperatue of Bush		580°C

6.2 試験結果

軸受は、外径側がハウジングと接触し、内径側はバルブ軸と接触している。そこで振動試験前後の各部品の内径・外径寸法を測定し、それぞれの摩耗量とクリアランスの増加を計算した。また試験中のバルブ動作音に異音が無いかどうか官能評価を行った。これらの結果を表5にまとめた。

SUTGシリーズは相手材との凝着が生じにくく、動作時の異音は発生しにくい。また試験後の酸化度合いは全く問題無いレベルであった。最終的には走行耐久試験により問題無いことを確認し、量産車へ採用した。

表 5 Result of vibration test

	wear of Bush		wear of shaft outer	wear of Housing inner	Abnormal noize	wear by adhesion	Total clearance
	outer	inner					
SUT	△	×	×	△	×	×	×
SUTG-2	○	△	○	△	○	○	○
SUTG-3	○	△	○	△	○	○	○

7 まとめ

- (1) SUTに黒鉛を混合して焼結させ、Cr炭化物の析出と遊離黒鉛の分散により、耐熱性・耐摩耗性に優れたEXUP用耐熱ステンレス軸受を開発した。
- (2) Cr炭化物の析出は、基地のCr濃度を低下させるため、耐高温酸化性にはやや不利になるものの、加熱振動試験では全く問題無かった。また耐摩耗性を向上させ、相手材との耐凝着性では有利に働いていた。
- (3) 遊離黒鉛の分散は、自己潤滑効果により異音の発生を抑え、相手材への攻撃性も抑制する効果が見られた。

今回の開発材は日立粉末冶金(株)との共同出願で特許を取得しており、他社の採用に際してはロイヤリティーを得ている。1998年YZF-R1の採用から始まり、今年で11年目を迎えている。そして開発材2種類とも、二輪車スポーツ系モデルの量産車に搭載され、これまでに100万個以上生産されている。

■参考文献

- 1) 河田英昭, 眞木邦雄:日立粉末冶金テクニカルレポートNo.6, p.2-8 (2007)
- 2) 河田英昭, 藤塚裕樹:日立化成テクニカルレポートNo.44, p.31-34 (2005)

■著者



高橋 尚久
Naohisa Takahashi
コーポレートR&D統括部
材料技術部



燃焼安定性におけるポート噴射の影響

The Influence of Port Fuel Injection on Combustion Stability

加藤 昇一 林田 高典 飯田 実

技術論文

Abstract

The demands on internal combustion engines for low emissions and fuel consumption are increasing year by year. On the other hand, engines to be used in motorcycles need to provide high output and quick response to meet user desire. In order to realize low fuel consumption while keeping high performance, it is necessary to properly understand cyclic variations during combustion as well as the influence of the injection system on fuel control during transient periods.

The current paper reports on the results of a study in the influence of port fuel injection on combustion stability in a small displacement motorcycle engine, using both a series of experiments and CFD. The parameters of the injection systems under study are injection targeted area, injection timing, and fuel droplet size. Considering experimental results and CFD results, it is shown that the cyclic variations of combustion can be correlated with the inhomogeneity of the mixture distribution in the cylinder and around the spark plug.

要旨

内燃機関に対する排ガス・燃費の要求は、年々厳しくなっている。その一方で、モーターサイクルエンジンには、その商品性から高出力・高レスポンスも求められている。低燃費と高性能を両立するためには、燃焼のサイクル変動や過渡時の燃料制御に対する噴射系の影響を把握しておくことが必要不可欠である。本報告では、小排気量モーターサイクルエンジンにおける燃焼安定性に対するポート噴射の影響について、実験とCFD(Computational Fluid Dynamics)により調査した結果を報告する。議論される噴射系諸元は、噴射ねらい位置、噴射時期、燃料液滴サイズである。実験結果と計算結果を考察することにより、筒内およびプラグ近傍の混合気の不均一性が燃焼のサイクル変動に影響を与えることが示される。

1 はじめに

内燃機関の低燃費に対する要求¹⁾は、環境やエネルギー問題の高まりに基づき大きくなってきている。希薄燃焼はポート噴射エンジンにおいて、低燃費を実現するためのひとつのアイデアとして知られている。しかしながら、燃焼のサイクル変動のために希薄燃焼の範囲²⁾は限られており、燃焼安定性を保つことが強く望まれている。そのため、希薄燃焼の限界を延ばすために、それが何故、どうやって起きているのかを理解することが不可欠となっている。自動車エンジンにおいては、光学的可視化やCFDを用いることにより、流動場、混合気および火炎伝播の構造について多くの研究が報告されている^{3~5)}。しかしながら、モーターサイクルエンジンに関するものは数少ない。

モーターサイクルは、車載上の要件から噴射系のレイアウトに制限が大きい。また特にスポーツ系の

車両においては、高い比出力要求のため、ショートストロークのレイアウトが多い。このため低負荷燃焼の安定性を確保することが難しい。また加速時の挙動は、特にスポーツ系の車両において重要な商品の魅力のひとつである。このような事情から、燃焼のサイクル変動や過渡時の燃料制御に対する噴射系の影響を確認する必要性は高い。

本報告では、小排気量モーターサイクルエンジンにおける、燃焼安定性に対するポート噴射の影響を実験とCFDを用いて調査した。噴射諸元として、以下の影響を確認した。

- (1) 噴射ねらい位置(吸気ポート上流壁と、両吸気ポートあるいは片側吸気ポートのバルブ傘表面)
- (2) 噴射時期(燃料噴霧が吸気バルブ隙間を直接通過していく場合か、吸気バルブが閉じている場合)
- (3) 燃料液滴サイズ(低圧インジェクターと、微粒化の良いインジェクター)

2 実験方法

本研究では、市販車エンジンをベースとした水冷式4ストローク単気筒エンジンを用いた。供試エンジンの主な諸元は表1に示す通りである。今回用いた噴射系は4仕様である。その主な諸元を表2に、概略図を図1に示す。

表1 供試エンジン諸元

ボア × ストローク	73.0 mm × 59.6 mm
コネクティングロッド長	116.0 mm
排気量	249.4 cm ³
圧縮比	9.7
バルブオーバーラップ期間	48 deg
バルブ数	Intake 2 & Exhaust 2

表2 噴射系諸元

噴射系	1	2	3	4
ねらい位置	吸気ポート上流壁	両方の吸気バルブ傘表面	片方の吸気バルブ傘表面	吸気ポート上流壁
噴霧形状	1-Jet	2-Jet	1-Jet	Hollow Cone
噴射角	-	18.5deg	-	-
噴霧角	5deg	5deg	5deg	45deg
噴射圧	0.3 MPa	0.3 MPa	0.3 MPa	7.0 MPa
S M D	120μm	130μm	120μm	30μm

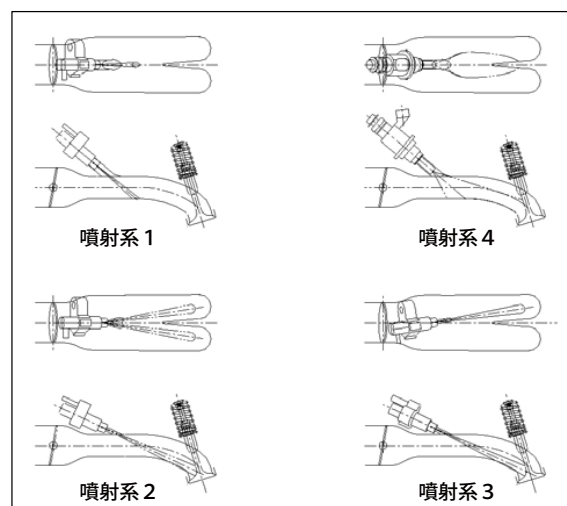


図1 噴射系概略図

噴射系1、2および3では、従来のPFI(Port Fuel Injection)で用いられるインジェクターを用い、噴射系4では微粒化の良いインジェクターを用いた。噴射系1と4では、燃料は吸気ポート上流の壁面をねらって噴射される。噴射系2では、両方の吸気ポートの吸気バルブ傘表面をねらって燃料が噴射される。一方、噴射系3では、片方の吸気ポートの吸気バルブ傘表面をねらって燃料が噴射される。燃料噴霧の初期平均粒径は、東日コンピュータアプリケーションズ(株)製のレーザ光散乱方式粒度分布測定装置「LDSA-1500 A」によって得られた噴孔下50mmでのSMD(Sauter Mean Diameter)である。筒内圧計測にはKISTLER社製 非冷却式圧力センサー「6053C」を用い、燃焼解析には小野測器(株)の燃焼解析システム「DS-228」を用いた。燃焼安定性の評価には図示平均有効圧力(NMEP:Net Mean Effective Pressure)の変動率(COV:Coefficient Of Variance)を用いた。

本報にて報告される実験結果は表3に示すように、回転数4000rpmの部分負荷域での結果である。吸気量はスロットルバルブにて調整した。噴射時期は特に示さない限り、圧縮上死点前(BCTDC) 240degとした。これは、あらかじめ行ったテストにより、燃焼安定性が噴射時期にあまり寄らない条件として設定した。点火時期は、各運転でのMBT(Minimum Spark Advance for Best Torque)である。

表3 エンジン運転条件

エンジン回転数	4000 rpm
負荷	NMEP 300 ~ 700 kPa
A F R	13, 14.5, 16
冷却水温	30, 80 °C
点火時期	MBT
噴射開始時期	240 deg BCTDC

3 混合気と液膜挙動の数値解析手法

噴射系、噴射時期および、冷却水温によるエンジン内の混合気分布の差異を把握するため、CFDを用いて燃料液滴・液膜の挙動と混合気分布を解析した。計算仕様は、表3に示した実験条件の中から、燃焼安定性への影響を抽出できるような7仕様を選んだ(表4参照)。

表4 計算仕様

仕様名	噴射系	冷却水温 °C	噴射開始時期 deg BCTDC	点火時期 deg BCTDC
A	1	80	240	60
B	1	↑	380	60
C	2	↑	240	66
D	2	↑	390	66
E	2	30	240	64
F	3	80	240	64
G	4	↑	150	62

計算にはRICARDO社製ソフトウェア「VECTIS」を用いた。液滴挙動はDDM(Discrete Droplet Method)により解かれ、液膜挙動はBai-Gosmanモデルで計算された。乱れモデルには、 $k-\varepsilon$ 標準モデルを用いた。

次に、エンジンモデルと計算手順について説明する。エンジンモデルでは、スロットルバルブ位置より下流の吸気管、吸気ポート、燃焼室および排気ポートの形状がモデル化された(図2参照)。スロットルバルブ形状そのものはモデル化されていない。今回の計算においては、スロットルバルブ位置に入口境界面を設定した。初期条件および境界条件には1次元性能シミュレーションで求めた物理量の時系列データを与えた。計算で用いたインジェクター噴霧モデルは、直接撮影による噴霧形状と、LDSAによるインジェクター噴孔下50mmでのSMDを元に合せ込んだものを使用した。

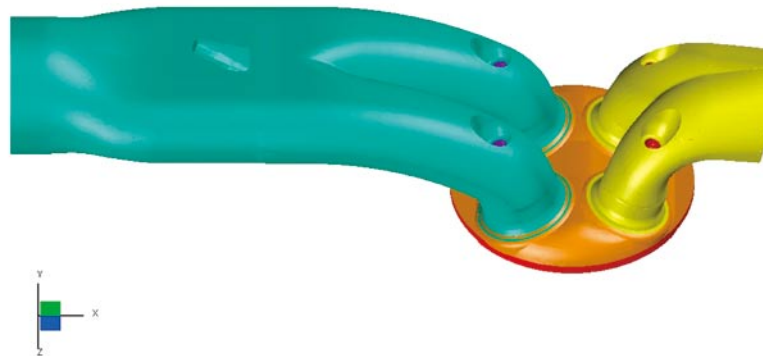
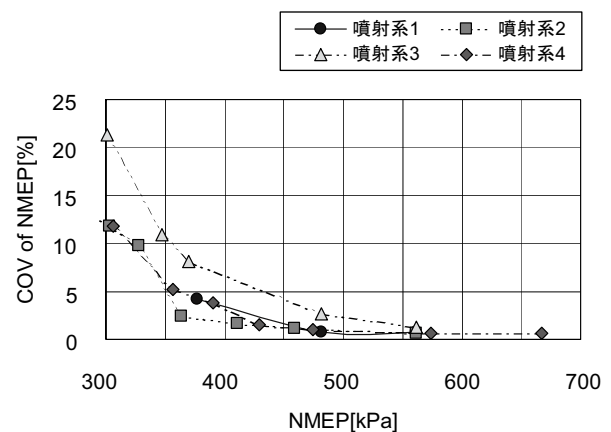


図2 計算モデルの概略図

4 結果と考察

4.1 燃焼安定性

図3に4000rpm、AFR(Air Fuel Ratio:空燃比)14.5での4つの噴射系におけるNMEPのCOVを示す。片側ポートにのみ燃料を噴射した噴射系3は、他の仕様に比べて予想通り燃焼安定性が悪いことが分かる。一方、この条件では微粒化の良いインジェクター(噴射系4)を用いても燃焼安定性には差が出ない結果となった。

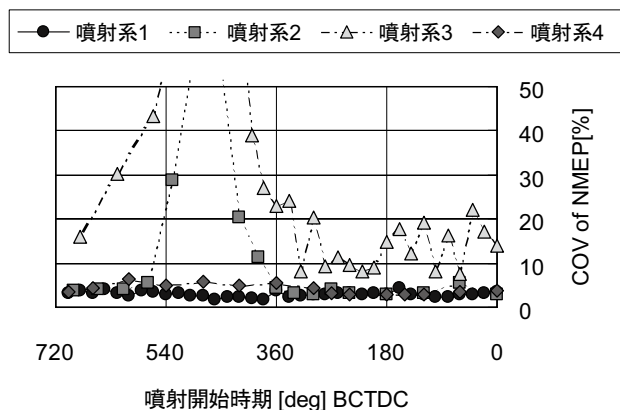


AFR 14.5, 冷却水温 80℃

図3 負荷による影響

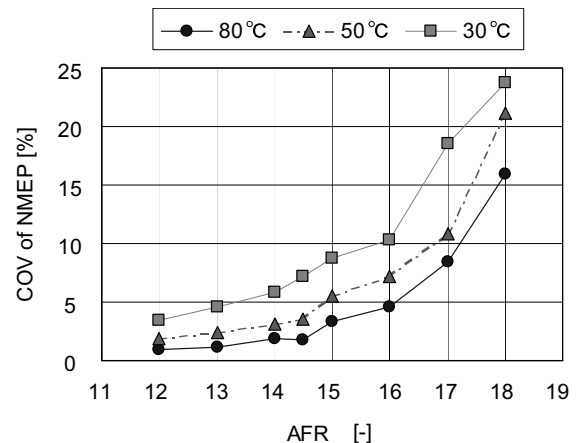
図4に4000rpm、NMEP 380 kPa、AFR 14.5におけるNMEPのCOVに対する噴射時期の影響を示す。吸気ポート上流壁をねらった噴射では、噴射時期に寄らずNMEPのCOVは小さな値でほぼ一定となっている。吸気バルブ傘表面をねらった噴射系2、3では、噴射時期によりNMEPのCOVが急増している噴射区間がある。これは、噴霧速度と噴射孔から吸気バルブまでの距離を考慮すると、燃料が吸気行程中に直接筒内に流入するような噴射時期に相当している。この噴射時期以外においては、噴射時期による低負荷での燃焼安定性への影響は小さい。微粒化の良いインジェクターを用いた噴射系4でも、吸気行程に燃料が直接筒内に流入する噴射時期で、低負荷での燃焼安定性が若干悪化した。

図5に吸気バルブ傘表面をねらった噴射仕様における冷却水温度のNMEPのCOVへの影響を示す。この噴射仕様では、低壁温では、特に、AFRリーン側で燃焼安定性の悪化が顕著である。



NMEP 380 kPa, AFR 14.5, 冷却水温 80℃

図4 噴射時期による影響



NMEP 380kPa, AFR 14.5, 噴射系 2

図5 冷却水温の影響

4.2 燃焼期間

燃焼期間と燃焼安定性との関係について紹介する。ここで示す結果は、全ての実験点におけるものである。図6は、燃焼質量割合0-10%期間とNMEPのCOVとの関係を示す。0-10%期間が伸びるにつれ、燃焼安定性は悪化している。同一0-10%期間でみてNMEPのCOVの幅は比較的広い。図7に、燃焼質量割合10-90%期間とNMEPのCOVとの関係を示す。10-90%期間が伸びるにつれ、燃焼安定性も悪化している。0-10%期間に比べ同一10-90%期間によるNMEPのCOVの幅は狭い。今回の結果から、MBTをとると初期燃焼期間の長期化は必ずしも燃焼安定性の悪化をもたらすわけではないことが分かる。つまり、主燃焼までに時間はかかるが、主燃焼開始までの時間のばらつきが小さく、その結果燃焼安定性は良いという条件が存在する。また初期燃焼期間がある程度以上長くなると、燃焼安定性が急激に悪化する。一方、主燃焼期間の長期化は、必ず燃焼安定性の悪化をもたらすので、燃焼安定性に与える影響は大きいと推測される。

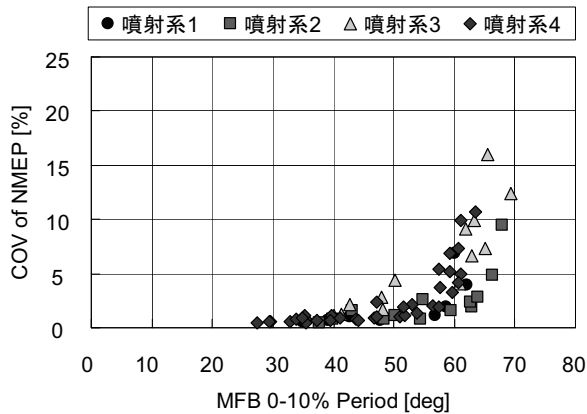


図6 燃焼質量割合 0 - 10% 期間と燃焼安定性との関係

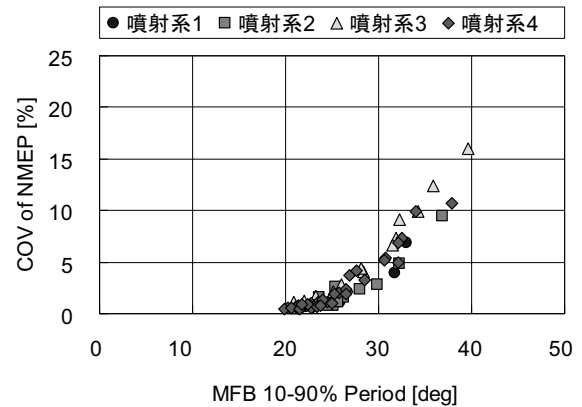


図7 燃焼質量割合 10 - 90% 期間と燃焼安定性との関係

4.3 混合気分布

実験結果より、噴射系の配置、噴射時期ならびに冷却水温は燃焼安定性に影響を与えていることが確認された。噴射の変化は吸気ポート内の混合気形成、燃料液膜位置、燃料液滴径、そして最終的には燃焼室内の混合気分布に影響を与える。それゆえに、噴射系による燃焼の変化は混合気分布と関係があると考えられる。これを検証するため、CFDシミュレーションを実施し筒内の混合気分布を解析した。

図8に各計算仕様における点火時期付近の筒内燃空比分布を示す。図には対応する実験条件でのNMEPのCOVも示す。カラーバーの緑色がAFR14.5付近を示している。尚、点火プラグは計算モデル形状に反映されていないが、燃焼室中央に配置されている。仕様A、B、Gにおいては、混合気の均一性が高いことが窺える。またこれら条件でのNMEPのCOVは順に1.8%、3.1%、3.9%と比較的小さな値であった。一方、NMEPのCOVが比較的に高かった仕様D、E、F(それぞれ11.4%、7.1%、8.6%)では、混合気の均一性は低い。これらの事実より、混合気の均一性が高いとNMEPのCOVは低くなり、また、NMEPのCOVが高いのは混合気の均一性が低いことに関係していると言える。

次に、各噴射系の結果をより詳細に見ていく。吸気ポート上流壁をねらった噴射系1では、実験において噴射時期に寄らず燃焼は安定していた。これは、仕様Aの燃焼室内の混合気分布が仕様Bのそれとほとんど同じ様であることから説明される。また、吸気ポート上流壁をねらっている噴霧は、微粒化を誘起する燃料液滴の壁面衝突によって、均一な混合気形成を促進していることも示している。

噴射系4の仕様Gでは、平均粒径の小さな燃料噴霧が吸気ポート内に噴射され、吸気ポート内の燃料の蒸発と空気との混合が進んでいる。そして、この高い均一性をもった混合気が吸気ポートから筒内へと導入されている。

吸気バルブ傘表面をねらった噴射系2では、実験において噴射時期は燃焼に大きな影響を与えている。燃焼安定性が悪くなるような噴射時期に設定された仕様Dでは、筒内中央部が薄くシリンダー外周部、特に排気側に濃い混合気が存在している。一方、燃焼安定性が良くなるような噴射時期に設定された仕様Cでは、筒内中央において混合気が理論空燃比となっている。さらには、排気側のシリンダー壁近傍の混合気が薄いことから、仕様Dとは全体的に異なることが示されている。

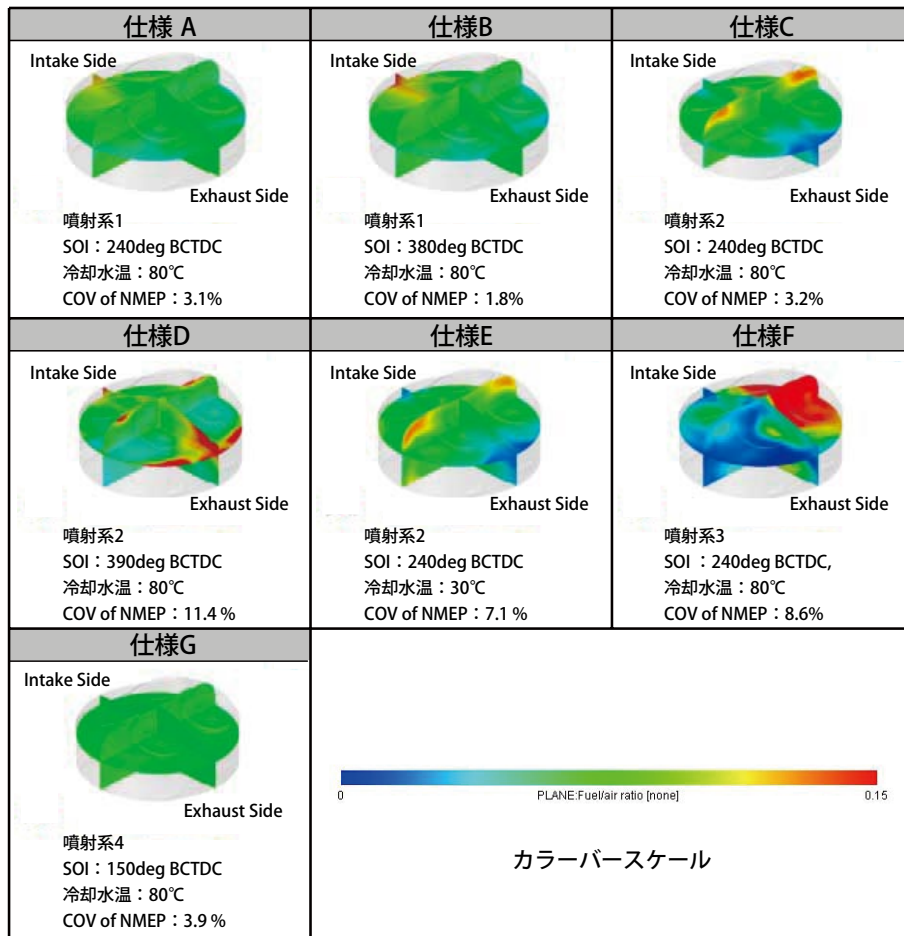


図8 点火時期付近の筒内燃空比分布

図9に、仕様C、DのIVC(Intake Valve Closed:吸気バルブ閉)における吸気バルブ軸線を通る断面上の燃空比分布を、燃料液滴分布および液膜厚さ分布と一緒に示す。両者の大きな違いは、仕様Cでは吸気ポート内にしか液滴が存在しないのに対して、仕様Dでは筒内に液滴が見られることである。液膜についても、仕様Cでは見られないが、仕様Dにおいては排気バルブ下のシリンダー壁に液膜が見られる。そして、点火時期において排気バルブ下に見られる濃い混合気は、この液膜からの蒸発と考えられる。これらより、液滴として筒内に導入される燃料や排気側に生成される燃料液膜は、筒内で十分に混合されえないため、偏った混合気分布が燃焼変動を導くと結論付けられる。

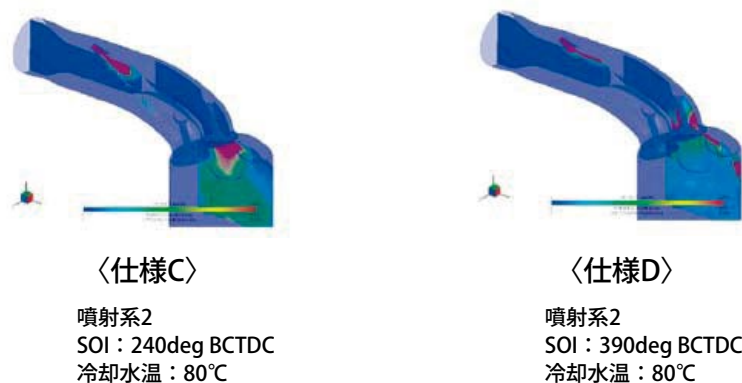


図9 吸気バルブ軸線を通る断面上の燃空比分布、燃料液滴分布および液膜厚さ分布

噴霧速度と噴射孔と吸気バルブの間の距離を考慮すると、燃料噴霧が吸気バルブに到着し筒内に流入する時期は図10のようになる。噴射開始時期(SOI)が530[deg]BTDCの場合、燃料噴霧はほぼIVO(Intake Valve Open:吸気バルブ開)に吸気バルブに到着し始める。SOIが390[deg]BTDCの場合、吸気バルブへの燃料噴霧の到着はほぼIVCまでに終了する。前述したように(図4参照)、NMEPのCOVは上記2噴射時期の間で悪化している。燃焼安定性が悪化する噴射時期は、燃料噴霧が吸気行程中筒内に直接流入してくる条件に関係している。

冷却水温が低い場合(仕様E)、混合気分布の傾向は冷却水温が高い場合(仕様C)と変わらない。しかし、混合気分布における濃淡の差はより大きくなっている。この混合気における強い不均一性が燃焼安定性を悪化させていると考えられる。

以上より、CFDによる混合気分布を考慮すると、吸気バルブ傘表面をねらった噴射系においては、吸気行程に同期した噴射時期や低壁温での燃焼安定性悪化は混合気分布に起因すると考えられる。

噴射系3の仕様Fは、燃料が導入される吸気ポート側にひどく偏った混合気分布を示している。また点火プラグまわりには、一様でない混合気分布も存在する。このCFD結果と実験結果より、片側吸気ポートに燃料噴射する場合、点火プラグ近傍および筒内の不均一な混合気分布が、燃焼のサイクル変動に結びつく結論付けられる。

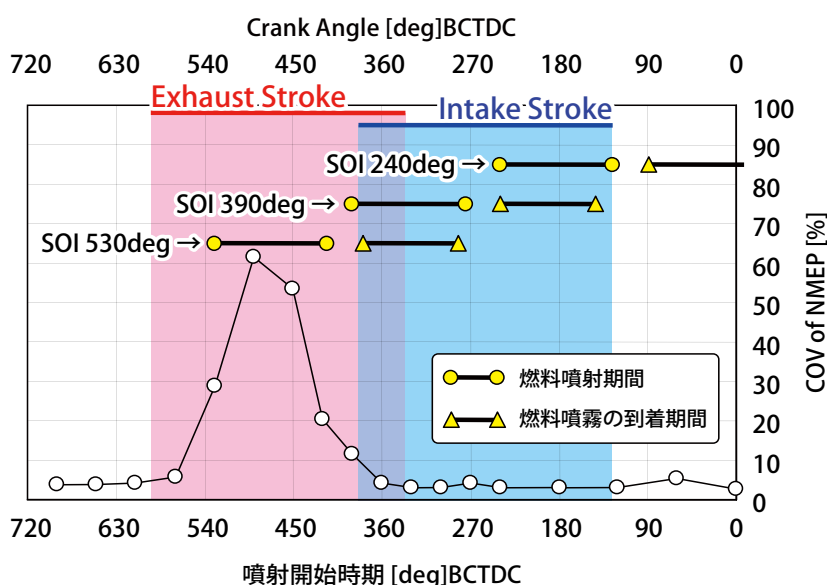


図10 燃料噴霧吸気バルブ到着時期と燃焼安定性悪化時期との関係

4.4 液膜量

噴射系は燃焼安定性だけでなく、過渡性能にも影響を与える。そこで、その影響を定量的に把握するため、CFDによるエンジン内液膜挙動の解析を行った。図11にCFDによるポート内燃料液膜量の推移を示す。吸気ポート上流壁をねらった噴射(仕様A、B)では、噴射時期に寄らずポート内燃料液膜量は比較的多い。液膜量はまだ収束していない。これは過渡性能への影響が懸念される。液膜分布の例として、IVO付近におけるものを図12に示す。噴射後噴霧が衝突する位置から吸気ポート分岐部にかけて液膜が存在しているのが分かる。一方、吸気バルブ傘表面をねらった噴射(仕様C、D、F)では、ポート内燃料液膜量は比較的少ないので、過渡性能は良いことが期待される。一方、低壁温(仕様E)では、ポート内

燃料液膜量は比較的多いので、過渡性能悪化が懸念される。微粒化インジェクターを使用した場合には、ポート内燃料液膜量は従来のPFIインジェクターを使用した場合よりも少なめであるので、過渡性能は若干良くなることが期待される。

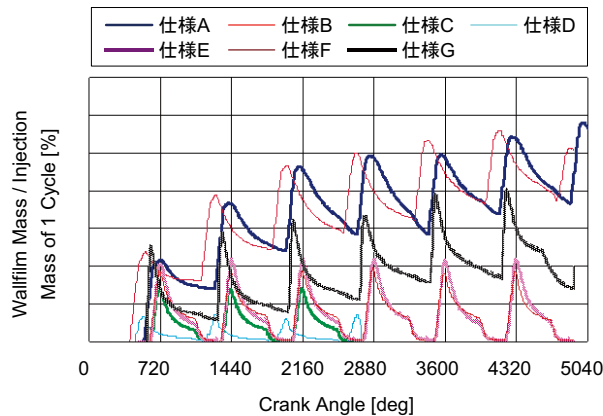


図 11 各仕様の 1 噴射量で基準化した時の液膜量の推移

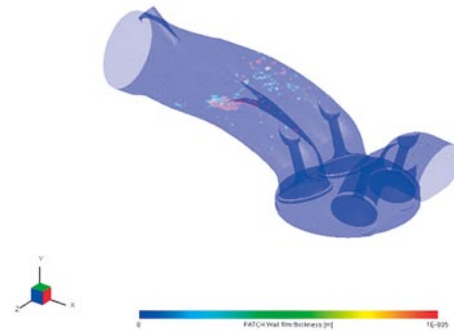


図 12 仕様 A における IVO 時期付近の液膜厚さ分布

5 まとめ

小排気量モーターサイクルエンジンにおける燃焼安定性に対するPFI噴射系の影響を実験と数値解析によって調査した。以下の知見を得た。

1. 低負荷での燃焼安定性は筒内の混合気分布に強く影響される。
2. 筒内の混合気分布は、ポート噴射でも噴射諸元の影響を受ける。
3. 噴射諸元の燃焼安定性に対する影響は、CFDで得られる混合気分布で定性的に説明できる。
4. 試験した噴射系には以下のような特性がある。
 - ・吸気ポート上流壁をねらった噴射では燃焼安定性に対する噴射時期の影響は小さい。これは、点火時期における筒内混合気の均一性が極めて高いことによると考えられる。ただし、ポート内燃料液膜量は比較的多いので、過渡性能への影響が懸念される。
 - ・吸気バルブ傘表面をねらった噴射でも、吸気行程に噴霧が直接筒内に導入されないタイミングでの噴射ならば、低負荷での燃焼安定性への影響は小さい。また、ポート内燃料液膜量は比較的小さいので、過渡性能は良いことが期待される。
 - ・吸気行程に噴霧が直接筒内に導入される噴射時期は、吸気バルブ傘表面をねらった噴射で、低負荷での燃焼安定性悪化要因となる。この噴射時期では、微粒化インジェクターを用いても、低負荷での燃焼安定性が若干悪化する。これは、筒内の混合気分布や液滴量の増加が原因と考えられる。ただし、ポート内燃料液膜量は比較的小さいので、過渡性能は良いことが期待される。
 - ・吸気バルブ傘表面をねらった噴射で、低壁温・低負荷での燃焼安定性は悪化、特に、AFRリーン側で燃焼安定性悪化は顕著である。これは、筒内の混合気分布や液滴量の増加が原因と考えられる。同時に、ポート内燃料液膜量は比較的多いので、過渡性能への影響が懸念される。
 - ・片側ポートのみへの燃料噴射では、燃焼安定性は悪化する。これは、筒内の混合気分布の偏りが原因していると考えられる。
 - ・平均粒径が小さな噴射では燃焼安定性が良く液膜量が少ない。

■参考文献

- 1) Hiroyuki Tsuzuku, "Improving the Fuel Economy of Motorcycles", Yamaha Motor Technical Review No.36 (2003-9).
- 2) Inoue T, Matsushita S, Nakanishi K, Okano H, "Toyota lean combustion system: the third generation system", SAE paper 93087, 1993.
- 3) Y.Hardalupas, A.M.K.P.Taylor, J.H.Whitelaw, K.Ishii, H.Miyano and Y.Urata, "Influence of Injection Timing on In-Cylinder Fuel Distribution in A Honda VTEC-E Engine", SAE paper 950507, 1995.
- 4) N.E.Carabateas, A.M.K.P.Taylor, J.H.Whitelaw, K.Ishii, K.Yoshida and M Matsuki, "The Effect of Injector and Intake Port Design On In-Cylinder Fuel Droplet Distribution, Airflow and Lean Burn Performance for Honda VTEC-E Engine", SAE paper 961923, 1996.
- 5) P.G.Aleiferis, A.M.K.P.Taylor, J.H.Whitelaw, K.Ishii and Y.Urata, "Cyclic Variations of Initial Flame Kernel Growth in a Honda VTEC-E Lean-Burn Spark-Ignition Engine", SAE paper 2001-01-1207, 2001.

■著者



加藤 昇一
Shouichi Kato
MC事業本部技術統括部
CAE実験部



林田 高典
Takanori Hayashida
コーポレートR&D統括部
パワートレイン研究部



飯田 実
Minoru Iida
コーポレートR&D統括部
パワートレイン研究部



ARXモデルシステム同定手法を用いた 燃料挙動パラメーター適合方法

Fuel behavior parameter optimization method using the ARX model system
identification technique

田辺 大樹 梶井 直継 小出 充敏 鳥越 昌樹 迫田 茂穂

Abstract

In most fuel injection controls for automotive engines, a high precision air-fuel ratio control is used to accurately control the fuel injection volume in accordance with driving conditions using the fuel behavior model. This control technology is also implemented on Yamaha Motor Co., Ltd. motorcycles with fuel injection systems. However, it is difficult to carry out fuel control parameter optimization as it is extremely difficult for this control to measure the amount of injected fuel that becomes adhered to the intake pipe and the amount of adhered fuel that is taken into the cylinder. Consequently, we have developed a optimization technology that can achieve precise parameter optimization in a short time span using a system identification method that analyzes the event statistically using measurement data in an attempt to solve these types of issues. This report discusses the optimization technology used. Furthermore, this report summarizes the actual running evaluation results for fuel injection angle and temperature effects.

要旨

自動車用エンジンの燃料噴射制御には、燃料挙動モデルを用いた運転状況に応じ正確な燃料量を制御する高精度空燃比制御が一般的に採用されており、この制御技術はヤマハ発動機(以下、当社)のインジェクター搭載モーターサイクルにも応用されている。しかしながら、この制御は、噴射した燃料のうち、吸気管内に付着する量と付着していた燃料量等からシリンダーへ吸入される量を実測することが極めて困難であることから、燃料制御パラメーター適合が難しいという課題を有している。そこで我々は、実測データより統計的に事象を解析するシステム同定という手法を用いて、正確かつ短時間にパラメーター適合を実現する適合手法技術を開発し、これら課題の解決を試みている。この論文では、その適合技術について言及する。さらには、この手法で得られた適合パラメーターを用いた、燃料噴射角度や温度等の影響に対する実運転での評価結果をまとめ、その実用性についても示す。

1 はじめに

当社で扱う商品、特にモーターサイクルは、ファンライドがその商品の大きな魅力のひとつであり、高出力・高レスポンス等のニーズが強い。その一方、今日の地球環境への関心の高まりとともに、モーターサイクルを含む自動車業界では、排気ガス浄化や燃費向上への取組みを加速させている。

これらを両立させる解決策のひとつに、運転状況に応じ正確な燃料量を制御する高精度空燃比制御があげられる。空燃比(以下、A/F)制御は、空気(Air)と燃料(Fuel)の制御を行うものであり、空気量の制御には、エアフローセンサー等の、空気量を測定するセンサー情報を使用する、もしくは、吸気負圧、スロットル開度、エンジン回転数等の入力パラメーターを用いて、非線形モデルを表すルックアップテーブルを参照する方法等が一般的に応用されている。また、燃料量の制御に関しては、エンジン運転状態により大きく2つの領域に分けて以下のような検討をするのが一般的である。

①定常運転領域:エンジン回転数やスロットル開度等が一定の場合

リニアA/Fセンサーもしくは、O₂センサーを用いたフィードバック制御の寄与率が高く、A/Fを目標値に速く収束するフィードバック制御設計が重要となる。

②過渡運転領域:スロットル等の変化による、加速・減速等の非定常運転の場合

定常領域の制御だけでは、センサーによるフィードバックではセンサーの遅れ時間などにより応答性に問題が生じる。よって、何らかのフィードフォワードによる制御を行う必要がある。この制御の一例として、エンジン回転数、スロットル開度等によって、非線形モデルを表すルックアップテーブルを参照する方法や、線形モデルを用いて数式による制御を行う方法等が挙げられる。多くの場合は、これら2つを併用して制御を行っている。

ところで、吸気ポート噴射エンジンでの燃料制御では、吸気ポート内に付着する燃料を考慮した燃料モデルを用いて、フィードフォワードによる燃料噴射制御を行うのが一般的であり、モーターサイクルでもこの制御技術は応用されている。

しかしながら、これらの制御は、高精度な空燃比を実現可能である半面、燃料制御パラメーターを適合することが難しいという課題もある。これは、噴射した燃料のうち、吸気管内に付着する量と付着していた燃料量等から、シリンダーへ吸入される量を実測することが極めて難しく、数値化が困難であることに起因する。このため、システム開発者にとってこの課題は、特に吸気系システムが時々刻々と変化して行く開発段階で多大な労力を要することになり、その早期解決が必要とされていた。

2 燃料噴射制御について

2.1 燃料挙動モデル

A/Fを精密に制御するには、シリンダーの中に吸入される空気量に合わせ、燃料噴射量を精密に制御する必要がある。シリンダーへの吸入燃料量は、インジェクターより直接吸入される燃料と、一度吸気管や吸気バルブに付着し、そこから持ち去られ、シリンダーに吸入される2つの経路がある。この経路を概念図として図1に示す。

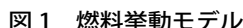

$$\begin{aligned}
M_{F1}(n) &= (M_F(n) - M_{FB}(n) \times \tau) / (1 - X) \\
M_{FB}(n) &= M_{F1}(n) \times X + M_{FB}(n-1) \times (1 - \tau) \\
M_{FB}(\infty) &= M_{F1}(\infty) \times X / \tau \\
M_F &: \text{シリンダー必要燃料質量 (燃焼室に入る燃料量)} \\
M_{F1} &: \text{燃料噴射質量} \\
M_{F1}(\infty) &: \text{定常状態での燃料噴射量 (= 燃焼室に入る燃料量)} \\
M_{FB} &: \text{吸気管内に付着している燃料量} \\
M_{FB}(\infty) &: \text{定常状態での吸気管内に付着している燃料量} \\
X &: \text{燃料付着率} \\
\tau &: \text{燃料持ち去り率}
\end{aligned}$$

図 2 燃料挙動モデルの数式

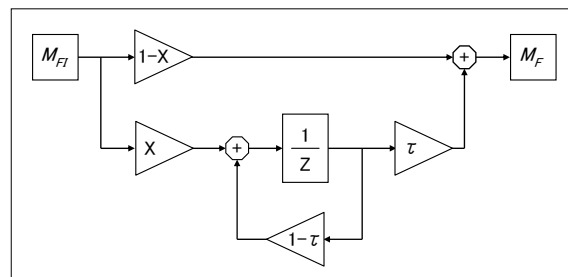


図3 燃料挙動モデルブロック図

燃料噴射制御は、シリンダーに吸入する燃料量を確定させた上で、インジェクターの通電時間を決定する。これには、燃料挙動モデルから逆モデルを作成し、これをコントローラーとして付着および持ち去りを考慮し、通電時間を決定する必要がある。

この場合、インジェクターから噴射された燃料のうち、吸気管に付着する割合を付着率(以下、 X)、付着している燃料からシリンダーへ持ち去られる燃料の割合を持ち去り率(以下、 τ)として、 X と τ をどのように決定するかが空燃比制御の性能を決定する。 X と τ は、吸気温度、エンジン回転数、スロットル開度などのエンジン運転状態に大きく依存し、非線形性が強いいため、一定値で全てのエンジン運転領域をカバーする事は難しい。そこで、現在はエンジン回転数とスロットル開度等によるルックアップテーブル(以下、MAPと呼ぶ)により、 τ 、 X を算出している。

また、図4に、このモデルが制御可能となるパラメーターの組み合わせ領域、安定領域を示す。この図の×となる τX パラメーターの組み合わせは、燃料噴射を発散させてしまい、制御不能になることが論理的に算出可能である。ここで発散とは、あるサイクルで燃料を大量に噴射し、次のサイクルでは全く燃料を吹かないといった安定した燃料噴射ができない状態を意味する。このため τX パラメーターは○となる領域での組み合わせを選定する必要がある。

X(附着) [%]

	10	20	30	40	50	60	70	80	90
10	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○	○	○	○	×
30	○	○	○	○	○	○	○	○	×
40	○	○	○	○	○	○	○	×	×
50	○	○	○	○	○	○	○	×	×
60	○	○	○	○	○	○	×	×	×
70	○	○	○	○	○	○	×	×	×
80	○	○	○	○	○	×	×	×	×
90	○	○	○	○	○	×	×	×	×

τ (持ち去り) [%]

図4 安定領域

2.3 従来の課題

従来、このパラメーター適合は、運転領域で回転数やスロットルを変化させ、この運転から得られるA/Fの変動が最小となるように、適合技術者の判断で適合を行っていた。しかし、この手法では、多大な時間を要する上に、適合者のスキルに依存し、定量的な評価ができないといった課題があった。

3 原理

3.1 システム同定とARXモデル

システム同定とは、対象とする動的システムの入出力データの計測値から、ある目的のもとで、対象と同一であることを証明できるような、なんらかの数学モデルを作成すること¹⁾である。本稿ではAuto-Regressive eXogeneous(以下、ARX)モデルと呼ばれる式を用いてシステム同定による適合を行った。

3.2 ARXモデルシステム同定と適合

ARXモデルとは、ある時刻 n の時の離散系システムへの入力値を $U(n)$ 、出力値を $Y(n)$ 、ノイズを $W(n)$ とすると、

$$Y(n) + a_1 Y(n-1) + \dots + a_{na} Y(n-n_a) = b_1 U(n) + \dots + b_{nb} U(n-n_b) + W(n) \dots \textcircled{1}$$

として表すモデルである。ところで、燃料挙動モデルの数式に、

入力: 燃料噴射量を M_{FI}

出力: A/F を Y_{AF}

として代入し、式を整えると、

$$\frac{1}{Y_{AF}(n)} - (1-\tau) \frac{1}{Y_{AF}(n-1)} = \frac{(1-X+\tau X)}{M_{air}} M_{FI}(n) - \frac{(1-\tau)(1-X)}{M_{air}} M_{FI}(n-1)$$

$M_{air}(n)$: 吸入空気量[g]
 $M_f(n)$: 燃料噴射量[g]
 X : 燃料付着率
 τ : 燃料持ち去り率

と、表すことができる。ここで、

$$Y(n) = \frac{1}{Y_{AF}(n)}$$

$$U(n) = T_{FI}(n)$$

とおくと、YとUに関し、①のARXモデルのn=2とした時の式と同じ形になる。よって、上記2式の係数比較より

$$\tau = a_1 + 1$$

$$X = \frac{b_2 - a_1 b_1}{b_1 + b_2} \quad \dots \textcircled{2}$$

と、 τ 、Xを表すことができる。ここで、①の式が、ARXモデルであることから、入力(噴射燃料量)と出力(A/Fの逆数)を正確に計測することで、予測誤差法により、 a_1, b_1, b_2 を求め、その結果を②に代入し、 τ 、Xを算出することができる。この適合方法をARXモデルシステム同定による τ 、Xパラメーター適合と呼ぶ。

4 適合実験と適合結果

ARXモデルシステム同定による τ 、Xパラメーター適合実験を4ストローク・1000cm³エンジン(表1)を用いて行った。

表1 エンジン諸元

Engine type	Liquid-cooled, 4-stroke, DOHC
Displacement	998cm ³
Cylinder arrangement	Forward-inclined parallel 4-cylinder
Bore × stroke	77.0 × 53.6 mm
Compression ratio	12.4:1

ARXモデルシステム同定を行うには、同定対象の正確な入出力データを、実験により計測する必要がある。本実験では、入力信号Uを燃料噴射量、出力信号YをA/Fの逆数として下記の手順にて実験を行った。本実験での排ガス計測概要を図5に、実験概要を図6に示す。

- ①所定のスロットル開度、回転数に設定する。
- ②A/Fリッチーリーンとなる燃料噴射時間を2値のランダム信号(例えばM系列信号)として出力する。
- ③排気ガス中のA/Fを算出する。
- ④算出したA/Fデータと入力データを用いてARXモデルシステム同定を行い、その結果から、 τ 、X値を算出する。

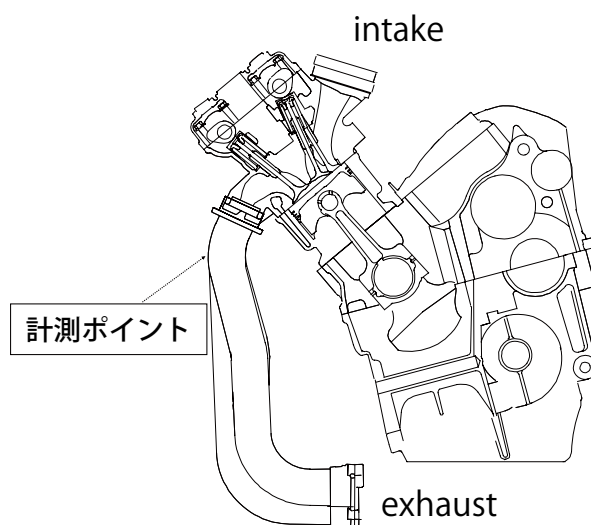


図5 排ガス計測概略図

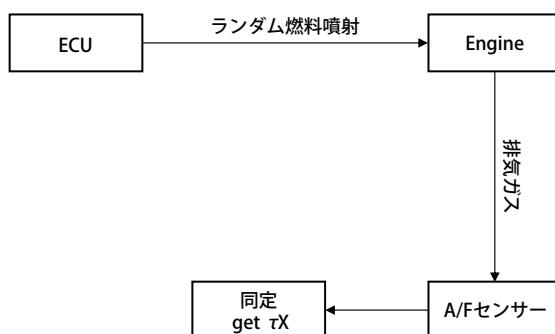


図6 実験概要図

ただし、前提条件として、エンジン回転数とスロットル開度一定の条件では、吸入空気量の変化は燃料量の変化に対し十分小さいと仮定している。得られた τ -X MAPの一例を表2に示す。

表2 τ -X MAP の一例

τ [%]		Throttle angle[deg]			
		4	10	20	40
E/G [rpm]	2000	41	45	32	35
	3000	31	33	28	30
	4000	45	41	42	28
	5000	45	40	35	28

X[%]		Throttle angle[deg]			
		4	10	20	40
E/G [rpm]	2000	31	35	40	39
	3000	34	38	40	39
	4000	45	43	46	40
	5000	43	42	40	40

5 評価

5.1 実験方法

この適合方法により得られた τ -X MAP(例えば表2)がA/F制御性、および、トルク変動に対し、どの程度有効性があるかを確認するために評価実験を行った。評価方法は、Virtual Real Simulationベンチ(以下、VRS)と呼ばれる、過渡走行状態をシミュレーションにより再現することのできる台上試験機を用いて行った。具体的な評価手順を以下に述べる。

- ①VRSを、走行シミュレーションモードに設定し、ギヤをGに固定し、エンジン回転数2000rpm付近で安定させる。
- ②2000rpmの安定した時点のスロットル開度からステップ状にスロットル開度を Th° 増加させ、 t 秒間加速させる。
- ③①相当のスロットル開度になるように閉じる。

以上①～③を5回繰り返す、この時のA/Fの変化、エンジントルクを計測し、平均を行う。

評価実験では、 $G=2$ 速、 $Th=5^\circ$ の評価を行った(図7)。

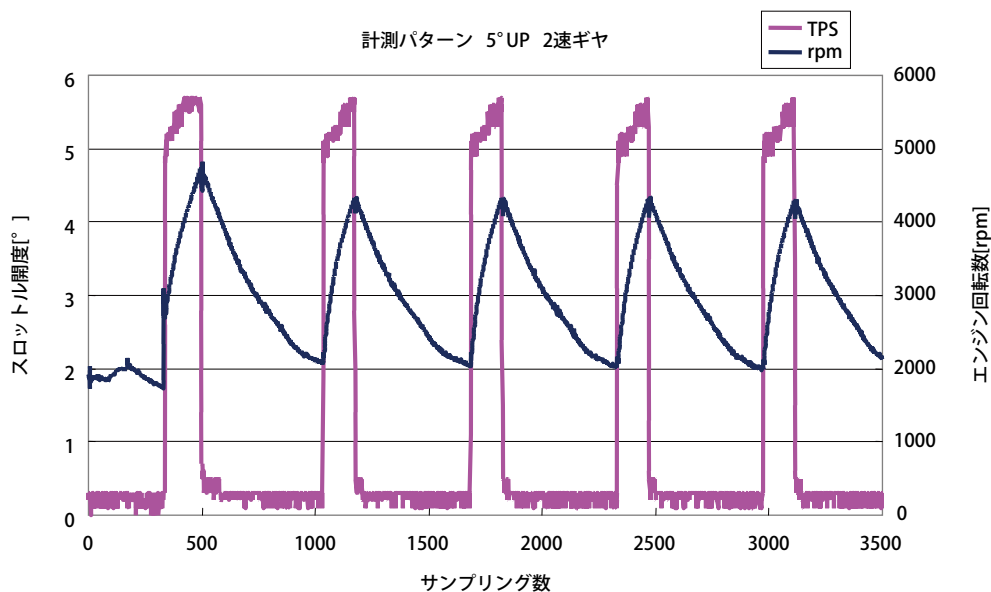


図7 評価実験パターン

尚、A/F計測は、排気バルブ後約10cmにNGK社製の全域空燃比センサーを用いている。また、トルクは、高速応答エンジンダイナモのトルク計を用いている。

5.2 A/F制御性評価

ARXモデルシステム同定適合による τ -X MAPを用いて、実際にエンジン制御を行った。目標A/Fの13.2に対し、本手法を用いた τ -X MAPを利用した場合と、従来の適合者による τ -X MAPを利用した場合と比較すると、A/Fの最大リーン値を14.36→14.07と少なくすることができた(図8参照)。また、評価を行った全ての条件(スロットル開度、ギヤ)においてA/Fの最大リーン値を1.2%～3.3%減少させることも確認できた(表3)。そして、A/Fの最大リーン値を抑制することにより、後のサイクルの目標A/Fへの収束速度も速くなっていることも確認できた。この目標A/Fへの収束時間も含めたA/F制御性能の評価を行う

ため、次の新たな評価指標を定義した。

A/Fスパイク量：目標A/Fから計測A/F値を引いて絶対値を計算し、15サイクル分積分した値

結果、6速ギヤの場合は30%以上、2速ギヤの場合も16%以上スパイク量の低減が確認できた(表4)。

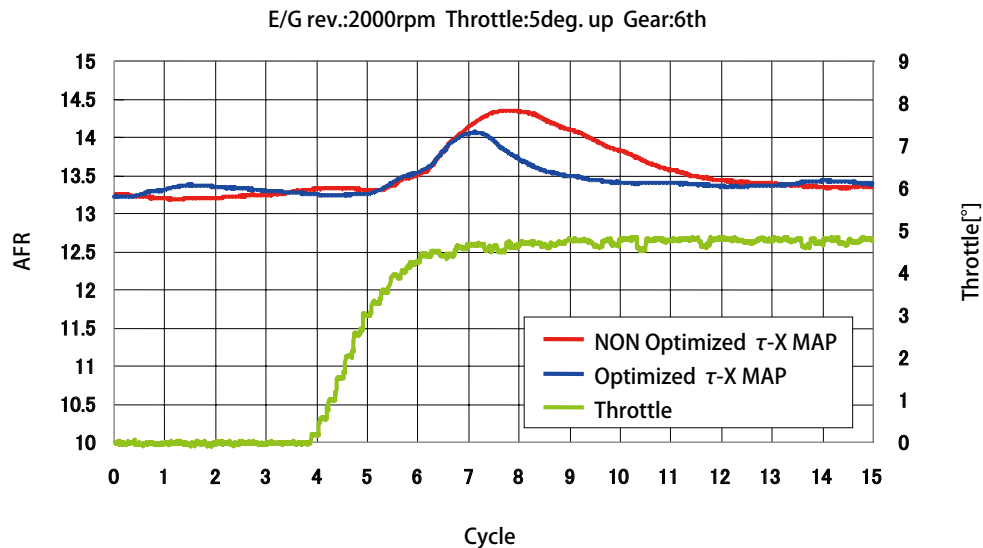


図 8 評価 A/F

表 3 A/F 最大値改善率 (5 回平均)

		A/F 最大値		
		5up	10up	40up
2 速ギヤ	τ - X なし	13.90	14.55	17.08
	τ - X あり	13.74	14.34	16.55
	改善率 [%]	1.2	1.5	3.1
6 速ギヤ	τ - X なし	14.36	15.18	16.81
	τ - X あり	14.07	14.34	16.26
	改善率 [%]	2.0	5.5	3.3

表 4 A/F スパイク量改善率 (5 回平均)

		A/F スパイク量		
		5up	10up	40up
2 速ギヤ	τ - X なし	3109.9	7477.929	14837.14
	τ - X あり	2252.7	6228.5	10988.46
	改善率 [%]	27.6	16.7	25.9
6 速ギヤ	τ - X なし	3756.5	10595.4	11677.4
	τ - X あり	2541.8	7264.6	7428.7
	改善率 [%]	32.3	31.4	36.4

5.3 トルク応答性評価

ARXモデルシステム同定適合による τ -X MAPを用いて、エンジン制御を行い、トルクに与える影響の評価を行った。その結果、トルクの立ち上がりが以前の τ -X MAPを使用した場合と比較し、1サイクル早く立ち上がることを確認できた。

ARXモデルシステム同定適合を行った τ -X MAPを用いることにより、スロットルを開けた際に、正確に燃料補正を行っており(図9参照)、トルクの立ち上がりが早まったためと考えられる。

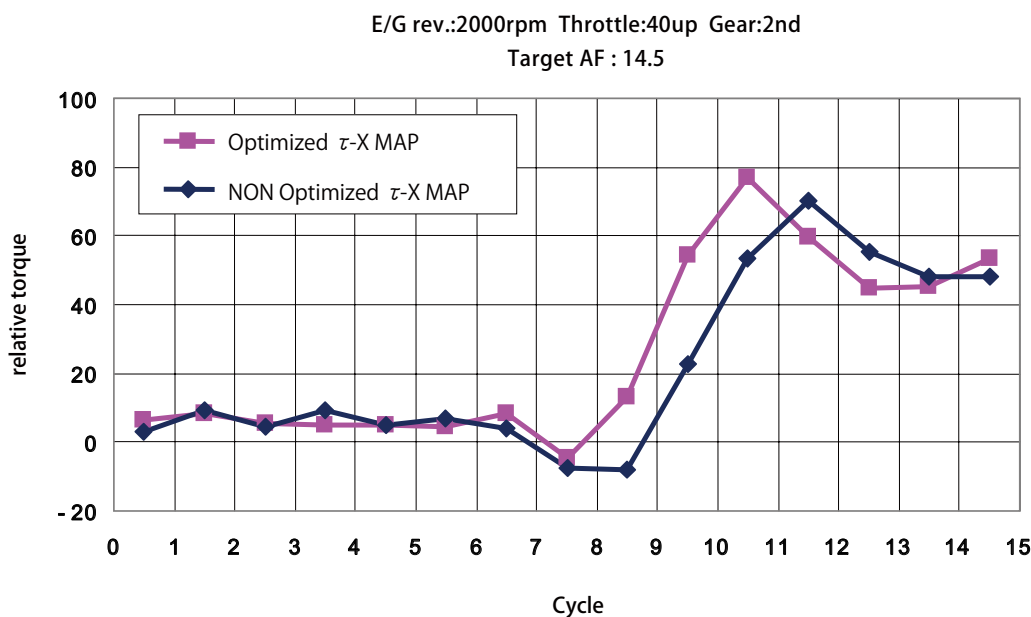


図9 エンジントルク特性

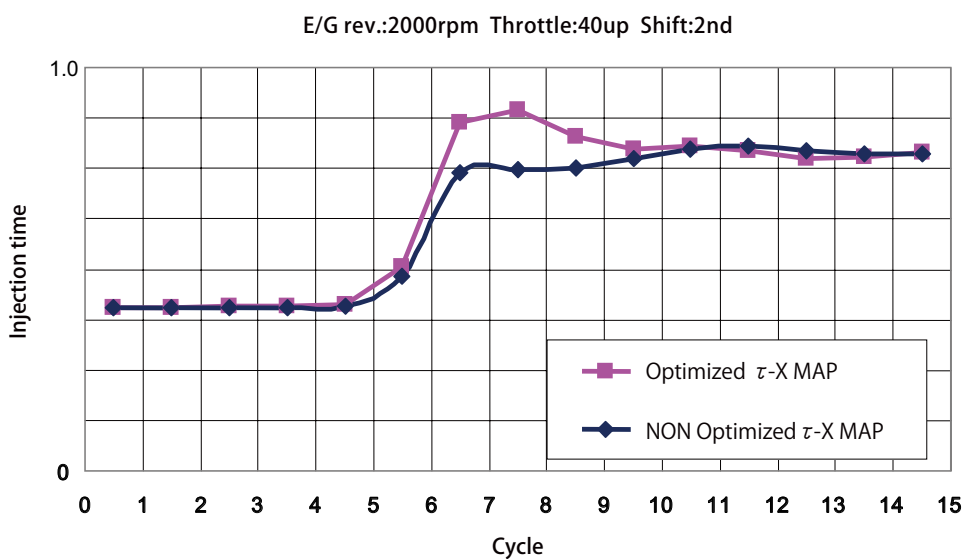


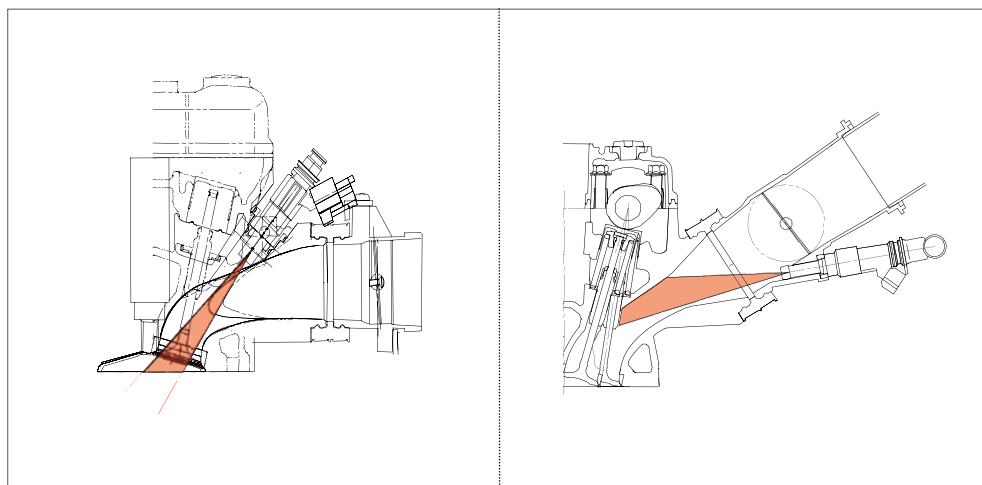
図10 燃料噴射時間

5.4 インジェクター配置の影響

ARXモデルシステム同定による τ -X MAP適合を、A:吸気バルブねらい配置、B:吸気ポート壁面ねらいこの2種類の配置(図11)で行い、インジェクター配置位置による τ およびXの比較を行った。

この結果、平均値にて比較を行ったところ、A:吸気バルブねらいの方が、約10%Xが低いことが分かった。また、 τ に関しては、逆にBの方が5%程大きいことが分かった。

以上より、燃料制御時に壁面、および、バルブへの付着の影響を受けにくい構成として、A:のような構成にすることが有効であることがいえる。



A : バルブねらい

B : 壁ねらい

図 11 インジェクター位置の影響

5.5 温度の影響

エンジン冷却水の温度により、付着率、持ち去り率に変化があるかを確認した(図12)。

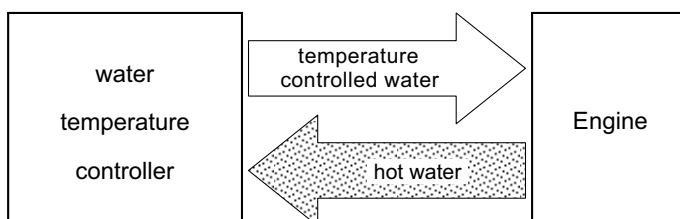


図 12 エンジン水温調整概要

表 5 水温による τ , Xの違い

		X [%]	τ [%]
water temp	30°C	60	30
	55°C	50	43
	70°C	42	60

表5は、エンジン冷却水温によるXと τ の平均値の表である。これより、水温が上がるにしたがってXの値が小さくなり、 τ の値が大きくなっていることが分かる。これは、エンジン冷却水温が高くなるにしたがって、燃料の気化が促進され、吸気管内に残留する燃料が減少しているためと推測する。

以上、5.4、5.5によって、ARXモデルシステム同定による τ 、X適合は、インジェクターの配置位置や、冷却水温による吸気管内の燃料の挙動を正確に捉えていることが確認できた。

6 おわりに

燃料挙動モデルを燃料噴射制御に利用する際、その制御の重要なポイントとなる τ -X MAP 適合方法として、ARXモデルシステム同定を用いた適合方法を開発した。これにより、適合者のスキルによらない統計的な適合を可能にしながら、以下の結果を得た。

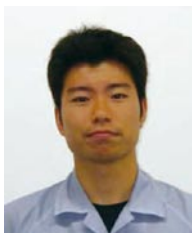
- ① ARXモデルシステム同定を用いた τ -X MAPを用いた制御を行うことにより、スロットルの急開による過渡時のリーンA/Fスパイク量を従来比16%以上抑制することができた。
- ② トルクの応答に関して、1サイクル早く応答することを確認した。
- ③ 論理的に τ 、Xを求めることが可能となり、インジェクターの設置位置や、エンジン水温による τ 、Xの違いも定量的に算出できた。

本技術は、新潟市朱鷺メッセにて開催された、2007年SETCにて論文賞を頂いており、学術的な見地からもその有用性が認められたと考えている。現在は、基礎研究の段階を終え、商品実験部門と商品開発ツールとしての有益性を検証中である。今後、この手法がよりよい商品作りに反映されることを期待したい。

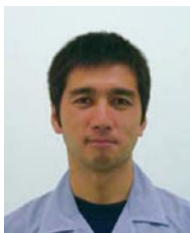
■参考文献

- (1) 足立修一:制御のためのシステム同定,東京電機大学出版局
- (2) 足立修一:制御のための上級システム同定,東京電機大学出版局
- (3) 藤沢英也・小川王幸・小林久徳・棚橋敏雄, 新電子制御ガソリン噴射 山海堂
- (4) 中島泰夫・村中重夫 自動車用ガソリンエンジン 山海堂
- (5) ポート噴射ガソリンエンジンの燃料挙動定量計測(第13回内燃機関シンポジウム講演論文集(1996-7-9~11))
- (6) ガソリンエンジンの過渡運転時の空燃比挙動(自動車技術会 学術講演会前刷集964 1994-10)
- (7) Model-Based Fuel Injection Control System for SI Engines(自動車技術会961188)

■著者



田辺 大樹
Hiroki Tanabe
コーポレートR&D統括部
システム技術研究部



柵井 直継
Naotsugu Masui
MC事業本部 商品開発統
括部 商品実験部



小出 充敏
Mitsutoshi Koide
MC事業本部 商品開発統
括部 商品実験部



鳥越 昌樹
Masaki Torigoshi
コーポレートR&D統括部
パワートレイン研究部



迫田 茂穂
Shigeo Sakoda
コーポレートR&D統括部
システム技術研究部

技術論文

MQLによるギヤシェーパーの高効率バリレス加工法

High-efficiency burrless machining method for shaping gears using MQL

森 一明

Abstract

The rise of China has hastened a global collapse in prices and, coupled with the prosperity of the BRIC countries (Brazil, Russia, India, China), has resulted in domestic Japanese corporations moving their manufacturing operations to overseas markets. This has caused a hollowing effect within Japan with calls for the revival of Japan as a country of “*monozukuri*” (product creation and manufacturing/craftsmanship). The motorcycle business of Yamaha Motor Co., Ltd. is no exception, and while the company has sought to strengthen its overseas production bases, it has also pursued activities to reduce cost by half domestically and has endeavored to raise the level and build up its manufacturing technology as the mother plant. We have instituted activities to reduce cost by half on the line machining the one-piece crankshaft that is mounted on V-twin motorcycles and present that case study here.

The one-piece crankshaft for a V-twin motorcycle comprises a single piece with a sprocket on either side to drive the camshafts. The teeth on these [sprockets] are cut by a gear shaper. Typically, on a machining line, gear cutting was the bottleneck process due to its long machining time. The occurrence of burrs after machining meant that dedicated machinery had to be used to remove the large burrs and then any burrs that could not be removed were filed off manually.

We have now developed “A high-efficiency burrless machining method using MQL (Minimum Quantity Lubrication)” which has halved cycle time and eliminated the need for burr removal, the details of which are described below.

1 はじめに

中国の台頭で世界的な価格破壊が進み、さらにBRICsの隆盛により、国内の各企業は製造の舞台を海外市場へ展開してきた。一方、国内では空洞化が進み、「ものづくり」日本の復活が叫ばれている。ヤマハ発動機(以下、当社)におけるモーターサイクル事業も例外ではなく、海外での生産拠点の強化を進める一方、国内ではコストハーフ活動を展開し、マザー工場としての「ものづくり」技術のレベルアップ、および、蓄積に努めている。今回、V型2気筒のモーターサイクル(図1)に搭載される一体クランクシャフト加工ラインでコストハーフ活動を展開したので、その一事例を紹介する。



図1 V型2気筒のモーターサイクル

V型2気筒一体クランクシャフトにはカムシャフト駆動用のスプロケットが左右2つ一体に形成される(図2)。その歯切りはギヤシェーパーで行われる。製造ラインの中で歯切り工程は従来、加工時間の長いネック工程だった。また加工後バリが出るため、専用機で大きなバリを取った後、取り切れないバリを手作業でヤスリがけをしていた(図3)。

今回、「MQL(最少量潤滑)による高効率バリレス加工法」を開発し、サイクルタイム1/2の実現と、手作業のバリ取り廃止を達成できたので、ここに詳述する。

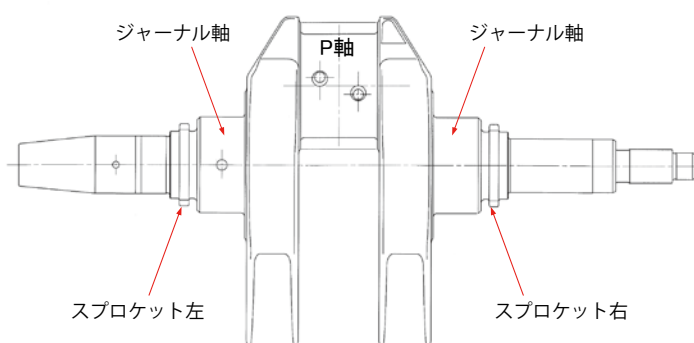


図2 V型2気筒一体クランクシャフト



図3 ヤスリがけ(手作業)

2 V型2気筒一体クランクシャフトの加工工程

2.1 加工工程とネック

加工工程は「旋削」「穴開け・歯切り」「熱処理・研削」「仕上げ・検査」の大きく分けて4つの工程群から成る。従来、歯切り工程がサイクルタイム2.8分と長く、ネック工程になっていた。

2.2 従来のスプロケットの加工方法と課題

2.2.1 従来の歯切り方法

スプロケットはジャーナル軸に近接しているため(図2)、ホブ切りでは工具が干渉して加工できない。このためギヤシェーパーが用いられる。ギヤシェーパーとは形削り盤に同期装置を付けた工作機械である。縦型で、工具軸とワーク軸は垂直である。工具はピニオンカッターと呼ばれ、歯車のような形をしている。下面がすくい面で、外周が逃げ面であり、外周には歯形形状に沿って3度前後の逃げ角が付いている(図4)。カッターはクランク機構により上下動をし、断続切削となる。このため連続的な切削のホブ切りと比較して加工能率が低い。一般的に油性の切削油を低圧で大量に加工点にかける。この方法を低圧クーラントという。また、サイクルタイムを少しでも短縮しようと、少ない切込み回数で厚切りしていた。このため歯切り後に大きなバリが発生していた(図5)。

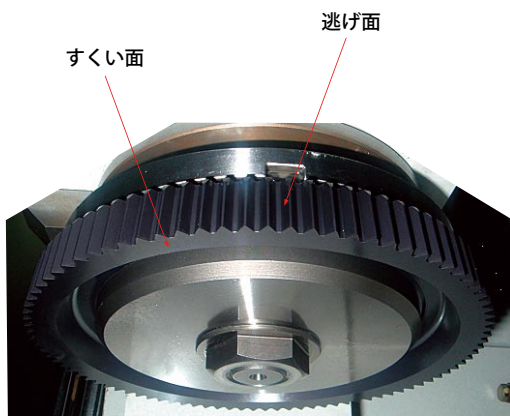


図4 ピニオンカッター

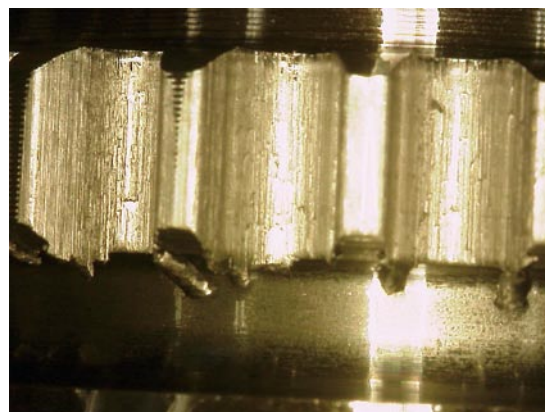


図5 歯切り後のバリ(低圧クーラント)

2.2.2 従来のバリ取り方法

歯切り後に旋盤ベースのバリ取り専用機でバリが出た端面にバイトを当てる。強く当てるとワークの端面が削られて不良となるため、バイトと端面とは0.2mm程度のすき間が必要だった。このためバリの根元が残る。これを熱処理後に手作業でヤスリがけして除去していた(図3)。

2.2.3 コストハーフへの課題

コストハーフのため、一体クランクシャフトの「理論サイクルタイム2分」を達成することを目標に掲げた。このためネックである歯切り工程の高速切削によるサイクルタイム短縮が課題となった。

さらに「生産性max化」のため、ライン全体のワークの脱着を手作業からオートローダーで行うこととした。このため手作業のバリ取りを廃止することも課題となった。バリを小さく除去しやすいものとし、後工程の交差穴のバリ取り設備で同時にブラシがけする方法(図6)を考えたが、課題はバリをどのようにして小さく除去しやすいものにするかだった。

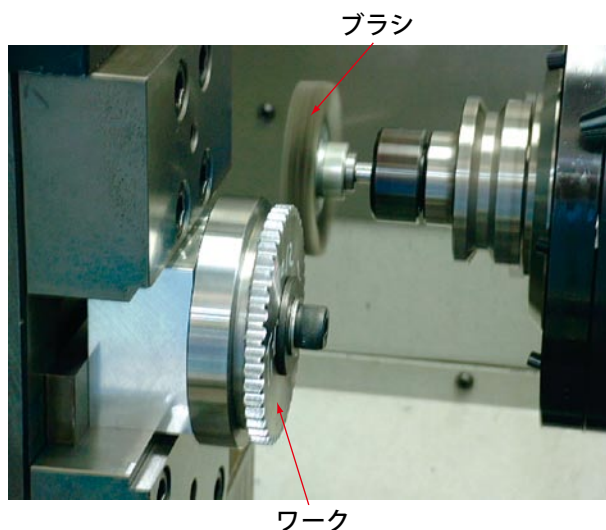


図6 ブラシによるバリ取り

3 課題解決へのアイデアと世の中の動向

3.1 課題解決のアイデアと目標

バリとはワークの端ではがれ落ちなかった切屑である。バリを小さく除去しやすいものにするには、薄切りすればよい。薄切りすると加工時間がかかる。そこでひらめいたのが、過去にホブ切りで工法開発し生産実績のあるMQLのギヤシェーパーへの応用だった。ギヤシェーパーの切削条件は、凝着磨耗(以下、ムシレ)で上限が決まる。MQLの良好な潤滑によってギヤシェーパーのムシレがなくなり飛躍的な高速切削が可能になるのではないかと、MQLで高速切削が可能になればサイクルタイム短縮と薄切りが両立するのではないかと考えた。

ギヤシェーパーの加工能率指標＝(ストローク)×(円周送り)×(ラジアル送り)と定義した。ストロークとは1分間にカッターが上下に往復する回数で、加工能率指標はワークを上から見たとき螺旋状に削り込んでいく毎分除去面積(mm²/min)を示す。薄切りによる切込み回数の増加を考慮して加工能率指標の目標を2.5倍と決めた。

3.2 MQLの原理と世の中の動向

3.2.1 MQLとは

MQLとはMinimum Quantity Lubricationの略で、最少量潤滑と訳される。潤滑性の高い植物油を1時間当たり4から100cm³と目に見えないわずかな量を微細なミストにして、加工点に噴射する加工法である。

3.2.2 当社における高能率加工開発の経緯

当社は、以前より、高能率加工に積極的に取り組んできた。1993年の工作機械見本市で高圧クーラントが注目を浴びたが、当社では、1990年前後に導入、および、実用開発を行い、切削除去量の多い旋削など加工点の温度が高い領域に有効であることを見出した。高圧クーラントとは、3.5Mpa以上の圧力で水溶性、または、油性の切削油を加工点に噴射する加工方法である。このときの経験から高圧クーラントの問題点も浮き彫りになった。それは、①高圧発生のために、クーラントの浄化など大掛かりな付帯装置が必要で、エネルギー消費も大きいこと、②加工能率は向上するが、刃具寿命は従来並であること、の2点だった。そこで、1995年前後に、MQLの実用開発に取り組んだ。MQLを用いると簡単な装置と少ないエネルギーで、加工能率2倍、刃具寿命2倍以上の効果が得られる。即ち「高効率」であることが分かり、いろいろな加工要素に展開してきた。

当社のMQLには「油ミスト」と、「油と水の混合ミスト」とがある。本論で紹介するギヤシェーパーは「油ミスト」、歯車のホブ切り加工とバルブリフターの仕上げ旋削は「油と水の混合ミスト」である。潤滑作用は化学反応による固体潤滑膜の生成などによる。植物油は比較的低い温度で効果があるが、高温ではあまり有効ではない。加工点の温度を低温、中温、高温と大まかに分類すると、「油ミスト」は低温で、「油と水の混合ミスト」は中温で有効であることを見出した。切削除去量の多い旋削など高温では、MQLはあまり有効ではない。「油ミスト」か「油と水の混合ミスト」かの選択は、切削速度、および、連続切削か断続切削か、また切屑の色から分かる加工点の温度から判断できる。例えば、本論の事例について改善前後の切屑の色を見ると、ギヤシェーパーは油性低压クーラントとMQL共に白色、ホブは油性低压クーラントで

灰色、MQLで茶から青色、仕上げ旋削はエアブローで青色、MQLで白色である。即ち、切屑の色が白色なら「油ミスト」を、茶から青なら「油と水の混合ミスト」を適用するのがよいという具合である。

3.2.3 MQLの原理

クーラント液の機能として、冷却、潤滑、切屑排除の3つが知られている。この3つを高度に制御することによって、飛躍的な高能率、長寿命が得られる(図7)。

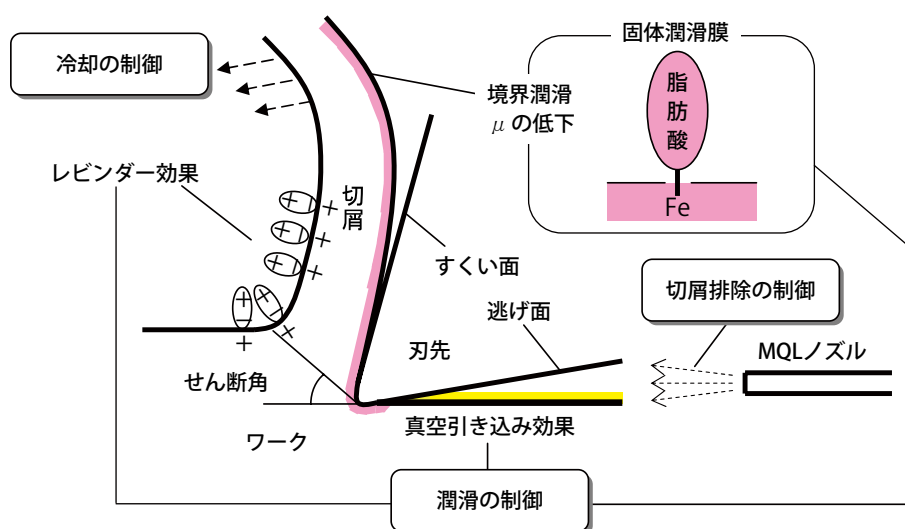


図7 加工点の高度制御

3.2.4 冷却の制御

MQLは油、または、油と水の微細なミストであり、加工熱で容易に気化し、気化熱を奪うことで冷却する。一例として自動車エンジン用バルブリフターの端面仕上げ旋削の刃先付近の切屑温度を比較測定した。エアブローが700℃以上なのに対して、MQLは約500℃と200℃以上の冷却効果が認められる(図8)。また、エアブローでは冷却効果が小さいため200個加工すると青くもつれた切屑となるが、MQLでは冷却効果が高いため2,000個でも白く短いらせん状切屑が安定して出てくる(図9)。

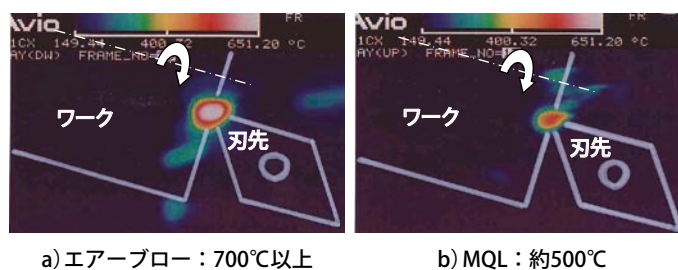
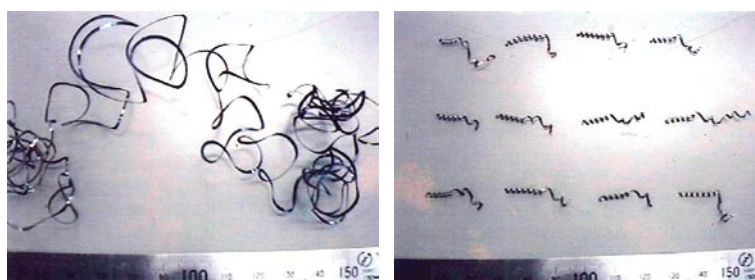


図 8 冷却の制御：刃先付近の切屑の温度



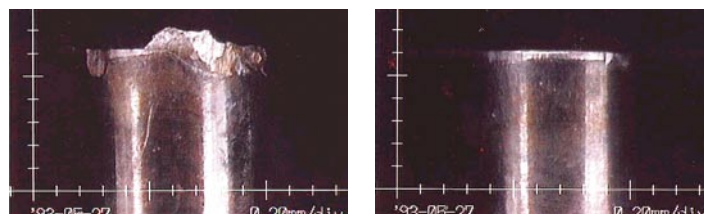
a) エアブロー：青くもつれた切屑 (加工数200個)
b) MQL：白く短いらせん状切屑 (加工数2000個)

図9 冷却の制御：切屑の形状

3.2.5 潤滑の制御

植物油に含まれる脂肪酸が被削材の鉄と化学反応をおこして固体潤滑膜を作る。低圧クーラントは加工点に大量の切削油をかけ酸素遮断状態になるが、MQLは微細なミストなので酸素が豊富にあり、この反応が促進されるといわれている。これが、MQLが潤滑性に優れている理由と考えた(図7)。

一例として、バルブリフターの端面旋削工程はワーク中心の切削速度がゼロとなり、切屑が刃先に凝着しやすくなる。工具に鉄と反応しにくいサーメットを用いてもエアブローでは刃先に大きな凝着が発生する。これに対してMQLでは凝着がない(図10)。さらに、すくい面側、逃げ面側とノズルの向きを変えてテストしたところ、逃げ面側から工具とワークのすき間を目掛けて噴射すると効果が大きいことが分かった。



a) エアブロー：凝着大
b) MQL：凝着なし

※端面旋削＝ワーク回転中心の切削速度はゼロ

図10 潤滑の制御：刃先の凝着

3.2.6 切屑排除の制御

切屑の流出方向を制御し噛み込みを防止することと、粘度の低い流体で効率よく排除することの2つがポイントになる。潤滑の制御と同じ逃げ面側から、最も粘度の低いエアを噴出し切屑を排除するため、切屑の噛み込みが防止できる。

一例として、歯車のホブ切り工程において低圧クーラントでは、切屑の噛み込みによる歯面の傷や凝着が時々発生し、これを「ムシレ」と呼んでいる。荒仕上げ2度切りの加工とし、仕上げの切屑を小さくすることで対策しているが、完全にはなくなる(図11a)。これにMQLを適用し、ノズル2本を逃げ面側から噴射すると、1度切りでも、ムシレが発生しない(図11b)。ただし、ノズルを逃げ面側から1本、すくい面側から1本噴射すると、ムシレが発生する(図11c)。これからノズルの方向と噴射領域を適正にセットすることが重要であることが分かった。

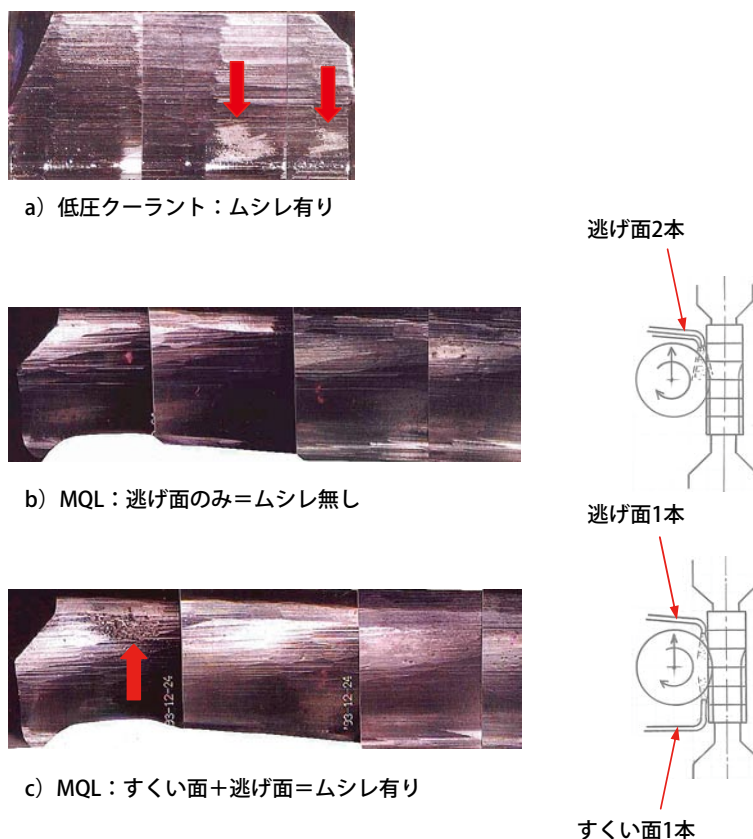


図 11 潤滑の制御：ノズルの向き

3.2.7 世の中の動向

MQLは鋼材のノコ切断などには古くから使用されている。ノコ切断の場合はノコ刃にふわっと塗布する程度なので、切屑の飛散はさほど問題にならない。しかし、それ以外の用途では、切屑飛散が、実用化を阻む大きな理由の一つとなっていた。

MQLはセミドライともいう。これに対して全く潤滑油を使わない方法をドライ加工と呼び、ホブ切りで実用化されている。ギヤシェーパーでも一般の歯車用にドライ加工専用機が市販されたが、普及していない。これはギヤシェーパーの切削速度が遅く凝着磨耗領域にあるため、カッターのすくい面へのコーティングが必須である一方、工具寿命が低圧クーラントより短いために工具費が高くつくことが原因と考えられる。

そこでMQLの潤滑性を利用すれば、この点を克服できると考えた。しかしMQL工法のギヤシェーパーへの適用の前例は無く、テストによる見極めが必要だった。

また、MQLの実用上の課題は切屑が設備内に飛散することである。一体クランクシャフトは通常の円盤状の歯車と違いクランクシャフトウェブが複数柵状にあり、この上に切屑が堆積する(図12)。このため洗浄液での洗浄が必要だが、ドライ加工専用機には洗浄機能がない。そこで洗浄機能を持ったMQLに適した設備の作り込みがどうしても必要だった。



図 12 切屑の堆積

4 要因解析と条件設定

4.1 実験の目的と方法

設備導入前にMQLの効果を見極めるため、ライン外でテストを行うことにした。またバリについて現状調査してみると、切削条件やワークの硬度でバリの大きさが違うことが分かった。そこで実験計画法を用いて要因解析をすることにし、目的を、①MQLの潤滑作用がムシレをなくし高速切削を可能にするか見極めること、②バリやムシレに対して切削条件の最適化を図ること、とした。

まず、評価特性と評価方法を決めた。特性はムシレとバリとした。ムシレは歯面を拡大してその有無を観察し、さらに面粗度を測った。バリはバリ高さ(図13)を測り、さらに何歯にバリがあるか、箇所数を記録した。 $(\text{バリ高さ}) \times (\text{箇所数}) = \text{バリ量}$ と定義した。歯形歯筋、負荷電流波形、切屑形状、切屑の色なども評価した。

次に、割り付ける因子を計画した。ムシレとバリに影響する因子はほぼ共通しており、潤滑油の有無、ワークの硬度、切削条件(切込み回数、切込み、ラジアル送り、円周送り、ストローク)、ブラシの種類などの因子を割り付けた。事前の社内テストの結果、カッターのすくい面にコーティングがないと、完全ドライでは刃先に切屑の凝着が生じることが分かっていた。すくい面のコーティングは必要と考え、因子には取り上げなかった。テストは実験計画L8を3回繰返し、最適条件を徐々に絞り込んでいくことにした。

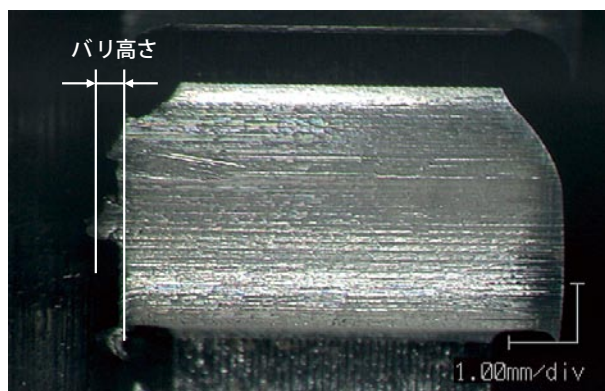


図 13 バリ高さ

4.2 実験計画

4.2.1 L8実験1: MQL効果の見極め

潤滑方式、切込み回数、ブラシの優劣をみるため、1回目の実験計画を立てた。ワーク硬度をバラツキ因子として加えた(表1)。

表 1 L8 実験 1 : MQL 効果の見極め

列版	因子		水準	
	記号	名称	1	2
1	A	ワーク硬度	硬度下限 (軟 HB241)	硬度上限 (硬 HB269)
2	B	潤滑方式	完全ドライ	MQL
3				
4	C	切込み回数	2 回	3 回
5				
6				
7	D	ブラシ	ダイヤ砥粒入り ナイロン	All 樹脂

4.2.2 L8実験2: 切削条件の最適化

L8実験1の最適条件を固定して、切込み1回目と2回目の切削条件を振り、2回目の実験計画を立てた。ギヤシェーパーの切削条件は切込み、ラジアル送り、円周送り、ストロークの4つである。水準は、社内の各種設備を調査して、その範囲から選んだ。ワーク硬度をバラツキ因子として加えた。また、切込み1回目の切削肌が生じ、切込み2回目でも完全に除去できるか、はっきり見るため、切込みを2回目まで止め、歯面を観察することにした。ローマ数字 I、II、IIIは、切込み1回目、2回目、3回目を示す(表2)。

表 2 L8 実験 2 : 切削条件の最適化

列版	因子			水準	
	記号	名称	単位	1	2
1	A	ワーク硬度		硬度下限 (軟 HB241)	硬度上限 (硬 HB269)
2	B	切込み II	mm	0.2	0.1
3	C	ラジアル送り I	mm/Str.	0.027	0.005
4	D	円周送り I	mm/Str.	0.49	1.2
5	E	ストローク I	Str./min	600	980
6	F	ストローク II	Str./min	600	980
7					

4.2.3 L8実験3: ストローク限界

L8実験1と2の最適条件を固定して、切込み3回目のラジアル送りと円周送りの切削条件を振り、さらにストロークの限界を知るため3回目のL8実験を行った(表3)。

表 3 L8 実験 3：ストローク限界

列版	因子			水準	
	記号	名称	単位	1	2
1	A	ワーク硬度		硬度下限 (軟 HB241)	硬度上限 (硬 HB269)
2	B	ラジアル送りⅡ	mm/Str.	0.005	0.01
3	C	ラジアル送りⅢ	mm/Str.	0.005	0.01
4	D	円周送りⅢ	mm/Str.	0.48	0.69
5	E	ストロークⅠ	Str./min	780	1500
6	F	ストロークⅡ	Str./min	980	1500
7	G	ストロークⅢ	Str./min	980	1500

4.3 実験結果

4.3.1 ムシレ

ムシレについて、次のことが分かった。

(1)L8実験1より

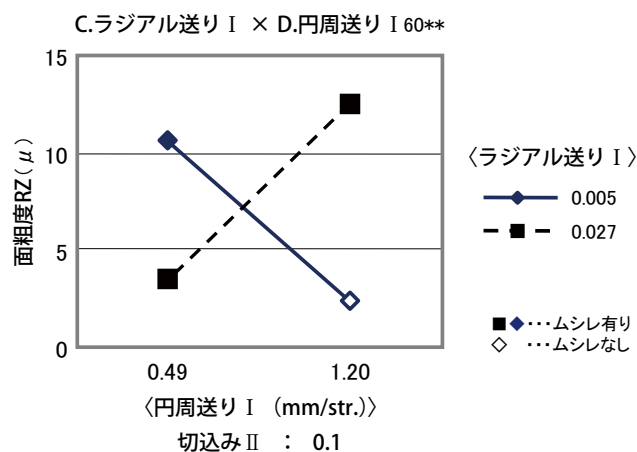
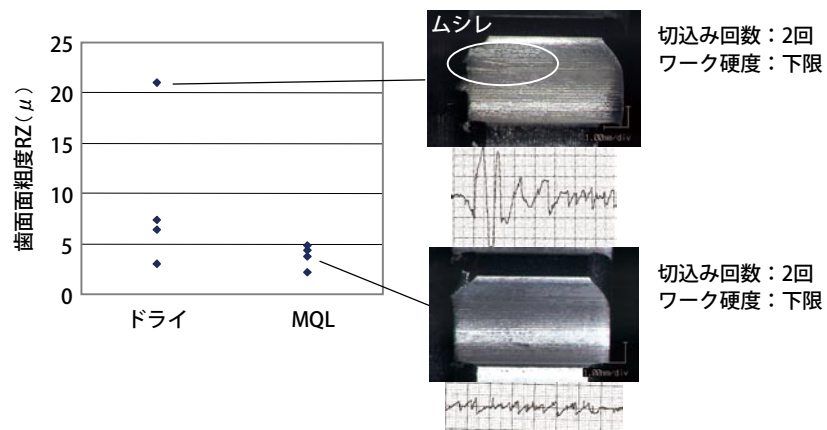
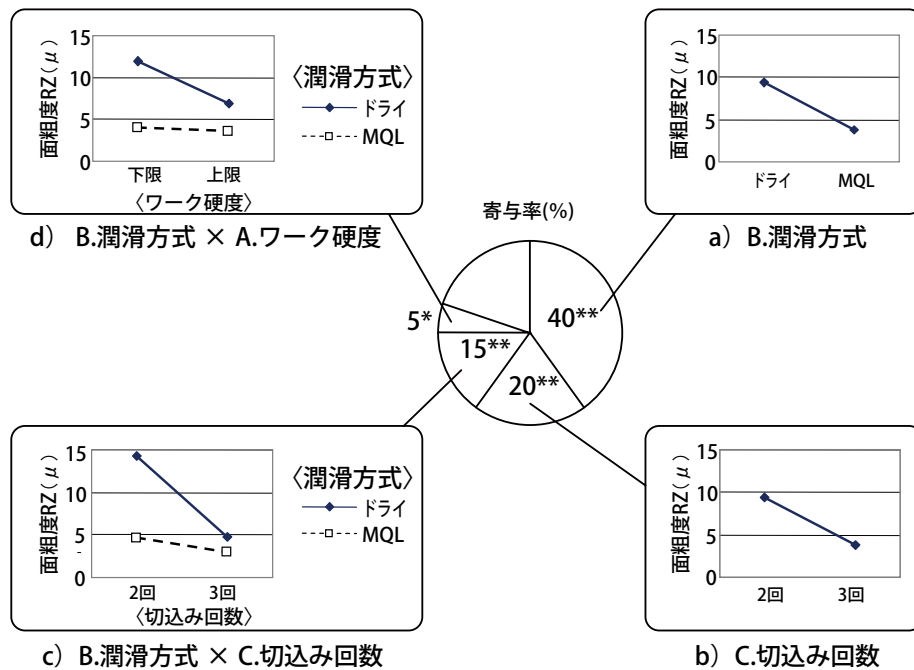
- ①潤滑方式の寄与率が支配的であり、MQLの効果がはっきりと確認できた(図14a)。円グラフ中の数値は寄与率を、**は1%有意、*は5%有意を示す。ドライでは最悪条件の切込み回数2回、ワーク硬度下限でムシレが出るが、MQLは出ない(図15)。
- ②切込み回数3回の方がムシレにくい(図14b)。
- ③潤滑方式と切込み回数の間に交互作用がある。MQLは切込み回数による差が小さいが、ドライは大きい(図14c)。
- ④潤滑方式とワーク硬度の間に交互作用がある。MQLはワーク硬度による差が小さいが、ドライは大きい(図14d)。

(2)L8実験2より

- ⑤ラジアル送りと円周送りⅠの間に強い交互作用がある。ラジアル送りⅠが0.005で円周送りⅠが1.2の時、切込みⅡを0.1と小さくしてもムシレず面粗度が良い。これは切込み1回目のムシレがほとんどないことを示す(図16)。
- ⑥切込み1回目にムシレがある場合、切込みⅡが0.2でも取りきれず残る。追加テストによって、切込みⅡは0.3とした。

(3)L8実験3より

- ⑦この範囲では、どの条件もムシレなく良好である。MQLを用いると設備の最高速1,500Str./minでもムシレないことが分かった。



4.3.2 バリ

バリについて、次のことが分かった。

(1)L8実験1より

- ①予想通り、切込み回数の寄与率が支配的である。バリ量を減らすには、切込み回数を3回に増やし、薄切りすればよいことが分かった(図17a)。
- ②MQLの方がドライよりバリ量が少ない(図17b、c)。

(2)L8実験2より

- ③ムシレと同様、ラジアル送りIと円周送りIの間に交互作用がある。ラジアル送りIが0.005の時円周送りIを1.2と速くするとバリ量が少なくなる(図18)。

(3)L8実験3より

- ④この範囲では、ブラシがけ前のバリ量は、どの条件も少なく、ブラシがけによってバリ量がゼロになることが分かった。

(4)ブラシの選定

- ①ブラシはダイヤモンド砥粒入りナイロンブラシの方が、バリ量が少ない(図19)。

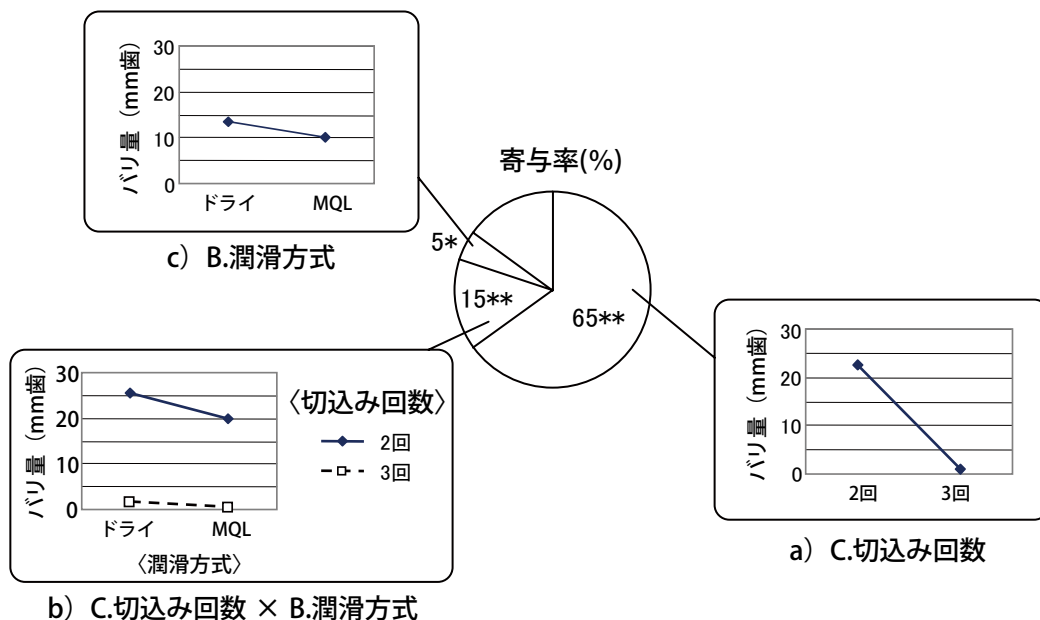


図 17 L8 実験 1：バリ ブラシ前

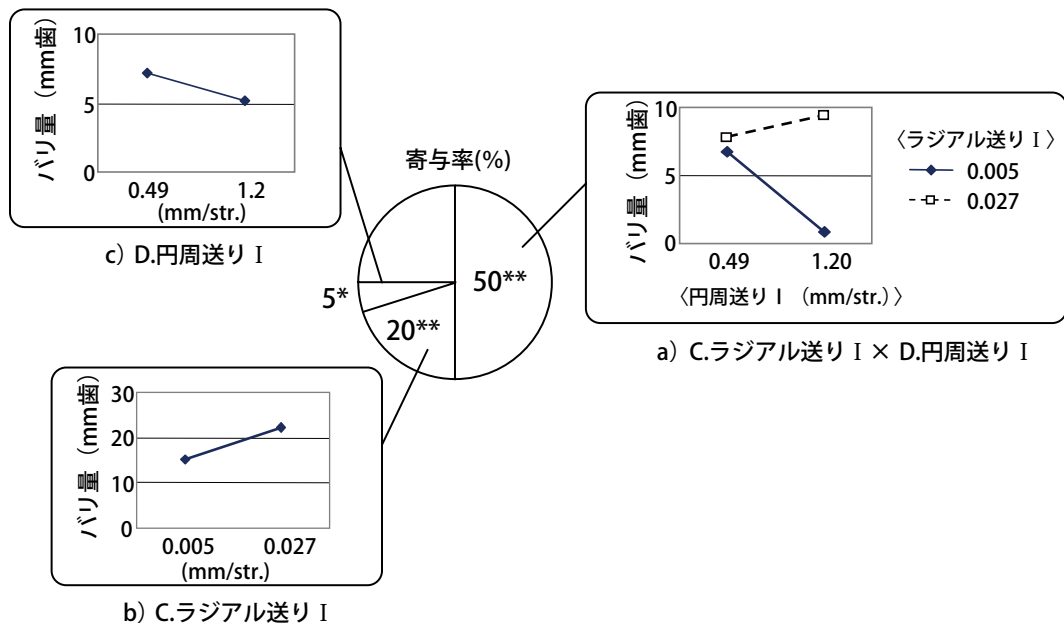


図 18 L8 実験 2：バリ ブラシ後

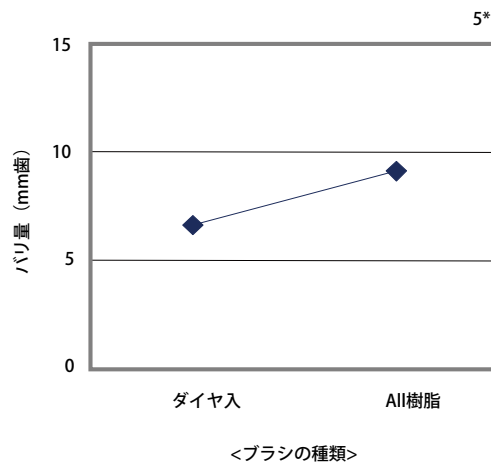


図 19 L8 実験 1：バリ ブラシ後

4.4 ライン外テストのまとめ

- ①MQLを用いると、設備の最高速1,500Str./minまでムシレなく切削が可能である。
- ②ラジアル送り1回目を0.005mm/Str.と薄切りにし、円周送り1回目を1.2mm/Str.と高速にすることで、切込み1回目のバリ量を大幅に少なくできる。
- ③切込み回数を3回にし、切込み2回目を0.3mm、切込み3回目を0.1mmにすると、切込み1回目の影響が排除され、バリが小さく除去しやすくなる。
- ④小さく除去しやすくなったバリにダイヤ砥粒入りナイロンブラシを用いると、完全にバ리를ゼロにできる。

以上より、MQLにより大幅なサイクルタイム短縮とバリレスの両立が可能であることが立証できた。

5 設備仕様の作り込み

5.1 MQLシステムの設計

噴射ノズルでのエア圧が高い程エア流速が早く粒子は細くなる。そのためにはノズル直近のエア圧が0.4Mpa以上必要である。市販のMQL装置は細いエアーチューブの中にオイルチューブが入っていて先端で霧吹き原理でミストを作る。二重管のためエアーの通路は直径4.5mm相当と狭い。また、エアー源からノズル先端まで4m前後の距離がある。管路内の圧力損失は長さに比例し内径の2乗に反比例する。管の内径が小さいと急激に圧力損失が増加し、0.4Mpa以上を確保できない。そこで二重管をやめ加工点の直近にミスト発生ブロックを設け、ブロック内でエアー通路にオイルを圧送することでミストを発生させる方式とした。ミスト発生ブロックまでのエアー配管はホース、継手、ソレノイドバルブを厳選し、十分な内径を確保した。これにより元圧からノズル直近まで、ほとんど減圧しない配管システムにできた。

5.2 切屑飛散への対策

MQLのように加工点にエアーを吹き付ける加工法では、切屑が飛散する。飛散した切屑をいかに処理して品質トラブルや故障を防ぐかが成否の鍵を握る。

5.2.1 ワーク洗浄

一体クランクシャフトにはクランクシャフトウェブが2枚以上あり、ここにMQLエアーブローで飛散した切屑が乗る(図12)。次工程で治具に落下し品質不良を招く。これを防ぐためワーク洗浄ノズルとワーク洗浄ポンプを追加した。サイクルタイムが伸びるのを防ぐため加工終了後のマシン動作中に洗浄するようにした。またカッターを急冷しないよう洗浄ノズルの向きを工夫して洗浄液がかからないようにした(図20)。さらにサポートセンターにノズルを設け、ワークのセンター穴をエアー吹きしてからクランプすることで、センター穴への切屑噛みを防止した。

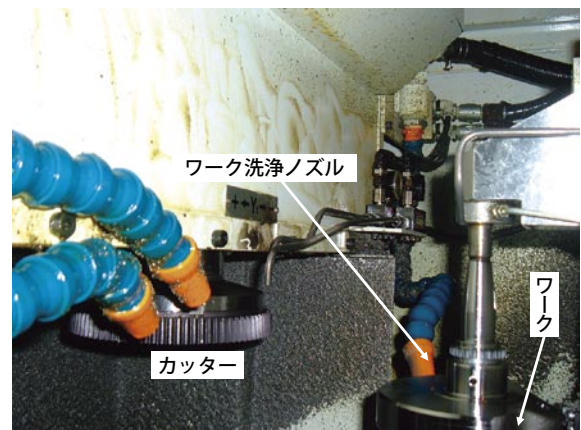


図 20 ワーク洗浄システム

5.2.2 局所カバー

飛散した切屑や切粉が、機内ローダーの旋回部やサポートセンターの摺動部に侵入し、動作不良が頻発することが予測された。そこでサポートセンターとカッターヘッドの動きを利用して、加工時に加工点まわりを囲う局所カバーを考案し取付けた。これによって切屑の飛散方向は下方のベッド方向のみとなり、機内ローダーの旋回部やサポートセンターの摺動部への切屑飛散が防止できた。カッター後退時にはカバーが開いてワーク洗浄が可能となる(図21)。

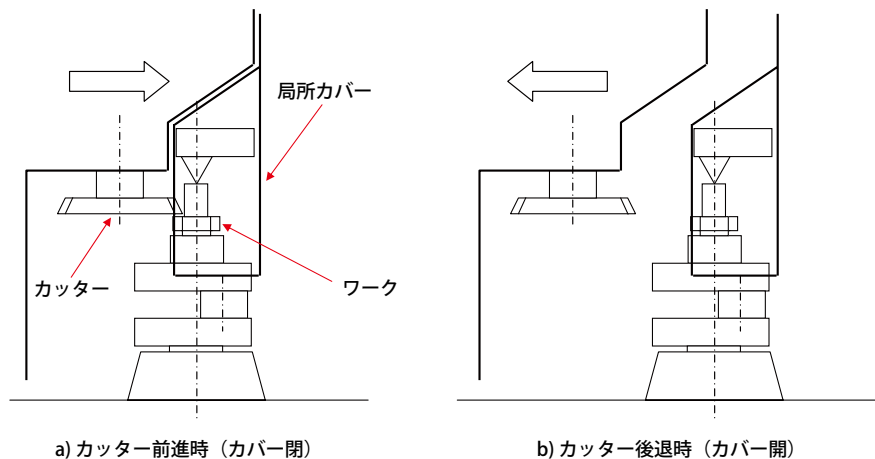


図 21 局所カバー

5.2.3 センサー切屑付着対策

飛散した切屑が、ワーククランプ端などの近接スイッチに付着して、チョコ停が頻発することが予測された。そこで洗浄ノズルを追加して近接スイッチに付着する切屑を洗浄するようにした。ノズルが追加できない部位は切屑を感知しないタイプのセンサーとした。

6 生産への展開

ライン外テストの結果を基にMQLの採用を決め、設備仕様を作り込み、生産へ展開した。

6.1 潤滑油量の最適化

生産立上げ後、刃具寿命の確認のため、潤滑油量を変えてワークのバリ、および、カッターの刃先を観察しながらテストしたところ、潤滑油量 $45\text{mm}^3/\text{min}$ にて工具寿命を低圧クーラントの3倍にすることができた。加工数で6,000個となる(図22)。

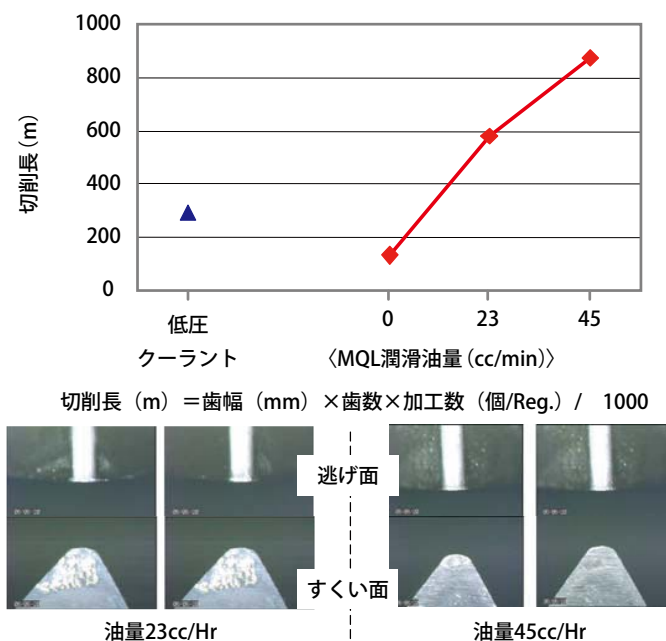


図 22 潤滑油量の最適化

7 効果

7.1 サイクルタイム

ライン外テストをもとに切削条件を決めた。それにより加工能率指標は3.6から13.2mm²/minと4倍にアップし、目標の2.5倍を大きく上回ることができた(図23)。その結果、サイクルタイムは低压クーラントの2.8分からMQLの1.4分とサイクルタイム1/2を達成、一体クランクシャフトの理論サイクルタイム2分を大幅にクリアできた。

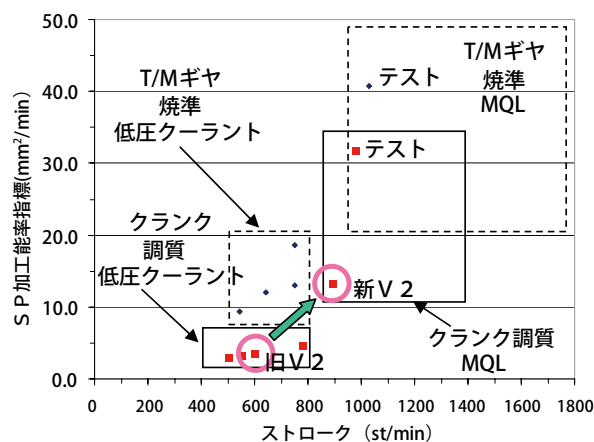


図 23 加工能率指標

7.2 手作業のバリ取り廃止

MQLの潤滑効果と切削条件の最適化によってバリを小さく除去しやすくし、さらにダイヤモンド入りナイロンブラシを用いて完全にバリをゼロにすることができた(図24)。これによって手作業のバリ取り廃止が達成できた。

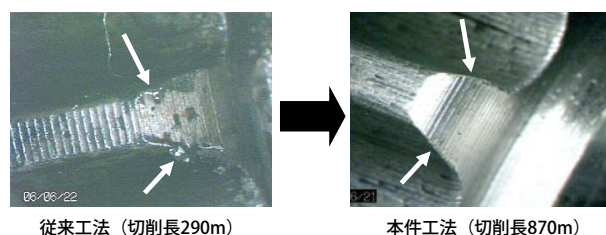


図 24 バリ取り後のワークの状態

7.3 刃具寿命

刃具寿命を3倍にできたので、再研後すくい面に再コーティングをしても再コーティングなしの従来方式よりワーク1個当りの刃具費を安くすることができた。

8 まとめ

MQLの加工原理をギヤシェーパーに適用して「高効率バリレス加工法」を開発した。それによりV型2気筒ラインのネックだった歯切り工程のサイクルタイムを2.8分から1.4分へ半減し、一体クランクシャフトの理論サイクルタイム2分を達成することができた。さらには手作業のバリ取り廃止により自動ラインの生産性向上につながった。現在トラブルなく生産を継続している。

今後、より生産量の多いトランスミッションギヤなどへの横展開を図っていきたい。ムシレがないためサイクルタイム短縮だけでなく歯形精度の向上も期待できる。

海外工場では国内よりコストに占める設備費の割合が高い。本件技術は既存設備を改造してサイクルタイム短縮が可能のため新たな設備投資なしで生産能力を倍増でき、コスト競争力を高めることができる。海外工場への横展開も図ることができると考えている(図25)。

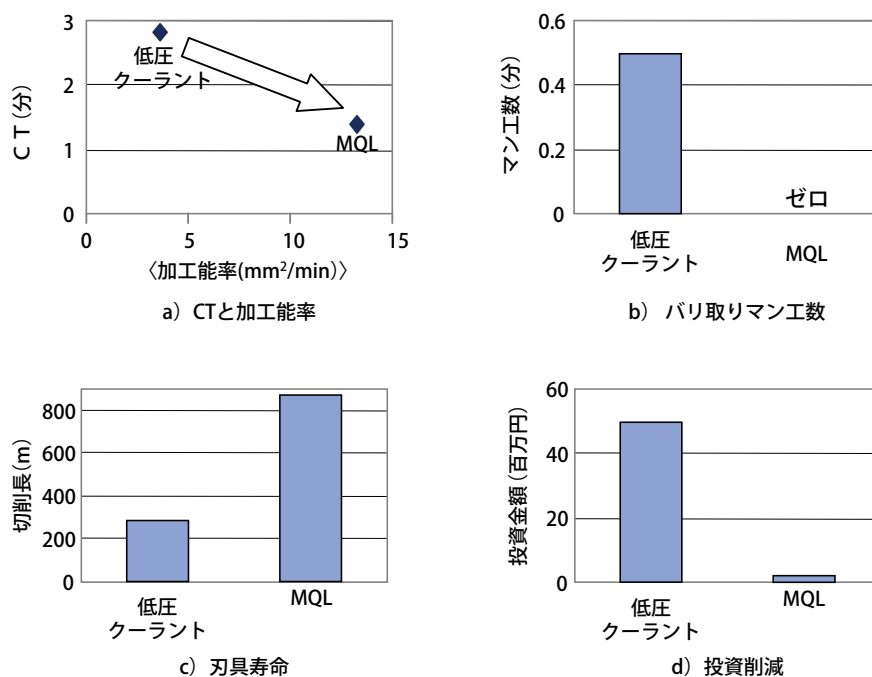


図 25 効果まとめ

参考文献

- (1) YMC、USA、Home Page、Star (Motorcycles)
- (2) トライボロジー入門講座テキスト1999年6月、千葉工業大学 平塚健一著「摩擦と磨耗」
- (3) 工業調査会発行1972年2月、R.K.スプリングボーン編、東京農工大学 竹山秀彦監訳「切削・研削油剤—その選択と使い方」
- (4) 住友電工発行「タンガロイ」1993年10月号、ユシロ化学 赤川章著「被削材の種類と切削油剤の関係」
- (5) (株)不二越企画(株)電通映画社製作1962年、精密機械工業技術映画シリーズV T R「切削理論」
- (6) MQL研究会によるセミドライ加工総合研究HP、MQLとは
- (7) MQL研究会HP、(株)不二越、安岡学、清都俊之共著、「MQL加工について」
- (8) 同上、フジBC技研チーム、井上勉著、「小径深穴加工の高効率セミドライ加工」
- (9) HP「車のエンジンオイルと添加剤のページ」、摩擦する固体の表面での化学(2)
- (10) 日経、Tech-On技術者を応援する情報サイトJIMTOF2006速報、「野村精機、油膜で覆われた水滴を潤滑に利用する新切削法を展示」

著者



森 一明
Kazuaki Mori
MC事業本部SyS統括部
第3SyS部



技術論文

CFマグネシウムダイキャスト材の機械的性質および耐食性

Mechanical and Corrosive properties of the CF Magnesium Die-Casts

鈴木 貴晴 稲波 純一 小池 俊勝

Abstract

A “CF (Controlled Filling) Magnesium Die-Casting Technology” was developed for manufacturing large, thin-walled magnesium parts for use as structural chassis parts on mass production motorcycles. This technology is a further development of Yamaha Motor’s CF Aluminum Die-Casting Technology, a vacuum-assisted die casting process that improves not only the soundness but also the mechanical properties by decreasing trapped gases in the cast. The specific fatigue strength achieved is 25% stronger than conventional aluminum die-casts, and it makes lighter designs possible. Impurities were minimized in the casts to almost the same level of weight loss as gravity-cast AC4CH aluminum and to a remarkably low level in comparison with that of SPHC steel. Furthermore, it is possible to attain a sufficient level of corrosion resistance required for exterior parts with appropriate undercoating and painting. Based on the experiment results, a CF magnesium die-cast rear frame with optimized part design and joining structure to prevent galvanic corrosion has been utilized in the mass production supersport model '08 YZF-R6. This paper describes the mechanical and corrosive properties of the CF magnesium die-casts.

要旨

構造材に使用可能な薄肉大物の部品を生産することを目的として、CF(Controlled Filling)マグネシウムダイキャスト技術の開発を行い、量産二輪車の車体部品に実用化した。本技術は、CFアルミダイキャスト技術をさらに発展させた生産技術であり、真空ダイキャストの活用により、充填時に巻き込まれるガスを減らすことができ、鋳物の健全性だけでなく、機械的性質も向上させることができる。CFマグネシウムダイキャスト材の比疲労強度は、アルミニウムダイキャスト材を約25%上回り、より一層の軽量化が可能になる。また、溶湯に含まれる不純物元素を厳しく管理しているため、ダイキャスト素材の腐食減量は、アルミニウムAC4CH重力鋳造材と同レベルであり、SPHC鋼板と比べて極めて少ない。さらに、最適な下地処理と塗装を組み合わせることにより、外装部品に求められる耐食性を十分に確保できる。これらの基礎的なデータをもとに、マグネシウム材に適した形状設計や電食を回避する締結構造を織込み、2008年モデルYZF-R6リアフレーム(図1)、および、2009年モデルYZF-R1リアフレームに採用された。本論文では、CFマグネシウムダイキャスト材の機械的性質および、耐食性について報告する。



図1 2008年モデル YZF-R6 に採用された
マグネシウムリアフレーム

1 はじめに

操作性と燃費を向上させるため、自動車軽量化の要求は年々強くなっている。アルミニウムの車体は、20年以上前から軽量化を目的に広く二輪車に使用されており、現在までに様々な合金や製造方法が開発されてきた。また、生産性と外観を向上させるため、薄肉大物品の成形が可能なアルミニウムダイキャスト技術が開発され、車体部品に使われてきた。当社でも高真空・金型温度制御・高速射出により、薄肉大物のアルミダイキャスト部品の量産が可能なCFアルミダイキャスト技術を開発し、2003年モデルより積極的に採用してきた²⁾。しかし、アルミニウムを使った車体の軽量化にも限界があり、新たな軽量化技術の開発が期待されている。マグネシウムは、実用金属中、最も軽量であり、次世代の軽量化材料として魅力的である。これまでも、自動車部品へのマグネシウムの適用に関しては、様々な報告がされている。自動車の内装に使われる大型部品をマグネシウム化して大幅な軽量化を達成した例³⁾や、外装用途品のマグネシウム化の報告^{4～5)}もある。しかし、車体部品での使用例報告は、ほとんど見当たらない。二輪車においては、主に軽量化向上の目的からレース車、スポーツ車のエンジンカバー類を中心にマグネシウム合金部品を積極的に採用してきた。しかし、自動車に比べて比較的、軽合金の使用比率の高い二輪車においてもマグネシウムを車体部品へ使用した例は見当たらない。

車体等の構造部品に適用するためには、人の乗車に耐えうる高強度、高靱性はもちろんのこと、外装部品としての十分な耐食性が必要とされる。マグネシウムの耐食性は、ダイキャスト素材に含まれる不純物元素量の影響をうけることが知られており⁶⁾、厳しい溶湯管理が要求される。そこで、従来の高真空・金型温度制御・高速射出に加え、溶湯の成分・温度管理を行い、高品質な薄肉大物のマグネシウムダイキャスト材の製造を可能にした。本論文では、量産二輪車の車体にマグネシウムを使うことを目的として、CFマグネシウムダイキャスト成形材の機械的性質や耐食性を調べ、従来のアルミニウム材との比較を行った。

2 実験方法

試料の化学組成を表1に示す。試料は、高さ120mm×幅250mm×長さ825mmのコールドチャンバー高圧ダイキャスト材より切り出した。基本肉厚は2mmである。図2にCFマグネシウムダイキャスト装置図を示す。不純物元素を厳しく管理した溶湯は、温度低下を最小限に抑えるため、金型に短時間充填される。その間、金型真空度・金型温度・溶湯射出速度は、チップの位置信号によって統合制御されている。表2にダイキャスト鑄造時の主な鑄造条件を示す。ショットウェイトは約5kgである。試料は、真空引き時間を変えて3種類の真空度レベル(−0.06MPa、−0.02MPa、0MPa)のダイキャスト材から切り出して準備した。なお、真空度0MPaは、真空を使用していない条件である。

表 1 試料の化学組成 (mass%)

Al	Zn	Mn	Si	Fe	Cu	Ni	Be	Mg
5.8	0.02	0.293	0.0168	0.003	0.0013	0.0005	0.0004	Bal.

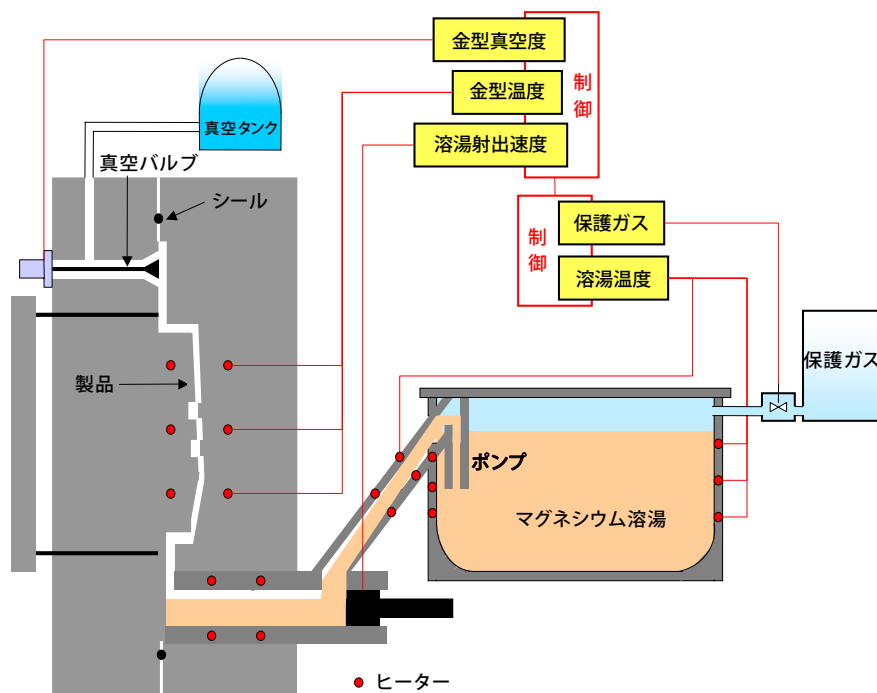


図2 CFマグネシウムダイキャスト装置図

表2 試料の鑄造条件

Metal temp.	690 ± 5℃
Die temp.	200 ~ 250℃
Fill time	< 30 msec
Plunger speed	7 m · sec ⁻¹
Casting pressure	53MPa · cm ⁻²
Heat treatment	F

2.1 引張特性

試料の寸法を図3に示す。真空度による機械的性質の違いを調べるために3種類の真空度のダイキャスト材から、1種類あたり4個の試料を評価した。試料はダイキャスト材のゲート部とオーバーフロー部から各2個、切り出した。試験は、いずれもINSTRON 5882サーボ油圧式万能試験機を使用して常温で行い、引張強さ(UTS)と破断伸びを測定した。クロスヘッド速度は1.0mm・min⁻¹である。比較のため、アルミニウムA365-F材(真空度-0.06MPa、ゲート部)も準備した。また、試料採取部の断面組織も観察した。

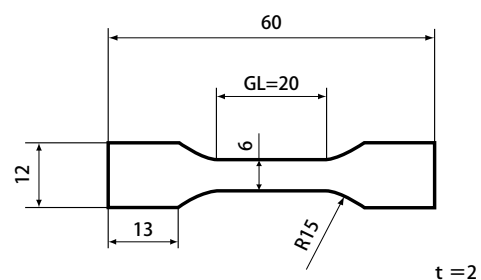


図3 引張試験用試料の寸法 (mm)

2.2 疲労特性

疲労試験は東京衡機製 PWOG-L タイプ平面曲げ疲労試験機を使用して常温で行った。全ての疲労試験は応力比($R = -1$)にて周波数25Hzで行った。試料は、引張特性の良好であった真空度 -0.06MPa 、ゲート部より切り出し、表面を1500番の研磨紙で両面研磨した。試料の寸法を図4に示す。比較のため、アルミニウムA365-F材(真空度 -0.06MPa 、ゲート部)も準備した。

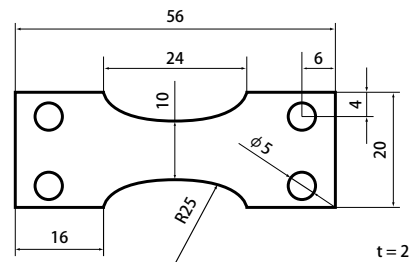


図4 疲労試験用試料の寸法 (mm)

2.3 耐食性

耐食性試験は、スガ試験機製ISO-3型試験機を使用し、JIS Z 2371塩水噴霧試験に基づいて行った。試験条件を表3に示す。結果を比較するため、JIS AC4CHアルミニウム重力鋳造材とSPHC鋼板も準備した。すべての試料は、表面を1500番の研磨紙で両面研磨した。試験後に表面の観察を行うとともに、重量の変化を測定した。次に、下地処理と塗装を行い、表面にカッターナイフで傷を入れた試料を準備し、同様に塩水噴霧試験を行った。試験後にテープ剥離を行い、外観観察を行った。また、マグネシウム部品はアルミニウム部品と締結して使用される場合が想定されるため、電食を防ぐ締結構造が必要となる。図5に示す締結構造の試料を準備し、塩水噴霧試験を行った。

表3 耐食性試験の条件

Testing machine	SUGA CASSER-ISO-3
Standard	JIS Z 2371
Solution	50 ± 5g/L NaCl (PH6.5 ~ 7.2)
Temp.	35 ± 2°C
Angle of specimen	30°

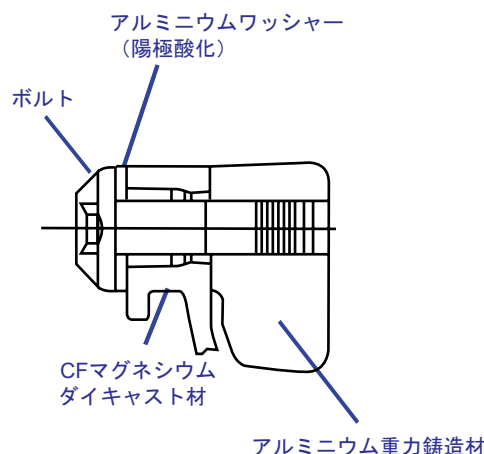


図5 マグネシウム部品とアルミニウム部品との電食防止締結構造

3 結果

3.1 引張特性

真空度の違いによるUTSの関係を図6に示す。ゲート部のUTSは真空度が上がると少しずつ向上する。オーバーフロー部のUTSは、真空度が上がるにつれて大幅に向上し、真空度 -0.06MPa の時、ゲート部とほぼ同等となる。真空度 -0.06MPa の時、ゲート部のUTSは 250MPa 以上であり、アルミニウムA365材のゲート部より少し低い。

真空度の違いによる破断伸びの関係を図7に示す。ゲート部、オーバーフロー部の伸びは真空度が上がるにつれて向上し、真空度 -0.06MPa の時、ゲート部とほぼ同等となる。真空度 -0.06MPa の時、ゲート部の伸びは 15% 以上であり、アルミニウムA365材を大きく上回る。オーバーフロー部の伸びは約 12% であった。その値はCFマグネシウムダイキャスト材ゲート部よりは低いが、アルミニウムA365材のゲート部より高い。

断面組織観察結果を図8に示す。マトリックスの結晶粒径と金属間化合物の分布は、どの条件もほぼ同じであった。真空度 0MPa のオーバーフロー部中心側には、複数のマイクロポアが認められた。

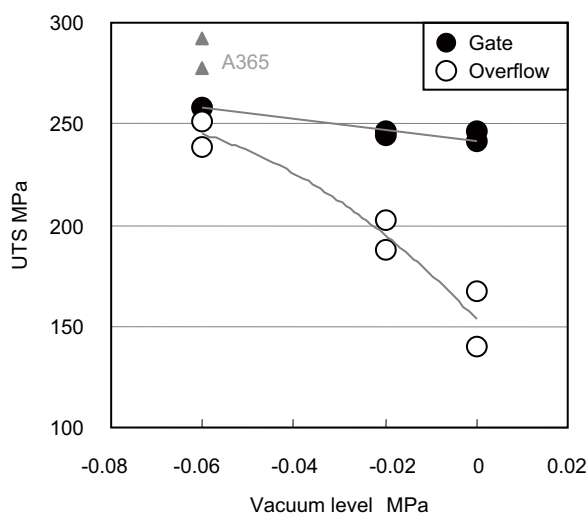


図6 真空度の違いによる UTS の関係

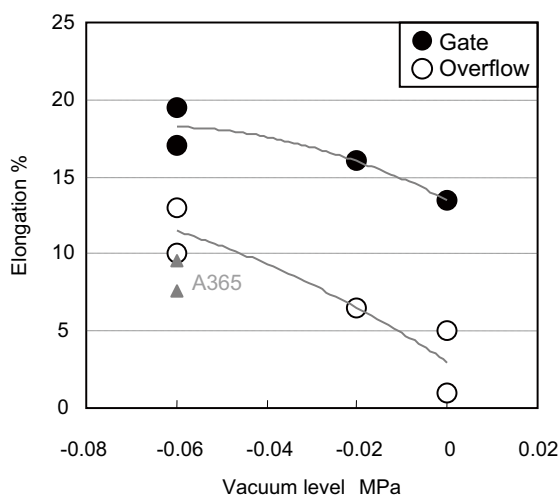


図7 真空度の違いによる伸びの関係

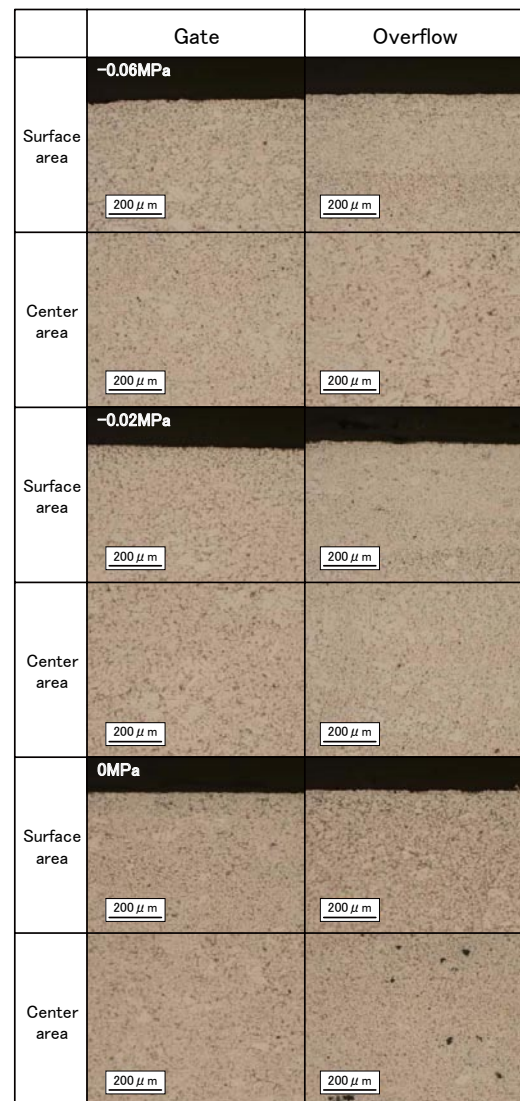


図8 断面組織観察結果

3.2 疲労特性

CFマグネシウムダイキャスト材とアルミニウムA365材のS-N曲線を比較して図9に示す。CFマグネシウムダイキャスト材は、高サイクル領域で時間強度の変化が少なく、高サイクル領域では低サイクル領域と比較してアルミニウムA365材との差が小さくなる。 1×10^7 回を疲労限度と定め、疲労限度応力で比較した場合、CFマグネシウムダイキャスト材は85MPaであり、アルミニウムA365材の93MPaより約10%低い。比重の影響を考慮し、比疲労強度（応力振幅を比重で除した値）での比較を行った（図10）。疲労限度応力で比較した場合、CFマグネシウムダイキャスト材は、アルミニウムA365材よりも約25%高い。

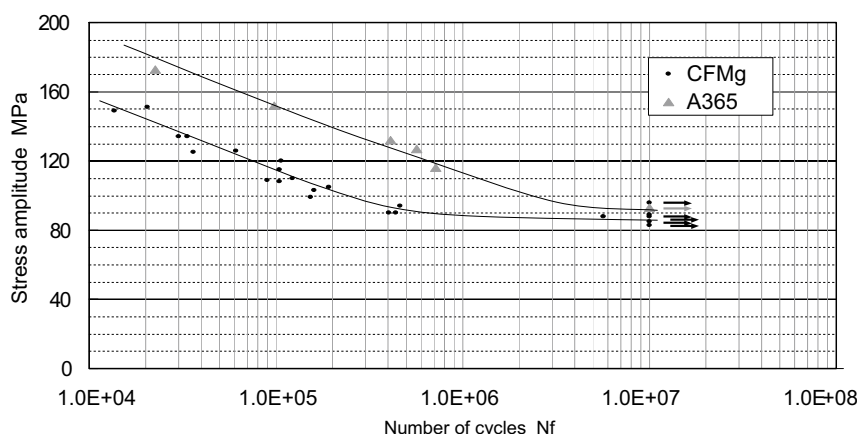


図9 CF マグネシウムダイキャスト材とアルミニウム A365 材の S-N 曲線

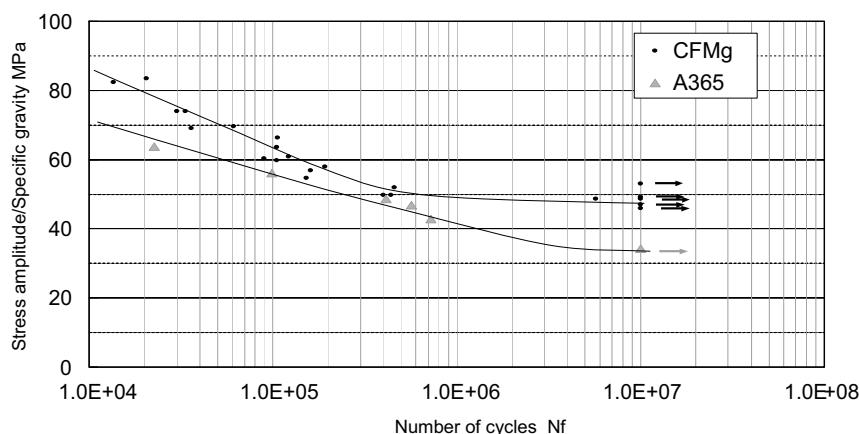


図10 CF マグネシウムダイキャスト材とアルミニウム A365 材の比疲労強度比較

3.3 耐食性

図11に塩水噴霧試験後の外観観察結果を示す。CFマグネシウムダイキャスト材の表面は白く変色しているが、表面に腐食ピットは観察されない。AC4CH重力鑄造材もまた、表面が白く変色しているが、腐食ピットは観察されない。SPHC鋼板の表面は茶色く変色し、表面に凹凸が認められる。

図12に塩水噴霧試験における腐食減量を示す。CFマグネシウムダイキャスト材はAC4CH重力鑄造材とほぼ同レベルであり、SPHC鋼板と比べて極めて少ない値であった。

図13に下地処理と塗装を行った試料の塩水噴霧試験後の外観観察結果を示す。テープ剥離を行った後も、傷部からの腐食は認められない。

図14は、図5に示した締結構造品の塩水噴霧試験後の写真である。締結部に有害な腐食は認められない。

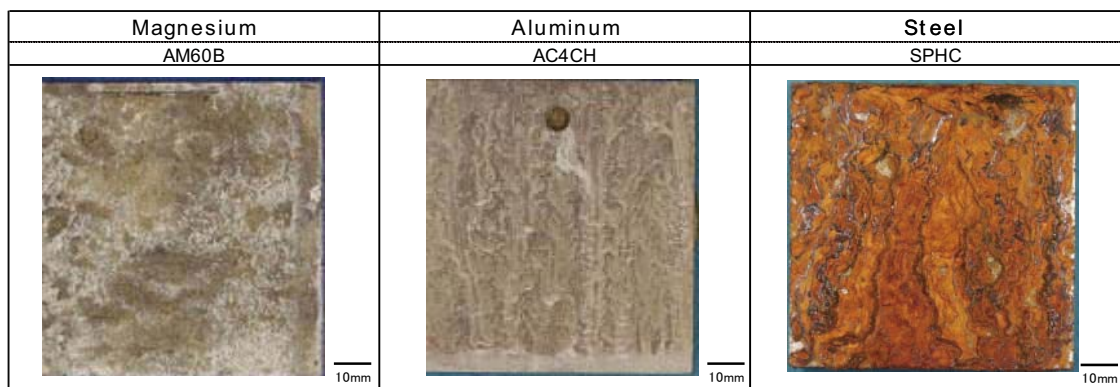


図 11 塩水噴霧試験後の外観観察結果

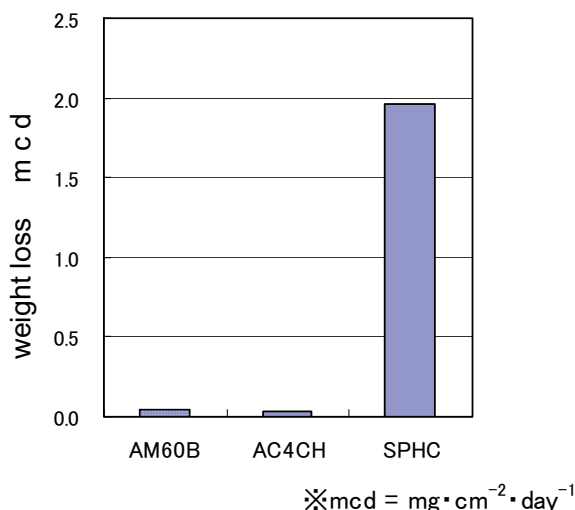


図 12 塩水噴霧試験における腐食減量



図 13 下地処理と塗装を行った CF マグネシウムダイキャスト材の塩水噴霧試験後の外観



図 14 塩水噴霧試験後の締結部外観

4 考察

4.1 引張特性

図6と図7を比較すると、UTSと伸びは真空度が高い時(−0.06MPa)に最も高い値となる。これは、マグネシウムダイキャスト材において真空度が引張特性に影響することを示している。その影響はオーバーフロー部において顕著に現れる。図8より、オーバーフロー部のマイクロポアは真空度が高いと観察されていない。断面組織は、真空度によって大きく影響されていない。以上の結果より、真空は鋳物中のマイクロポアなどの欠陥を減らすことにより、機械的性質を向上させる効果があると考えられる。一般的にダイキャストは溶湯速度が速く、充填中に溶湯が渦巻くので、キャビティ内のガスを多く巻き込む傾向がある。特にオーバーフロー部はゲート部に比べ、巻き込まれたガスが集まりやすい。真空は、キャビティ内のガスを除去し、鋳造品にガスを取り込む機会を減らし、最終的に鋳造品中のマイクロポアを減らす効果があると考えられる(特にオーバーフロー部)。結果として引張特性を向上させていると考えられる。

4.2 疲労特性

一般にマグネシウムダイキャスト材はアルミニウム材と比較して機械的性質が低いと言われているが、CFマグネシウムダイキャスト材は、アルミニウムA365材と比較して疲労限度応力の差は大きくない。図7、9より、延性が高いことが、高サイクル領域で疲労クラックの進展速度を遅くしていると考えられる。また、CFマグネシウムダイキャスト材は、比疲労強度で比較すると、アルミニウムA365材よりも約25%高いので、マグネシウムに適した設計を行うことで部材をより軽量に設計できることを示している。

4.3 耐食性

図13より、下地処理と塗装を行ったCFマグネシウムダイキャスト材は、塩水噴霧試験で傷部から腐食が認められないレベルの耐食性を示している。図11、12より、CFマグネシウムダイキャスト材はAC4CH重力鑄造材とほぼ同レベルの低い腐食減量を示している。素材の耐食性が良好であることが、下地処理と塗装を行ったCFマグネシウムダイキャスト材においても良好な耐食性を示す主な理由と考えられる。図14より、電位差の小さな金属の選択や、腐食回路の形成を妨げるための絶縁処理を行うことにより、異種金属との締結部においても、十分な耐食性が確保できると考えられる。

5 おわりに

CFマグネシウムダイキャスト材の機械的性質および、耐食性について調査した。

- 1) CFマグネシウムダイキャスト材は真空度 -0.06MPa において 250MPa のUTSと10%以上の伸びを有する。伸びはアルミニウムA365材を上回る。
- 2) CFマグネシウムダイキャスト材の真空度 -0.06MPa 、ゲート部の疲労限度応力は、 85MPa ($R=-1$) である。
- 3) CFマグネシウムダイキャスト材の腐食減量は、AC4CH重力鑄造品と同レベルであり、SPHC鋼板と比べて極めて少ない。
- 4) 下地処理と塗装を行ったCFマグネシウムダイキャスト材は、塩水噴霧試験において傷部から腐食が認められないレベルの耐食性を持つ。
- 5) CFマグネシウムダイキャストリアフレームは、アルミニウムダイキャストリアフレームと比較して約20%の軽量化を達成している。また、適切な締結構造を選択することにより、異種金属との接触部においても、外装部品に求められる十分な耐食性を確保できる。

■参考文献

- 1) 鈴木貴晴, 稲波純一, 小池俊勝: アルトピア 第38巻 第6号 (2008) Page 9-14
- 2) 橋内透, 山縣裕, 小池俊勝: 軽金属 第56巻 第4号 (2006) Page 233-239
- 3) S.Glen, S.Brian "Magnesium in Automobiles Application Trends and Advantages" Proc Annual Meeting International Magnesium Association Vol.63rd Page.66-72 (2006)
- 4) J.S.Balzer, P.K.Dellock and M.H.Maj, G.S.Cole, D.reed, T.Davis, T.Lawson, G.Simonds. "Strucural Magnesium Front End Support Assembly" SAE Technical Paper 2003-01-0186

- 5) C.J.Duke and S.D.Logan, "Lightweight Magnesium Spare Tire Carrier" Proc Annual Meeting International Magnesium Association Vol.64rd Page.75-80 (2007).
- 6) J.E.Hillis and K.N.Reichek "High Purity Magnesium AM60 Alloy: The Critical Contaminant Limits and the Salt Water Corrosion Performance" SAE Technical Paper 860288-1986

■著者



鈴木 貴晴

Takaharu Suzuki

コーポレートR&D統括部
材料技術部



稲波 純一

Junichi Inami

コーポレートR&D統括部
材料技術部



小池 俊勝

Toshikatsu Koike

コーポレートR&D統括部
材料技術部

●編集後記

「ハスの葉の表面は、ワックスで覆われ、微細な突起があり、常に高い撥水性を保っている」との記事を目にし、とても興味を持った。ケチャップやマスタードなどがズボンに付いても染みにならない"セルフクリーニング機能"を持った材料の開発は、今まさに大きな技術革新を迎えているとのこと。ハスの葉効果（ロータス効果）の発見者であるパートロットは、電子顕微鏡で試料を観察しているときに、洗浄をしなくても画像を鮮明に写し撮ることができる、汚れの付着が無い植物があることに気づいた。それがハスの葉であった。葉の表面にのった水は、数 μm の微細な突起の周りの空間と水の間に捕らえられた空気によって撥水性の効果を高め、ボールのように転がる。汚れも同様、突起の頂点にだけ接し、水に濡れると水滴ののって簡単に取り除かれる。また、ハスの葉と類似した構造で空気中から水分を得る昆虫がいる。砂漠の中で生き延びるため、突起部の先端のみを超親水性とし、体に水分を付着させている。

以前から研究されていることではあるが、植物、昆虫の構造をナノレベルで観察することにより、我々の生活に役立つ機能がますます発見されそうである。浄化や近い将来問題となり得る水不足の解決技術として活用できる場面があるかもしれない。不気味に見える昆虫も、その表面はとても美しいものかもしれない。

(上川 秀哉)

『生命科学に革新的進展、下村氏にノーベル化学賞』の見出しで、今年の日本人ノーベル賞受賞者の4人目である下村氏の明るい記事が新聞に載った。氏の言葉に「毎日考え反省し、一步一步進むことが大切」、「物事は難しく見えても、できてしまえば簡単なものだ」、「やり始めたらできるまでやめるな、一度ギブアップするとクセになる」がある。その言葉の裏には、「オワンクラゲはなぜ光るのか?」クラゲの放つ光のなぞを突き止めるために捕獲したその総数85万匹。実験で発見してから、毎年夏には家族総出で5万匹以上のクラゲを捕り続け、17年かけて発光のメカニズムを解明した。そのおかげで付近の沿岸からはクラゲが1匹もいなくなった、という話があった。これにもびっくり。遠い世界の話と思ったが、並人にとってもヒントになることがあった。辛抱強さ、忍耐強さは価値、継続は力なり。

(松下 行男)

ヤマハ発動機
技報 第44号

印刷
発行
発行所
発行人
編集委員長
編集委員

デザイン
事務局

印刷所
お問い合わせ
ホームページ

2008年11月30日

2008年12月1日

ヤマハ発動機株式会社 〒438-8501 静岡県磐田市新貝 2500

戸上 常 司

平 野 雅 久 コーポレートR&D統括部 技術企画部

山 本 雅 之 ヤマハモーターエレクトロニクス(株) 技術部

松 下 行 男 ヤマハマリン(株) OM 開発統括部 エンジン開発部

佐 藤 彰 スカイ事業部

吉 本 幸 広 IM カンパニー マウンター技術部

宮 崎 光 男 MC 事業本部 技術統括部 技術管理部

岡 田 弘 之 RV カンパニー RV 開発部

上 川 秀 哉 コーポレートR&D統括部 アクア環境事業推進部

鷲 巢 祥 司 創輝 H・S(株) 第1 開発部

登 澤 幸 雄 ヤマハモーターエンジニアリング(株) マネジメントセンター

田 中 大 二 郎 AM 事業部 AM 第1 技術部

磯 部 恒 雄 MC 事業本部 SyS 統括部 生産技術部

小 野 朋 寛 コーポレートR&D統括部 スマートパワー技術部

本 山 雄 コーポレートR&D統括部 システム技術研究部

小 柳 智 義 海外市場開拓事業部 第1 開拓部

安 間 正 憲 (株)スタジオコバ

小 栗 真 法務・知財部

三 宅 英 典 広報部

金 子 和 佳 コーポレートR&D統括部 技術企画部

今 井 哲 夫 法務・知財部

桧 垣 慎 吾 コーポレートR&D統括部 技術企画部

荒 川 裕 子 コーポレートR&D統括部 技術企画部

(株)スタジオコバ 〒437-1196 静岡県袋井市松原 2455-2

コーポレート R&D 統括部 技術企画部 (技報編集事務局) TEL 0538-32-1171

<http://www.yamaha-motor.co.jp/profile/craftsmanship/technical/index.html>

※無断転載を禁じます。

※落丁本・乱丁本は、本社技報編集事務局宛てにお送りください。

お取替えいたします。

