

# YAMAHA MOTOR

## TECHNICAL REVIEW

ヤマハ発動機 技報



**2005-3**  
**No.39**



特集：ユビキタス領域周辺の技術

# CONTENTS

ヤマハ発動機 技報

2005-3

No.39

▶ ユビキタス

領域周辺の  
技術 特集

1

**ヤマハ発動機のユビキタス技術**

**Ubiquitous Technologies of Yamaha Motor Co., Ltd.**

鈴木 正人

4

**ヤマハASV-3(先進安全自動車)の開発**

**Development of the "Yamaha ASV-3" Advanced Safety Vehicle**

大富部 寿一 / 大場 純一 / 内田 吉陽 / 般若 洋征 / 安藤 裕介

11

**小型電動二輪車のための燃料電池システム**

**A Fuel Cell System for Small Electric Motorcycles**

安達 修平

17

**ヒューマンセンシング**

**Human Sensing**

水野 康文

23

**二輪車サウンドデザインツールと新型サウンドシミュレーター**

**A Motorcycle Sound Design Tool and New Type Sound Simulator**

前田 修

29

**音声認識と画像認識技術**

**Voice and Image Recognition Technologies**

望月 博文

34

**ユビキタス領域技術を応用した**

**Unmanned Vehicleシステム～UGVの開発～**

**Development of the "UGV" Unmanned Vehicle Incorporating Technologies  
of the Ubiquitous Computing Realm**

神谷 剛志 / 今井 浩久 / 増田 裕

## ▶ 製品紹介

- 39 モジュール型サーフェスマウンター YG100  
**The Module Type Surface Mounter YG100**  
 中村 亮介
- 45 ロッドタイプ単軸ロボットYMSシリーズ  
**"YMS" Series Rod Type Single-axis Robots**  
 菊地 秀幸
- 49 5人乗りゴルフカー ターフジョイ&ターフライナー  
**The 5-passenger Golf Cars "Turf Joy" and "Turf Liner"**  
 内山 敦 / 竹下 正敏 / 稲川 宏之
- 55 4ストローク船外機 FT60Bハイストラストモデル  
**The 4-Stroke Outboard Motor "FT60B" (High Thrust Model)**  
 中山 学 / 原田 博
- 59 4ストローク パーソナルウォータークラフト (PWC)  
**VX110 Sport/VX110 Deluxe**  
**The VX110 Sport and VX110 Deluxe Personal Watercraft**  
 井端 俊彰 / 小柳 智義 / 中村 光義
- 66 監視用UAV RMAX G0-1  
**The Observation-use UAV "RMAX G0-1"**  
 鈴木 弘人

## ▶ 技術論文

- 71 カテゴリー判断法による全身振動の評価と尺度構成  
**Scaling and Evaluation of Whole-body Vibration by the Category Judgment Method**  
 兼子 千夏子 / 萩原 孝英 / 前田 節雄
- 80 破断分割 (FS) 式浸炭コンロッドの開発  
**Development of Fracture Splitting Method for Case Hardened Connecting Rods**  
 久保田 剛 / 岩崎 進也 / 磯部 恒雄 / 小池 俊勝



ユビキタス領域周辺の技術 特集

## ヤマハ発動機のユビキタス技術

**Ubiquitous Technologies of Yamaha Motor Co., Ltd.**

鈴木 正人 Masahito Suzuki  
●研究創発センター センター長

The theme of this edition of Yamaha Motor Technical Review is ubiquitous technologies. The English word ubiquitous comes from Latin and means omnipresent. The expression "ubiquitous computing" is being used today to mean "a computing environment where computer chips and networks are incorporated into our life environment and being used often without the users even being conscious of where they are or that they even exist." We now live in a society where this kind of ubiquitous computing environment is already beginning to take shape. Before long, people will be able to access their office computers from their cell phones. We are also on the verge of a computing environment where networks will connect things like our PDAs (Personal Digital Assistants), IT-competent home appliances with built-in microprocessors, car navigation systems and multimedia monitors in convenience stores to enable us to access a variety of computers in distant locations no matter where we are.

In other words, ubiquitous technologies are going to make our lives a lot more "convenient." The home electronics and IT industries are working to use these technologies to supply us consumers with "convenience" as a product value. The same is true in the automotive industry. Products like car navigation systems and ITS (Intelligent Transport Systems) technologies are making things much more "convenient" for drivers.

So, what does ubiquitous technology mean for Yamaha Motor Co., Ltd. (YMC) and what value should we supply to our customers with these technologies?

The diagram shown here is one that was used to explain YMC's approach to ubiquitous technology at a Technology Briefing in July of 2003. What it shows is that YMC uses these technologies to provide our customers with excitement, new types of recreation, security and comfort. And it also shows that we are using these technologies to develop new areas of business like unmanned observation vehicles.

As we use these ubiquitous technologies that are indeed becoming omnipresent in today's world, we are trying to give a unique Yamaha Motor "value" to what we supply to our customers. Progress in ubiquitous technologies is causing a rapid evolution in motor vehicles to the degree that they are becoming more and more like robots. Within this technological progress, we aim to provide our customers something more than just added "convenience." We want to use these technologies to help our customers enjoy the trademark "Exciting Performance" of YMC products with an even greater sense of security and in greater comfort. We will also propose new types of recreation. I believe that this is indeed the "value" that YMC should supply and



the form that our ubiquitous technologies should take as a company dedicated to the corporate mission "We Create *Kando* – Touching Your Heart." Another new "value" that only YMC can supply the customers is our unmanned observation technology.

We hope you will read this issue of our Technical Review with this philosophy in mind. In these pages we hope you will find an expression of the spirit with which our technical staff apply themselves to their research in hopes of creating unique new value that we can eventually offer to our customers.



図1 2003年ヤマハ発動機におけるユビキタス技術



今回の特集は「ユビキタス技術」です。「ユビキタス」とはラテン語を語源とする英語で、「(神のごとく)遍在する」という意味の言葉です。ユビキタス・コンピューティングとは、「人間の生活環境の中にコンピューターチップとネットワークが組み込まれ、ユーザーはその場所や存在を意識することなく利用できるコンピューティング環境」をいいます(出所:情報マネジメント用語事典)。私たちの身の周りでは、今まさにユビキタス社会が始まろうとしています。携帯電話から会社のコンピューターにアクセスすることが、可能になろうとしています。また、PDA(Personal Digital Assistants)やマイクロプロセッサーが内蔵された情報家電、カーナビ、そしてコンビニに設置されているマルチメディア端末などがネットワークで接続され、場所を問わず遠隔地のほかのコンピューターを利用できるようになります。つまり、ユビキタス技術により、私たちの生活はどんどん「便利」になっています。家電産業や情報産業はこれらの技術により、私たち顧客に「便利さ」という価値を提供しようとしています。これは自動車の世界も同様で、カーナビをはじめとしてITS(Intelligent Transport Systems:高度道路交通システム)など、すばらしく「便利」になってきました。

それでは、ヤマハ発動機(以下、当社という)にとってユビキタス技術とはどういう意味を持つのでしょうか。それらの技術によって、私たちがお客様に提供すべき価値とは何でしょうか。

図1は、2003年7月の技術説明会で当社にとってのユビキタス技術について、その考え方を説明したもので。これは、「当社はこれらの技術を応用することによって、エキサイトメント、新しい遊び方、安心・快適などをお客様に提供します。そして無人観測機などの新しい分野のビジネスを生み出します。」ということを言っています。

私たちはユビキタス技術という、それこそ今や遍在する技術を応用するのですが、お客様に提供する「価値」は、当社独自のものを目指しています。ユビキタス技術の進歩により、乗り物はどんどん進化し、ロボットに近づきます。そのような技術の流れの中で、私たちは単なる「便利さ」を提供するのではなく、事業の旗印である「エキサイトティングパフォーマンス」を、より安心、快適に楽しんでいただけるようにします。そして独自の新しい遊びを提案します。これこそが「感動創造企業」である当社が提供すべき価値であり、当社のユビキタス技術であると思います。一方で無人観測という、これまた当社のみが提供できる価値をお客様に提供します。

以上のような考え方を心にとめて、今回の特集を読んでください。独自の価値を提供するために、日夜研究開発に励む技術者たちの心意気を、感じていただけるものと思います。

## ■著者



鈴木 正人



ユビキタス領域周辺の技術 特集

## ヤマハASV-3(先進安全自動車)の開発

**Development of the "Yamaha ASV-3" Advanced Safety Vehicle**

大富部 寿一 Juichi Ootonbe 大場 純一 Junichi Ooba 内田 吉陽 Yoshiaki Uchida  
 般若 洋征 Yousei Hannya 安藤 裕介 Yuusuke Andou  
 ●MC事業本部技術統括部



図1 ヤマハASV-3

### Abstract

ASV is the designation for the Advanced Safety Vehicle development project promoted by Japan's Ministry of Land, Infrastructure and Transport with the cooperation of industry, government agencies and academia. The ASV program promotes the development, practical use and spread of safer vehicles as a means to help prevent traffic accidents, and as a corporate participant, Yamaha Motor Co., Ltd. (YMC) has been active in the motorcycle area of the 2nd Stage ASV (1996-2000) and the 3rd Stage ASV (2001-2005) programs. The contents of YMC's ASV projects are the development of safety technologies for the motorcycle itself as well as systems involving tie-ups with the safety functions on other vehicles or the road infrastructure. YMC displayed its "Yamaha ASV-3" research vehicle at the 11th World Congress on ITS (Intelligent Transport Systems) held in October 2004. ITS is a new type of transportation system that attempts to apply the most advanced information technologies to create networks involving the driver, the road infrastructure and the vehicle that can help solve the problems of today's traffic environment by helping to prevent accidents, avoid traffic jams and the like. Taking a broad perspective on ITS, we at YMC have developed four ASV technologies that deal not only with safety but also rider convenience. In this paper we describe the development of our four proposed systems as seen on our "Yamaha ASV-3" research vehicle.

### 1

### はじめに

ASV(Advanced Safety Vehicle)とは、先進安全自動車を意味し、国土交通省が推進するASV推進計画に従って、産・官・学の協力により活動を行っている。この活動では、ASVを交通事故を防ぐためのもの

と位置づけ、安全な車両を開発し、実用化・普及する対策を行っている。ヤマハ発動機株式会社(以下、当社)は第2期ASV(1996～2000年)、第3期ASV(2001～2005年)において、二輪車を対象に活動している。具体的には、二輪車単独、または他車両や道路インフラとの連携での安全技術の開発を行っている。当社は2004年10月に開催された、第11回ITS(Intelligent Transport Systems)世界会議 愛知・名古屋2004において、ヤマハASV-3(提案車)を出展した(図1)。ITSとは、最先端の情報通信技術を用いて人と道路と車両とを情報ネットワークで結ぶことにより、交通事故、渋滞などといった道路交通問題の解決を目的に構築する新しい交通システムである。そのため、安全だけでなく、利便性も加えた技術の提案とした。以下に、ASV-3に搭載された4つのシステムを紹介する。

## 2 ASV活動

交通事故統計資料によると、2003年度の交通事故死者数は7,702人で、10年前より3割近く減少しているが、負傷者数でみると3割以上増加している。国土交通省では、交通事故を防ぐために、エレクトロニクス技術などの新技術を活用し、安全性を格段に高めた先進安全自動車の開発と普及を推進している。二輪車の安全性開発に取り組む際の基本として、二輪車事故の実態調査がある。自動二輪車運転死者数(2003年度データ)の内訳をみると、単独(31%)、右直(20%)、出会い頭(20%)で約7割を

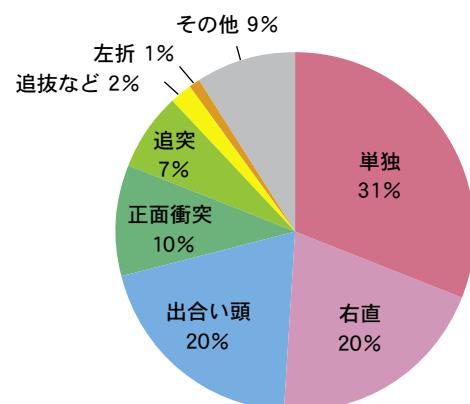


図2 自動二輪車運転死者数

占めている(図2)。二輪車の安全開発において、これらの事故類型に対応した予防安全技術の開発が重要である。四輪車では、ABS(Anti-lock Braking System)やエアバッグに加え、最近ではACC(Adaptive Cruise Control:車間距離制御)等が普及促進の段階となっているが、二輪車では、まだ実用化例が少なく、研究開発の段階である。現在は第3期ASV(2001～2005年)活動期間の後半となっており、乗用車・大型車に二輪車を加えた全体での活動と、自動車業界各社独自の技術開発を同時に行っている。その独自の安全技術開発で得られた成果を発表する場として、第11回ITS世界会議に、当社は「ヤマハASV-3」を出展した。テーマは「安全と利便性」で、二輪車が本来持っている「乗る楽しさ」に、「安全」と「利便性」を高めたシステムを提案した。

以下に、安全面では事故を未然に防ぐ予防安全に関するシステムを、利便性では同乗者等との無線通話に関するシステムを紹介する。

### 3 ヤマハASV-3のシステム

#### 3.1 多機能表示システム

このシステムの特徴は、ライダーが走行中などにおいて知りたい情報(道路前方形状、自車両、地図などを、前面パネルに簡潔に表示することである。今回は太陽光下での視認性を考慮し、半透過型8.8インチのカラー液晶ディスプレイを採用している。表示レイアウトは、車速等の基本情報を中央に、ライダーが選択した情報を右側に、異常等の警報に関する情報は左側となっている(図3a)。本システムの構成を図4に示す。以下に表示内容を説明する。

##### (1) 基本表示

二輪車走行時の基本情報である、車速・エンジン回転速度・走行距離などを表示する。車速は瞬時に分かるように数値を中央に大きく表示し、その回りにエンジン回転速度をレイアウトした。

##### (2) 選択表示

あらかじめライダーが走行する際にメニュー画面にて選択した情報を表示する。具体的には、カーブ手前で道路形状とアイコンを表示するカーブ情報(図3b)、前後のタイヤ空気圧や車両バンク角などを表示する自車情報(図3c)、ウィンカー作動時に後方視界映像を表示する周囲(後方)情報(図3d)などである。

##### (3) 警告表示

バッテリーの容量不足などの警告情報を表示する(図3e)。

その他に、停止時に詳細な地図情報(図3f)や、好みの映像情報、走行した際の各種データ履歴情報などを液晶ディスプレイ上に表示することができる。以上説明した各種表示は、次に紹介する音声提供システムと合わせてライダーが認知しやすいように工夫されている。



図3 表示レイアウトと表示例

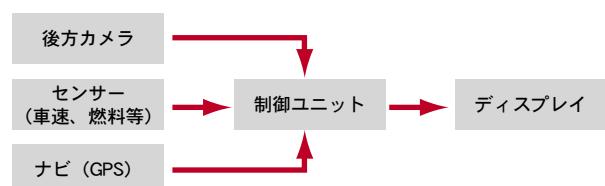


図4 表示システムの構成

### 3.2 音声提供システム

このシステムの特徴は、ライダーなどに種々の音声情報を簡潔に伝える無線通信である。今回、ヤマハ株式会社半導体事業部の協力を得て、Bluetooth技術を利用した二輪車用音声提供システムを開発した。Bluetoothとは、免許不要の近距離無線通信技術で、ノートパソコンや携帯電話などで採用されている。当社では、第2期ASVにおいて赤外線通信を採用したが、太陽光によるノイズ等への対応として、今回は電波による通信を採用した。本システムの構成を図5に示す。車両への搭載は、通信機をシート下に、平面スピーカーをメーター回りにレイアウトした(図6)。ヘルメットへの搭載は、通信機を後方に、スピーカーを耳元に、マイクを前方にレイアウトした(図7)。ライダーへの通信内容を以下に説明する。

#### (1) 道路前方形状のカーブサービス

GPS(Global Positioning System)からの位置と地図情報を用い、カーブに差し掛かる手前で自動的にメロディーと音声で道路形状情報を提供する。

#### (2) 同乗者との通話

会話開始時に自動的にスイッチが入り、通話可能となる。また、会話が終了後、一定時間経つと自動的にスイッチが切れる方法とした。

#### (3) ライダー間や携帯電話での通話

ハンドル左に取り付けたスイッチを押すことにより、通話(メッセージ送信)を行うことができる。

その他にも、メモリー等に記録した音楽を、車両に設置したスピーカーまたはヘルメットで楽しむこともできる。

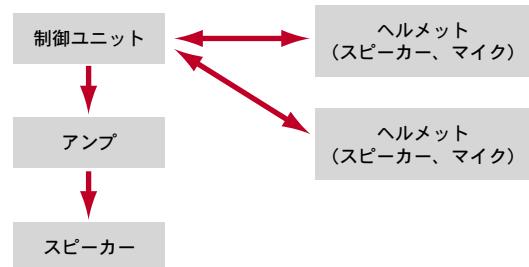


図5 音声システムの構成



図6 スピーカー



図7 ヘルメット

### 3.3 夜間ライティングシステム

このシステムの特徴は、右左折する手前やカーブ走行中に、自動点灯するコーナリングライトである。これは、夜間での前方視界確保に有効である。当社では、第2期ASVにおいてアクティブヘッドライトを提案し、ヘッドライトの光軸がバンク角に応じて回転し、常に前方を照射する機能を実現した。今回は、バンクする手前での照射や構造のシンプル化を行い、コーナリング専用のライトをヘッドライト横にレイアウトした(図8)。本システムの構成を図9、コーナリングライトの作動手順を図10に示し以下に説明する。

(1) 直進走行(交差点手前) → 第1コーナリングライト点灯

  ワインカースイッチONに連動して、曲がりたい  
  方向を照射。

(2) 旋回走行 → 第2コーナリングライト点灯

  設定したバンク角に達した際に自動点灯し、2つ  
  のコーナリングライトで旋回方向を照射。

(3) 旋回から直進走行 → 第2コーナリングライト  
  消灯

  設定したバンク角以下になった時に、自動消灯。

(4) 直進走行 → 第1コーナリングライト消灯

  ワインカースイッチOFFに連動して、消灯。

夜間での交差点走行においてこのシステムの有無の比較を行った(図11)。進路の照射範囲の違い  
が分かり、このシステムが夜間での視認性向上に有効であることが確認できた。



図8 コーナリングライト



図9 ライティングシステムの構成

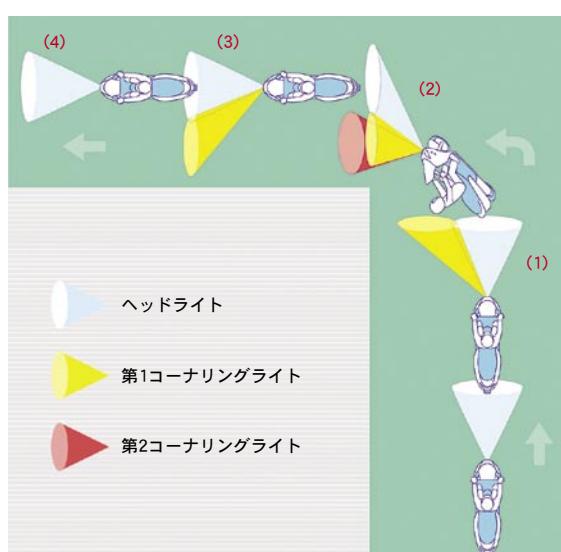


図10 コーナリングライトの作動手順



図11 照射範囲の比較



### 3.4 後方視界補助システム

このシステムの特徴は、後方確認が必要なレーン変更時などにおける、後方から側方にかけての周囲情報のモニター表示である。図12では、前方車両を追い越そうとする時の二輪車と、その後方から来る車両の関係を示している。当社では、第2期ASVにおいて、後方と左右の3つのCCD(Charge Coupled Device)カメラを採用し、ミラー死角の補助用に、必要時のみに表示するシステムとした。今回は、カメラを左右1つずつに簡素化し、真後ろから横までを表示できる仕様とした。車両の後方(左右)にCCDカメラが2個搭載されており(図13)、ワインカーに連動して片側の映像を液晶ディスプレイの選択画面に表示する。見やすくするために、必要時にのみ表示する方法を採用した。以下に図12のレーン変更時を例として表示状況を示す。

#### (1) 直進走行

前車を追い越そうとする場面でワインカーを操作。

#### (2) 後方確認

ワインカーに連動して液晶ディスプレイの右側に、右側CCDカメラ映像を表示。ライダーはミラーと液晶ディスプレイ両方に写った情報を確認し、後方からの追い越し車両が通過するのを待つ。

#### (3) レーン変更

ライダーは追い越し車両の通過を確認後、レーン変更を実施。

#### (4) 直進走行

レーン変更動作が終了し、ライダーはワインカーを解除。ワインカーに連動して映像表示が終了し、元の情報表示に戻る。

(2)の状況において、図14のようにミラーでは死角となる情報も、カメラ映像では表示することができる。



図12 レーン変更



図13 後方カメラ



a) ミラー映像



b) カメラ映像



図14 ミラーとカメラ映像の比較

## 4 おわりに

2004年10月に名古屋で開催されたITS世界会議に出展した、安全と利便性を追求した「ヤマハASV-3」の4つのシステムを紹介した。今後は現状の技術課題への対応や、商品化に向けた取組みを積極的に行っていく。ASVの取組みとして、予防安全技術を主体に開発するとともに、事故が発生した後の被害を低減する乗員保護デバイス等の衝突安全技術もさらに開発していく。2005年度は第3期ASV活動の最終年であり、情報交換型運転支援システム(車車間通信)の検証実験などが予定されている。二輪車メーカーとして実験に参加し、さらなる安全な乗り物を開発していく。

### ■参考文献

- 1) 国土交通省自動車交通局ホームページ:「自動車総合安全情報」  
<http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/chuu/index00.html>
- 2) ITS世界会議ホームページ:  
<http://www.itswc2004.jp/japanese/index.html>
- 3) ヤマハ発動機ホームページ:ニュースリリース(2004年10月18日)  
<http://www.yamaha-motor.co.jp/news/2004/10/18/its.html>
- 4) ヤマハ発動機ホームページ:ニュースリリース(2000年11月6日)  
<http://www.yamaha-motor.co.jp/news/2000/11/06/asv2.html>
- 5) ITARDA INFORMATION NO.52/2004/11/21

### ■著者



左から、安藤、大場、大富部、般若、内田



ユビキタス領域周辺の技術 特集

# 小型電動二輪車のための燃料電池システム

A Fuel Cell System for Small Electric Motorcycles

安達 修平 Shuhei Adachi

●研究創発センター コア技術研究室

## Abstract

Following the recent decision by Russia to ratify the Kyoto Protocol, it is now all but certain that a final protocol will be issued and we will be entering an era of mandatory reductions of greenhouse gas emissions. It is said that approximately 20% of all emissions of CO<sub>2</sub> come from automotive vehicles. This is adding momentum to the development of technologies by corporations in the transport vehicle industry to improve the environmental performance of their products. Within this movement, the fuel cell is looked to as one of the ultimate power sources, due to the fact that it releases no toxic gases and achieves highly efficient energy conversion. With regard to the attempt to utilize fuel cells as a power source for small electric motorcycles, we have now reached the point where the technological problems and the directions for their solutions have been clarified and we can now visualize a road map for bringing fuel cell motorcycles into practical use. In this report we describe Yamaha Motor Company's development of a fuel cell system for small electric motorcycles.

## 1 はじめに

ロシアの批准によって京都議定書の発効が確実となり、地球温暖化ガスの削減義務が現実のものとなってきた。二酸化炭素排出における自動車の寄与は、およそ20%といわれている。輸送機器を事業とする企業では、環境性能に優れた製品のための技術開発に拍車がかかっている。中でも燃料電池は、有害な排気ガスを出さず、高効率なエネルギー変換ができることから、究極の動力源として期待されている。この燃料電池システムを小型電動二輪車に適用する試みにおいては、技術的な課題と対策の方向性が明らかになり、実用化へのロードマップが描けるところまでできている。

## 2 燃料電池の種類と歴史

一般に電池というと電気エネルギーを貯蔵するものという意味合いが強いが、燃料電池は外部から反応物質(水素と酸素)を供給することにより発電する、いわばエネルギー変換装置である。その歴史は古く、約200年前に英国のSir Davyによって原理が提唱され、1839年にSir Groveが実証実験を行ったとされている。最初に実用化されたのは、アルカリ型(Alkaline Fuel Cells:AFC)と呼ばれるタイプで、電解質に水酸化カリウム水溶液を使用し、作動温度は室温から230°Cくらいまで用いられた。燃料の水素に二酸化炭素が混入すると性能が低下する問題があり、主としてスペースシャトルなどの宇宙航空向けに用途が限定されている。実際に商用運転されているのは、リン酸型(Phosphoric Acid Fuel Cells:PAFC)というタイプで、作動温度は180~220°Cである。廃熱を有効に利用できる公共施設や工場などに導入

されている。溶融炭酸塩型(Molten Carbonate Fuel Cells:MCFC)、固体酸化物型(Solid Oxide Fuel Cells:SOFC)は、いずれも通常は700°C以上の作動温度域で使用され、高効率が期待されるが、電極材料の信頼性など課題も多い。

1990年代以降、急速な進化を遂げ、実用化が期待されているのは、固体高分子型(Proton Exchange Membrane Fuel Cells:PEMFC)で、電解質にフッ素樹脂系または炭化水素系の陽イオン交換膜が使われている。作動温度が100°C以下と低く、頻繁な起動・停止のくり返しを含む運転条件でも比較的高い効率を維持できる上、電解質の信頼性も高い。この技術ブレークスルーによって、主として、定置用、移動体用、可搬電源用の3つの分野で燃料電池システム応用開発が進んでいる。

定置用は、家庭用分散電源として1~5kWのシステムで、都市ガスなどをオンサイトで改質して得た水素を使うものである。耐久時間40,000時間という目標をクリアできる見通しが立ち、2005年には商用化が計画されている。移動体用は、主に自動車用で、車格に応じて10~100kWのものが用いられる。2002年からリース販売という形で、官庁など、ごく限られた用途での実用化がはじまっている。燃料としては圧縮ガス水素が主流となっており、液体水素や車上ガソリン改質などの方式は姿を消しつつある。ガス容器には、現在は35MPaの高圧に耐える複合材料製のものが用いられることが多いが、車載できる容積の制約から、航続距離が、現行ガソリンエンジン車の約2分の1に限られるため、70MPa仕様への移行が検討されている。可搬電源用では、モバイルパソコンや携帯電話の電源としての用途が注目されている。出力はおよそ1~50Wの範囲で、液体のメタノールを燃料とし、改質器を必要としない、直接メタノール燃料電池(Direct Methanol Fuel Cells:DMFC)が主流である。

### 3 燃料電池導入の意義

燃料電池が環境負荷を軽減する技術として期待されるのは、効率が高い、有害な排気を出さない、音や振動が少ない、といった特性があるためである。とりわけ効率に関しては、燃料の利用効率だけでなく、燃料の製造過程まで含めたトータルな意味での効率による比較をする必要がある。表1は、ガソリンエンジン車と燃料電池車について、使用する燃料の製造時の効率、いわゆるWell-To-Tank効率と、車両における燃料の利用効率(Tank-To-Wheel効率)の実績値を示し、両者を掛け合わせた総合効率での比較を行ったものである。これによると、総じて燃料電池車の方が、ガソリンエンジン車よりも高い総合効率を示すことが分かる。しかしながら、ハイブリッド車や高性能ディーゼルエンジン車で、その総合効率が、現行の燃料電池車の値と同等または上回るものも出現してきており<sup>1~2)</sup>、今後、燃料電池効率のいっそうの改善が必要と考えられる。

表1 各種車両システムの効率比較

	燃料効率 (%)	車両効率 (%)	総合効率 (%)			
			10	20	30	40
ガソリン エンジン車	88 <sup>※1</sup>	16-30		14-28		
燃料電池車 水素	58 <sup>※2</sup>	37-52		21-30		
燃料電池車 直接メタノール	70 <sup>※3</sup>	25-40		18-28		

※1: 原油からガソリンを製造する場合の効率

※2: 天然ガスから水素を製造する場合の効率

※3: 天然ガスからメタノールを製造する場合の効率

## 4 燃料電池二輪車

燃料電池システムを搭載した二輪パーソナルビークルの目指す姿は、従来のガソリンエンジン車がもつ、走り、航続距離、燃料補給の容易さといった総合的な高い利便性と、電動車両がもつ、優れた環境性の両立である(図1)。

これまでに燃料電池を搭載した二輪車として試作車がいくつか報告されており<sup>3)</sup>、車格によって、電動自転車、原付クラス(原動機排気量50 cm<sup>3</sup>相当)、小・中型クラス(排気量125~250 cm<sup>3</sup>相当)に大別される。搭載されている燃料電池のタイプには、水素ガスを燃料とするPEMFCと、メタノールを燃料とするDMFCがある。公表されている諸元から、車両重量と出力の関係をプロットすると、図2のようになる。この図から、小・中型クラスでは水素ガスを燃料とするPEMFCが一般的であるものの、電動自転車や原付クラスの二輪車にはDMFCが重量面で有利であることが推察される。燃料供給のためのインフラストラクチャーを考えると、水素燃料供給網の整備には長期にわたる多額の投資が必要であり、早期の実用化には、なお多くの障害が予想される<sup>4)</sup>。これに対し、メタノールを燃料として使用するための流通ネットワークは、比較的容易に実現させることが可能と考えられる。その意味でも、DMFCは、原付クラスの小さな乗り物の動力源として支持される要素を備えていると思われる。

ヤマハ発動機株式会社では、そうした思想を具現化したコンセプトモデルを、2003年10月に開催された第37回東京モーターショーに出展した<sup>5)</sup>。このコンセプトモデルと並行して、走行試験を目的とした専用車両を作製し、種々の条件での走行テストを行った。走行試験車両の諸元を表2に示す。

この車両をベースとして、保安基準に適合した車両を作製し、2004年9月に公道走行のためのナンバーを取得している(図3)。

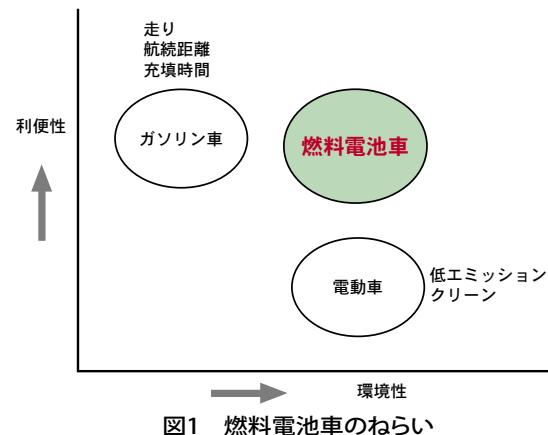


図1 燃料電池車のねらい

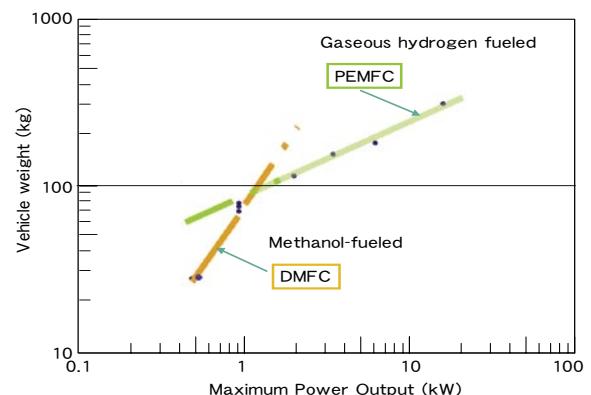


図2 燃料電池二輪車の車重と最高出力の関係

表2 走行試験車両の諸元

長さ / 幅 / 高さ	1,590 / 615 / 975 mm
乾燥重量	69 kg
定格出力	0.58 kW
航続距離	100 km以上
燃料	メタノール54質量%水溶液



図3 公道走行中の燃料電池二輪車

## 5 燃料電池システムの構成

上記の走行試験用車両に搭載した燃料電池システムの基本的構成は、図4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CO<sub>2</sub>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。燃料循環系の中途にはラジエーターを設置し、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、そこでカソード反応により、水が生成される。その水を凝縮器で冷却分離し、いったん水タンクに蓄えた後、一部を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。なお、システムは、始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、2次バッテリーを備えている。

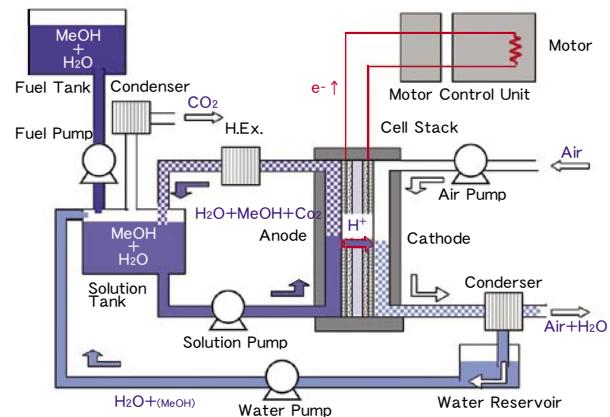


図4 直接メタノール燃料電池システムの構成

## 6 課題と将来展望

燃料電池二輪車の技術課題としては、効率と出力性能の両立を実現する構造と制御、長期保管後や冷寒時の始動性、さまざまな使用条件におけるシステムの信頼性と耐久性、製造コストなどが挙げられる。

特に効率については、直接メタノール燃料電池特有のクロスオーバー(メタノールが電解質膜を透過してしまう現象)を最小限に抑え込みながら必要な出力性能を確保するため、多様な工夫が必要である。図5に本システムにおける効率の内訳を模式的に示す。燃料電池システムの効率( $\eta_T$ )は、主に3つの効率の積( $\eta_F \cdot \eta_V \cdot \eta_A$ )で決まる。 $\eta_F$ は燃料効率または燃料利用率と呼ばれ、消費された燃料に対して有効に発電反応に使われた燃料の比率をいう。損失の大部分はクロスオーバーによるものであり、対策として厚めの膜・電極接合体(Membrane Electrode Assemblies:MEA)を使用し、低濃度の燃料を使い、比較的低温で、少ないエア流量で運転することが望ましい<sup>6)</sup>。しかしながら、こうした高効率運転の条件は出力性能を犠牲にする方向である。この問題の解決のためには、MEAの材料や表面構造の改良と最適な運転制御アルゴリズムの開発が必要である。

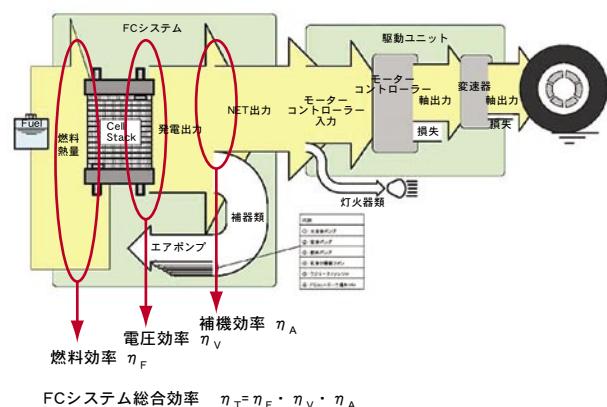


図5 直接メタノール燃料電池システムの効率内訳

## 7 燃料の選択

メタノールを燃料とする乗り物が環境に与える影響については、World Business Council for Sustainable Development(WBCSD)で実施した試算例<sup>7)</sup>がある。これによると、メタノールを燃料とする燃料電池を搭載した乗り物の走行中のCO<sub>2</sub>排出量は、2010年時点で予想されるガソリンを燃料とする内燃機関搭載車からの排出量の約60%と推定される。また、将来自動車用燃料として普及した場合のメタノールのコストは、図6に示すように、他の新燃料に比較して安価である、との試算がなされている<sup>8)</sup>。

長期的には、メタノールの製造原料を、現行の天然ガスから、植物性バイオマス由来のものに代替することによって、排出されるCO<sub>2</sub>は地球温暖化に寄与しないものとすることができます。このような、循環型の燃料サイクルが経済的に成り立つ日が、いずれ来るかもしれない。

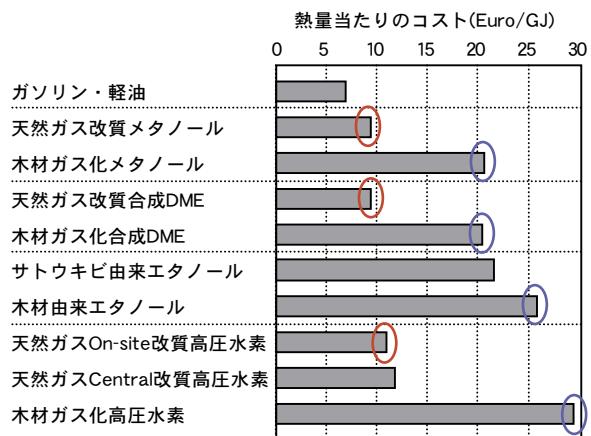


図6 自動車用各種新燃料のコスト予測

## 8 おわりに

直接メタノール燃料電池を搭載した小型電動二輪車を中心に、地球環境にやさしく快適性と利便性を損なわない乗り物のための技術の一端を紹介した。長期的には水素エネルギー社会が到来するかもしれないが、水素燃料のインフラストラクチャーがどのくらいの速さで整備されるかについて明言できる人はいない。一方で、石油生産量が近い将来、減退に向かうことが確実視されており、需給の逼迫から原油価格の高騰は定常化しつつある。原油価格の上昇は、高コストの非効率な採掘や輸送を可能にし、結果として二酸化炭素の発生が増大する可能性がある。今できることは、機器の効率化などを進め、石油や天然ガスなどの化石燃料の消費をできる限り抑制することである。即効性のある現実的なアプローチが必要なのである。

## ■参考文献

- 1) Nikkei Business Special Issue, Energy Shift 11, 38 (2003)
- 2) 西村輝一 自動車技術 Vol. 58, No. 11, pp. 11-16 (2004)
- 3) Fuel Cells 2000 , <http://www.fuelcells.org/info/charts/specialty.pdf>
- 4) Committee on Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use, National Research Council, The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs, <http://www.nap.edu/catalog/10922.html>
- 5) 安達, 燃料電池 Vol. 3, No. 3, 52 ( 2004 )
- 6) 小竹, 渡邊, 高木, (社)自動車技術会 學術講演会前刷集No. 43-04, 13 ( 2004 )
- 7) World Business Council for Sustainable Development, <http://www.wbcsd.org/web/publications/mobility/mobility-full.pdf>
- 8) Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, European Commission, Joint Research Center, <http://ies.jrc.cec.eu.int/Download/eh/より抜粋>

## ■著者



安達 修平



ユビキタス領域周辺の技術 特集

## ヒューマンセンシング

**Human Sensing**

水野 康文 Yasufumi Mizuno

●研究創発センター システム技術研究室

### Abstract

The science of ergonomics that seeks to understand in scientific terms the complex living organism that is the human being, is now referred to by many scientists working primarily in the U.S. as "human engineering," as they apply a concept of system engineering that views the human being from the standpoint of larger systems. The purpose of human engineering is to optimize the relationship between humans and mechanical systems. Meanwhile, it has been pointed out that the most serious accidents involving aircraft outfitted with automatic control systems based on today's most advanced technologies, result from the fact that this automation technology has developed in a direction that is too machine-oriented. In other words, the more advanced this type of machine-centered automation becomes, the more removed the human being becomes from the mechanical systems. This has led NASA, for example, to release a set of principles for the development of human-centered automation systems. This is clear evidence that we are beginning to see a shift in the focus of automation technologies away from machine-oriented automation and toward human-oriented automation.

Meanwhile, a new field of research called "kansei engineering" (engineering oriented toward human sensibilities) began in Japan in the 1990s as increasing levels of material affluence led to a growing search for spiritual and emotional enrichment. The reason behind these engineers' efforts to actively introduce into the field of engineering the word kansei (sensitivity, sensibility, perception), which is traditionally a term used in the fields of philosophy and psychology, is that we have entered an era where taking into account individuality and personal values has become a necessity in the field of product creation.

In light of such conditions, it has become important to develop human-oriented automation technologies and technologies that place importance on human feelings and sensibilities. And, this makes it necessary to employ "human sensing" technologies that provide engineers with quantitative understanding of the human being's mental/emotional state. Here we report on our investigations into the potential and applications of human sensing technology.

1

### はじめに

人間という複雑な生命体を科学的に理解するための人間工学は、米国ではヒトをシステムの一部として捉えるシステム工学的発想からhuman engineeringと呼ばれる。human engineeringは人間と機械システムとの関係を最適化することを目的としている。その一方で、システム工学を駆使し、現代技術の粹

を集めた自動化装置を搭載した航空機の重大事故の原因は、機械中心の自動化が進み過ぎたためであることが指摘されている。すなわち、自動化が進めば進むほど人間と機械システムに乖離<sup>かいり</sup>が生じてしまったのである。そのために、航空機の分野では、NASA(National Aeronautics & Space Administration:米国国家航空宇宙局)が人間中心の自動化技術の原則を発表するなど、機械中心から人間中心の自動化の方向への思想転換が始まっている。

一方、日本においては、物質的に豊かになり、こころの豊かさを求める時代になった1990年頃から「感性工学」という研究が開始された。哲学や心理学の学術用語としても使われている感性という用語をえて工学に導入した背景には、個人の個性や価値観などを認めるモノづくりが必要とされる時代に突入したことを示す。

このような状況の中で、人間中心の自動化技術や人間のこころを大切にする様々な技術開発が重要になるが、そのためには人間のこころの状態を定量的に把握するためのヒューマンセンシング技術の活用が必要となる。

## 2 ヒューマンセンシング技術の現状

「どうしたら快適性や快感を測れるのか?」という質問をよく受ける。しかし、残念ながら積極的に「快」を評価するのは難しい。不快な状態を評価して不快要因を除外することによって、相対的に「快」に近づけるといった問題解決型のアプローチがまだまだ主流である。

不快評価のベースとなっているのはストレスという概念である。一般にストレスというと人間にとって有害なものと考えられているが、生理学的には害悪のある悪いストレス(distress)と成長や発達に必要な良いストレス(eustress)に区別されている。

ストレスは1934年に「生体に有害な刺激が加わる結果として生ずる副腎髄質系の危急反応」に着目したキャノンによって、はじめて医学用語として定義された。元来は医学分野で使われてきたストレスであるが、1967年にフランスの学者メッツが環境生理学と産業衛生に関する論文で、温熱ストレスの生体への影響を議論したことで初めて工学分野に登場した。さらに、精神的作業負荷に関してストレスが定義されたのはメッツの報告から24年後の1991年であり(ISO 10078 精神的負荷作業に関する人間工学的原則)、人間のこころの状態を捉えるための研究の歴史は新しい。

## 3 ヒューマンセンシングの種類と特徴

ヒューマンセンシング技術、すなわち、人間のこころの状態を計測・評価する方法は、アンケートなどによる主観的評価、行動やパフォーマンス計測する行動評価、生体の反射を計測する生理評価に分類されるが、我々は主観評価と生理評価に重点をおいた研究を展開している。

### 3.1 主観評価

主観的評価は人間を測定器として使う方法で、官能評価手法を用いるケースが多い。官能評価は、実

施のしやすさや総合評価が容易といった長所がある反面、個人差が大きいことや、個人内でも自己の評価基準を維持することが困難であるといった問題点がある。主観的方法は行動評価や生理評価といった客観的方法に比べて劣っていると思っている人が多いが、決してそのようなことはない。人間を含めた生体は何千年、何万年もの間、改良が加えられた最も精巧な機械なのである。例えば、ドライブフィールの評価はドライバーの感覚に頼るしかない<sup>1)</sup>。また、醸造業界においても、品質を化学的に評価する方法はあるが、熟成度やブレンドの微妙な効果を確かめるには人間の感覚に頼るしかなく、官能評価は非常に重要な仕事として位置付けられている。

官能評価は、専門家を対象として品質の差異などを検出する分析型(I型)と、素人を対象として好みの分析を目的とした嗜好型(II型)に分類され、それぞれに適した評価手法と解析手法が提案されている。官能評価を実施する上では、手法の特徴をよく理解した上で、目的に応じて適切な被験者、評価手法、解析手法を選択することが重要である。

### 3.2 生理評価

生理評価は、脳波や心電図、筋電図など生体の発する電気信号や、血圧や体温、発汗などの物理現象を測定する電気生理学的方法と、血液、尿、唾液の成分を分析する生化学的方法がある。人間を含む生物には2種類の優れた自動制御機構が備わっている。ひとつが神経系の調整機能で、もうひとつが内分泌系の調整機能である。前者を電気生理学的方法で、後者を生化学的方法で測定する。これらの自動制御機構をホメオスタシス(恒常性:homeostasis)という。生体には、このホメオスタシスによって、外界の環境の変化に対して、常に安定した状態に保とうとする仕組みがある。そのため、測定値の平均値に対する変化が非常に小さく、これが生理評価を困難にしている理由のひとつである。電気生理学的方法はリアルタイムで連続的に測定できる可能性が大きく、評価結果をフィードバック制御に活用する場合に有効である。生化学的方法は、充実している臨床検査の技術や豊富なデータベースを活用できる面で有効である。

快適性を含むストレスの評価における計測では、非侵襲計測(noninvasive measurement)が必要である。非侵襲とは、生体に害や痛みを加えないことを示す。「採血する」という予期、不安が被験者の心理・生理状態に影響を与える<sup>2)</sup>ために、必ずしも医学分野の方法がそのままストレス評価に適用できるわけではない。低侵襲・非侵襲生体計測技術は、最近の生体医工学(bio-engineering)の中心的研究テーマのひとつになっている。さらに、究極的には日常生活の行動を妨げず、測られているということを気づかせない無意識計測(unconscious measurement)が望まれる。

計測結果の解釈においては、心理状態の変化に対する測定値の変化が一意でないことに注意する必要がある。例えば、心電図情報から推定される自律神経機能が副交感神経優位になったからといって、必ずしもリラックスしたとはいえない。長距離運転の際に、運転に必要な集中力の維持が困難になっても副交感神経優位になる<sup>3)</sup>。このように、現状では確立されたヒューマンセンシングの方法は無く、複数の手法を組み合せて、多元的に評価することが必要である。

## 4 ヒューマンセンシングの応用例

我々が現在進めている唾液を用いてストレスを評価する研究例を紹介する。「いつでもどこでも、その場でこころの状態を知る技術が新たな価値を創造する」というコンセプトで開始したこの研究では、唾液中のアミラーゼ(salivary  $\alpha$ -amylase)というデンプンを加水分解する酵素に着目している。

生体は、ストレスに対して2つの内分泌系、すなわちSAM system(Sympathetic nervous-Adrenal Medullary system:交感神経 - 副腎髄質系)とHPA system(Hypothalamic-Pituitary-Adrenocortical system:視床下部 - 下垂体 - 副腎皮質系)を介して、心拍や血糖を亢進させてストレス対応能力を高める(図1)。したがって、SAM system、HPA systemそれぞれの反射を反映するカテコラミンとコルチゾールというホルモンの血中濃度を測定すれば、ある程度のストレスを定量的に捉えられることが知られている。コルチゾールは唾液による測定が可能であることから、ストレスマーカーとしてよく使われるが、唾液中のホルモン濃度はnM(nmol/L)オーダーと非常に低いので、定量計測自体が困難であることから、汎用性のある技術として実用化されていないのが現状である。一方で、唾液アミラーゼの分泌は、SAM systemの制御を受けて直接の交感神経作用によって亢進されるために、ストレス負荷に対する応答性がコルチゾールに比べて格段に優れている<sup>4~5)</sup>。すなわち、ストレス負荷に対するコルチゾールの濃度変化が20~30分遅れるのに対して、アミラーゼの分泌が亢進するための時間遅れは1分~数分と短い。さらに、唾液アミラーゼは、通常唾液中に40mg/dlという高濃度で存在するため、実用的なストレス評価のためのマーカーと期待できる。

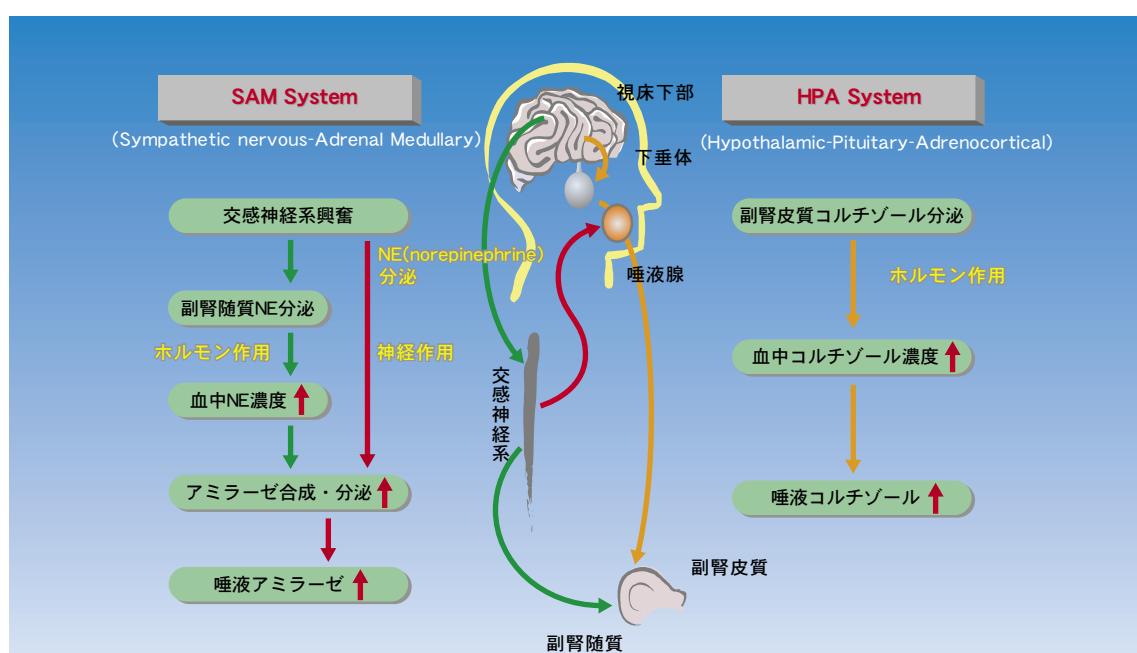


図1 ストレスとその伝達制御系との関係

このような背景から開発されたのが、携帯式のストレスモニターである(図2)。隨時性、即時性、簡便性を実現するために、ドライケミストリーによる酵素活性の定量化技術を搭載している。現在はこのモニターを活用して評価の精度を高めるためのデータ収集を展開しているが、最近の研究結果から、唾液アミラーゼはdistressだけでなく、eustressの指標とも成り得ることが分かってきた<sup>6~7)</sup>。これは、コルチゾールにはない長所といえる。



図2 試作したストレスモニター

## 5 おわりに

個人の特性や嗜好などにきめ細かく対応するモノやサービスを提供するためには、平均値的な人間の特性に着目するのではなく、時々刻々変化する人間の状態に柔軟に対応するシステムを考案しなければならない。そのためには、

- ① 人間を計測する技術
- ② 計測したデータを評価する技術
- ③ 評価結果を応用する技術

が必要である。この中でも、実用的な非侵襲生体計測技術の確立は研究のブレークスルーのひとつである。もうひとつは応用技術の開発である。周辺技術との融合によるユニークなシステムの開発がキーになる。

### ■参考文献

- 1) 水野康文:多変量解析事例集 第7章 クルマの「走り感」評価法に関する研究, 日科技連出版社, 1992
- 2) Kirchbaum et al. : Salivary cortisol in psychobiological research, *Neuropsychobiology*. 1989
- 3) Mizuno et al. : Method to Estimate the Physical and Mental Workloads due to Motorcycle Riding Using R-R Intervals of Electrocardiogram based on Logistic Regression Model, *Transaction of the Japanese Society for Medical and Biological Engineering* 36-1, 1998
- 4) Chatterton et al. : Salivary  $\alpha$ -amylase as a measure of endogenous adrenergic activity, *Clinical Physiology* 16, 1996
- 5) Skosnik et al. : Modulation of attentional inhibition by norepinephrine and cortisol after psychological stress, *International Journal of Psychophysiology* 36, 2000

- 6) 金丸 正史ほか:唾液アミラーゼ活性によるジェットコースターの感性評価, 信学技報, OME2003-24, 2003  
7) Takai et al. : Effect of psychological stress on the salivary cortisol and amylase levels in healthy young adults, Archives of Oral Biology 49, 2004

### ■著者



水野 康文



ユビキタス領域周辺の技術 特集

## 二輪車サウンドデザインツールと新型サウンドシミュレーター

**A Motorcycle Sound Design Tool and New Type Sound Simulator**

前田 修 Osamu Maeda

●研究創発センター システム技術研究室

### Abstract

As the sound levels permitted for automobiles have been lowered in recent years, more attention has come to focus not only on the volume of sound emitted by automobiles but also the quality of that sound. The same is true for motorcycles. In fact, it can be said that due to the fact that motorcycles tend to be used as vehicles for leisure enjoyment more often than automobiles, their owners are believed to be especially sensitive to sound quality.

As a result of these trends, technological efforts in the automotive industry have come to focus on how to improve sound quality and what kind of sound to produce. These efforts include not only improving the sound of individual vehicles but also how to involve vehicle sound in the various makers' (brand) image strategies. Overseas, makers are now involved in the work of creating brand sound, as exemplified by the recent case of a U.S. motorcycle maker trying to register the sound of their products as a type of trademark.

No matter what kind of product a maker is trying to create, the result will not be good if the development aims are not clear. If a good product should happen to be created without clear aims, it is a rare case of coincidence and luck that cannot be repeated. In the case of sound as well, a good sound cannot be created without setting specific goals. If the concern is only to meet noise regulations, then it is enough just to set a specific decibel (dB) goal. But if the concern is sound quality, you have to "design" the sound rather than being concerned only about decibel levels.

In spite of this fact, no sound design tool has existed until now for motorcycles. Within Yamaha Motor Co., Ltd. we have had a sound simulator designed to reproduce on a computer the sound of a motorcycle, but it was only designed for entertainment purposes. In this project we set out to create a sound design tool and simulator specifically for the purpose of designing motorcycle sound. Here we report on this development project.

### 1

#### はじめに

近年、自動車の騒音レベルが低下するにつれ、自動車の音は音量だけでなく音質も問われるようになってきた。これは二輪車も例外ではなく、むしろ二輪車の方が四輪車よりも趣味性が高いため、ユーザーの音質に対するこだわりも強いと思われる。

そのような中で、自動車業界では音質をいかにして改善するかと共に、どのような音を作るかが技術課題となっている。それは単に各機種の音を良くするだけにとどまらず、メーカーのイメージ戦略にも関係

している。海外ではブランドサウンド作りが進められており、その一例として米国の二輪車メーカーが自社製品の音を商標登録しようとしたことは、記憶に新しい。

もの作りは対象が何であっても、目標がしっかりとしていないと良いものは作れない。目標を持たないで良いものができたとしたら、それは単なる偶然であって、何度もあることではない。音についても目標を具体的に設定しなければ、良い音は作れない。騒音規制対応が目的である場合はdB値を目標にすればよいが、音質の場合はdB値ではなく音のデザインが必要になる。

しかし、これまで二輪車の音をデザインするためのツールは存在しなかった。二輪車の音をコンピューターで合成して聞くことができるサウンドシミュレーターは、ヤマハ発動機(以下、当社)社内に存在したが、それはエンターテインメントが目的であった。そこで、この度、音のデザインを目的としたツールとサウンドシミュレーターを新たに開発したので紹介する。

## 2 従来のサウンドシミュレーター

二輪車の走行中の音を仮想的に体感できるサウンドシミュレーターは、既に2度社内で開発されている。

最初は図1に示すように、1999年の東京モーターショーに2機種出展され、その後当社コミュニケーションプラザに2年間展示された。これは第1世代であり、サウンドシミュレーターとしての基本的な機能は全て備えていたが、当時のパソコンの性能限界のため、音の合成方法は比較的単純であった。また振動はシートのみで、ハンドルには無かったので、リアリティーは多少劣るものであった。

次の2001年の東京モーターショーでは4機種出展され、その後コミュニケーションプラザに3年間展示されて現在に至っている。これは第2世代に相当するものであり、コンピューターの性能向上に伴い、音の自由度や質は向上し、ハンドル振動も付加したので、リアリティーはかなり改善された。そのため東京モーターショーではお客様から好評をいただき、連日30分ないし1時間待ちの行列ができた(図2)。しかし、このサウンドシミュレーターは、対象となる車の音を忠実に再現することに主眼が置かれていて、音を自由にデザインするためのツールという観点では作られていなかった。また、音や振動の信号は2chしか出力されず、音は展示場所の環境に配慮してヘッドホンで聞くようになっていたので、若干違和感もあった。



図1 サウンドシミュレーター1999年型



図2 サウンドシミュレーター2001年型

以上のように、従来のサウンドシミュレーターは、モーターショーやコミュニケーションプラザの展示物としては充分に目的を果たしてきたが、研究開発部門で二輪車の音をデザインするツールとしては、まだ改良の余地があった。

### 3 二輪車サウンドデザインツール

新型二輪車の開発において車体の外観形状を決めるときには、まず車のコンセプトを明確に設定し、それにふさわしい形を何枚か絵に描いて検討した後、クレーモデルを作つて立体的な検討を行う。このプロセスを飛ばして、いきなり車体部品の設計を行うことはあり得ない。

音質の場合も図3のように同様のプロセスを踏むことが望ましいが、二輪車の音をデザインするためには、エンジンの音を自由に作ることができるツールが必要となる。市販の音楽用ソフトウェアやシンセサイザーを使えば、そこそこの音は合成できるが、リアルなエンジン音は無理であった。今回新たに開発した二輪車サウンドデザインツールは、合成手法として「単発音制御再生法」を主に用いており、市販のマルチメディアオーサリングツールであるMax/MSPで作成されたソフトウェアとパソコン、オーディオインターフェースなどのハードウェアから構成される。図4はそのハードウェア構成を示し、表1はその主な機能を示す。



図3 二輪車サウンドデザインプロセス

表1 二輪車サウンドデザインツールの主要機能

No.	主要機能
1	4ストローク単気筒もしくは2気筒エンジンの二輪車の音を合成可能
2	2気筒エンジンの気筒配列や爆発間隔は自由に設定可能
3	エンジン回転速度の範囲は600rpmから10,000rpmまでの間で設定可能
4	エンジンの性能曲線やレスポンスは自由に設定可能
5	変速機は6速を上限として変速比は自由に設定可能
6	車体の重量、空気抵抗、転がり抵抗は自由に設定可能
7	車両の運転操作はマウスとキーボードもしくは外部入力のMIDI (Musical Instruments Digital Interface) 信号で行える
8	単発音のデータファイルは自由に追加したり入れ替えたりできる
9	単発音は5つの運転条件それぞれに2つずつ設定可能
10	エンジン回転速度とスロットル開度に応じて単発音の大きさや揺らぎを制御して再生
11	単発音以外に次数成分音とランダム音を自由にミックス可能
12	エンジン音以外のスタートー音、シフトチェンジ音、ギヤ音などは変更可能
13	合成される風切り音の音量は実走行並の音圧レベルまで調整可能
14	音信号は4ch、振動信号は2chまで出力可能
15	車両全体音と排気音を別々に同時合成可能



図4 二輪車サウンドデザインツールの構成

このサウンドデザイン用ソフトと、従来のサウンドシミュレーター用音合成ソフトの相違点は多々あるが、特に大きく異なるのは、ユーザーインターフェースと音の合成アルゴリズムである。エンジン音を合成するためには100以上のパラメーターを設定しなければならないので、それをなるべく簡単に設定できるかどうかがサウンドデザインソフトの使い勝手を決める。そこで、今回開発したソフトでは、図5のようにGUI(Graphical User Interface)を活用して、ほとんどマウス操作だけで音が合成できるようにした。また、一度設定したパラメーターを保存したり、デフォルト設定することも簡単にできるようになっている。音合成アルゴリズムについては、従来は主要な運転条件毎に1つずつ単発音を持ち、それを制御しながら再生していたが、新しいソフトでは主要な運転条件毎に2つの単発音を持ち、それらを任意の比率でミックスしながら制御再生する方法に変えている。単発音の同時発音数も、従来の4倍の20個まで可能とともに、音のミックスや揺らぎなどの制御機能も増やして、合成エンジン音の自由度とリアリティーを向上させている。さらに研究開発用途では風切り音も重要なため、風切り音の合成アルゴリズムも見直しを行った。

なお、今回のソフトの対象機種は、4サイクル単気筒および2気筒の二輪車であり、気筒配列や爆発間隔は任意に設定できる。今後は4気筒二輪車用も開発する予定である。

## 4 新型サウンドシミュレーター

この度開発した新型サウンドシミュレーターは、前述のサウンドデザインツールに、運転操作検出センサーを取り付けた二輪車の車体と、音振動を出力する装置をセットにしたものであり、二輪車の音と振動を仮想的に体感できるものである。そのハードウェア構成を図6に示す。新型と従来型との主な違いは、音や振動のch数が2chから6chに増えたことと、音の再生装置がヘッドホンからスピーカーになったことである。これによりエンジン音や排気音、風切り音などを、実車並の音量で音像定位も含めてリアルに再生できるようになった。各chの音量は、ミキサーによって個別に調整することができる。

新型サウンドシミュレーターは、研究開発用を想定しているので、運転操作検出センサーについては見栄えよりも装着の容易性を優先して作成し、ベース車両の変更ができるようになっている。音質については、前述の通り、合成アルゴリズムが改善されたので、従来よりもさらにリアルになっている。

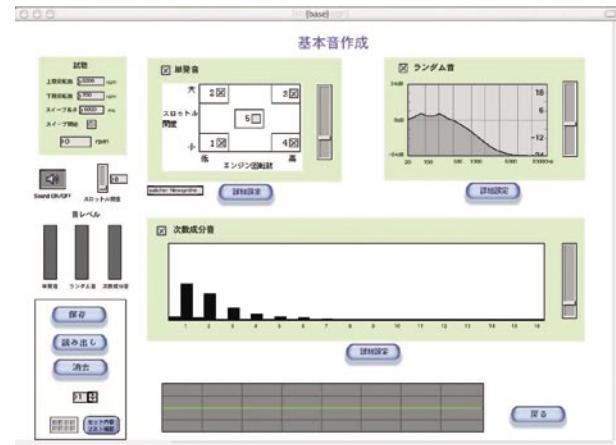


図5 二輪車サウンドデザインツールの画面例

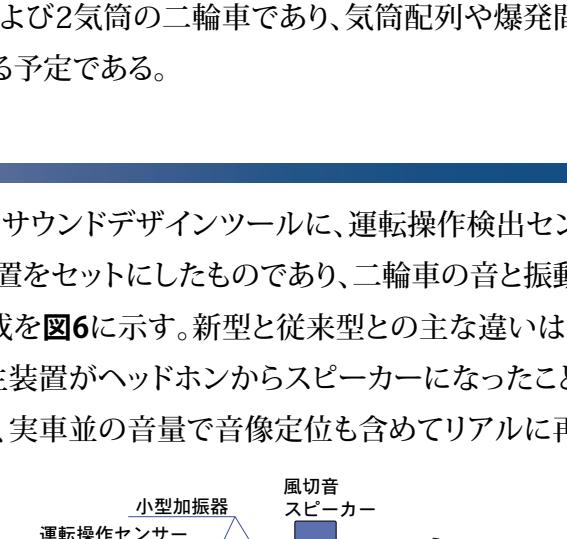


図6 新型サウンドシミュレーターの構成

このように新しいサウンドシミュレーターは大きく改良されており、第3世代と呼んでもよい。表2に従来との仕様比較を示す。

本シミュレーターは、図7のように2004年度の当社内技術展(以下、技術展)に出展した。技術展で展示したのは、V2気筒アメリカンタイプの二輪車を対象としたシミュレーターであり、ベース車両にはXVS1100を用いたが、スピーカーから出る合成音は架空の車の音とした。図8はその音のソナグラムを示す。

表2 新旧サウンドシミュレーターの比較

	第1世代	第2世代	第3世代
製作時期	1999年9月	2001年9月	2004年6月
使用コンピューター	Power Book G3	Power Mac G4	Power Mac G5
CPU 動作周波数	266MHz	733MHz	2GHz Dual
Max/MSPバージョン	3.0	3.6	4.3
音振動出力ch数	2ch	2ch	6ch
発音可能単発音数	2	5	20
音再生機器	ヘッドホン	ヘッドホン×2	スピーカー×5
加振器	シート	シート+ハンドル×2	シート+ハンドル×2
車体SW&センサー数	6	6	7



図7 技術展での新型サウンドシミュレーター

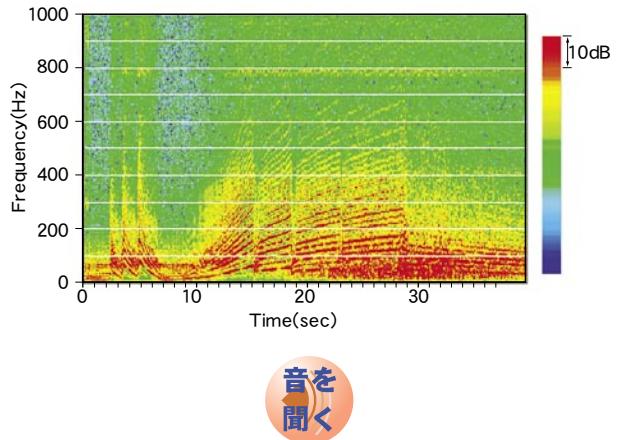


図8 合成音のソナグラム

## 5 おわりに

エンジン音をコンピューターで合成する新手法「単発音制御再生法」を考案して実用化に取り組んでから7~8年が経ち、その応用品のひとつであるサウンドシミュレーターは、第3世代まで進化した。初期と比べると合成の自由度は高くなり、非常にリアルな音振動を体感できるようになったが、今後もさらに改良を続けていく所存である。

具体的な目標としては、多気筒高回転型二輪車用第3世代サウンドシミュレーター開発、振動合成の自由度アップ、路面映像の提示、車両運動シミュレーションとの組み合せなどが挙げられる。

将来的にはサウンドデザインツールは二輪車だけでなく、四輪車にも展開していきたい。また、エンジン音合成技術はゲームや映画の効果音にも活用できると思われる。

## ■参考文献

- 1) 前田:エンジン音リアルタイム合成技術の開発, ヤマハ発動機技報, No.32, (2001)
- 2) 前田:エンジン音合成による体感シミュレーション, 自動車技術, Vol.57, No.7, (2003)

## ■著者



前田 修



ユビキタス領域周辺の技術 特集

## 音声認識と画像認識技術

**Voice and Image Recognition Technologies**

望月 博文 Hirofumi Mochizuki

●研究創発センター システム技術研究室

### Abstract

What do most people envision when they hear the terms voice recognition and image recognition technologies? Is it the visual functions or aural functions of robots? It can be said that voice recognition and image recognition technologies are technologies involving the reproduction of some portions of human recognition function in mechanical devices. However, these are areas of technology about which many people might think they understand the general concepts but in fact there are many mistaken conceptions. These misunderstandings come from the fact that the process of recognizing things at a single glance is very simple for human beings and the fact that we are aware that computers can perform complex and difficult calculations. In this paper we present a simple discussion of how much can be done in the areas of voice and image recognition technologies, how these functions are used in the world around us and what uses will be made of them in industry in the future.

### 1 はじめに

音声認識・画像認識技術というと、どんなことを想像するだろうか？ロボットの視覚、聴覚だろうか？音声認識・画像認識技術は、人間が持っている認知能力の一部を機械で実現しているとも言えるのだが、分かっているようでも意外と誤解の多い技術領域である。それは、人が一目瞭然に分かることは簡単なことで、コンピューターは複雑で難しい計算ができるという認識があるからである。ここでは、音声認識・画像認識とはどの程度のことができるのか、私たちの身近なところでどのように使われているのか、今後の産業応用はどうなっていくのかについて簡単に述べる。

### 2 音声認識とは

音声認識の究極的な目標としては、人間が普段使っている言葉(音声)を機械が理解することだと言える。しかし、多くの研究者が膨大な努力をしているにもかかわらず、未だ実用的なシステムにはなっていない。そこで音声認識の中のコマンド認識に焦点を絞ることによって、近年、実用化につなげている例が見られるようになってきた。音声認識はなぜ難しいのだろうか。以下に自然な会話例を示して説明する。

A「それについていりませんか？」

B「これはまだ、これは古い形のなので、まだもっていませんけど」

A「私、持ってる」

B「どなんですか、あれ」

A「まだねえ」

## B「まだ使わないんですか、あれ」

これは、Aさん、Bさんが、実際に携帯電話について会話しているところを正確に抜き出したものである。前後関係も分からず会話を途中からみると、何を話しているかよく分からない。実際の会話は、文法的には正しくないところがあったり、省略されている部分があったりする。また、Aさん、Bさんには共有できている「これ」「あれ」が第三者には何を指しているのか分からぬ。コンピューターでは、なおのことである。また、同音異義語がどの単語を指しているか(ex. はし=橋、端、箸、嘴???)や、同じ単語でも複数の意味がある場合(ex. 持つ=①手に入れて保つ ②身につける ③所有する ④身にそなえる...)は、人の場合、前後関係やその言葉が使われている状況を元に判断している。このように連続的に自然に発話している音声を正しく認識することは、極めて難しい課題である。現実的には、ある使用目的に絞ってコマンド認識で音声認識の実用化を試みている。

しかし、コマンド認識に絞っても、発音、イントネーション、発話速度などの個人差、男女差、年齢差がある。さらに同一個人の中でもその時々によって変わっている。同じ騒音環境で音声認識率90%以上をマークしていたにもかかわらず、別の被験者になると20~30%の音声認識率に落ちてしまうことも珍しくはない。また、周りの雑音にも大きく影響を受ける。図1は、自動車の中で「今日の天気は」と発話している時の音声波形である。どこが音声で、どこがその他の雑音だろうか？それを示したのが図2である。

このように雑音が混じった音声を、いかに認識するかが大きな課題となっている。音声の部分の波形も音声に雑音が重畠され、静かな環境の音声とは異なった波形になっている。一般に雑音環境下の音声認識を行うためには、使用が想定される環境の雑音を含む音響モデルを作ることになる(ex.自動車内の音声認識には、自動車用音響モデル)。また、雑音と音声が区別できなければ、雑音を音声として処理して認識ミスの原因になる。そのため、雑音成分の除去や低減をしたり、音声の部分だけ抜き出したりする(発話区間検出)技術が一般に使われている。一定の回転数で回るエンジン音など、時間的に変動の少ない定常雑音であれば、Spectral Subtraction法などで比較的効率よく除去できるが、非定常雑音に対応する技術の実用化は今後の課題となっている。

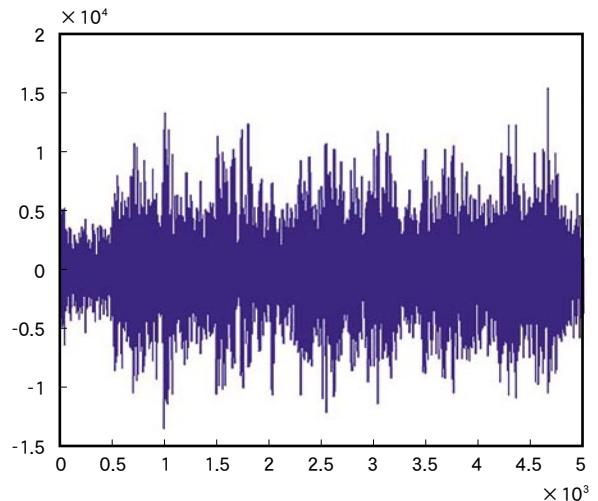


図1 自動車内の音声波形

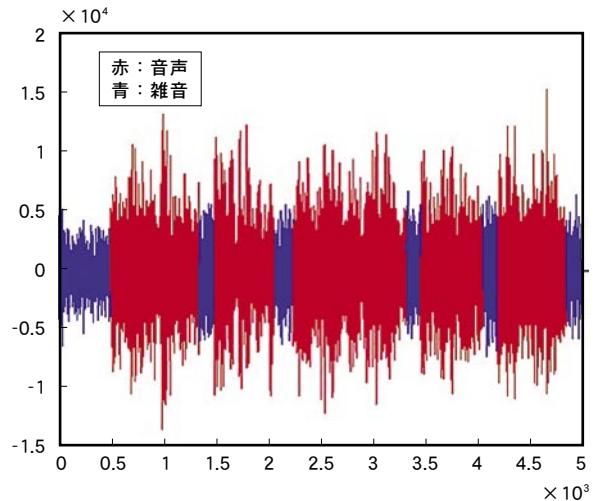


図2 自動車内の音声波形

## 3 音声認識の応用分野

音声認識技術は、コマンド認識に絞ることによって、カーナビ、パソコンの操作、コールセンターの自動受付などで使われるようになってきた。また、最近では携帯簡易翻訳機への搭載も試みられてもいる。自動車の情報化分野では運転を妨げないようにするために、ハンズフリーのインターフェースが要求されている。その実現手段のひとつとして、音声認識は、ますます注目を集めるだろう。現在の技術では、個人差に対して十分に対応できていないので、人によっては使いにくいと感じることもある。その中でも、コールセンターでの応用例は高い認識率を実現しており、成功例と言える。

## 4 画像認識とは

機械、すなわち、コンピューターで画像を認識する（以下、画像認識と略す）ということは、どのようなことだろうか？図3の写真を見ると、どのようなことが分かるだろうか？「ある建物の通路を2人が歩いている。」「この2人は白人女性のようだ」「時間は昼で寒くはない」等々。人であれば、この1枚の写真から様々なことが分かる。しかし、以上の人間ならなんでもないことも、画像認識では極めて難しい課題になる。この写真に写っている様々なものを一般的に認識するためには、膨大な知識と計算量が要求され、現在の技術では実用的なものにはならない。このため、通常、画像認識では認識対象を特定している。認識対象以外の背景はノイズなので、写っていない方がよいぐらいである。

一方、図4の色の付いた部分の面積を知りたいといった課題は、画像認識の得意な分野である。こういった画像を大量・高速・高精度に処理するのは、いたって容易である。

最近、注目されている画像処理の応用として、人の認識がある。生体認証としての人認識を考えると、指紋認識、掌紋認識、虹彩認識、静脈認識など精度の高い方法が開発され、実用化が進んできている。しかし、これらの方法は、いかにも検査されていると感じることも多く、指紋認証は犯罪捜査を連想される場合もあり、必ずしもユーザーフレンドリーなインターフェースとは言えない。そこで用途によっては、ごく自然にユーザーの認識ができる顔画像認識が適していると考えられる。しかし、離れたところから自然に検出でき、どのようなところでも使えるという画像認識の特徴を活かすためには、例えば以下のような課題をクリアしなければならない。



図3 人間には簡単でもコンピューターに不得意な画像例  
(Q:何が写っている?) (コンピューターA:???????)



図4 人間には難しくコンピューターが得意な画像例  
(Q:色の付いた部分は全体の何%?) (コンピューターA:81.59%!)



図5の写真は、同一日時に撮影の方向だけを変えた著者の写真である。日光のあたり方で画像が大きく変化してしまっている。この変化に画像処理は弱い。この問題を解決するために、顔モデルを用いて照明による変化を補正したり、ステレオカメラを用いて3次元認識を試みたりされているが、実用化に向けた決定的な解決方法にまでは至っていない。



図5 太陽光との位置関係による顔画像変化例  
(室内でも照明条件で顔画像は大きく変化する)

## 5 画像認識の応用分野

ヤマハ発動機株式会社(以下、当社)の製品の中では、表面実装機(サーフェースマウンター)で画像認識技術が使われている。画像認識は、当社の実用化例をはじめ工場向けの応用が多かったが、最近、世の中の身近なところで画像認識が使われているのを見かけるようになった。例えば、高速道路や主要幹線道路に設置されている自動ナンバー読み取りシステムにも画像認識技術が応用され、高い信頼性と高速処理を両立している。また、最新の自動車のクルーズコントロールでは、画像認識とレーダー技術を組み合わせて、前方を走行する車両が車線のどこを走っているかを検出して、一定の車間距離を保つものが実用化されている。当社における研究事例としては、図6の後方車線検出があげられる。これは、オフライン処理で車線(白線→図中の緑線)認識を試みたものである。この技術を二輪車に応用する場合、カメラを搭載するスペースや位置の制約や、コーナリング時や車線変更時の二輪車特有のバンク角に対する対応が、四輪車の場合と比べ技術的に困難な課題となっている。



図6 後方の車線検出例

その他、一般的な研究事例として顔画像認識技術を使った入国管理システムや入出門管理システムへの応用などがみられ、より人間に近いところで、複雑な画像を対象としたものが増えてくると予想される。

## 6 音声と画像の組み合せ

音声と画像認識技術は、パターン認識という枠組みで似通った技術である。実際、隠れマルコフモデルや独立成分分析などの技術が音声認識、画像認識の両者で使われて研究がなされている。また、私たち人間も外界を認識する際、あるいはコミュニケーションをする場合に、一般的には音声だけでなく視覚(画像認識)も使ったマルチモーダルな情報処理をしている。例えば人と話をする際には、相手の表情、唇の動き、仕草等々、全体をみて相手の言おうとしていることを理解している。人同士が話をしていても、視覚情報をはじめとする他のモダリティーの方が、音声から得られる情報よりも多いとも言われ、このことは今後の音声認識技術開発を考える上でのヒントとなっている。

## 7 おわりに

音声認識と画像認識の概要について説明してきたが、最後に今後の方向性について述べる。音声認識では、コールセンターの自動受付やカーナビのハンズフリーインターフェース、画像認識では、文字認識、部品認識、表面検査等で応用が広がりつつある。効率追求をねらった自動化から、さらに人間よりの技術への進化が期待されている。例えば、ドライバーの識別だけでなく、認知レベル、感情状態などを検出して、それに応じたナビゲーション、制御特性の変更などが今後実用化へ向かう可能性がある。そうなれば、音声認識と画像認識は世の中で広く使われるようになり、マシンは身近なパートナーとなるだろう。

### ■著者



望月 博文



ユビキタス領域周辺の技術 特集

## ユビキタス領域技術を応用した Unmanned Vehicleシステム～UGVの開発～

Development of the "UGV" Unmanned Vehicle Incorporating Technologies of the Ubiquitous Computing Realm

神谷 剛志 Tsuyoshi Kamiya 今井 浩久 Hirohisa Imai 増田 裕 Yutaka Masuda

●新事業推進部 UVプロジェクト / 新事業推進部 UVプロジェクト / 事業開発室



UGV



UMV



UAV

図1 開発したUGV、UMV、UAV

UGV(Unmanned Ground Vehicle : 自律無人陸上車)

UMV(Unmanned Marine Vehicle : 自律無人艇)

UAV(Unmanned Aerial Vehicle : 自律無人ヘリコプター)

### Abstract

The ubiquitous computing technologies that have been under development since the 1980s are typified by network environments like the Internet and are continuing to expand into realms like real-time operating systems that make it easier for any device to access networking computing and sensing technologies capable of recognizing different types of computer environments.

Yamaha Motor Company's UV (Unmanned Vehicle) project utilizes these technologies of the ubiquitous computing realm in an attempt to develop vehicles that can contribute to society in new ways by performing "3D" jobs that are "Dangerous, Dirty or Dull" with unmanned vehicles. In addition to our initial unmanned helicopters, we have now developed land and water vehicles as well. Presently, we are investigating the possibilities of developing new business based on developing practical vehicle platforms that can be used for tasks such as harbor or coast security, disaster relief, observation, surveillance, measurement and surveillance and observation in dangerous areas.

Here we report primarily on the systems in our recently developed "UGV" and the ubiquitous realm technologies it utilizes.

### 1

### はじめに

1980年代から取り組まれているユビキタスコンピューティング技術は、インターネットを代表とするネットワーク環境、どんな機器でもネットワーキングコンピューティングを利用しやすくしたリアルタイムOS(Operating System)、環境などを認識するセンシング技術など、実際の応用が様々に広がっている。



ヤマハ発動機株式会社(以下、当社)UV(Unmanned Vehicle)プロジェクトでは、これらユビキタスコンピューティング領域の技術を応用して、無人ビークルによる新たな社会貢献を目指し、3D(Dangerous、Dirty、Dull)領域の仕事を無人で遂行可能なビークルを、無人ヘリコプターに加え、陸、海で新たに開発した(図1)。現在プロジェクトでは、港湾セキュリティ・災害救助・観測・監視・測量・危険地域監視観測などに利用されるプラットフォームビークルとして、実用車両の開発や事業化の検証を進めている。

今回はこれまで開発したUGVシステムと、UGVで応用したユビキタス領域の技術を中心に紹介する。

## 2 当社UGVの概要

今回の開発は、様々な用途への応用可能性をアピールできる、機動性の高い無人車両の開発を目指したので、走破性の高い当社ATV(All Terrain Vehicle)グリズリー660(図2)をベースに用いた。

図3に示すように、自律走行が行えるよう、人の操作に代わるアクチュエーターと、制御装置、通信システムを搭載している。また監視業務を行えるよう、カメラや回転警告灯、スピーカーなどをアプリケーションデバイスとして搭載している。

ステアリングとアクセル、シフトについては、バイ・ワイヤー方式を採用し、自律走行制御と人の乗車による操縦切換えを容易に実現している。また、ブレーキについては、人の操作によるフットペダルとモーターによる操作がそれぞれ独立に行え、人の乗車操縦時の安全を確保している。また、非通電時に作動するパーキングブレーキも採用し、安全面に配慮している。



図2 YFM660FWA (GRIZZLY660 4×4)



図3 UGV搭載の制御装置

### 3 自律走行機能

UGVはその名が示すとおり、人が乗っていない車両が自律または自動、遠隔操縦で任意の場所に移動し、遠隔操作で何らかの仕事を行うものである。このためにUGVは、まずはどのように行くべき場所へ移動させるか、またその次には、どこまでの機能を人の介在なしで動かすことが可能か、が課題となる。

まず移動するために自律走行させる方法としては、あらかじめ設定された軌道上を走行するものと、使用時に走行経路を任意に設定するものがある。前者は既に工場内の無人搬送車などに応用されており、当社でも電磁誘導ゴルフカーが商品化されている。

今回開発したUGVは、広範囲な用途に応用できるよう、走行経路や目的地の自由度が確保できる無軌道方式の自律走行車とし、測位の方式は精度の良い衛星測位と、衛星受信できない状況での測位のため、慣性航法や車速を組み合せた方式を利用することとした。現在この方式は、研究開発中の多くの無人車両で採用されている。この組み合せの測位方式により、設定した経路を走行するために必要な精度を確保している。また、経路設定は、電子マップの影響がないティーチングプレイバック方式と、電子マップ上で生成した経路を走行する方式がある。そして自律制御のみでは走行し難い状況下でも車両を動かすことができるよう、遠隔操縦や乗車しての操縦も可能とした。

実際の仕事をさせるためには、極力人の介在なしで自律走行できることが好ましくなる。このため、単に設定された走行経路を正確にトレースするだけでは不十分であり、障害物や人、動物などにより、走行経路がふさがれている場合には、その検出や回避機能が必要になる。

障害物の検出装置としては、レーザーレーダー、電波レーダー、画像認識、超音波センサーなどがある。検出距離や検出範囲などに特徴があり、目的に応じて使い分けることが必要である。今回のUGVでは障害物の有無や、大きさを確実に把握できるスキャン式レーザーレーダーを採用している(図4)。

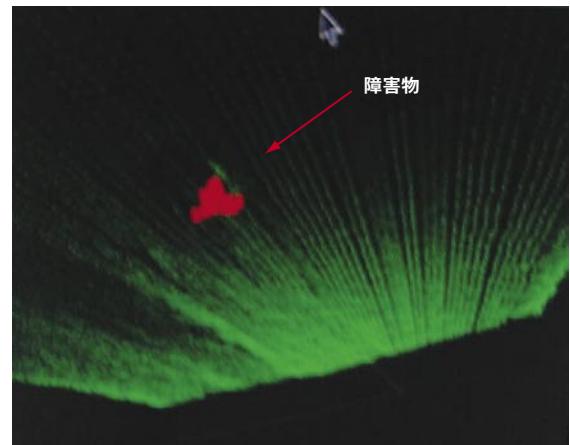


図4 スキャン式レーザーレーダーによる障害物の検出

### 4 制御システム

開発したUGVは図5のように、自律制御コンピューターと、車体を制御するアクチュエータードライバーの2つの制御システムを搭載している。

自律制御コンピューターは、設定されたコースの記録や自律走行するための指示を出力するもので、測位システムからの車両位置データと、設定されたコースを比較しながら、ステアリング角度や速度指令を出力する。また、障害物が検出された場合には、回避コースを計算し、走行コースの修正を行う。

アクチュエータードライバーは、車両に搭載したアクチュエーターを制御したり、車両の各種信号の入出力をする。自律制御の時は、自律制御コンピューターの指令により、ステアリングを動かしたり、スロッ

トルやブレーキモーターを制御し速度調整を行う。人が乗車したときには、ハンドルからの指令値やアクセルレバーの指令値に基づき、それぞれ制御する。また、リモコン操作時には基地局の操作レバー指示やPDA(Personal Digital Assistants)の指示に基づいて、ステアリング制御や速度制御を行う。アクチュエータードライバーは、電磁誘導ゴルフカーのコントローラーをベースに開発したので、短期間で信頼性の高いユニットを作ることができた。またアクチュエータードライバーは、ユビキタスコンピューティングの普及のために開発されたT-Engineユニットと組み合せ、ネットワークへの対応を可能にした。

車両内の制御ユニット間通信は、パソコンなどで使用しているEthernetや車載用ネットワークであるCAN(Controller Area Network)を応用している。車両と基地局、PDA間の無線通信には、通信帯域が十分確保できる無線LAN(Local Area Network)を使用している。この無線LAN通信は、車載したカメラで撮影したリアルタイム画像通信などを可能にしている。これらの通信プロトコルとしては、UDP(User Datagram Protocol)やTCP(Transmission Control Protocol)を採用し、無線LAN以外の様々な無線通信システムにも対応しやすく、汎用性があるシステムになっている。

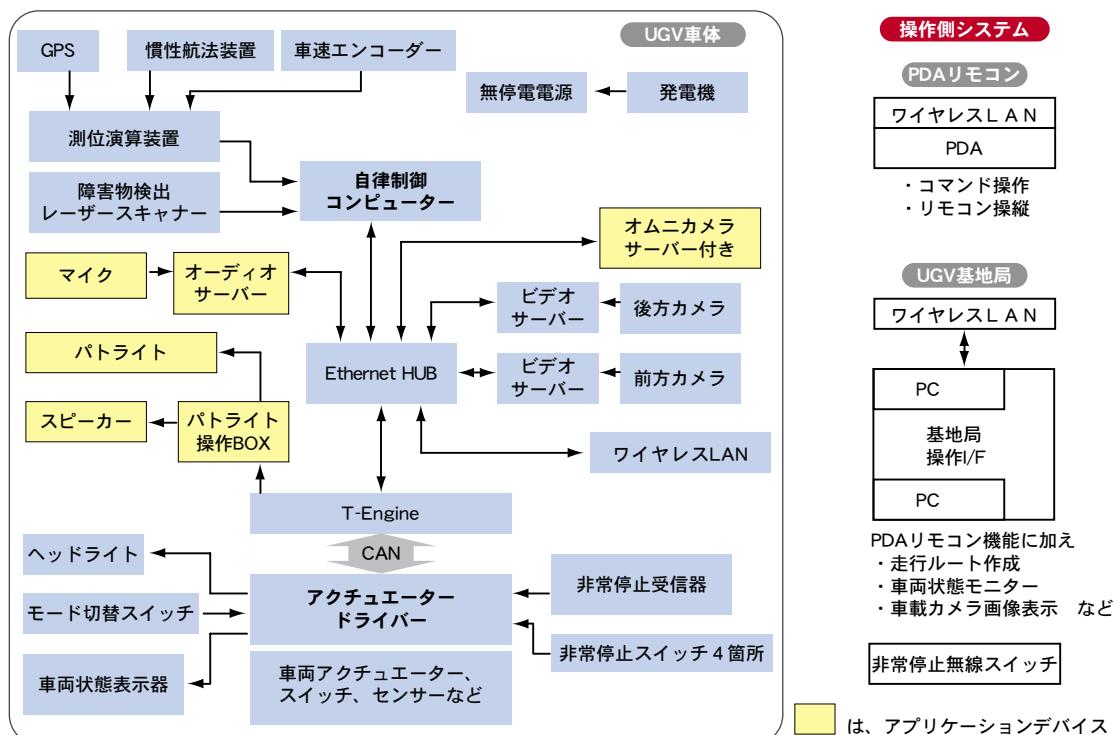


図5 制御システム構成

## 5 おわりに

今回の機能検証やデモためのUGV開発は、既存の信頼性のあるベース車両を利用したこと、またユビキタス領域技術の積極的な応用、そして自律制御についてはこの分野で実績のあるカーネギーメロン大学ロボティクス研究所との共同開発により、短期間で機能を実現することができた。今後は商品化に向け、信頼性を高めたり、操作性を改善するために、UV間でのシステム共用化や連携、またユーザーインターフェースの改良、リアルタイムOSの活用など進め、使いやすく安心して使用できるシステムの提供を図っていく。

### ■著者



神谷 剛志



今井 浩久



増田 裕

# 製品紹介

## モジュール型サーフェースマウンター YG100

**The Module Type Surface Mounter YG100**

中村亮介 Ryousuke Nakamura  
● IM カンパニー技術チーム



図1 YG100

### Abstract

Surface mounters are the machines used to mount electrical/electronic components on the printed circuit boards used in a wide range of products today from cell phones and PCs to home appliances with digital control systems. As a surface mounter manufacturer, Yamaha Motor Co., Ltd. has continued to introduce a high-speed line of module type models with high levels of multipurpose versatility for creating production lines capable of dealing with the increasing diversity of products and faster development cycles faced by today's manufacturers. At the same time we have worked to increase the speed, reliability and operating efficiency of our mounters. Thanks to these efforts, our mounters have won a very strong reputation in the marketplace. However, the market is now calling for even greater added value with higher levels of accuracy, efficiency, multi-function capability and reliability as well as greater space saving, energy saving and ease of maintenance. In answer to these market needs for ever higher levels of performance, we developed the new "YG100" as a high-speed, high-accuracy, multi-function multipurpose module surface mounter, despite its compact size. In this paper we report on the YG100 development project.

### 1 はじめに

携帯電話やパソコン、デジタル家電等の電子・電気機器などに使われているプリント基板に電子部品を搭載する表面実装機の業界において、ヤマハ発動機株式会社(以下、当社)は、製品の多品種化や開



発サイクルの短縮に対応するため、中型機を複数台でライン化した、汎用性の高いモジュール型高速実装ラインの導入を提唱してきた。また、マシンの高速化や信頼性、作業効率の向上にも取り組んできた。このような取り組みの結果、市場において非常に高い評価をいただくようになった。しかし、市場ではさらなる高精度、高効率、高機能、高信頼性化の他にも、省スペース、省エネルギー、維持管理の簡易性など、ますます高い付加価値を求められている。このような高度化していく市場ニーズに応えるべく、コンパクトでありながら高速、高精度、高機能な万能モジュールマウンター「YG100」(図1)を開発したので紹介する。

## 2 開発コンセプト

高速機と比較して、中型機ではコンパクトで生産現場の省スペース化がはかれること、各電子部品に対して高い汎用性(多機能性)があることが特徴としてあげられる。また同時に、中型機でありながら高速性への要求も高く、複数台を連結することで高速機をはるかに凌ぐ面積生産性を発揮することが求められている。YG100はこのような高速性と汎用性(多機能性)と省スペース性を集約した"万能"マウンターとして開発した。表1に基本仕様を示す。

## 3 製品の特徴

### 3.1 高速・高性能フルサーボヘッド(図2)

上下軸(Z軸)を独立8連フルサーボ制御、回転軸(R軸)を独立2軸サーボ制御化、さらにZ軸/R軸共に高精度バックラッシュレスギア駆動とし、高速・高精度での搭載を可能とした。部品搭載タクトは0.15秒/chip(最適条件)の高速実装を可能とした。また部品適応力も、極小0402チップから最大高さ15mm、サイズ□45mm部品までの幅広い部品適応力を実現した。

### 3.2 高剛性・高汎用性を実現する 新型プラットフォーム

高耐久性・高精度のモノコックフレームを新設計。大きな駆動力を強固に支えて高精度を実現。さらに最大基板サイズL460mm×W440mm、最大部品品種数96の高汎用性を実現した。

表1 YG100基本仕様

装着タクト	0.15 秒 /CHIP( 最適条件 )
装着精度	絶対精度 ( $\mu +3\sigma$ ): ± 0.05mm 繰り返し精度 (3 $\sigma$ ): ± 0.03mm
搭載可能部品	0402 ~ □ 45mm( 最大 ) 高さ 15mm
部品品種数	8mm テープ換算 96 品種( 最大 ) トレイ部品 90 品種( 最大 )
部品供給形態	テープリール、パルク、 スティック、トレイ
基板寸法	L460 × W440mm( 最大 ) L50 × W50mm( 最小 )
基板厚 / 基板重量	0.4mm ~ 3.0mm/0.65kg 以下
基板搬送方向	右→左 ( オプション: 左→右 )
外形寸法 ( 本体のみ )	L1,650 × W1,562 × H1,850mm
本体質量 ( 本体のみ )	約 1,630kg

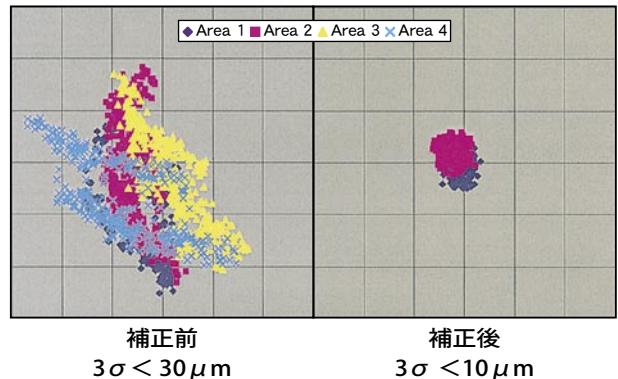


図2 8連フルサーボヘッド



### 3.3 高い実装精度と精度維持

高分解能デジタルマルチカメラ、および8連フルサーボヘッドにより、0.4mm×0.2mmの極小チップから□45mm部品までの幅広い部品に対して高精度実装が可能である。また、実装精度に影響するマシンの各要素を静的および動的な視点で複合的に捕らえ補正する機能「MACS」(Multiple Accuracy Compensation System)を、従来機と同様に採用した。これにより、ヒートサイクル等の機械の状態変化に対応することができ、高い実装精度を常時維持することが可能である(図3)。



### 3.4 高速搬送可能な新コンペアユニット

基板搬送ベルトを2分割化し、搬入のタイミングに依存しない安定した基板搬出を可能とした。また、オプションのダブルプッシュアップユニットにより、基板サイズに応じて2つのプッシュアップユニットの個別動作／連動動作を切り替え可能とした。短い基板時にはプッシュアップユニットを個別動作とし、1枚実装中に2枚目の基板固定を完了させておくことで、基板固定時間を半分に短縮する。長い基板時には連動動作となり、大型基板の固定も可能となっている(図4)。

### 3.5 目的に応じた2種類のマシンタイプ

2種類のマシンタイプで幅広い用途に対応した。

#### ①YG100 A [8連マルチヘッドFNC(フライング ノズルチェンジ)タイプ]

- ・高速チップ、IC(Integrated Circuit)搭載機
- ・8連ヘッドのうち、4ヘッドのノズルをインデックス機構により、移動時に交換可能。部品対応力が拡大しマシン空転ロスを削減(図5)。

#### ②YG100 B [8連マルチヘッド精密メカタイプ]

- ・高速異形、大型部品対応機
- ・8連マルチヘッドのうち、4ヘッドを異形部品対応に適した高剛性ハイグリップ仕様にグレードアップ。大口径ノズル、グリッパーノズル、特殊ノズルで大型ファインピッチQFP(Quad Flat Package)や異形コネクターなど重量級部品を高精度搭載(図6)。

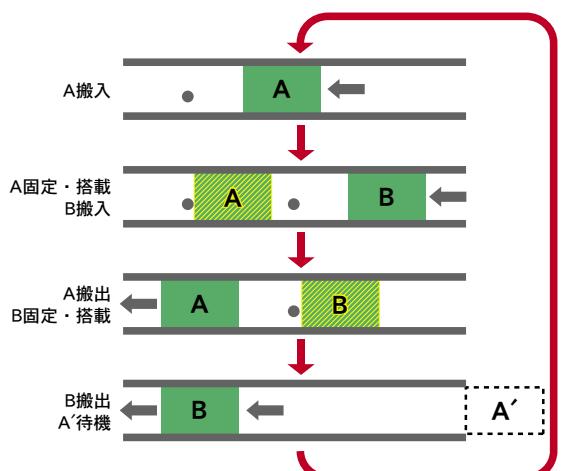


図4 2分割プッシュアップの動作概念図

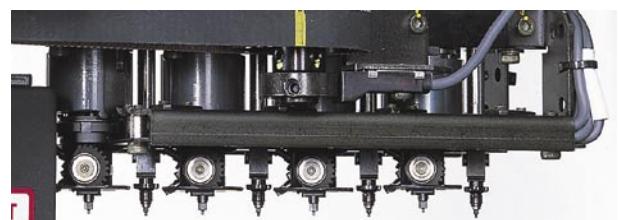


図5 FNCヘッド



図6 精密メカヘッド



### 3.6 さらに進化した認識性能

高分解能デジタルマルチカメラに加え、新設計の照明ユニットにより、一般的なCSP(Chip Scale Package)、BGA(Ball Grid Array)などの全ボール認識はもちろん、コネクターなどに見られる鏡面状の電極に対する認識安定性をさらに向上させた(図7)。

また基板マーク認識も、新設計フィデューシャルマーク照明装置により、半田レベラー処理基板、鏡面状金メッキ基板、フレキ基板など、多種多様な基板マークに対する認識安定性をさらに向上させた(図8)。

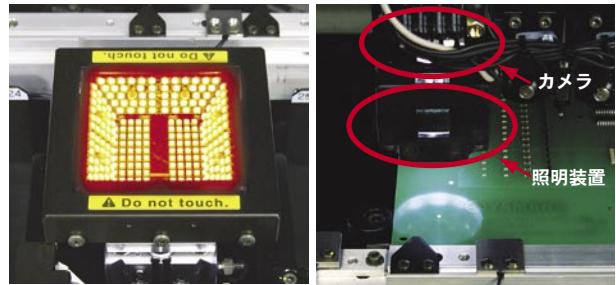


図7 高分解能デジタル  
マルチカメラ

図8 フィデューシャル  
マーク認識装置

### 3.7 サイドビュー認識装置

新設計のサイドビューカメラユニット(図9)により、部品吸着状態を水平面で横から画像認識し、部品の有無や吸着状態を監視。実装信頼性をさらに向上させた。

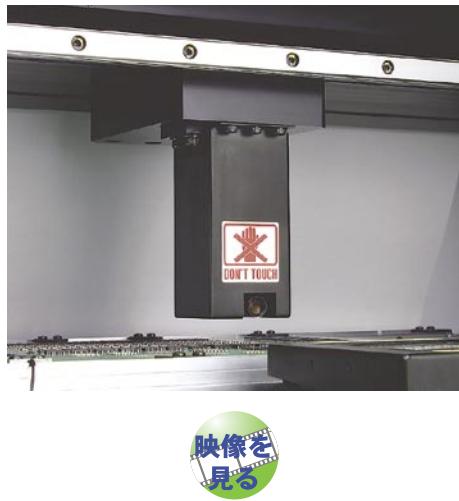


図9 サイドビューカメラ

### 3.8 作業性・段取り性の向上

部品供給用テープフィーダーのセット位置や部品吸着エラー位置などをLED(Light Emitting Diode)にて明示。直感的なフィーダー位置確認作業を実現できるフィーダーインジケーター(図10)を用意した。また、使用部品の残数管理機能、自動段取り機能、誤段取り防止インターロック機能、品質変化点トレーサビリティ機能を有したパッケージングソフトウェア「ITオプション」にも対応し、マシン単体のみならずライン生産全体の生産性向上を可能とした。

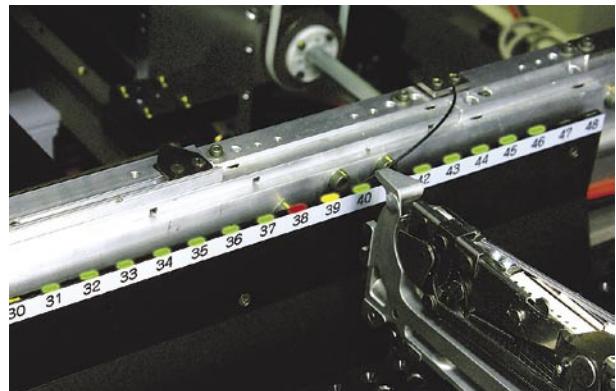


図10 フィーダーインジケーター

### 3.9 モジュールコンセプトの継承

マシン幅、部品供給フィーダー、オペレーションソフト、画像認識システムを従来機と共通化。これにより携帯電話生産などの高速高稼働ラインから、大型基板・大型部品に対応する汎用生産ラインまで、幅広く対応が可能。新規マシンだけでなく、従来マシンと合わせてもラインレイアウトを自由に組み替え可能な構成とした。



### 3.10 新型トレイ供給機

トレイ供給装置3機種を新設計とし、汎用性・共通性・段取り性を向上。目的に応じた3機種の選択により多様なユーザーニーズに対応。

※共通仕様

- ・共通のYGマガジンラック(15トレイ収納)
- ・部品切れ表示パレットインジケーター装備
- ・ロック付き扉スイッチ装備



図11 dYTF外観

#### ①dYTF(図11)

2連移載ヘッド2基を複線往復させて、QFP・PLCC(Plastic Leaded Chip Carrier)・BGA・CSP等を連続して中継ステーションへ高速供給搬送。また、搬送方法は上面吸着方式を採用し、幅広い部品に適応。YGマガジンラックを4基収納し、60トレイ供給可能。最大基板幅は440mmを確保。本体側フィーダー本数は96品種搭載可能。



図12 wATS外観(本体に内蔵)

#### ②wATS(図12)

部品直取り方式のトレイ供給装置を本体に内蔵。YGマガジンラックを4基収納し、60トレイ供給可能。最大基板幅は330mmを確保。マシン本体のヘッドで部品を直取りし、あらゆる部品に対応。本体側フィーダー本数は48品種搭載可能。

#### ③sATS(図13)

部品直取り方式のトレイ供給装置。YGマガジンラックを2基収納し、30トレイ供給可能。最大基板幅は440mmを確保。マシン本体のヘッドで部品を直取りし、あらゆる部品に対応。本体側フィーダー本数は68品種搭載可能。



図13 sATS外観

#### ④sATS+dYTF

トレイ供給数を大幅に増加させるsATS+dYTFの組み合わせも可能とした。YGマガジンを6基収納し、90トレイ供給可能。最大基板幅は330mmを確保。



本体側フィーダー本数は68品種、大量のトレイ部品供給が可能。

## 4 おわりに

YG100はお客様からの要望やニーズに対応し、ベースフレームからヘッドユニット・認識装置・給装機に至るあらゆるコンポーネントに対して、当社が持つ最新技術を惜しみなく投入した意欲作である。今後の表面実装機市場において、核となる強いマシンになると確信している。先だって開催されたPROTEC JAPAN 2004(2004実装プロセステクノロジー展)においても国内外のお客様から多くの注目と反響をいただいた。今後も当社IM(Intelligent Machinery)カンパニーの旗印である「JUST FIT SOLUTION No.1 すべてはお客様の利益のために」をキーワードに、お客様のニーズ・時代の変化に素早く対応し、お客様にとって魅力あるマシンをご提供し続けていきたいと思っている。

### ■著者



中村 亮介

# 製品紹介

## ロッドタイプ単軸ロボットYMSシリーズ

"YMS" Series Rod Type Single-axis Robots

菊地秀幸 Hideyuki Kikuchi  
●IMカンパニー技術チーム



図1 YMSシリーズ(左:YMS45、右:YMS55)



図2 ロボットコントローラー「ERCD」

### Abstract

At the IM (Intelligent Machinery) Company of Yamaha Motor Co., Ltd., we have developed a new series of rod type single-axis industrial robots, named the "YMS" series, and corresponding "ERCD" robot controllers. These rod type robots function more quietly, create a cleaner work environment and run on less energy than conventional robots utilizing a pressurized air cylinder. Due to their inherent qualities, these robots can also be used in harsher work environments. Here we report on the development of these models.

### 1 はじめに

ヤマハ発動機株式会社(以下、当社)のIM(Intelligent Machinery)カンパニーでは、エアシリンダーより静肅性に優れ、クリーンな作業環境と省エネルギーをもたらし、厳しい作業環境下でも使用可能なロッドタイプ単軸ロボット「YMSシリーズ」(図1)、および、ロボットコントローラー「ERCD」(図2)を開発したのでここに紹介する。

### 2 開発の背景

近年、生産設備で使用される機器では、省エネルギーや地球環境保護の目的から、動力源を空気圧から電動へと置き換える方向にある。エアシリンダーに代表される空気圧機器に比べ、サーボモーターで駆動する電動機器の単軸ロボットには、次のメリットがある。

- (1)環境にやさしい(潤滑オイルミストで雰囲気を汚さない)
- (2)静肅性が高い(排気音がない)
- (3)エネルギー効率が高い



また、半導体の高集積化や、システムLSI(Large Scale Integration)の登場により、携帯電話をはじめとした電子機器製品の高性能化、小型化、低価格化が加速的に進んでいる。これに伴い、生産設備自体にも小型化や効率化、低価格化が求められている。

YMSシリーズは、このような生産設備用ロボットの市場動向を背景に、空気圧機器に替わる製品として、「小型」「低価格」「使いやすさ」等の要望に応えて開発された。

### 3 製品の特徴 ① YMS シリーズ

表1にYMSシリーズの基本仕様を示す。

#### 3.1 用途の多様性

YMSシリーズはACサーボモーターとボールねじの組み合せにより、本体に対してロッドが伸縮する構造となっている。ロッドの先端にツールを付けて搬送作業をさせたり、ロッドでワーカーを押すことでクランプしたりできる。電気・電子部品や機械部品の搬送・取り出しの他、カシメや圧入作業等の幅広い用途に対応することができる。

#### 3.2 コンパクト設計

ボールねじ駆動のモーターをカップリングレスのビルトイン構造にすることで、業界同クラス最短の全長を実現した。

#### 3.3 高いメンテナンス性

ビルトインモーターはボールねじに直接取り付けの構造ながら、モーターのみの取り外しを可能とした(図3)。これにより高いメンテナンス性が確保でき、万一の場合も短時間で復旧が可能となる。

#### 3.4 長寿命

ボールねジナット部には高含油ファイバーネットによる潤滑装置、ロッド指示部には接触スクレーパを装備し、長期メンテナンスフリーを実現した。さらに、接触スクレーパはロッド伸長時のガタツキを小さくする働きも備えている(図4)。

表1 YMSシリーズ基本仕様

型式	YMS45		YMS55	
モーター出力 (W)	30		30	
繰り返し位置決め精度 (mm)	± 0.02		± 0.02	
減速機構	ボールねじ / φ 8mm		ボールねじ / φ 12mm	
ボールネジリード (mm)	12	6	12	6
最高速度 (mm/s) <sup>※1</sup>	600	300	600	300
最大可搬	水平仕様	4.5	6	5
質量 (kg)	垂直仕様	1	2	1.5
定格推力 (N) <sup>※2</sup>		32	64	32
ストローク (mm)	50 ~ 200 (50 ピッチ)		50 ~ 300 (50 ピッチ)	

※1 YMS55 の 300mm ストローク時は  
最高速度 450mm/s, 250mm/s(75%) になります。

※2 推力制御の精度は保証外となります。

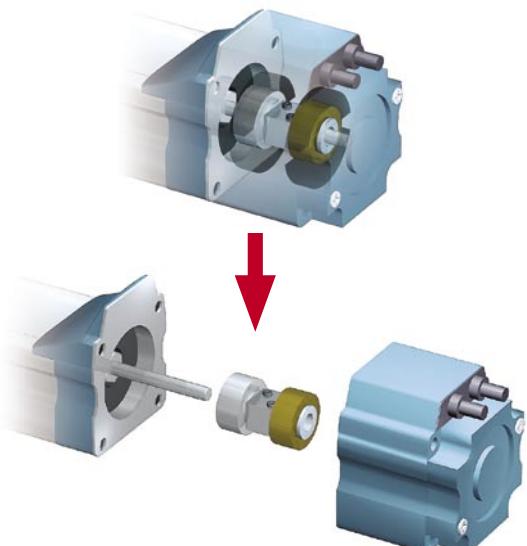


図3 モーターの取り外し



図4 YMSシリーズ構造



### 3.5 高信頼性

位置検出機構には従来機種「FLIP-Xシリーズ」同様、レゾルバを採用した。レゾルバは内部に電子部品を使用しないため、

(1) 使用温度範囲が広い

(2) 振動・衝撃に強い

などの特徴を持ち、高い耐環境性を備えている。

## 4 製品の特徴 ②ロボットコントローラー「ERCD」

「ERCD」は、従来の機能性に加え、新たにサーボドライバーとしての使いやすさを備えた新型ロボットコントローラーとして開発された。「YMSシリーズ」の他、「FLIP-Xシリーズ」のT4/T5、C4/C5の駆動も可能である。

表2 ERCD基本仕様

基本仕様	適合モーター仕様	24V 30W 以下
	外形寸法	W44 × H142 <sup>*</sup> × D117
	質量	450g
	使用電源電圧	DC24V ± 10% 3～4.5A (ロボットにより異なる)
一般仕様	使用温度	0°C～40°C
	保存温度	-10°C～65°C
	使用湿度	35%～85%RH(結露しないこと)
	ノイズ耐性	IEC61000-4-4 レベル2 準拠
軸制御	制御軸数	1軸
	制御方式	AC フルデジタルソフトウェアサーボ
	運転形態	表3 参照
	位置検出方式	レゾルバ
メモリー	分解能	16384P/rev
	プログラム	1024ステップ/100プログラム
	マルチタスク数	4
	ポイント数	1000
メモリー	ポイント教示方式	MDI(座標値入力) リモートティーチング ダイレクトティーチング

<sup>\*</sup>ステー部の高さは166mmです。

表3 ERCD機能詳細

運転形態	ポイントトレース運転	プログラム運転	パルス列運転
特徴	あらかじめポイントデータを登録し、ポイント番号の指定(最大64点)と移動命令の入力で簡単に位置決めが行える。	複雑なロボット周辺動作を、BASICライクなロボット言語により簡単に置換可能。マルチタスクの使用でプログラムの効率化もはかれる。	入力指令パルス(最大2Mpps)により位置制御が可能。
主な機能	●ゾーン出力 ●I/O割付変更 ※移動先ポイント番号の出力やI/Oによるジョグ移動、ポイント教示が選択可能	●マルチタスク ●トルク制限 ※ロボット移動中の最大トルク指令を制限することで、押し付け、圧入、把持などの動作が可能。	●電子ギヤ ※入力1パルスあたりの移動量を任意に設定可能 ●原点復帰
共通機能	●シリアル通信(RS232C) ●フィードバックパルス出力 ●状態モニター ※I/Oモニター、デューティモニター等で各種状態把握可能	※ロボットの現在位置を差動で出力	



## 4.2 小型・低価格の追及

小型化は、生産設備の傍らに配置される制御盤にも求められている。そのため制御盤内に設置されることの多いコントローラーの小型化も重要な開発目標であった。部品の小型化や基板の高密度実装で、従来製品の62%（容積比）まで小型化を実現。また部品点数の削減、筐体ボックスの樹脂化、組立ての簡素化等により従来製品に対し、40%の大幅なコストダウンを達成することができた。

## 5 おわりに

当社では、自社開発の製造組立ての合理化と加工精度の向上を目的として、1974年より産業用ロボットの研究・開発を始め、1984年より外販を開始した。以来、スカラ型ロボット、直交型ロボット、単軸ロボットを次々に開発・発売し、工場におけるオートメーション化に貢献してきた。また現在、その豊富なバリエーションと信頼性で社内外より高い評価をいただいている。

今後も、それらを土台に、さらなるコストパフォーマンスのアップと、その時折のニーズを反映し、お客様にとってメリットのある商品開発を進めていきたい。

### ■著者



菊地 秀幸

# 製品紹介

## 5人乗りゴルフカー ターフジョイ&ターフライナー

### The 5-passenger Golf Cars "Turf Joy" and "Turf Liner"

内山 敦 Atsushi Uchiyama 竹下 正敏 Masatoshi Takeshita 稲川 宏之 Hiroyuki Inagawa  
 ●特機事業部 ゴルフカー事業室



図1 ターフジョイ(G31A)

### Abstract

There are approximately 2,400 golf courses in Japan today, and over 90% of them use golf cars. These golf cars have become an established and essential piece of equipment at golf courses today for transporting golf bags, the golfers and other related accessories around the course. Golf cars give the golfers a greater sense of security and comfort, while also contributing to golf course operation by speeding up play, reducing staff labor and attracting customers. Due to the playing habits of Japanese golfers, the most commonly used type of golf car is the 5-passenger type (one caddie, four golfers). Yamaha Motor Co., Ltd. (YMC) launched its first full-fledged manual steering 5-passenger gasoline engine powered golf car, the G15A "Turf Joy" on the Japanese market in 1994. Since then YMC has introduced new models one after the other, including the gasoline engine G17A "Turf Liner" and its electric motor version G17E, both featuring an electromagnetic guidance system, as well as two more versions of our manual-steering models named the G15AP and G15EP "Turf Joy" featuring an "auto parking" function, which is a system that automatically applies a parking brake whenever the golf car is stopped. Yamaha golf cars have the functions, performance and economy to answer user needs and the Yamaha brand now commands a 60% share in Japan's golf car market.

Here we report on new 5-passenger golf car model development with the aim of achieving even greater product value (functions, cost), security and comfort while also satisfying other changing needs of the golf environment.



## 1 はじめに

現在、日本には約2,400のゴルフコースがあり、その90%以上がゴルフカー(以下、GCという)を導入している。プレーヤー、ゴルフバック、その他ゴルフ備品を搬送する道具として、GCはゴルフコースの必需品になっている。GCの導入は、プレーヤーにとっては安心や快適、ゴルフ場にとっては、プレーのスピードアップや従業員の労力低減、および集客条件のひとつになっている。なお、日本では、プレースタイルに合わせ、5人(キャディ1人+プレーヤー4人)乗りのGCが主流である。ヤマハ発動機株式会社(以下、当社という)は、1994年に国内で初めて本格的な5人乗り手動運転型ガソリンエンジン車のターフジョイG15Aを市場導入した。引き続き、電磁誘導型ガソリンエンジン車のターフライナーG17A、同電気車のターフライナーG17E、また、車両が停止すると自動的にパーキングブレーキがかかるオートパーキング機能付き手動運転型車両ターフジョイG15AP、G15EPを次々と市場導入してきた。機能、性能、経済面など、顧客ニーズをつかんだ当社GCの国内市場シェアは、現在約60%となっている。

今回、商品価値(機能・コスト)、安心、快適性などのさらなる向上および市場環境変化に合致したGCの実現を目指し、新型の5人乗りGCの商品開発を行ったので、ここに紹介する。

## 2 開発のねらい

商品価値の向上(機能向上/コスト低減)のため、

- (1)クラス最大の乗車スペースの確保
  - (2)クラス最高の走る、曲がる、止まる性能、機能の実現
  - (3)GCとしての機能とデザインの両立
  - (4)道具としての使いやすさの追求
  - (5)メンテナンスや地球環境を考慮した分解・サービス性の向上
  - (6)カラーリング、オプション部品の充実
  - (7)VE(Value Engineering)手法を取り入れた仕様、コストの作り込み
- を重点化し開発を行った。

今回、手動運転型ガソリンエンジン車のターフジョイG31A(図1)と、これにオートパーキング機能をつけたターフジョイG31AP、電磁誘導型ガソリンエンジン車のターフライナーG30A、電磁誘導型電気車のターフライナーG30Eの4モデルを開発した。4モデルを同時に開発することで、共通部分を生かしながら、バリエーションに富んだモデルの開発を、効率的に行うことができた。



### 3 製品の特徴

#### 3.1 乗車スペース(全車)

既設の車庫スペースを考慮して、カート全長、全幅、全高は従来車から変更せず、クラス最大の乗車スペースを確保した。これを実現するために、フロントウインドシールドや乗車員のポジション変更をはじめ、縦置きトランスミッションの採用によるリアカウルのコンパクト化など、全面的な車体レイアウトの見直しを行った。一方、低床化と同時にルーフのレイアウト変更により間口を拡大し、プレーヤーの年齢や体格差を問わない、人に優しい乗り降り性を実現した(図2)。



図2 ターフジョイ側面

#### 3.2 ライトステアリング(全車)

通常運転時もさることながら、特に車庫でのすえ切り操舵力(車速がゼロのときのステアリングを回転させる力)を低減するため、ステアリングからラック&ピニオンの入力軸までを直線的に配置した。ステアリング操舵の変動トルク、ロスを抑え、すえ切り操舵力を、当社従来機種比で約36%低減させた(図3)。



図3 ステアリング

#### 3.3 4輪油圧ブレーキ+電磁式パーキングブレーキシステム(G30A,G30E)

当社GCでは初めて2ポット式キャリパーの4輪油圧ブレーキを採用した。特に静肅が売りの電気車では、ブレーキ鳴きに対する要求は、エンジン車に比べて非常に厳しい。本開発においては、シミュレーションによる振動解析と実車評価により、所定の基準を満たす仕様の作り込みを行った。また、パーキングブレーキは従来機種と同様、車速がゼロになると自動でパーキングブレーキ(電磁ブレーキ)が作動するシステムを採用した(図4)。

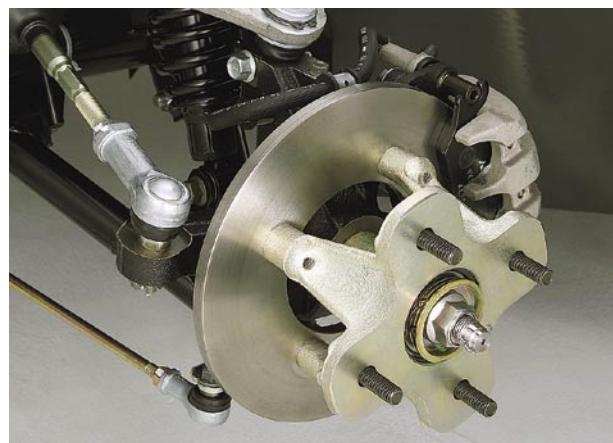


図4 フロントブレーキ



### 3.4 ダブルウイッシュボーン式フロントサスペンション(全車)

フロントサスペンションには、当社GCでははじめてダブルウイッシュボーンを採用した。乗り心地の向上や縁石など衝突時のサスペンション強度の向上、およびタイヤ接地状態の改善により、タイヤ偏磨耗の低減が実現できた。サスペンション回りのベアリングは、従来機種からのグリス封入式軸受けを採用し、メンテナンスフリー化を継承した(図5)。



図5 フロントサスペンション

### 3.5 GC専用タイヤ (全車)

日本のゴルフ場では、GCは基本的にカート専用路を走行する場合が大半であるが、昨今、芝乗り入れのコースも徐々に増加傾向にある。今回、GC専用タイヤとして、タイヤ断面方向の面圧分布改善とともに、発進と停止時の芝へのダメージを減らすタイヤパターンを採用した。またコンパウンドの見直しにより、タイヤ磨耗量の改善を実現した。



図6 2分割ウインドシールド

### 3.6 2分割スライド式ウインドシールド(全車選択可)

ピラー(ルーフの柱)は、アルミの押出成型でウインドシールドの取付け性を考慮した本モデル専用の形状とした。フロントウインドシールドからの風取り入れによる快適性と雨の降込み防止を両立させるため、スライド式2分割ウインドシールドをGC業界で初めて採用した。ウインドシールドにはハードコートを施し、耐傷つき性を向上させた。一方、従来の1枚タイプのウインドシールドも選択できるよう設定している(図6)。



図7 エンジン車

### 3.7 フロント&リアカウル、大型サービスリッド(全車)

サービスリッドの大型化と外装部品の脱着性を改善し、メンテナンス性を向上した。ちなみにカウルの脱着時間は従来機種比で10分の1以下と大幅な改善となっている(図7、8)。

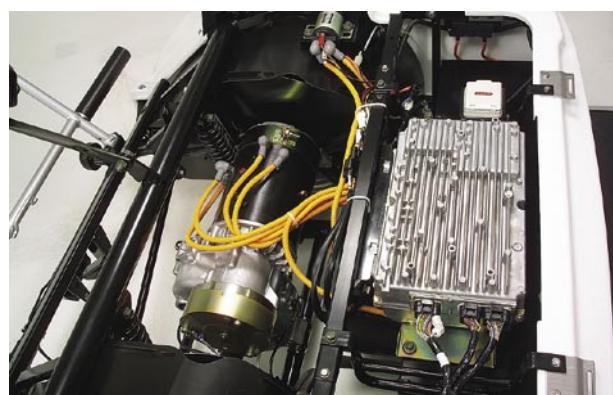


図8 電気車

### 3.8 レインドレイン

ルーフ上の雨処理(流れ)を改善するため、ルーフ後部からドレンホースを通してピラー中に流れるよう工夫した。ドレンホースは容易に脱着でき、枯葉などを取り除く清掃が短時間でできるようになっている(図9)。

### 3.9 カラーバリエーション、オプション部品(全車)

4色の外装色と2色のシートを用意し、ゴルフ場間の差別化が図れるよう、カラーバリエーションを用意した。オプションでは、サイドバイザーなど多様な顧客の要望に対応できるよう設定している(図10、11)。



図9 レインドレイン



図10 サイドバイザー(オプション)



ホワイト

グリーン

ブルー



ホワイト(ブルーシート)



レッド

図11 カラーバリエーション



## 4 品質への取り組み

仕組みとして、従来からあるTQAS(Tokki Quality Assurance System:特機品質保証システム)に加え、開発グループ内にQDC(Quality Delivery Cost)推進担当を設定し、品質、日程、コストを一元管理する機能を作った。

仕様の作り込みでは、本モデルで新たに採用した油圧ブレーキ回りと電気車の電装部品の信頼性向上を重点的に取り組んだ。新規採用部品に対しては、他商品(四輪など)情報を参考にしながらGC用に基準設定すると共に、既存部品については、過去の市場情報を評価基準に全面的にフィードバックし、成熟度の向上を図った。一方、自動走行の制御関連では、ディスクブレーキ採用や傾斜センサー採用などのハード面と、制御方法によるソフト面の両側面からの改善を行った。電気車のバッテリー寿命については、導入前コース診断に基づき、ゴルフ場に事前説明するなど、実態に合せた提案ができるようにした。

## 5 おわりに

本モデルは特機事業部が掛川技術センターに移ってから、GCとしては初の大型プロジェクトである。小回りのきく小さな組織を生かし、従来機種のよい部分を継承した上で、また新たな商品価値を提供できるモデルを開発できたと考えている。同時に、市場は絶えず変化し、その要求は年々高くなっている現状を十分に認識し、事業の旗印である「ジャストフィットソリューションNo.1」実現によって、社会貢献を継続的に遂行できるよう、各課題解決にあたる所存である。

最後に本開発にあたり多大なご協力を頂いた関係各位に対し、この誌面をお借りして心からお礼申し上げます。

### ■著者



内山 敦



竹下 正敏



稻川 宏之

# 製品紹介

## 4ストローク船外機 FT60Bハイスラストモデル

The 4-Stroke Outboard Motor "FT60B" (High Thrust Model)

中山 学 Manabu Nakayama 原田 博 Hiroshi Harada  
●ヤマハマリン株式会社 第11技術部



図1 FT60B 外観

### Abstract

In June of 2002, Yamaha Marine Co., Ltd. released the 4-stroke outboard motor "F60A" on the world markets, where it has won high praise as a model that provides superior performance on smaller, lighter boats. In August of 2003, production began on the variation "FT60B" (High Thrust Model), which is intended for use on mid-weight to heavier weight boats and has also won a strong reputation in the markets. In this report we present an outline of this FT60B model.

### 1 はじめに

2002年6月より発売されているF60A船外機は、小型軽量艇に対してベストパフォーマンスを示し、市場での評価が高い。また、中～大型艇向けにFT60B(ハイスラストモデル:高推進力モデル)を2003年8月から生産を開始し、現在市場で好評をいただいている。以下に、FT60Bについて概要を説明する。

図1にFT60Bの外観を示す。表1に主要諸元を示す。

表1 F60A / FT60B 主要諸元比較

エンジン形式	F60A	FT60B
排気量	996 cm <sup>3</sup>	
ボア×ストローク	65.0 x 75.0mm	
プロペラ軸出力	44.1 kW (60ps) @ 5,500 rpm	
減速比	1.85	2.33
全長	706 mm	
全幅	384 mm	
全高	1425 mm (L トランサム)	1455 mm (L トランサム)
質量 <sup>※1</sup>	114 kg (ETL) <sup>※2</sup>	120 kg (ETL)

※1 質量はアルミペラ付き。エンジンオイル含む。

※2 Electric-Starter, Power Trim & Tilt, Long-Transam 仕様

### 2 開発のねらい

FT60Bの開発のねらいを以下に示す。

- (1)F60Aの軽量・コンパクト・快適性を維持した上で推進力の向上
- (2)中～大型艇に対して卓越した操船性
- (3)ロワーギヤの耐久性向上



### 3 技術的特徴

#### 3.1 パワー・ヘッド

軽量・コンパクトなSOHC、2バルブ直列4気筒、排気量1LのF60Aのパワー・ヘッドを流用した。図2にエンジン構造図を示す。

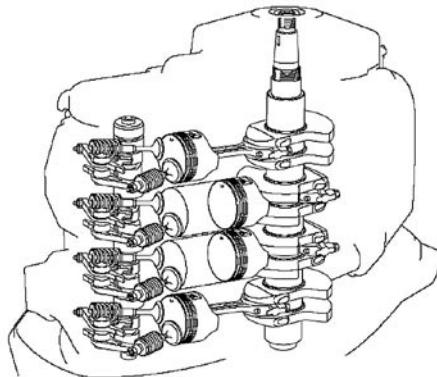


図2 エンジン構造

#### 3.2 ロングスパンマウント

F60Aでも採用されているロングスパンマウント(図3)を踏襲し、向上したスラスト力に耐え得るべく、マウントチューニングを行った。

これにより、F60Aに対して快適性を損なうことのないよう配慮した。

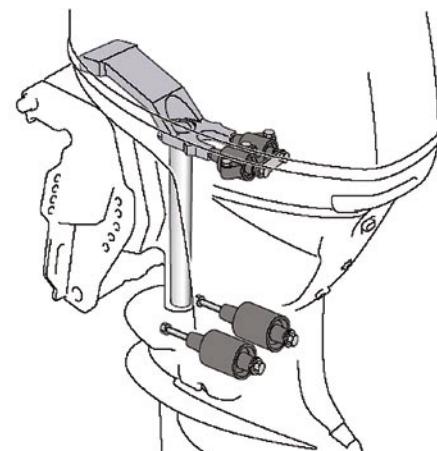


図3 ロングスパンマウント構造

#### 3.3 アンチスプラッシュプレート

北米で人気があるポンツーンボート(図4)のような特異な船底形状でも、スプラッシュ(水流)の吹き上げを防止できるよう、アッパーマウントブラケット部にアンチスプラッシュプレートを付けた。図5にアンチスプラッシュプレートの構造を示す。



図4 ポンツーンボート

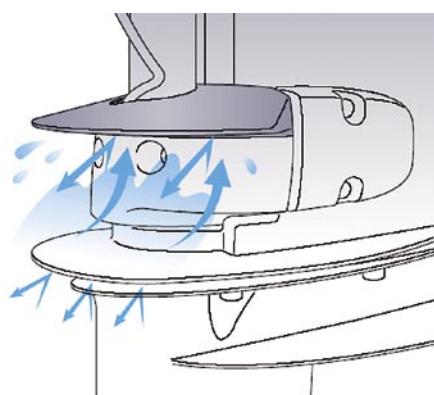


図5 アンチスsplashプレート構造図



### 3.4 高減速比ギヤ

中～大型艇に適した高いスラストを得るために、大径で高翼面積のプロペラを低速で回す必要がある。そのため高減速比ギヤ(ギヤ比2.33:1)および、一回り大きいF100Aのロワーケースを採用した(図6)。

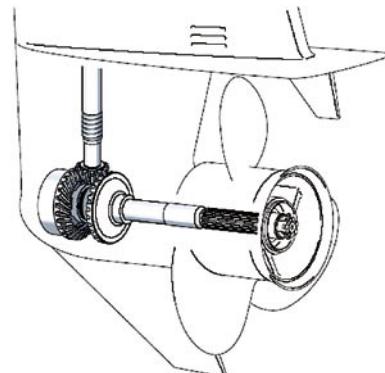
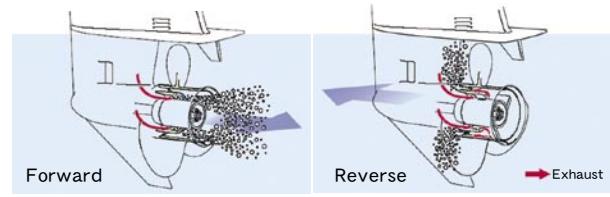


図6 高減速比ギヤ

### 3.5 デュアルスラストプロペラ

プロペラ翼は85kWまで吸収できる翼面積を確保し、プロペラのボス部を2重構造としたデュアルスラストプロペラを新規設計した。

従来のプロペラでは後進時に排気ガス(気泡状)が翼面に巻きつき、エアドローすることによって推進性能が著しく劣っていた。そのため、デュアルスラストプロペラにして、後進時の排気ガスを外側リング状の通路に通し、排気ガスの巻き込みをなくした。これにより、プロペラ本来の性能を発揮することができるようになった。以上により、後進時の操船性(水のつかみ、旋回性)および、前進→後進切り替え時の制動性が著しく向上し、特に中～大型艇での離着岸に際して威力を発揮する。



Diameter × Pitch  
:14-inch × 11-inch

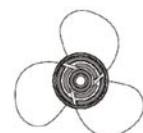
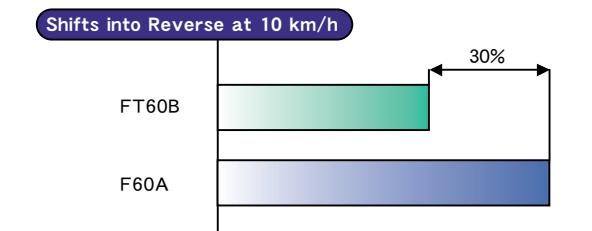
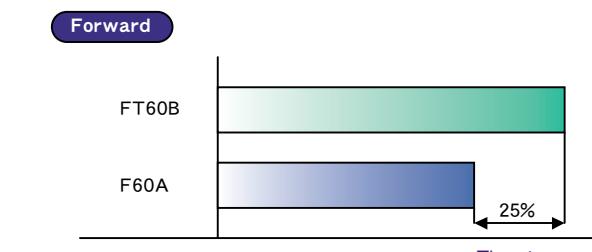


図7 デュアルスラストプロペラ説明図

#### Braking Ability



#### Static Thrust



#### Reverse

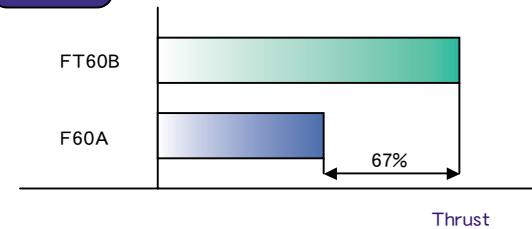


図8 FT60BとF60Aの性能比較



## 4 おわりに

F60Aに加えてFT60Bを投入することにより、さらに多くの用途・多くの艇体への搭載を可能にした。さらにデュアルスラストプロペラを採用することにより利便性・快適性の増した魅力ある商品に仕上がったと自負している。今後もこのような開発を通じて世界の人々の豊かなマリンライフに貢献していきたい。

最後に今回の開発・製造にあたり多くの協力を頂いた関係者各位に深く感謝致します。

### ■著者



中山 学



原田 博

# 製品紹介

## 4ストローク パーソナルウォータークラフト (PWC) VX110 Sport/VX110 Deluxe

### The VX110 Sport and VX110 Deluxe Personal Watercraft

井端 俊彰 Toshiaki Ibata 小柳 智義 Tomoyoshi Koyanagi

中村 光義 Mitsuyoshi Nakamura

● Yamaha Motor Manufacturing Corporation of America, Product Development

/ ヤマハマリン株式会社 第3技術部



図1 WaveRunner VX110

### Abstract

In 2002, Yamaha Motor Co., Ltd. (YMC) became the world's first PWC (Personal WaterCraft) maker to release a production 4-stroke PWC model, the Yamaha "FX." Since then, 3-passenger family-use 4-stroke PWCs have become the market's mainstream models. With the largest horsepower 4-stroke model now boasting a 215 PS (158 kW) engine, the current market trend has turned to high-horsepower, high-priced models.

Meanwhile, popularity also remains strong in the marketplace for more affordable 2-stroke models of lower horsepower and a lower price range, which are purchased mainly by entry-level customers and rental operators in an active market segment.

In light of these market conditions, Yamaha's new WaveRunner VX110 is a 3-passenger family-oriented model powered by a 110 PS (81 kW) 4-stroke engine and designed to offer riding fun and comfort at a price that targets the entry-level and other lower price-scale customers. In this way it is strategically positioned to stimulate growth in this market segment. In this report we discuss the development of the WaveRunner VX110 with its "Sport" and "Deluxe" versions.

### 1 はじめに

2002年、ヤマハ発動機株式会社(以下、当社といふ)がPWC(Personal WaterCraft)業界に先駆けて投入した4ストロークモデルFXの発売以来、市場の主流を占めているのは、3人乗りのファミリー向け4ストロークモデルである。現在では、4ストロークエンジンの最大馬力は215馬力(158kW)であり、高馬力、高価格モデルがトレンドになってきている。

一方、手頃感のある2ストローク、低馬力、低価格帯モデル市場は、人気も根強く、新規購買層をはじめ、レンタルマーケットを中心とした活気のある市場である。

このような状況の中、当社は、新規購買層を含めた低価格帯モデル市場の拡大を目的に、4ストローク110馬力(81kW)を搭載し、乗る楽しさと快適性を追求した3人乗りファミリー向け戦略モデルである、WaveRunner VX110(図1)を市場投入した。



## 2 開発のねらい

開発にあたっては、「Affordable/Fun/Comfort」という新規購買層の視点を中心テーマとし、デザイン、性能、機能の作り込みを行い、Sportタイプと Deluxeタイプの2種類を同時開発した。Sportタイプは、シンプルな機能と装備でコストパフォーマンスの向上をねらい、Deluxeタイプは、セキュリティーシステムやリバースシステム、ミラーの装備など、機能を充実させ、さらにカラーも2色から選択でき、顧客の多様性に対応できるようにした。

本モデルの仕様諸元を表1に、Deluxeタイプのフィーチャーマップを図2に示す。

表1 仕様諸元表

全長	3.22m
全幅	1.17m
全高	1.15m
乾燥質量	325kg
定員	3名
燃料タンク容量	60L
オイル容量	4.3L
最高出力	81kW / 8,000rpm
排気量	1,052cc
シリンダー数×配列	4×直列
シリンダー内径×行程	76mm × 58mm
燃料噴射方式	電子燃料噴射 電子制御スロットル搭載
バルブタイプ	DOHC 5バルブ
JET推進ポンプ形式	Φ155 軸流1段式
FEL(HC+Nox)申請値	30.0g/kWh



図2 フィーチャーマップ(Deluxeタイプ)

## 3 船体概要

### 3.1 ファン性能と快適性能ハル

新規購買層を含めた低価格帯モデル市場を拡大することを目的に、艇体サイズをはじめ、船底形状や性能関連部品の全てを1から見直した。艇体サイズは、主流の3人乗りモデルサイズよりも一回り小さくして軽量化し、軽快な運動性能と、良好な加速性能を実現しつつ、かつ、従来モデル並みの安定性も確保した。また、近年盛んなWakeBoard(水上スキーのボード版)などのトeing(けん引)にも十分な性能を発揮するために、エンジンパワーとマッチングした船底形状を作り上げた。その結果、運転する人も同乗する人も、幅広く楽しめるモデルとなった。



図3 ハルの外観



また、水上では不快と感じる水しぶきが乗船者にかかるのを防ぐために、船底形状にトリプルSprayガード(図3)を採用して、水上でのさらなる快適性を追求した。

### 3.2 YMMCでのコンカレントエンジニアリング

YMMC(Yamaha Motor Manufacturing Corporation of America)では、技術と製造が一体になって開発できるメリットを最大限に生かしてコンカレントエンジニアリングを行った。SMC(Sheet Molding Compound)成形される艇体のメイン部品に関しては、クレーモデルの製作段階から成形性を考慮し、デザインとの両立を図った。

また、スタイリングCAD(Computer Aided Design)を活用し、インモールドコーティングの流れ解析や、SMC強度の構造解析など、シミュレーションを多数行うことで、開発の上流での問題解決を目指した。一例を図4、図5に示す。

さらに、組立て工程においても、穴数の削減や、部品点数の削減、また、ラインバランスを考えた部品のモジュール化を行った。

### 3.3 OTS(Off Throttle Steering)システム

走行中、スロットルをオフにした時、推進力が最小となり、旋回能力が低下するが、OTSによりステアリング(操舵)を切ることで、旋回性の補助を行う。VX110のOTSシステムは、操舵時にステアリング軸ストッパーが磁歪センサーと接触し、磁歪素子に発生する操作加重に応じた出力電圧をエンジンコントローラーの信号に変換することによって、オフスロットル時でも良好な操舵を可能にしている。そのシステム図を図6に、センサー部写真を図7に示す。

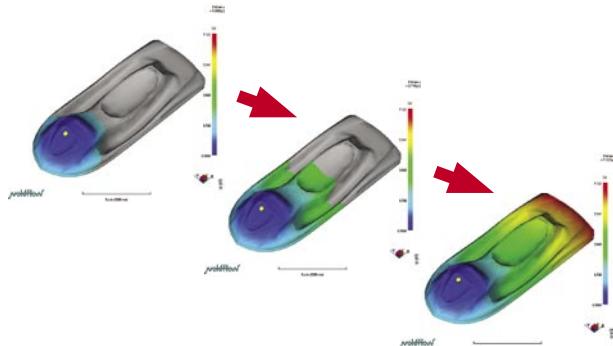


図4 インモールドコーティング流れ解析



図5 SMC強度構造解析

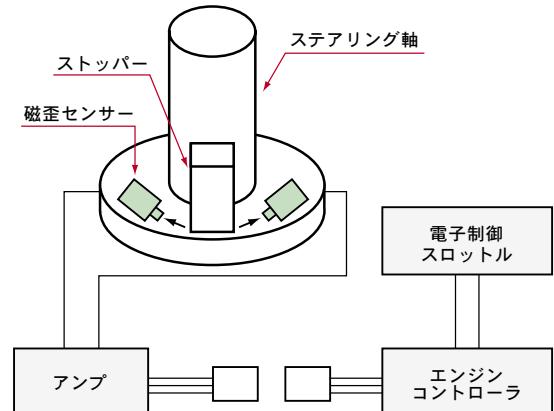


図6 OTSシステム図



図7 OTSセンサー



### 3.4 艇体構造とレイアウト

VX110では、3人乗りファミリーモデルとしての遊びの世界を広げるために、ステアリング位置を前に移動して、後部に多くのスペースを設け、新形状のリアプラットフォームを採用し(図8)、乗降性を容易にした。

また、Deluxeタイプには、2003年に、FX High Outputモデルで導入された遠隔操作の発信機を装備している。これは、不正使用を防ぐセキュリティーシステムで、PWCの速度を制限するリミットモードをコントロールできるようになっている。



図8 リアプラットフォーム

### 3.5 騒音への取組み

4ストロークモデルならではの商品性を一層引き立てるために、騒音低減にも最大限の努力を払った。エンジン吸気、排気音の他、ジェットポンプからの音、艇体からの透過音、漏れ音などの音解析により、全世界の騒音規制値をクリアするとともに、乗船者の耳元音にまで優しい艇に仕上げることができた。

## 4 エンジン概要

### 4.1 PWC4ストロークエンジンの新基軸

ベーシックで、かつ、リーズナブルなPWC用4ストロークエンジンを市場に提供するため、FX High Outputエンジンをベースに低回転化し、吸排気系を全面新作、またエンジン内部部品のスペックに至るまで見直しをかけ、信頼性を維持しつつ、低価格化を実現した。また、従来よりも一回り小さくなった艇体に合わせ、エンジンを小型、軽量化(従来機種に対して約7kg減)することで、快適なライディングポジションや軽快な運動性に大きく寄与した。エンジン外観図を図9に示す。

### 4.2 吸気レイアウト

乗りやすさを重視し、中低速でのトルクを十分に引き出すために、スロットルボディーはシングルボアとし、軽量化のために樹脂製のサージタンク付きインテークマニホールドを採用した。また、従来エンジン上部に配置していた吸気サイレンサーをエンジン前側に配置することで、エンジン上部の幅を狭め

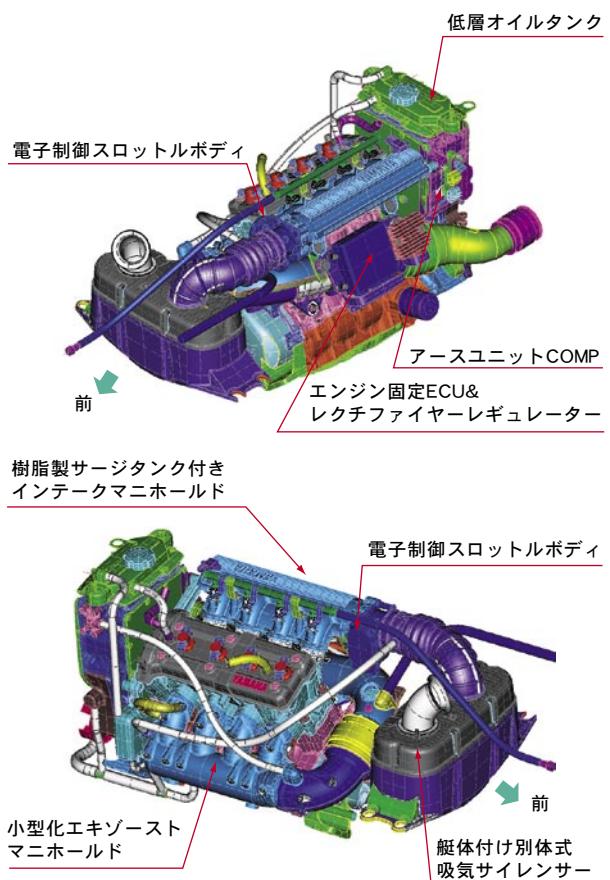


図9 エンジン外観



ることが可能となり、快適なライディングポジションが取れるデッキ形状に寄与した。尚、吸気サイレンサーの設計にあたっては、流れ解析を事前に実施することにより、開発効率を大幅に高めることができた。流れ解析の一例を図10に示す。

#### 4.3 電子制御式スロットルボディーの採用

他社に先駆けて電子制御式スロットルボディーを採用し、快適なドライバビリティ、Low-RPM-Mode、低速安定性向上等を、非常にシンプルな構造で市場に提供することができた。たとえば、Low-RPM-Modeでは、従来の1気筒休止からスロットル開度規制制御にすることでフィーリングが向上し、また、アイドルスピードコントロールによって低速安定性向上、およびメンテナンスフリー化を実現した。そのシステム図を図11に示す。

#### 4.4 軽量コンパクト化された排気系レイアウト

集合部までの排気管長を短くすることにより、中低速のトルクを引き出した。また従来4分割構造であった排気系を3分割とすることで、エンジンの小型、軽量化に寄与した。

#### 4.5 バスバーインサート型小型電装Box

電装Boxの小型、軽量化のために、従来電装Box内に納められていたECU(Engine Control Unit)をエンジン付けとした。また、バッテリー線以外のハーネスを全てダイレクトカプラー化することで、組立て性、整備性を向上させた。一方、本電装Boxは樹脂成形されたBoxの壁内にバスバーをインサートする構造とすることで、内部構造の簡略化、組立ての簡易化に大きく貢献した。

#### 4.6 環境への対応

3次元マップによる、最適な燃料噴射制御と、最適な点火時期制御により、2005年排ガス規制のCARB(California Air Resource Board) 2STARに対応した。また燃費については、2ストロークベンチマークモデルに対して、約50%、さらに4ストローク当社既存モデルに対しても約35%向上を果たした。

#### 4.7 コストダウン

ベースとしたFX High Outputのインナーパーツに至るまで、材質、表面処理まで徹底的な見直しをかけた。例をあげると、ピストンは鍛造から鋳造に変更、コンロッドは浸炭を廃止しているが、それぞれ材質、

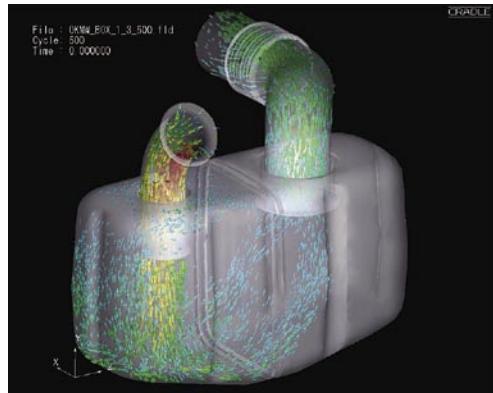


図10 吸気サイレンサー内の流れ解析の例

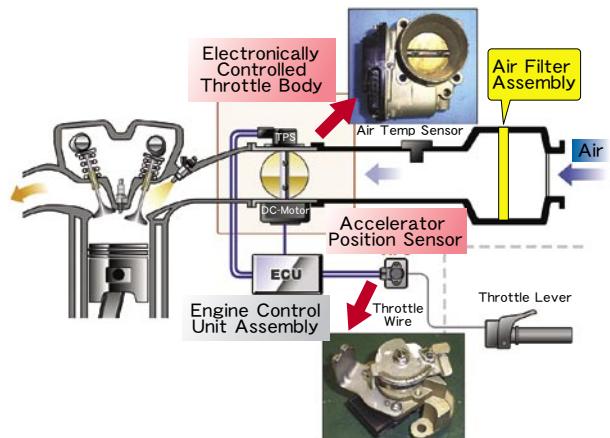


図11 システム図



熱処理を変更するために、部品形状は0から見直しをかけ、専用設計とした。また、部品点数の削減、および、部品のモジュール化を強力に推進した。これにより、例えば冷却系ではベンチマークに対して47%、吸気系では31%の部品削減を実現した。さらに、ほとんどの型物部品においては、ベンダーとコンカレント活動を積極的に展開し、最適形状を導き出した。

一方、1次試作の段階から、生産技術部門の協力により、エンジンの組立て性向上のための部品形状を、型物部品に落とし込んだ。

## 5 ジェットポンプ概要

艇体コンセプトである「Affordable/Fun/Comfort」にこたえるため、全面的に見直しをかけ新設計とした。リバース性能をはじめとした機能向上と共に、コストダウンを強く押し進め、従来機種比で、25%部品点数削減、36%原価低減を達成した。ジェットポンプの外観図を図12に示す。

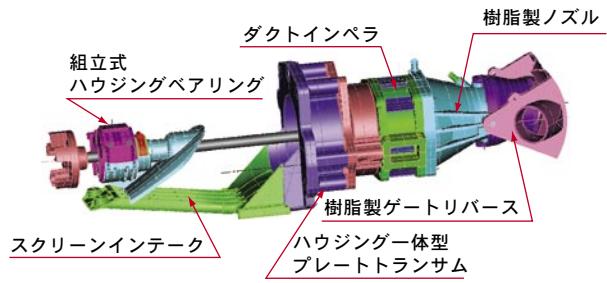


図12 ジェットポンプ外観

### 5.1 ハイプレッシャーポンプ

FX High Output譲りのハイプレッシャーポンプを採用し、加速性能、最高速を達成した。

### 5.2 大物部品の樹脂化

ノズル、ノズルデフレクター、ゲートリバースの大物3部品を樹脂化することで、大幅な軽量化と共に、コストダウンに貢献した。強度面はCAE(Computer Aided Engineering)解析により十分な事前評価を行い、耐久等の実機評価においても破損等のトラブル無く、効率的な開発ができた。

### 5.3 中間軸受け構造

艇体BHD(バルクヘッド)の廃止に伴い、BHDに取り付けられていた中間軸受け(ハウジングベアリング)を、周辺部品と統廃合して新規構造とした。個々の部品を多機能化させることで部品点数の削減、および軸心精度の向上ができ、信頼性確保とコストダウンを両立させた。また、ハウジングベアリングは、ゴム焼付けタイプから組立てタイプに変更し、ゴム焼付けを廃止することで、コストダウンを図った。中間軸受け部の構造を図13に示す。

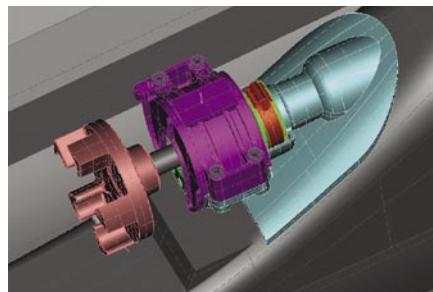


図13 中間軸受け部の構造

### 5.4 リバースシステム

理想的なリバースゲート形状とは何か、という観点から、いかに前方向にスムーズに噴流を流すことができるかという点にポイントを絞り込み、艇体のトランサム部への水流れまでを考慮したリバースゲート



形状とした。尚、このリバースシステムは、現在の他社含めた全てのPWCの中で最も後進性能が高いと評価されている。

## 6 品質への取り組み

本モデルの開発では、「開発／生産品質向上」を目標に、以下の点を重点的に取り組んだ。

- (1)スタイリングCADを活用し、多数の部品をシミュレーションすることで事前検討が十分にできるようにした。
- (2)型物試作の完成度を上げることで、開発効率の向上を目指した。特に、この型物試作において、品質の作り込みに従来以上に時間を割いた。
- (3)製造側とのコンカレント活動を徹底的に行い、部品点数の削減、および、品質の安定につながる一方策として、部品のモジュール化を最大化した。

## 7 おわりに

現在、PWC市場は大きく4ストロークエンジン化の方向に進み、高性能、高価格モデルがトレンドになってきている。そのような中で、新規購買層も含めた低価格帯モデルの市場を拡大すべく投入したVX110シリーズは、発表以来、誌上等で非常に高い評価を得ていると共に、計画を上回る受注を頂いている。VX110シリーズは4ストロークPWCのニュースタンダードとして、多くの人に水上での楽しみを提供できる商品であると確信している。

尚、VX110の開発にあたりコンカレント活動をはじめとし、多大なご協力を頂きました関係者各位に対し、心から感謝すると共に、誌面を借りて御礼を申し上げます。

### ■著者



井端 俊彰



小柳 智義



中村 光義

# 製品紹介

## 監視用UAV RMAX G0-1

The Observation-use UAV "RMAX G0-1"

鈴木 弘人 Hiroto Suzuki  
●新事業推進部 スカイ事業部



図1 RMAX G0-1の外観

### Abstract

In the summer of 2004, the Sky Operations division of Yamaha Motor Co., Ltd. (YMC) released the "RMAX G0-1" as a UAV (Unmanned Aerial Vehicle) for observation use.

This craft is a specially outfitted version of Yamaha's autonomous flight-capable utility-use unmanned helicopter that has been developed specifically for observation operations. One of the focuses of the development project was to give this unit the capability to perform observation operations any time, day or night, and in any season or weather. Also, in addition to the helicopter and its systems, the project simultaneously developed a training system for the helicopter's operators. In this report we discuss the development project for this model.

### 1 はじめに

2004年夏、ヤマハ発動機株式会社(以下、当社という)スカイ事業部は、監視用のUAV(Unmanned Aerial Vehicle、無人航空機)としてRMAX G0-1をリリースした。

本機は、自律航行型の産業用無人ヘリコプターを監視専用用途に限定して開発したものである。昼夜、季節を問わずに運行をするところに開発の重点を置き、機体開発とともに、運行者の訓練システムも構築された。

### 2 監視用途の課題

目的は、空中からの監視作業であり、この作業は昼夜、季節、天候を問わずに行われる。よって、前モデルRMAX G0での使用条件が表1のように変更された。

その他にも、使用目的に応じて、荒天時に強い制御性能の開発、監視作業を効率的に行うためのカメラ装置の開発、地上局の開発等が同時に行われた。

表1 仕様変更内容

	G0-1	G0
飛行範囲	地上局から5 km 以内	地上局から1.5km 以内
夜間飛行	可能	禁止
雨天飛行	条件内で使用可能	禁止
温度条件	-10°C～45°C	-10°C～35°C

### 3 G0-1 の構成

#### 3.1 機体

機体の外観を図1に、三面図を図2に示す。各構成品の詳細は以下に記す。

##### 3.1.1 プラットフォーム

プラットフォームは、既存の薬剤散布用に販売しているRMAX Type II (L17)である。それに自律装置の入ったボックスを左サイドに装着した形を取った。左右非対称な形状は一見不自然で、空力的なアンバランスをイメージするが、飛行速度の遅いこの領域における運用においてはさほど影響が無いことが確認されている。

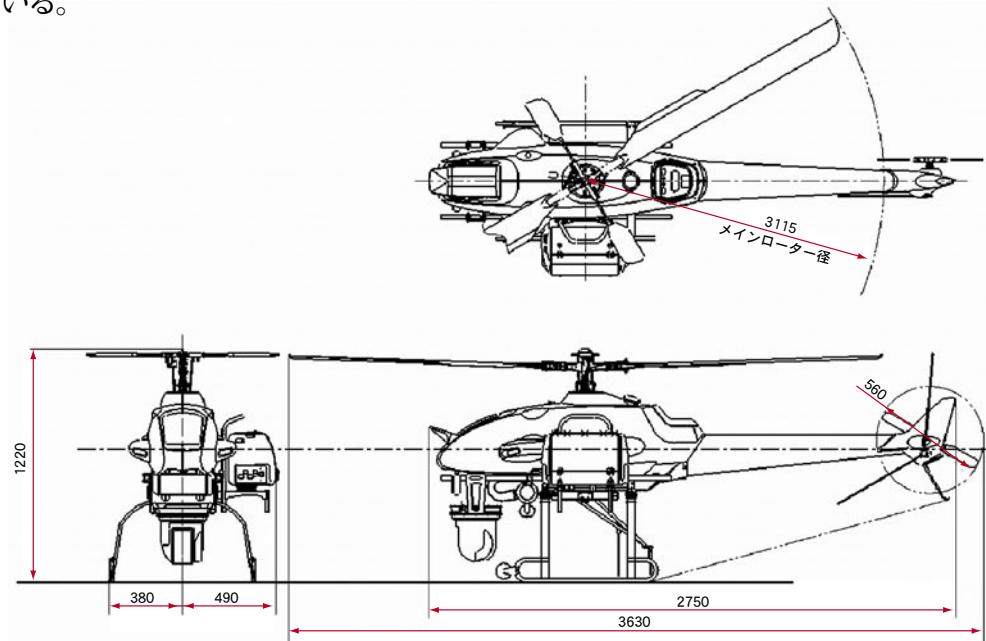


図2 三面図

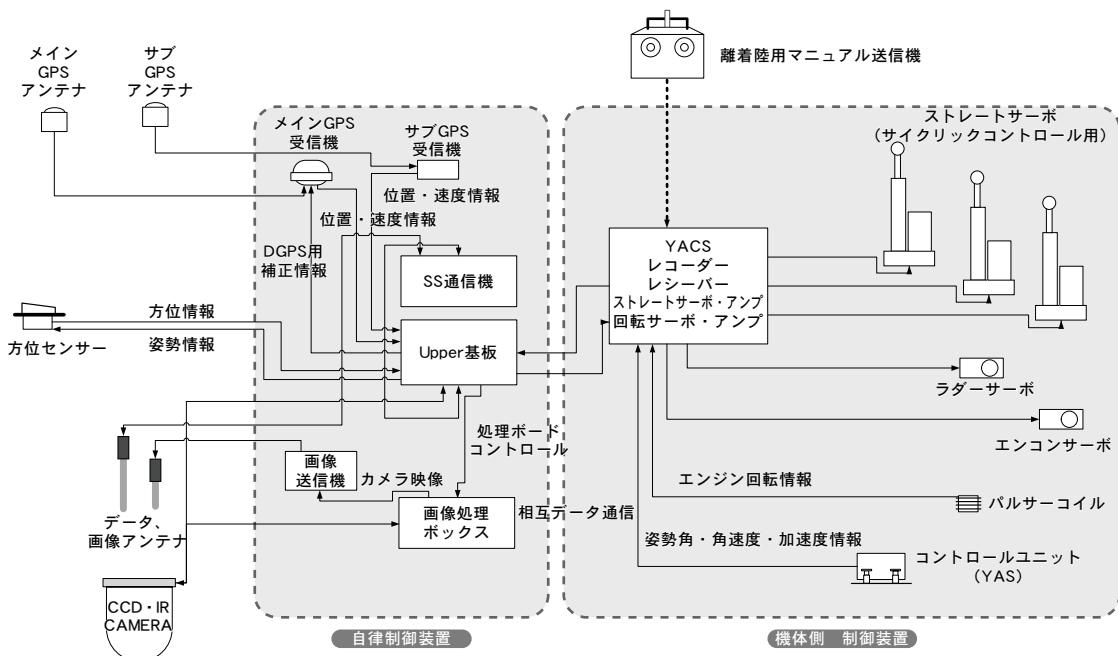


図3 機体側システム構成



### 3.1.2 自律装置

機体側自律装置の構成を図3に示す。

飛行制御は、3軸ジャイロを用いた姿勢制御の入った手動操縦システムに、GPS(Global Positioning System)を用いた速度、位置制御を付加したシステムで構成されている。自律飛行における操縦とは、地上から送られてきた速度、位置の指令を受けたヘリコプター側のインターフェース基板が、現在のヘリコプターの姿勢、速度、位置情報等を統合して、最終的に目標の位置にヘリコプターを誘導することをいう。その操縦は地上局のパソコン等を用いて行われる。

### 3.2 監視装置

本機の運用は、昼夜問わず行われる。そのために、2種類の監視用カメラ装置が用意されている。ひとつは昼間用のCCD(Charge Coupled Device)カメラ装置であり、もうひとつは夜間用の赤外線カメラ(以下、IRカメラという)装置である。両装置ともにチルト(上下動作)とパン(回転動作)動作に加え、CCDカメラには光学12倍のズーム機能を備えている。

両雲台の基本構造は共通であり、ヘリコプター特有の振動による画像のブレを抑える機能を持っている。メインローターから発生する比較的低周波の振動や本体の風による揺れを、ジャイロによる角速度制御、エンジンやテールローター等の高周波をソフトウェアによる画像制御で抑えている。これらによって、地上では、安定した上空からの画像を見ることができる。CCDカメラとIRカメラは、必要に応じて交換して使用する。装置は短時間(5分以内)で交換可能である。

両装置の主要諸元を表2に、概観を図4に示す。また、装置には画面の中心に捉えた目標物までの距離とその目標物の位置座標を概算する機能も有している。

表2 装置の仕様

	可視センサー	赤外線センサー
形式	カラー CCD	非冷却型赤外線カメラ
撮像素子	IT方式 CCD	2次元マイクロボロメーター
雲台動作	パン；360° チルト；-90°～0° ズーム；光学12倍	パン；360° チルト；-90°～0° ズーム；無し
重量	4.3kg	5.3kg



図4 搭載装置の外観

### 3.3 地上局

G0-1システムでは、実機の旅客機のコックピットに相当する部分を地上局と呼ぶ。ここでは、ヘリコプターの飛行プログラムをマネージメントするパイロット、カメラで監視をする監視員、ヘリコプターの離着陸を行う離着陸パイロットの3名で運行される。離着陸をマニュアルで行う理由は、安全管理上の問題である。マニュアルで行う方が、不測の環境変化(突風や豪雨など)に対して、最も臨機応変に対応できるからである。もちろん、本システム運用に当たって、農業分野で育ったパイロットも有効に利用できるというバックグラウンドも少なからず関係している。



ヘリコプターは、難易度の高い操縦をセンサーを用いた電子装備の助けを借りて行われる。パイロットは運行地図を中心に置いた視認性のよいディスプレイ上で、簡便な操作のみで操縦することができる。その操作はゲーム的なイメージを持たれるが、操縦するというよりは、自動操縦飛行プログラムと機体から送られてくる種々の情報(エンジン回転数、水温、姿勢、GPS情報、通信情報他)を管理するといった表現が正しい。作業内容は、エアラインパイロットのそれに例えられることが多い。これらを運用するソフトウェア開発は、マンマシンコミュニケーションを考慮して設計されており、自律航行型のヘリコプター開発を開始した当初から、幾多もの改良を重ねて作られたものである。図5に地上局システムの構成を示す。



図5 地上局外観

## 4 制御性能について

今回のモデルにおける制御性能の特徴について簡単に説明する。

本モデルは、監視用ということで、荒天時の飛行を余儀なくされることが多く、その反面、測量飛行のような精度の高いホバリングは要求されない。よって、制御性能の重点は、主に風の影響によるヘリコプターのパワーロスを最小限に抑えることにおいた。例えば強い横風の中、かたくなに飛行ルートを維持しようとすると、多大な操舵によって、大きなエンジンパワーロスを伴ってしまう。エンジンパワー、ローター推力性能が落ちる高温時の飛行においては致命的な弱点となる。こうした弱点に対して、ある程度飛行ルートを維持しつつも、過多な維持制御はしないという性格を持たせた制御プログラムが開発された。これにより、ヘリコプターは常に無理なく飛ぶことができる。

また、大きな側面積を持つ胴体がまともに横風を受けると、同じく多大なパワーロスを生んでしまう。そのため、ヘリコプターが自動的に横風を感知して、風向きに対して方位を変化させることでパワーロスを抑えるというプログラムが組まれている。航空用語では「偏流をとって飛行させる」というが、パイロットはかなりの横風まで、風向きの影響を無視して飛行させることができる。

## 5 飛行訓練とメンテナンス

先にも触れたが、本機は用途上、厳しい環境条件で使用されることが予想され、飛行方法において、多くの制限事項が存在する。また、飛行中のセンサーをはじめとする電子機器故障時の緊急対応も要求される。パイロットは、常に緊急時に安全確保のための処置を頭において運行しなければならない。よって、それらを熟知し、適応可能な経験を持ってから運用にあたる必要がある。

スカイ事業部では、本システムを運用するにあたって、離着陸パイロット、自律飛行パイロット、そして整備士をひとつのチームとして教育し、各課程を終了した者のみが運用を許可されるという教育システムを作った。訓練カリキュラムは、それぞれ20日間ずつである。



さらに、安全な運行をするため、日常の点検を含め、定期的な点検を義務付けている。これらを実行する運用者の訓練も20日間のカリキュラムに組み込まれている。

また、当社の無人ヘリコプターは、2004年11月に発足したJUAV(Japan Unmanned Aerial Vehicle Association:日本産業用無人航空機協会)が発行している安全運行規定に準じて運用されている。

## 6 おわりに

監視用途に特化された形で開発されたが、本用途における過酷な要求は、自律航行型無人ヘリコプターの出しうる性能を確認する場にもなった。今後は、その貴重なデータをもとに、空力的な改善、重量軽減、制御性能のさらなる改善等を行い、用途に見合った性能、機能、安全性を有した次世代の機体開発を進める予定である。



# 技術論文

## カテゴリー判断法による全身振動の評価と尺度構成

**Scaling and Evaluation of Whole-body Vibration by the Category Judgment Method**

兼子千夏子 Chikako Kaneko 萩原孝英 Takahide Hagiwara 前田節雄 Setsuo Maeda  
●研究創発センター システム技術研究室 / 独立行政法人 産業医学総合研究所 人間工学特性研究部

### Abstract

Quantitative evaluation of "degree of comfort" is an important aspect to consider when evaluating the nature of products or the establishment of design-objective values during vehicle development. In this research, the category judgment method, which is one of the scaling methods, was used to create an assessment scale for evaluation of whole-body vibration to solve this problem.

To scrutinize the effect of the difference in the frequency component of the vibration on evaluation, three kinds of random signals with different spectrum were used in our experiment. Consequently, while the quantitative relation between a vibration stimulus and degree of comfort became clear, it turned out that when a vibration contained more low frequency components, the degree of comfort declines even though the acceleration level is the same.

### 要旨

"乗り心地"の定量的評価は商品性の評価や設計目標値の設定のため、乗り物の開発をしていく上でも重要な課題である。本研究ではこの課題解決のために、尺度構成法の1つであるカテゴリー判断法を使用して、全身振動の評価のための尺度構成を試みた。

実験には振動の周波数成分の違いによる評価への影響を見るため、スペクトルの異なる3種類のランダム振動を使用した。この結果、振動刺激と快適性の定量的関係が明らかになると共に、振動の加速度レベルが同じでも、低い周波数成分を多く含む振動の方がより不快に感じることも分かった。

## 1 はじめに

"乗り心地"の定量的評価は、商品性の評価や設計目標値の設定のため、乗り物の開発をしていく上でも重要な課題である。乗り心地の評価尺度として、一般的には人体振動についての規格であるISO2631-1<sup>1)</sup>が使われる。そこでは座位の人体が受ける振動について、座面、背もたれ、足の3つの部分で受ける合計12軸の0.5~80Hzの振動を周波数補正して合算した周波数補正加速度実効値(Frequency-weighted Root Mean Square acceleration 以下、加速度レベルと呼ぶ)で評価するものとしており、快適性との関係を表1のように示している。

しかしISO2631-1の尺度には複数の反応が重複している部分があり、計測された加速度レベルから快適性についての反応を特定できない場合がある(図7)。この問題を解決し、乗り心地の定量的評価尺度を作るため、カテゴリー判断法<sup>3)</sup>を用いて実験を行い、尺度構成を行った。この論文では、この手法の使い方に焦点を当て報告する。

表1 加速度レベルと快適性

加速度レベル	快適性	(参考) これらの値について山下ら <sup>2)</sup> は以下の様な実測例を報告している。
0.315m/s <sup>2</sup> 未満	不快ではない	
0.315~0.63 m/s <sup>2</sup>	少し不快	
0.5~1 m/s <sup>2</sup>	やや不快	
0.8~1.6 m/s <sup>2</sup>	不快	
1.25~2.5 m/s <sup>2</sup>	かなり不快	
2 m/s <sup>2</sup> 以上	極度に不快	

## 2 心理学的測定法

刺激と反応との関係といった直接測定することのできないものを評価する方法は、心理学的測定法と総称され、尺度構成法と定数測定法の2つに大別される(図1)。尺度構成法が人間の感覚を表すのに適切な尺度を構成して評価する作業であるのに対し、定数測定法は既存の尺度に評価を当てはめて行く作業である。この尺度は必ずしも人間の感覚を表すのに適していない場合がある。ISO2631-1が参照している実験もこの方法に基づいて行われたものであったため、尺度構成が適切になされず重複部分が発生したと考えられる。



図1 心理学的測定法

尺度構成法の1つであるカテゴリー判断法については、前田ら<sup>4)</sup>が手腕系に加わる局所振動評価のための尺度構成をこの手法を用いて行い、振動周波数および振動加速度レベルと心理量との関係を明らかにしている。また、住友ら<sup>5)</sup>は、新幹線によって引き起こされる振動の感じ方について、1995年の阪神大地震の前後での心理量の変化をカテゴリー判断法を用いて明らかにしている。

本研究ではスペクトルの異なる3種類のランダム振動を用いて実験を行い、カテゴリー判断法を用いて尺度構成をすると共に、振動刺激と快適性の関係を明らかにした。

### 3 カテゴリー判断法による尺度構成

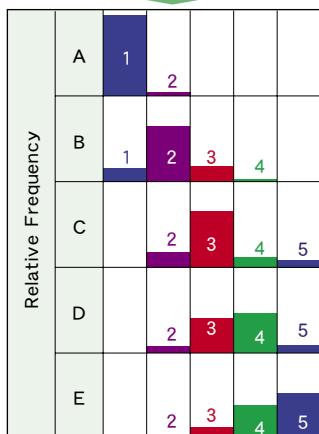
カテゴリー判断法では、刺激に対する反応評価が正規分布に従うものとして、カテゴリーの間隔を調整している。実験結果から尺度を構成していく手順を、図2の例を用いて説明する。

5種類の刺激A～Eについて13人の被験者がそれぞれ3回ずつ、合計39回ずつ評価した場合の実験結果を、各カテゴリー毎の度数にまとめたものが図2(a)である。これを図2(b)の相対度数に変換し、これから各カテゴリーの上限までの累積比率を求め、その累積比率に対応する偏差比率を刺激ごとに求めたものが図2(c)に示すカテゴリー境界である。これは図2(b)を各カテゴリーの面積比率を保ったまま正規分布に書き換えたものと言える。最後に、刺激ごとに求められたカテゴリー境界を平均して図2(d)の平均尺度を求める。

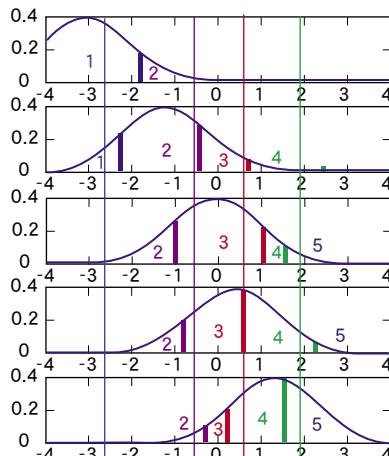
(a)Original frequency data

Stimulus	category				
	1	2	3	4	5
A	38	1	0	0	0
B	6	25	7	1	0
C	0	7	27	3	2
D	0	3	16	18	2
E	0	1	2	15	21

(b)Converted to relative frequencies regarding each stimulus.



(c)Normalized distribution for each stimulus with category limits.



Colored lines show category boundaries.

Numbers in the figure correspond the category numbers.

(d)Averaged scale of each category boundary.

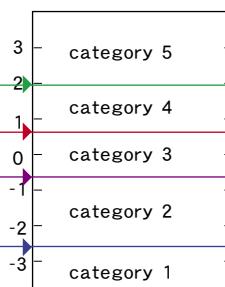


図2 カテゴリー判断法による尺度構成の手順

## 4

## 実験

本実験に用いたランダム信号は1~100Hzの周波数範囲を持ち、周波数特性の違いを明確にするため、高い周波数成分と低い周波数成分の比を変えたもの3種類を用意した。スペクトルを図3に示す。これらの信号をISO2631-1に基づくW<sub>k</sub>により周波数補正した後、加速度レベルを等しくそろえ、さらにそれらを0.2~1.8m/s<sup>2</sup> R.M.S.の間で5段階に変えて、15種類の振動刺激とした。これらを3回ずつ繰り返して合計45個の刺激とし、図4に示すように、ランダムに5秒間ずつ、2秒間隔で連続して与える1系列の振動刺激を作成した。振動負荷方向はZ軸方向とし、加振機上に着座した被験者を加振した(図5)。被験者には、それぞれの振動刺激に対する評価を表2の判断カテゴリーの中から選び、対応する番号(1~5)を口頭で回答してもらった。

実験結果を前述の手順に沿って作成したプログラム(付録参照)によって処理し、振動刺激別に加速度レベルVとそれに対応する絶対尺度上の心理量Uとの関係を表す回帰式を、以下のように求めた。Uは加速度レベルVの振動刺激に対して被験者13人の50%の人が心理的に評価した値である。この結果を図6に示す。

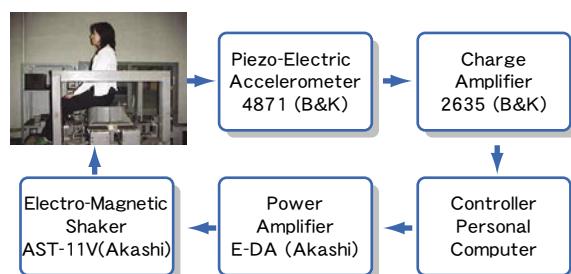


図5 実験装置

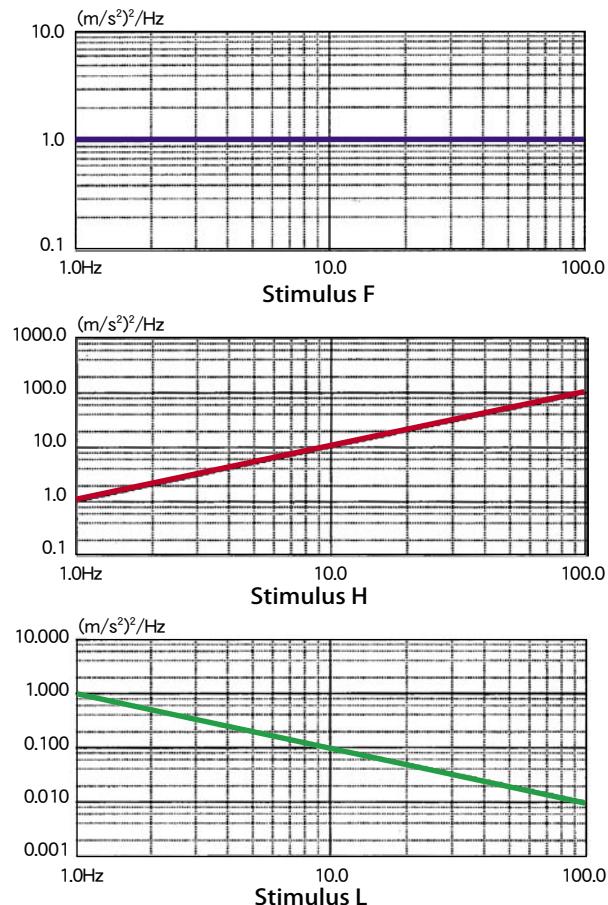


図3 振動刺激のスペクトル

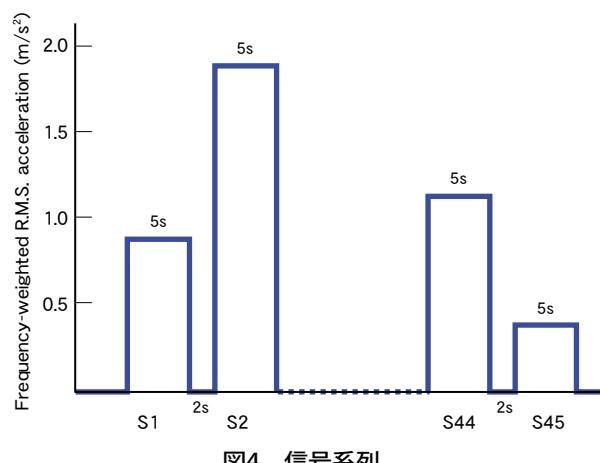


図4 信号系列

表2 実験に使用したカテゴリー

1. 不快ではない
2. 少し不快
3. やや不快
4. 不快
5. かなり不快

$$U = a \log_{10} V + b \quad (1)$$

ここで

- |                       |          |
|-----------------------|----------|
| $a=6.8, \quad b=0.7$  | : 刺激Fの場合 |
| $a=5.4, \quad b=-0.4$ | : 刺激Hの場合 |
| $a=8.6, \quad b=2.0$  | : 刺激Lの場合 |

また、この回帰式を変形した式(2)により、各スペクトル別に絶対尺度上のカテゴリー限界  $LA_c$  に対応する加速度レベルを求めた。

$$V_c = 10^{\frac{(L_c - b)}{a}} \quad (2)$$

これにより、隣り合うカテゴリーと重なりの無い境界を求めることができた。この結果とISO2631-1の尺度とを併せ、図7に示す。

## 5 考察

図7を見ると刺激Hから求められたカテゴリーは、刺激Fのものより加速度レベルが高い方へずれていることが分かる。これは高周波成分を多く含む刺激Hでは、刺激Fより高い加速度レベルで同じ快適性の評価を得た結果であり、言い換えれば加速度レベルが同じであれば、刺激Fの方が不快と感じ難いということである。低周波成分を多く含む刺激Lの場合は、逆に、刺激Fと同じ加速度レベルでも不快感が高くなっている。これらのことから、振動刺激のスペクトルが異なった場合、加速度レベルが同じであっても快適性は異なり、低周波成分を多く含む振動の方をより不快に感じるということが明らかになった。また図6を見ると、この傾向は加速度レベルが大きい場合に、より顕著となっている。

ISO2631-1の周波数補正  $W_k$  の根拠となった実験は、単一の正弦波振動の周波数を変えて行われたものであった。本研究では、乗車時等に受ける振動を想定して複合した周波数による振動刺激を用いたが、そのため  $W_k$  では周波数補正が適切に行われなかったのではないかと考えられる。

## 6 おわりに

カテゴリー判断法を使って、全身振動の快適性評価のための重なりの無い尺度構成を行うことができた。この方法によれば、数値的に計測することが難しい主観的・心理的な評価と、振動の加速度レベルのように実際に計測できる物理的な値との関係を明らかにすることができます。この他にも○○心地と呼ばれる感覚を、寸法や色、速度や加速度など数値に結び付けて評価することが可能であり、定量的な商品性の評価や設計目標値の設定など、今後の研究開発の中で生かしていくものと考えている。

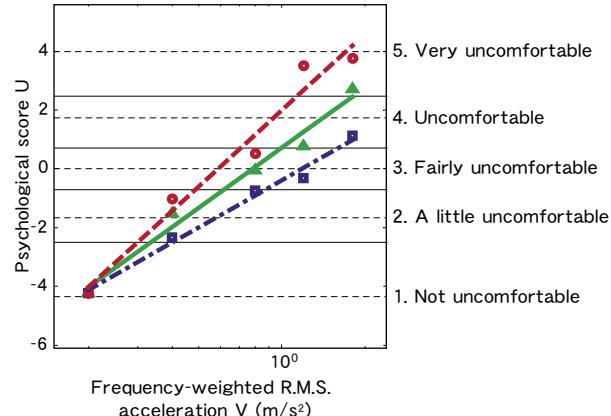


図6 心理量と加速度レベルとの関係

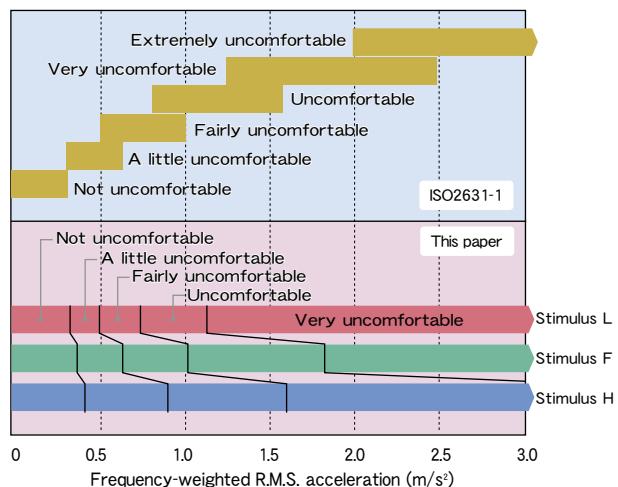


図7 尺度の比較

## ■参考文献

- 1) International Organization for Standardization (1997) Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements. ISO 2631-1.
- 2) K.Yamashita , S Maeda (2003) Realization of 12-axis vibration measurement on the seat according to the ISO2631-1 standard. Inter-noise2003
- 3) Guilford JP (1954) Psychometric methods. McGraw-Hill. New York.
- 4) Maeda S, Kume K and Iwata Y (1983) Evaluation of localized vibration using the method of category judgement. Jpn Ind Management Assoc. 34(2), 200-205.
- 5) Sumitomo S, Tsujimoto S, Maeda S and Kitamura Y (1998) The influence of the great Hanshin earthquake on human response to environmental vibration due to the Shinkansen. Industrial Health 36, 290-296.
- 6) MATLAB The MathWorks, Inc.
- 7) Nanba S, Yoshida M (1974) FORTRAN for psychology and education, 457, Seishin-shobo, Tokyo (in Japanese).

## ■著者



兼子 千夏子



萩原 孝英



前田 節雄

## ■付録: カテゴリー判断法による尺度構成のためのサンプルプログラム

このプログラムはMATLAB<sup>6)</sup>で使用するものであり、「CJM」と打ち込むことで実行できる。簡素化のため本実験で得られたデータをサンプルデータとしてプログラム中に書き込んであるが、他のデータを使って処理する場合はこの部分を書き換えるか、データファイルを読み込むようにプログラムを修正する必要がある。処理概要を以下に述べる。

- (1) 各刺激に対する被験者の評価結果をカテゴリー別に整理して度数分布行列Fを作る。
  - (2) これをカテゴリー1から5までの累積比率Gに変換する。
  - (3) 次に各カテゴリーの上限までの累積比率に対応した偏差比率Zを求める。
  - (4) これから各カテゴリー幅平均Dとカテゴリー上限L、およびカテゴリー中央値Cを求める。
  - (5) さらに中央に位置するカテゴリー3の中央をゼロと置いた絶対尺度値Aに変換する。
  - (6) 次に、おののの振動刺激R<sub>i</sub>の度数分布のメディアンにあたる尺度値Mを、カテゴリーの上限の尺度値Lを用いて求める。
  - (7) この結果から振動刺激別に加速度レベルVとそれに対応する心理量Uとの関係を表す回帰式を求める。この結果を図6に示す。
- (1)～(6)は汎用の処理であるが、(7)はサンプルデータの作図の設定になっているため、他のデータを処理する場合は変更する必要がある。



```
%%%%%%%%%%%%%%%
% Category Judgment Method %
% Programmed by T.Hagiwara 2003.7.30 %
%%%%%%%%%%%%%%%
function CJM()

% (1) 度数分布行列 F の作成
% --- 1 --- 2 --- 3 --- 4 --- 5 ---
% F = [ 38 1 0 0 0 % カテゴリー No
%       6 25 7 1 0 % Flat 0.2 m/s^2 R.M.S.
%       0 7 27 3 2 % Flat 0.4
%       0 3 16 18 2 % Flat 0.8
%       0 1 2 15 21 % Flat 1.2
%       38 1 0 0 0 % Flat 1.8
%       18 19 2 0 0 % High 0.2
%       4 16 17 2 0 % High 0.4
%       2 13 17 7 0 % High 0.8
%       1 2 13 16 7 % High 1.2
%       38 1 0 0 0 % High 1.8
%       4 19 14 2 0 % Low 0.2
%       0 5 17 16 1 % Low 0.4
%       0 0 0 10 29 % Low 0.8
%       0 0 1 5 33 ]; % Low 1.2
[n,g] = size(F); % 配列の大きさの取得 n: 刺激数、g: カテゴリー数
Td = zeros(35,1); L = Td; Sm = 0; Su = 0; Suu = 0; % 各変数の初期化
cr = setstr(13); % 作図のための定数設定
```

% (2) 累積比率 G への変換  
G = cumsum(F./repmat(sum(F,2),1,g),2); % G(i,j): 累積比率

% (3) 偏差比率 Z の算出  
for i = 1:n % カテゴリーの上限値の計算を刺激ごとに行う
 for j = 1:g % 各カテゴリーについて
 Z(i,j) = ZSCORE(G(i,j)); % Z(i,j): カテゴリーの上限値を求める
 end
end %

% (4) カテゴリー幅平均 D、カテゴリー上限 L およびカテゴリー中央値 C の算出  
for j = 1:g % カテゴリー毎に幅の計算を行う
 c = 0;
 for i = 1:n % 各刺激別に計算する
 if j == 1 % 端にあるカテゴリー 1 については個別計算する
 if Z(i,j) ~= -3.75 % カテゴリー 1 に度数がある場合
 d(i,j) = Z(i,j)-(-3.75);
 Td(j) = Td(j)+d(i,j);
 c = c+1;
 end
 elseif (Z(i,j) ~= -3.75) & (Z(i,j-1) ~= 3.75) % 隣のカテゴリーが限界値の場合カウントしない
 d(i,j) = Z(i,j)-Z(i,j-1);
 end
 end
end %



```
Td(j) = Td(j)+d(i,j); % カテゴリー幅を足し込む
c = c+1; % 足し込んだ回数をカウント
end %
end %
if c == 0, c = 1; end % 度数が0の場合はゼロ割を避けるため1にする
D(j) = Td(j)/c; % D(j): カテゴリーの平均幅
end %

for j = 1:g % カテゴリー毎に上限値と中央値の計算を行う
if j == 1 % カテゴリー1について
L(j) = D(j);
C(j) = L(j)/2;
else % その他のカテゴリーの場合
L(j) = L(j-1)+D(j);
C(j) = (L(j-1)+L(j))/2;
end %
end %

% (5) 絶対尺度値Aへの変換
A = C-C((g+1)/2); % A(j): 絶対尺度に変換後のカテゴリーの中央値

% (6) 各刺激のメディアンにあたる尺度値Uの算出
for i = 1:n % 各刺激のメディアンの、尺度上の値の計算
for j = 1:g % カテゴリー1から順番に探し、
if G(i,j) > 0.5, break, end % 累積比率が50%以上のところを見つける
end %
R = j-1; % 手前のカテゴリーをRとする
if R == 0, M(i) = L(j)/G(i,j)*0.5; % メディアンがカテゴリー1にある場合
else % その他の場合
M(i) = L(R)+(L(j)-L(R))/(G(i,j)-G(i,R))*(0.5-G(i,R)); % メディアンの尺度上の値を補間して求める
end %
U(i) = M(i)-C((g+1)/2); % メディアンを絶対尺度に変換
Sm = Sm+M(i); %
Su = Su+U(i); %
Suu = Suu+U(i)^2; %
end %
Tm = Sm/n; % 全刺激の平均尺度値
Tu = Su/n; % 全刺激の平均絶対尺度値
Tnn = sqrt(Suu/n-Tu^2); % 全刺激の標準偏差

disp('d'), disp(d) % カテゴリーの幅
disp('D'), disp(D) % カテゴリーの幅の平均
disp('L'), disp(L(1:g)) % カテゴリーの平均幅の累計
disp('C'), disp(C) % カテゴリーの中央値
disp('A'), disp(A) % 絶対尺度への変換後のカテゴリーの中央値
disp('SCALE VALUES') %
disp(' 刺激 中央値 絶対尺度値 ') %
disp([[1:n], M(1:n), U(1:n)]) %
disp([' Tm ', num2str(Sm), ' ', num2str(Su)]) %
```



```
disp(['      M      ', num2str(Tm), '  ', num2str(Tu)])    %
disp(['      SD      ', num2str(Tnn)])      %

% (7) 刺激とそれに対応する心理量Uとの関係を表す回帰係数の算出および作図
s = 3; v = 5;                                % スペクトルの数 / 加速度レベルの段階数
Va = [0.2 0.4 0.8 1.2 1.8];                  % 加速度レベル
XV = [0.75*Va(1) Va(5)/0.75];              % 作図時のX軸範囲
m=['g^'; 'bs'; 'ro'];                         % U点の色と形
l=['g-'; 'b-'; 'r-'];                         % 回帰線の色と形
Lc = L-C((g+1)/2);                          % カテゴリー境界値
for i=1:s                                     %
p=polyfit(log10(Va(1:v)),U((i-1)*v+1:i*v),1);    % 一次回帰線の算出 a=p(1), b=p(2)
semilogx(Va(1:v),U((i-1)*v+1:i*v),m(i,:)); hold on % U点の作図
semilogx(Va(1:v),polyval(p,log10(Va(1:v))),l(i,:)) % 回帰線の作図
Vc = 10.^[(Lc(1:g-1)-p(2))/p(1)];           % カテゴリー境界を物理量に変換
disp(['cr ' 'スペクトル No.' num2str(i) ' 一次回帰係数 (a, b) ' num2str(p)]) %
disp(['  カテゴリー境界物理量 ' num2str(Vc)]) %
end      %
%
semilogx(XV,A(1:g)'^*[1 1],'k')           % カテゴリー中心線
semilogx(XV,Lc(1:g-1)^*[1 1],'k')          % カテゴリー境界線
axis([XV Lc(1)-D(1) Lc(g)])                % 図示範囲の設定
ylabel('Psychological Score U')      %
xlabel('Frequency-weighted R.M.S acceleration V (m/s^2)') %
title('Category Judgment Method') %

%%%%%%%%%%%%%
% 積積比率Gから偏差比率Zへの変換サブプログラム (Hastings et al による近似式7) %
%%%%%%%%%%%%%
function Z = ZSCORE(G)

a = [2.516 0.803];      %
b = [1.433 0.189];      %
eps = 0.0001;             % 積積比率の下限
if (abs(G) > eps) & (abs(G-1) > eps) %
  if G > 0.5, P=1-G; else P = G; end %
  X = sqrt(log(1/P^2));    %
  Z = X-(a(1)+X*a(2))/(1+X*(b(1)+X*b(2))); %
else Z = 3.75; end        % 積積比率の上下限に対応する偏差比率値
if G < 0.5, Z = -Z; end   %

% program end
```



# 技術論文

## 破断分割(FS)式浸炭コンロッドの開発

### Development of Fracture Splitting Method for Case Hardened Connecting Rods

久保田 剛 Tsuyoshi Kubota 岩崎 進也 Shinya Iwasaki 磯部 恒雄 Tsuneo Isobe

小池 俊勝 Toshikatsu Koike

● 研究創発センター コア技術研究室 / MC 事業本部 生産技術開発室

#### Abstract

The fracture splitting (hereafter FS) method is being increasingly used for manufacturing connecting rods that are made of the powder forging material, high-carbon steel, etc., which are comparatively easy to fracture, in order to improve the accuracy and productivity. On the other hand, case hardened steel (for instance, JIS SCM420), which has a high fatigue strength, is used for the connecting rod in high performance motorcycles in order to reduce the motorcycle's weight.

In this report, the application of the FS method was examined for manufacturing the connecting rod which used the JIS SCM420 carburized steel. The hardness of this material varies according to the depth from the surface, becoming less hard and less brittle toward the center. Therefore, a brittle fracture surface over the entire fractured surface area was not obtained by the conventional fracturing method, and it was impossible to reassemble the fractured parts. Moreover, there was a problem that the fracture starting point was irregular and it caused the breakaway of tiny fractions from the fracture surface. The condition to obtain the brittle fracture surface was then elucidated using a weight falling-type splitting machine with the temperature and the virtual strain rate as parameters. Moreover, as for the fracture starting point, measures were taken by analyzing it using the nonlinear simulation of the explicit method. The production of the connecting rod for the Yamaha supersport model YZF-R1 using this method was started in 2003.

#### 要旨

コンロッドの破断分割(Fracture Splitting、以下FS)工法は、精度および生産性の向上を目的として、破断が比較的容易な、焼結鍛造材や高炭素鋼などを素材としたものに対して、適用が進んでいる。一方、高性能バイク用のコンロッドでは、軽量化を目的として、高疲労強度である肌焼き鋼(例えばJIS SCM420)の浸炭材が用いられている。本報では、JIS SCM420浸炭材を用いたコンロッドに対して、FS工法の適用を検討した。この材料では、硬さが深さ方向に変化し、内部では硬度が低く脆性が低い。そのため、これまでの破断方法では、破断面全面に脆性破面を得られず、再組みが不可能であった。また、破断の発生起点が不規則になり、その結果、破面から欠落片が発生するという課題が見られた。そこで、重錘落下式破断機を用い、パラメーターとして温度と仮想歪み速度を用いて、脆性破面を得るための条件を示した。さらに、破断の発生起点については、陽解法非線形シミュレーションを用いて解析することにより、対策を行った。本工法によるコンロッドは、スーパースポーツバイクYZF-R1(図1)用として、2003年より生産が開始されている。

## 1 はじめに

多気筒エンジン用のコンロッドは、通常、クランクシャフトに組み付けるために、大端部がロッドとキャップに分割される構造となっている(図2)。近年、このような構造を持つコンロッドの精度向上と製造コスト低減を図るために、破断分割(FS)工法が注目され、採用が進んでいる。

FS工法(図3)では、キャップとロッドを一体で鍛造および機械加工し、その後大端内径に設けたノッチ溝を起点として、衝撃的に破断分離する。その結果、破面同士の組み合せにより、組立て時の精密な位置決めが可能となるため、位置決めのための機械加工は不要となる。この工法により、キャップとロッドの加工工程の統合や、端面および位置決め加工の省略による低コスト化が可能となる。また、キャップとロッドの精密な位置決めが可能なことから、大端内径の精度が向上するため、信頼性の向上や、ロス低減の効果が期待される。

FS工法は、1990年代より、焼結鍛造材のコンロッドにおいて生産が開始された<sup>1)</sup>。その後、エンジン性能の向上や低燃費化の要求から、より疲労強度が高い材料を用いたコンロッドへの適用が検討されている。Olaniran ら<sup>2)</sup> や Repgen<sup>3)</sup> は、焼結鍛造材よりも疲労強度が高い鍛造鋼へ、FS工法を適用するための開発を行った。さらに、福田ら<sup>4)</sup> や井上ら<sup>5)</sup>、Parkら<sup>6)</sup> は、鍛造鋼の中でも疲労強度が高く、かつ切削性が優れている非調質鋼について、FS工法を適用するための開発を行った。井上らが開発した非調質鋼は、疲れ限度が480MPaに達する。これらの材料では、疲労強度を維持または向上させながら、脆性を上げることで、破断を行いやすくし、FS工法の適用を可能としている。

一方、鍛造鋼の中で、さらに高い疲労強度を得るために、熱処理として、焼入れ焼戻しが有効である。その中でも、低炭素肌焼き鋼への浸炭焼入れ焼戻しは、熱処理前の切削加工の容易さと、熱処理後の高い疲労強度と韌性のバランスから、小型高性能エンジン用コンロッドの素材として、広く用いられている。



図1 YZF-R1



図2 FS浸炭コンロッド



図3 FS浸炭コンロッドの製造工程

本報では、大排気量バイク用として一般に用いられている、JIS SCM420の浸炭焼入れ焼戻し材(有効硬化深さ0.5mm、疲れ限度800MPa、以下SCM420浸炭材)を用いたコンロッドについて、FS工法の適用を検討した。本材料は、硬さが深さ方向に変化し、内部では硬度が低く脆性が低い。そのため、これまでの破断方法では、破断面全面に脆性破面を得られず、また、破面の発生の仕方が不規則になるという課題が見られた。そこで、この2つの課題について、検討を行った。

## 2 脆性破断条件

### 2.1 目的

FS工法に求められる特性の1つは、コンロッドの破断前の形状・寸法と、破断して再組立した後の形状・寸法が変化しないことである。また、キャップとロッドの組付け時に、破断面による $\mu\text{m}$ 単位の精密な位置決めをする必要がある。そのために、破断面は脆性破面である必要があり、材料面および破断条件の面から、種々の検討が行われている<sup>2~6)</sup>。

SCM420浸炭材は、表層付近は高炭素のため、脆性破面を得やすい。しかし、内部は低炭素で脆性が低いため、これまで検討されてきたFS用材料に比べて脆性破面を得にくいと予想される。例えば、これまでのFS用鍛造鋼では、JIS3号試験片によるシャルビ衝撃値が19~23 J/cm<sup>2</sup>である<sup>5)</sup>のに対し、本材料の内部では59 J/cm<sup>2</sup>以上である<sup>7)</sup>。そこで、SCM420浸炭材について、内部も含めた破断面全面に脆性破面を得られる破断条件を検討した。

### 2.2 方法

破断条件を検討するに当たり、シャルビ衝撃試験など、標準化された試験方法では、コンロッド実体で必要な条件を再現できないと考えられる。今回の試験で得られた結果を生産条件として反映させるために、コンロッド実体をテストピースとして用い、生産での工法を想定した試験方法を検討した。試験方法の概略図を図4に示す。

テストピースとして、JIS SCM420材をコンロッド素材形状に熱間鍛造し、機械加工を施した後、浸炭焼入れ焼戻しした。図5に硬さ分布を示す。大端の内周面には、破断起点のための溝を放電加工により生成した。溝形状を図6に示す。

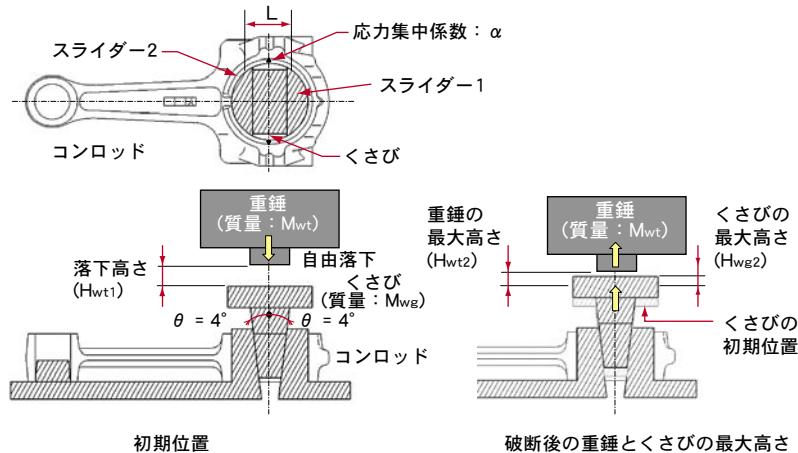


図4 試験方法の概略図

SCM420浸炭材は、従来の材料に比べ、破断のために大きなエネルギーが必要と考えられる。このような材料の破断条件を調べるために、重錘落下式分割機を用いた。図4に示すように、重錘の位置エネルギーをくさびに与え、くさびがスライダーをコンロッドの軸方向に開くことにより、コンロッドの大端部を破断する。破断後、重錘は、ダンパーにより上方に反発する。この分割機では、油圧プレスやクランクプレス等による分割機に比べ、大きなエネルギーと歪み速度を得ることができる。さらに、重錘の質量および落下高さを変えることにより、歪み速度およびエネルギーの調整を容易に行うことができる。

この試験方法では、治具の摩擦などによるエネルギー吸収を正確に算出できないため、シャルピ衝撃試験等と同様の方法では破面の脆性遷移を知ることができない。そこで、本試験方法に合わせ、「仮想吸収エネルギー」と「仮想歪み速度」の2つのパラメーターを定義した。仮想吸収エネルギーとは、破断において、コンロッドと治具が吸収したエネルギーの総和であり、次のように定義した。

$$E = M_{wt}gH_{wt1} - M_{wg}gH_{wg2} \quad (1)$$

ここで、 $M_{wt}$ は重錘質量、 $M_{wg}$ はくさび質量、 $g$ は重力加速度、 $H_{wt1}$ は初期の重錘高さ、 $H_{wt2}$ は破断後の最大重錘高さ、 $H_{wg2}$ は破断後の最大くさび高さである(図4)。重錘高さおよびくさび高さについては、レーザー変位計を用いて測定した。

また、破断起点溝底での歪み速度を比較するために、仮想歪み速度について、次式のように定義した。

$$S = \frac{2V_{wg}\tan 4^\circ}{L} \alpha \quad (2)$$

ここで、 $V_{wg}$ はくさびの最大速度、 $\alpha$ は破断起点溝底の応力集中係数、 $L$ はスライダーの作用点間の距離である(図4)。

破断面の脆性/延性の判断方法として、SEM(Scanning Electron Microscope)により、破断面の観察を行った。コンロッドの破断面が、図7aに示すようなへき開破面であったものを脆性破面とし、図7bに示すようなディンプルが観察されたものを、延性破面とした。

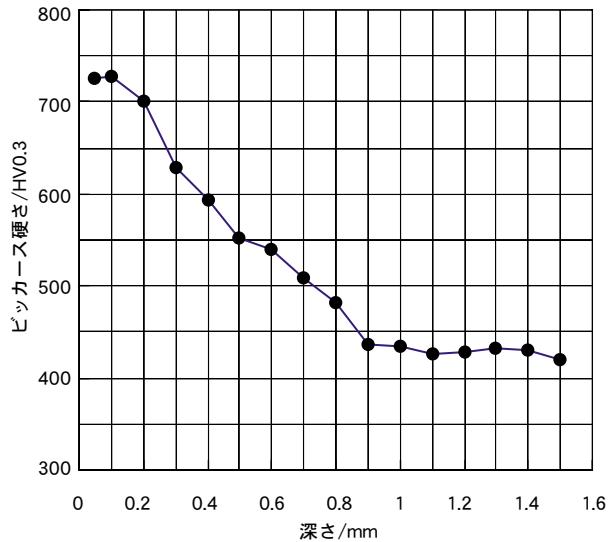


図5 コンロッドの硬さ分布

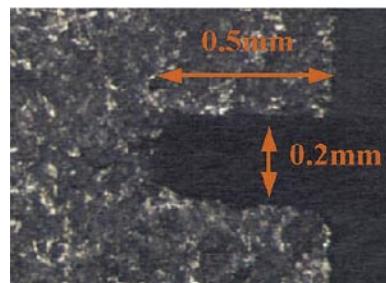


図6 破断起点溝の形状

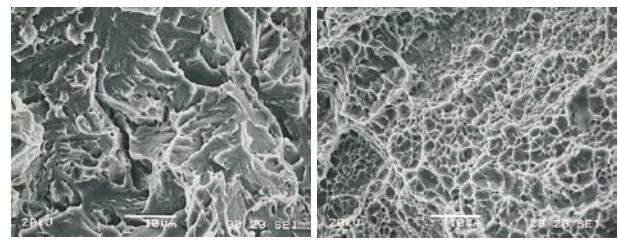


図7 破断面

## 2.3 結果

仮想歪み速度 $10\text{sec}^{-1}$ での、破断温度と仮想吸収エネルギーの関係を調べた結果を、図8に示す。温度約230K、仮想吸収エネルギー約45Jを境にして、破面形態が変化している。この試験方法の仮想歪み速度 $10\text{sec}^{-1}$ での脆性遷移温度は、約230Kと考えられる。

破断温度と仮想歪み速度との関係を、図9に示す。仮想歪み速度 約 $7.5\text{ sec}^{-1}$ 以下(図中破線)では、破断温度に関わらず、安定して脆性破面を得ることが不可能であった。それ以上の仮想歪み速度では、破面形態に、一点鎖線で示した境界線が見られた。この2つの境界線が脆性遷移線であり、この試験方法で脆性破面を得るための条件を示している。

## 3 複数破面の原因と対策

### 3.1 目的

脆性破面が得られたコンロッドの内、図10の(i)、(ii)、(iii)に示した3箇所に段差が発生するものがあった。これらの段差は、図11および図12に示すように、複数の破面が重なることで発生している。これらの段差の内、段差(iii)については、機能上、製造上とも問題とならないことが確認されている。しかし、段差(i)と段差 (ii)については、図12に示す通り、破断後の加工の取り代にかかると、その加工時に欠落片となる可能性がある。この欠落片は、キャップと

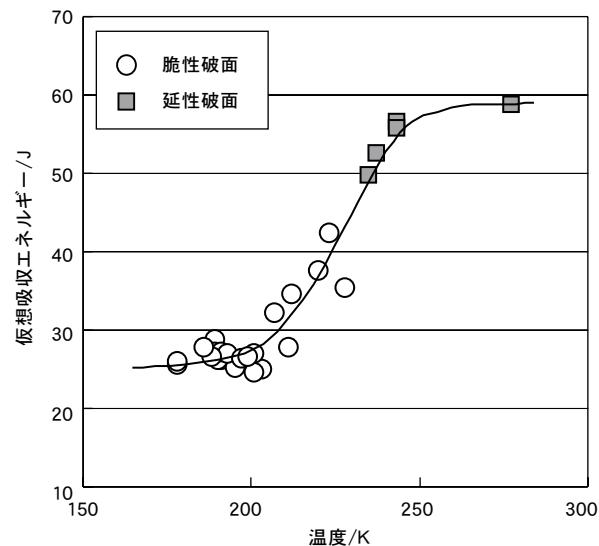


図8 破断温度と仮想吸収エネルギーの関係

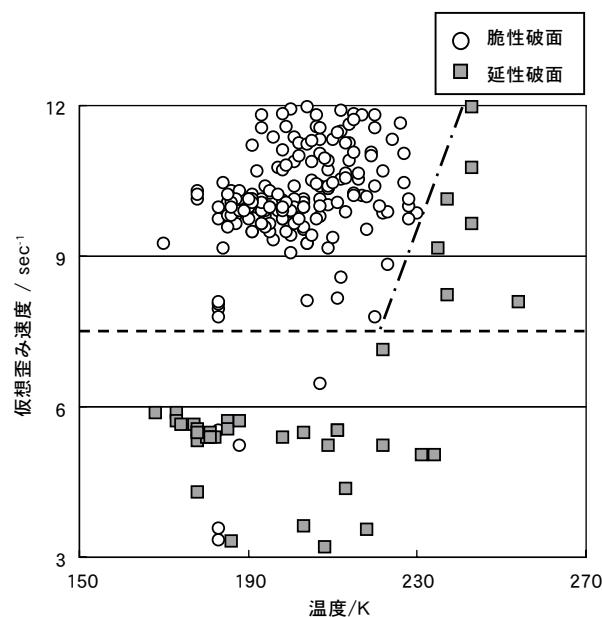


図9 破断温度と仮想歪み速度の関係

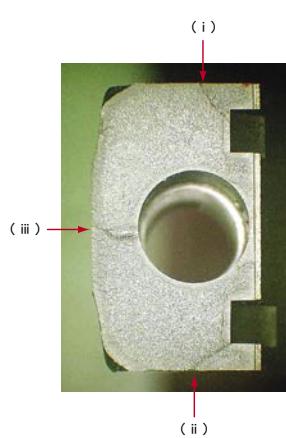


図10 破断面の段差

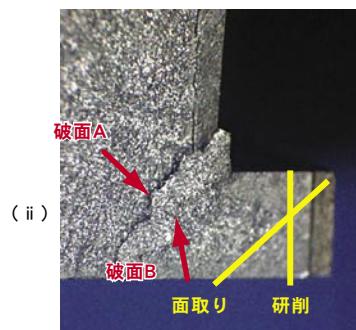


図11 図10(ii)部分の拡大図

ロッドを分離した際に破面から離れる。その後、クラシクへの組付け時に破面に噛み込み、組付け不良の原因となったり、エンジンオイル中に混ざり、使用中に問題となったりすることがある。したがって、段差(i)、(ii)が発生しないように、複数の破面の発生原因調査と対策を行う必要がある。

### 3.2 方法

複数の破面の発生原因を調べるために、高速な衝撃現象を計算可能な、陽解法非線形シミュレーションを行った。破面に発生する応力の解析を行い、起点が発生する可能性のある場所を調査した。ソルバーとして、LS-DYNA960を用いた。

モデルは、全体の対称性を考慮して2分の1モデルとした。全体図を、図13に示す。重錘がくさびに接触する時点を開始時間とし、重錘の初速を650mm/secとした。また、くさびとスライダーについては、剛体と仮定して計算を行った。

また、コンロッドの形状として、これまでの形状のほかに、端の部分の破断起点溝を切除した形状(図15)においても、計算を行った。

### 3.3 結果

シミュレーションによる応力解析の結果を、図14に示す。図中のa、b、c三箇所に応力が集中しており、それぞれが独立して破面発生の起点となる可能性が確認された。段差(i)と(ii)は、それぞれ応力集中部aとb、bとcを起点とした破面が合流して発生していると考えられる。

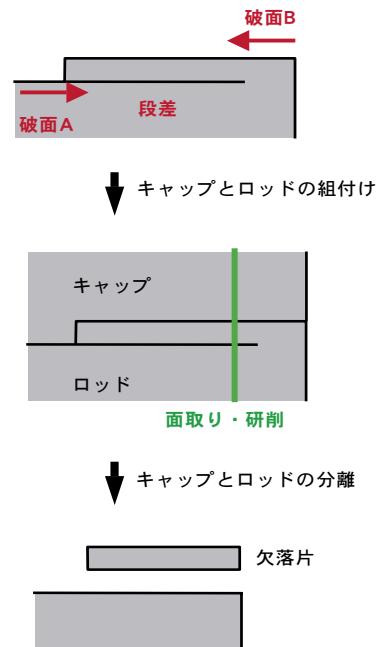


図12 破面の重なりによる欠落片発生の過程

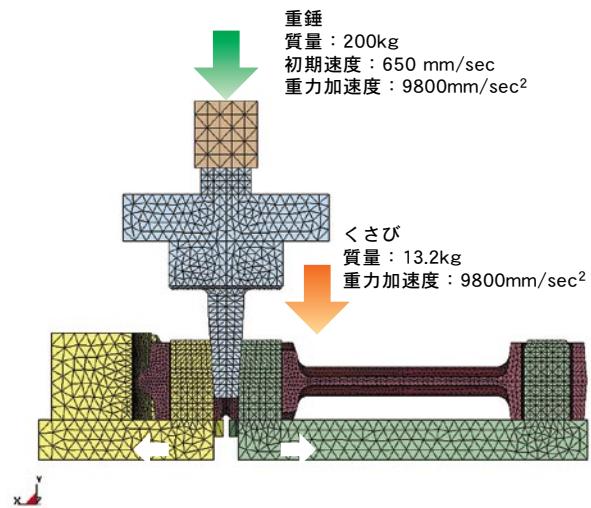


図13 FS工法の非線形シミュレーション

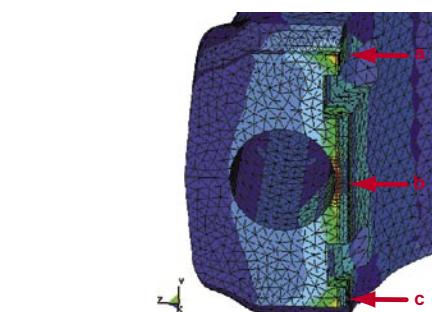


図14 応力解析結果

そこで、aとcでの応力集中を減らすため、この部分の破断起点溝を切除し(図15)、再度シミュレーションを行った。その結果、図16に示すように、aとcの応力集中が緩和されていることが分かった。この形状でコンロッドを試作し実験を行ったところ、図17に示すように、aとcを起点とする破面は見られず、段差(i)と段差(ii)の発生を防げることが確認された。その結果、破断後の加工において、欠落片が発生しないことが確認できた。

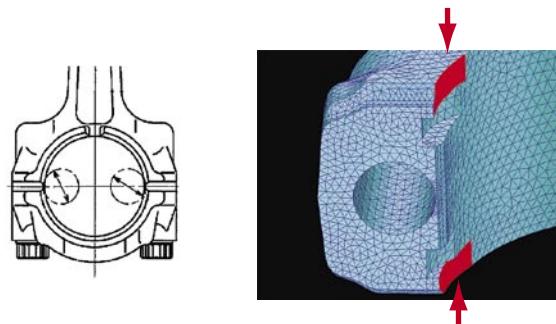


図15 破断起点溝の切除形状

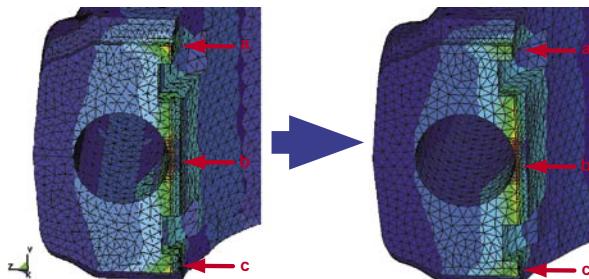


図16 応力解析結果

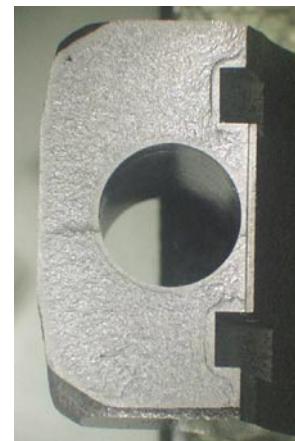


図17 破断起点溝切除後の破断面

## 4 おわりに

SCM420浸炭材を用いたコンロッドに対してFS工法を適用する際の、2つの課題について検討を行った。

1. 温度と仮想歪み速度が破面の脆性に影響することを示し、脆性破面を得られる条件として、脆性遷移線を示した。
2. 複数の破面の発生原因とその対策効果について、非線形シミュレーションにより調査できることを示した。その結果、破断後の加工における欠落片の発生を防止することができた。

以上により、疲れ限度800MPaであるSCM420浸炭材を用いたコンロッドへの、FS工法の適用が可能となり、大端精度の向上による信頼性向上、製造コストの約30%低減といった効果を、バイク用の小型高性能エンジンにもたらすことが可能となった。本工法を用いたコンロッドは、スーパースポーツバイクYZF-R1用として、2003年より生産が開始された。

## ■参考文献

- 1) M.Weber; SAE Technical Paper Series, No.910157(1991)
- 2) M.A.Olaniran, C.A.Stickels; SAE Technical Paper Series, No.980033(1993)
- 3) B.Repgen; SAE Technical Paper Series, No.980882(1998)
- 4) 福田晋作, 衛藤洋仁; 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 86-00, 13(2000).
- 5) 井上幸一郎, 中村貞行; 電気製鋼, 71-1, 81(2000).
- 6) H.Park, Y.S.Ko, S.C.Jung, B.T.Song, Y.H.Jun, B.C.Lee and J.D.Lim; SAE Technical Paper Series, No. 2003-01-1309(2003)
- 7) JIS G4105

## ■著者



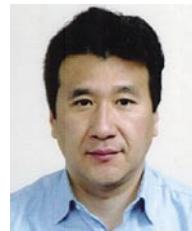
久保田 剛



岩崎 進也



磯部 恒雄



小池 俊勝



2005-3

No.39

## ●読者の声



読者の皆様からお寄せ頂きましたご意見をご紹介します。(敬称略)

技報編集委員会では、読者の皆様のご意見・ご感想・ご要望を反映させ、誌面の充実をはかるため、読者アンケートを実施しています。

巻末のアンケート用紙にご記入の上、ご返送ください。お待ちしています。

✉ ①デザインメッセージ②YAMAHA ブランドと GK デザイン③エクスレルムのプロデュースにおけるマーケティング手法等々、楽しく読みました。魅力的な製品を生み出す技術原点に納得です。何かしらユニークで、楽しい遊び心を喚起させてくれます。感動した。今後とも楽しみにしています。  
(匿名希望)

✉ 先端技術でありながら、分かりやすく、たいへん面白く読めました。また、開発の際の考えが、どう製品に反映されているのかが理解でき、ユーザーにとって一層の信頼が得られる冊子と思っております。  
(匿名希望)

✉ 楽しく拝見しております。できれば開発に至るまでの試行錯誤や苦労話も聞かせていただければよいかと存じます。  
(匿名希望)

✉ ねじ締結と摩擦係数について興味を持ち読みました。締付けトルクの重要性及び摩擦の部分が参考になりました。要望として、締付け後のマーキング法を知りたいと思います。  
(航空機のマーキングと自動車のマーキングに違いがあるのを航空機を見て発見したため)  
(匿名希望)

✉ 貴社のものづくりへのこだわりがよく伝わってきます。Movie を Windows メディアプレーヤーにて再生できるとありがたいです。  
(匿名希望)

✉ 私は上手ではないのですが、テニス歴 40 年になります。No.38 技報の「パフォーマンスダンパーの開発」を読ませていただいて、これはすばらしい発想だと感心致しました。戸上専務のお言葉にありますように、コンポーネントの社内開発からの発想かな? と思います。私がテニスをはじめた昭和 38 年頃には、ラケットのガットに取り付ける振動防止ゴム(パーツ)の発想などありませんでした。ところが今は、取り付けるのが常識です。それどころかラケット購入時から付属品として付いています。パフォーマンスダンパーも、きっと将来、車のいろんなところに取り付けるのが当たり前のようにになってくるのではないかと思います。いや、車だけでなく、他の乗り物(バイク、ボート etc)への応用も広がることを期待しております。  
(北平孝)

✉ 今回も読みごたえあり満足できました。確かに以前に本コーナーで「チームエアロセプシーの鳥人間コンテスト再挑戦を心待ちにしている」と書きましたが、今年は台風の影響で残念でした。来年こそは楽しみにしています。技報でも「人力飛行機最新トレンド」を掲載されてはいかがでしょう。  
(福山光幸)

✉ ヤマハの最新情報、しかも、いろいろな商品の開発ストーリー、技術内容など参考になるものばかりです。文字の大きさは読みやすく、各ページデザインも好感が持てますね。今後は映像をもっと取り入れて、開発、テストの様子や量産後のプロモーションビデオの入った DVD などが付録として用意されると、さらに素晴らしいと思います。  
(石川薫)

✉ 2003 年の夏にコミュニケーションプラザを見学させていただいた時に、初めてこの技報を拝見させていただきました。学術論文みたいに堅苦しすぎずに、分野の異なる人にもしっかりと理解することができる技報であると思いました。これからも、このような技術の公開を続けていかれることを、モーターサイクルファンとして応援しています。  
(齋藤久典)

## ●編集後記

この世に生をうけて50年経過し「そこそこ人生経験も重ねてきたぞ」と子供達に自慢したい年頃なのだが最近どういうわけか「知らなかったなー」と認識することが多い。以前は「\*\*\*はこういうものだ!」ってけっこう言いきる場合が多かったが、この頃は、言い切る前に「本当にそうかな?」なんて1歩立ち止まって考える場面がある。

ただ判(解)らないことは辛いことではなく、それよりもむしろ判らないことを自分で発見(認識)し、そのことについて、のんびりと調べ考察することをけっこう楽しんでいる。そんな中で今ぼちぼち調査していることは、「時間とは現実に存在するものなのか、それとも空間における物質の運動を表現するために人間が考えた基準なのか?」「重力ってそもそも何? 私の体重は何故こんなに重いのか?」「日本銀行が新札を発行する基準は何なのか? 日本経済の限界利益にあたる金額を発行しているのか、それとも経常利益分を発行しているのか、はたまたそんなことは関係なく財務省が勝手に決めているのか?」「愛情込めた料理は本当に一味違うのか?」…等々、皆さん判りますか? (丸山 隆一)

ある土曜日のこと。誰もいないオフィスで、私はひとりパソコンに向かっている。広いオフィスを独占しているような優越感もあるが、物音ひとつしないオフィスというのも不気味である。時おり、うなり声をあげるコピー機やパソコンの音にピクっとしながら、一体私は何をやっているのか?

技報の編集に携わるようになって1年。ひとつの原稿について、著者をはじめ、編集委員、デザイナー、翻訳者、と複数の人間で校正作業を行うが、人によってこんなにも見る部分(視点)が違うのかと驚いた。ある者は用語の使い方や言い回しについて、またある者はその分野の技術者の立場から、その他にもビジュアル的な観点から、知的財産権の観点から…と、それぞれチェックを入れてくる場所が違う。同じ原稿を見ているはずなのに、そこから読み取られるもの(解釈)が違うのである。これは、きっと読者にもいえることだろう。読んでくださる方の興味の対象や、その分野への造詣の深さ、果ては年齢、性別、立場、どんな人生経験をお持ちか、といったさまざまな背景によって、読み取られるものが違うとしたら…。皆に等しく一様に解釈してもらうのは、難しいことであるが、この技報の中で、私たちがお伝えしたいと思うことを読み取っていただけるよう、編集者一同、心を配って原稿に向かう毎日である。

そして、締め切り間近のある土曜日。私はひとりパソコンに向かうのである。 (荒川 裕子)

ヤマハ発動機  
技報 第39号

印 刷

発 行

発 行 所

発 行 人

編集委員長

編集委員

デザイナー

翻 訳

事 務 局

印 刷 所

お問い合わせ

ホーメページ

2005年2月28日

2005年3月1日

ヤマハ発動機株式会社 〒438-8501 静岡県磐田市新貝2500

宮尾博保

平野雅久 研究創発C. 企画推進室

鈴木 篤 AM事業部 AM第1技術室

鈴木晴久 MC事業本部 企画統括部 生産管理室

宮久正憲 MC事業本部 企画統括部 生産管理室

丸山隆一 (株)モリック 技術部

本山 雄 研究創発C. コア技術研究室

小柳智義 海外市場開拓事業部 サービスグループ

小野惣一 創輝(株)HS 事業部

武智裕章 EV統括部 EV開発室

岡本琴路 (株)スタジオコバ

玄(株)

小栗 真 法務・知財ユニット 知財戦略グループ 北川 隆 社会・広報ユニット 宣伝・CRMグループ

金子和佳 研究創発C. 企画推進室

荒川 裕子 研究創発C. 企画推進室

(株)スタジオコバ 〒437-1196 静岡県磐田郡浅羽町松原2455-2

研究創発C. 企画推進室(技報編集事務局) TEL 0538-32-1171

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

※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。



CD-ROM

ご使用方法

## 【収録技報】

- 2005-3 No.39  
特集：ユビキタス領域周辺の技術
- 2004-9 No.38  
特集：コンポーネント技術
- 2004-3 No.37  
特集：魅力的な製品を生み出す技術
- 2003-9 No.36  
特集：空気・水・土をきれいにする技術
- 2003-3 No.35  
特集：海外開発 / 海外生産
- 2002-9 No.34  
特集：CAE
- 2002-3 No.33  
特集：品質

この CD-ROM には、下記のような機能が備わっています。

- ・全文検索
- ・必要箇所のプリントアウト
- ・マルチメディア機能（音や映像の再生）

CD-ROM を開いて『CONTENTS.pdf』をダブルクリックして下さい。

この CD-ROM 内の技報をご覧になるには、Acrobat Reader と QuickTime プラグインが必要です。両ソフト共、この CD-ROM 内に同梱しています。ご利用ください（Windows 版のみ）。



文中有左記のボタンを画面上でクリックしていただきますと、音や映像を再生することができます。





**YAMAHA**  
YAMAHA MOTOR CO., LTD.  
2500 SHINGAI IWATA SHIZUOKA JAPAN