

# YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW

ヤマハ発動機 技報



▶ 巻 頭 言

1

**環境の変化に対応して**

Adjusting to changes in the business environment

内山 徹雄

▶ 技 術 紹 介

4

**YZF-R1 用フロントフォークの開発**

Development of a front fork for the YZF-R1

斉藤 琢也 渡邊 彰人 神谷 登

10

**製品としてのパフォーマンスダンパーの実績と  
新たに確認された広範囲な効果についての紹介**

The record of Yamaha's Performance Damper as a product and  
its newly recognized effects

沢井 誠二 近藤 勝広 志賀 孝夫 石川 幸夫 原田 豊二 赤堀 実

18

**二輪車用燃料電池システム開発**

Development of a fuel cell system for motorcycles

武智 裕章 小林 健二 高橋 知泰 安達 修平

25

**ヤマハ マイクロバブル発生装置**

YAMAHA Micro Bubble Generator

黒田 寛 黒田 英里



## ▶ 製品紹介

- 31 **電動船外機 YAMAHA Marine Motor M-15 (XGW) / M-25 (XGX)**  
The electric outboard motor YAMAHA Marine Motor M-15/25 (XGW/XGX)  
松井 太憲 久保田 昌利 早川 栄一 井原 博英 高木 敏幸 岡田 武士 船倉 嘉一郎  
三橋 学
- 36 **ステッピングモータ単軸ロボット「TRANSERVO (トランサーボ)」**  
The stepping motor single-axis robot "TRANSERVO"  
加茂川 良 加々谷 功
- 44 **アスタキサンチン含有応用製品 (PURESTAシリーズ)  
の開発と顧客商品への利用例**  
Development of the astaxanthin additive Puresta series products and customer use examples  
鈴木 里英 斎木 朝子 御手洗 篤 杉山 裕之
- 51 **2009年型スーパースポーツ YZF-R1**  
The 2009 Supersport Model YZF-R1  
西田 豊士 藤原 英樹 竹田 祐一 渡辺 隆志 山田 一也 鈴木 満宏 赤塚 秀則
- 60 **スノーモビル FXNytro M-TX SE**  
The Snowmobile Model FXNytro M-TX SE  
今村高志 松土真一
- 68 **マルチパーパスボート FR-23 ActiveSedan**  
Multipurpose boat FR-23 ActiveSedan  
宮下 祐司 芦田 祐介 箕浦 実 薄 雅弘
- 78 **2010年 YZ450F**  
The 2010 model YZ450F  
櫻井 太輔 宮代 幣彦 佐藤 勝利 小倉 利彦 高山 清彦 星野 恭平  
田村 幸樹 加茂 厚 長谷川 仁 佐々木 優一

## ▶ 技術論文

- 86 **モーターサイクル用クランクピンの転動疲労寿命評価**  
Evaluating rotational fatigue life in motorcycle crank pins  
久保田 剛 山下 恭幸
- 94 **二輪車乗車時におけるメンタルワークロード評価手法の基礎検討**  
Fundamental study of methods for evaluating mental workload in motorcycle riding  
大本 浩司 米田 圭祐 吉倉 肇 八木 昭宏
- 106 **多目的GAを適用したオンラインエンジン制御パラメータ適合手法の開発**  
An online engine control parameter optimization method using a multi-objective genetic algorithm  
阪脇 篤 迫田 茂穂
- 118 **二輪車の操縦特性調査**  
Steering Characteristics of Motorcycles  
藤井 茂 塩澤 総一 品川 晃徳 岸 知昭



巻頭言

## 環境の変化に対応して

**Adjusting to changes in the business environment**


内山 徹雄

The world is currently in the midst of an economic downturn. So what has caused these hard times? The financial crisis originated with sub-prime loans that turned sour during the previous year. Consumer demand that was flourishing up to that stage faltered, and caused economic activity to decline sharply. Would it be an overstatement to say that the real cause of this crisis was the over-confidence in technology, which made the issue far more severe?

The technology in discussion here refers to technologies used in financial engineering for financial product designs. The mechanism of these products is difficult to comprehend. A simplified idea is to disperse the risk while obtaining a high rating (level of trust and safety) by combining a high-risk sub-prime loan and other low-yield loans, which allowed groundbreaking financial products that seemed to offer low risk and high returns. This worked out to be a success in all aspects. Investors received high dividends, and abundant funds entered the sub prime market, which promoted market expansion through credit purchases. However, the requirement for this mechanism to work was that housing prices needed be on the rise, and the rate of bad loans had to be within a fixed range of probability. But in the end... Fundamentally, there is a direct correlation between risk and return. The collapse was the result of ignoring the importance of this principle or rule in order to seek profits.

On a different note, many disasters never seen in the past are occurring due to unpredictable weather. Flood disasters have been especially significant, as we already had localized torrential rain in Western Japan, typhoon no. 9 that hit parts of the country, and an earthquake struck Suruga Bay this summer. This string of disasters has claimed many lives. Many causes were suspected – climate change due to global warming, reduction in water retention capacity due to deforestation and farmlands, and changes in terrain due to urban/residential development. However, it is unfortunate that water flow could not be controlled and highways that utilize the best of civil engineering technology could not withstand these disasters. Could these types of events not have been predicted and prevented?

The above examples may seem like something irrelevant to our business. However, technology is defined as a “method to improve human lives using the results of research.” We ourselves also take pride in the fact that we contribute to enrich peoples’ lives by painstakingly using our technologies to provide products and services to our customers. However, the gas emissions associated with our products are significantly affecting the environment as well as peoples’ safety and health. We must meet the high expectations of society in terms of environmental and safety technologies, as well as



handling enormous responsibilities. Our technology and business development is established with a prerequisite that natural and societal environments are subject to certain conditions. In a modern world where changes occur at a fast pace, we must be able to detect these changes and predict their consequences. Furthermore, we must be flexible enough to quickly adapt to any changes. Let's develop our business while cherishing our customers, aspiring to foresee the future, being aware of relevant principles and rules, and refining our technologies in various fields.

今、世界は不況の真只中。こんな重苦しい事態を引き起こした原因は何なのか。昨年来のサブプライムローンの焦げ付きに端を発した、金融危機。それまで旺盛であった消費需要を後退させ、一気に経済活動の低下を招いてしまった。ここで、真因はある技術への過信であり、事態をより深刻なものにしてしまったといったら、言いすぎだろうか。

ここでの技術とは、金融工学での金融商品設計の際に使われるものです。この商品の仕組みは難解ですが、単純化して言えば、焦げ付き確率が高い(高利回り)サブプライムローン債権と、低い(低利回り)債権などを組み合わせて、リスクを分散しつつ、高い格付け(安全性信用力)を得ることで、利回りが高くリスクが低いとされる画期的な金融商品を提供したわけです。何もかもうまくいきました。投資家は高配当を享受し、サブプライム市場には、資金が潤沢に入りクレジット購入による市場拡大を促進しました。ただし、住宅値上がり基調の下で、サブプライムの焦げ付き率は一定の確率範囲にとどまる前提でした。しかし、結果は…。元来、リスクとリターンには、正の相関関係があるのにその原理・原則を軽視して利益追求した結果の破綻だったのです。

話は変わりますが、最近の天候不順で、過去に無かったような災害が数多く発生しています。特に水害被害が甚大で、すでに、今年の夏にも西日本での集中豪雨、台風9号、それに加え駿河湾地震と、引き続き起こった災害により多くの犠牲者を出してしまいました。これらの原因を求めれば、地球温暖化による気候異変、森林・農地の荒廃による保水力低下、都市・宅地開発による地形の変化など色々言われますが、水の流れを制御できず、また土木技術の粋を凝らした高速道路でさえ、耐えられなかったことは残念です。このような事態は、予見・予防できなかったのでしょうか。

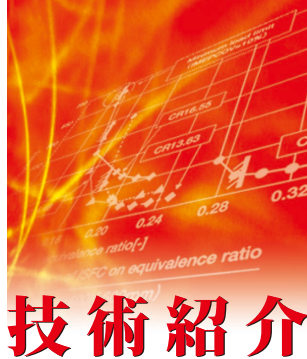
以上の例は、私達の事業とは遠い世界の事のようにも見えます。が、技術は、「研究成果を生かして人間生活に役立てる方法」と、定義されていますし、私達も、持てる技術を駆使して商品・サービスを顧客に提供し豊かな生活に貢献していると自負しています。しかしながら、商品性において、排気ガスで地球環境に大きな負荷を与えており、人の安全・健康にも大きな影響を与えています。環境技術や、安全技術などの面で社会からの高い期待に応えると共に重い責任を果たしていかなければならないのです。私達の技術、事業展開も自然環境、社会環境などが、一定の条件の下にあることを前提に成立させています。変化のスピードが速い現代にあっては、私達はその変化を察知し、そこから引き起こされる事態を予測し、さらには機敏に適応していく柔軟性を持たなければなりません。これからも、顧客を大切にする心、将来

を見通す姿勢を基本におき、原理・原則を踏まえて、それぞれの分野で技術を磨き事業展開していきましょう。

■ 著者



内山 徹雄  
Tetsuo Uchiyama  
取締役



# YZF-R1 用フロントフォークの開発

Development of a front fork for the YZF-R1

斉藤 琢也 渡邊 彰人 神谷 登

## 技術紹介

### Abstract

Yamaha Motor Hydraulic Systems Co., Ltd., develops and supplies Yamaha Motor Co., Ltd. with parts and components such as front forks, rear cushioning units and steering dampers that are important for the fine tuning of a motorcycle's handling.

As components to provide a high level of handling performance for Yamaha's supersport YZF-R1 that underwent a full model change in 2009, we developed a new upside-down front fork with separate cartridges for the compression and rebound strokes (Fig. 1), a rear cushioning unit equipped with a 2-way adjustment mechanism and a newly developed electronic-control steering damper.

In this report we provide a summary of the development of the new upside-down front fork with separate compression and rebound stroke cartridges.

### 1 はじめに

当社(ヤマハモーターハイドロリックシステム(株))では、車輛の運動性能をチューニングするコンポーネント部品である、フロントフォーク、リヤクッション、ステアリングダンパーをヤマハ発動機(株)へ供給している。

2009 年フルモデルチェンジしたスーパースポーツモデル “新型YZF-R1”の高い運動性能に応えるべく、伸圧別体カートリッジ式倒立型フロントフォーク(図 1)、2wayアジャスト機構付きリヤクッション、電子制御式ステアリングダンパーを新開発した。本稿では伸圧別体カートリッジ式フロントフォークについて概要を紹介する。



図 1 YZF-R1 用フロントフォーク



## 2 開発のねらい

近年のスーパースポーツモデルには高性能なブレーキシステムが装着されている。よってフロントフォークにはブレーキングによる過度なピッチングを抑制するため、高い減衰力と動き始めより瞬時に減衰力が立ち上がる高い応答性が求められる。

しかし、高い減衰力を応答良く発生させると市街地での乗り心地が悪化しやすい。そこで、ピッチングの抑制と乗り心地の確保を高次元で満足させることを狙いとし開発をスタートした。

## 3 フロントフォーク概要

### 3.1 従来構造

従来のカートリッジ式フロントフォークでは内部パーツが左右同一構造となっており、1つのカートリッジにて伸側と圧側の両方向の減衰力を発生させている。(図2)

圧縮工程ではフロントフォークが縮む際、密閉容器であるシリンダー内部に侵入してくるピストンロッド体積分のオイルがベースバルブへ流れることで減衰力を発生させる。伸工程では、シリンダーとピストンロッドの隙間のオイルがピストンへ流れることで減衰力を発生させる。その為、従来品は伸圧減衰力のバランスを考慮し、ピストンロッド径と、シリンダー径を選定する必要があり、それぞれの性能に特化した仕様とすることができなかった。

従来構造(左右同一構造)

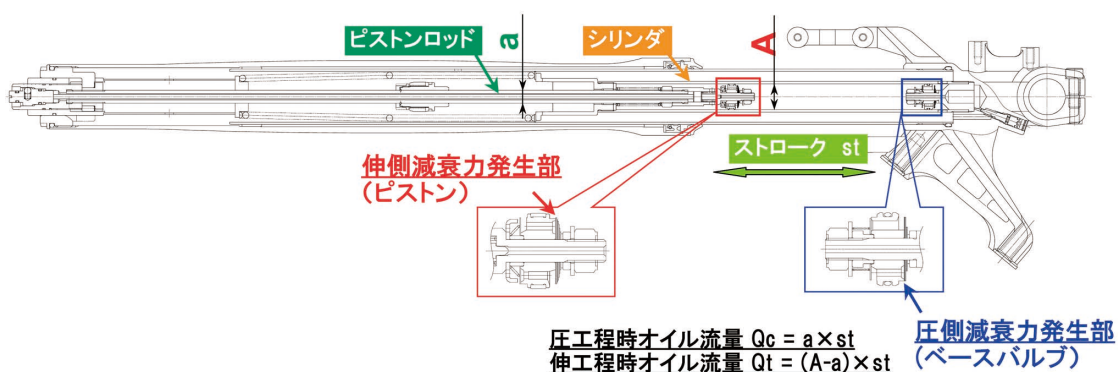


図2 フロントフォークの従来構造

### 3.2 伸圧別体カートリッジ式フロントフォーク

本製品は片側で伸側減衰力のみを発生させ、他方側で圧側減衰力のみを発生させる伸圧完全独立機構となっている。本機構では、一つのカートリッジにて伸圧それぞれの性能が干渉することが無いため、伸側、圧側の性能を最大限引き出すことが可能となった。以下にその詳細を紹介する。

### 3.2.1 低圧力、高減衰力発生機構

ピッチングを抑制するためには、高い減衰力を発生させることと減衰力を応答良く発生させることが有効である。従来構造にて圧側のピッチングを抑制したい場合には、構造的にはピストンロッド断面積 $a$ (受圧面積)を大きくする必要がある。しかし、従来構造では一つのシリンダーで伸側と圧側の両方向の減衰力を発生させているため、ピストンロッド断面積 $a$ を大きくすることは伸側減衰力の受圧面積である $(A-a)$ を減少させ、伸側減衰力の応答性を悪化させる原因の一つとなっていた。(図3)

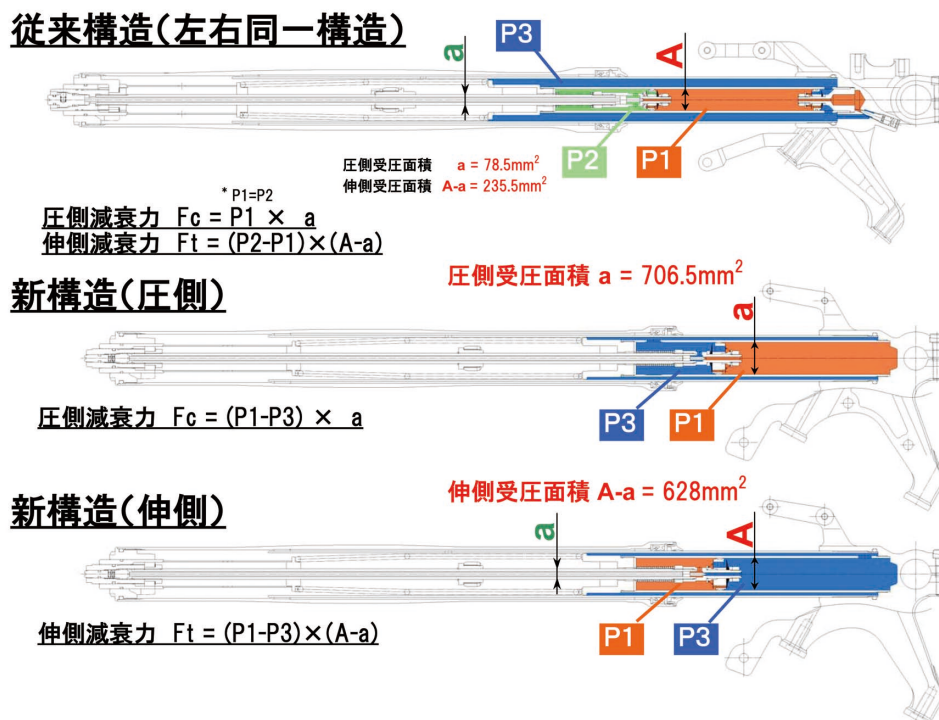


図3 低圧力、高減衰力発生機構

今回新開発した伸圧別体カートリッジ式フロントフォークでは、圧側減衰力に関しては、ピストン断面積が受圧面積 $a$ となる構造とした。その結果、従来構造と同じ減衰力を $1/9$ の圧力にて発生させることが可能となった。伸側減衰力に関しては、シリンダー径の見直しにより従来構造と同じ減衰力を約 $1/3$ の圧力にて発生させることが可能となった。言い換えると、伸圧工程切替り時の極低圧状態でも必要な減衰力を発生でき、応答性が格段に向上する。(図4)



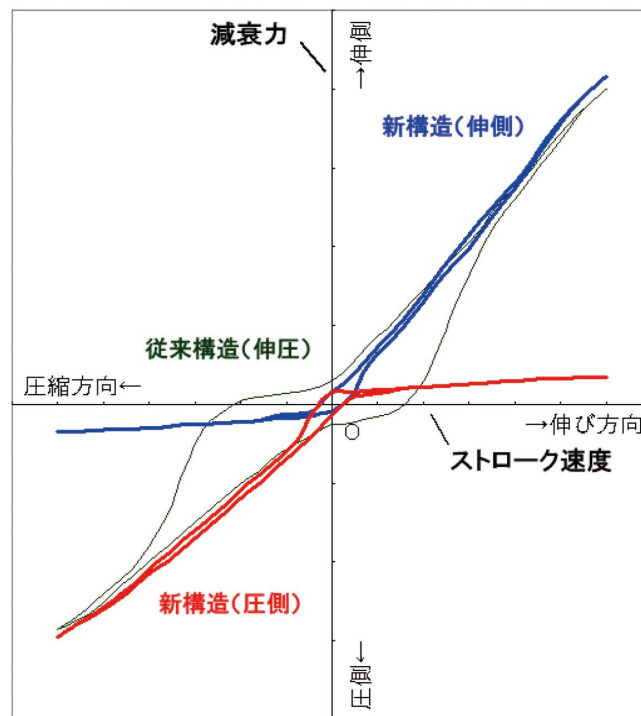


図4 減衰力波形比較

### 3.2.2 摺動フリクションの低減

乗り心地に影響する要因の一つとして摺動フリクションがある。本フロントフォークではインナーチューブの製造最終工程へ微小砥石による仕上げ研磨を追加することで従来品に対し30%以上のフリクション軽減を達成している。(図5)

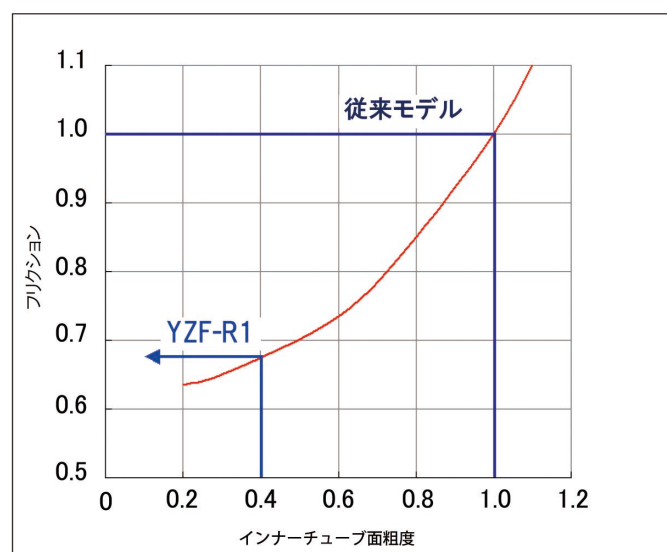


図5 サイドフォース付加フリクション特性

### 3.2.3 減衰力アジャスト幅の増大

ピッチングの抑制と乗り心地の確保を両立させるためには、減衰力のアジャスト機構の調整幅を増大させることが有効である。アジャスト幅を増大させるためには、アジャスト機構へ流れるオイルの流量が重要であり、本フロントフォークでは圧側のアジャスト機構へ流れるオイルの流量を従来構造の9倍とし、伸側のアジャスト機構へ流れるオイルの流量を従来構造の約3倍とした。その結果、ライダーがアジャスト機構を調整するだけで最適な乗り味を得ることが可能になった。(図6)

また、動き始めの瞬間より減衰力の発生が可能な伸圧別体機構と低摺動フリクション特性を合わせ持った仕様としたことにより、ピッチングの抑制と乗り心地の確保を減衰力にてコントロールできる比率が従来品よりも増大している。その結果、減衰力アジャストによる効果をライダーがより実感しやすくなった。

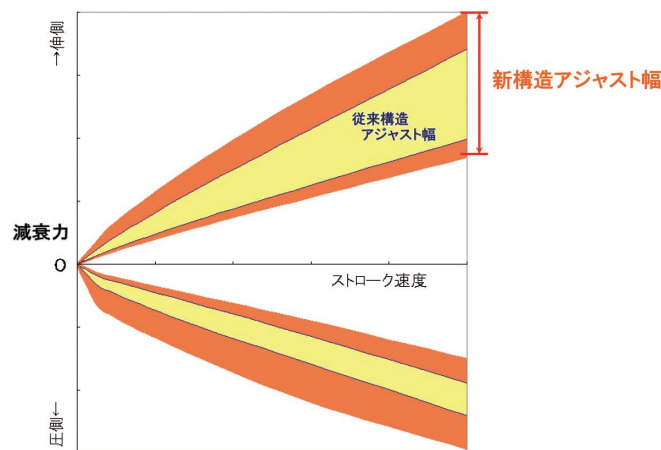


図6 減衰力アジャスト特性（速度 / 減衰力）

## 4 部品点数

伸圧別体式構造とすることにより、従来のカートリッジ式フロントフォークでは必要不可欠であったベースバルブが不要となり、減衰力アジャスト機構も二ヶ所から一ヶ所のみとすることが可能となった。(図7)

その結果、従来モデルに対し総部品点数を約30%削減することに成功した。

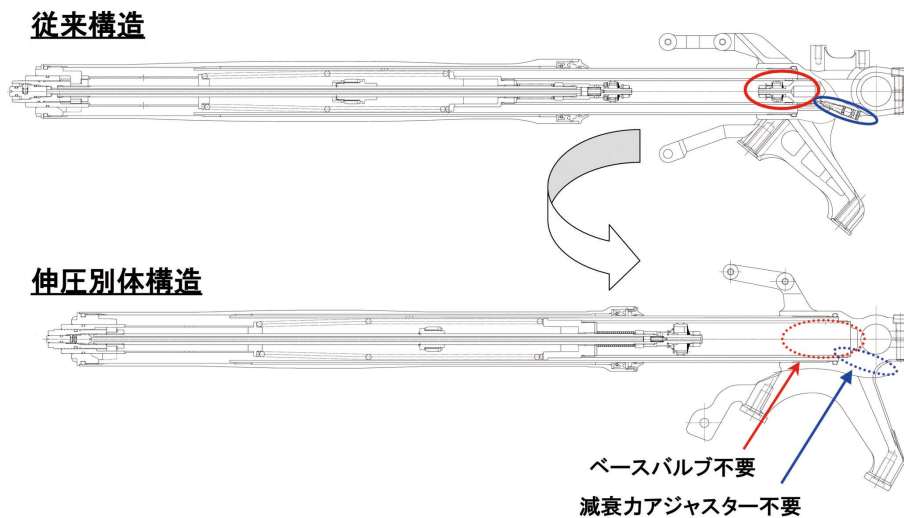


図 7 伸圧別体の構造

## 5 おわりに

今回の新規開発により、YZF-R1 モデルの高い運動性能と快適な乗車感の両立に貢献出来た。これはヤマハ発動機グループの一員として、同社と一体となり効率の良い開発が出来た結果である。

今後も、独創的な視点でフロントフォークのみならずリヤクッション、ステアリングダンパーに対し更なる進化を図った製品を提案していく所存である。

### ■ 著者



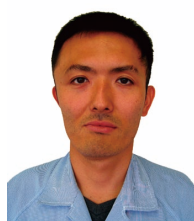
斉藤 琢也  
Takuya Saito

ヤマハモーターハイドロリックシステム(株)  
第一開発部



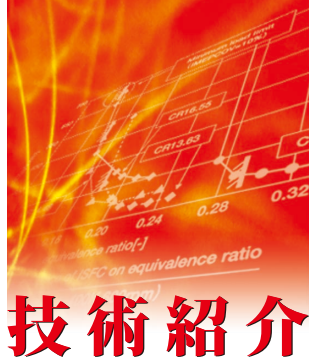
渡邊 彰人  
Akihito Watanabe

ヤマハモーターハイドロリックシステム(株)  
第一開発部



神谷 登  
Noboru Kamiya

ヤマハモーターハイドロリックシステム(株)  
第一開発部



## 製品としてのパフォーマンスダンパーの実績と 新たに確認された広範囲な効果についての紹介

The record of Yamaha's Performance Damper as a product and  
its newly recognized effects

沢井 誠二 近藤 勝広 志賀 孝夫 石川 幸夫 原田 豊二 赤堀 実

### Abstract

The Performance Damper (hereafter PD) is a completely new technology developed by Yamaha Motor to improve chassis performance.

After a patent application was filed in 2000, the PD was mounted on a limited-edition automobile as standard equipment in 2001 as a world's first chassis technology. The PD is a device that not only raised the stability and agility of the automobile's ride to a new level but also increased its comfort and quality feeling.

It was difficult to explain the effects of the methodology of adding "intentional increase in chassis viscosity" to the conventional "optimizing of chassis rigidity" as the means to achieve a major improvement in chassis performance. The reason is that it was a discussion involving only an order of a few microns of dynamic distortion occurring in the chassis in motion.

However, since customers began experiencing the effect and came to understand it, the use of the PD has spread to an increasing number of vehicles. Also, the ease of application of the PD device has made it a viable after-sale component that has won the acclaim of many more users.

Furthermore, the effectiveness and value of this world's first technology for increasing chassis viscosity has been recognized by awards including Japan's Prize for Promoting Machine Industry, an award from the Society of Automotive Engineers of Japan and the Ichimura Prizes in Industry.

This report introduces the facts of the spread of the PD as a product, its effects and its performance in absorbing vibration. We hope this report will promote customer understanding and help spread driving pleasure through its expanded use.

## 1 はじめに

パフォーマンスダンパー(以下PD)は、ヤマハ発動機によって開発された全く新しい車体性能向上技術である。

2000年に特許出願され、2001年には世界初の車体技術として、乗用車の少量限定車に標準装備された。PDは、それまでの「走り」の基準を越える安定感と運動性の双方を向上させるばかりでなく、乗り心地等の上質化まで実現する。大幅な車体性能向上を実現するために、従来の「車体剛性最適化」に加え、「車体粘性の積極的付加」という手法を用いる考え方は、効果の説明に難航することが多かった。車体の動的変形というミクロンオーダーの物理量を対象に議論するためである。

しかしながら、一度その効果が体感され、理解されるや、次々と採用が進んできている。また、装着の簡便さからアフターパーツとしても多くのお客様から高い評価を得ている。

加えて、新機械振興賞、自動車技術会賞、市村産業賞の3つの賞を受賞し、世界初の車体粘性技術がもたらす効果と価値が広く認められることとなった。

本報告では、PDの普及状況と効果、振動減衰特性について紹介する。本報告により、お客様がPDの理解を深め、更なるドライビングプレジャーを得る助けとなることを期待する。

## 2 PDの普及状況

現在PDは、自動車メーカーにて累計19モデルに採用されている(表1)。また、アフターパーツでは25モデル向けが販売されている(表2)。軽自動車から、上級セダン、スポーツカー、ミニバン、超高性能車、輸入車、商用車等、広範囲で採用され、あらゆるモデルでお客様から好評を得ている。

表1 自動車メーカー採用機種(太字は現行車)

トヨタ	クラウン アスリート VX
	欧州カローラ TS
	北米カローラ XRS
	カローラランクス Z エアロツアラー
	アレックス RS180
	<b>カローラフィールダー 1.8S エアロツアラー</b>
	<b>北米カローラ XRS</b>
	<b>北米マトリックス XRS</b>
	GM ポンティアックバイク
スバル	インプレッサ S204
日産	フェアレディ Z バージョンニスモ
	北米 NISMO 350Z
	フェアレディ Z バージョンニスモタイプ 380RS
	<b>エルグランドライダーの高性能グレード</b>
	<b>セレナライダーの高性能グレード</b>
	<b>ノートライダーの高性能グレード</b>
	<b>ティアナアクシス 2.5L2WD</b>
	<b>フェアレディ Z バージョンニスモ</b>
	<b>北米 NISMO 370Z</b>

表2 アフターパーツ採用機種  
(アフターパーツ販売会社により採用)

フォルクスワーゲン	ゴルフ 5 型、バリエーション
	ゴルフ 5 型 R32
	ゴルフ 4 型、ワゴン
	ジェッタ
	ボラ
アウディ	ニュービートル
	A3 Sportback
	TT 2.0T
	TT quattro
BMW	TTS
	新 3 シリーズ
	新 3 シリーズ ターボ
	1 シリーズ
	旧 3 シリーズ
ポルシェ	旧型 MINI
	ケイマン
ボルボ	V70R
トヨタ	ハイエース
	オーリス
ダイハツ	コペン
日産	スカイライン GT-R (R32,R33,R34)



図1 車両搭載事例(カローラフィールダー 1.8S エアロツアラー)



### 3 PD の減衰力選定と構造

P Dの車両搭載にあたっては、テストコースでの高度な走行試験によって車種ごとに減衰力が設定されている。

減衰力のバリエーションの一例を紹介するが、主にこれらの中から選定され、決定される。(図2)

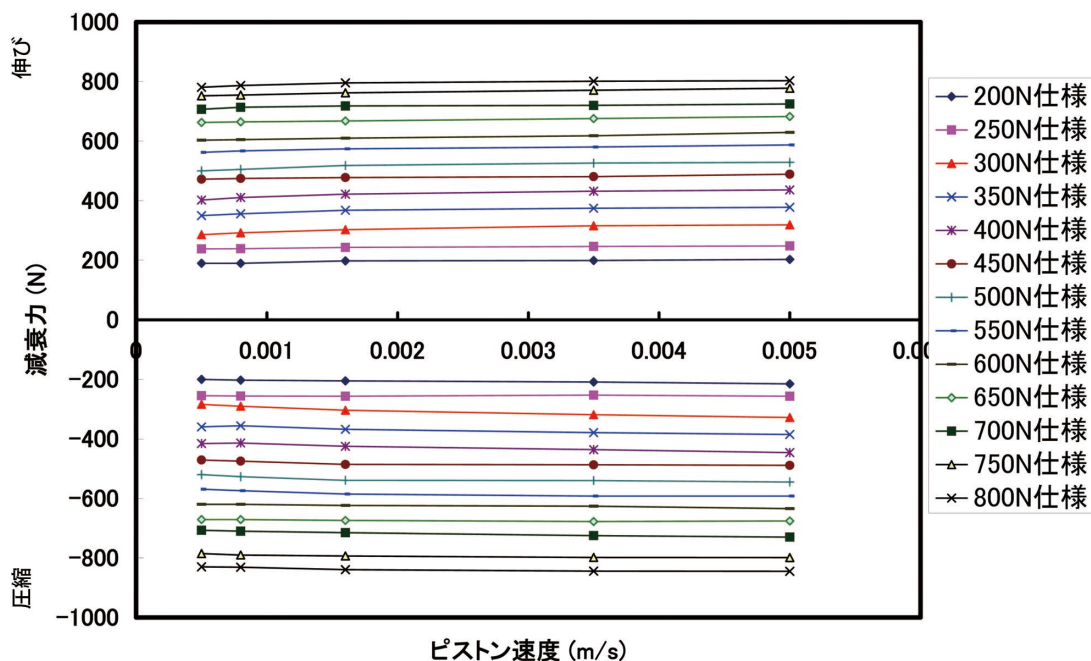


図2 PD減衰力 速度特性

PDは内蔵するバネとガス反力とのつりあう中立位置にて、搭載状態としている。(図3)

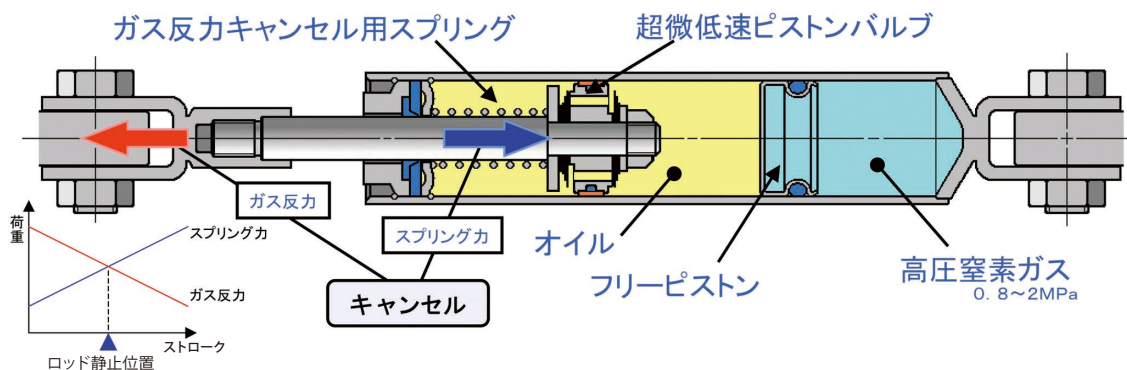


図3 PDの構造

## 4 PDの効果

PDは、極めて広範囲な効果を発揮し、かつ欠点がほとんど無い。開発当初の目標である「欧州の高速道路を想定した高い平均スピードにおける、安定感のある運動性、危険回避性能を実現すること」をクリアしただけではなく、快適性や上質感の向上、駆動系のロス感低減にも効果がある。更にはドアの閉まり音、オーディオの音質向上にまで効果を発揮していることが分かってきた。

### 4-1 車体の振動の計測

図4に車両の運転席フロア振動の計測結果を示す。

PD有では、広い周波数域で振動レベルが低減している。

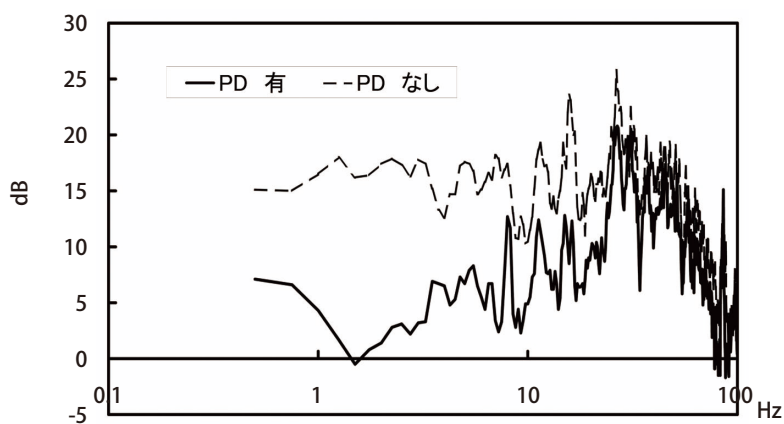


図4 運転席フロア垂直方向振動レベル  
(60km/h 定速走行)

### 4-2 車体の振動の計測

#### 4-2-1 走行時の車体変形

走行中の車両で、左右前輪ストラットタワー間の変位を測定した(図5)PD装着により最大変位が15%に減少している。

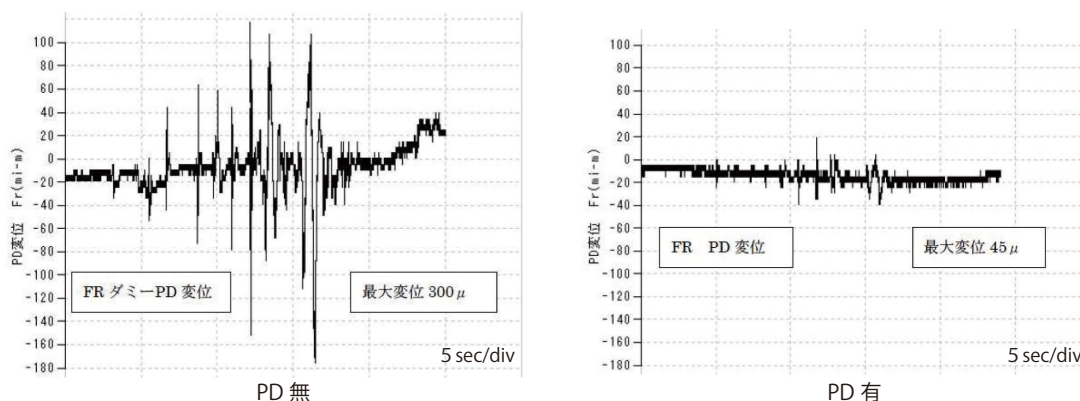


図5 走行時の車体変形：左右前輪ストラットタワー間距離変位



### 4-3 オーディオの音質改善

#### 4-3-1 ホワイトノイズ再生音比較

ホワイトノイズ再生音をPD有無で比較した結果を示す(図6)聴感上、PD有では低音が強調された音に聞える。

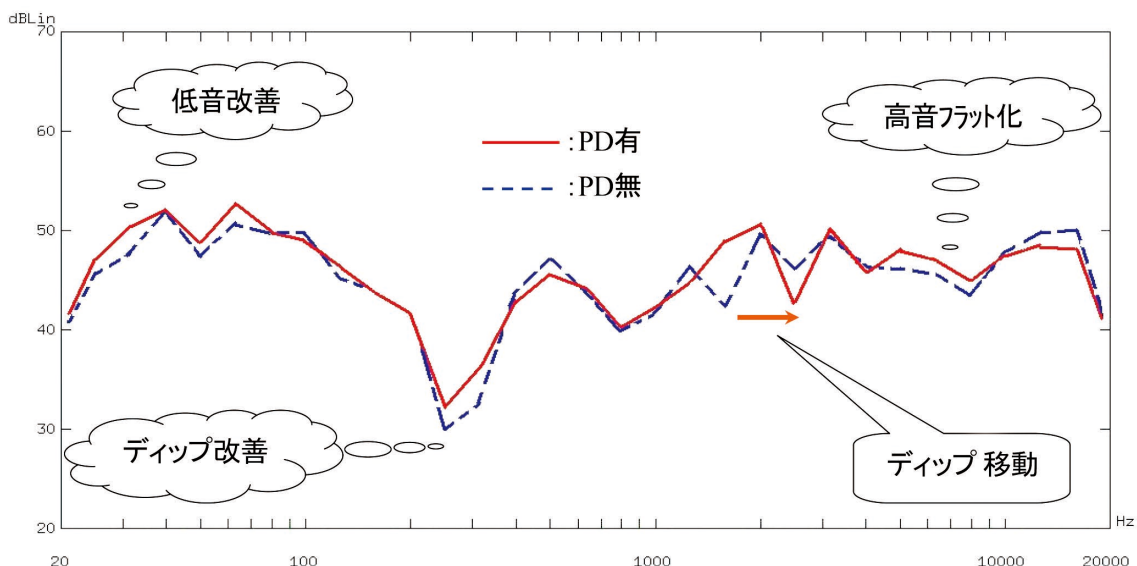


図6 ホワイトノイズ再生音比較

#### 4-3-2 オーディオ専門家の官能評価

PDによるオーディオ音質改善効果について、オーディオの専門家による評価を実施した。その結果、PD装着により音質が改善していることが確認できた。

表3 カーオーディオ音質改善 官能評価結果：PD有についてPD無との比較

- ・低音の音程がきちんとそろう。
- ・ベースの音を取りにくい音源なのだが、フレット移動するときのフレット毎の音が明確に聞き取れるようになる。
- ・ふやけた感じがなくなって、音量が下がった感じ。(良い)
- ・ドアのデッドニングを苦労して実施したものと同様の効果。
- ・パネルなどの、振動起因による余計な音がしなくなった。変なくせがなくなる。
- ・音質が向上。低音が良くなったせいかツイータの音の汚さが目立つようになる。
- ・ピアノの音の中域。数百 Hz、500 ~ 600Hz までか、変化がある。
- ・スピーカが出したい本来の音が出てくるイメージ。
- ・スピーカボックス(ドア)の振動が収まる。

## 5 PDの減衰特性

PDの振動減衰特性には、ストロークによる減衰力に加え、オイルを高圧封入したことによる減衰効果がある。

## 5-1 微小ストロークにおける減衰特性計測結果

### 5-1-1 テストピース ハンマリング加振による減衰特性計測結果

100Hzの固有振動数を持つテストピース(図7)を用いて振動減衰波形の包絡曲線を求めた。(図8)  
仕様は下記4仕様である。

1. 単独直立・・・ロッド/P D 無
2. 直立した2本のテストピースをロッドで結ぶ・・・ロッド補強
3. 直立した2本のテストピースを減衰力大 P D で結ぶ
4. 直立した2本のテストピースを減衰力小 P D で結ぶ



図7 100Hz 振動テストピース  
(PD 有での計測状態)

ロッド補強では、初期変位が単独に対して半分に抑えられるものの、減衰が小さく、時間がたつと単独仕様よりも変位が大きい。

PDでは、初期変位の減少はロッド並であるが、減衰が大きく変位が収束するのが速い。PDの仕様違いで振動が収束する速さが異なる。

車両でのロッドによる補強の効果とPDによる減衰付加の効果の違い及びPDの仕様違いによる減衰効果の違いが見て取れる結果となった。

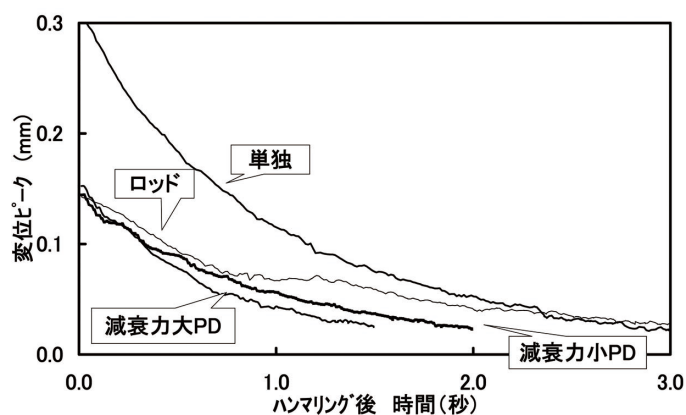


図8 テストピース振動減衰波形の包絡線

### 5-1-2 荷重試験機による減衰力測定結果

図9は超微低速でPDをストロークさせたときにロッドに生じる抵抗力(減衰力)を測定したものである。微小ストロークで減衰力が発生していることが確認できる。

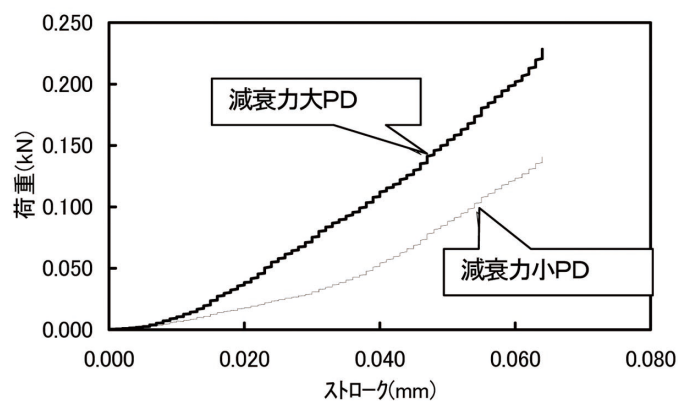


図9 超微低速での減衰力計測結果

### 5-2 殆どストロークをしない状態での減衰特性計測

閉じた構造体を(図10)をインパルスハンマーにより加振して、周波数応答関数を計測した(図11)

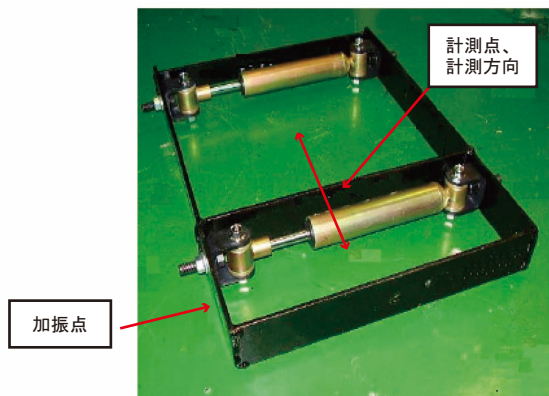


図10 閉じた構造体へのPD取り付け

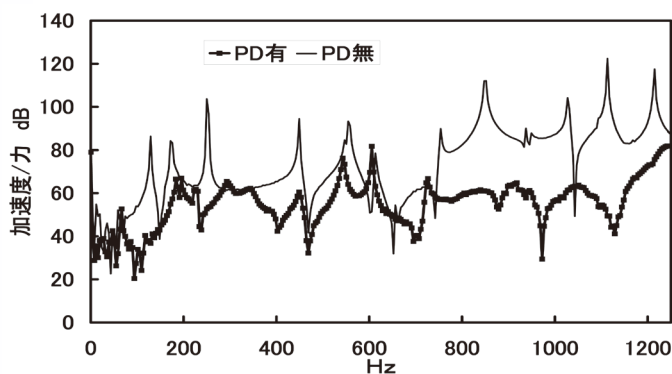


図11 周波数応答関数 低減効果

PD有では、PD無に比べ、最大で60dB低下している。1 kHzを超えるような高周波域(微振幅域)でも低減効果が見られる。これが、高圧封入したオイルの効果と考えられる。

## 6 PDの未来

PDはそれ自身がエネルギーを使うことなく、高性能を発揮するので、EV、HV車両における「走る楽しみ」の強化にも有望である。

振動を吸収するために、粘性を加えるという考え方は振動工学の基本であるので、車両以外の分野でも微小変位の減衰という目的で使用が拡大する可能性がある。

今後は様々な分野への応用を考えていきたい。

## 7 おわりに

実車ででの大きな効果に対して、裏づけとなるデータを紹介した。PDの機能・効果をより深く理解する助けになれば幸いである。

PDの開発、製造及び拡販にご尽力いただいた皆様、またご採用、ご購入いただいた皆様に深く感謝すると共に、今後も走りの本質の追及に特化することによって、お客様の期待をはるかに超える感動を創造していく所存である。

### ■ 著者



沢井 誠二  
Seiji Sawai  
AM事業部



近藤 勝広  
Katsuhiro Kondo  
AM事業部  
AM第2技術部



志賀 孝夫  
Takao Shiga  
AM事業部  
AM第2技術部



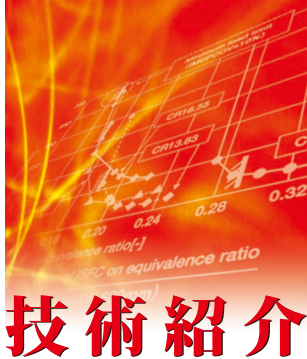
石川 幸夫  
Sachio Ishikawa  
AM事業部  
AM第2技術部



原田 豊二  
Toyoji Harada  
AM事業部  
AM第2技術部



赤堀 実  
Minoru Akahori  
AM事業部  
AM第2技術部



# 二輪車用燃料電池システム開発

## Development of a fuel cell system for motorcycles

志智 裕章 小林 健二 高橋 知泰 安達 修平

## 技術紹介

### Abstract

It is reported that total global emissions of CO<sub>2</sub> was 27.1 billion tons in 2005. Meanwhile, total worldwide motorcycle ownership is estimated at approximately 200 million units, and if the average CO<sub>2</sub> emissions per motorcycle are 100g/km and the average annual distance run per motorcycle is 7,500 km, that would result in total annual CO<sub>2</sub> emissions of 150 million tons. This represents 0.55% of the world total for CO<sub>2</sub> emissions. We can expect to see an acceleration in efforts in a variety of directions to prevent global warming and the shift away from fossil fuels as a solution for energy problems of the future. In light of these conditions, Yamaha Motor Co., Ltd. has been developing fuel cell systems that can potentially be applied to a variety of uses. In this report we introduce one example of such application of a fuel cell system for motorcycles.

### 1

### はじめに

世界の二酸化炭素排出量は2005年で271億トンと報告されている。一方、二輪車の世界の保有台数は約2億台と推測され1台のCO<sub>2</sub>排出量を100 g / k m, 年間走行距離を7,500 k mとすると、総排出量は約1億5000万トンと推定される。これは、世界全体の排出量の0.55%に相当する。地球温暖化防止や将来のエネルギー問題の面から脱化石燃料の動きが、様々な手段により今後も加速していくものと思われる。そのような状況の中、ヤマハ発動機では、各種用途に展開が考えられる燃料電池システムを開発している。本稿では、その用途の中の1つである二輪車に燃料電池を適用した例を紹介する。

### 2

### ヤマハ発動機における二輪車用燃料電池システム開発

燃料電池には、電解質の材質により、図1に示すような種類があり、その特性に応じた使い分けがなされてきている。燃料電池を小型電動二輪車に適用しようとする、極めて限られたスペースや、快適な走りを実現するための重量の制約が大きな課題になる。エンジン形式が用途や車両特性に合わせ、各種存在するように燃料電池も出力により適した方式があると考え、大まかには車両の出力1 k W以下ではメタノールを燃料とする直接メタノール燃料電池(DMFC: Direct Methanol Fuel Cell)が重量面で有利、それ以上の出力では、水素ガスを燃料とするPEFC(Polymer Electrolyte Fuel Cell)が有利と考え、二系統の開発を進めている。



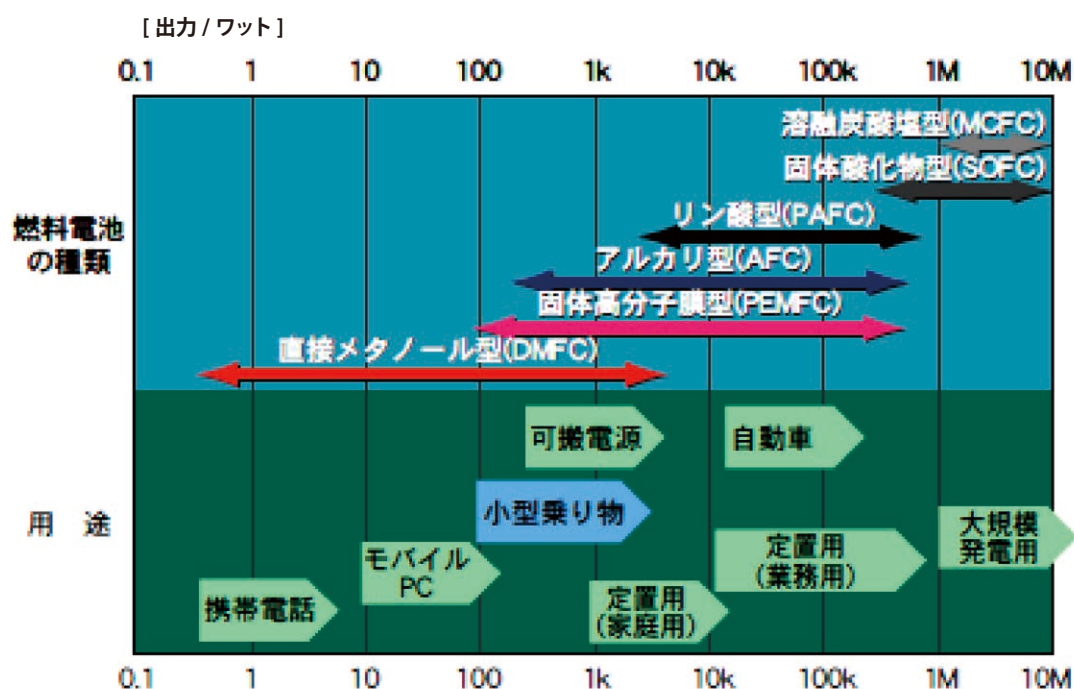


図1 燃料電池の種類と用途

### 3 DMFCシステム

ヤマハDMFC燃料電池システムの基本的構成は、図2に示したような燃料循環式の直接メタノール型である。燃料の54質量%のメタノール水溶液は、システム内では約1 mol/Lの濃度に希釈され、使用されている。セルスタックに入る燃料中のメタノール濃度は、独自に開発したメタノール濃度センサーにより常時モニターされており、必要に応じて高濃度燃料が補給される。セルスタックから出てくる循環燃料中には、アノード反応によって生じた二酸化炭素ガスが含まれているため、図中のソリューションタンク内で気液分離を行い、気体のみ外部へ放出する構造となっている。燃料循環系の途中にはラジエータを設置し、系内の液体の温度調節を行っている。一方、空気はエアポンプによってセルスタックに送られ、セルスタック内でカソード反応により生成した水は、凝縮器で冷却分離し、いったん水タンクに蓄えられた後、一部はソリューションタンクへ還流することで、系内の水バランスを維持するのに使われている。システムは、始動時の電源ならびに走行時の負荷変動に対応する目的で、二次電池を備えている。(図3)なお、使用目的によっては、メタノール濃度計測システムを持つ場合がある。また、システムの下流にDC/DCコンバータを配することもある。

図4は、DMFCシステム搭載二輪車の例である。ネット定格出力500 WのDMFCと600Whのリチウムイオン電池をもつハイブリッドタイプで、乾燥重量65 kg、航続距離125 km(30 km/h 定地走行値)を実現している。現時点では、ナンバープレートの交付を受け、公道走行を許可されている数少ない燃料電池二輪車のひとつである。図5は車両への燃料電池システム部品レイアウトを示している。

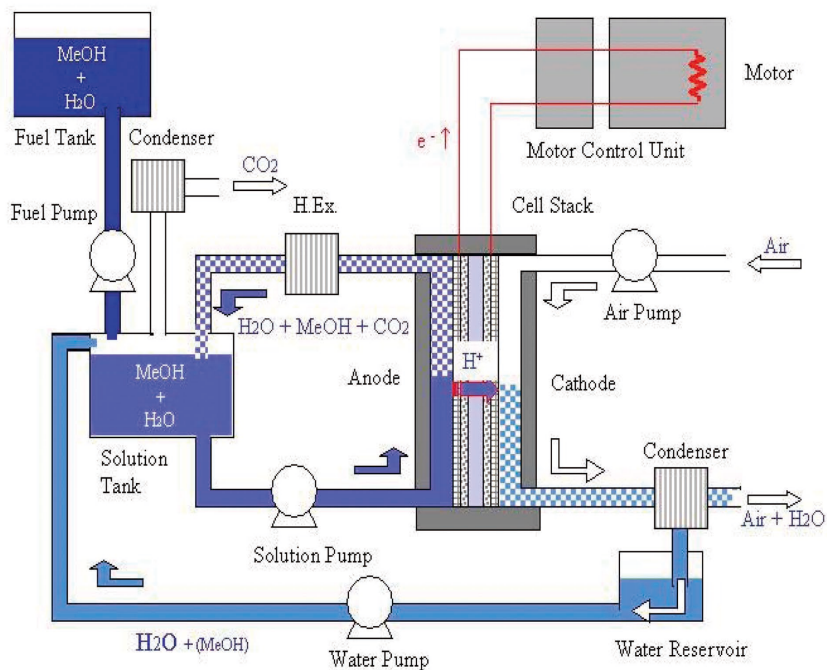


図 2 ヤマハ発動機の DMFC システム

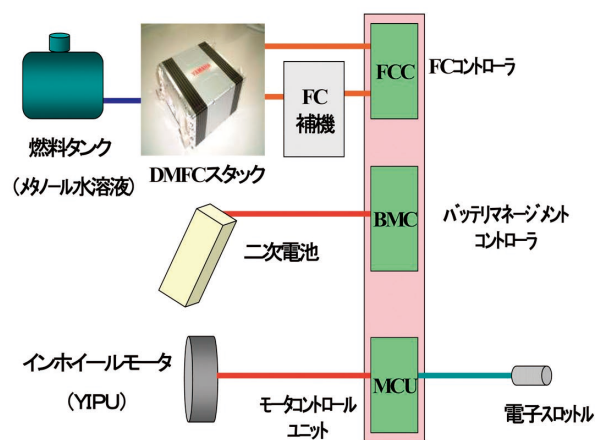


図 3 DMFC 搭載のパワースystem



図 4 DMFC 搭載二輪車 (FC-Dii)



図 5 DMFC システムレイアウト



## 4 PEFCシステム

ヤマハPEFC燃料電池システムの基本的構成を、図6に示す。燃料は35MPaの高圧水素タンクから減圧後セルスタックへ供給され、電気化学反応に使用される。余剰水素は気水分離器にて水分を除去後、水素ポンプにより循環され再使用する。一方、空気はエアブローアーによってセルスタックに送られ、セルスタック内でカソード反応により生成した水は、加湿器にて回収、及びカソードへ送る空気の湿度調整に使用することで、系内の水バランスを維持するのに使われている。なお、二輪システムとしては、起動時の電源ならびに走行時の負荷変動を吸収する目的で、二次電池を備えている。

図7は、PEFCシステム搭載二輪車の例である。出力1600WのPEFCとリチウムイオン電池をもつ、ハイブリッドタイプである。図8は車両への燃料電池システム部品レイアウトを示している。

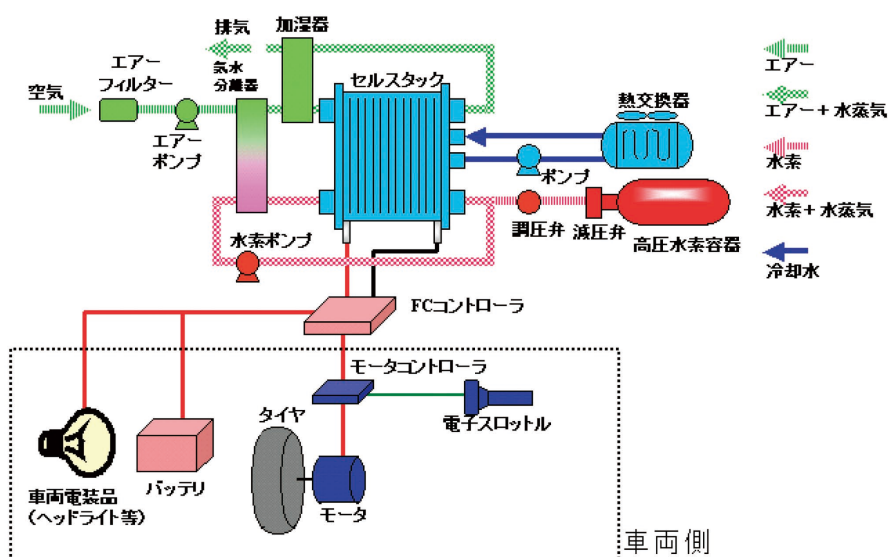


図6 ヤマハ発動機のPEFC搭載2輪車システム



図7 PEFC搭載2輪車（FC-AQEL）

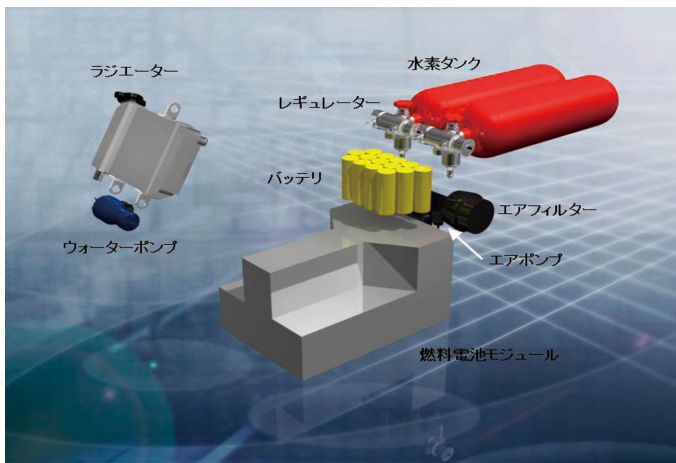


図8 PEFCシステムレイアウト

燃料電池二輪車の開発目的は環境負荷を出来るだけ少なくする事で、車両システムの高効率化による消費エネルギー低減やエネルギー消費全体で見た二酸化炭素排出量がその指標となる。図9は今回開発した水素型燃料電池二輪車(FC-AQEL)と内燃機関の50cc、125cc代表的スクータのFuel tank to Wheel(燃料タンクから車両走行による消費まで)の1km走行時の消費エネルギー比較である。図10は消費エネルギーと同様の各種二輪車でのWell to Wheel(一次エネルギーの採掘から車両走行による消費まで)の二酸化炭素排出量である。排気量と測定速度が違うため同一基準での比較ではないが、内燃機関と比較すると1/2~1/4程度と非常に少なくなっている。

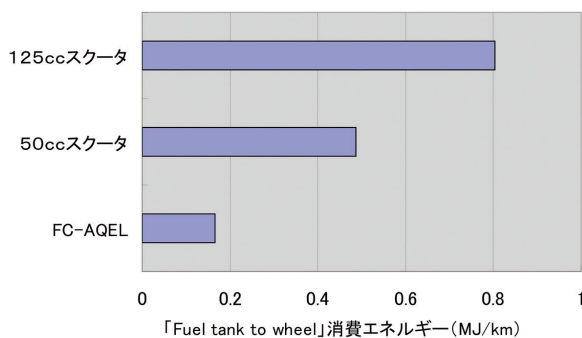


図9 消費エネルギー比較

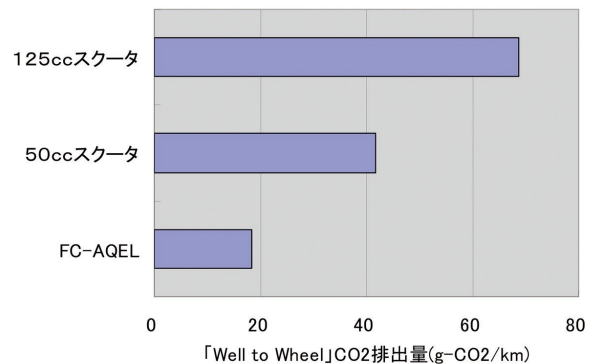


図10 CO<sub>2</sub> 排出量比較

## 5 高圧水素容器

FC-AQELの燃料は35Mpaの圧縮水素を使用している。この容器はFC-AQEL用に専用設計したもので1本当りの容積は4.7Lである。車両には2本搭載しバルブの自動切換を行い使用している。主止弁に電磁弁を使用し、車両側コントローラにより開閉指示される。これにより、異常を感知した場合、自動ですばやく容器の主止弁を閉止する。また容器交換を想定しているためアルミニウム合金ライナー・炭素繊維製一般複合容器の技術基準を満たし認証を取得している。

交換作業は工具を必要としない構造とし、交換作業を容易なものとしている。



図11 高圧水素容器

## 6 今後の課題と対応策

燃料電池を二輪車のエネルギー源として使用する際の課題は多くあるが、4輪のFCVとの最大の違いは、燃料電池システムを搭載できるスペースである。出力が小さくても燃料電池を動かすシステムは基本的には他のものと変わらず、FCスタックやエアブローア、ポンプ等の小型化が要求される。また、二輪車は使用条件が過酷で路面からの衝撃や転倒等のダメージ、更に風雨にさらされること等の環境条件に加え、パワーウェイトレシオが高く、急峻なパワーが要求されるのは燃料電池二輪車も例外ではない。また、4輪FCVと同様に製造コストや燃料供給のインフラも大きな課題である。

以上の課題をまとめると次のようになる。

- 1) 燃料電池システムの小型化
- 2) 信頼性・耐久性の確保
- 3) 製造コストの低減
- 4) 燃料供給網の整備

1)の燃料電池システムの小型化をはかる手段としては、燃料電池スタックの出力密度及び効率の向上すなわち膜・電極接合体(MEA)の改良、特に電極構造の改良による電圧効率の向上、燃料利用率の向上、流路抵抗の低減、がある。さらに、補機類の最適設計、低消費電力化、構成部材の置き換えによるシステム全体の軽量化、二次電池容量の最適バランスの追求があげられる。

2)に関しては、想定されるすべての条件における良好な動作の確保、車両の特性上必要とされる耐振動・耐衝撃・耐候性の保障、長期保管対策、などが必要である。

3)については量産効果により価格を下げるができるが、基本構造・構成材料の見直し、共通部材の使用促進、触媒活性の向上による貴金属触媒の低減が必要である。

4)に関しては、特に水素ステーションの場合、官民で取り組むべき社会的な課題である。

## 7 まとめ

ヤマハ発動機では、車格に合わせた2種類の燃料電池システムを開発しており、二酸化炭素排出量においてはFC二輪車のICE二輪車に対する優位性が確認できた。実用化するまでにはシステムの小型化、効率向上、コスト低減、燃料インフラの整備等課題はまだ多くあるが、世界の低炭素化社会への移行は間違いなく進むため、今後も各種テストと改良を加え、着実に進化させていく必要がある。

### ■参考文献

- (1)武智裕章:自動車技術会No04-07シンポジウム 二輪車用燃料電池開発の現状と技術課題(2007)
- (2)安達修平:自動車技術 Vol.60、No.1(2007)
- (3)Shuhei Adachi “Challenges to commercialization of direct methanol fuel cell- powered motorbikes” EVS23

(4)石谷久 JHFC 総合効率検討結果(2005)

(5)環境省 世界と日本の排出量の推移 <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/stop2008/16-17.pdf>

## ■著者



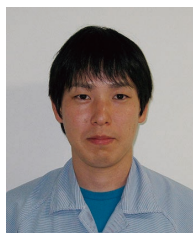
武智 裕章  
Hiroaki Takechi

MC事業本部  
技術統括部  
EV開発部



小林 健二  
Kenji Kobayashi

MC事業本部  
技術統括部  
EV開発部



高橋 知泰  
Tomoyasu Takahashi

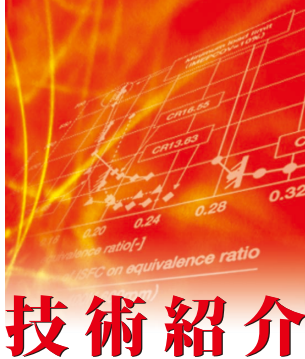
MC事業本部  
技術統括部  
EV開発部



安達 修平  
Shuhei Adachi

技術本部  
研究開発統括部  
システム技術研究部





# ヤマハ マイクロバブル発生装置

YAMAHA Micro Bubble Generator

黒田 寛 黒田 英里

## 技術紹介

### Abstract

Attention came to focus on the effects of microbubbles in the last several years and they have been put to use in a number of fields. The term microbubbles refers to very fine bubbles with a diameter of just a few tens of micrometers. Unlike ordinary bubbles, they rise at a slow rate (dissolve easily in a liquid) and are said to have a number of distinct physical/chemical qualities such as the negative electrostatic charge of the bubbles (resistance to bubble fusion, tendency to adhere to floating objects in the liquid) and their self-pressurizing effect (bubble contraction/deflation, release of free-radicals), etc. It can also be considered an environmentally sound technology because it produces the above-mentioned effects with only water and air, while emitting no chemical substances or pollutants.

However, problems concerning the production of large quantities of microbubbles included the fact that a high-pressure power source is necessary, the fact that the parts of a device for producing microbubbles must have a high degree of strength and the cost of the special high-pressure pumps needed to pump water through the bubble-producing device. This report is about Yamaha Motor's development of a low-pressure device with good cost merits capable of producing large quantities of microbubbles with the aim of microbubble commercialization and the advancement of technology in this field.

## 1 はじめに

数年前より「マイクロバブル」の効果が注目され始め、様々な分野への応用が行なわれている。そもそもマイクロバブルとは、直径数十マイクロメートルの微細な泡を指す。通常の気泡とは違い、浮上速度が遅い（水中溶解の容易）、また気泡のマイナス帯電（気泡同士の合体が起こりにくく、水中の浮遊物への吸着性がある）、自己加圧効果（泡の収縮、崩壊によるフリーラジカルの発生）など物理化学的特性をもっていると言われている。水と空気の混合のみで前記の効果を示すことから化学物質等の付与もなく環境に優しい技術と言える。

しかしながら、マイクロバブルを多量に発生させるためには高圧の動力源が必要であり、各部品の強度が求められる事、また高圧送水に用いられる特殊高圧ポンプがコストの造り込みにおいて課題であった。マイクロバブルの商品展開、及び技術の構築を目指し、コストメリットが高く、低圧式でも多量のマイクロバブルが発生可能な装置の開発に着手した。

## 2 開発のねらい

マイクロバブルの生成方法には加圧溶解方式、空気せん断方式、細孔方式、超音波方式と様々な生成

方法が存在する。この中で、上述の目的には、加圧溶解方式が最も優れており、表面が白くなるほどに泡が多量発生し、均一なサイズの泡を生成できる。その他の生成方式においては泡の均一性に欠け泡の発生量が少ないこと、またメンテナンス性に不向きであったため生成させる技術としては除外した。

まだ技術として確立していないマイクロバブルを認知させるためにも「視覚効果も兼ね備えた装置開発」をコンセプトに新技術開発に着手した。

次の4項目を重点目標とし開発を進めた。

- (1) 水道水にて乳白色化する多量の泡を発生させる
- (2) 特殊高圧ポンプを必要としない装置開発
- (3) 効果効能の実証
- (4) シンプル化(メンテナンス容易)

### 3 システム概要

マイクロバブルを発生させる主要構成部品は、圧力を送り込む動力源(ポンプまたは水道圧等)、水中に空気を溶解させるタンク部、泡を析出させる発生器部により構成されている。

動力源によって押出された液体がタンクを通過して気体を溶解し、過飽和状態の溶液として発生器に送られ白濁した泡となって吐出する。マイクロバブル発生前から発生2分後までの様子を示す(図1)。

以下に主要構成部品の詳細説明をする。

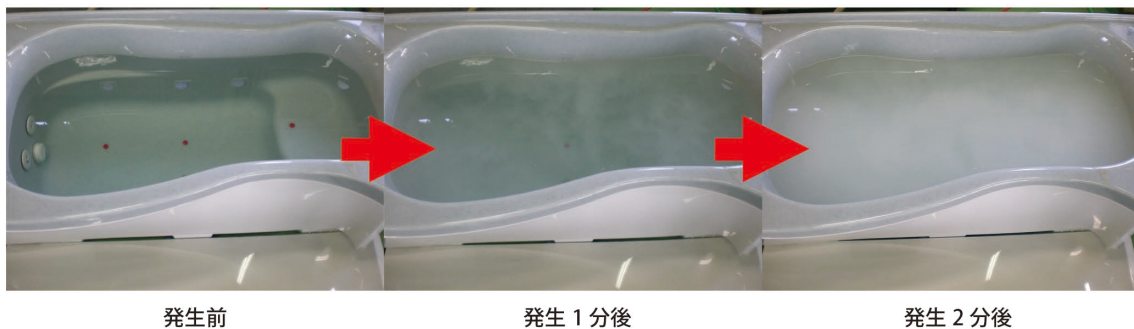


図1 マイクロバブル発生の様子

#### 3.1 動力源(ポンプまたは水道圧等)

泡を発生させる為には、圧力を送り込む動力源が必要である。今回は循環システムとして成り立つ装置開発に着手したため動力源をポンプとし、汎用性のある安価な低圧ポンプ(締切圧0.15Mpa)を設定した。このポンプによってマイクロバブルの発生が可能な装置の開発を進めた。

泡の発生に重要なのは空気の溶解と減圧による析出にある。そのためには、圧力損失を最小限に抑えて送水することによる圧縮溶解、差圧を設けての減圧が泡を発生させる重要事項となる。ポンプ圧は決められているため、与えられた圧力を無駄にしない配管の設計(圧損を押さえた設計)を行なった。

### 3.2 タンク部

タンクは水中に空気を溶解させる溶解槽の役目を果たしている。気体の溶解度は温度によって変化し、温度が高くなるほど溶解度は下がる。溶解速度をあげるためには攪拌や温度を上げる事が有効であるが、温度依存せず溶解度を上げるために攪拌能力を上げること、また水と空気の接触面積を増やすことで解決した。そのために、限られた圧力・流量の中でより効率よく溶解させる仕様として、混合過程を1つのタンクで複数回行なう機構とした。タンク内部を上下に分割し、上部で第一に壁への衝突溶解、第二に水中への打ち付け溶解を行なう。下部では更に噴射速度をあげ、攪拌溶解を行なう。前述した3回の溶解工程において過飽和溶液を作り、攪拌工程で未溶解の空気(大きな泡)が発生器まで流出しないように攪拌スペースと泡の分離スペースを設け、溶解した水のみを発生器に送るようにした。性能向上のために溶解工程を増やしたが、その他にも成形性およびメンテナンス性の観点から2分割とし、コストおよび強度の観点から最終形状を造りこんだ。

### 3.3 発生器部

発生器は過飽和溶液を減圧させ効率よく水中に泡として析出させる役目を果たしている。減圧時の圧力差が大きければ、比較的容易に泡を発生させることができるが、今回低圧であるがゆえに圧力差のみに頼れず、また詰まり等のメンテナンス性を考えた際に穴の径を極端に小さくするのには限界がある。圧力差が小さければ、発生した泡がすぐに水圧に押しつぶされてしまうため水圧を受ける前に徐々に減圧開放する必要がある。マイクロバブルを発生させた後、水圧にさらされない一定空間容積を設け、マイクロバブルとして泡の安定化を図った。またスムーズな減圧水流が低圧には有利に働き、ノズル穴形状としてテーパ穴を段階的に設けることとした。発生器部をより小さくするため、ノズルから発生する方向を直接進行方向へ噴出するのではなく、反対方向へ噴出させてから折り返すことによって距離をかせぎ、気泡を安定させるための空間容積を維持しながらコンパクト化を実現した。また、進行方向を留めることによってノズル取り外し用の取っ手を取り付ける事が可能となりメンテナンス性も向上した。

## 4 性能

### 4.1 発生量およびサイズ

これまで述べたシステムをもって容量約200L貯留槽での泡のサイズ、発生量は平均約30マイクロメートルの泡径で約8000個/mlが存在している(図2)。この集合体が可視光の散乱によって白濁した溶液に見せている。マイクロバブルは物理化学的に不安定であるために数分で消滅してしまうことから、泡の計測が難しいとされている。泡径を4~120マイクロメートルに絞って短時間で計測することにより、安定した値を得た。



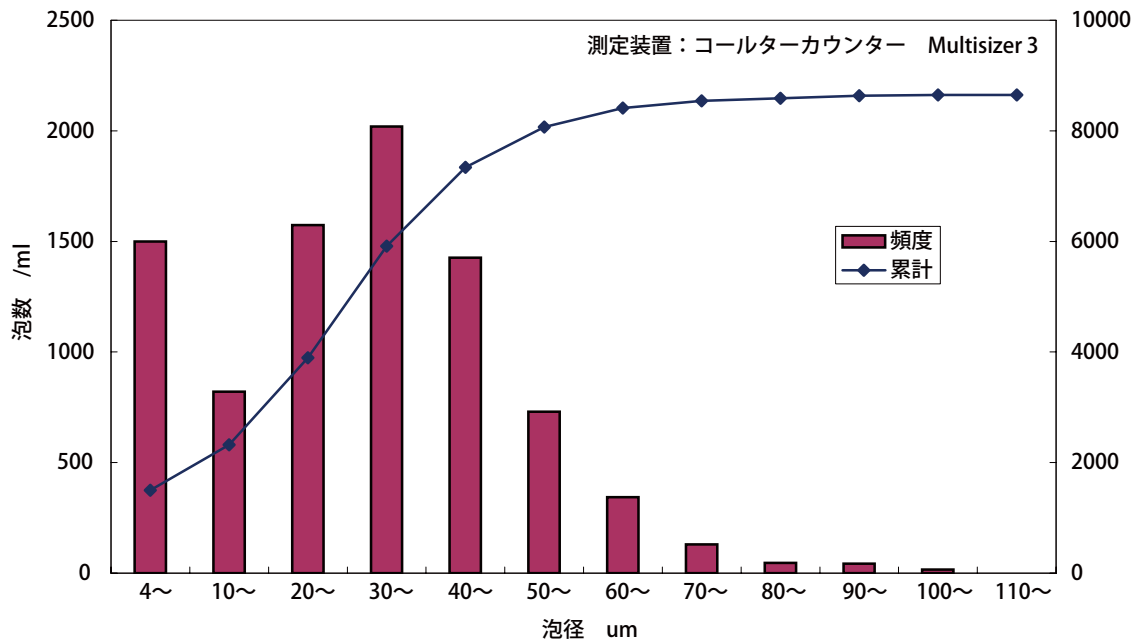
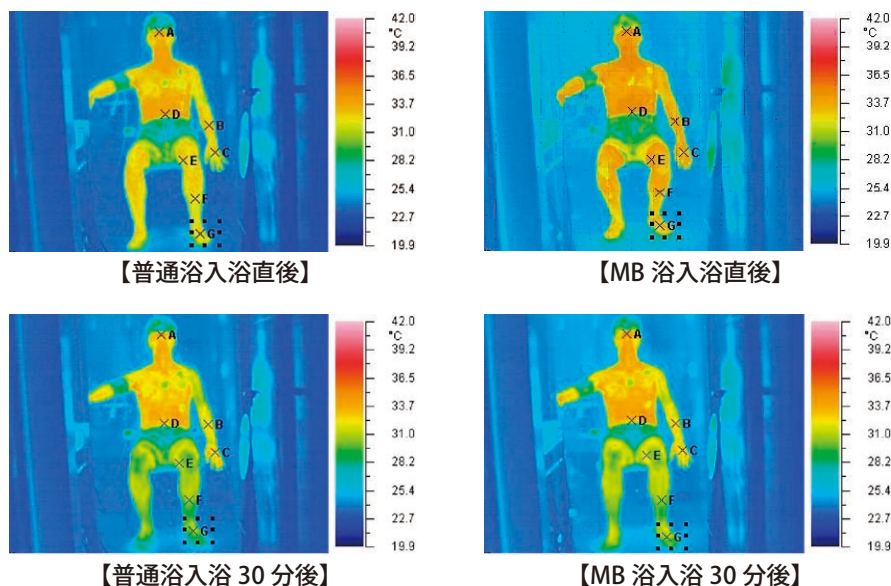


図2 粒度分布

## 4.2 効果効能検証

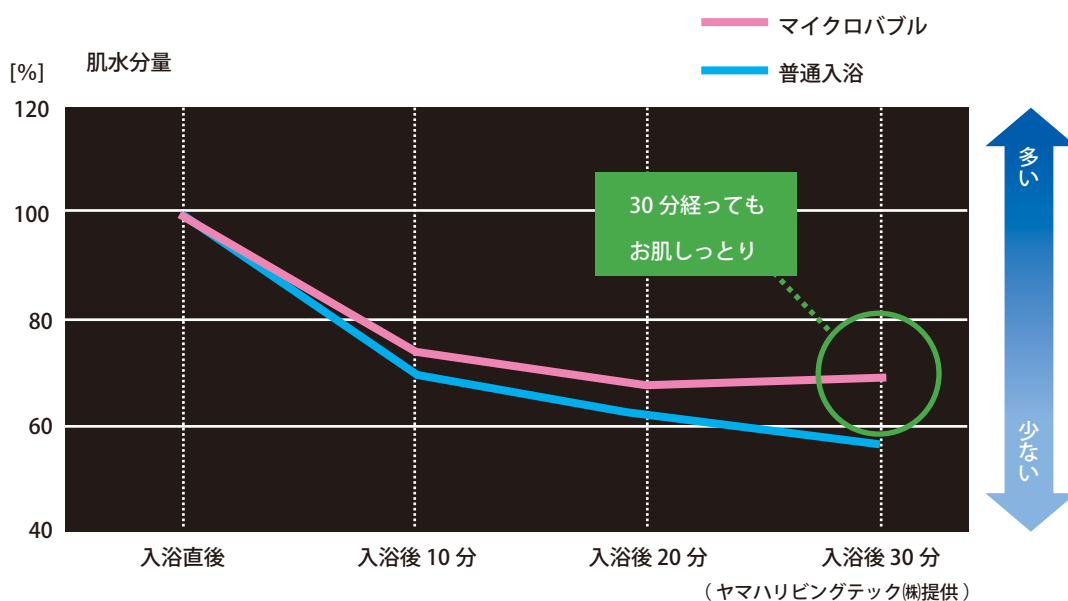
一般に言われているマイクロバブルの効果の中で、生理活性効果を中心とした効果検証を本システムにて実証した。その中で入浴に於ける保温・保湿効果が有意差を示し、また皮脂洗浄効果も期待できる結果を導いたことから、美容・健康分野をターゲットとした商品への展開が見えた。

保温効果は体表面温度計測, A V A血流量計測, 主観評価により通常入浴に対し差を見出すことができた(図3)。マイクロバブルは体表面を泡で包み込み、水圧を感じにくくなることで血管の圧迫を避け、さらには泡の刺激により血流量を増加させたと考えられる。血流量の増加は多く熱を放散させて体を温めたといえる。また、入浴後の方が有意な差が見られ、保温が続くことにより保湿効果が高まった。その結果は、水分量計測により証明された(図4)。



(ヤマハリビングテック(株)提供)

図 3 サーモグラフィによる体表面温度変化



(ヤマハリビングテック(株)提供)

図 4 サーモグラフィによる体表面温度変化

## 5 おわりに

今回紹介したマイクロバブル発生装置を、アクア環境部の新技術として確立させる事が出来ました。今後この技術を幅広い分野へ商品展開できるよう開発に取り組んでまいりたいと思います。

最後に、開発にあたってご協力頂きましたヤマハリビングテック(株)および社内外の関係各位の皆様には本紙面を借りて厚く御礼申し上げます。



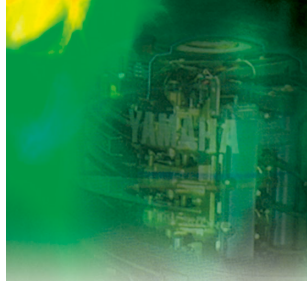
黒田 寛  
Hiroshi Kuroda

事業推進統括部  
新規事業推進部  
アクア環境部



黒田 英里  
Eri Kuroda

MC事業本部  
技術統括部  
第一ボディ設計部



## 製品紹介

# 電動船外機 YAMAHA Marine Motor M-15 (XGW) / M-25 (XGX)

The electric outboard motor YAMAHA Marine Motor  
M-15/25 (XGW/XGX)

松井 太憲 久保田 昌利 早川 栄一 井原 博英 高木 敏幸 岡田 武士  
船倉 嘉一郎 三橋 学

### Abstract

Since the launch of Yamaha's first 12V electric outboard motor "M-15" in 1988, it's performance has been recognized as an effective power source in use primarily by fishermen involved in reef catches (sea urchin, abalone) and wakame seaweed harvesting. (Fig. 2 shows sales by area.)

Here we report on the development of a new controller for the M-15, for the first time in 20 years, and the first time in 13 years for the higher-output 24V model "M-25" that followed. The controller is one of the most important components of an electric outboard (Fig. 1) and will provide these models with new levels of performance.

## 1 はじめに

電動船外機は、主に北日本沿岸の磯貝漁(ウニ、アワビ)、わかめ漁の漁具として広く使われている。当社は、1988年に初代モデル12V基本仕様M-15を製品化し、1995年には高出力タイプの24V仕様M-25を発売した。

今回20年ぶりに電動船外機の主要コンポーネントである制御装置(コントローラー)を開発したので、電動船外機製品概要(図1)も含め、紹介する。



図1 M-15 / 25 (XGW / XGX)

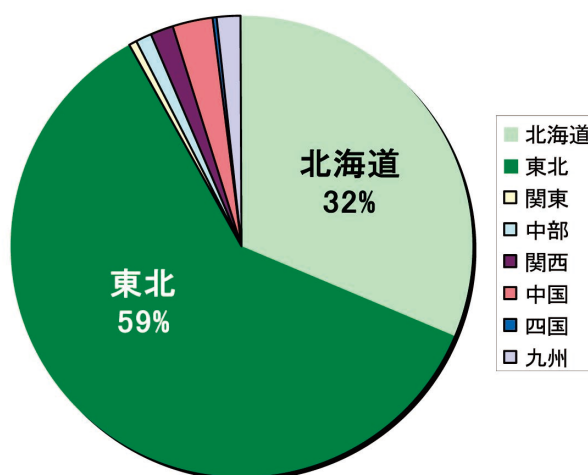


図2 エリア別販売状況

## 2 開発のねらい

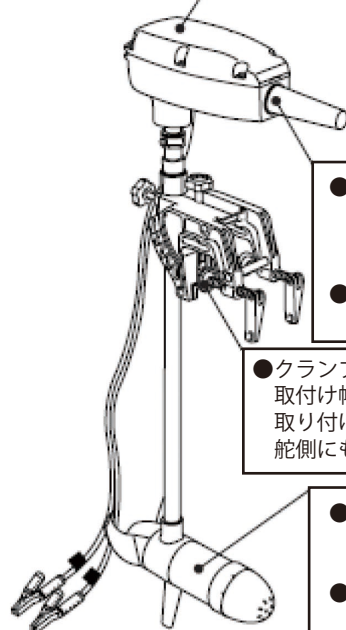
漁具として、北日本各地で様々な使用環境に対応したこれまでの基本仕様を継承しつつ電気動力製品の頭脳となる制御装置のハードウェア、ソフトウェアを新規開発し、更に機構部の耐久／信頼性向上、メンテナンス性向上をねらった。

また、制御装置のハードウェア変更に伴い、環境負荷物質であるCd(カドミウム)使用を削減できた。

図3にフィーチャーマップを示す。

環境負荷物質を排除し環境に対応  
・耐久性向上  
・メンテナンス性向上  
・環境対応・カドミウムフリー

●モーターコントロールユニットを一体化  
●モーター電流制御コントローラ  
アクセル全開において無段階速度可変  
●M15 ノンヒューズブレーカを廃止



●樹脂製ケースからアルミ製ケースにし、  
グリップのシャフト部を2個のベアリングにて支持⇒耐久性向上と、ガタによる水入り防止  
●MCU をアッパーケース一体とし、防水コネクタの採用⇒耐水性向上

●クランプスクリュー  
取付け幅標準クランプ：8～61mm  
取付け幅ワイドクランプ：40～120mm  
舵側にも取付け可能

●従来同様に  
M15：直結  
M25：遊星ギア内載1-1/4  
●M15：サーキットボード廃止  
M25：ドライブ Assy 廃止  
制御基盤は無く、モーターのみに

図3 フィーチャーマップ

## 3 製品の特徴

### 3.1 仕様概要

ユーザーは、港から漁場まで、エンジン船外機で移動し、漁場で電動船外機を使用する。図4のように、ウニ・アワビを探す際、岩場の隙間を低速で縫うように動き、獲物を見つけると、その獲物を獲るまで、波・風による船への外乱を抑制し、位置制御する漁具が電動船外機である。

M-15(XGW)及びM- 25(XGX)の仕様諸元を表1、表2に示す。



表 1 M-15 (XGW)

項 目	単位	モデル名				
		M15(XGW)				
		M-15-SS-N	M-15-S-N	M-15-L-N	M-15-L-W	M-15-YW-W
寸法：						
全長	mm	388				
全高	mm	963	1,062	1,262		1,462
全幅	mm	124				
クランプ幅	mm	8 ～ 61			40 ～ 120	
バッテリーコード長	mm	3,500				
プロペラ直径	mm	300				
重量：	kg	10.3	10.5	10.9	11.0	11.4
性能：						
出力	kW	0.25				
消費電流	A	38				
モーター：						
モーター種類		直流 4 極				
電源	V	12( 直流 )				
ドライブ：						
シフト		直進・中立・後退				
減速比		1：1（直結）				
クランプ：						
トリムチルト方法		マニュアルチルト				
トリムチルト段数		5				
バッテリー要件：						
推奨バッテリー		12V-40Ah 以上				

表 2 M-25 (XGX)

項 目	単位	モデル名		
		M25(XGX)		
		M-25-SS-N	M-25-S-N	M-15-L-N
寸法：				
全長	mm	466		
全高	mm	963	1,062	1,262
全幅	mm	124		
クランプ幅	mm	8 ～ 61		40 ～ 120
バッテリーコード長	mm	3,500		
プロペラ直径	mm	300		
重量：	kg	11.8	12	12.5
性能：				
出力	kW	0.5		
消費電流	A	32		
モーター：				
モーター種類		直流 4 極		
電源	V	24( 直流 )		
ドライブ：				
シフト		直進・中立・後退		
減速比		1：4 (直結)		
クランプ：				
トリムチルト方法		マニュアルチルト		
トリムチルト段数		5		
バッテリー要件：				
推奨バッテリー		12V-40Ah 以上 ( 2 個 )		



図4 使用例

### 3.2 レイアウト

複数のサイズの船体に適応するため、トランサム高さは、4 種類、クランプ部は 2 種類設定されており、発熱が伴うモータ部は、プロペラと共に、水中で冷却されるレイアウトとなっている。

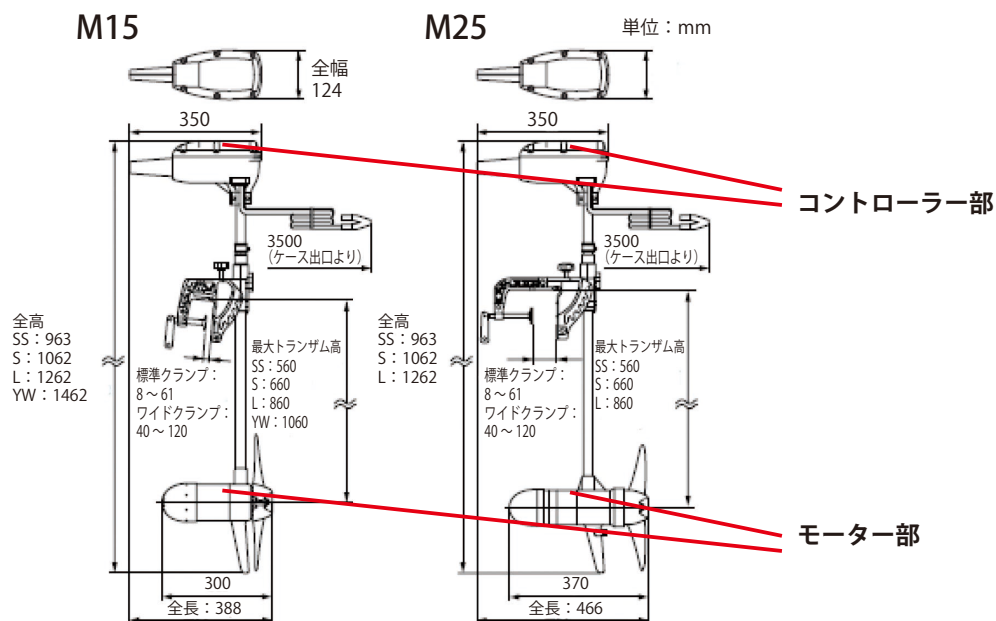


図5 レイアウト図

### 3.3 コントローラー

駆動制御は、PWM(Pulse Width Modulation) 制御により、目的の速度時に必要な最小限の出力でモータ駆動している。

モータ駆動部(パワー部)は、大きな電流が流れ発熱するが、コントローラボックス全体の表面より放熱している。過酷な使用で温度上昇が限度を越えた場合、各部にある温度センサにより過熱停止制御機能を動作させ保護している。

モータ駆動出力設定の違いで12V/24Vと入力電圧の違いがあるが、高出力/高負荷となる24V基準で開発することで、ハードウェア、ソフトウェアも基本的に共通化できメンテナンス性向上に寄与できた。

また、ハードウェアの完全防水化を進め、ケースに電子回路部を取り付けた後、防水樹脂を充填し、防水スロットルポジションセンサや防水コネクタを採用した。

### 3.4 モーター

モータは、従来タイプの直流ブラシモータを採用し、継続使用を可能にする為、ブラシ交換可能な構造としている。

## 4

## 品質への取り組み

FMEA(Failure Mode and Effect Analysis:故障モード影響解析)を、仕様・工程設計段階から徹底的に実施することで開発の早い段階から開発品質を確保した。新たに判った商品特性に対しては、新規に評価方法、目標値を設定し、デザインレビュー毎に達成度をチェックしながら進めた。

特に、官能評価となる操作性については、営業、サービス、品質保証、技術部門による業務連携を密

にし、要求品質レベルを明確にしたことにより、スムーズな作り込みを可能とした。また、本製品は、ヤマハモーターエレクトロニクス(株)、ヤマハ発動機(株)ボート事業部との共同開発として展開したが、開発プロセスにおける両社の役割を明確にしたことで、各開発業務をスムーズに展開することができた。

## 5 おわりに

耐久性、使いやすさ向上を達成し、お客様の期待に応える製品を提供できたと自負している。今後も、市場ニーズ、お客様の期待に応える製品開発に邁進する所存である。

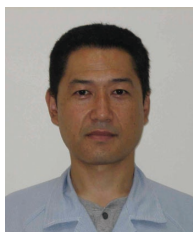
最後に本プロジェクトの関係各位に誌面をお借りして心からお礼申し上げます。

### ■著者



松井 太憲  
Taiken Matsui

ヤマハモーターエレクトロニクス(株)  
技術部



久保田 昌利  
Masatoshi Kubota

ヤマハモーターエレクトロニクス(株)  
技術部



早川 栄一  
Eiichi Hayakawa

ヤマハモーターエレクトロニクス(株)  
営業部



井原 博英  
Hirohide Ihara

マリン事業本部  
ボート事業部  
舟艇製品開発部



高木 敏幸  
Toshiyuki Takagi

マリン事業本部  
ボート事業部  
舟艇製品開発部



岡田 武士  
Takeshi Okada

マリン事業本部  
ボート事業部  
品質保証グループ



船倉 嘉一郎  
Kaichirou Funakura

マリン事業本部  
ボート事業部  
船外機営業部



三橋 学  
Satoru Mitsuhashi

マリン事業本部  
ボート事業部  
国内マリン営業部



# ステッピングモータ単軸ロボット 「TRANSERVO (トランサーボ)」

The stepping motor single-axis robot “TRANSERVO”

加茂川 良 加々谷 功

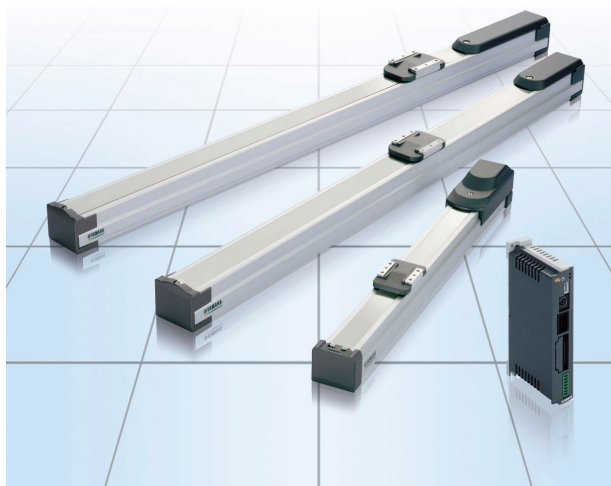


図 1 TRANSERVO (トランサーボ)

## Abstract

Among the trends in manufacturing equipment in recent years are demand for toward low-cost automation and energy saving through conversion from equipment that runs on compressed air to electric powered equipment. This has led to increased demand for compact, low-cost actuators with excellent reliability and durability.

The “TRANSERVO” (Fig. 1) is a new type of actuator developed to meet these needs featuring a newly developed vector control type stepping motor. This model is expected to find wide-ranging applicability in all types of manufacturing facilities engaged in the production of electrical and electronic parts and components and components for compact precision devices that require the high-precision assembly. In addition to applications in assembly, inspection, placement and transport in the different manufacturing processes and uses, they will also find application in the handling and inspection processes in the pharmaceutical and food product fields. In this report we discuss the development and features of this new model.

## 1 はじめに

近年では、生産設備に対しては、ローコストでの自動化・半自動化や、エアー機器を電動機器に置き換えることによる省エネルギー化などが求められており、小型・低コストで信頼性・耐久性に優れたアクチュエータの市場が拡大している。

「TRANSERVO」(図 1)は、これらの要求に応え、新開発のベクトル制御方式のステッピングモータを採用した新しいタイプのアクチュエータとして開発された。精密組立が要求される電気・電子部品や小型精

密機械部品のあらゆる生産設備において、組立、検査、移載、搬送、などの様々な工程・用途に使用可能なほか、医薬品・食品分野のハンドリングや検査工程への採用が期待されている。

## 2 新開発のベクトル制御方式を採用

ステッピングモータは、低コストや停止時のハンチング（微振動）が無いなどの特長がある反面、高速でのトルク低下や停止時の消費電力の大きさなどが欠点とされていた。「TRANSERVO」は、新開発のベクトル制御と、現代制御理論を応用したロバスト性の高いサーボ制御の採用で、これらの欠点を解消し、サーボモータと同等の機能・性能を実現した。

以下に「TRANSERVO」の動力特性における特徴をのべる。

### ① 高速での可搬質量の低下が無い

高速域でのトルク低下が少なく、可搬質量が速度に関係なく一定なため、全領域での高速運転が可能となり、タクトタイムを短縮。

### ② 省エネ・停止時のハンチングが無い

停止時の無駄な電力を抑えらるとともに、必要に応じてハンチング無しの停止モードも選択可能。

### ③ 優れた静粛性

従来のステッピングモータ特有の甲高い動作音を抑え、サーボモータと同等の静かな動作音を実現。

## 3 レゾルバによるクローズドループ制御

位置検出器には信頼性の高いレゾルバ（図2）を採用。当社ロボットには約10年前から位置検出器にレゾルバを採用しており、堅牢な制御システムを確立している。

レゾルバはメカ本体に光学部品や電子部品を必要としないため、自動車や航空機などの信頼性が重視される分野で古くから採用されている位置検出器である。オイルミスト、粉塵、振動などのある劣悪な環境でも高い信頼性を確保することが可能である。

レゾルバによるクローズドループ制御により、ステッピングモータ特有の脱調現象を解消するとともに、安価なステッピングモータを使いながらサーボモータと同等の制御性を達成した。また、モータ1回転あたり20,480パルスの高分解能とすることで、位置決め精度の向上に寄与している。

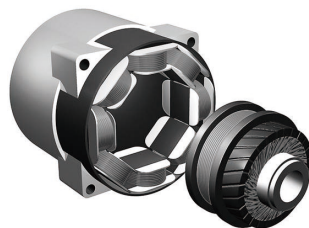


図2 レゾルバ



## 4 高性能かつシンプルなメカ構成で低価格

単軸ロボットは生産現場において主に部品の供給、排出などの搬送用とに使われることが多い。搬送速度、搬送質量、取付け姿勢などは用途により様々であるため、当社では多くのバリエーションをラインナップしている。その中で「TRANSERVO」のメカは軽可搬、低価格の領域をカバーし、価格以上の価値を提供する商品として開発を行った。

以下に「TRANSERVO」の構成要素における特徴をのべる。

### ①リニアガイド

リニアガイドは高剛性モジュールガイドを「TRANSERVO」専用に新規開発した。

上位機種で採用されている4列サーキュラー溝式2点接触方式(図3)をとりながら、専用設計とすることでロボット本体をコンパクトにできた。大きなモーメント負荷がかかる場合や、ロボット取り付け面の精度が悪い場合でも良好な動作が可能であるとともに、構造上ガイドボールの差動すべりが少ないため、動作不良や異常磨耗をおこしにくく高い信頼性を実現した。

### ②ステッピングモータ

ステッピングモータは専用コントローラ「TS-S」に最適な巻き線仕様とすることで、出力特性を向上させ高性能化を図った。モータの脱着はロボット本体上部から行うことができる構造としており、万一、ロボットの周辺に作業スペースが無くても交換が可能である。

### ③ステンレスシャッタ

全機種ステンレスシャッタを標準装備し、駆動系への異物侵入を防ぐことで設備稼働中の事故の防止を図った。あわせて、疲労強度の極めて高い焼入れ鋼を採用することで長寿命化を実現した。

### ④ロボットケーブル

ロボットケーブルは耐屈曲ケーブルを標準採用。これにより可動軸先端での使用が可能となり設備レイアウトの自由度が広がった。

一方で、部品の内製比率を上げるとともに、機能部品のほとんどをダイキャスト化することでコストを引き下げた。また、外観部品と機能部品を統一することで、部品点数を削減した。部品コストの低減に加え組み立て性を向上させることで、トータルコストの削減を図った。

図4にメカ構造図、表1にメカ主要諸元を示す。

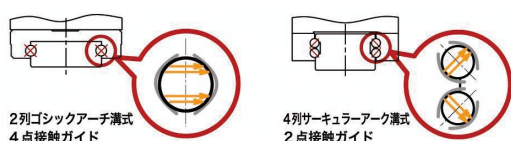


図3 モジュールガイド

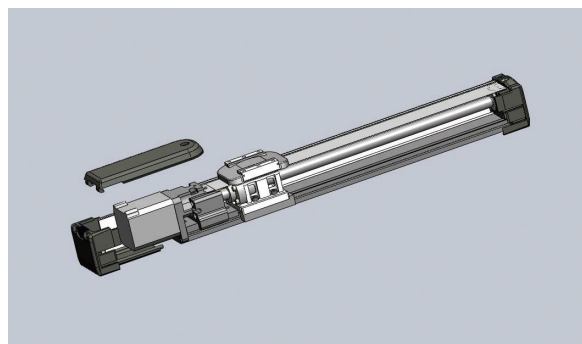


図4 メカ構造図

表 1 トランサーボ主要諸元

型 式		SS04/SSC04			SS05/SSC05			SS05H/SSC05H		
モーター		42 □ステップモーター								
操返位置決め精度 (mm)		± 0.02								
減速機構		ボールネジφ 8			ボールネジφ 12					
ボールネジリード (mm)		12	6	2	20	12	6	20	12	6
最高速度 (mm/s)	水平	600	300	100	1000	600	300	1000	600	300
	垂直	600	300	100	-	600	300	-	500	250
最大可搬質量 (kg)	水平	2	4	6	4	6	10	6	8	12
	垂直	1	2	4	-	1	2	-	2	4
最大押付力 (N)		45	90	150	27	45	90	36	60	120
ストローク (mm)		50 ～ 400			50 ～ 800			50 ～ 800		
クリーン度		CLASS10 対応 (0.1 μ m ベース。クリーン仕様のみ)								

## 5 新開発の専用コントローラ「TS-S」

「TS-S」は、これまでのロボット言語によるプログラム動作から、上位機器(PLCなど)よりあらかじめ登録されたポイントを指定しスタート信号を入力するだけで動作する、ポイントトレース機能に特化した「TRANSERVO」専用コントローラとして開発された。

以下に、操作性向上と多彩な制御を実現した「TS-S」の機能・特徴をのべる。

- ①ポイント番号を指定して指定座標への移動、現在位置からの相対移動
- ②一定の力で押し付ける押し付け運転
- ③ポイントごとに速度・加速度などが設定可能
- ④移動中に指定範囲でのゾーン出力や到着近傍での出力が可能
- ⑤モニタ機能が充実
- ⑥各種フィールドネットワークに対応し、パラレル入出力、CC-Lin k、DeviceNetなど選択可能

図 5 に代表的な運転パターン、表 2 にコントローラ主要諸元を示す。

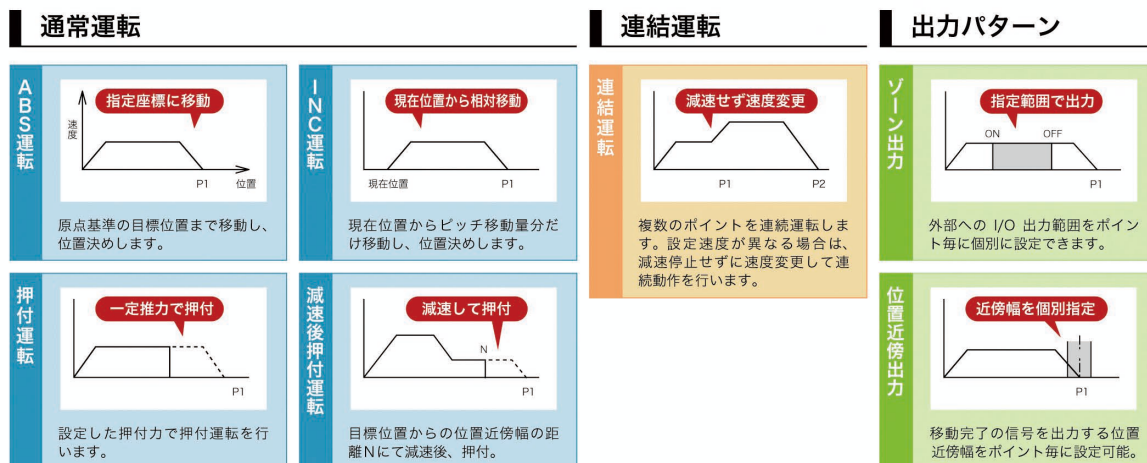


図5 運転パターン

表2 コントローラ主要諸元

型 式	TS-S
制御軸数	1 軸
制御対象ロボット	TRANSERVO
外形寸法	W30 × H162 × D82 mm
本体重量	約 200 g
入力電源電圧	DC24V ± 10%
電源容量	70VA
分解能	20,480 / パルス / rev
制御方式	クローズドループ ベクトル制御方式
ポイント	255 点
エラー履歴	50 個
使用温度/保存温度	0 ～ 40 ℃ / -10 ～ 65 ℃

## 6 機能充実の専用サポートソフト「TS-Manager」

「TS-Manager」は、ポイントデータの編集やバックアップなど基本的な機能はもちろん、システムのデバッグ、解析を効率よく進める為の便利機能を多数搭載し、セットアップからメンテナンスまで、あらゆる場面で使い易さを追求し開発された。パソコンへの接続は、専用ケーブルにてシリアルポートまたはUSBポートに接続される。

以下に、「TS-Manager」の機能をのべる。

### ①基本機能

位置情報、動作パターン、速度、加速度などの、ポイントごとの詳細設定及びロボットパラメータの設定・編集・バックアップや、ジョグ移動、インチングなどの基本操作が行なえる。データは見やすい表形式とし、Excel※などの表計算ソフトとのやり取りも簡単である。（図6）

※Excelは米国Microsoft Corporationの米国及びその他の国における登録商標です。

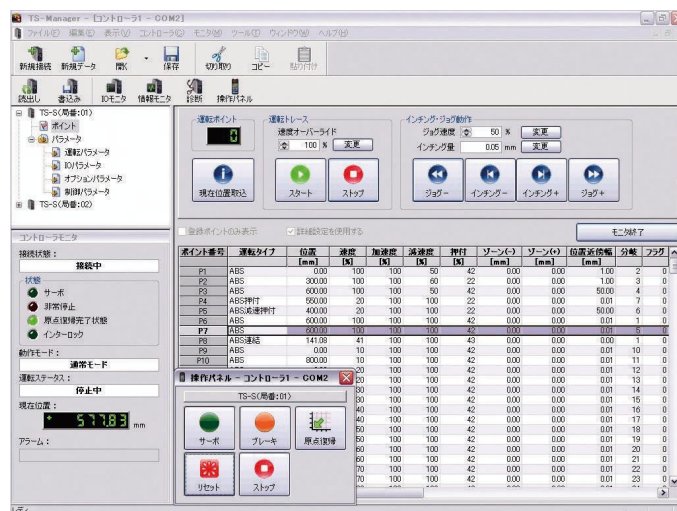


図6 基本機能

## ②リアルタイムトレース

現在位置、速度、負荷率、電流値、電圧値、内部温度などをリアルタイムにトレースできる。また、トリガ条件を設定し、条件成立時におけるデータの自動取得も可能である。さらに、モニタ結果から範囲を指定して最大値、最小値、平均値などを演算することができる。あたかも、オシロスコープを接続しているかのように各種波形を観測可能で、動作のセッティングや万一のトラブル時の解析に威力を発揮する。（図7）

## ③各種モニタ機能と詳細なエラー履歴

ロボットの運転状態（動作モードやサーボ状態など）、I / O 状態のモニタリングが行える（図8）。エラー履歴は最新の50件を記録し、発生時のキャリヤ位置・速度、運転状態、電流値、電圧値、I / O 状態などや、総稼働時間、総走行距離などを知ることが可能で、状況の解析に大きく貢献する。

## ④動作シミュレーション

動作条件やポイントデータを入力することで、動作に必要な時間のシミュレーションが行え、実機を使用せずに購入前の機種選定から速度、加速度の設定などをシミュレートし、詳細結果をグラフ表示することが可能である。（図9）

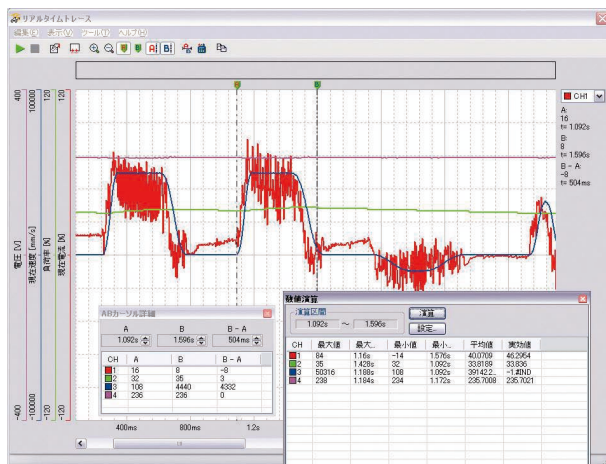


図7 リアルタイムトレース

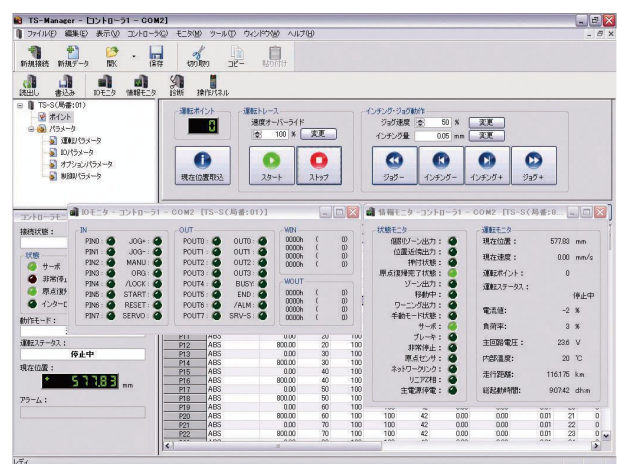


図8 各種モニタ機能

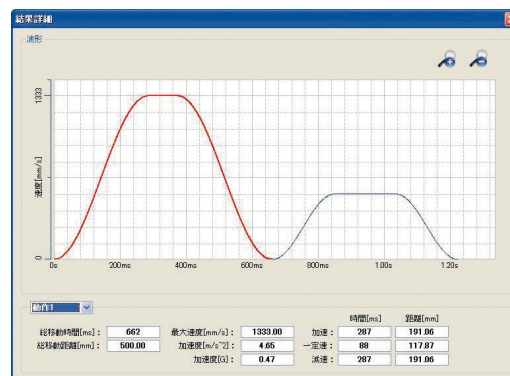


図9 動作シミュレーション



## 7

## グラフィックLCD採用の専用ハンディターミナル「HT1」

生産現場においてはオペレーターが、位置調整などのティーチング作業をハンディターミナルにて行う事が多い。「HT1」(図10)は、表現力豊かなLCDでオペレーターを誘導し、少ないキー操作で簡単に扱えるように開発されたハンディターミナルである。

以下に「HT1」の特徴をのべる。

- ①バックライト付き32階調グラフィックLCDの採用により、暗い工場内でも良好な視認性
- ②最小限のシートキーとわかりやすいメニュー階層による直感的な操作性
- ③安全に配慮した3ポジションイネーブルスイッチ付き「HT1-D」も用意



図10 ハンディターミナルHT1

## 8

## 上位機種用コントローラ「TS-X/TS-P」

「TRANSERVO」専用「TS-S」に加え、従来のACサーボモータに対応し、ボールネジタイプの単軸ロボット用として「TS-X」を、リニアタイプの単軸ロボット用として「TS-P」を同時に開発した(図11)。ヤマハ単軸ロボット全機種において、「TRANSERVO」と共用のマン・マシン・インターフェイスにて同様の使い勝手を可能とした。またオプションにて、コントローラ本体と一体式の液晶表示器「LCDモニタ」(図12)を装着することで、ハンディターミナルなしで各種状態を確認することが可能である。



図11 TSX\_TSP



図12 LCDモニタ



## 9 おわりに

長い景気低迷によりユーザーは産業用設備に多額の投資をすることに慎重になりやすい。こうした中、ただ安いというだけでなく、機能、信頼性ともに高いレベルの製品にまとめあげたのが、「TRANSERVO」である。多種多様な業界で広く普及しているステッピングモータを産業用ロボットに搭載することで低コスト化を図りつつ、処理ソフトウェアを格段に進化させることで、上位機種に引けをとらない使いやすさを実現した。30年にわたるロボット開発のノウハウを凝縮することで、短い開発期間で信頼性の高い製品とすることができた。TRANSERVOは廉価ではあるものの価値ある製品として位置づけられるよう、今後も進化を続けていきたい。

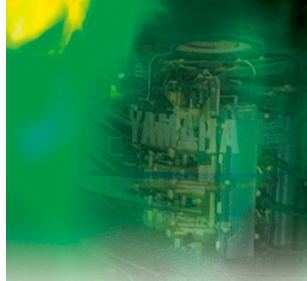
### ■著者



加茂川 良  
Ryo Kamogawa  
IM事業部  
ロボットビジネス部



加々谷 功  
Isao Kagaya  
IM事業部  
ロボットビジネス部



## 製品紹介

# アスタキサンチン含有応用製品 (PURESTAシリーズ) の開発と顧客商品への利用例

Development of the astaxanthin additive Puresta series products  
and customer use examples

鈴木 里英 斎木 朝子 御手洗 篤 杉山 裕之

### Abstract

In October of 2006, Yamaha Motor Co., Ltd. launched its “Puresta Oil,” a product taking astaxanthin derived from the pigment of the microalgae *Haematococcus* as its main ingredient\*, which has been well received on the market. Astaxanthin is a reddish pigment found in large quantities in shrimp, crab, salmon and salmon roe and is a carotenoid like the  $\beta$ -carotene found in carrots and the lycopene in tomatoes. In recent years it has been recognized as a strong antioxidant<sup>\*1, \*2</sup> and its performance as a functional additive<sup>\*3, \*4</sup> in the health food, cosmetics and sports markets, where its potential as an ingredient for food supplement, drinks and cosmetics has been the focus of considerable attention.

As astaxanthin products, Yamaha Motor has marketed its own brand of supplement named “ASTIVO” and a food ingredient named “Puresta Oil” for health-food, drink and food makers. In recent years there has been a growing desire among consumers to enjoy foods that have functional ingredients, and as seen in the recent “tokuho” (foods for specified health use) products, there are now an increasing number of products that are clearly foods for daily consumption but also contain functional ingredients. However, the fact that our “Puresta Oil” containing a diluted solution made of astaxanthin derived from *Haematococcus* is an oil paste (not soluble in water) and the fact that astaxanthin is easily broken down by oxygen, light and heat, as a product astaxanthin has primarily been sold as soft capsule type supplement.

Here we introduce the new “Puresta series” products we have developed to supplement our “Puresta Oil” in order to make astaxanthin available for a larger range of products.

\* Yamaha Motor’s astaxanthin business originated from environmental research into a way to reduce CO<sub>2</sub> in the atmosphere through a bioengineering approach by developing a technology enabling large-scale cultivation of photosynthetic algae. Through this research, Yamaha Motor succeeded in developing a technology for producing large quantities of the microalgae *Haematococcus* in a healthy environment in an indoor culture facility (the facility in Fukuroi City, Shizuoka Pref. received JIHFS GMP certification in July 2007) and is now the only comprehensive domestic manufacturer of astaxanthin, producing high-quality products containing a high content of astaxanthin such as no other maker can imitate.

## 1 はじめに

ヤマハ発動機は2006年10月より、アスタキサンチン原料(注1)としてヘマトコッカス藻色素製剤「PURESTA OIL(ピュアスタオイル)」の販売を開始し、好評を博している。アスタキサンチンとは、エビ・カニ・鮭・イクラなどに多く含まれる赤色の色素で、にんじんのβ-カロテンやトマトのリコピンと同じカロテノイドの一種である。近年、その強い抗酸化作用<sup>1), 2)</sup>が明らかになり、その機能性<sup>3), 4)</sup>が注目され、健康食品、美容、スポーツ市場等で、サプリメント、飲料、化粧品等の原料として幅広い分野で利用可能な機能成分である。

当社では、自社工場の原料から抽出したアスタキサンチンを含有する自社ブランドのサプリメント「ASTIVO(アスティボ)」を販売するとともに、食品原料として「ピュアスタオイル」を健康食品、飲料、食品メーカーなどに販売している。(図1)

近年では、食を楽しみながら機能成分を摂取したいという消費者の意識の高まりから、種々の特定保健用食品(通称:トクホ)にも見られるように、普段の生活の中で食べる食品へ機能成分を配合した商品が増えている。しかしながら、ヘマトコッカス藻から抽出したアスタキサンチンオイルを希釈した「ピュアスタオイル」は、油溶性(水に溶けない)のペースト状であること、アスタキサンチンが酸素、光、熱などに分解しやすい性質をもつことから、商品形態としてソフトカプセル型の栄養補助食品が主流となっていた。

今回はアスタキサンチンを更に幅広い商品に利用していただくため、「ピュアスタオイル」に新たな特性を付与した「ピュアスタシリーズ」製品を紹介する。

### (注1)

当社のアスタキサンチン事業は、環境問題である二酸化炭素低減を生物工学的にアプローチした光合成藻類の大量培養技術に端を発する。当社では独自のテクノロジーで、ヘマトコッカス藻を衛生的環境下で室内大量培養生産(静岡県袋井市の生産工場は2007年7月にJIHFS GMP取得)に成功し、他社の追随を許さない高アスタキサンチン含有量かつ高品質の製品を、国内で唯一一貫生産している。(2009年9月現在)

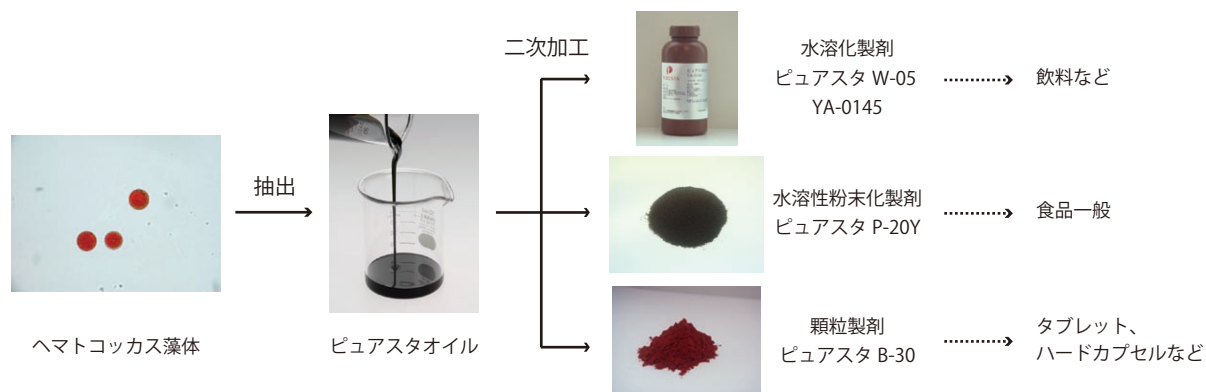


図1 抽出→加工・製剤→販売までの流れ

## 2 開発のねらい

アスタキサンチンを広く一般の食品・飲料用途にも使用していただけるように、以下の3点の特性を付与することを目標に新たな製剤の開発を行なった。

1. アスタキサンチン原料として最高水準の風味特性(くせのない風味)
2. 食品形態を選ばない加工適性(水溶性、打錠、ユーザビリティ)
3. 従来品を凌駕する品質安定性(熱、酸素、光等によるアスタキサンチンの分解を抑制)

上記のような新たな特性を付与するため、ピュアスタオイルに水溶化(すなわち乳化)、粉末化、顆粒化といった二次加工を施すことにより、新たに3種類の製剤を開発した。各製品の規格を表1に示す。

表1 各製剤の製品規格一覧

規格項目		水溶化製剤 ピュアスタ W-05 YA-0145	水溶性粉末化製剤 ピュアスタ P-20Y	顆粒化製剤 ピュアスタ B-30
有効成分	アスタキサンチン含量 (フリー体換算)	0.5%以上	2.0%以上	3.0%以上
官能	外観・性状	暗赤色の粘稠な液体	だいたい～暗赤褐色の粉末	暗赤～暗赤褐色の顆粒
	風味	わずかに特有な臭いを有する	わずかに特有な臭いを有する	わずかに特有な臭いを有する
物性	乾燥減量 (水分)		5%以下	5%以下
	粒度			1000 $\mu$ m 全通 500 ~ 1500 $\mu$ m 90% 以上
微生物	一般生菌数	300cfu/g 以下	3000cfu/g 以下	3000cfu/g 以下
	大腸菌群	陰性	陰性	陰性
	カビ・酵母	100cfu/g 以下		
有害物質	重金属 (Pb として)	10 ppm 以下	20 ppm 以下	20 ppm 以下
	ヒ素 (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> として)	1.0 ppm 以下	2.0 ppm 以下	2.0 ppm 以下

## 3 製品の紹介

### 3.1 水溶化製剤 ピュアスタ W-05 YA-0145

本製品は飲料をはじめとする水系の食品に配合できるように加工した製品である。特長として①風味の良さ、②飲料などに配合した際に透明に分散し外観を損なわない、という点がお客様に高く評価されている。昨年秋の発売開始から飲料を中心にお客様の商品に採用されており、非常に好評を博している。

#### ①良好な風味ー独自開発の風味改善技術

既存のアスタキサンチン製剤は、原料である藻に由来する磯の香りのような独特の臭いがあった。特に製造における高温での加熱殺菌処理や、製造後の長期保存により、この独特の風味が目立ちやすくな

ることから、風味が重視される食品や飲料への配合は敬遠されてきた。当社では独自の画期的な風味改善技術を開発し、独特の臭いの元となる成分を除去することが可能となり、他社の追随を許さない、無味無臭に近いアスタキサンチン原料の製品化を実現した。

その結果、アスタキサンチンが最終商品の味やにおいに影響することはほとんど無くなり、お客様が思い通りのフレーバーの商品設計が可能となり、アスタキサンチンを配合できる商品の幅が広がった。加えて、この技術開発により加工時の高温処理や飲料調製後の保存による経時的な風味の変質も抑えることが出来るようになった。

## ②水に透明に分散－優れた乳化分散技術

アスタキサンチンは油溶性のため、そのままでは飲料等の水系の加工食品には利用できない。そのため乳化とよばれる水と油が均一に交じり合うようにするための加工を施すが、多くの清涼飲料は酸性(低pH域)であり、酸性条件下では乳化は非常に不安定になる。そのため飲料製造における高温での加熱殺菌やその後の保存期間の間に、乳化が壊れて濁りや油の分離が生じたり、アスタキサンチンが分解して飲料の色が褪色しやすいといった技術的課題があった。

そこでわれわれは独自の乳化加工技術を協業先と共同開発し、アスタキサンチンが水に透明に分散し、酸性条件、高温加熱、長期保存に対し安定性に非常に優れた水溶化製剤を開発することに成功した(図2)。これにより商品の製造後、長期間保存しても色調を保ちつつ、透明に分散を維持するアスタキサンチン製剤の供給が可能となった。



図2 透明度の比較

左：精製水（対照）

右：ピュアスタ W-05 YA-0145 の水分散液

## 3.2 水溶性粉末化製剤 ピュアスタP-20Y

本製品はアスタキサンチンを食品全般に利用できるようにするために開発した製品である。本製剤の大きな特徴は、流通から最終利用まで粉末(固体)の状態での取り扱いができること及び冷水にも容易に溶かして利用できることである。開発にあたっては取り扱いやすさを左右する、品質安定性とユーザビリティの2点に注目した。

### ①品質安定性

高い品質(アスタキサンチン含有量・風味)を安定して保つことを目指して酸化抑制に特に注力した。粉末化製剤は形状が細かい粉末であることから外気に触れる面積が相対的に大きく、酸化が起きやす



い。酸化が進むと油分の劣化臭発生が促進されてしまうため、製品全体の品質が低下してしまう。このため処方決定に当たって、酸化抑制に有効である抗酸化剤(ビタミン類など)を配合することとし、種類・配合量・組合せを細かく検討して酸化の抑制に最適な処方を決定した。さらに製剤そのものだけでなく、製品の包装材や包装方法の選定についても広く注意を払い、酸化を大幅に抑制することができた。

## ②ユーザビリティ

前述のビタミン類など抗酸化剤は、種類や用量によっては出来上がる粉末の水溶性や流動性を下げる場合もあるため、抗酸化剤を選定する際は水溶性やユーザビリティも並行して評価し、最適なものを選定した。物性の高い材料の選定や粒子の成分条件の調整により、利用時に取り扱いやすく、かつお湯だけでなく冷水にもよくなじんで溶かしやすい粉末にすることができた(図3)。

こうした性質から本製品は機能性粉末ジュース・スープなどの商品を始めとして、焼き菓子やゼリー、グミ、パン、麺の練りこみ、ガム、飴、ふりかけ、などあらゆる商品形態の一般食品まで幅広く利用できる。

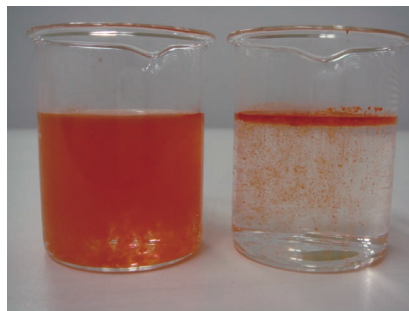


図3 水溶性の比較

左：ピュアスタ P-20Y 右：比較対照品

## 3.3 顆粒化製剤 ピュアスタB-30

本製品は錠剤やハードカプセルといった剤形のサプリメントへ容易に配合できるように開発した製品である。サプリメントでは複数の機能性素材を配合することで、商品性の向上を図る例や各素材の機能の相乗効果を訴求する例が多く見られる。また、その形態としてはソフトカプセルやハードカプセル、タブレット、糖衣錠など様々なものが挙げられる。顆粒状に加工することにより、ピュアスタオイルでは不可能であった粉末状の素材とアスタキサンチンを複合配合したハードカプセルやタブレット、糖衣錠といった商品設計が可能となった。

更に本製品は特殊な顆粒化技術を採用しているため、通常の顆粒品と比較して以下の2つの優れた特徴を有しており、お客様から非常に高い評価を得ている。

### ①高い打錠適性

本製品は体内では容易に溶解するにもかかわらず、十分な硬度を有している。このためタブレットなどに加工する際、高い打錠圧がかかっても、油状成分が染み出し商品の外観を悪くするリスクが少ない。

### ②高い品質安定性

本製品は表面積が小さいため、分解されやすいアスタキサンチンに対する外部からの悪影響が少ない。このため過酷な環境やアスタキサンチンの分解を促進する物質との複合配合条件に曝されても長期

間アスタキサンチンが保持される。

4

おわりに

このように、当社ではピュアスタオイルに様々な二次加工を施すことにより、水溶化等の新たな特性を付与した製品の開発を行ってきた。これにより、当社アスタキサンチン原料は一般食品や飲料、タブレットなど幅広い商品に採用され、高品質なアスタキサンチンを皆様にお届けしている。今後も更に優れた技術開発力を背景にアプリケーションの幅を広げ、より多くのみなさまの健康な生活に貢献しつつしていきたい。

■ ピュアスタ製品が採用された商品例のご紹介



「ピュアホワイト EX」  
左：タブレット 右：ドリンク  
(株) 資生堂様



「アスタキサンチンパワー」  
日本ミルクコミュニティ (株) 様



「アスタ in コラーゲン」  
ファイテン (株) 様



「明日 (あした) のチカラ」 (明太子)  
(株) ふくや 様



「アスタキサンチン G」  
ファイテン (株) 様



スティックゼリー



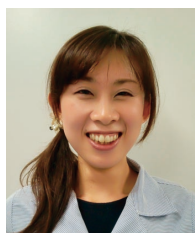
「アスティボ」  
(当社商品)

■ 参考文献

- 1) Paola P, Norman IK (1992) 'Astaxanthin and Canthaxanthin Are Potent Antioxidants in a Membrane Model.' Archives of Biochemistry and Biophysics, 297, 291-295
- 2) Yousry M, Naguib A (2000) 'Antioxidant activities of Astaxanthin and Related Carotenoids.' J Agric Food Chem 48, 1150-1154

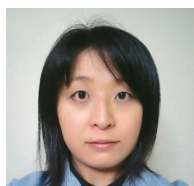
- 3) Hussein, G, Sankawa, U, Goto, H, Matsumoto K, and Watanabe H (2006) 'Astaxanthin, a carotenoid with potential in human health and nutrition.' J. Nat. Prod., 69, 443-449
- 4) Higuera-Ciapara I, Felix-Valenzuela L, Goycoolea FM (2006) 'Astaxanthin: a review of its chemistry and applications.' Crit Rev Food Sci Nutr 46, 185-196

## ■著者



鈴木 里英  
Rie Suzuki

新規事業推進統括部  
新規事業推進部  
ライフサイエンス部



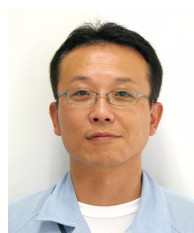
斎木 朝子  
Asako Saiki

新規事業推進統括部  
新規事業推進部  
ライフサイエンス部



御手洗 篤  
Atsushi Mitarai

新規事業推進統括部  
新規事業推進部  
ライフサイエンス部



杉山 裕之  
Hiroyuki Sugiyama

新規事業推進統括部  
新規事業推進部  
ライフサイエンス部



# 2009年型スーパースポーツ YZF-R1

The 2009 Supersport Model YZF-R1

西田 豊士 藤原 英樹 竹田 祐一 渡辺 隆志 山田 一也 鈴木 満宏 赤塚 秀則



図 1 YZF-R1

## Abstract

The YZF-R1 is a 1000cc supersport model providing a high-level balance of powerful performance and light, agile handling. Ever since the release of the original YZF-R1 in 1998, it has been loved by supersport motorcycle fans around the world for the massive power of its 1000cc engine and handling that offers the rider true excitement in riding, primarily on the type of winding roads known as “secondary roads” in Europe.

The ongoing developmental pursuit of the unchanging motorcycling joy of “cornering excitement” has brought evolution over the years, particularly with the dramatic advances in the performance of electronic control devices that help the rider control massive engine power at will.

In 2009, the YZF-R1 was reborn thanks to the direct adoption of the “crossplane crankshaft” technology from Yamaha’s MotoGP race machines. The unprecedented controllability that this new engine type achieves has opened up new horizons in supersport riding excitement. In this paper we report the development project for this model.

## 1 はじめに

「YZF-R1」とはパワフルな走りと、軽快なハンドリングを高次元でバランスさせた1000ccスーパースポーツモデルである。1998年の初代モデル誕生以来、欧州の「セカンダリーロード」と呼ばれるワインディングロードを中心に、1000ccの強大なパワーを意のままに操るエキサイトメントを提供するモーターサイクルとして、世界中のスーパースポーツファンから愛され続けてきた。

変わらない価値として追求されてきた「コーナリングのエキサイトメント」は、時とともにその姿を変え、圧倒的なハイパワーを意のままに操る電子制御デバイスの登場を見ることで、飛躍的にそのコントロール性能を高めてきた。



2009年、スーパースポーツのエキサイトメントの新たな扉を開けるために、モトGP直系のテクノロジーであるクロスプレーン型クランクシャフトを採用し、従来の常識を打ち破るコントロール性を身につけてYZF-R1は生まれ変わった。

## 2 開発のねらい

ライダーがスロットルを操作し、それに反応したエンジンがエネルギーを生み出す「究極のコーナリングマシン」を目指した。エンジン開発の狙いは「未体験のトラクション感と正確なコントロール性の実現」。2輪レースの最高峰であるモトGPで戦うYZR-M1と同じく、クロスプレーン型クランクシャフト(図2)を採用した不等間隔爆発エンジンを搭載した。



図2. クロスプレーン型クランクシャフト

車体開発の狙いは、その新型エンジンから生み出される強力な駆動力を無駄なく路面に伝えることと、それを活かすために旋回進入で素早く向きを変えるハンドリング性能を備えることであった。さらにスタイリングデザインは、従来の前後に統一された流麗さとは一線を画し、明らかな2面性を持つコンセプトで制作が進められた。

## 3 エンジン

### 3.1 「ノイズ」の除去

コーナリング性能に関わる項目として、エンジンのコントロール性がある。特に高出力である大排気量モーターサイクルではこれが重要になる。「エンジンのコントロール性」とは「駆動力のコントロールしやすさ」を意味する。そのため駆動力の根源であるトルクに着目した。

エンジンが発生するトルクには、燃焼によって発生するガス圧トルクと、ピストンの往復運動に由来する慣性トルクがある。ライダーはこの2つを合成したトルクを感じとる。ガス圧トルクはスロットル操作によってコントロールできるが、慣性トルクはエンジン回転速度に依存して発生するため、ライダーはコントロールできない。

図3 左に従来のシングルプレーン型クランクシャフトを採用した並列4気筒エンジンのクランク軸上のトルク変動を示す。運転条件は12,500rpmスロットル全開である。ガス圧トルクが最も高い全開領域においても、慣性トルクがガス圧トルクよりも大きい。特にコーナリング中の微小スロットル開度におけるガ



ス圧トルクは小さいため、それを根源とする駆動力をライダーが感じることはほぼ不可能である。つまり慣性トルクは駆動力のコントロールという場面では「ノイズ」ともいえる。

一方、クロスプレーン型クランクシャフトを採用した並列4気筒エンジンでは、不等間隔爆発により慣性トルクがほとんど除去されるため、同条件においてガス圧トルクと合成トルクがほぼイコールとなる(図3右)。このためライダーは微妙なスロットル操作でも駆動力をダイレクトに感じる。これがクロスプレーン型クランクシャフトを採用したメリットである。

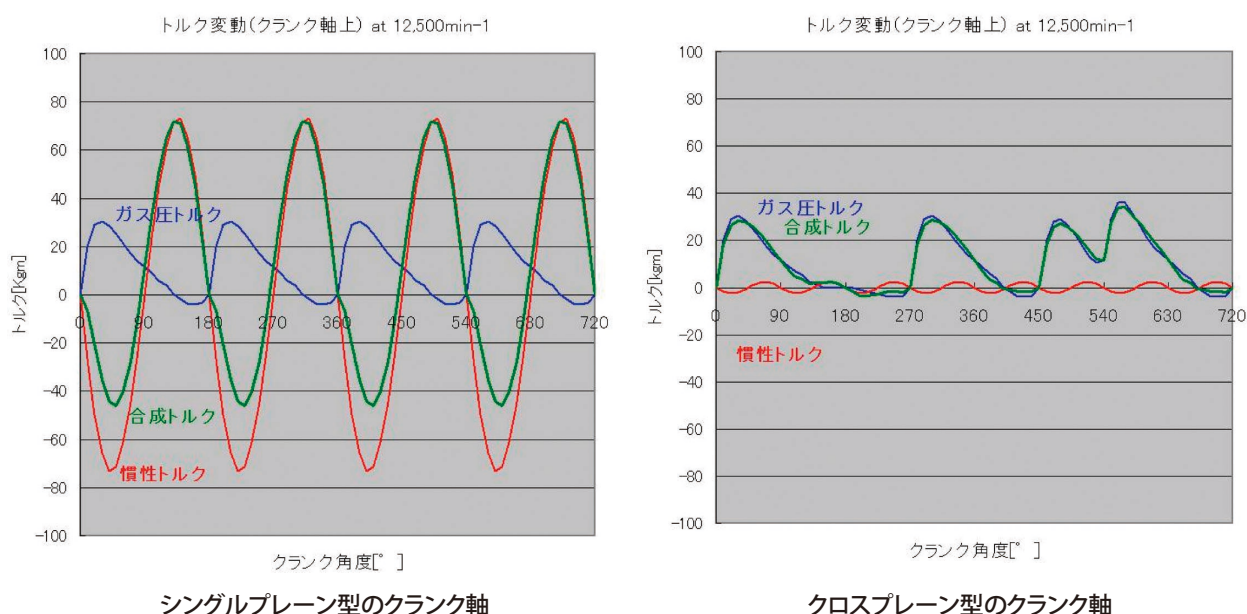


図3 クランク軸上のトルク変動

## 3.2 主要諸元

表1にエンジンの主要諸元を示す。レースユースでの高回転化を配慮し、ボアはレギュレーションを満たす最大径であるΦ78mmとした。

表1 エンジン主要諸元

モ デ ル	2008 YZF-R1	2009 YZF-R1
シ リ ン ダ 配 置	In-Line 4cyl.	In-Line 4cyl.
ク ラ ン ク シ ャ フ ト 形 態	シングルプレーン型	クロスプレーン型
ボ ア × ス ト ロ ー ク (mm)	77.0 × 53.6	78.0 × 52.2
総 排 気 量 ( c m <sup>3</sup> )	998	998
圧 縮 比	12.7	12.7
バ ル ブ 配 置	DOHC 4V	DOHC 4V
Max.Power / Ne(kw/min-1)	132.4 / 12,500	133.9 / 12,500
Max.Torque / Ne(N・m/min-1)	112.7 / 10,000	115.5 / 10,000

### 3.3 エンジン性能

図4にエンジン性能曲線を示す。最高出力は133.9kW(クランク軸)で、2008年モデルに比べて8,000rpm以上の回転域で性能向上している。

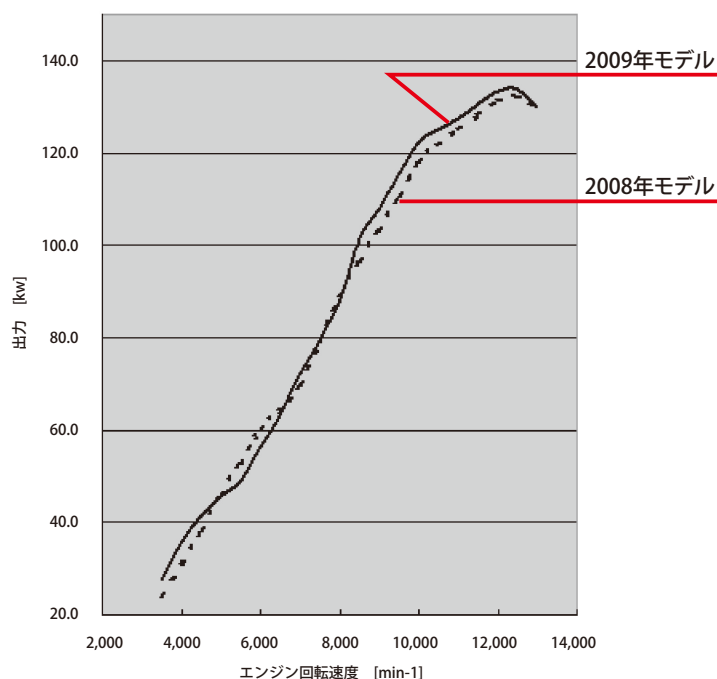


図4. エンジン性能曲線

### 3.4 クロスプレーン型クランクシャフト

2009年モデルに搭載するクロスプレーン型クランクシャフト採用の並列4気筒エンジンは、爆発間隔が $270^{\circ}-180^{\circ}-90^{\circ}-180^{\circ}$ の不等間隔爆発となる(図5)。クロスプレーン型クランクシャフトは大端ピンのレイアウトが従来の $180^{\circ}$ 位相ではなく $90^{\circ}$ 位相である。大端ピンが $90^{\circ}$ 位相レイアウトのクランクシャフトの量産は並列2気筒エンジンで過去に経験があるが、並列4気筒エンジンでは当社初の試みである。

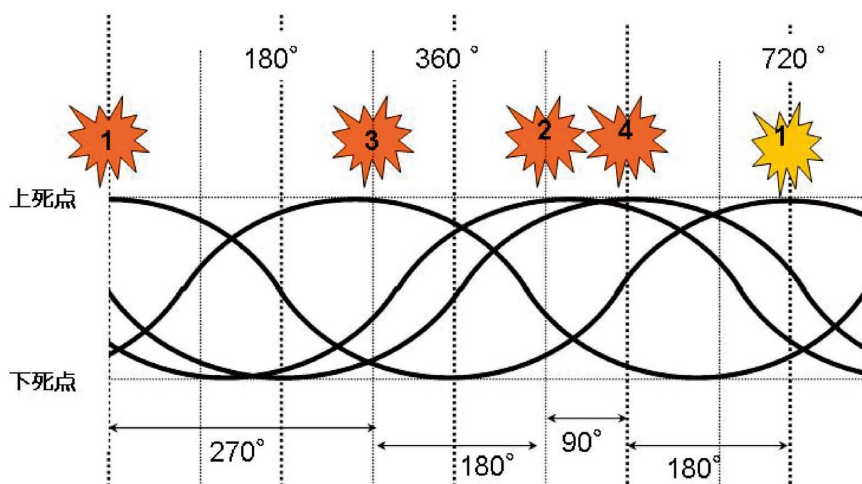


図5. クロスプレーン型クランクシャフトによる爆発間隔

### 3.5 ヤマハD-MODE付YCC-T

2009年モデルでは2007年モデルから採用しているYCC-T(Yamaha Chip Controlled Throttle ヤマハ電子制御スロットル)の制御仕様を見直すことで過渡の応答性をさらに高めた。また手元のスイッチにより、STD, A, Bの三つの走行モードを切り替えるシステム「ヤマハ D-MODE」を採用した。「ヤマハ D-MODE」はアクセル開度に対するバタフライバルブの開度特性を、YCC-Tによって微小開度から変化させることにより、ライダーの技量や好み、また走行の状況に応じて、最適の走行モードをライダーが選択できるシステムである(図6)。

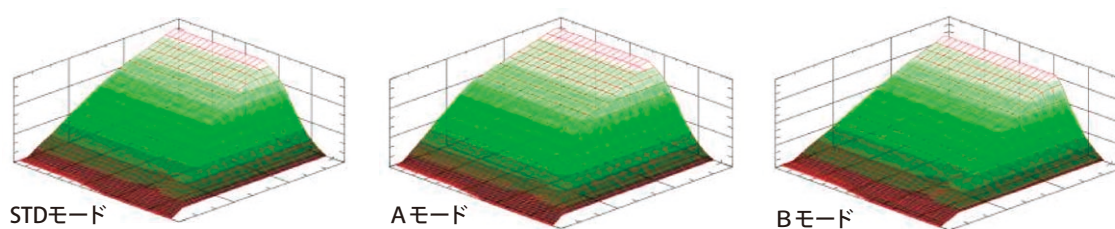


図 6. ヤマハ D-MODE のスロットル開度特性

### 3.6 セカンダリインジェクタ付YCC-I

2007年モデルから採用したYCC-I(Yamaha Chip Controlled Intake ヤマハ電子制御インテーク)を2009年モデルでも採用し、ピーク出力と中低速域性能の両立を実現した。加えて、空気冷却による充填効率向上のためエアクリーナボックス内の吸気ファンネル上方にセカンダリインジェクタを追加した(図7)。上流インジェクタは5,000rpmから作動し、スロットル開度とエンジン回転速度によりメインインジェクタとの噴射割合を制御する。



図 7. セカンダリインジェクタ付 YCC-I

## 4 車体

### 4.1 駆動力を受け止める車体

トルク変動の「ノイズ」が消え、ライダーがより積極的に駆動力をかけることが出来るようになると、様々なシーンでより大きな負荷が車体にかかることになる。車体には、旋回中、車体が深く傾いた状態からスロットルを大きく開けていくようなシーンで発生する路面からの駆動反力をしなやかに逃がしながらも、コーナー進入では強力なブレーキングに耐える剛性感と、クイックに応答するハンドリング性能が求められる。新しいエンジンのベネフィットを最大に活かすためにも新たな視点で車体設計を行なう必要があった。

### 4.2 基本レイアウト

YZF-R1の基本であるショートホイールベース、ロングリアアームのレイアウトを踏襲しながら、よりクイックな旋回性能を実現するため、2008年モデルと比べエンジンの前傾角を $9^{\circ}$ 立て、かつドライブ軸基準で12mm前方に移動することで、前輪分布荷重を52.4%まで高めた(図8)。さらにコーナリングにおけるライダーの自由度を高めるために、ライダーとハンドルの間隔を20mm短縮した。燃料タンクを縦長に配置することにより、容量の確保と同時に燃料残量に操安性が左右されにくいマスの集中を図った。

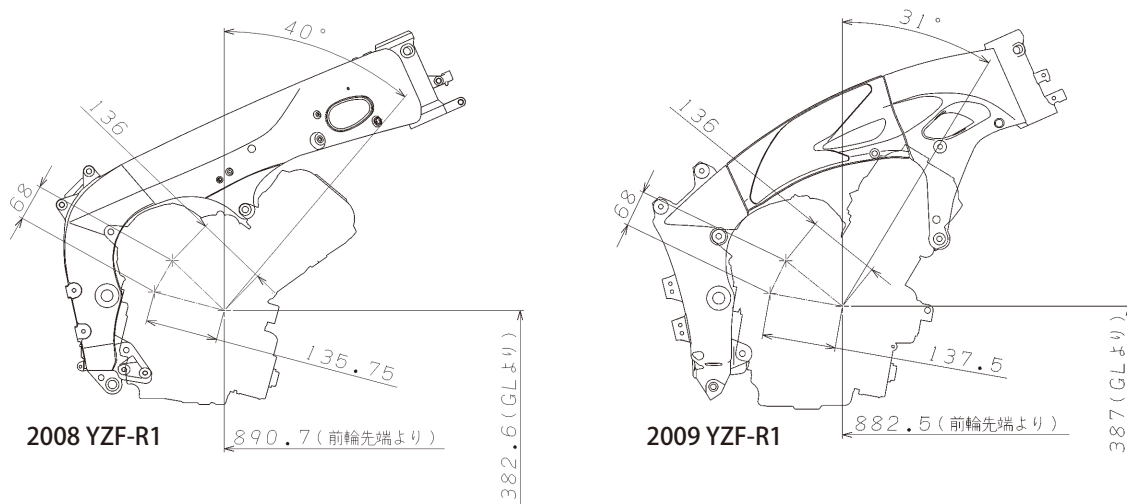


図8 エンジン搭載レイアウト

### 4.3 独自製法による骨格剛性の最適化

新設計のフレームは剛性バランスも大きく変更した(図9)。安定性の確保と、クイックなハンドリングを実現するために、縦剛性とねじり剛性をやや高め、横剛性をおよそ40%ダウンさせた。これにより旋回立ち上がり時にクロスプレーン型クランクシャフトによって生み出される強大なトラクションによる路面反力などの外乱を、しなやかに吸収する操安性を実現している。この剛性バランスを実現するために独自の鋳造技術であるCFダイキャスト製法による構造部材を溶接用構造材としてタンクレールに採用した。



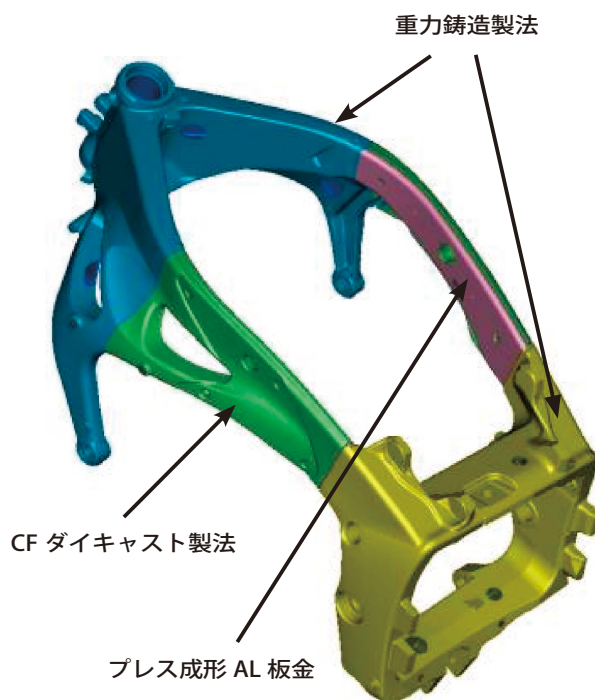


図 9 新設計の独自製法によるメインフレーム

#### 4.4 サスペンション

優れた路面追従性と高いアジャスタビリティを実現するために新設計のサスペンションを採用した。フロントフォークは左右で伸圧独立した減衰力を発生する大径ピストンのフォーク(図10)とした。単純化されたオイルの流れと差圧の少ない大径ピストンにより減衰力発生の応答性を向上させ、高い路面追従性を実現した。リアクッションは、新型エンジンの強大なトルクをしっかりと受け止めるためにリンク構造とレシオを見直し、2WAY圧側減衰力調整機構や油圧式プリロード調整機構を備えることで、ライダーの好みに合わせた高いアジャスタビリティを実現した。

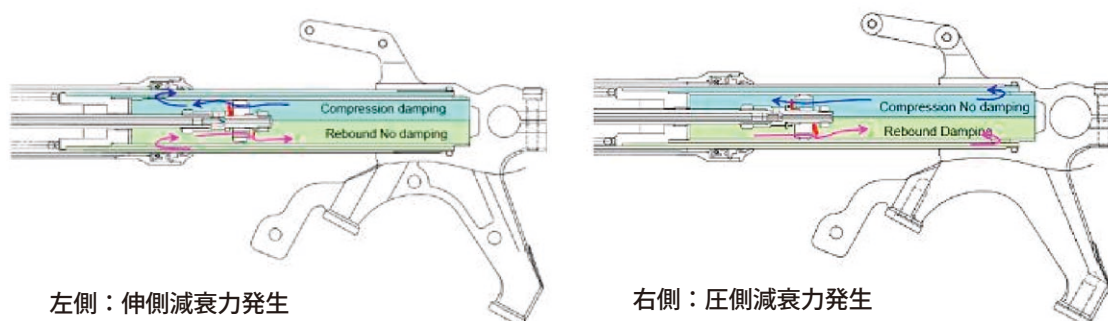


図 10. 左右独立減衰力発生型フロントフォーク



## 5 デザイン

### 5.1 内なる力の視覚化

デザインのキーワードは『内なる力の視覚化』。エアインテークダクトの奥に内蔵されたプロジェクターヘッドライト(図11)や、クリーンなサーフェスを持つミドルカウルの内側に新設されたインナーカウル(図12)が、内なる流れを視覚化し、2009年モデルが内に秘めたパフォーマンスを表現している。

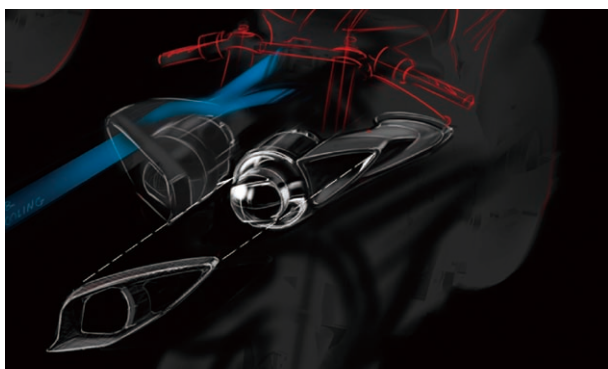


図 11 HiLo 切替式プロジェクターヘッドライト



図 12 インナーカウル内蔵ミドルカウル

### 5.2 トラクション性能の視覚化

センターからリアセクションにかけては、エンジンが発するトルクによってテールが路面に押さえつけられるような造形を意識し、不等間隔爆発による図太い排気音を想起させる短いサイレンサーを装着している。また、フレームやミドルカウル上側のラインなどが全てリアアクスルに集約するデザインの流れ(図13)は、強大なトラクションがそのまま推進力につながっていることを表現している。



図 13 リアアクスルに集約するパワーライン

## 6 おわりに

従来の延長線上にないモデルを開発するために選ばれたクロスプレーン型クランクシャフトを中心に、完全に生まれ変わった2009年モデルは、様々な新技術を高次元でバランスさせることで、新しい価値を提供できるモデルとして仕上げる事ができた。国内外で開催されたプレスによる試乗会でも高い



## 製品紹介

## 2009 年型スーパースポーツ YZF-R1

The 2009 Supersport Model YZF-R1

評価を獲得した。

世界中のお客様に、この他にはない価値を体感して頂けると確信すると共に、開発・製造に尽力頂いた全ての関係者の方々に深く感謝する。

### ■著者

西田 豊士 Toyoshi Nishida

MC 事業本部技術統括部第 2 ボディ設計部

藤原 英樹 Hideki Fujiwara

MC 事業本部技術統括部エンジン設計部

竹田 祐一 Yuichi Takeda

MC 事業本部技術統括部第 2 ボディ設計部

渡辺 隆志 Takashi Watanabe

MC 事業本部技術統括部コンポーネント開発部

山田 一也 Kazuya Yamada

MC 事業本部技術統括部商品実験部

鈴木 満宏 Mitsuhiro Suzuki

MC 事業本部技術統括部商品実験部

赤塚 秀則 Hidenori Akatsuka

MC 事業本部技術統括部コンポーネント開発部



# スノーモビル FXNytro M-TX SE

The Snowmobile Model FXNytro M-TX SE

今村高志 松土真一



図 1 FXNytro M-TX SE

## Abstract

In 2008, Yamaha Motor Co., Ltd. released the 4-stroke “rough-trail” model FXNytro R-TX and the FXNytro M-TX “mountain” model with excellent response from the market.

Of these, the mountain model designed to provide optimum performance in hilly or mountainous areas with a constant snow cover has continued to sell with growing demand in recent years, due in part to a specialization of its specification for hill-climb use. To further answer the needs of this market trend, we developed the new model FXNytro M-TX SE that we introduce in this report.

## 1 はじめに

ヤマハ発動機は2008年、4ストローク ラフ・トレイルモデルとしてFXNytro R-TX、およびマウンテンモデルとしてFXNytro M-TX等を発売し好評を得ている。

この中、市場では恒常的に降雪、積雪のある山岳部で使われるマウンテンモデルは、近年その販売台数が伸びており、その仕様もヒルクライム(山登り)に特化するようにスペシャライズされてきている。この市場トレンドに合わせたマシンが望まれ、今回紹介するFXNytro M-TX SEの開発に着手した。

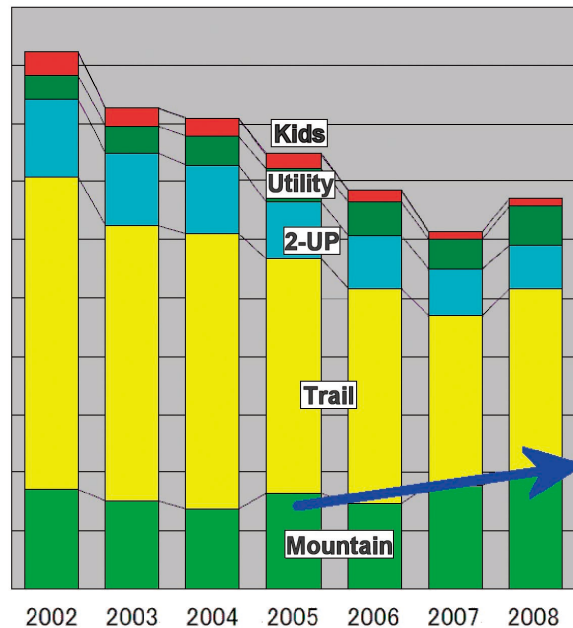


図2. 北米SMB総需要(ISMA)



図3. 登板するFXNytro M-TX SE



図4. 登板するFXNytro M-TX SE

## 2 開発のねらい

スノークロスレースで培った瞬発力のあるエンジンと軽量化を求めたFXNytroの基本コンポーネントはマウンテンモデルの要求に適合する為、流用し、ヒルクライム性能に強く関わるロングトラックベルト及び前後サスペンションを新規開発、リアフレームの新設、合わせてこれらの新規部品に対し軽量化を図ることで、“The Highest Climber in YAMAHA”のコンセプトを実現させることを狙った。

### 2.1 新規162インチトラックベルト & 新規リヤサスペンション採用 (FXNytro M-TX SE 162)及び新規153インチトラックベルト & 新規リヤサスペンション採用 (FXNytro M-TX SE 153)

マウンテン用軽量ロングトラックの開発とこれに適合した新規リアサスペンションを開発する。



## 2.2 FOXショックアブソーバの採用

フロントサスペンション、リアサスペンションとも軽量なエアスプリングショックアブソーバを採用する。

## 2.3 ワイドスタンスフロントサスペンションの採用

ジオメトリを見直した42インチスタンスのフロントサスペンションを採用する。

## 2.4 スラントステップボード、新規エクステンションフレームの採用

ラフ・トレイルモデルであるFXNytro R-TX SEのスラントステップボードを採用し、162インチトラックベルトに対応する為、フレーム後端部にエクステンションフレームを新設。また、153インチトラックモデルにも本フレームの共用使用を可能とする。



図5. FXNytro M-TX SE

表 1 仕様諸元表

名 称	FXNytro M-TX SE 153	FXNytro M-TX SE 162
全長 (mm)	3,340	
全幅 (mm)	1,210	
全高 (mm)	1,195	
種類・気筒数・配列	水冷 4 ストローク・並列・3 気筒	
総排気量 (cm <sup>3</sup> )	1,049	
ボア×ストローク (mm)	82.0 × 66.2	
始動方式	セルスターター	
点火方式	デジタル T.C.I.	
スキースタンス (mm)	1,034	
トラック・長さ×幅×高さ (インチ)	153 × 15 × 2.25	162 × 15 × 2.25
懸架方式 前	ダブルウィッシュボーン	
フロントショック	FOX FLOAT 2 エア	
懸架方式 後	Pro Mountain Air 162	
センターショック	FOX FLOAT 2 エア	
リアショック	サブエアタンク付 FOX FLOAT 2 Extra Volume エア	
ブレーキ形式	油圧ベンチレーテッドディスク	
リバース	標準 (マニュアル式)	
燃料タンク容量 (リットル)	28.0	
ヘッドランプ	12V60W/55W × 2 ハロゲン	
乗車定員 (名)	1	



### 3 フィーチャマップ

下図にフィーチャマップを示す。



図6. フィーチャーマップ

### 4 トラック&サスペンション概要

新雪走行性能向上に有効な手段の一つは長いトラックベルトを使うことである。

これは接地面積を増やすことで車両自体の浮力を増すと共に雪面に食い付くトラクションラグ(トラックパターン)の数を増やすことにもなり、柔らかい雪上での駆動力を増加させることが出来る。また、トラクションラグの山高さを高くすることももう 1 つの重要な手段である。

しかし、これらによってトラックベルトの質量が増すことは車両質量を増加させるのみならず、回転物の質量をも増やすこととなり走行性能向上の初期目的に反することになる。

この為、本モデルではトラックベルト本体部の補強布を耐久性も遜色ない 1 プライに変更し軽量化を図った。これは回転抵抗も軽減することにも役立ち、162インチの当社最長のトラックベルトを従来よりも軽く、効率の良いものにすることが出来た。



図7. リアサスペンション & トラック

長いトラックベルトの採用に伴い、新雪走行性能の向上と軽量化を主眼としたリアサスペンションを基本レイアウトから手掛け、新規の開発を行うことにした。

スノーモビルのリアサスペンションは乗心地や路面の衝撃を吸収する以外にもトラックベルトを雪面に適正に押さえ付け有効なトラクションを得られるようにすることもその重要な役割である。

トラックベルトが駆動スプロケットから離れ雪面に接触するまでの部分をアプローチ部と呼ぶが、この部分では有効な駆動力を得る為の前準備として柔らかい雪を上下に押し固める役割があり、その角度が推進力、浮力を得る為の重要な要素となる。今回の新規サスペンションの計画にあたってはこのアプローチアングルを新雪走破に対し適正化することをレイアウトの第一の基本とした。

長いサスペンションの場合、直進性が強くなり特に硬い路面では曲がりにくくなる。そこでフレームスライディング後端部を途中から跳ね上げる形状とすることで柔らかい雪面でのトラクションを損なうことなく硬い路面でのコーナリング性も確保した。

従来のリアサスペンションには1本のコイルスプリングと1対のトーションスプリングがありリアサスペンションの2割程の質量を占めていた。本モデルではここに着目し鋼製スプリングのいらないエアスプリング内蔵のFOX製ショックアブソーバの採用を行うべく初期レイアウトから織込み各部の構造検討を進めた。



図8. FOX センターショック



図9. FOX リアショック

マウンテンモデルとは言え、ラフトレイルモデルなどと同じく荒れた雪面を激しく走ることもあり、そこでの衝撃吸収性は必須である為、エアスプリングのプロGRESSIVEな反力特性を活用しこれに対応した。また、リアショックアブソーバはサブエアタンクを装備し最適な反力特性を実現、乗心地の面でも効果をもたらすことが出来ている。

長いトラックを押さえつける長いスライディングフレームはその長さ故、大きな曲げモーメントを受けており、十分な断面係数を必要としている為、アルミ押し出し材ながらサスペンションの中でのその質量の占める割合は大きくなっている。また、これにより外観上も重い印象を受けることになる。この為、十分な強度を確保したまま、最適な位置と形状の肉抜き孔を施し、実質の軽量化と見た目の軽量イメージをも創出させた。

これらの手段によりリアサスペンションで旧モデル(FXNytro M-TX)に対し12%以上の軽量化に成功し、登板走行性能、操作性でも大きな改善ができた。



図 10 新雪走行する FXNytro M-TX SE

マウンテンモデルのフロントサスペンションは、従来、狭いスタンスとし、新雪の中で容易に倒し込みができることを常としてきた。今回、ワイドスタンスのフロントサスペンションを採用したが、当初の狙いは、硬い路面でのコーナリング性能をより向上させることであった。しかしスタビライザを取外し、フロントショックアブソーバをエアスプリングのFOXショックにし、最適なセッティングを施すことでコーナリング性能のみならず、新雪での扱いやすさも合わせて向上させた。



図 11 フロントサスペンション

## 5

## 車体概要

スノーモビルのリアフレームはアルミプレートの組合せで構成する箱型のパネルフレームである。その中でステップボードはライダーポジションを決定するだけでなく、さまざまな機能を担っている。マウンテンモデルにおいてステップボードに要求される機能は、グリップ性能の高い滑り止め、ステップ上に載った雪・氷などの排出性の良さなどがあるが、中でも新雪での走行性能に大きく影響するのがステップボードの角度である。新雪走行では車体を傾斜させてコントロールする事があるが、この時にステップ

ボードが雪面との抵抗となってしまう。この抵抗を最小限にする為にはステップボードが車体後方にかけて切り上がっている形状が望ましい。そこで、高グリップ性能の滑り止め、高効率で雪氷を排出できる孔形状、そして従来よりステップ角度を $3^{\circ}$ 切り上げた形状を持つFXNytro R-TX SEのスラントステップボードを採用することで、これらの要求機能を満たす事ができた。

トラックベルト、リアサスペンションの延長に伴い、FXNytro R-TX SEのスラントステップボードでは覆い切れない部分について162インチおよび153インチモデルで共用できるエクステンションフレームを新設した。ステップボードは傾斜角度が切り上がっている為、このエクステンションフレームは従来のマウンテンモデルよりも縦方向が薄く剛性の確保が困難な形状となるが、同時に新設したアルミリアバンパー及び形状を最適化したブラケット類との組合せで、旧モデル(FXNytro M-TX)よりも5%の軽量化を達成しながら同等以上の剛性を確保することができた。



図 12. フレームエクステンション



図 13. ステップ



## 6 おわりに

本モデルの開発にあたっては、初期段階より海外開発拠点との連携を計りながら、市場のトレンド、コアユーザの要望やコンプレインも含めた“市場の声”をダイレクトに集め、開発に反映することができた。

2008年より、これまで4ストロークマシンには不利とされたスノークロスレースを初めとしたラフロードモデルやクロスオーバーモデルにFXNytroを投入してきているが、市場で良い評価を得てきており、今回、本格的なマウンテンモデルとして送り出される本モデルも市場にて好評を得ることを期待したい。



図14. 登板するFXNytro M-TX SE



図15. 新雪走行する FXNytro M-TX SE

### ■ 著者



左から

今村 高志 Imamura Takashi  
MC事業本部 RV統括部 RV開発部

松土 真一 Matsudo Shinichi  
MC事業本部 RV統括部 RV開発部



## 製品紹介

# マルチパーパスボート FR-23 ActiveSedan

Multipurpose boat FR-23 ActiveSedan

宮下 祐司 芦田 祐介 箕浦 実 薄 雅弘



図 1 FR-23 ActiveSedan

### Abstract

In the domestic Japanese boat market in recent years, there has been a dramatic increase in demand for greater comfort in boating. As a result, a central pillar of the product concepts in both the fishing boat and multipurpose boat categories is now on-board comfort.

A good example of this trend is the Yamaha sport fishing boat 「FR-32」 (fig. 2) developed and marketed the year before last. Despite having a very large bridge (enclosed cockpit/cabin space), which has traditionally been considered detrimental in terms of performance as a sport fishing boat, this model was received exceptionally well on the market and won many customers thanks to its combination of high quality on-board living space, high-level running performance and its functionality in fishing.

The newly developed model FR-23 ActiveSedan (fig. 1) has an overall length of 23 ft. (approx. 7 m), which puts it in the smallest class of multipurpose boats. However, true to the comfort trend, it has been developed with special focus on providing a one-class-larger living space that is fully outfitted for greater on-board comfort.

## 1 はじめに

近年の国内プレジャーボートは、快適性へのニーズが飛躍的な高まりを見せる中、フィッシングボート、マルチパーパスボートを問わず居住空間の充実が、大きなコンセプトの柱となってきた。

本艇「FR-23」(図1)は、艇体全長23ft(約7m)であり、マルチパーパスボートとしては、最も小さいクラスに位置づけられるが、1クラス上の居住空間の実現と快適装備の充実を、必須の開発課題として取り組んだ。

一昨年に開発・市場投入されたフィッシングボート「FR-32」(図2)でも、これまでのフィッシングボートでは性能上マイナスとされていた巨大なブリッジ(室内空間)を搭載したモデルであるにも関わら

ず、その居住性の高さと、高い航走性能・釣り機能を両立させることで、市場で非常に高い評価をいただき、多くのユーザー様に購入していただける結果となった。



図2 FR-32

## 2

### 開発コンセプト

過去、当社で建造した23ftクラスの小型艇キャビンタイプとして、「F C 2 4」や「2 3 ルネッサ」等がある。これらのモデルは発売から10年近くが経過している。これらのモデルを刷新し、釣りマルチ系ユーザーの増加を狙った。

そもそも、これらキャビンタイプの小型艇は23ftという手軽なサイズでありながらも十分な広さのキャビンを持ち、様々な用途に対応できるところが魅力である。本艇「F R - 2 3」では更に当社27ft艇クラスにも負けない広さの居住空間を確保することとした。

また、オールシーズン快適なボートライフを提供するという視点でみた時、単に居住空間の広さだけではなく、如何にその空間において快適な時間が過ごせるかが重要である。ボートの場合、特に夏季シーズンの室内の暑さは、多くのユーザーにとってのコンプレインであり、このコンプレインの打破なくしては、本艇の開発は達成されないという認識を持っていた。真夏の快適性を実現させる手段として、空調設備の導入が考えられるが、本艇のような小型の船外機艇の場合、当然、主機発電力にも限界があり、これまで導入は出来ていなかった。それらを含めマルチなユーザーの要望に応え、十分な快適性を実現する為にはどうあるべきか、まずはコンセプト創出技法を用いて、本艇の機軸として決して譲れない「最重要要求品質」を抽出した(表1)。

また、本艇と同サイズで、釣りユーザーに絶大な人気を誇っている「Y F - 2 3」と比較した主要諸元を表2に示す。

表 1 最重要要求品質と開発艇への具現化項目

最重要要求品質	具体的な実現項目
マリーナ出入り時にも風流れが少ない	YF23 で評価の高かった WTB を応用。 同等以上の風流れ抑止性能を実現。
小型艇でありながら、室内気温を調節出来る快適さ。	船外機充電式エアコン BE-COOL の新開発により、 クルージング中にも快適な室内を演出。
風通しの良いキャビン	三角窓を採用し、風を気持ちよく取り込める船内を実現。
明るく開放感のあるキャビン空間	電動サンルーフ・大型スカイライト等を OP 設定し、 明るく開放感のあるキャビン空間を演出。
水遊びも出来る使い勝手のよさ	スイミングステップを採用。マリンプレイに貢献。
ゲストが寛いで団欒出来るアフトデッキ	広々としたアフトデッキに折り畳み式ベンチシートを設定。 ゲストが寛げるスペース
アフトデッキでもちょっとした軽食を囲める機能がある。	広いアフトデッキに、テーブルを設定。 人を招いて楽しめるスペースを演出
新規客が思わず興味を引き付けられるレイアウト要素。	ナビシート下のスペースにアンダーパースを設定。 大人一人が十分横になれるスペースを確保。 第一印象のインパクトにも貢献している。
接岸時に配慮した実用的で、細かい気配り	スプリングクリート、フェンダーホルダ等、実用的なツール を充実させ、細かい気配りを演出。

表 2 主要諸元（YF-23 との比較）

	FR-23 ActiveSedan	YF-23
全長 (m)	7.09	7.5
全幅 (m)	2.55	2.55
艇体重量 (kg)	1,540	1,249
総トン数 (トン)	3.2	2.8
搭載エンジン	F150AETX	F150AETX
最高出力 (kw)	110.3(150PS)	110.3(150PS)
燃料タンク容量 (リットル)	165	165
清水タンク容量 (リットル)	35	—
乗車定員 (名)	8	10
最高速力 (kt)	30(55.5km/h)	31(57.4km/h)

### 3 快適な居住空間の実現

「FR-23」では、ボートの新規購入層を含む様々な顧客のニーズに応えるマルチパーパスボートというコンセプトを主軸に置いている。「快適性」をキーワードに実現した仕様の一部を図3に示す。表1の幾つかの項目に対応しているので見比べて頂きたい。

ここで重要なのは、女性や子供など性別年齢問わず便利であり、快適であるということと、乗船者が孤立せず、皆が一緒に楽しめるレイアウトであることである。キャビンとアフトデッキが一体感を持って楽し

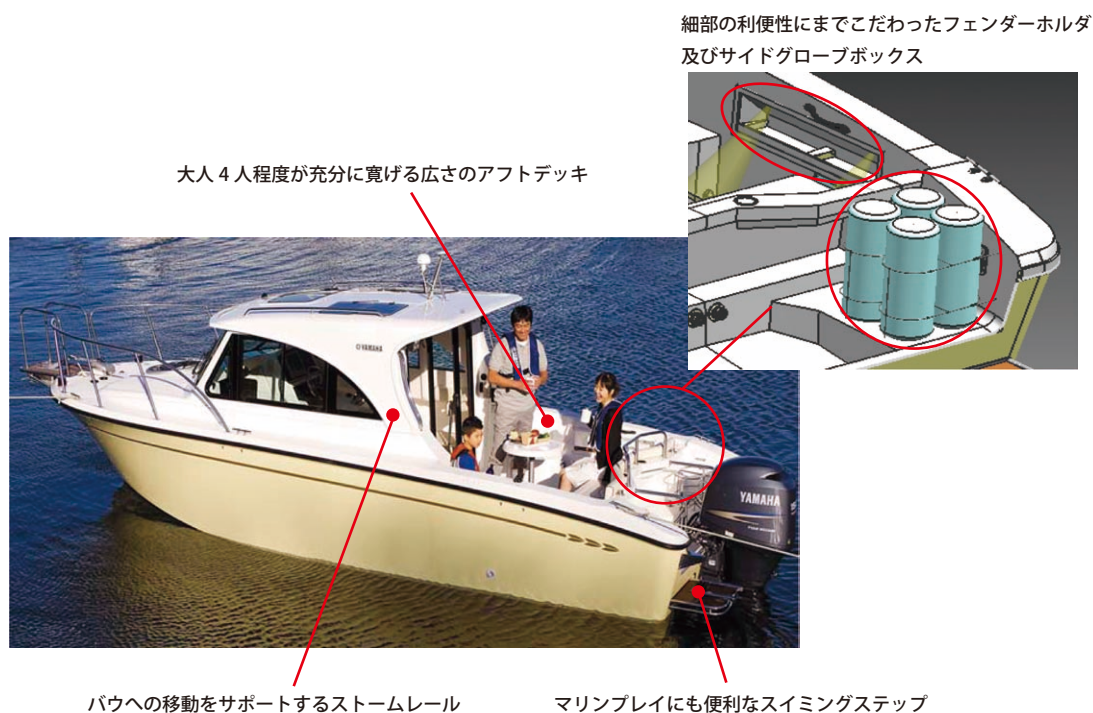


図3 仕様解説

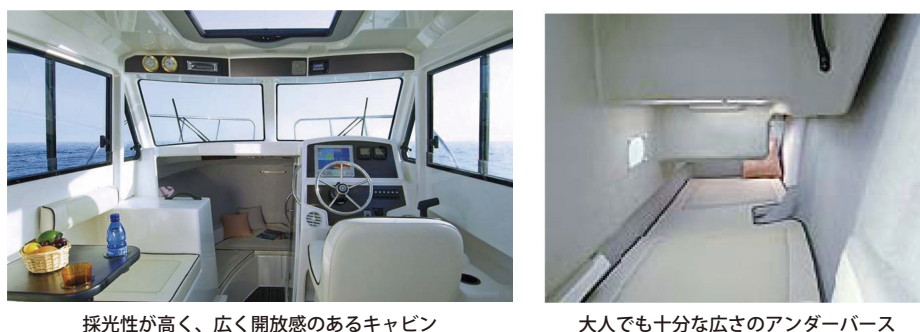


図4 キャビン内及びアンダーバース

めるレイアウトとなっていながらも、人の動線が計算されているために、移動の際にも不便の無い作りになっている。

また、今回特筆すべきは大容量のアンダーバースで、ボートショー等においても、圧倒的に広いキャビンスペースを確保たうえで更に、今までに無い程の大容量アンダーバースがある立体的な居住空間に大変多くの感動の声を頂くことが出来た。これらの要素が相まって23ft艇の枠を超えた居住性能を持つボートを実現することが出来た(図4)。



4

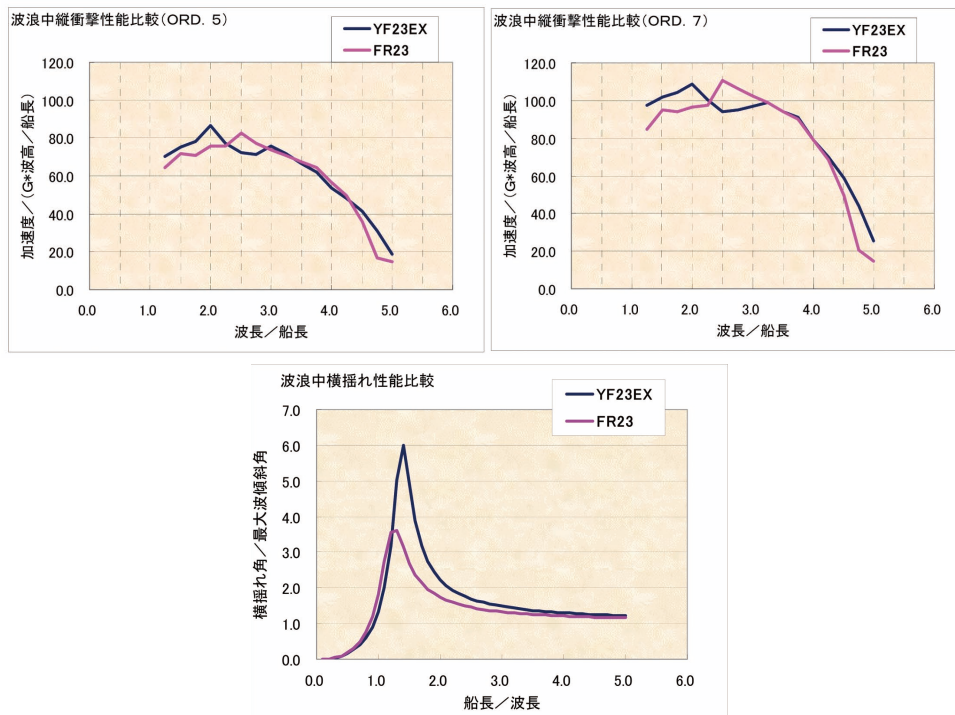
## 性能開発について

本艇「FR-23」の船型開発にあたっては、WTB(ウェーブ・スラスター・ブレード:船底を大きくつまみ出したような形状)により凌波性能や風流れ抑止性能に高い評価を得ている「YF-23」のハルをベースに開発をスタートした。

「YF-23」のハルは、主に外洋での波さばき・波叩きに関する性能が非常に良いという評価を得ている。しかし、その一方で外洋航行時の衝撃や、横揺れに対する更なる乗り心地性能アップの要求も出てきていた。「FR-23」のコンセプトとして横安定性の向上は、女性や子供、新規購入層等においては大きな魅力としてアピールすることが出来る。そこで、今回の船型開発では、外洋航行性能は「YF-23」をそのままに、横揺れを大幅に低減させるという大きなテーマをもって取り組むこととなった。

まず我々は、シミュレーションツール「Y.P.D.S.」(Yamaha boat Performance Development System)を駆使して船型の開発を行った。(図5)計算に基づくデータでは、船幅はそのままにチャイン幅(船側と船底の交点での幅)を広げ、船首部デッドライズ(船底の傾斜角度)を調整することで波浪中衝撃性能を「YF-23」と同等に維持し、横揺れを40%低減出来るという見込みが持てた。結果、テストドライバーによる航走評価においても、主要な船型性能は全て「YF-23」を上回り、特に横揺れに関しては大幅に改善されているという評価を得ることが出来た。

外洋航走性能について



新開発の New 船型も YF23 とほぼ同様の結果が得られている



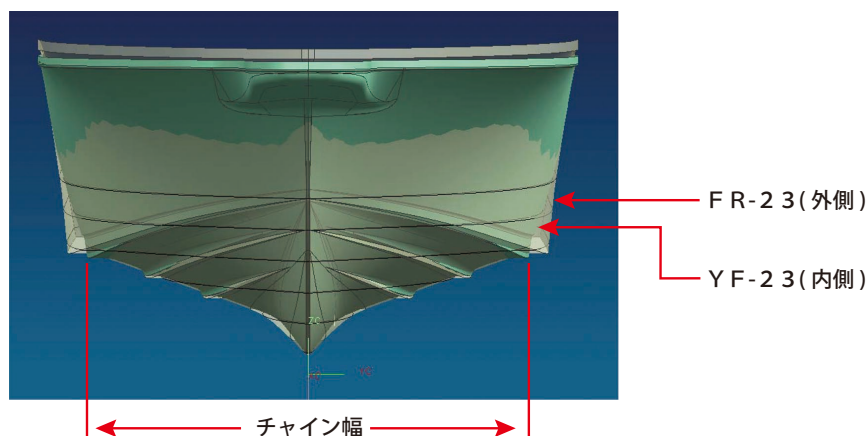


図5 FR23とYF23の性能比較

## 5 テクノロジー

### 5-1 充電式マリンエアコンシステム「BE-COOL」

キャビンタイプの小型艇にとって重要な要素の一つとして、キャビンの快適性が上げられる。しかし、大きな電力を消費するエアコンを船外機の発電能力で補うことが出来ず、従来艇ではクルージング中に稼動できるエアコンは装備することが出来なかった。

そこで我々は、今後の小型艇電源システムのトレンドを蓄電＋インバーターと考え、「SC-30」で開発したインバーターシステムに更なる改良を加え、充電式マリンエアコンシステム「BE-COOL」を開発した。今回取り組んだ技術課題を大きく3つのテーマに分けて説明する。

### 5-2 室内温度上昇の抑制。

乗用車においても、特に高級車等ではガラスやダッシュボードに工夫を凝らし、室内温度の上昇を抑えているようにボートにおいても室内温度の上昇を抑える事は非常に重要であり、フロントウィンドウの角度やルーフの形状、ダッシュボードや艀装品の色、材質の差等を徹底的に調査し、基本設計・デザイン展開の段階からの最適化を図った。これらの効果によって室内温度上昇が従来比約 $-7^{\circ}\text{C}$ の効果を達成することが出来た。これにより、エアコンに要求される能力を大幅に低下させることに成功した。(図6)



フロントガラスの傾斜角、内装色から各所の構成に至るまで、随所に室内温度の上昇を下げる工夫をこらしている。

図6 温度上昇を最低限に抑えたキャビン内

### 5-3 クールシャワー効果

次に、エアコンの実際の使用法を検証した。すると、ボートでのクルージング中にはキャビンの出入りが頻繁に行われたり、ドアや窓を開けたまま走行したりするために、室内の冷気が逃げてしまうことが分かった。大容量のエアコンを使用できない中でこの問題を解決するため、キャビン内の人員配置に合わせて冷風の方向を最適化させることを考えた。ボートの室内は車に比べ容量が大きい、エアコンの風向きを人員配置に最適化させることで、「部屋に入ってすぐ涼しい」というエアコンに最も重要な要素を実現することが出来た。

### 5-4 ソーラーチャージャーシステム

ここまでの二つの対策により、既にエアコン容量は当初の半分にまで下げることに成功していた。ここで更に、ボートユーザーはレジャー目的として週1程度のペースで使用していることに注目し、保管中にもエネルギーを貯め込み、使用時には充分にエアコンを使うことが出来る様、ソーラーチャージャーシステムを開発した。

快適なキャビンと冷気を直接あてるクールシャワー効果、保管中にも自動充電が行えるソーラーチャージャーシステムにより、快適・便利なボートライフに最適化された「BE-COOL」を誕生させることが出来た。(図7)

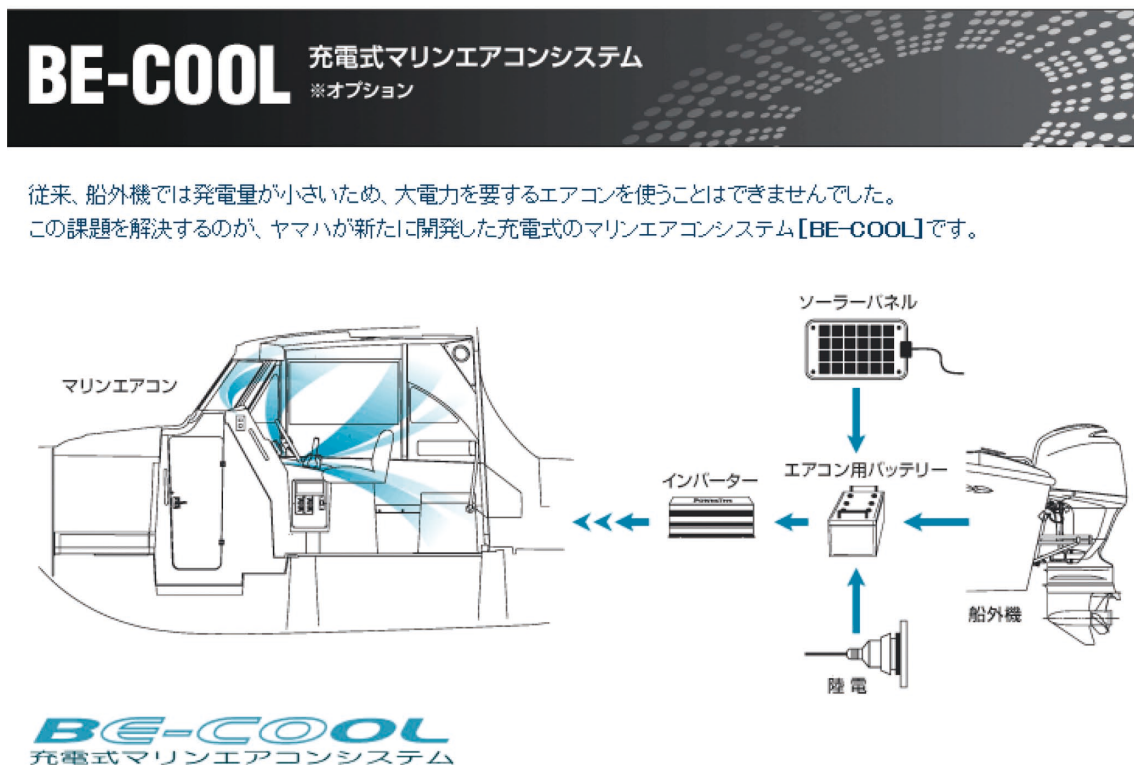


図7 「BE-COOL」システム概略図

## 6 スタイリング

来る2010年に、ヤマハ発動機が「CAT-21」でボート業界に船出して50周年を迎える。



図8 「CAT-21」

本艇「FR-23」は、50年間の先人達へのオマージュと最新の3Dデザインの融合により、スモールボートクラスへの新たな価値観を提案したモデルである。従来のフィッシングボートのスピードシェイプデザイン+機能という壁を打ち破り、それまでにないユニークなデザインで大成功した「FR-32」のイメージを踏襲しつつ、1970年発表のヤマハの名艇「STR-20HT」をモチーフにした。



図9 「STR-20HT」

「STR-20HT」の持つクラシカルなデザインエッセンスをモダンにアレンジ仕直した曲線を用い、70年代の古き良き時代を想起させる懐かしいニュアンスでクラシック・モダンなエクステリアデザインを実現した。

デリケートに弧を描いて流れるルーフ。傾斜角を押さえたフロントウィンドウ。そしてハルに刻まれたリーフパターンのアクセントライン。明確な意志を感じる特徴的なサイドウィンドウを持ち、ヤマハ発動機が永年にわたり培ってきたボートデザイン・ヘリテッジを織込んだ。

また、「FR-23」の重要なコンセプトである1クラス上の居住空間実現のために、艇体の断面形状を極力ボクシーにして、最大限に居住性を確保している。ショルダーRを吟味することにより、近くではボ

クシーなフォルムに感じ、遠くからは流れるようなキャラクターラインが効果的に働き柔らかなフォルムを感じられるよう、フォルム全体の最適バランスを狙った。

## 7 完成後の初期評価

発表に先立って、ヤマハボート主力販売店21店が一同に会し、商品検討部会を行った。ここでは、全体的なスタイリングから、各構成部品、航走性能に至るまで細かな24の指標に分けてそれぞれ5点満点とし、評価を行った。結果、総合評価4.13点という非常に高い評価を得ることが出来た（開発達成判断の最低ラインが3.66点）。特に評価の高かった項目として、スタイリング4.40点、メインキャビン広さ4.58点、三角窓4.33点、横安定性4.21点、等があった。どれも開発課題として重点を置いていた項目であったが、それ以外の項目に於いても高い評価を得られたのは、すみずみまで行き届いた配慮が功を奏したのだと考えている。



図 10 FR-23 航走状態

今回試作時に、開発プロジェクト関係者（設計、デザイナー、実験）による一泊二日のロングクルージング評価を行った。その時には、航走性能の高さや快適さを実感しつつも、トイレの配置や照明機器の使い勝手に至るまでの細部の使い易さを自分達で使用して評価した。このような取り組みが今回の評価に繋がったと考えている。

## 8 おわりに

ボートショーにて説明員として立った時に、お客様の反応として、値段の高さを指摘されることがあった。本艇のコンセプトや造りの良さには、十分に共感をいただきつつも、実際に、オプションなどを組み合わせると、非常に高価な買い物という印象を持たれることがあった。我々開発陣は、我々の提供する価値がお客様の期待する価値を上回っているのかということを常に考えながら商品開発に取り組まなければならないことを、改めて強く認識することができた。

また、一方で、来場されたお客様（子供達や女性も）の笑顔や驚きを忘れることなく、常にお客様の期待の一步先をいく提案をしていかなければならないという想いを強くすることができた。



■著者



宮下 祐司  
Yuji Miyashita

マリン事業本部  
ボート事業部  
舟艇製品開発部



芦田 祐介  
Yuusuke Ashida

マリン事業本部  
ボート事業部  
舟艇製品開発部



箕浦 実  
Minoru Minoura

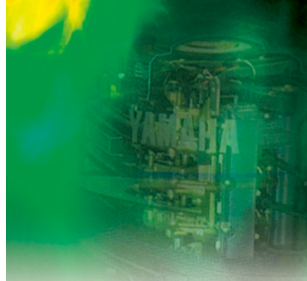
マリン事業本部  
ボート事業部  
舟艇製品開発部



薄 雅弘  
Masahiro Usuki

マリン事業本部  
ボート事業部  
舟艇製品開発部





## 製品紹介

# 2010年 YZ450F

The 2010 model YZ450F

櫻井 太輔 宮代 幣彦 佐藤 勝利 小倉 利彦 高山 清彦 星野 恭平  
田村 幸樹 加茂 厚 長谷川 仁 佐々木 優一



図 1 2010 年 YZ450F

### Abstract

Yamaha Motor's YZ series motocross competition models have achieved many victories and set numerous records in competition since the release of the first YZ250 (2-stroke) in 1973. In 1998 Yamaha Motor Co., Ltd. unveiled its first full-fledged 4-stroke motocrosser, the YZ400F.

This pioneering model would open the way for the current 4-stroke motocrosser era. And this year, Yamaha Motor has unveiled a highly innovative new model for 2010 that is sure to lead a new generation of 4-stroke motocrossers.

The 2010 model YZ450F features a completely new chassis layout in a package that will offer the rider a new level of handling agility never before obtainable on a conventional 4-stroke motocrosser and outstanding engine performance. Here we report of the development of this new model.

## 1 はじめに

YZシリーズはモトクロスコンペモデルとして、1973年のYZ250（2サイクル）の発売以来、モトクロスレースにおいて数々の記録を残してきた。1998年には初の本格的4サイクルモトクロッサーYZ400Fを発表。現在の4サイクルモトクロッサー時代を切り開いたモデルを世に送り出した。そして今年、4サイクルモトクロッサーの新しい時代を切り開く革新のモデルを2010年モデルとして発表する。

2010年YZ450Fは今までには無い車体レイアウトを採用し、従来の4サイクルモトクロッサーでは達成出来なかった高い運動性能と、優れたエンジン性能をライダーに感じさせるモデルとなっている。

## 2 開発のねらい

コンペモデルであるYZは「速く走れること」が最重要テーマである。また、「速く走れる」為の「扱い易さ」も必須である。特に、ライダーが強く苦手意識を持つタイトコーナーでの「扱い易さ」が重要となる。また、近年のコンペモデルのトレンドとして、「見た目のカッコよさ」も重要なポイントと捕らえ、以下のキーワードをコンセプトに開発を進めた。

「Faster and Easier Cornering with Museum Look」

従来モデルでは体感できなかった次世代の「速さ」と「扱い易さ」を実現する為の技術的ポイントを以下に紹介する。

## 3 全体レイアウト

2010年YZ450Fでは全く新しい全体レイアウトを採用した。このユニークなレイアウトこそが最も革新的と言うべきポイントである。車体前方から吸気し、後方に排気する。その為、エンジンシリンダは7.5度後傾している。このレイアウトにより、最大の重量物のエンジンを車両重心部に近づけるマスセンタリングレイアウトと、ダウンドラフトストレート吸気を実現した。これにより、軽快なハンドリングの車体性能と、高効率の吸気系による高出力エンジンを達成している。これら全ては、F I、車体レイアウト、エンジンレイアウトが手を握り合い、「相乗効果(シナジー効果)」を生み出した賜物である。表1に主要諸元表を示す。

表1 主要諸元表

モデル	2009 年 YZ450F	2010 年 YZ450F
全長	2,196mm	2,193mm
全幅	825mm	825mm
全高	1,305mm	1,311mm
シート高	1,000mm	999mm
ホイールベース	1,496mm	1,492mm
最低地上高	374mm	383mm
装備重量	108.3kg	111.3kg
フレーム形式	セミダブルクレードル フレーム	バイラテラルビーム フレーム
キャスト	26° 80'	26° 52'
トレール	114.2mm	118.6mm
Fr タイヤサイズ	80/100-21 51M	80/100-21 51M
Rr タイヤサイズ	120/80-19 63M	120/80-19 63M
Fr ブレーキ	油圧シングルディスク (250mm)	油圧シングルディスク (250mm)
Rr ブレーキ	油圧シングルディスク (245mm)	油圧シングルディスク (245mm)
ホイールラベル (Fr)	300mm	310mm
ホイールラベル (Rr)	314mm	315mm
燃料タンク容量	7.0L	6.0L
原動機	水冷単気筒 4 ストローク DOHC 5 バルブ	水冷単気筒 4 ストローク DOHC 4 バルブ
排気量	449.7cm <sup>3</sup>	449.7cm <sup>3</sup>
内径×行程	95.0 × 63.4mm	97.0 × 60.8mm
圧縮比	12.3 : 1	12.5 : 1
潤滑方式	ドライサンプ	ドライサンプ
エンジンオイル量	1.2L	1.2L
燃料供給方式	キャブレター	電子制御フューエル・インジェクション
クラッチ形式	湿式多板	湿式多板
1 次減速比	2.652 (61/23)	2.652 (61/23)
2 次減速比	3.769 (49/13)	3.692 (48/13)

## 4 エンジン

### 4.1 基本諸元

450クラスモトクロッサーでN o. 1となるべく、パワフルでコントロールし易いエンジンを目標とし、水冷・4ストローク・単気筒・DOHC 4バルブ・F Iの新設計エンジンを搭載した。図2にエンジン外観を示す。

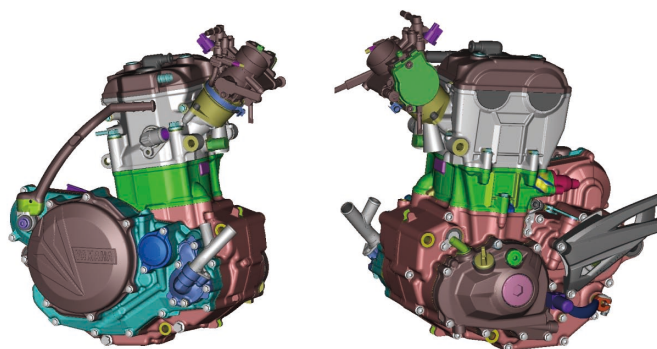


図2. エンジン外観

### 4.2 性能

モトクロッサーのエンジン性能には、低速からオーバーレブ領域までスロットルに対してレスポンス良く反応し、その間車両を強力に加速し続けることができる幅広いパワーバンドが求められる。その為、2010年YZ450Fのエンジンでは、トルク谷の無いトルクカーブを達成した。また、ダウンドラフトストレート吸気の採用等により最高出力もクラス最高レベルを達成している。

### 4.3 吸気系

従来のモデルではシート下に位置していたエアクリーナは、燃料タンク前側へと移動。エレメント形状もフラットなものへと変更した。左右2箇所へエアクリーナダクトを配置することにより、フレッシュな空気を吸入する事が出来る。また、走行中の埃、泥、水等の浸入も車両前方、高い位置にエアクリーナーダクトを配置することにより防いでいる。(図3)

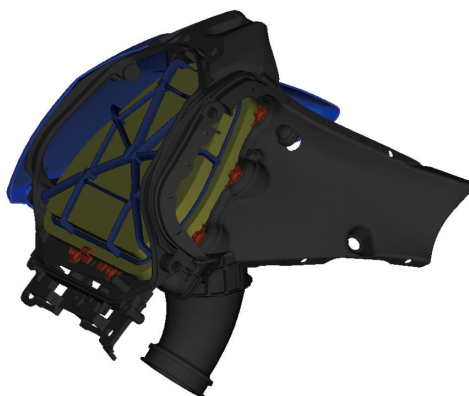


図3. エアクリーナ外観

#### 4.4 排気系

排気系は3ピース構造を採用した。2分割されるエキゾーストパイプは、排気がエンジン後方からされる為、シート下にループ形状にレイアウトした。このエキゾーストパイプはハイドロフォームによる成形を実施している。サイレンサは従来構造を踏襲した。(図4)



図 4. 排気系外観

#### 4.5 原動機回り

原動機本体では、パワフル且つ扱い易いエンジンを達成する為、特に以下の点に注力した。①吸排気ポート形状とバルブ径(図5)、②ピストン・コンロッドなどムービングパーツの軽量化(図6)、③動弁系・潤滑系によるロス馬力の低減。①に関しては、流量と筒内の乱流強度のバランスを考慮し、最適な形状を選択した。②、及び③に関しては、機能・信頼性を確保し、軽量化、ロス馬力低減を実現した。また、ロス馬力低減の為、オフセットシリンダを採用したことも大きな特徴のひとつである。

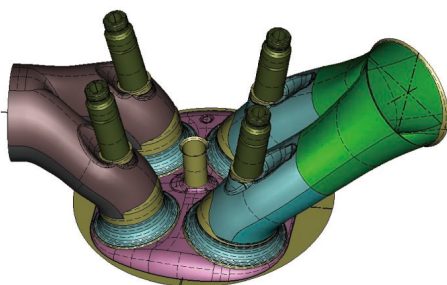


図 5. ポート回り



図 6. ムービングパーツ

## 5 車体

### 5.1 フレーム

新開発のバイラテラルビームフレームを採用した。左右のタンクレールは3次元曲げ形状となっており、ハイドロフォームによる成形を実施している。また、ステアリングヘッドからダウンチューブに向かって伸びるガセットヘッドパイプにおいても、新製法の半凝固ダイカスト鋳造法を採用し、軽量高剛性かつ低コストを達成した。(図7)



図7. フレーム外観

### 5.2 サスペンション

モトクロッサーにとって、サスペンションは非常に重要なコンポーネントパーツである。今回2010年YZ450Fでは従来モデルに対してフロントフォークのストロークを10mm延長。リアクッションは全長短縮により曲げを低減し、さらに車体中央にレイアウトした。これにより、ギャップでの走破性、安定性、コンフォート性の全てを向上させた。(図8)

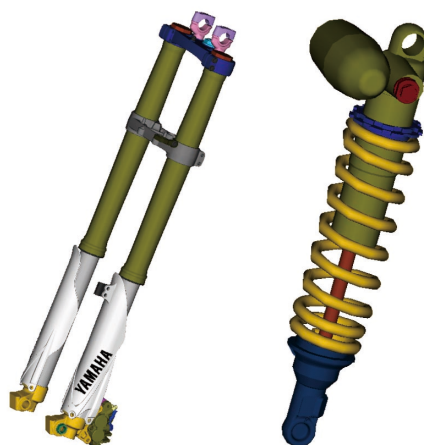


図8. 前後サスペンション



## 5.2 ハンドル回り

全世界モデルとして、様々な体格のライダーに合わせるべく、可変ハンドルポジションを採用した。ハンドルバークランプの取り付け孔をハンドルクラウンに2箇所設置。これにより、4通りのハンドルバークランプ位置を選択できる。(図9)



図 9. ハンドルクラウン外観

## 6 フューエルインジェクション(FI)

### 6.1 ECU

YZ450Fでは2010年モデルからFIを採用した。バッテリーレスに対応し、キック始動時の良好な始動性を実現すると共に、レース環境での良好なドライバビリティを得るために、スロットル開度の急激な変化にも追従できる性能としている。

### 6.2 YZパワーチューナー

セッティング変更の為にYZパワーチューナーを新開発し、ユーザーのセッティング変更に対応した。燃料噴射量、点火時期を3×3の9つの格子を持つマップによってセッティング変更できる。噴射量は±20%、点火時期は+4deg/−9degの範囲での変更が可能。モニター機能も持たせており、エンジンの状態を確認することができる。(図10)



図 10. セッティングツール外観

### 6.3 燃料ポンプ

インタンク式の高出力低電力燃料ポンプを採用し、樹脂製フューエルタンクに搭載した。モトクロス走行に適したポンプレイアウトを採用し、燃料回収率を高め燃料ライン中へのエア噛みの発生を抑えた。

(図11)

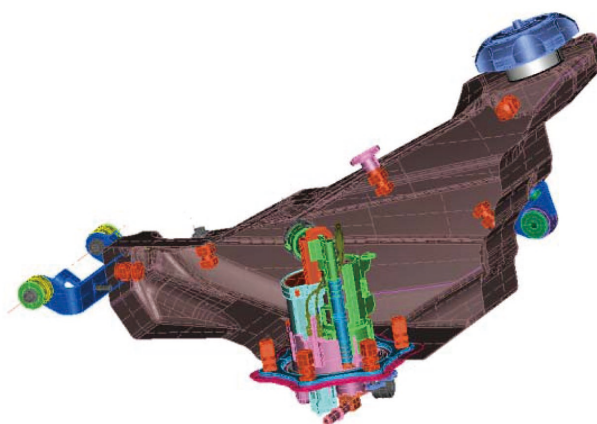


図 11 タンク回り断面図

## 7 電装

キック始動時の電力の確保とFI化による必要電力の増加に合せ、発電量をアップした新設計ACM(交流発電機)を開発した。希土類磁石の採用によりローター外形の小型化と発電量を両立することでレスポンスとパワー感の両面で最適な慣性マスとした。

## 8 おわりに

2010年YZ450Fで採用した新しい全体レイアウトにより、次世代のハンドリングとエンジン性能を実現することが出来た。本モデルは新レイアウトでの最初のモデルである。我々プロジェクトメンバーは、この新レイアウトが従来レイアウトでは到達できないレベルまで進化できる素性を持ち、従来モデルでは届かなかった性能を手に入れる事ができると確信している。

■ 著者



左から

長谷川 仁 Hitoshi Hasegawa  
MC事業本部技術統括部コンポーネント開発部

佐々木 優一 Yuuichi Sasaki  
MC事業本部技術統括部コンポーネント開発部

小倉 利彦 Toshihiko Ogura  
MC事業本部技術統括部エンジン設計部

星野 恭平 Kyouhei Hoshino  
MC事業本部技術統括部商品実験部

櫻井 太輔 Taisuke Sakurai  
MC事業本部技術統括部商品実験部

宮代 幣彦 Shidehiko Miyashiro  
MC事業本部技術統括部第2ボディ設計部

佐藤 勝利 Katsutoshi Satou  
MC事業本部技術統括部商品実験部

田村 幸樹 Kouki Tamura  
MC事業本部技術統括部CAE実験部

加茂 厚 Atsushi Kamo  
MC事業本部技術統括部コンポーネント開発部

高山 清彦 Kiyohiko Takayama  
MC事業本部技術統括部商品実験部



# モーターサイクル用クランクピンの 転動疲労寿命評価

Evaluating rotational fatigue life in motorcycle crank pins

久保田 剛 山下 恭幸

## 技術論文

### Abstract

To contribute to the achievement of both the compactness/light weight and a high level of reliability in motorcycle crank pins, we undertook fatigue life measurement using a ball-on-disk test and crankpin durability measurement by engine bench test. And we subjected those results to Weibull analysis consider methods for predicting crankpin life in actual road use on a motorcycle. Taking the flaking phenomenon as the typical form of fatigue-induced deterioration and failure of crank pins, we found a correlation between the ball-on-disk test results and crank pin life as seen in engine bench test results. Based on this we considered methods for predicting crankpin life with regard to rolling contact fatigue in an actual motorcycle use based on the results of metal strength test. In the future, it will be possible to use these methods for finding optimum pin designs with the necessary reliability when new designs or manufacturing methods are employed.

## 1 はじめに

近年、アジアやBRICSにおける自動二輪車市場の成長は著しく、欧米での需要が鈍化する中で、特に重要度が増している。これらの市場で販売される車種は、主力機種を中心として、単気筒エンジンを搭載するものが多く、その部品構成の一部は、一般的な多気筒エンジンとは異なる<sup>[1]</sup>。本稿では、その中でも、単気筒エンジンでよく使われる組立てクランクを構成するクランクピン(図1)に焦点をあて、小型軽量化と高信頼性を両立するために重要な転動疲労寿命について、材料強度試験結果および台上試験結果をワイブル解析し、実走行車両におけるクランクピンの寿命と耐面圧の関係を推定する方法を考察した。

## 2 目的

クランクシャフト(図1)は、エンジンの中心で回転運動をしているため、その小型化は、エンジンの多くの部品の小型化と軽量化に影響を及ぼす。一方、クランクシャフトを小型化した場合、特にクランクピンの表面にかかる面圧の増加が課題となる。この面圧が、材料強度を超えた場合、表面でフレーキングと呼ばれる転動疲労破損現象が発生し、エンジンの機能を損なうことになる。そのため、商品性を高めるためには、フレーキングに対する信頼性を十分に保証出来る面圧を正確に把握し、その範囲内で小型化を行う必要がある<sup>[2,3]</sup>。

そこで、本報告では、累積破損確率を考慮に入れたフレーキング寿命評価を、基礎的な材料強度試験により試みた。その結果と、台上エンジン試験でのクランクピンの寿命との相関を示し、実走行した車両のクランクピンの寿命と耐面圧を推定する方法について考察した。



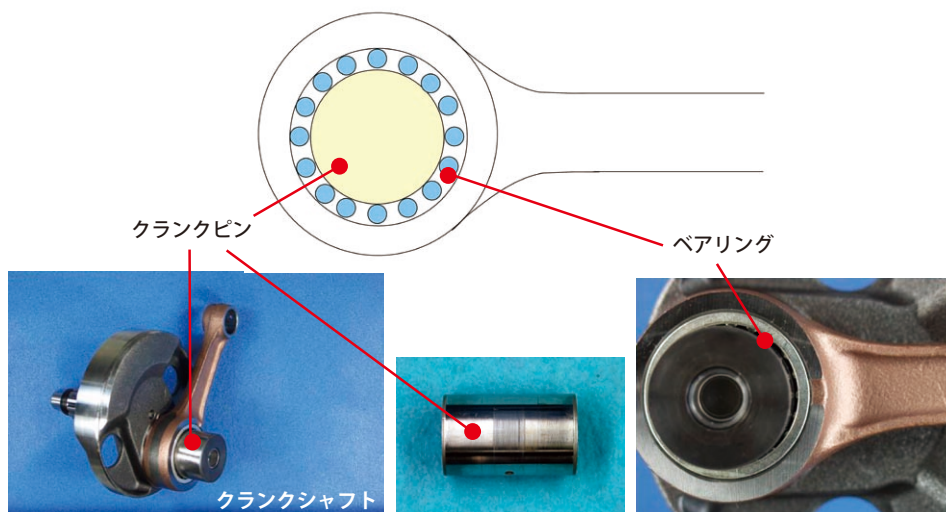


図1 クランクシャフトとクランクピン

### 3 試験方法

#### 3.1 材料強度試験

クランクピン用材料のフレーキングに対する強度試験方法として、ボールオンディスク式の転動疲労試験を行った。試験装置の概要を図2に示す。3個のボールが、被試験材であるディスクと、その上方のシャフトとの間を、スラスト力を受けながら転動する。ディスク上にフレーキングが発生した時点で、加速度センサーにより振動を検知し、試験が停止する。試験停止時点までのボールの接触回数をもって、その条件での寿命サイクル数とした。

表1に、試験条件を示す。面圧はヘルツ応力<sup>[4]</sup>で示し、4.0GPa、4.8GPa、5.3GPa、6.0GPaの4段階それぞれで、複数回の試験を行った。それぞれの寿命測定結果は、ワイブル分布に従うと仮定して整理した。これらから、それぞれのヘルツ応力での累積破損確率50%(以下L50)の寿命を求め、ヘルツ応力とL50寿命との関係をS-N線図として示した。

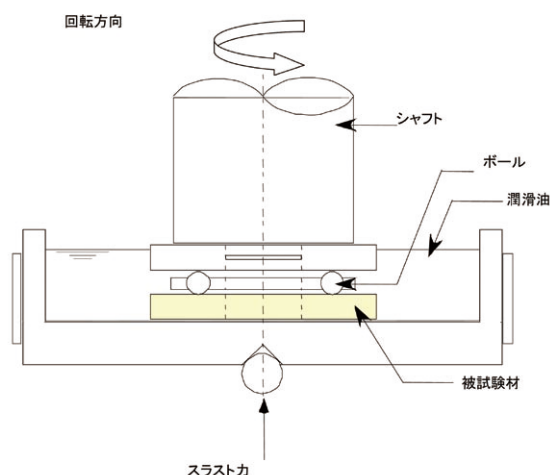


図2 転動疲労試験装置

被試験材の材質は、後述する台上エンジン試験および実走行車両で用いるクランクピンと同じとした。JIS SCM420(クロムモリブデン鋼)に対して、浸炭焼入れ焼戻しを行い、クランクピンとほぼ同じ硬さ分布とした(図3)。さらに熱処理後、クランクピンと同様に、表面から50  $\mu$ mの深さまで研磨し、表面粗さをRa0.05とした。

表 1 試験条件

ヘルツ応力	$P_{max} = 4.0\text{GPa}, 4.8\text{GPa}, 5.3\text{GPa}, 6.0\text{GPa}$
速度	1500cpm
ボール	SUJ2, 9.5mmf
潤滑油	ピュアセフティー 10 (コスモ)
油中異物粒子	高速度鋼ガスアトマイズ粉 粒径 : 105 - 150 $\mu$ m 硬さ : 750HV 投入量 : 1g per 1000cm <sup>3</sup>
温度	室温

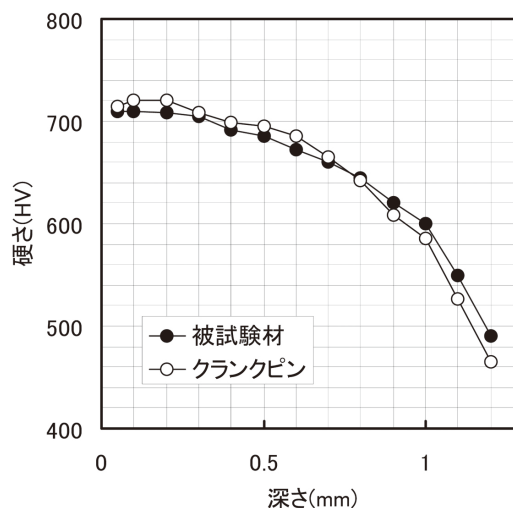


図 3 被試験材の硬さ分布

### 3.2 台上エンジン試験

単気筒エンジンを用いて、クランクピン表面のヘルツ応力が最も高くなる条件で定常運転を行い、クランクピンにフレーキングが発生するまでの寿命サイクル数を測定した。

図4に、クランクピンとベアリングの接触部の概略図を示す。クランクピンの直径は30mmとした。また、これに接触するベアリングは、直径4mm、長さ12.8mmとし、軸端と、軸方向中心から5.1mmの位置の間1.3mmに、応力集中を低減するためのクラウニングを形成した(図4(c))。転がり速度は8.6m/s、接触部にかかる最大荷重は2.65kNである。この最大荷重がかかった回数をもって、サイクル数とした。4サイクルエンジンを用いたため、この回数は、クランクの回転数の半分となる。

テスト中、異音が発生した時点でエンジンを止め、クランクピンを観察し、フレーキングが発生していた場合、そこまでの繰返し数を寿命サイクル数とした。実際の試験中には、異音の判定基準にばらつきがあり、フレーキングの発生からエンジン停止までの間に、最大 $4 \times 10^6$ サイクルの遅れが発生することがあることが確認された。しかしながら、この場合でも、エンジン停止までの繰返し数をもって、寿命サイクル数とした。

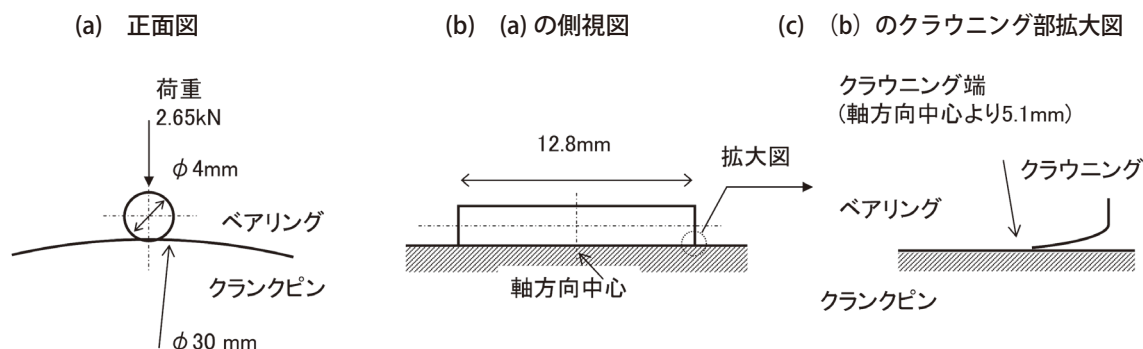


図4 クランクピン/ベアリング接触部

### 3.3 FEMによるヘルツ応力解析

クランクピン表面における、ベアリング接触部のヘルツ応力を求めるために、有限要素法による応力解析を行った。解析用ソフトウェアとして、TED/CPA PC バージョン8.1.1<sup>[5]</sup>を用いた。形状および荷重条件は、前述の台上エンジン試験と同等とした。クランクピン、ベアリングとも、縦弾性係数を20.4Gpa、ポアソン比を0.3とした。両部品の間にはすべりは発生していないと仮定し、接線力は考慮しなかった。

## 4 結果

### 4.1 フレーキング

図5、図6に、材料強度試験および台上エンジン試験後に観察されたフレーキングを示す。台上エンジン試験によるフレーキングは、軸方向中心から5.0mmの位置で発生していた。この位置は、ベアリングにおけるクラウニング端の位置(図4(c))に相当する。

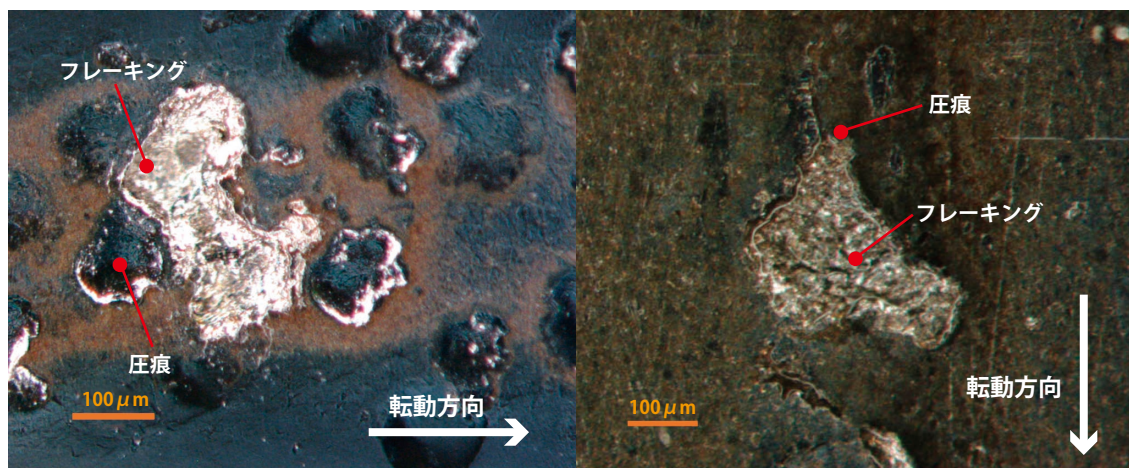


図5 材料強度試験後の被試験材で観察されたフレーキング

図6 材料強度試験後の被試験材で観察されたフレーキング

### 4.2 材料強度試験および台上エンジン試験結果

図7に、材料強度試験の各ヘルツ応力(Pmax)における、寿命サイクル数のワイブルプロットと、台上エンジン試験におけるそれとを示す。各プロットの上部に、その傾きから読み取られる形状パラメーター(以下m値)を付記した。m値は、材料強度試験では4.7から5.9、台上エンジン試験では、12.4であった。

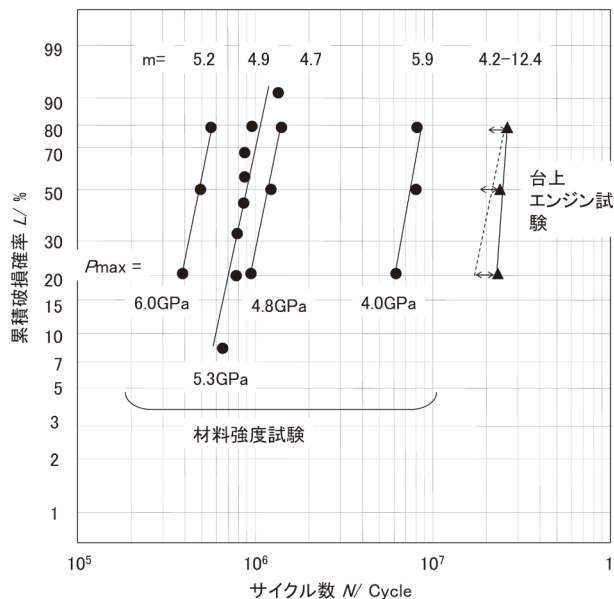


図7 試験結果のワイブルプロット

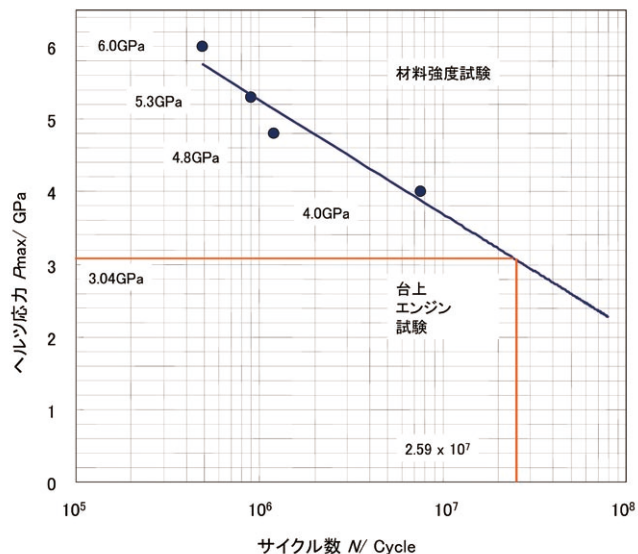
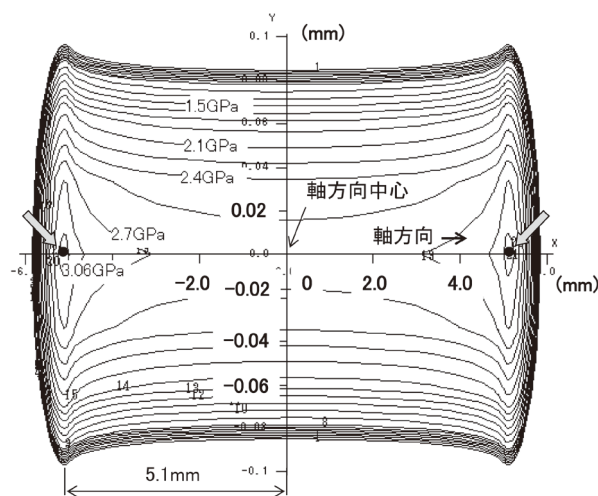


図8 L50 寿命における S-N 線図

材料強度試験の各ヘルツ応力でのワイブルプロットから、それぞれのL50寿命を求め、寿命-ヘルツ応力線図(以下、S-N線図)を作成した(図8)。これにより、任意のヘルツ応力での、L50寿命を計算することができる。このS-N線図は、式(1)で近似される。

$$P_{max} = -0.682 \ln N + 14.68 \quad (1)$$



最大ヘルツ応力 (3.06GPa) 発生部を太い矢印で示す

図9 クランクピン / ベ어링接触部の応力分布



### 4.3 FEMによるヘルツ応力解析結果

図4に示したクランクピンとベアリングの接触状態にて、FEMを用いてクランクピン表面のヘルツ応力を解析した結果を、図9に示す。軸方向中心から5.1mmの位置で、最大3.06GPaの応力が発生する結果となった。この位置は、図4(c)で示したように、ベアリングのクラウニング端の位置に相当する。

## 5 考察

### 5.1 材料強度試験と台上エンジン試験の相関

図7および図8より、材料強度試験結果と、台上エンジン試験結果の相関について検討した。

台上エンジン試験の寿命サイクル数には、試験方法の項で述べた通り、 $4 \times 10^6$ サイクル以内の遅れが含まれている。そのため、そのワイブル分布は、図7中の矢印の範囲で誤差を含んでおり、m値に注目すると、最小で $m=4.2$ (図7中破線)となる可能性がある。

台上エンジン試験結果において、実測値(図7実線)に基づいたL50寿命は、 $2.59 \times 10^7$ サイクルである。このL50寿命から、材料強度試験によるS-N線図(図8)の式(1)を用いて算出したヘルツ応力は、3.04GPaである。一方、FEM解析結果(図9)からは、最大のヘルツ応力は3.06GPaと計算され、その発生位置は、台上エンジン試験でフレーキングが発生した位置とほぼ同じである。

最大のヘルツ応力値および、その発生位置が、材料強度試験から算出した結果と、FEM計算結果との間で、ほぼ一致することから、間接的にはあるが、台上エンジン試験結果を、材料強度試験結果から推測できる可能性が示された。これにより、例えばクランクピンの材料や熱処理が変更された場合、その材料強度試験によるS-N線図を求めることにより、L50寿命を求められると考えられる。

### 5.2 実走行車両のクランクピン寿命推定

最後に、市場などで実走行している車両における、クランクピンの寿命の推定方法について検討する。実走行車両では、台上エンジン試験と同じエンジンを使っているにもかかわらず、破損確率が極めて低い。これに対応するために、以降の考察については、ワイブル分布の外挿は可能であると仮定し、低破損確率での寿命を扱う(図10)。

実走行車両について考察する上での課題は、最大ヘルツ応力が発生したサイクル数を数えられないことである。そのため、材料強度試験や、台上エンジン試験の結果に対して、寿命サイクル数を直接比較することができない。一方、実走行車両では、積算走行距離をトリップメーターから読み取ることができる。そこで、クランクピンが寿命にいたる走行距離がワイブル分布に従うと仮定して、プロットした結果を、図10に白丸で示した。なお、この数値は、手法説明のための仮のものである。

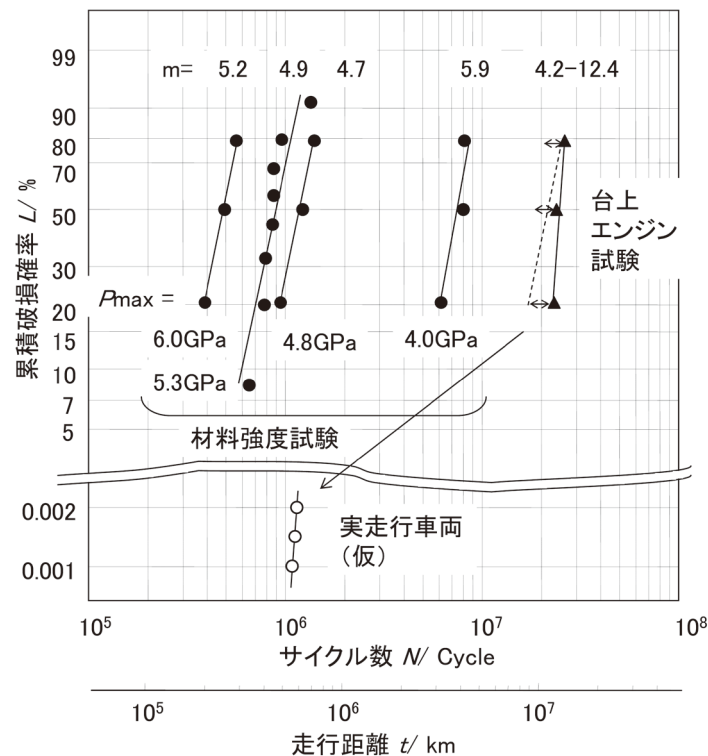


図 10 実走行車両の寿命推定

実走行車両と台上エンジン試験では、同じエンジンを用いているため、発生する最大ヘルツ応力は同じであり、寿命サイクル数に対する $m$ 値も同じであると予想される。この仮定の上で、実走行車両の $m$ 値が、台上エンジンテストの $m$ 値と同じになるように、走行距離をサイクル数に換算し、軸を合わせた結果を、図10に示す。このようにして、実走行車両の寿命走行距離を、台上エンジン試験を介して、材料強度試験の寿命サイクル数から推定することが可能となる。

この推定手法は、クランクピンの直径を小さくし、最大ヘルツ応力が大きくなった場合の寿命推定に活用することが出来る。例えば、図10で、最大ヘルツ応力が4GPaのワイブル分布を外挿すると、L0.001寿命は $3 \times 10^5$ サイクルであり、これは走行距離 $1.5 \times 10^5$ kmに相当する。つまり、ヘルツ応力を4.0GPaに増加させると、実走行車両の0.001%が、 $1.5 \times 10^5$ kmでクランクピンにフレーキングが発生することになると推定される。

## 6 おわりに

実走行車両のクランクピンの寿命走行距離を、材料強度試験結果から推定する方法について述べた。今後、設計変更によりヘルツ応力が変わった場合や、高強度材料を採用した場合の寿命推定手法として活用しながら、データの積み上げにより、推定精度をさらに向上させていきたい。

## ■謝辞

材料強度試験にあたり、貴重な助言をいただいた山陽特殊製鋼株式会社の平岡和彦氏に謝意を表します。

## ■参考文献

- 1) H. Yamagata: The Science and Technology of Materials in Automotive Engines, Woodhead Publishing, Cambridge, (2005), p166.
- 2) T. Kubota, Y. Yamashita, T. Yamagata: SAE Technical Paper Series, No. 2007-32-0085, 2007.
- 3) 久保田剛, 山下恭幸: 日本品質管理学会研究発表会発表要旨集, 87, (2008), p57.
- 4) J. Brandlein, P. Eschmann, K. Weigand, and L. Hasbargen: Ball and Roller Bearings (Theory, Design and Application), Wiley, (1999).
- 5) 梶井邦彦: トライボロジスト, 36, 6(1991), p566.

## ■著者

久保田 剛 Tsuyoshi Kubota  
技術本部 生産技術統括部 材料技術部

山下 恭幸 Yasuyuki Yamashita  
製品保証本部 コーポレート品質保証部



# 二輪車乗車時における メンタルワークロード評価手法の基礎検討

Fundamental study of methods for evaluating mental workload  
in motorcycle riding

大本 浩司 米田 圭祐 吉倉 肇 八木 昭宏

## Abstract

In recent years IT has brought advances to motorcycles as it has in other industries. In the area of ASV(Advanced Safety Vehicle) and the use of IT devices to provide riders with information during riding, there is now a need to objectively evaluate the mental workload (MWL) involved in this information supply in order to help optimize the amount of information supply and its timing. However it is difficult to measure the constantly changing MWL by means of subjective indicators. To deal with this issue, we used a combination of physiological and behavioral indicators to construct a time sequenced and more objective evaluation method to measure MWL. For the physiological indicator we used event-related potentials (ERPs), which directly reflects the brain's information processing activity. For the behavioral indicator we used dual-task performance of "a tracking task as the main task" and "a peripheral detection task (PDT) as the secondary task", in which the dual-task was regarded as simplified motorcycle operations. In our experiments we utilized simultaneous measurements of "visual ERP (P300) via a device built into the helmet" and "dual-task performance which is the number of tracking error and the rate of correct detection of the target LED lighting". The experiment's objective was to test the effect of varying degree of the MWL on the respective indicators. As a result, we were able to verify the effectiveness of this MWL evaluation method and clarify the constraints involved.

## 要旨

近年、二輪車においても情報化が進展している。安全性を確保するためには、ライダーの情報通信機器の利用に伴う負担レベル(メンタルワークロード; MWL)を客観的に評価して、ライダーに提示する情報の量やタイミングを最適化する必要がある。しかしながら、主観指標では、時々刻々と変化するMWLを測定することは難しい。これに対して、我々は、生理指標と行動指標を併用することで、時系列で客観的にライダーのMWLを測定する評価手法を構築した。生理指標としては、脳の情報処理過程を直接反映する事象関連電位を用いる。行動指標としては、二輪車の操縦を単純化した二重課題として、主課題のトラッキング課題と副次課題の検知反応課題の作業成績を用いる。本研究では、ヘルメットに組み込んだデバイス等により「事象関連電位の視覚P300」と「二重課題法によるトラッキングエラーとLEDに対する正答反応率」を同時計測し、MWLの程度が各指標に及ぼす影響を実験的に検証した。その結果、このMWLの評価手法の有効性を確認でき、その制約事項も明らかにできた。



## 1 はじめに

近年の情報通信技術の進展により、ITS (Intelligent Transport Systems)やASV (Advanced Safety Vehicle)のような情報化が進み、二輪車でもナビゲーションシステム等の情報通信機器が利用され始めた。しかし、情報通信機器を利用するライダーが処理できる情報量には限界があり、過剰な情報提供は見誤り、誤判断、誤操作を招くことになる。新しい情報通信機器を開発する際には、ライダーの情報処理への影響を踏まえて設計する必要がある。そのためには、ライダーの情報処理過程(認知・判断・操作)におけるメンタルワークロード(MWL)を定量的かつ時系列で評価できる指標が必要である。

本研究では、注意の処理資源モデルに基づいて、MWLを定義する。注意の処理資源モデルとは、覚醒水準等によって規定される情報処理資源を視覚、聴覚、触覚など各モダリティにおける情報処理や運動制御に分配し、各々に分配された処理資源の量に従って処理精度が決定されることを仮定している理論である<sup>1)</sup>。例えば、二輪車を運転しながらハンズフリーの携帯電話で会話する場合、運転に必要な処理資源と会話に必要な処理資源が必要となる。両方を合わせた処理資源がライダーの処理できる容量を超えると、運転行動に何らかのヒューマンエラーが発生しやすくなり、事故につながる可能性が高くなる。このように考えると、MWLは、情報処理の負担レベルと言い換えることができる。情報処理の負担レベルが容量を超えているか、容量内で収まっているかを測ることができれば、ライダーへの過剰な情報処理負担を避けることで、ヒューマンエラーを低減することが可能となり、事故の発生を減らすことができると考えられる。

MWLの評価技術としては、情報処理の負担レベルが高まった場合に視野狭窄になっているかどうかを眼球運動計測技術により評価する方法や、情報処理に影響するような緊張状態であるかどうかを生体計測技術により評価する方法などがある。しかし、これらの方法には、「視線をある対象に向けたとしても、適切に情報が処理されとは限らない」、「心拍や皮膚電気活動などの自律神経系の生体反応は、反応が遅く、間接的にしか情報処理過程を推定できない」、等の問題があり、MWLの時間変化を定量的に捉えることが難しい。これらの問題を解決する為に、脳で行われる情報処理過程を直接反映する評価方法が必要であると考えられる。本研究では、こうした背景のもと、特に脳の情報処理過程に焦点をあて、ライダーのMWL評価方法について検討した。

## 2 事象関連電位 (Event Related Potential : ERP) によるMWLの評価技術

ERPは、脳波の一種で、外的あるいは内的な事象に関連する脳電位である。ERPは、脳の情報処理過程を直接反映する指標であるので、アイカメラ等で計測可能な表出行動には表れない心的過程の分析が可能であると考えられる。MWLに関する研究では、注意(処理資源)の観点から、視覚や聴覚刺激に対するERPを用いてユーザの情報処理に伴うMWLを評価する手法が提案されている<sup>2)</sup>。研究事例としては、複合的トラッキング作業におけるMWLをERPによって評価する筆者らの研究がある<sup>3),4)</sup>。この研究では、トラッキング課題(車線保持や車間維持を単純化した知覚 - 運動系の課題)を遂行中に、数値課題(道路標識の認識やナビゲーションなどの情報通信機器の利用に伴う情報認識を単純化した知覚 - 中枢

系の課題)を遂行し、さらに聴覚オドボール課題(周波数の異なる3つの純音がランダムな順序で提示され、その中からターゲット音を検知する課題)を遂行した際に、トラッキング課題、数的課題のそれぞれの難易度によって、事象関連電位の聴覚P300がどのような反応を示すかを実験的に検討している。聴覚P300は、聴覚オドボール課題のターゲット音の提示時点を基準として、主に図1に示す頭頂部(Pz)から導出される脳波を加算平均すると、ターゲット音の提示時点から約300ms後に出現する陽性成分である。実験の結果、知覚 - 運動系と知覚 - 中枢系それぞれにおいて、負荷が大きくなる(処理資源の分配量が増す)と聴覚P300のピーク振幅が低減することが示されている。この結果より、聴覚P300は知覚 - 運動系ならびに知覚 - 中枢系のMWLを総合的に評価できる指標であると考えられる。

以上のことから、ライダーのMWLを事象関連電位で評価する際には、聴覚P300を評価指標として用いることで、情報通信機器の利用に伴う知覚 - 中枢系のMWLを時系列で客観的に評価できると考えられる。しかし、二輪車における情報通信機器の利用場面を想定すると、音刺激の提示を必要とする聴覚P300をMWLの指標として用いることは難しい。「二輪車は機器の設置スペースが狭い」、「ライダーはヘルメットを装着する必要があるため視野が狭まる」等の理由から見やすい位置に視覚情報提示機器を設置しにくい。また、ライダーはグローブを装着する必要があるため手指による機器の操作性が悪く、四輪車に比べるとカーナビ等の視認操作系を主とする情報通信機器を利用しにくい。二輪車は、携帯電話によるハンズフリーの音声対話や音声認識技術を活用したナビゲーションシステムなど、音声インタラクションを主とする情報通信機器との親和性が高いと考えられる。よって、二輪車を想定した実験では、聴覚系の情報処理負荷と同一モダリティとなる聴覚P300を評価指標として用いるのではなく、聴覚系の情報処理と干渉しないLED発光による光刺激を用いたオドボール課題によって計測する視覚P300を評価指標として用いるべきであると考えられる。そのため、本研究では、トラッキング作業中に聴覚系を主とする知覚 - 中枢系のMWLと視覚オドボール課題を被験者に課し、視覚P300によって聴覚系を主とするMWLを評価する手法を検討した。

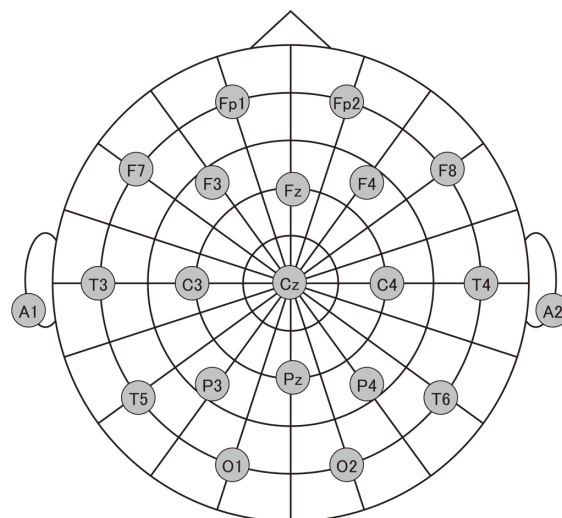


図1 国際 10-20 法による電極配置図

### 3 視覚P300を用いたMWLの評価事例

#### 3.1 被験者

被験者は、右利きの視力と聴力が正常な学生16名(男性8名、女性8名：平均年齢21.6歳)であった。実験では、計測データへのノイズ混入、実験手順の誤り、被験者の訴えによる実験中断によって、5名分のデータ欠損が生じた。データ解析では、11名分の有効データを対象に解析を行った。

#### 3.2 実験課題(被験者に課したタスク)

実験課題は、3種類の課題(トラッキング作業課題、視聴覚刺激の提示課題、視覚オドボール課題)を同時に実施することであった。各課題の優先順位は、1＝トラッキング作業課題、2＝視聴覚刺激の提示課題、3＝視覚オドボール課題であった。被験者は椅子に着座して、図2に示すインターコミュニケーションシステム(サインハウス社製、B+Com SB213)を設置したヘルメット(弊社製、YF-5)を装着して、ディスプレイ(VDC Display Systems 社製 Marquee)から視認距離が約274cmとなる状態で、下記の課題を実施した。実験室内の照度は、72Lxに保たれた。



図2 インターコミュニケーションシステムを設置した実験用ヘルメット

##### 3.2.1 トラッキング課題

トラッキング作業課題は、知覚 - 運動系の負荷課題として設定した。具体的には、100 inchディスプレイ(VDC Display Systems社製、Marquee)のポジティブスクリーン上(白色)をランダムに約2.5°/sのスピードで移動するターゲット( $\phi=0.63^\circ$  黒色)を追尾枠(一辺=4.12°)から逸脱しないように、追尾枠をトラックボールで移動させる作業であった。被験者は、トラックボールを右手で操作した。



### 3.2.2 視聴覚刺激の提示課題

視聴覚刺激の提示課題は、知覚 - 中枢系の負荷課題として設定した。具体的には、AU(Auditory Utterance)条件、VU(Visual Utterance)条件、AA(Auditory Addition)条件、Mu(Music)条件、Co(Communication)条件、None条件の6条件であった。AU条件は、ヘルメット内臓のスピーカから3.0s間隔で提示される0 - 9の一桁数字を追唱する条件であった。VU条件は、トラッキング画面に提示される0 - 9の一桁数字を追唱する条件であった。数字は、周辺視野領域にランダムな位置に提示され、大きさは、約1°であった。ターゲットからの距離は最短で10°、最長で30°であった。図3のようにターゲットの周辺の灰色部分に提示された。数字の提示時間は1.0sであり、提示間隔は2.0sであった。AA条件は、ヘルメット内臓の左右のスピーカから3.0s間隔で提示される0 - 9の一桁数字を足し算する条件であった。足し算は、「一つ前に提示された数字」を「次に提示された数字」に足した結果の一桁のみを口答する条件であった。Mu条件は、ヘルメット内臓の左右のスピーカから提示される楽曲を聴取する条件であった。楽曲は、あらかじめ実験者が用意した8種類の楽曲を被験者が聞き、好みの楽曲を1曲選定した。楽曲は、アップルジャパン株式会社が運営する音楽ダウンロードサイトiTunesストア<sup>5)</sup>のダウンロードランキング上位50位の中から、ジャンルごとに最も順位の高い曲(2008年7月14日16時30分時点)を選定した。Co条件は、エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社が提供する音声情報提供サービス「Vポータル」<sup>6)</sup>の音声認識ゲーム「ハイ&ロー」で音声対話する条件であった。None条件は、各条件の負荷レベルを比較するためのコントロール条件で、視聴覚の刺激は提示されなかった。つまり、トラッキング課題と視覚オドボール課題のみを遂行する条件であった。なお、AU条件、VU条件、AA条件では、5分間に100個の数字が提示された。

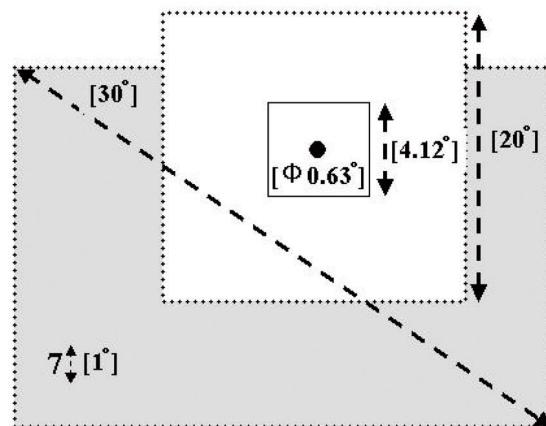


図3 トラッキング画面と表示領域

### 3.2.3 視覚オドボール課題

視覚オドボール課題は、視覚P300を計測するための課題として設定した。被験者は、図2のようにヘルメットの開口部下部に取り付けられたLEDの発光に対して、左手に持ったスイッチの押下により反応した。LEDの設置位置は、被験者の各眼球の中央(開口部下部上)となるように調整された。図4に、視覚オ



ドボール課題による視覚P300の測定手法を示す。LEDの発光色は、青と白の2種類であった。青は20%、白80%の割合でランダムに点灯した。LEDの発光間隔は700msであり、低頻度の青色LEDは連続して点灯しないように設定した。被験者は、低頻度の青色LEDが点灯した場合に反応した。

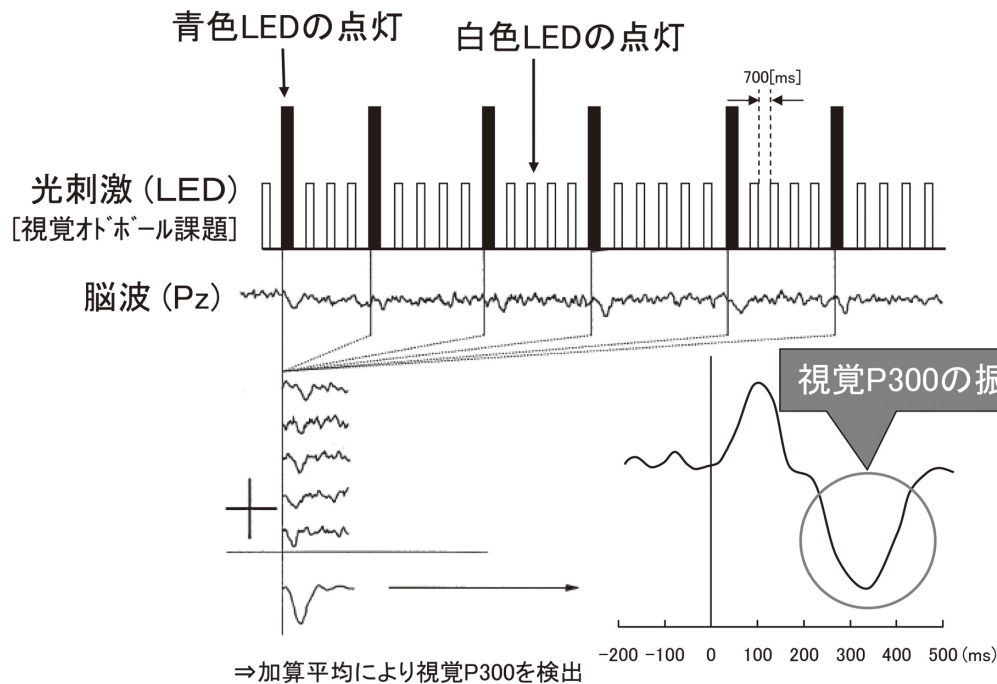


図4 視覚オドボール課題による視覚 P300 の測定手法

### 3.3 実験手順

被験者は、トラッキング作業課題、視聴覚刺激の提示課題、視覚オドボール課題の優先順位に従って、各課題をできるだけ正確に、かつ迅速に実施することが求められた。視聴覚刺激の提示課題は、6条件あるので、各条件の試行順序はランダムとし順序効果を排除した。各条件の作業時間は、5分間であり、合計30分の課題を行った。

### 3.4 評価指標

知覚 - 中枢系の各種情報処理の負荷が及ぼす影響を検証するために、生理・行動・主観指標によって多面的に検討した。

#### 3.4.1 生理指標(視覚P300)

視覚P300は、青色LEDが発光した時点で脳波を加算平均することで検出した。脳波は、頭頂部(Pz)から銀 - 塩化銀電極(日本光電製、NE-512G)により両耳朶結合を基準として単極導出し、生体アンプ(日本光電製、Multichannel Amplifier MEG-6116)によって増幅した。瞬きや眼球運動によるノイズを除去するため、水平・垂直の眼電位もあわせて銀 - 塩化銀電極(日本光電製、NT-512G)により双極導出で計測した。サンプリング周波数は500Hzとし、Low Cut Filter 0.08Hz、High Cut Filter 30Hz、Hum Filter

ONで計測した。視覚P300の指標としては、潜時が200-700msの陽性電位成分のピーク振幅を用いた。青色LED発光時点を基準として、基準前200msから基準後700msの範囲内に瞬目あるいは大きな眼球運動が発生した場合には、加算平均の対象から除外した。

### 3.4.2 行動指標(トラッキングエラー、オドボール課題の正反応率)

トラッキングエラーは、ターゲットが追尾枠から逸脱した回数と、逸脱した時間の合計を累積逸脱時間として計測した。逸脱は、ターゲットが1ドット以上外れる時間が100msを超えた場合を判定基準とした。ターゲットの座標は、10msごとに計測した。

オドボール課題の正反応率は、青色LEDが発光して、次のLEDが発光するまでの700msの間に被験者がスイッチを押した場合を正反応とし、正反応数を青色LEDの発光回数で除した値をオドボール課題反応率とした。

### 3.4.3 主観指標(NASA - TLX)

メンタルワークロードの主観指標として、日本語版NASA-TLX<sup>7)</sup>を用いた。総合得点の算出には、簡易手法であるAWWL(Adaptive Weighted Workload)手法<sup>8)</sup>を用いた。

## 3.5 実験結果と考察

### 3.5.1 生理指標(視覚P300)

図5に各条件で得られた視覚P300の加算平均波形を示す。この波形の約300ms以降の陽性成分が視覚P300の反応であり、そのピーク値を被験者ごとに求めた。この波形は、青色LEDへの反応課題に正しく反応した場合に、青色LEDの点灯時点を基準に脳波を加算平均した結果である。図5より、全ての条件で視覚P300が検出されていることが分かる。

図6に、各条件における平均振幅とその標準偏差を示す。図6から、特にAA条件とCo条件でピーク振幅が低減している。そこで、各条件におけるピーク振幅について、被験者内計画の分散分析を行った。その結果、条件の主効果が認められた( $F(5,50)=9.59, p<.01$ )。下位検定として、多重比較検定(ホルム法)を行ったところ、「AA条件、Co条件」と「AU条件、VU条件、Mu条件、None条件」の間に5%水準で有意差が認められた。AA条件とCo条件は、他の条件に比べて、視聴覚刺激の提示課題に対する処理資源の配分量が増し、知覚 - 中枢系のMWLが高くなったと考えられる。一方、音楽聴取(Mu条件)や記憶を伴わない数字の追唱(AU条件、VU条件)は、コントロール条件(None条件)との差が認められなかったため、知覚 - 中枢系のMWLは高くなかったと考えられる。

しかし、同じトラッキング課題を用いた筆者らの実験<sup>3)</sup>では、「VU条件」と「None条件」のMWLの違いを聴覚オドボール課題で計測した聴覚P300で検出することができた。この結果は、聴覚オドボール課題と視覚オドボール課題では、被験者に要求するMWLは同じであるが、視覚オドボール課題ではトラッキングのターゲットの位置によってLED点灯を視認できない時があり、視覚オドボール課題に費やす資源は相対的に少なくなっていることが原因であると考えられる。また、今回の実験では、「AU条件」と「None条件」のMWLの違いも認められなかった。この結果は、Wickensが提唱する多重資源モデル<sup>9)</sup>によって説明できる。多重資源モデルでは、視覚と聴覚では異なる資源が存在し、同一モダリティ内の課題を同時に遂行すると干渉すると指摘している。AU条件は、「聴覚的に提示される一桁数字の読み上げ」と「視覚的に提示される青色LEDの発光に対して反応する」という2つの知覚 - 中枢系のMWLがあり、情報処理に必要な資源が異なったので、MWLの影響を検知できなかったと考えられる。

以上の結果から、視覚刺激に伴う知覚 - 中枢系のMWLを計測する際には聴覚P300を指標とし、聴覚刺激に伴う知覚 - 中枢系のMWLを計測する際には視覚P300を指標として利用するのが有効であると考えられる。

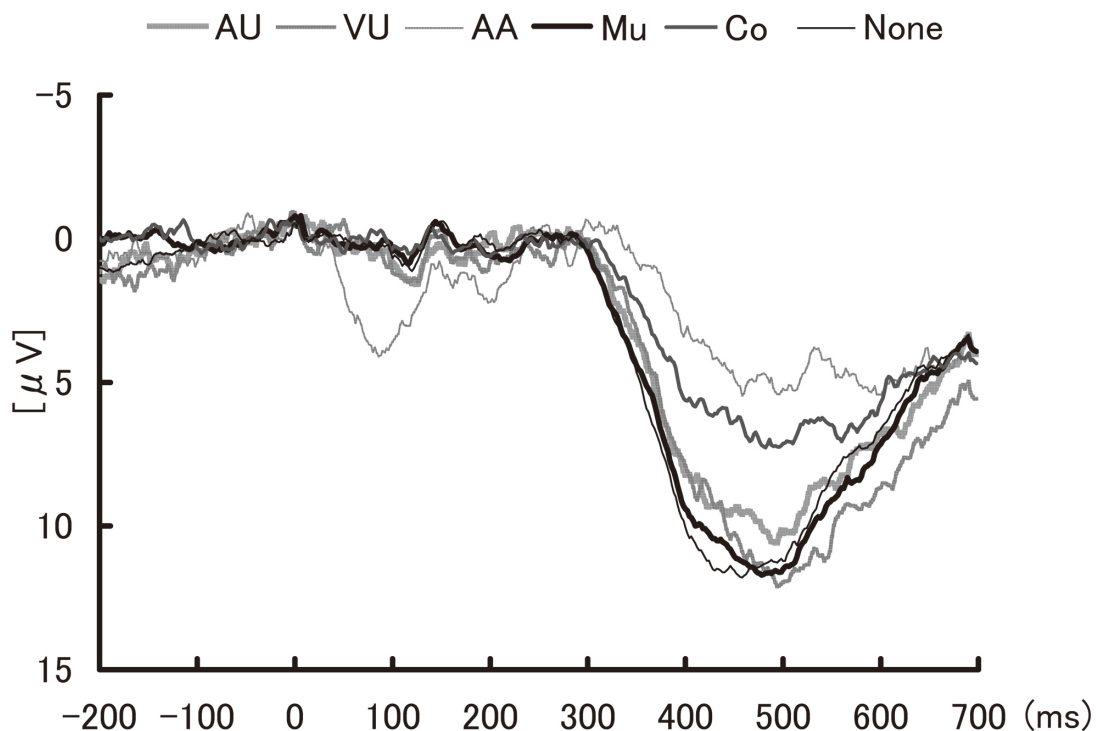


図5. 各条件で得られた視覚 P300 の加算平均波形

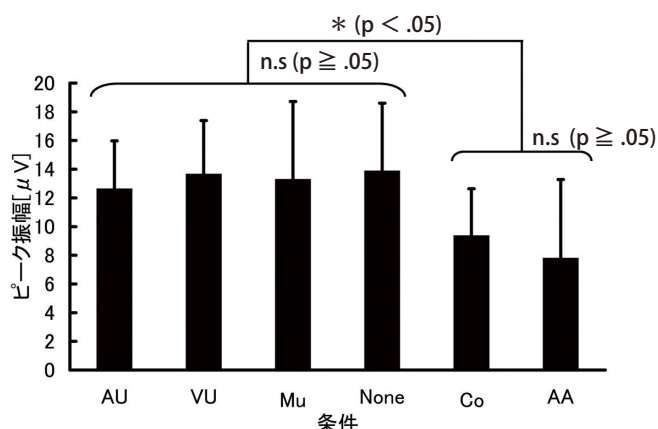


図 6. 各条件における視覚 P300 のピーク振幅 (平均値±標準偏差)

### 3.5.2 行動指標(トラッキングエラー、視覚オドボール課題の正反応率)

各条件におけるトラッキング課題の逸脱回数を図7に、累積逸脱時間を図8に示す。各条件で5分間の課題中に平均15回程度の逸脱があり、累積逸脱時間は平均5.0s以下であった。各条件のトラッキング課題は全く同じであったので、条件差も認められず、同程度の負荷であったと考えられる。

各条件における視覚オドボール課題の正反応率を図9に示す。視覚オドボール課題は、優先順位の最も低い課題であるので、他の課題を遂行するために多くの処理資源が配分されると正反応率が低下する。図9より、視覚オドボール課題の正反応率は、条件間で差が認められる。そこで、各条件における正反応率について、被験者内計画の分散分析を行った。その結果、条件の主効果が認められた( $F(5,50)=25.18, p<.01$ )。下位検定として、多重比較検定(ホルム法)を行ったところ、「AA条件」と「Co条件、VU条件」と「AU条件、Mu条件、None条件」の間に5%水準で有意差が認められた。視覚P300の結果ではVU条件のMWLを検出することはできなかったが、視覚オドボール課題の正反応率の結果からはVU条件のMWLが検出できているように見える。しかし、VU条件では、トラッキング画面に表示される数字を視認する時に、青色LEDの点灯を見落とす可能性がある。よって、正反応率が低いからといって、知覚 - 中枢系のMWLが高いとは判断できない。

以上の結果から、単純なトラッキングと視覚オドボール課題を同時に計測することで、視聴覚刺激の提示課題に伴う知覚 - 中枢系のMWLを評価できることが分かった。AA条件とCo条件の間にも有意差が認められていることから、感度のよい評価指標であると考えられる。しかし、VU条件のように視覚情報の提示と視覚オドボール課題を併用すると、同一モダリティに複数の視覚情報が提示されることになるので、知覚 - 中枢系のMWLが高いために正反応率が低下しているのか、単純に視認してないために正反応率が低下しているのかを判断することができない。視覚P300の結果も踏まえて、総合的にMWLを判断する必要があると考えられる。



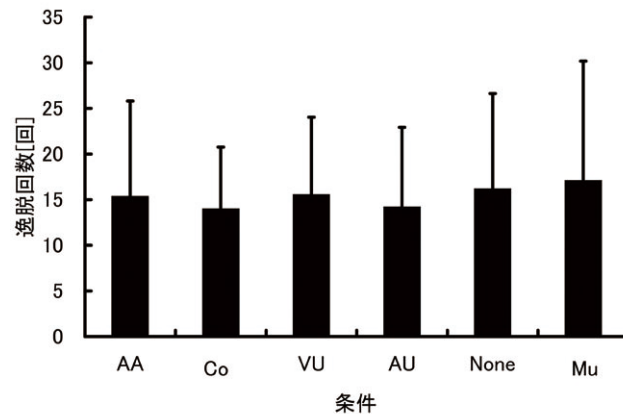


図 7. 各条件におけるトラッキング逸脱回数（平均値±標準偏差）

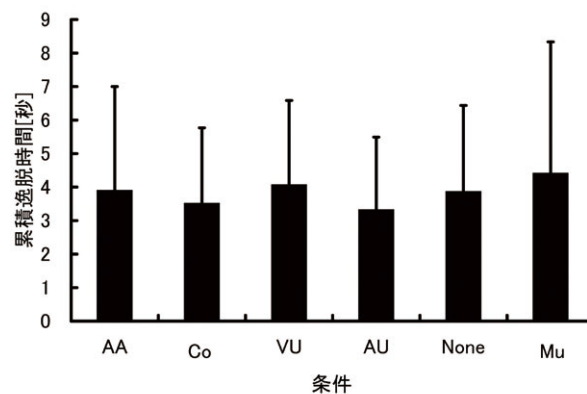


図 8. 各条件におけるトラッキング累積逸脱時間（平均値±標準偏差）

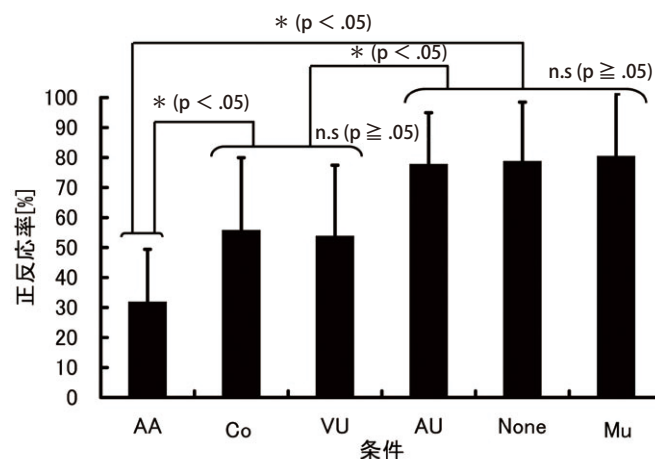


図 9. 各条件における視覚オドボール課題の正反応率（平均値±標準偏差）

### 3.5.3 主観指標(NASA-TLX)

各条件におけるNASA-TLXの総合得点 (AWWL) を図10に示す。総合得点は、得点が高いほど主観的な負担感が高いことを表している。図10より、AA条件の負担感が最も高く、次にVU条件の負担感が高いと認められる。そこで、各条件における総合得点について、被験者内計画の分散分析を行った。その結果、条件の主効果が認められた( $F(5,50)=17.94, p<.01$ )。下位検定として、多重比較検定(ホルム法)を行った

ところ、「AA条件」と「他の条件」の間、および「VU条件」と「Mu条件、None条件」の間に5%水準で有意差が認められた。

AA条件は、視覚P300と視覚オドボール課題でも同じ結果であるので、知覚 - 中枢系のMWLが高いと考えられる。VU条件は、視覚P300では知覚 - 中枢系のMWLを検知できなかったが、聴覚P300を指標とした実験では、None条件に対して知覚 - 中枢系のMWLが高いと判断できた。一方で、トラッキング画面に表示される数字を視認する時に、青色LEDの点灯が検知しにくいので、視覚オドボール課題の難易度が上がり、主観的な負担感を増したとも言える。VU条件の主観的な負担感は、「知覚 - 中枢系のMWLの増加」と「視覚オドボール課題の難易度の増加」の両方が影響していると考えられるが、どちらの負荷が負担感にどの程度影響しているかは判断できない。Co条件は、視覚P300と視覚オドボール課題の作業成績から、知覚 - 中枢系のMWLが他の条件より高いと判断できるが、主観的な負担感にはNone条件と同程度であった。この結果は、Co条件のような音声対話に伴うMWLを主観的に評価することが難しいことを示している。

以上の結果から、主観評価で知覚 - 中枢系のMWLを評価できる場合もあるが、知覚 - 中枢系のMWL以外の影響を受けることや、音声対話のような主観的に負荷レベルを意識しにくい課題もあることから、主観評価を単独で評価指標として用いるのは問題であることが分かった。各種情報処理に伴うMWLは、主観評価のみで評価するのではなく、生理指標や行動指標と合わせて、総合的に評価する必要があると考えられる。

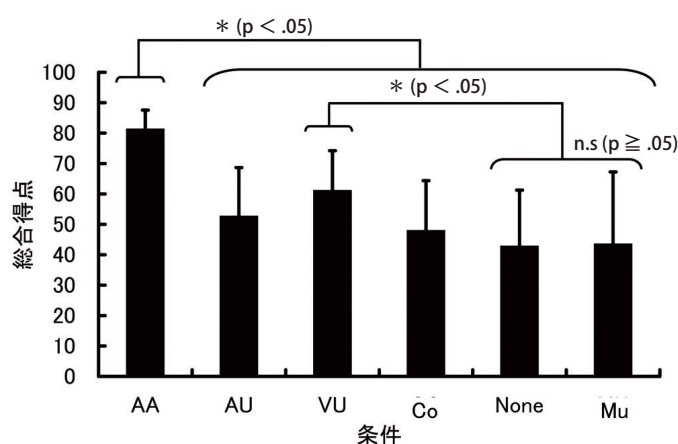


図 10. 各条件における NASA-TLX の総合得点 [AWWL] (平均値 ± 標準偏差)

## 4 おわりに

本論文では、単純なトラッキング作業中に各種視聴覚刺激を提示することによって、MWLの程度を操作し、生理(視覚P300)、行動(トラッキングエラー、視覚オドボール課題の正反応率)、主観指標(NASA-TLX)を用いて多面的な評価を実施した。その結果、視覚P300は、聴覚情報処理に伴う知覚 - 中枢系のMWLを時系列で客観的に推定する指標として有効であることが分かった。一方で、視覚情報処理に伴う知覚 - 中枢系のMWLは、同一モダリティではない聴覚P300を用いるべきであると考えられた。二重課題法による行動指標は、知覚 - 中枢系のMWLを感度よく測定できる指標であることが分かったが、行動

指標のみでは知覚 - 中枢系のMWLであるのかどうかを判断できず、視覚P300の結果と照らし合わせる必要があることも分かった。主観評価は、行動指標と同じく、単独利用では知覚 - 中枢系のMWLを正しく評価できないことが分かった。これらのことから、ライダーの各種情報処理に伴うMWLを評価する際には、従来の主観指標に加えて、生理指標と行動指標を併用するのが有効であると言える。今後は、このような多面的な評価手法が二輪車のHMI (Human Machine Interface) 評価に活用できるのか、ライディングシミュレータ上で検証し、開発用の評価ツールとして活用していきたい。

## ■謝辞

本研究は、関西学院大学との共同研究であり、同大学の学生の方々から多大なるサポートをいただきました。この場を借りて、厚くお礼申し上げます。

## ■参考文献

- 1) Kahneman, D.: Attention and effort, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall (1973)
- 2) Kramer, A.F., & Weber, T.: Application of psychophysiology to human factors, In J. T. Cacioppo, L.G. Tassinary, & G.G. Berntson (Eds), Handbook of psychophysiology, 2nd ed, New York, Cambridge University Press, 794-814 (2000)
- 3) 大本浩司, 高橋励, 藤本清, 高橋秀明, 黒須正明, 八木昭宏: 複合的トラッキング作業における眼球停留関連電位と聴覚的P300の比較, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.10 No.2, p39-47 (2008)
- 4) 大本浩司, 高橋励, 藤本清, 高橋秀明, 黒須正明, 八木昭宏: 事象関連電位によるメンタルワークロードの評価, 人間中心設計機構誌, Vol.5 No.1, p29-37 (2009)
- 5) <http://www.apple.com/jp/itunes/>
- 6) <http://www.ntt.com/v - portal/>
- 7) 芳賀繁, 水上直樹: 日本語版NASA-TLXによるメンタル・ワークロードの測定; 各種室内実験作業の困難度に対するワークロード指標の感度, 人間工学, 32(2), p71-79 (1996)
- 8) 三宅晋司, 神代雅晴: メンタルワークロードの主観評価法-NASA-TLXとSWATの紹介および簡便法の提案, 人間工学, 29(6), p399-408 (1993)
- 9) Wickens, C, D: Multiple resources and performance prediction, Theoretical Issues in Ergonomics Science, 3, p159-177 (2002)

## ■著者



大本 浩司  
Hiroshi Daimoto  
技術本部研究開発統括部  
システム技術研究部



米田 圭祐  
Keisuke Yoneta  
技術本部研究開発統括部  
システム技術研究部



吉倉 肇  
Hajime Yoshikura  
技術本部研究開発統括部  
システム技術研究部



八木 昭宏  
Akihiro Yagi  
関西学院大学  
総合心理科学科



## 技術論文

# 多目的GAを適用したオンラインエンジン制御パラメータ適合手法の開発

An online engine control parameter optimization method using a multi-objective genetic algorithm

阪脇 篤 迫田 茂穂

### Abstract

In recent years it has become commonplace to outfit automobile engines with a variety of high-level control systems aimed at satisfying needs ranging from reducing emissions and improving fuel economy to improve drivability. Such control systems are also adopted now on Yamaha Motor products that feature fuel injection systems. However, in order for these control systems to fulfill their roles satisfactorily, there are problems of accuracy in the adaptation of suitable control parameters and optimization problems deriving from the fact that the increasing complexity of the control systems increases the number of parameter combinations exponentially. This makes it difficult to find optimum values with conventional adaptation skills. As a solution to these problems, we used a genetic algorithm to develop an adaptation method that involved searching for optimized solutions for multi-objective parameters online during the course of testing in an attempt to obtain task solutions. In this report we discuss the results of tests applying this method for the adaptation of multi-staged injection control and idling control, normally adopted on diesel engines, using parameters obtained by this method. The discussion includes evaluations of actual road tests.

## 1 はじめに

近年、自動車用内燃機関を取り巻く環境は、大気のクリーン化促進、地球温暖化抑止、原油高といった社会情勢を背景に、エミッション低減はもとより、CO<sub>2</sub>排出量の低減も要求され、年々厳しさを増している。また、商品性につながるドライバビリティも加えれば、複数の目的を同時に満足する制御器とパラメータ適合の重要性は極めて高い。しかし、多目的なパラメータの適合は、評価数がシステムの複雑さに応じ指数的に増加するため、探索が非常に困難となる問題を有している。これは、運転条件に応じて燃料をどのタイミングでどれくらい噴射すればよいのか、あるいは付随する機器をどのように動かせばよいかを考えれば想像は容易であろう。

この課題解決のひとつの提案として、実測で得られたデータから最適値を探索するという技術が挙げられ、次の問題が設定できる。

- ①いかに目的の真値となるパラメータに到達できるか？
- ②いかに高速に到達できるか？

そこで我々は、近年研究を進めている多目的遺伝的アルゴリズムによる探索理論に着目し、これらの問題をオンラインで解決する自動最適点探索手法の開発に着手した。なお、この探索技術開発には、適合パラメータが多い一般的なコモンレール(CR)ディーゼルエンジンを用いている。



## 2 多目的GAによるオンライン最適化

### 2.1 多目的最適化問題と多目的遺伝的アルゴリズム

我々は、実世界における最適化問題の多くは複数の対立する評価基準(目的関数)を満たすような合理解の集合であるPareto最適解を求める多目的最適化問題(Multi-objective Optimization Problems, MOP)に帰着できると仮定し、 $n$  変数  $m$  目的最適化問題を

$$\begin{aligned} & \min_x f(x) \\ & \text{subject to } x \in X = \left\{ x \in \mathbb{R}^n \mid g(x) \leq 0 \right\} \end{aligned}$$

と定義している。ここで  $x = [x_1 \cdots x_n]^T$  は  $n$  次元決定変数ベクトル、 $f(x) = [f_1(x) \cdots f_m(x)]^T$  は  $m$  次元目的関数ベクトル、 $g(x) = [g_1(x) \cdots g_l(x)]^T$  は  $l$  次元制約条件ベクトルである。また、 $f_i(x) \leq f_i(x^*)$ ,  $i=1, \dots, m$  を満たす  $x \in X$  が存在しないとき、 $x^* \in X$  をPareto最適解と呼ぶ。

MOPの解法として、線形加重和法(Linear Sum Method)や  $\varepsilon$ -制約法( $\varepsilon$ -constraint method)などのScalarization Methodが従来広く用いられているが、弊社では多目的遺伝的アルゴリズム(MOGA)をその解法の1つとして研究を進めている。また、適応度推定による多目的進化計算の加速を目的とした、Pre-selectionを提案している。これらの詳細は、参考文献<sup>[1],[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]</sup>を参照されたい。なお、本論文では制約条件付きMOPを扱えるように改良している。

## 3 3段噴射の最適化実験

### 3.1 実験装置

表1にエンジンの主要諸元、図1にシステム図を示す。本エンジンはベーン可変ターボ、EGRシステムを有するコモンレール直噴ディーゼルエンジンで、インジェクタはソレノイド式である。

表1 エンジン主要諸元

Engine type	Parallel 4 cylinder, DI DieselSOHC 8 valve
Displacement	1.4 L
Bore x Stroke	73 mm x 81 mm
Fuel injection	Common rail system Solenoid injector
Compression ratio	18

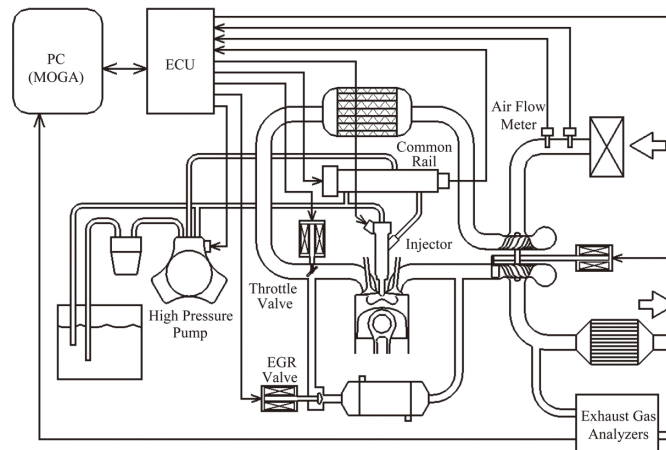


図1 エンジンシステム

表2 運転条件

Engine speed	1200 rpm
Torque	46 Nm
Coolant temperature	80 degree C

表2に実験条件を示す。本事例では3段噴射の最適化を3目的7変数の多目的最適化問題とし、以下のよう  
に設定した。

- 目的関数(計測値): NOxの最小化、SOFの最小化、SOOTの最小化。
- 決定変数(制御パラメータ): Main-Injection Location (MIL)、Pre-injection-MI Interval (PMI)、Pre Quantity (PQ)、Pilot-injection-Pre Interval (PPI)、Pil Quantity (PLQ)、Fuel Pressure (FP)、Fresh Air Mass (FAM)。

MILはメイン噴射のインジェクタ通電開始時期、PMIはメイン噴射とプリ噴射の通電開始時期の間隔、PQはプリ噴射の燃料噴射量、PPIはプリ噴射とパイロット噴射の通電開始時期の間隔、PLQはパイロット噴射の燃料噴射量、FPはコモンレールの燃料圧力である。FAMは新気の吸入量で、EGRバルブ、吸気スロットルバルブなどで調整される。通電時期や間隔を図2で示す。

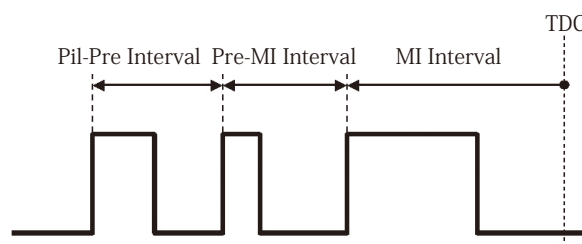


図2 噴射ロケーション

また、計測器やエンジンの保護のため、SOFやSOOT、HC、トルク変動がある上限を超えないように探索の制約を設けた。さらに、制御上の仕様で、制御パラメータの選び方によっては正常に3段噴射できない条件が

あるため、異常噴射となるような個体は探索しない制約も設けた。適合用コンピュータはエンジン制御ユニット(ECU)、排ガス分析計と通信しており、以下の手順で最適化を行う。

- (1)評価個体が切り替わるごとにECUに7つの制御パラメータを送信。
- (2)測定されたNO<sub>x</sub>、SOF、SOOTを一定周期で受信。
- (3)制約違反が無いかチェック。
- (4)制約違反があれば、制約違反を生じない初期設定個体に切り替え、一定時間後MOGAによる別の個体へ切り替える。
- (5)制約違反が無ければ、個体を切り替えてから一定時間のサンプリングデータを無視した後、所定の時間のデータの平均値を個体の適応度としてMOGAを実行。

MOGAは表3のように設定・実行し、210個体を探索した。その内、制約違反しない個体は125個であった。

表 3 MOGA 条件

Selection method	binary tournament selection
Mutation method	not used
Crossover method	UNDX [8]
Population size	50
Candidate offspring size	100
Evaluated offspring size	4

### 3.2 実験結果と考察

探索した個体の内、最終世代の50個体の目的の推定値の分布(◆)を図3～5に示す。それぞれ最終世代個体の推定値をNO<sub>x</sub>-SOF平面、NO<sub>x</sub>-SOOT平面、SOF-SOOT平面へ投影したものである。

図に示した個体群はパレート最適解の近似と考えてよい。NO<sub>x</sub>とSOOTのトレードオフの様子が特徴的である。パレート境界上ではNO<sub>x</sub>とSOOTの相関が強く、SOFは両者の関係に強く影響しないと言える。また、NO<sub>x</sub>

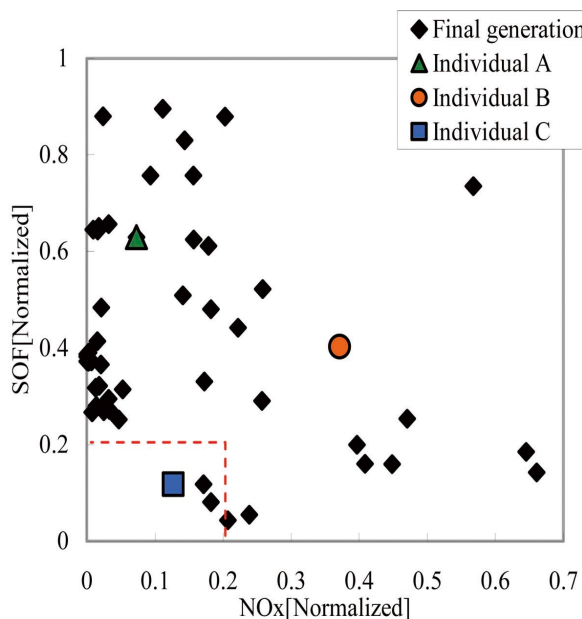


図 3 NO<sub>x</sub>-SOF 目的関数空間の最終世代分布

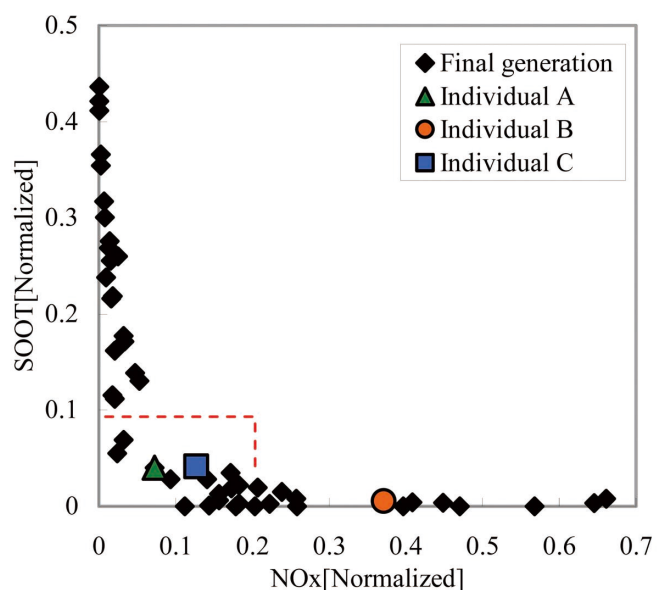


図 4 NO<sub>x</sub>-SOOT 目的関数空間の最終世代分布

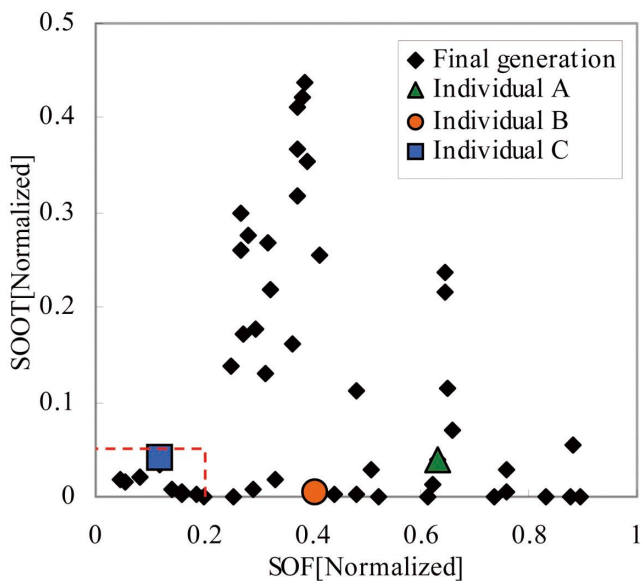


図 5 SOF-SOOT 目的関数空間の最終世代分布

とSOFのみに関しては両者の値が小さい領域にトレードオフの傾向が見られる。SOFとSOOTについては両者を同時に低減するような個体が存在しうることがわかる。

次に、7つの制御パラメータに対する3つの目的の分布(◆)を図6に示す。制御パラメータは探索範囲を0.0から1.0に正規化してある。図から以下の特徴が見て取れる。

### 3.2.1 新気吸気量の傾向

- (1)FAMはNO<sub>x</sub>と単調増加の傾向が強く、特にNO<sub>x</sub>を0.1以下に抑えられる個体はFAMが0.4以下の領域のみ。
- (2)他の制御パラメータにおいてはNO<sub>x</sub>を0.1以下にする個体は幅広い範囲に存在。  
これらよりNO<sub>x</sub>の抑制にはFAMの低減が効果的であることがわかる。
- (3)FAMとSOOTとは単調減少の傾向が強く、特にSOOTを0.05以下に抑えられる個体はFAMが0.6以上の領域のみ。
- (4)他の制御パラメータにおいてはSOOTを0.05以下にするような個体は幅広い範囲に存在。  
これらよりSOOTの抑制にはFAMの増加が効果的であることがわかる。

### 3.2.2 多段噴射の傾向

FAMが大きい領域のNO<sub>x</sub>、FAMが小さい領域のSOOTはバラつく傾向がある。さらにSOFとFAMには明確な相関が見受けられないため、3つの目的の同時低減には3段噴射の最適化が重要と考える。以下に噴射関連の制御パラメータの傾向を述べる。

- (1)PLQ及びPPIとSOFは、いずれも単調増加傾向。

制御パラメータが大きいことは早期に多量に燃料噴射することに相当し、その場合は燃料がピストンキャ



ビティの外に噴射されたりシリンダ内壁に付着して燃焼が抑制され、結果的にSOFが増えてしまう。この現象が再現されたと考えられる。

(2)PLQとSOOTの最大値は単調減少傾向。

本実験ではトルク一定の条件で運転しているため、PLQが増えると相対的にメイン噴射量が減る。メイン噴射でのSOOTの生成量が減り、結果としてこのような傾向となったと考えられる。

(3)PPIが0.4以上ではPPIとSOOTの最大値は単調減少傾向。

予混合の度合いを強めるとSOOTは生成されにくくなるという現象が再現されたと考えられる。

(4)MILとNO<sub>x</sub>の最大値は単調増加、MILとSOOTの最大値は単調減少傾向。

今回の探索範囲においてはメイン噴射を進角させるほど、筒内での熱発生ピークがTDCに近づき、すなわち燃焼温度が高くなったものと思われる。

FAMが同等な個体のうちNO<sub>x</sub>の出方が大きく異なるものとして個体Aと個体Bの2つを選択した。図3～6に個体Aを(▲)、個体Bを(●)で示す。この2個体は噴射の傾向が異なっており、この違いが燃焼温度に影響し、ひいてはNO<sub>x</sub>生成に影響したと推測される。この点を確認するため、両者の筒内の熱発生率を図7にて比較する。

このように個体Aの方がTDC近辺での熱発生が小さく、燃焼温度も低くなっていたと考えられる。また、この評価・探索に要した時間は約1.7時間程度であり、実用にも耐えうる時間であると考えている。

以上の考察より、MOGAによって得られた最終世代個体群は物理的に妥当な結果であり、計測器応答遅れの影響や測定ノイズなどの不確実性を含む実機環境においても提案する手法が最適化に有効であると言える。

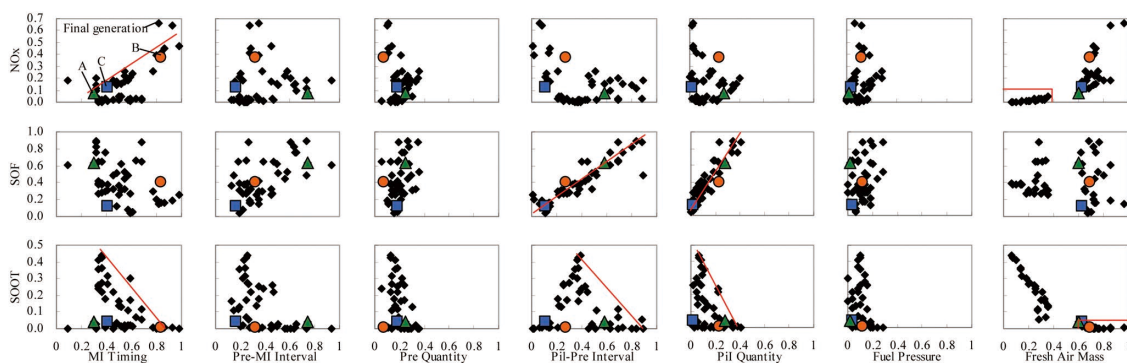


図 6 制御パラメータに対する目的変数の最終世代分布

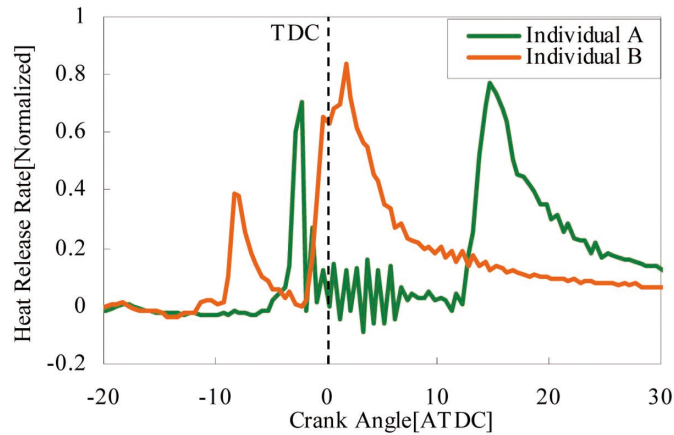


図7 熱発生率の比較

## 4 アイドリング制御のPIDゲイン最適化

近年のエンジン制御はシステムの複雑化に伴い、PID制御要素も増加し、PIDゲインチューニングは重要な課題となってきた。本章では提案手法による過渡運転の最適化事例として、ディーゼルエンジンのアイドリング制御のPIDゲイン最適化(以下、アイドリング最適化)を紹介する。

### 4.1. 実験の設定

本アイドリング制御は、図8に示すようなエンジン回転数のフィードバック制御であり、コントローラは切替型のPIDコントローラより構成され、エンジン回転数と目標アイドリング回転数の偏差より燃料噴射量が算出される。なお、PIゲインの値はエンジン回転数によって切り替わる。また、Dコントローラは条件によって有効・無効が切り替わる。また、安定化のために1次遅れ要素が組み込まれている。具体的な制御式は以下の通りである。

$$q_F = \begin{cases} q_{Fmin} & (u < q_{Fmin}) \\ u & (q_{Fmin} \leq u \leq q_{Fmax}) \\ q_{Fmax} & (u > q_{Fmax}) \end{cases} \quad (1)$$

$$u = K_p(n, t, \tau)(n - n_{IDL}) + K_I(n, t, \tau) \int (n - n_{IDL}) dt + K_D(n, t, \tau) \frac{dn}{dt} \quad (2)$$

$$K_p = \begin{cases} K_p^{CENT} & (n_1 \leq n \leq n_2) \\ K_p^{OUT} & (n < n_1 \text{ or } n_2 < n) \end{cases} \quad (3)$$

$$K_I = \begin{cases} K_I^{CENT} & (n_3 \leq n \leq n_4) \\ K_I^{OUT} & (n < n_3 \text{ or } n_4 < n) \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $q_{Fmax}$  は燃料噴射量上限値、 $q_{Fmin}$  は燃料噴射量下限値、 $n$  はエンジン回転数、 $n_{IDL}$  は目標アイドリング回転数である。 $n_1$ 、 $n_2$  はKpを切り替える際のエンジン回転数閾値、 $n_3$ 、 $n_4$  はIゲイン $K_I$ を切り替える際のエンジン回転数閾値である。各ゲインはエンジン回転数の他、時間 $t$ 、時定数 $\tau$ にも依存する。実験に用いたエンジンシステムは3章と同じである。

表 4 アイドリングの運転条件

Desired idling speed	900 rpm (constant)
Coolant temperature	80 degree C

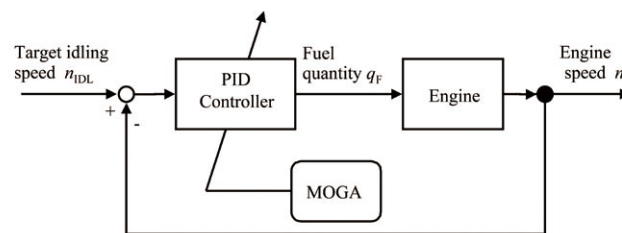


図 8 アイドリング制御ロジック

エンジンの試験条件を表4に示す。ニュートラルギアでアイドリングしている状態から、アクセルのパルス入力操作でエンジン回転数を変動させ、その後の目標アイドリング回転数への収束の仕方を最適化する。2目的9変数の最適化問題と考え、詳細な設定は以下の通りとした。

- ・目的関数(計測値): 平均2乗誤差の最小化、平均2乗差分の最小化
- ・決定変数(制御パラメータ): Inner P Gain (IPG)、Outer P Gain (OPG)、Inner I Gain (IIG)、Outer I Gain (OIG)、D Gain (DG)、First order time Delay Constant(FDC)、Switching Controller Variant 1(SCV1)、Switching Controller Variant 2(SCV2)、Switching Controller Variant 3(SCV3)

IPGはP中心ゲイン、OPGはP外側ゲイン、IIGはI中心ゲイン、OIGはI外側ゲイン、DGはDゲイン、DFCは1次遅れ補償時定数、SCV1は制御切り替え変数1、SCV2は制御切り替え変数2、SCV3は制御切り替え変数3である。中心ゲインはエンジン回転数が目標アイドル回転数に近いときのゲイン、外側ゲインは遠いときのゲインである。またDコントローラの切り替えを含め、その他制御を切り替えるための閾値変数を制御パラメータの中に3つ選択した。平均2乗誤差と平均2乗差分は、アイドリング収束時の一定期間のエンジン回転数の波形より算出される。平均2乗誤差は、エンジン回転数と目標アイドリング回転数との偏差の2乗値平均である。平均2乗差分は、エンジン回転数の微分値の2乗値平均である。平均2乗誤差の最小化はエンジン回転数が目標アイドル回転数を追従させるため、平均2乗差分の最小化はエンジン回転数が振動的になるのを防ぐためのものである。

エンジンストールや、アイドリング制御の不安定化を防ぐためにアンダーシュートが大きい個体は探索しないように制約を設けた。最適化の手順は以下ようになる。

- (1) 評価個体が切り替わるごとにECUに9つの制御パラメータを送信。
- (2) パルス入力のアクセル操作をするようにアクセル信号をECUに送信。
- (3) ECUからエンジン回転数を一定周期で受信。

- (4)制約違反やエンジンストールが無いかチェック。
- (5)エンジンストールがあれば個体を初期設定値に戻し、エンジンの再始動の後、別の個体で探索。
- (6)制約違反があれば、今後探索しないようにMOGAの探索を調整。
- (7)制約違反がなければアクセル操作を終えてから一定時間のサンプリングデータをもとに目的を算出し、これを個体の評価値としてMOGAを実行。

制御パラメータの探索範囲は初期設定個体を含むように設定した。MOGAは表5のように設定して実行し、110個体を探索した。内、制約違反しない個体は100個だった。

表 5 MOGA 条件

Selection method	binary tournament selection
Mutation method	not used
Crossover method	UNDX [8]
Population size	30
Candidate offspring size	100
Evaluated offspring size	4

## 4.2 実験の結果と考察

探索した個体の内、制約違反の無かった全100個体(\*)と最終世代30個体(◆)の適応度分布を図9に示す。図より探索を進めるに連れて個体がパレート境界へ集中していったことが伺える。また、最終世代の平均2乗誤差と平均2乗偏差がトレードオフの傾向となることが確認できる。図には探索の初期設定の個体(●)と、最終世代の中から選択した優越個体(■)も同時に示している。

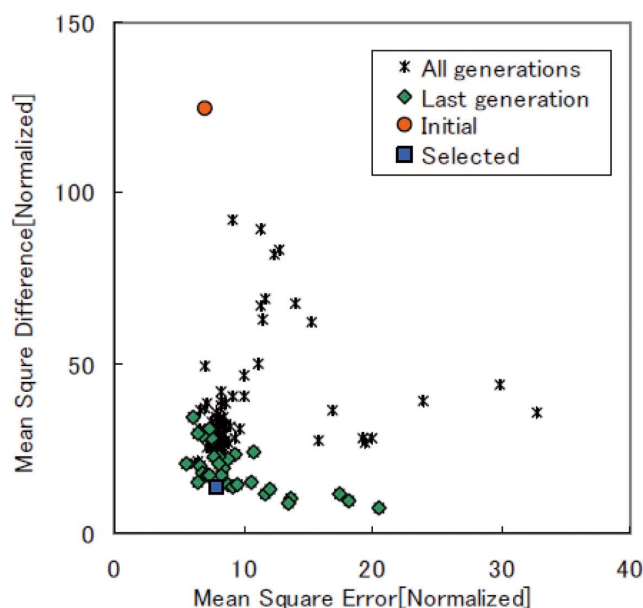


図 9 目的関数空間の最終世代分布



次に、制御パラメータと目的関数の関係の特徴的なものとして、OPGとDGに対する2つの目的の分布(全固体:\*, 最終世代:◆)を図10に示す。本図にも初期設定個体(●)と最終選択個体(■)の2つを同時に表示している。図によるとOPGと平均2乗誤差は単調減少、OPGと平均2乗差分は単調増加の傾向がある。DGについても平均2乗差分とは単調増加の傾向がある。

一般に、制御対象やコントローラ自身が無駄時間を含んだり、複雑な周波数応答をする場合は、フィードバックループの位相遅れが大きくなり、共振周波数が潜在する。よって、PゲインやDゲインが大きくなるほど共振周波数での安定余裕が小さくなり、図10の平均2乗差分の傾向となると考えられる。また、Pゲインが小さくなると安定余裕は大きくなって振動挙動は抑えられるが、目標値へ収束させるための制御出力値が小さくなるため応答が遅くなり、図10の平均2乗誤差の傾向となると考えられる。

実際、初期設定個体に比べて最終選択個体のP外側ゲインは小さくなり、既述の傾向の通り振動を小さくしている。Dゲインも振動を抑えるよう小さくなっている。しかし、具体的にどの値を選択するかは、両者及び他の7変数の組み合わせの影響を考慮する必要があるため単純ではない。ハンドによる設定で最終選択個体に到達するのは難しいと予想される。

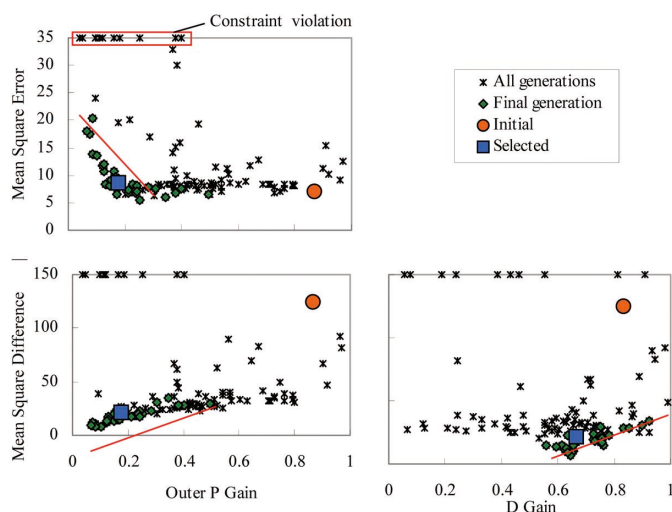


図10 制御パラメータに対する目的変数の分布

図9の最終選択個体と初期設定個体を比較すると、平均2乗誤差は両者同等であるのに対し平均2乗差分は最終選択個体の方が非常に小さい。よって最終選択個体ではアイドリング回転数への追従性を損なわずに振動を低減できるものと期待される。前述のパルス入力アクセル操作をしたときの両者のアイドリングへのエンジン回転数の収束波形を図11で比較する。初期設定個体ではアイドリングへの収束の際に振動挙動が生じているが、最終選択個体では振動挙動がなく緩やかに収束している。聴感上でも最終選択個体が静かに収束していることが確認されている。また、本最適化に要した時間は30分程度であり、提案する手法は充分有益であると考えられる。

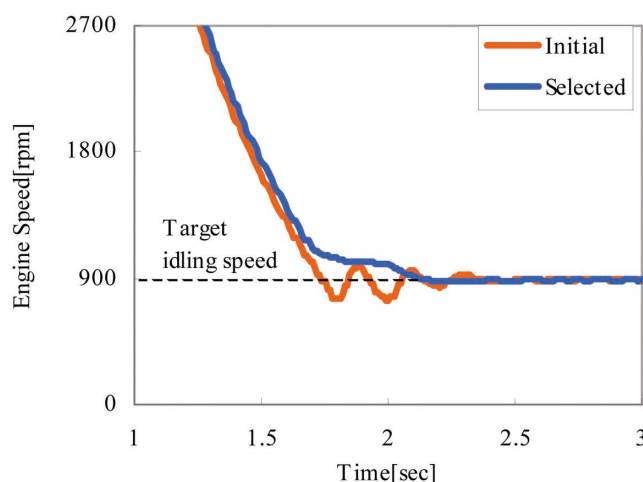


図 11 最終選択個体と初期設定個体の比較

## 5 まとめ

本論文では、多目的遺伝的アルゴリズムをオンラインで適用した自動最適点探索手法を、ディーゼルエンジンに適用し紹介した。そして、提案手法が実機の定常運転、過渡運転の双方の適合に有効であることを検証するために、定常・過渡適合の両面から以下の最適化を行った。

- ①3段噴射最適化では、目的関数をNO<sub>x</sub>, SOF, Sootそれぞれの最小化とした、3目的7変数最適化を行い、約1.7時間でノイズを含む実機環境下でも物理的に妥当な傾向に基づいた多目的最適化ができた。
- ②アイドル制御のPIDゲイン最適化では、目的関数をエンジン回転数波形より算出した平均2乗誤差、平均2乗差分それぞれの最小化とした、2目的9変数最適化を行い、探索時間30分以内で、平均2乗誤差と平均2乗差分のパレート最適解集合を求めた。さらに最適解集合の中から1個体を選択し、良好なアイドル収束性能を確認できた。

今後、定常運転の最適化については、運転条件を変えながらの多目的最適化、運転条件ごとのパレート最適解集合の中から単一個体の選定、といったことでLook up Table等への対応に取り組んでいく。過渡運転の最適化についてはアイドル制御以外のPIDゲインチューニングやその他の制御パラメータチューニングへも適用していく。

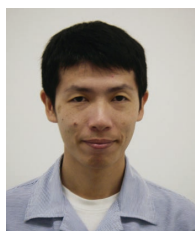
最後に、これらの技術がヤマハ発動機グループ内に広く認知され、よりよい商品開発につながっていくことを期待したい。

## 参考文献

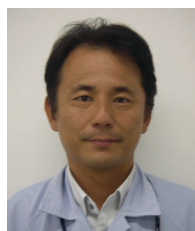
- (1) C. G. Atkeson, A. W. Moore, and S. Schaal: "Locally Weighted Learning", Artificial Intelligence Review, Vol. 11, pp. 11-73 (1997)
- (2) K. Deb, S. Agrawal, A. Pratab, and T. Meyarivan: "A Fast and Elitist Multi-objective Genetic Algorithm: NSGA-II", IEEE Trans. on Evolutionary Computation., Vol. 6, No. 2, pp. 182-197 (2002)

- (3) D. E. Goldberg: "Genetic Algorithms in Search", Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley (1989)
- (4) H. Kaji, and H. Kita: "Individual Evaluation Scheduling for Experiment-Based Evolutionary Multi-objective Optimization", Proc. of EMO 2007, pp. 645-659 (2007)
- (5) H. Kaji, and H. Kita: "Acceleration of Experiment-Based Evolutionary Multi-objective Optimization of Internal-Combustion Engine Controllers Using Fitness Estimation", Proc. of CEC 2007, pp. 1777-1784 (2007)
- (6) R. Myers, and D. Montgomery: "Response Surface Methodology 2nd edition", John Wiley & Sons (2002)
- (7) K. Röpkke (Ed.): "Design of Experiments (DoE) in Engine Development II", Expert Verlag (2005)
- (8) M. Kanazaki, M. Morikawa, S. Obayashi, and K. Nakahashi: "Multiobjective Design Optimization of Merging Configuration for an Exhaust Manifold of a Car Engine", Proc. of PPSN VII, LNCS 2439, pp. 281-287, Springer (2002)

## ■ 著者



阪脇 篤  
Atsushi Sakawaki  
技術本部  
研究開発統括部  
システム技術研究部



迫田 茂穂  
Shigeo Sakoda  
技術本部  
研究開発統括部  
システム技術研究部



# 二輪車の操縦特性調査

## Steering Characteristics of Motorcycles

藤井 茂 塩澤 総一 品川 晃徳 岸 知昭

### Abstract

To answer the emerging needs for greater safety and running performance as the motorcycle market matures, motorcycles today are increasingly designed with electronic control devices whose functions are to control the movement of the machine. While the adoption of these electronic control devices makes it possible to control the performance of the machine with a high degree of accuracy and detail, there is also a problem of rising development cost due to the need to find and select suitable control parameters. This has led the industry to seek methods for predicting the effect of control parameters on machine handling and selecting practical parameters from the standpoint of machine handling in order to develop new methods for efficiently optimizing control parameters.

With motorcycle, there are cases where slight differences in operating actions or shifting of body weight by the rider can have a big effect on the characteristics of machine movement. However, investigations are limited to steady state conditions, it is possible to reduce the effect of the rider to the differences in center of gravity resulting from different body lean angles and thereby conduct tests with a high degree of repeatability. In light of this we focused efforts in this research project on handling characteristics in steady-state conditions and performed simulations and measurements with the aim of developing a method for quantitative evaluation of the basic elements of machine handling.

In recent years, researchers including Ichiro Kageyama have focused on steady-state characteristics and have proposed performance indexes (metrics) for steady-state characteristics of motorcycles and presented their theoretical background and the differences with 4-wheeled vehicle metrics. However, these studies have not included accurate measurement of the angle of lateral tire slippage as one of the important parameters for determining evaluation indexes. As a result, their considerations have been primarily theoretical and there has been a lack of verification of their findings with actual test results.

In this study, we report on the results of measurements we conducted on steady-circle turning using a particular sport touring motorcycle model, in which measurements were taken for the parameters of steering angle, steering torque, roll angle and tire force and moment and tire lateral slip angle. With regard to tire lateral slip angle measurement data in particular, we utilized two different measurement methods while also comparing the results with simulation results to verify their accuracy. Then, we also investigated the effect of differences in rider lean attitude on steady-state characteristics. Taking these results, we then went on to use our actual



test measurement data to evaluate the validity of the handling evaluation indexes proposed by Kageyama (et al.) for steering factors, lateral slip factors, and steering torque factors.

## 1 はじめに

二輪車市場の成熟化が進み、更なる安全性や走破性といったニーズに応えるため、二輪車にも車両運動をコントロールする電子制御デバイスが導入されることが増えている。電子制御デバイスの導入により、きめ細かな性能の作り込みが可能になる反面、最適な制御パラメータを選定する為の開発コスト増大が課題となっている。そこで、制御パラメータの最適化を効率的に行うために、制御パラメータごとに操縦性が予測でき、操縦性の観点からも合理的にパラメータを決められるといった開発手法が期待されている。

二輪車ではライダーの僅かな操作や体重移動の違いで車両の運動特性が大きく変わる場合があるが、定常特性に限るとライダーの影響はその姿勢の違いによる重心位置の違いに限定できるので、再現性の高い試験も可能である。そこで、私達の研究プロジェクトでは定常特性に注力して、シミュレーションや計測を駆使し、定量的に基本的な操縦特性を評価する手法を開発することを目指している。

また、景山ら<sup>[1]~[4]</sup>も、定常特性についての研究に近年注力しており、定常特性についての操縦性評価指標の提案やその理論的な背景、および四輪車の操縦性評価指標との違いを示している。しかし、これらの研究では評価指標を求める際に重要なタイヤの横すべり角を精度良く計測する手法が確立していないために理論検討が中心となっており、実験による検証は不十分である。

本報では、スポーツツアラー二輪車での定常円旋回走行中の舵角、保舵トルク、ロール角、タイヤ力・モーメント、タイヤ横すべり角の計測結果を報告する。特に、タイヤ横すべり角の計測データについては2つの手法で取り組むと共に、シミュレーション結果とも比較し、その精度を検証した。続いて、ライダーのリーン姿勢の違いが定常特性に与える影響を調査した。加えて、計測結果から、景山らの提案したステア特性(スタビリティファクタ)、横すべり特性、保舵特性の操縦性評価指標を実測データより算出し、有効性の検証を行った。

## 2 計測方法

本報では排気量1300ccの大型スポーツツアラーを計測対象にした。走行方法は、半径20m、30m、50mのコースを、それぞれ幾通りかの速度にて、時計回り、反時計回りする定常円旋回試験とした。計測項目は舵角、保舵トルク、車速、ロール角、タイヤ力・モーメント、タイヤ横すべり角とし、計測結果を表示する座標系はISO座標系とした。(図1)

タイヤ横すべり角については慣性&GPS姿勢計測器(以下、慣性GPSセンサ)(図2)と光学式2軸速度計測装置(以下、光学式センサ)(図3)という2種類の方法を用いて同時に計測を行い、両者を比較した。慣性GPSセンサでは、慣性センサで計測した加速度、角速度のデータと、GPSで計測した位置データを用いて、カルマンフィルタ等による処理により、センサを取り付けた後部座席位置での前後、横速度を求める。そして、センサ位置での2軸速度を基に、ヨーレート、ロールレート、タイヤ接地位置、舵角等のデータ

を用いた換算式によりタイヤ接地位置での前後、横速度に換算し、横すべり角を求めた。

一方、光学式センサではタイヤ前後にそれぞれ取り付けたセンサにてセンサ直下の前進速度、横速度を求め、ヨーレートと前後位置差分の補正を行い、タイヤ接地点での横すべり角を求めた。(図4)

また、横すべり角計測を行った車両と同型の車両にホイール六分力計を装着して、タイヤ力・モーメントの計測を行った。(図5)

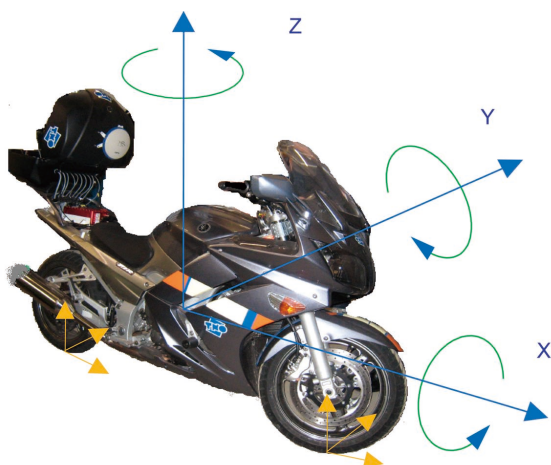


図1 座標系



図2 慣性 GPS センサ

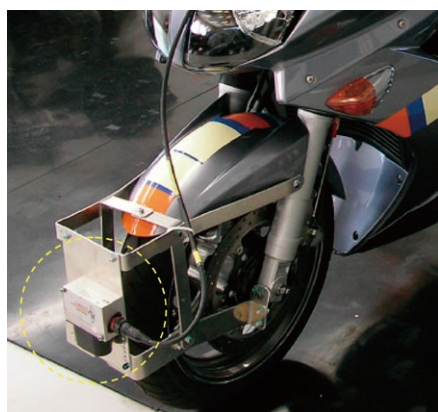


図3 光学式センサ

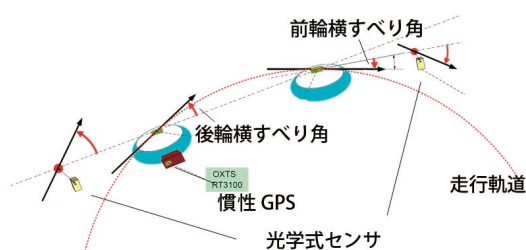


図4 横すべり角計測センサ配置

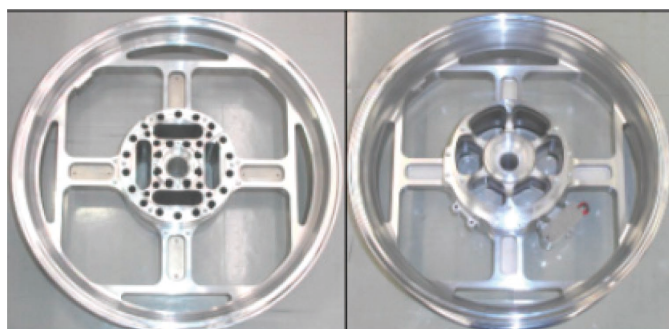


図5 ホイール六分力計

### 3 計測結果

図6に半径50m、65km/h、時計回り旋回の定常円旋回試験データの一例を示す。図中に示す軌跡データからわかるように50mほどの直線区間にて加速を行い、円軌道に入り、一周走行の後、初めの直線走行の延長線上のコースに戻し、直線路にて減速した。このデータでは12～22秒の区間で速度、ロール角、舵角がほぼ一定となっており、この区間を定常円旋回区間と見なした。しかし、実際のところ、保舵トルクや横すべり角は円旋回中、ドリフトするかのように一方向に変化し続ける場合が見られた。この現象はロール角や速度が大きい場合に特に顕著に見られ、タイヤ温度の上昇と関係が深いと推測している。

ここで、例に示した保舵トルクは正の値を示した。この場合の正の値は反時計回りの向きである。すなわち、時計回りの旋回に際して、旋回する方向と逆向きのトルクを加えたことを示し、舵が旋回する方向に切れ込むのを抑制する当て舵を加えている。そして、ここに示した例では旋回を継続すると保舵トルクの値は低下した。

横すべり角は進行方向に対して左側に進む向きを正とした。前輪の横すべり角はこの例では慣性センサ、光学センサ共に負の値を示した。これは旋回中心に向かう向きである。また、後輪は正の値で、旋回中心から遠ざかる向きである。(図4)

示した例では旋回を継続するに従い、前後輪共に、旋回中心から次第に遠ざかる向き(この例では正の向き)に横すべり角が変化した。慣性センサと光学センサのデータは共に1Hzローパスフィルター処理しているが、慣性センサの方がスムーズな結果であった。また、いずれのセンサも低速時は計測値が不安定になる場合が見られた。

以下では、定常円旋回データの平均値を条件の違いごとに比較するが、その場合、平均値は速度、ロール角、舵角がほぼ一定となった区間を5秒ごとに平均した値を1つの点として示している。

図7では横軸に車体ロール角を取ったグラフにて、半径50mの定常円旋回における前後輪接地点におけるタイヤ横すべり角の平均値を、慣性センサと光学センサとシミュレーション(モデルの詳細は次章参照)の結果の3者で比較している。計測結果のばらつきは大きいですが、3者の結果はおよそ一致した。横すべり角の計測値について、以下では光学式センサの値を示す。

図8、9には半径50m、30m、20mの定常円旋回走行での定常走行時の舵角、保舵トルク、前後輪横すべり角、前後輪タイヤ力・モーメントの計測結果とシミュレーション結果を示す。舵角についてはバラツキが小さく、シミュレーション結果とも良く一致した。保舵トルクについては大きなバラツキが見られた。しかし、同じロール角の場合、旋回半径が小さいほど大きな値を示すという点ではシミュレーションと一致した。

前輪横すべり角についてはバラツキが大きく、旋回半径ごとの違いは明確に見られなかった。ロール角に対する変化の様子はシミュレーション結果と同様であった。

後輪横すべり角についても同様に旋回半径の差は見られなかったが、シミュレーション結果とは同じ傾向を示した。



タイヤ横力 $F_y$ (CPI)については前後輪共に旋回径に関わらずロール角に比例する値であり、シミュレーションとも良く一致した。

前後軸周りのモーメント $M_x$ (STI)は後輪では旋回径ごとの違いが現れなかったが、前輪では旋回径ごとに違いが生じ、その傾向はシミュレーションと同一であった。この違いが保舵トルクに置ける旋回径ごとの違いに結びついているものと思われる。タイヤの上下方向軸周りのモーメント $M_z$ (STI)についても旋回径による顕著な違いは見られなかった。また、シミュレーションとはほぼ一致した。

(注) (STIはタイヤの中心点を原点として、座標軸がタイヤの動きに一致する座標系でタイヤ力を表す。CPIはタイヤと路面の接点を原点とし、座標軸が路面従う座標系でタイヤ力を表す。図10参照。詳細については参考文献7を参照のこと)

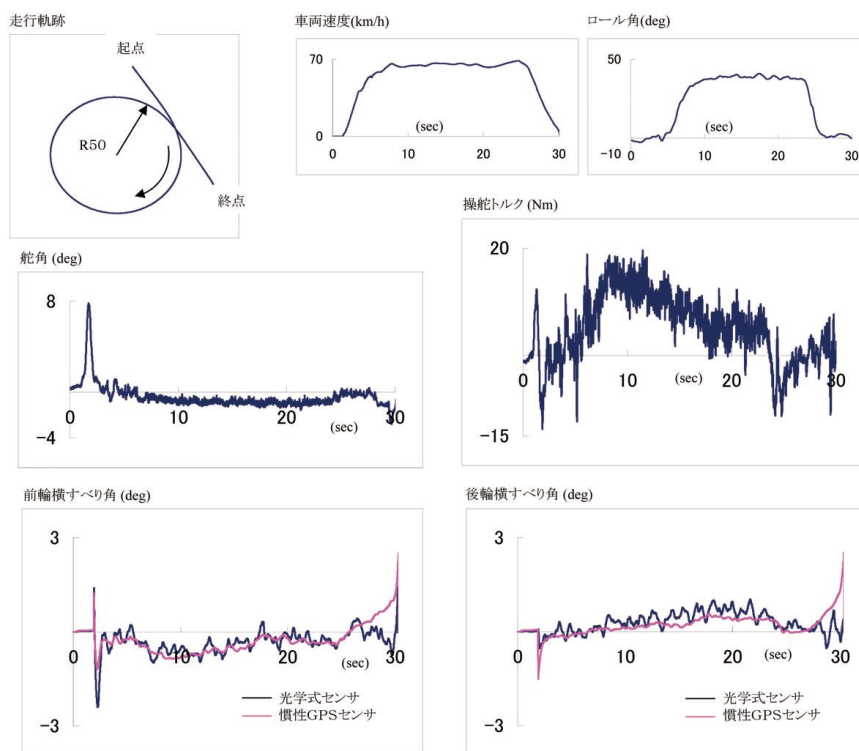


図6 時系列データ例

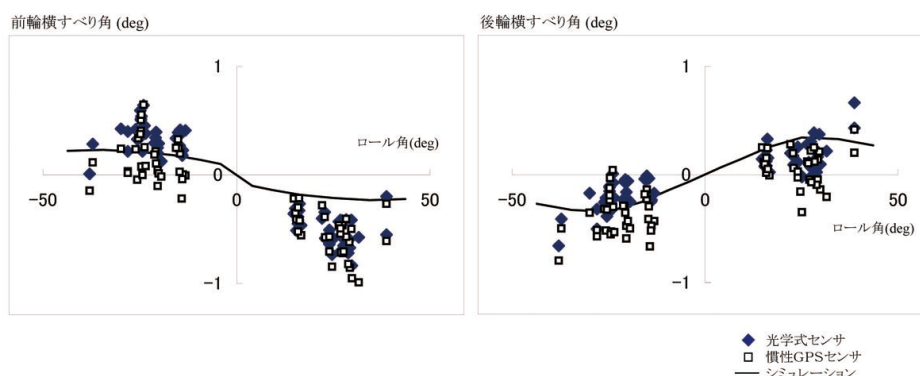


図7 光学式センサと慣性GPSセンサとシミュレーションの横すべり角データ比較（旋回径50mの場合）



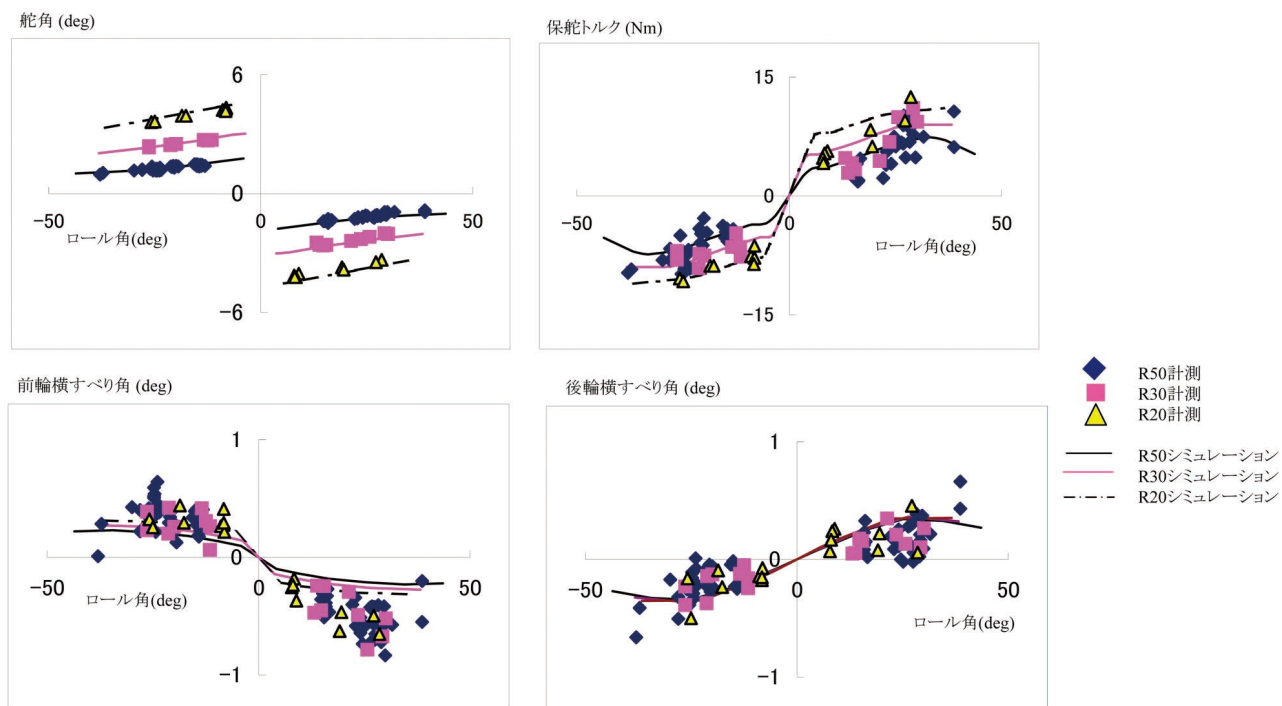


図8 旋回半径ごとの定常円旋回データ

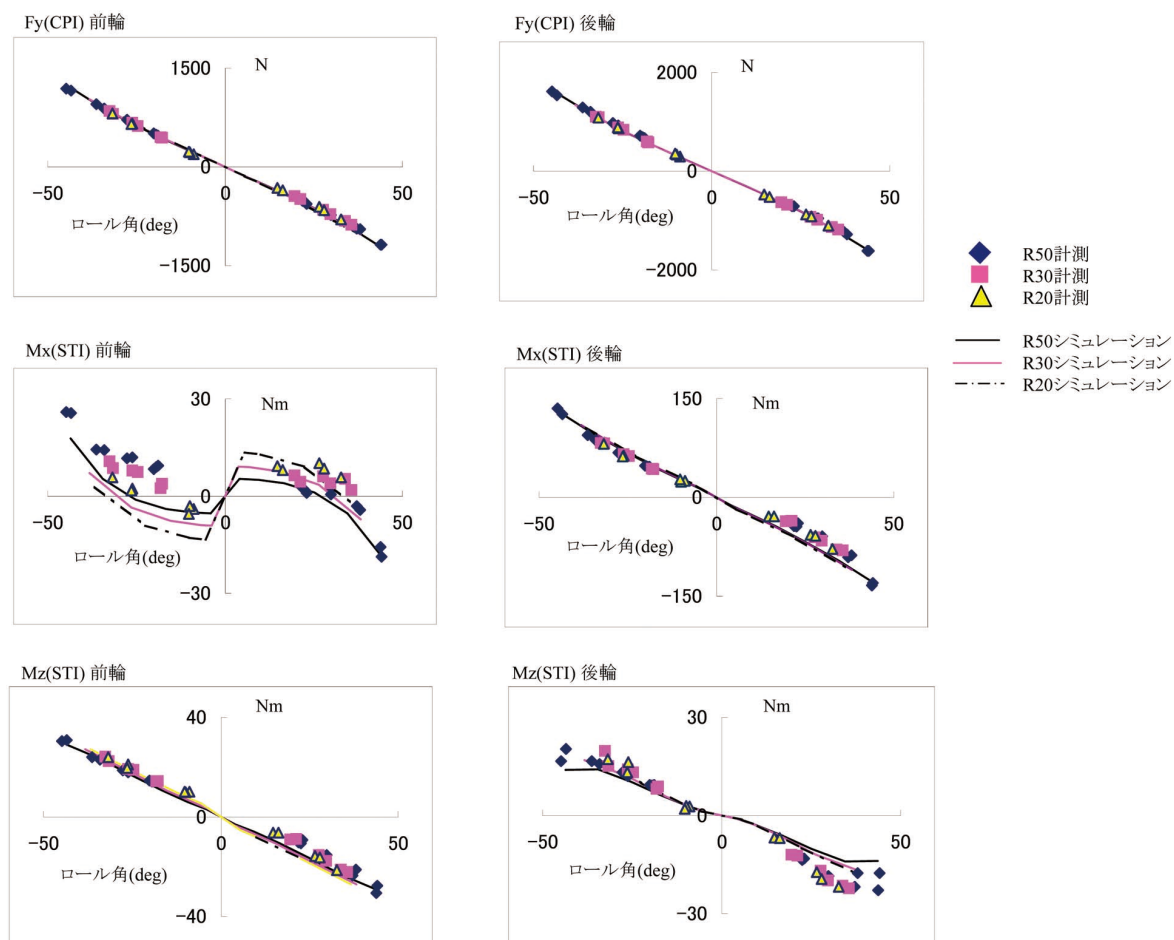


図9 旋回半径ごとのタイヤ力・モーメント

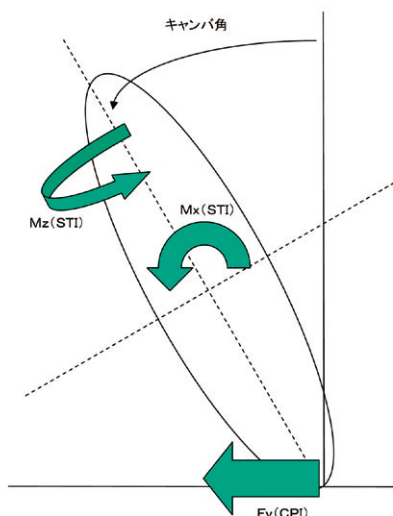


図 10 タイヤ力・モーメントの軸と方向（正面図）

#### 4 シミュレーションモデル

車体モデルは、SimMechanicsにより作成した。図11に示すように、概要は、剛体数10(メインフレーム、ライダ、エンジン、タンク、フロントフォーク、フロントバネ下、前輪、アームリレイ、リアアーム、後輪)、回転ジョイント4(ステアリング、リアアームピボット、前後輪)、伸縮ジョイント1(フロントサスペンション)、バネダンパ2(フロントサスペンション、リアサスペンション)とした。自由度は、メインフレーム基準点の6自由度(前後左右上下、ロール角、ピッチ角、ヨー角)の他に前後輪の回転、フロントサスペンションの伸縮、リアアームの回転角、ステアリングの回転角と合計で11自由度のモデルとした。外力としては重力、空気抵抗、揚力とタイヤ荷重を用いた。入力データは各剛体の重心点、接続点の座標や重量、慣性モーメント、バネ、ダンパ等の物性値やタイヤについての定数等を入力した。

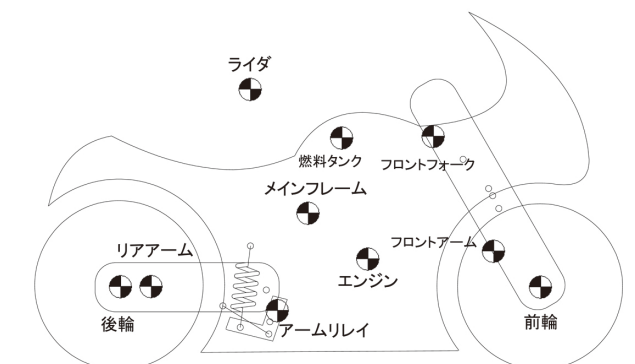


図 11 シミュレーションモデルの質点の配置

タイヤモデルはMFTyreを使用した。このモデルは、タイヤの路面に対する状態(高さ、キャンバー角、横すべり角、前後すべり率)を入力として、タイヤごとに求められたパラメーター値を用いて、接地点における前後力、横力、接地荷重、セルフアライニングトルク、転がり抵抗モーメント、オーバーターニングモーメントを出力する。モデルの各パラメーターは計測値を用いた。

走行シミュレーションは、車体モデルの状態を、あらかじめ設定された目標コースや目標速度に到達するように、操縦モデルが制御することにより実行される。操縦モデルはドライブトルク  $\tau_d$  とステアリングトルク  $\tau_s$  をそれぞれ、

$$\text{＜式 1＞} \quad \tau_d = -K_{p1}(v - v_{ref})$$

$$\text{＜式 2＞} \quad \tau_s = -K_{p2}(\phi - \phi_{ref}) - K_{d2}\dot{\phi} - K_{d3}\alpha$$

に従って算出するものとした。ここで、 $v$  を前進速度、 $\phi$  をロール角、 $\alpha$  を操舵角とした。すなわち、目標速度  $v_{ref}$  と目標ロール角  $\phi_{ref}$  に速度とロール角が一致するように P(D) 制御を行うものに、ステアリングダンパの効果を加えたものである。ステアリングダンパの項については、通常は車体モデルにその機能を持たせることが多いが、ステアリング部に発生する摩擦力は通常小さく、実際にはライダーが加える力であることと、走行条件によってステアリングダンパの値は変化すると考え、式(2)に加えた。なお、今回は所定の旋回半径の走行を実現するために目標ロール角を調整し、安定走行を実現するための操縦モデルにおける各ゲインは、目標速度と目標ロール角ごとに、事前に遺伝的アルゴリズムにより決定した。そして、シミュレーション中は、走行条件に応じた最適値を選択することとした。

## 5 ライダリーンの計測結果への影響について

3 章ではライダーのリーン角を同一の条件で計測した場合のデータのみを示したが、ここではライダーのリーン角を標準状態のリーンウィズからリーンインやリーンアウトに変更した場合(図12)のデータを示し、その違いについて検討を行う。

図13に示すように、リーンインにすると操舵角絶対値は増加し、保舵トルクは当て舵が小さくなる、或いは、引き舵になる場合があり、前輪横すべり角も絶対値が小さくなり、旋回中心から離れる向きになる場合があった。一方、後輪横すべり角は旋回中心から離れる向きに増加した。また、図14に示すようにタイヤ横力  $F_y$  にはほとんど変化が見られないが、詳しく見ると、わずかながら、横すべり角の変化に伴い、リーンインの場合、同じロール角では前後輪共に横力  $F_y$  が増加している。また、 $M_x$  も前後輪共にロール角を復元する向きに増加した。 $M_z$  についてはあまり明確な差ではないが、前後輪共に絶対値が小さくなった。

これらの変化は、リーンインによりロール角を増加させる向きにモーメントが発生したために、それに釣り合うための復元モーメントが必要となったことから、前後輪共に旋回中心から離れる向きに横すべり角が増加して、コーナリングフォースも増加したことが原因と考えられる。

また、リーンインにより保舵トルクが減少する原因は、前輪  $M_x$  の変化が主な原因と考えられるが、 $M_z$  の変化も寄与している。また、別の見方をすると、前輪横すべり角の変化により、コーナリングフォースが増加したことが原因と見ることもできる。

リーンインして保舵トルクが 0 となる場合、手放しでも旋回を保つことができる。リーンインしない場合は舵が旋回する側に切れ込まないように舵を押さえないと旋回できないが、この傾向が強い場合は、曲

がりたい方向と逆に舵を切る、いわゆる逆転舵が必要になる。よって、保舵トルクが大きい車両では大きなリーンをするか、逆転舵をしなければ、旋回に入れないために直進性の強い車両、または、旋回しにくい車両と言う評価になりやすい。一方、保舵トルクが小さい車両は舵を意識しなくとも小さな体重移動により旋回に入れるため、旋回性が高い車両と言う評価になり易い。

リーニアウトの場合は操舵角絶対値が減少し、操舵トルクは増加した。前輪横すべり角は旋回中心に向かう向きに増加した。後輪横すべり角は旋回中心から離れる向きで見て減少した。また、タイヤ力についてはリーニアウトの場合はリーニンと逆に横力がわずかに減少し、 $M_x$  はロールを復元する向きと逆に変化し、 $M_z$  はロールしている側に切れ込む方向にわずかに増加した。



図 12 ライダのリーン角の違い

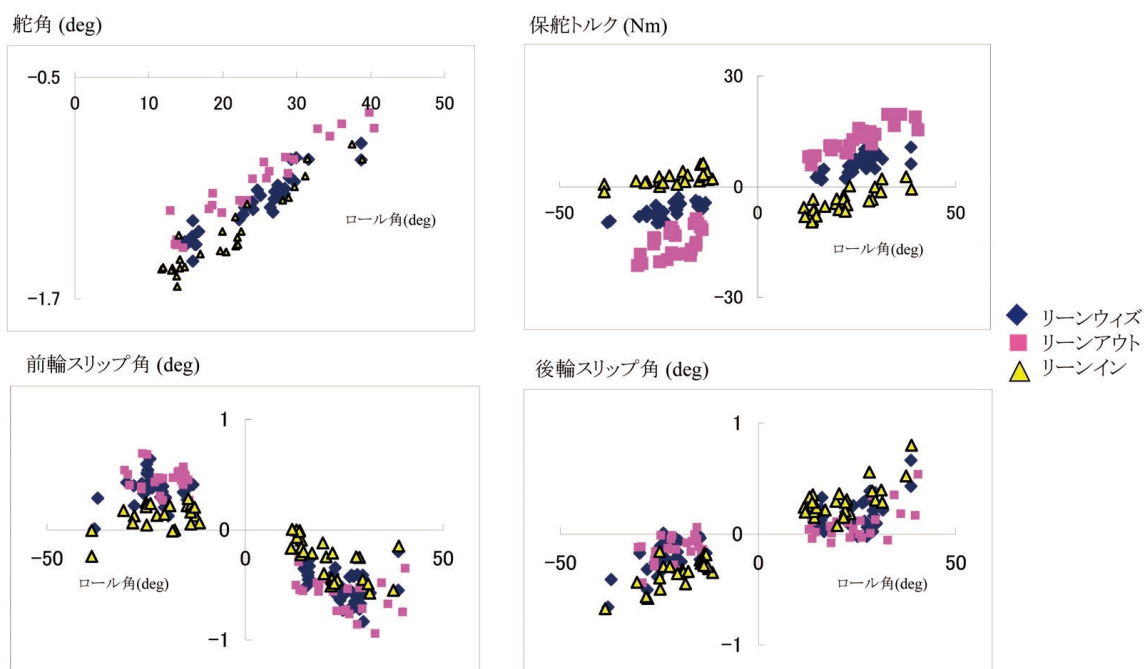


図 13 ライダのリーン角ごとの定常円旋回データ ( 旋回径 50m の場合 )



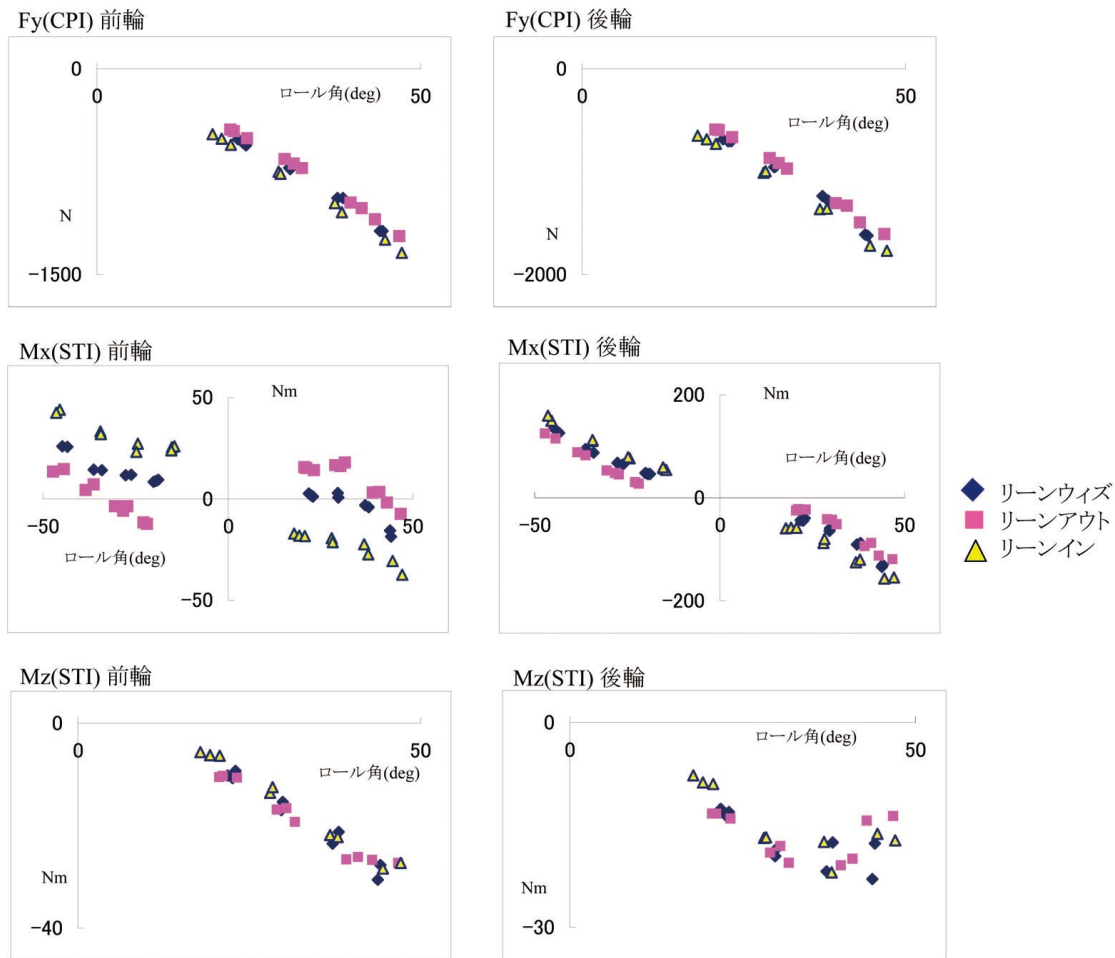


図 14 ライダのリーン角ごとのタイヤ力・モーメント (旋回径 50m の場合)

## 6 ステア特性と横すべり特性と保舵トルク特性

ここでは、これまでに示した計測結果を用いて、参考文献1,2等で景山らが提案している定常円旋回時の操縦性についての特性値を算出あるいは検討する。

参考文献1,3等に倣い、図15、16に速度2乗と舵角、重心点での横すべり角、保舵トルクの絶対値の関係を示す。また、参考文献1に示された以下の式に従って、幾何学的舵角の値も用いてスタビリティファクタを求める。

$$\text{＜式3＞} \quad \frac{\delta}{\delta_0} = \delta \times \frac{R}{l} \times \frac{\pi}{180} = 1 + K_\delta \times V^2$$

$\delta$  : 舵角(deg)

$$\delta_0 (= \frac{l \times 180}{R \times \pi}) : \text{幾何学舵角}$$

$R$ : 旋回半径

$l$ : ホイールベース(m)

$K_\phi$ : スタビリティファクタ( $s^2/m^2$ )

$V$ : 速度(m/s)

表1 スタビリティファクタ

旋回径 / リーン	幾何学的舵角 (deg)	スタビリティファクタ ( $s^2/m^2$ )
20 / リーンウィズ	4.30	-0.00227
30 / リーンウィズ	2.86	-0.00180
50 / リーンウィズ	1.72	-0.00125
50 / リーンアウト	1.72	-0.00177
50 / リーンイン	1.72	-0.00105

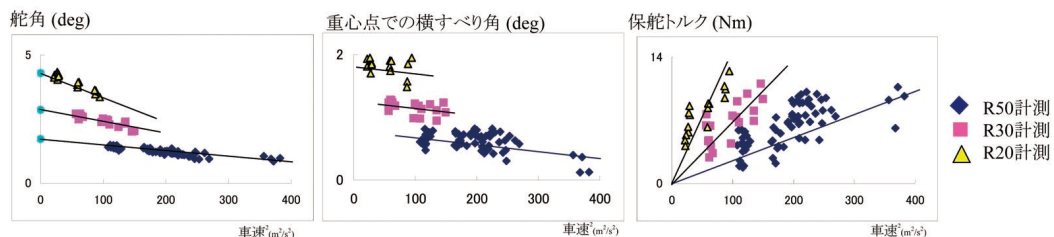


図15 旋回径ごとの定常円旋回データ（横軸車速2乗）

求められたスタビリティファクタ値を表1に示す。結果は負の値を示し、オーバーステアを示す。速度の2乗と舵角の関係はどの旋回半径でも直線的であり、また、図16に示すように、リーン角が変化した場合であっても、その傾きが大きく変化しないことから、指標としての有効性が期待できる。しかし、定常円旋回における小さな舵角の増減をライダーは通常実感できず、同じ旋回径で走行する場合で、“速度が増すときに、舵角が減少するのでオーバーステアである”という四輪と同じ評価方法は二輪車の操縦フィーリングと結び付き難い。また、4章にて示したように舵角が小さくなり、本指標ではオーバーステアが強まると評価されるリーンアウトの場合は、保舵トルクが大きくなり、気を緩めると舵が切れ込むことによりロール角が減少し、旋回径が大きくなってしまう傾向を示す。このことは四輪のオーバーステアの性質と逆になるために、混乱を生む場合があると思われる。参考文献8にあるように前後輪の横すべり角のバランスを示す指標として活用する方法なども参考にしつつ、様々な車両、タイヤ、走行条件にて、データを取得すると共に、操縦フィーリングを記録し、対比することにより、検討を継続することが必要である。

次に、横すべり特性について検討する。図15、16から、旋回径、リーン角によって、重心での横すべり角の値は変化するが、速度2乗に対しての傾きはあまり変化しなかった。ただし、半径50mの場合に速度を上げ限界走行に近づけた場合、重心横すべり角が小さな値になった。このことから重心横すべり角が大きい(旋回中心に近づく向きで)ということは、前後輪のグリップに余裕があることを示すように思われる。

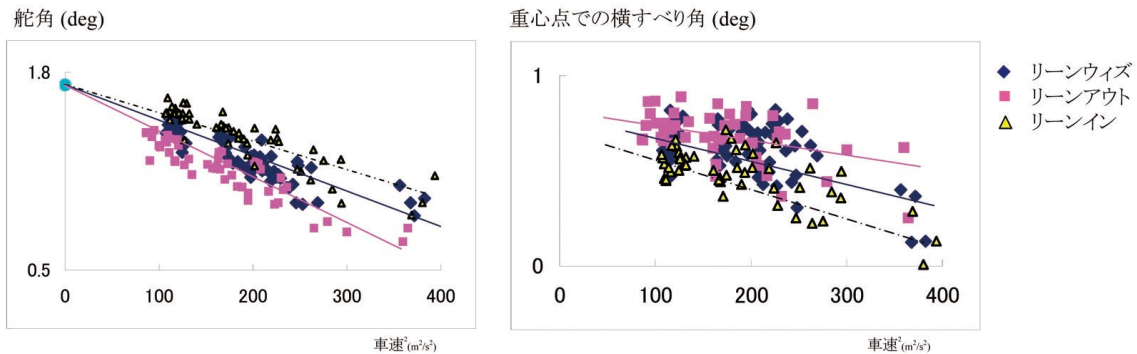


図 16 ライダのリーン角ごとの定常円旋回データ（横軸車速 2 乗）

最後に速度の2乗と保舵トルクの関係を見ると、保舵トルクは旋回径ごとに異なる値を示すが、同じ旋回径のデータに限ってみると、速度の2乗と保舵トルクはほぼ比例関係にありこの傾斜角を求めることは可能である。そして、保舵トルクの軽重は旋回の軽快さといった官能評価指標とも結び付き易く、保舵トルクが増加した場合、直進性が上がる一方、舵が重く、旋回しにくいと表現される場合があり、非常に重要な指標と考えられる。しかし、保舵トルクは先の図13でも示したようにライダーのリーン角によって大きく変動するので、ライダーの異なる結果を比較する場合には注意が必要である。

## 7 おわりに

本報では二輪車の定常円旋回試験の計測結果を紹介し、その測定結果がシミュレーションと良く一致することを示した。

特に、横すべり角の計測は、慣性&GPS姿勢計測器による計測結果と光学式計測器による計測結果を比較し、同様の結果が得られたことから、二輪車特有のキャンパ角の大きい状態での横すべり角計測手法を確立したことを示した。

また、ライダーのリーン姿勢の違いが舵角、保舵トルク、タイヤ横すべり角、タイヤ力・モーメントに与える影響を示した。ライダーのリーン姿勢の違いは、舵角、タイヤ横力には影響が小さく、一方、保舵トルクやタイヤ横すべり角には大きな影響がでることが判った。

続いて、景山らの提案した操縦性評価指標に計測結果を当て嵌め、スタビリティファクタの値を求めた。スタビリティファクタはライダーのリーン姿勢の影響を受け難く、正確に求めやすいため、良い指標になる可能性があるが、値の解釈に研究の余地がある。

保舵トルク特性は操縦の容易さといった官能評価と結びつきが強く、重要な指標と考えられるが、指標の値はライダーのリーン姿勢により大きく変化するので、試験方法に注意が必要である。

今後も様々なタイプの車両について定常円旋回試験データを蓄積することにより、指標の値により操縦性を議論することができるようになり、開発に役立つ定量的基本操縦性評価手法が実現すると考える。また、将来的には過渡特性や限界特性を評価する指標についても研究を進めたい。

## ■参考文献

- 1) 景山一郎:二輪車の運動特性とその評価指標に関する研究、自動車技術会学術講演会前刷集、No.150-07、13-18頁(2007)
- 2) 景山一郎、栗谷川幸代:二輪車の運動特性とその評価指標に関する研究、自動車技術会学術講演会前刷集、No.58-08、1-5頁(2008)
- 3) 富松正浩、景山一郎:二輪車のタイヤ特性と運動解析に関する研究、自動車技術会学術講演会前刷集、No.150-07、9-12頁(2007)
- 4) 景山一郎、栗谷川幸代:二輪車の旋回性能に与える制動力の影響、自動車技術会学術講演会前刷集、No.65-09、19-24頁(2009)
- 5) 藤井茂:遺伝的アルゴリズムを用いた二輪車操縦モデルの開発、自動車技術会学術講演会前刷集、No.62-04、9-12頁(2004)
- 6) Akinori Shinagawa, Shigeru Fujii: A Study on Three-Dimensional Course Model for Motorcycle, Proceeding of AVEC06, p575-580(2006)
- 7) H.B.Pacejka: Tyre and Vehicle Dynamics, Butterworth -Heinemann(2002)
- 8) Vittore Cossalter: MOTORCYCLE DYNAMICS (Second Edition)(2006)

## ■著者



**藤井 茂**  
Shigeru Fujii  
技術本部研究開発統括部  
システム技術研究部



**塩澤 総一**  
Souichi Shiozawa  
技術本部研究開発統括部  
システム技術研究部



**品川 晃徳**  
Akinori Shinagawa  
技術本部研究開発統括部  
システム技術研究部



**岸 知昭**  
Tomoaki Kishi  
技術本部研究開発統括部  
システム技術研究部



## ●編集後記

今年の東京モーターショーには各社から様々なアプローチのエコカーが出展されている。プリウス、インサイトの登場が市場やメーカーに大きなインパクトを与え、その進化を一気に加速させたように感じる。しかし展示車を見ると各社ともその方式は一本化されてなく、様々なトライをしており今まさに過渡期を迎えているようだ。特に今回はH Vスポーツカー、P（プラグイン）H Vの多様化、E V参入メーカーの増加と興味深い展示が多い。例えば某社のP H Vは非常発電用の小型エンジンを積んできたのが新しい。ただ今後の進化の方向性はバッテリーの低価格化、容量アップ、小型軽量化、インフラ整備にかかっている。各方式の運命はバッテリー次第というところが車両メーカーにとってつらいところだ。

我がヤマハ発動機も電動スクーターでは先陣を切って市販したものの先駆者の利益を得られていない。パイオニアの強みを生かした今後の展開に期待したい。新聞記事に「今はこれをやっていれば大丈夫との技術はないが経営資源は限られる。いずれ各社が選択と集中を迫られる時期が来る」とあった。今の取組みが未来を左右するとても重要な時期に来ているようだ。

（菅野 秀昭）

先日引退されたテニスプレーヤー、杉山愛さんの選手生活を振り返る番組で、2006年ウィンブルドンでの試合の話にとっても共感した。3回戦、vs マルチナ・ヒンギス、杉山さんの全試合の中でBEST3に入るゲームとの事。第1セット杉山、第2セットヒンギスで迎えた第3セット、2つのサービスゲームを落としヒンギスにゲームカウント0-3でリードされる。しかしその時、「相手は疲れている、自分も疲れているがまだやれる、今のスコアをくよくよしても変わらない、これからだ」と思ったそうだ。そしてそこから大逆転、ゲームカウント6-4で第3セットをとり試合に勝利された。杉山さんはその時の事を改めてこう表現している。「過去と他人は変えられない、これからと自分は変えられる」と。起こってしまった世界同時不況。この事実を変えられないが、状況を分析し行動を変えれば、ヤマハ発動機グループの将来を変える事ができる。改めて杉山さんから学んだ。（山本 雅之）

ヤマハ発動機  
技報 第45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

2009年11月30日

2009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

水上 真行 技術本部技術企画部

山本 雅之 ヤマハモーターエレクトロニクス(株) 技術部

川合 隆司 マシ事業本部ME事業部開発統括部

佐藤 彰 新規事業推進統括部カイ事業推進部

吉本 幸広 IM事業部マウンター技術部

紙本 大作 MC事業本部技術統括部技術管理部

岡田 弘之 MC事業本部RV統括部RV開発部

園川 泰浩 新規事業推進統括部新規事業推進部アケア環境部

日野原直樹 (株)スタジオコバ

小栗 真 グローバルコーポレート本部法務・知財部

三宅 英典 グローバルコーポレート本部広報部

桧垣 慎吾 技術本部技術企画部

(株)スタジオコバ 〒437-1196 静岡県袋井市松原 2455-2

技術本部技術企画部(技報編集事務局) TEL 0538-32-1171

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

菅野 秀昭 ヤマハモーターハイドロリックシステム(株) 第一開発部

登澤 幸雄 ヤマハモーターエンジニアリング(株) 経営企画部

田中大二郎 AM事業部 AM第1技術部

磯部 恒雄 技術本部生産技術統括部

小野 朋寛 MC事業本部技術統括部E V開発部

本山 雄 技術本部研究開発統括部

小柳 智義 海外市場開拓事業部 第1開拓部

今井 哲夫 グローバルコーポレート本部法務・知財部

水野 康文 技術本部技術企画部

※無断転載を禁じます。

※落丁本・乱丁本は、小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。



