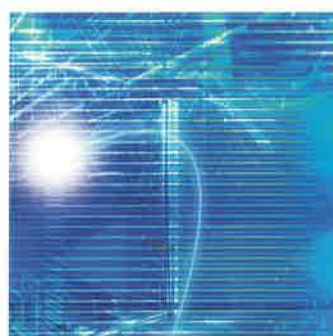


YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW

ヤマハ発動機 技報



**2003-3
No.35**



特集：海外開発/海外生産

▶ 海外開発 /
海外生産
特集

- | | |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 国境の無いモノづくり The Challenge of Borderless Product Creation 大塩 牧雄 |
| 8 | 海外の大学とのエンジン共同研究 Collaboration on Engine Research with Foreign Universities 米谷 俊一 |
| 16 | 超高性能車 (アウディ RS6) 用サスペンションへの挑戦 The Challenge to Create a Suspension for a High-Performance Automobile (Audi RS6) 沢井 誠二 |
| 21 | Made in Taiwan Made in Taiwan 大下 茂 |
| 30 | グローバル生産管理課題への取り組み Measures for Dealing with the Issues of Global Production Management 大澤 保明 |
| 37 | 海外『モノづくり情報共有システム』の有効活用とその広がり The Effective Use and Spread of an Overseas "Product-Making Information Sharing System" 平野 彦一 |
| 42 | WV 誕生から 18 年の道のり The 18 Years of Progress Since the Birth of the Water Vehicle 谷 聖志 |
| 53 | モリックの海外工場の現状と課題 Present Status and Issues Concerning Moric's Overseas Factories 渡邊 郁夫 |

▶ 製品紹介

- | | |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 57 | 4 ストロークスノーモビル RX-1 4-stroke Snowmobile RX-1 中野 太久二 / 窪田 隆彦 / 宮崎 政直 / 西嶋 進一 / 泉 徹 / 蘆田 尚志 / 甲斐 学 / 土井 伸二 |
| 64 | 4 ストローク・モトクロッサー「YZ450F」 4-stroke Motocrosser YZ450F 林 康男 / 杉浦 義明 / 櫻井 太輔 / 桂 健久 / 大森 二郎 / 小川 一洋 / 永井 孝明 |
| 74 | 5 人乗りゴルフカー G15AP Five-passenger Golf Car G15AP 安間 富男 / 佐藤 孝夫 |
| 78 | 2003 年型ロードレーサー TZ250 2003 Model Road Racer TZ250 早崎 良明 / 西田 和洋 / 河野 直樹 / 平野 博康 / 安永 稔之 |
| 83 | フィッシングボート YF-23 YF-23 Fishing Boat 門田 律 / 曾我 和宏 |
| 89 | モータークルーザー CR-33 Motor Cruiser "CR-33" 前田 雅博 |
| 95 | スーパースポーツ YZF-R6 YZF-R6 Supersport Motorcycle 瀧本 宏 / 狩野 康伸 / 天野 浩一 / 高橋 信治 / 泉 透 |
| 101 | 2003 FJR1300 2003 FJR1300 久保 裕 / 平野 文人 / 鶴谷 知弘 / 中川 利正 / 大岡 久洋 / 栗田 浩明 / 望月 卓也 / 高田 祐司 / 瀬戸 宏昭 |
| 107 | スクーター Majesty 125-FI Scooter Majesty 125 -FI 高橋 博幸 / 片岡 政士 / 石田 洋介 / 杉谷 剛 / 関谷 直行 / 三浦 透 |
| 112 | 防音型インバーター発電機 EF1000iS Silent Type Portable Inverter Generator EF1000iS 深谷 光男 |

- 117 防音型インバーター発電機 EF3000iSE
Silent Type Portable Inverter Generator EF3000iSE
深谷 光男
- 122 産業用無人ヘリコプタ RMAX type II G
Industrial-use Unmanned Helicopter RMAX Type II G
坂本 修
- 126 レーシングカート M125YZ/M85YZ
Racing Karts M125YZ/M85YZ
尾崎 由斉
- 130 ミニモジュールマウンター「MCUBE (エムキューブ)」
Mini-Module Mounter "MCUBE"
村松 啓且
- 136 エレクトリック通勤用「Passol (パッソル)」の開発
Electric commuter Passol
寺田 潤史 / 幸田 秀夫
- 142 ゴルフカー G22A/G22E
Golf Cars G22A/G22E
加地 令一 / Kendall Fisher

▶ 技術紹介

- 148 要求品質と開発目標 ～“感動”具現化ツールとしての QFD～
Desired Quality and Development Goals
QFD (Quality Function Deployment) as a Tool for Realizing *Kando*
田井 弘充
- 155 小型二輪車用 FI システム
Fuel Injection System for Smaller Motorcycles
中村 友治 / 長谷川 貴彦 / 鈴木 雅巳 / 中村 倫久 / 澤田 雄一郎

▶ 技術論文

- 159 YZF-R6 に採用した薄肉ダイキャスト車体
Thin walled die-cast Body for YZF-R6
橘内 透 / 山縣 裕 / 小池 俊勝
- 164 レーザ干渉法を利用した小型温度センサによる
エンジンシリンダ内未燃ガス温度計測
Transient Temperature Measurement of Unburned Gas in an Engine Cylinder
Using Laser Interferometry with a Fiber-Optic Sensor
河原 伸幸 / 富田 栄二 / 一宮 充 / 高須 康嗣 / 後藤 一廣 / 都竹 広幸
- 173 ソフトコンピューティングによる
スマートサスペンション制御システムの開発と乗用車への適用
An application of a smart control suspension system
for a passenger car based on soft computing
萩原 孝英 / Sergey A. Panfilov / Sergei V. Ulyanov / 高橋 一樹 / Olga Diamante
- 182 2 ストロークエンジンオイルのベアリング潤滑性についての研究
Study on Bearing Lubricity with 2-stroke Engine Oil
河部 秀明 / 石丸 光明
- 188 HCCI 燃焼における炭化水素燃料性状の影響
Effects of Hydrocarbon Fuel Properties in an HCCI engine
飯田 実 / 森川 健志 / Tanet Aroonsrisopon / Volker Sohm / Philipp Werner / David E. Foster
- 197 ロボット塗装手法改善による塗装効率の向上
An Improved Robotic Painting Method that Improves Painting Efficiency
濱田 忍
- 204 3 次元データを基準としたベベルギヤ歯面形状加工精度向上
Improving the Precision of Bevel Gear Surface Processing Based on 3-D Data
山口 淳
- 212 二輪車タイヤの衝突特性解析
Crash Analysis of Motorcycle Tire
藤井 茂



海外開発 / 海外生産 特集

国境の無いモノづくり

The Challenge of Borderless Product Creation

大塩 牧雄 Makio Oshio

●常務取締役 アジア本部長

In the 1980s, Japanese industry set new world standards in product quality, cost performance and just-on-time supply that boosted competitiveness so much that business experts were beginning to speak of "Japan As No. 1." Entering the 1990s, many countries looked at the Japanese example and began programs to catch up with and surpass Japanese industry. Meanwhile, Japan's economic "Bubble" burst and the subsequent inability of Japan's companies to create new corporate value since has led to a rapid decline in their international competitiveness.

Lately, the Japanese economy is suffering from a self-perpetrating deflationary spiral in which the negative effect of the recession on sales forces companies to reduce product prices, which in turn reduces net sales and worsens profitability, resulting in reductions in employment rates and personal income that further discourage consumers from spending. Japanese companies are actively shifting production overseas in attempts to reduce cost, which further promotes the hollowing out of the Japanese economy.

Corporations today have truly entered an age of borderless business. In order to successfully compete in the 21st century business world, it will be essential for manufacturing corporations like ourselves to constantly take on the challenge of improving our methods and quality of "product creation" in a comprehensive sense. We must not allow ourselves to forget that this will be the foundation for new corporate growth. Also, it is increasingly important to strive to perfect Yamaha Motor Company's own unique "product creation" philosophy and capabilities that will find acceptance on the world markets while also creating sound short-term and long-term business principles and corporate culture. In the end it is human resources that determine the quality of a company's product creation. We therefore need to nurture active **"enterprising employees"** who take **personal initiative**, and we place high expectations on the intellects of all our employees.

1 はじめに

1980年代、日本は「モノ」の品質とコスト、納期で世界に冠たる競争力をもち、ジャパン・アズ・ナンバーワンと称されました。1990年代に入り、多くの国が日本を手本に追いつき追い越せを目標に取り組んだ一方で、日本ではバブル経済が崩壊し、新たな企業価値の創造を怠った結果、急速に国際競争力を失ってきました。

昨今は、不況でモノが売れないため価格を下げる、売り上げ減で収益が悪化する、雇用と所得が減る、モノが売れないという"負の連鎖"、いわゆるデフレスパイラルに陥っています。安いコストを求めて海外への生産移転が活発に行われ、空洞化現象に更に拍車がかかっているのが現状です。

企業はまさに、ボーダーレスの時代に突入しました。今後、21世紀で勝ち組となるためには、たゆまぬ"モノづくり"への努力と挑戦が、我々製造企業にとって必要不可欠であり、新たな成長を実現する基本であることを忘れてはなりません。世界に通用するヤマハ発動機独自のモノづくりの哲学と実力をきわめ、短期・長期の視点での経営理念、風土の構築が益々重要になってきます。

また、"モノづくり"は、最後には人財力で決まります。そのためには、活力ある「起業家的人間」、「自ら行動する」人財づくりが重要であり、従業員の皆さんの"知力"に大いに期待します。

2 モノづくりに関する課題

少し古くなりますが、(株)日本能率協会が日本の優良企業 1,700 社に対し、製造業の 21 世紀戦略と『モノづくり革新』に関するアンケート調査を実施した結果があります¹⁾。これによると、各社が抱える現在の経営課題について、全体の約 6 割が「新事業・新製品開発の推進」と回答し、製造業の最大の課題となっています。「収益力の向上」、「企業変革のスピードアップ」、「コスト競争力の向上」もそれぞれ 4 割以上と高い数値を示しています。また、モノづくり戦略に関する課題の重要度では、「製造コストの徹底的低減」を最も重視する、が全体の 8 割を占めました (図 1)。

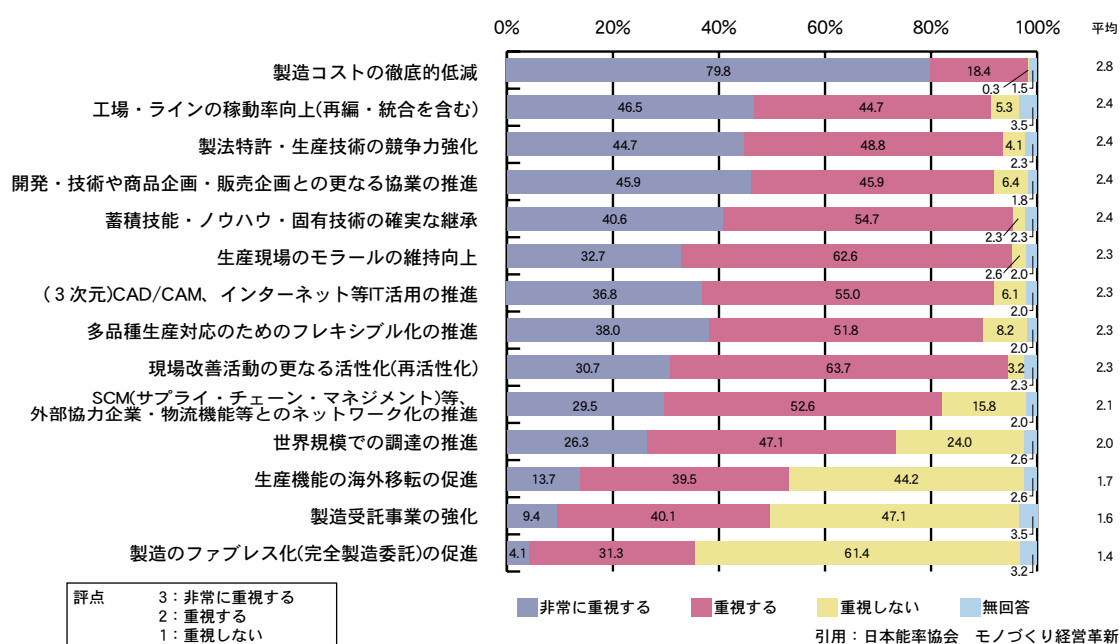


図 1 「モノづくり」戦略における課題の重視度

生産拠点の海外移転に関する現状認識では、「モノづくり」の環境としては当分日本に勝るところはないと認識しているのは約 30% の企業で、残りの 60% は多少品質面に問題があっても、低賃金で良質な労働力が確保できる東アジア等に優位性を見出しています（図2）。

このことは、何を意味しているのでしょうか。正にモノづくりに関してボーダーレスの時代に突入した訳で、" 国境の無いモノづくり " を意味していることに他なりません。

これからの更なるグローバル化の時代に向けては、モノづくり企業としての真の経営理念を確立し、全社、全地域への浸透を図ることが必要です。また、環境が大きく変化する中、モノづくり企業として「不変的なモノづくりの本質」と「革新しなくては

いけないもの」とを峻別して実行することが極めて重要となります。ここで、

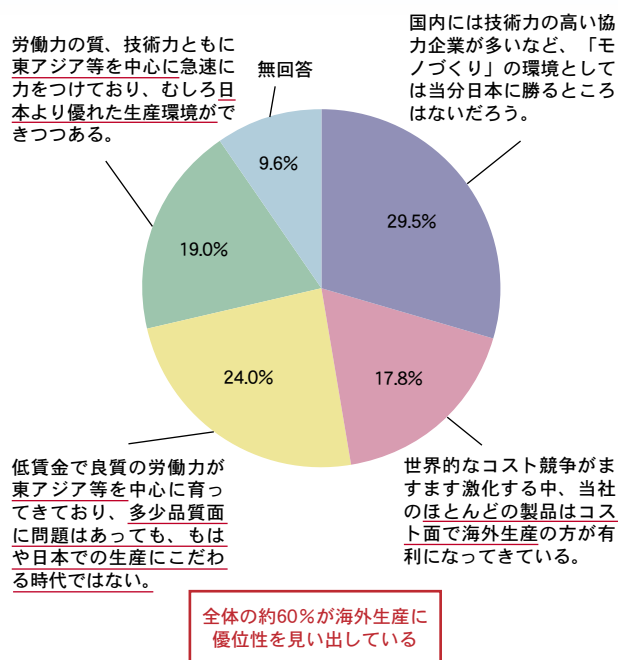
「不変的なモノづくりの本質」とは、

- ・現場主義の徹底、人づくりの情熱と徹底、人間の感性および感情の尊重
- ・プロセス、工法による QCD（Quality, Cost, Delivery）の作りこみと、他社に負けない生産技術力のたゆまない開発
- ・モノづくりに熱い志・能力をもつ現場経営者の育成

「革新しなくてはいけないもの」とは、

- ・モノづくりプロセスの視点と範囲を大きく捕らえ、他社に勝るコア技術をもつ
- ・IT（Information Technology）の戦略的導入による生産革新、モノづくりプロセスの革新
- ・最適機能分担と適地生産の選択と集中

等であり、これらを実現する人財の育成が急務と考えます。



引用：日本能率協会 モノづくり経営革新

図2 生産拠点の海外移転に関する現状認識（全体）

3 国境の無いモノづくりへの挑戦

現在、生産は海外シフトが進み、海外工場での人づくり、組織風土づくりへの対応が課題になり、国内では、現場の高齢化と組織の細分化の進展により技能、技術の低下が進行しています。日本の製造業の強さの根底には、人の和と連携を尊重することと、徹底した教育があります。また、技能、技術の高度化とその伝承にも取り組んできた結果、全員が知恵袋となり、その知恵がモノづくりの競争力を支えてきました。

つまり、モノづくりは"人づくり"でもあり、国境の無いモノづくり成功のためにはこの点を重要なポ

イントとして自己認識する必要があります。ここで言う「モノづくり」とは単に製造をさすのではなく、「モノ」とは製品（プロダクト）を中核とした、それに付随するシステム、ソフト、サービス等の全てを包含したもので、製造企業そのものであると認識すべきです。総務センター、GEM（Global Engineering & Manufacturing）企画統括部等で"人づくり"の全社育成プログラムを策定中ですが、個々人はプロとして、何が問題なのか自ら考える懷疑の精神をもち、課題解決手法を自己研鑽し、最低一つ以上は身に着けて欲しいと提言します（図3²⁾）。

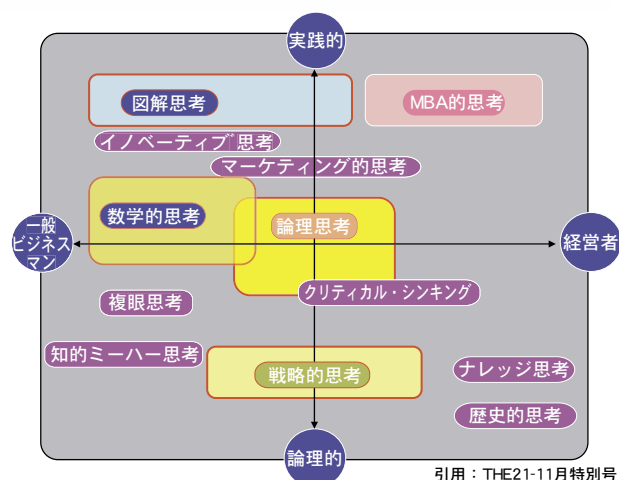
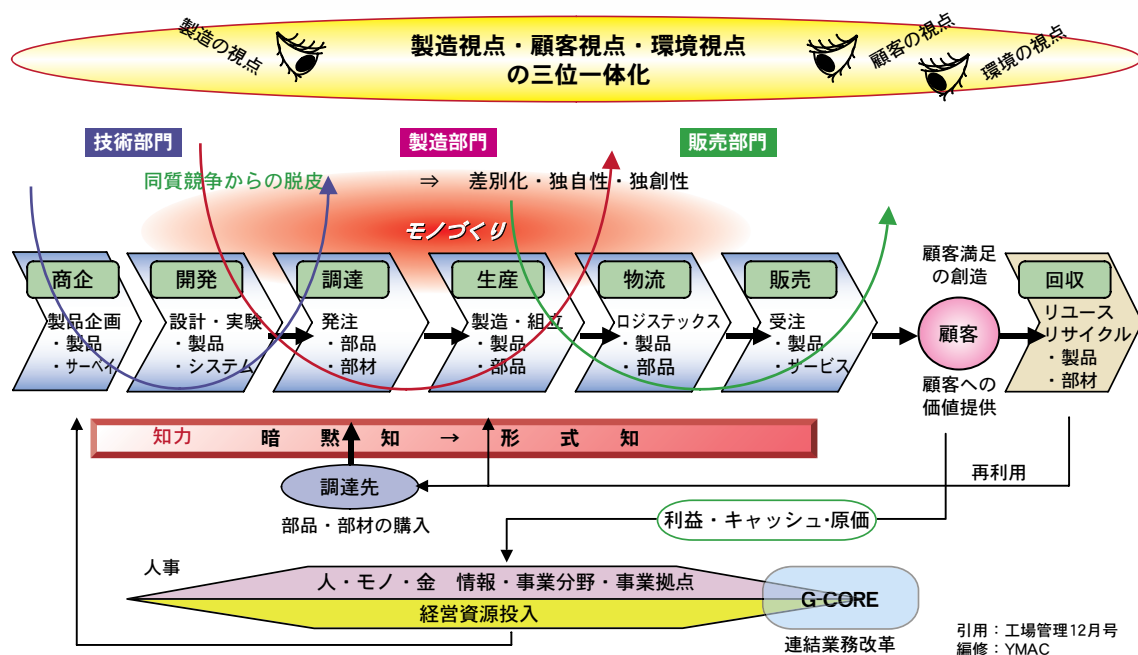


図3 ビジネス思考法マップ

引用：THE21-11月特別号

ビジネスプロセスが大きく変化していく中で、スピードも競争力確保の上では大事な点です。ITを戦略的に使用し、競争力を高めることが益々重要になってきます。当社には生産管理系の仕組みとしてPYMAC（PanYamaha Manufacturing Control System）がありますが、グローバルの視点で言うとやや弱く、全世界統一した仕組みを利用できていないのが現状でした。現在、PYMACをグローバル生産管理システム（PYMAC-Ⅲ）として進化させ、グローバルな生産情報ネットワークの構築を進めています。また、IT活用による利点の一つに可視化があり、3次元機能を活用したCAD（Computer Aided Design）、CAM（Computer aided Manufacturing）、CAE（Computer Aided Engineering）、CAT（Computer Aided Testing）等により、デジタルモノづくりによるコンカレント・エンジニアリング活動が進み、開発・生産のリードタイム短縮、高品質化に貢献しています。商品オペレーションでは、SCM（Supply Chain Management）によりトータルリードタイムの短縮、情報共有化が進み、分散した流れが統合した流れに変わり、市場同期生産へ変わろうとしています。今後更に発展させなければならぬものには、言語で表しにくい、個人の知識、経験、ものの見方や考え方等の「暗黙知」を言葉で語れる知識「形式知」に変換する作業があります。


先ほども述べましたように、モノづくりに必要な人間のスキル、技能、現場改善の成果等を今の内にデータベース化し、「モノづくり情報共有化」の更なる進化を期待したいと思います。また、今後は情報の共有化が一層進み、時間、コスト、品質、更にはサービスにまで連鎖すると考えます。商品企画、開発、設計、試作評価のプロセスと商品の調達、生産、物流、販売のプロセスの結合を図る一方、環境との積極的な調和、いわゆるリユース・リサイクルプロセスを意識した環境対応型生産システムまで発展させないと勝ち残っていけないというのが社会背景です。情報・システムでも部分最適から全体最適に変革、特に基幹系はワンワールド・ワンシステムで統合し、グローバル企業として世界のステークホルダーから信用される企業としてマネジメントのスピードを加速する必要があります。これについては、G-COREを頂点とした仕組みを構築しています（図4³⁾）。



「サイエンス」と「テクノロジー」、モノづくり企業にとって、この二つの本質的価値を見極め、その融合を図ることが競争力の強化には極めて重要です。当社も 2002 年 2 月、生物工学的研究開発の中で、光合成機能を生かした CO₂ の吸収技術を発表しました。ここでいうサイエンスとは今までにないモノを生み出す技術、テクノロジーとは応用する技術となります。現場に当てはめれば、サイエンスは今までにない部材、工法等を開発する技術、テクノロジーは開発された部材、工法、等を応用し、製品やプロセスに適合させる技術と言うことができます。要素技術、プロセス・生産技術、製品技術の融合と、今後成長が期待される先端技術、たとえばナノテクノロジー等への取り組みを通して新生産形態、新機能材料等の強みをもち、価値の創造に繋げることが益々重要になってきます（図 5）。

さて、モノづくりの今後の展開は、どのようになっているのでしょうか。

高付加価値の商品を国内生産でギリギリまで追求するが、技術が極まって安定し差別化が難しくなった時点で、消費地に密着し技術移転を展開、現地にあった製品を現地で生産する。日本は「マザー工場」として試作から量産までこなし高精度、高機能に特化し、一方海外は「量産工場」として大量生産と現地調達を推進する等々、色々な方法、



考え方があります。当社も SyS（システムサプライヤ）を中核として国内外の生産戦略を展開中ですが、本社と明確な役割分担をもつ地域戦略、拠点戦略が重要です。ここを曖昧にしておくと QCDE（Quality, Cost, Delivery, Environment）の優位性とスピードの優位性が失われるということを危惧しなくてはなりません。

今後のもう一面として、標準化の原点を見ることが大事です。管理アイテム（部品、製品）が多いということは、管理面、財務面、サービス面等いずれを見ても良いことでないのは、皆さん十分に分かっている筈です。シナジー効果による価格の低下を進め、価格競争力を高めながら顧客メリットを追求する大塚製薬は、「オロナミンC」と「ポカリスエット」が主力商品の少品種多量生産を目指した優良企業です。

これらの商品は発売から時間がたちますが、単品商品でロングヒットを狙ったビジネスモデルの代表だと思います。品揃えは複雑さを捨て、単純化、標準化することが儲けるための原点ではないでしょうか。当社においても、「捨てる」も儲けるための一つの重要な戦略として、単純化、標準化の更なる推進を提言します。

これからのグローバルなモノづくりで重要なことは、幅広いプロセスの中から、コアコンピタンスを絞り込み、当社独自のコアコンピタンスを確立することが重要です。最近ではスピード、短納期、コンビニエンス等をコンピタンスにする企業もあります。他社にない高機能部品を組み込んで差別化する方法もあります。当社のコアコンピタンスは、小型エンジンの開発、製造技術と言われていますが、更に進化、発展させてそれを知的所有権でガードして圧倒的強みとして欲しいと思います。

4 おわりに

今回の特集記事は「海外開発 / 海外生産」についてですが、モノづくりという視点で所論を述べさせて頂きました。当社の今後は一層の海外展開が進みますが、ある経営者は「日本の強みは現場と生産技術力と開発の連携力であり、これにスピードを付加し、デジタル化することで競争力を更に加速する」と話されています。いい仕組みがあってもこれを支えるのは究極「人」であり、「モノづくりの根幹は人づくり」の原点を再確認してください。

海外展開で注意しなくてはならないことは、政情、テロ、突然の法規制等のカントリーリスクがあるという点で、これをヘッジしたリスクマネジメントが必要ですが、最後は「人」と「人」との関係。そういう意味でも、良い人財「人づくりが」大事であり、真にグローバルヤマハの礎となる「原点」だと考えます。

■参考文献

- 1) 日本能率協会編,「競争優位をめざすモノづくり経営革新」,日本能率協会マネジメントセンター (2001)
- 2) 「仕事が 10 倍うまくいく「ビジネス思考」を鍛えよう」,THE21 11 月増刊号,PHP 研究所 (2002)
- 3) 「中堅・中小が使いこなす番! ERP 構築でモノづくりを強くする」,工場管理 12 月号 VOL.48 No.16, 日刊工業新聞社 (2002)

■著者



大塩 牧雄



海外開発 / 海外生産 特集

海外の大学とのエンジン共同研究

Collaboration on Engine Research with Foreign Universities

米谷 俊一 Shunichi Kometani

●研究開発センター コア技術研究室

Universities can no longer shut themselves in an ivory tower. Most research activities at present in universities depend on liaisons with industry. In the field of engine research, the collaboration between universities and the industry can be divided into two types. One is the type in which the industry provides funding and technical assistance while allowing the researchers a high degree of freedom in the way they pursue a given research target. The other type is one in which companies literally outsource the development projects they used to do by themselves.

The measurement facilities and software used in current engine research are becoming more sophisticated and convenient year by year. However, solutions for core technologies of next-generation engines cannot be derived simply by pressing the right button on the right machine or computer. Clues might better be found through the process of the construction of hand-made test devices in a creative laboratory. Based on this belief, we have developed two joint research projects of the first type.

These two projects include a Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) research project with Professor Foster of the University of Wisconsin, Madison, and a project investigating air-flow, combustion and emissions in a 5-valve motorcycle engine with Professor Arcoumanis of City University, London. A report on the former has already been published in this journal, so here a brief summary of the experiment results in the latter project is given.

1 はじめに

大学が象牙の塔であった時代はとうに過ぎ、大学の研究は企業との連携なしには成り立たなくなっている。エンジンの研究に関して、大学と企業の関係は大きく2つに分けられる。ひとつは、大学側に大幅な自由度を認め、資金や技術を提供し共同で研究する方法であり、もうひとつは、企業が本来自社で研究開発すべきプロジェクトをそのまま大学に委託する場合である。

エンジン研究の計測設備やソフトウェアは、年々高機能化し便利になっている。しかし、次の時代のコア技術は、ボタンひとつで簡単に解が求められるものではない。それは、知的な創発活動に満ちた研究室で、手作りの実験装置を組み上げて、生まれるものであろう。われわれは、このような考えに基づき、前者のスタイル、すなわち、大学と一緒に実験をしながら、次の2つの共同研究を進めてきた。

米国ウィスコンシン大学マジソン校フォスター教授との均一予混合自着火エンジン (HCCI, Homogeneous Charge Compression Ignition) の研究¹⁾⁻⁴⁾ と、英国ロンドン市立大学アルコマニス教

授との5弁エンジンの空気流動、燃焼、排ガス特性の研究^{5),6)}である。前者は既刊の本技報で紹介しているので、今回は後者の研究結果概要を述べる。

2 研究課題とテストエンジン

モーターサイクル用エンジンは、自動車エンジンに比べ高い比出力が要求され、バルブ開口面積を大きくとり、流量計数の高い吸気ポートを採用し、バルブ・オーバーラップを大きくする傾向にある。その結果、低負荷時に燃焼が悪化し、出力維持と排ガス低減の両立が課題となる。このとき、筒内で起こっている現象をレーザー計測、高速 FID (Flame Ionization Detector)、燃焼直接撮影などにより明らかにする。

テストエンジンは、単気筒水冷、吸気3弁、排気2弁をもつ5バルブエンジンで、諸元を表1に、バルブ配置を図1に示す。燃料供給は、混合気分布計測 (LIF) を除いて、吸気ポート上流に装着したインジェクタ (燃料圧力 300kPa) による。レーザー計測用に、延長ピストンとクォーツ・シリンダを装備した同じ諸元の可視化エンジンを製作した。

表1 Engine Specification

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Engine Type | 1Cyl. DOHC 5Valve |
| Bore, Stroke | 73 mm, 59.6 mm |
| Displaced Volume | 249 cm ³ |
| Compression Ratio | 9.5:1 |
| Inlet Valve Open (IVO) | 31° CA BTDC |
| Inlet Valve Close (IVC) | 61° CA ABDC |
| Exhaust Valve Open (EVO) | 61° CA BBDC |
| Exhaust Valve Close (EVC) | 31° CA ATDC |

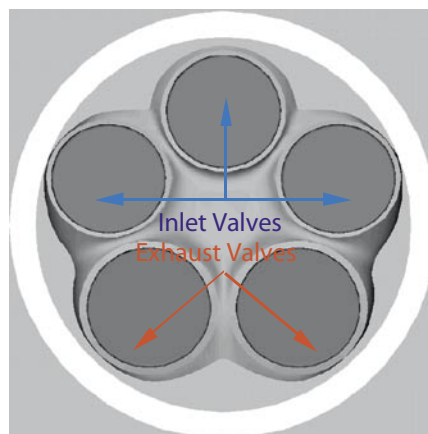


図1 Valve Configuration

3 筒内空気流動計測 (LDV)

レーザードップラー流速計を用いた筒内空気流動計測結果を図2に示す。測定条件は、モータリング WOT (スロットル全開)、3弁駆動、1,000 rpm (平均ピストンスピード $V_p=1.98\text{m/s}$)。吸気行程初期には2つの異なった回転方向の渦が形成されていた。吸気行程が進むにつれて、逆タンブル (反時計方向まわりの渦) は消滅するが、正タンブルは圧縮行程まで存在した。乱れ強さは、吸気初期に $3.5V_p$ あったが、圧縮終了時には $0.5V_p$ に低下していた。

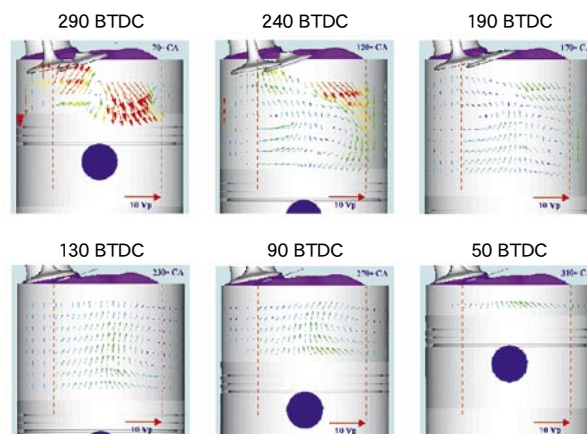


図2 筒内空気流動 (LDV)

4 筒内空気流動計測 (PIV)

PIV 法を用いて筒内空気流動を計測した。図 3 は、吸気弁を 3 弁とも駆動、図 4 は 1 弁だけを駆動した結果である。測定条件は、モータリング、WOT、1,500 rpm。各速度ベクトルは、100 サイクルの平均から求めた。図中の色の付いていない部分は散乱光の影響により計測できなかったところを示す。3 弁の場合、LDV 結果と同様、吸気行程初期に異なる回転方向の 2 つの渦が見られた。圧縮行程では、先に逆タンブルが消滅し、その後正タンブルも減衰した。1 弁の場合、吸気行程前半は 3 弁同様の流れが形成されたが、その後、吸気弁下側に巻き込む流れが成長して全体の主流となった。3 弁と 1 弁では、バルクフローが大きく異なった。1 弁では吸気および圧縮行程中に逆タンブルが継続的に存在し、2 つの渦を生成する 3 弁に比べ、強い筒内流動であることがわかる。

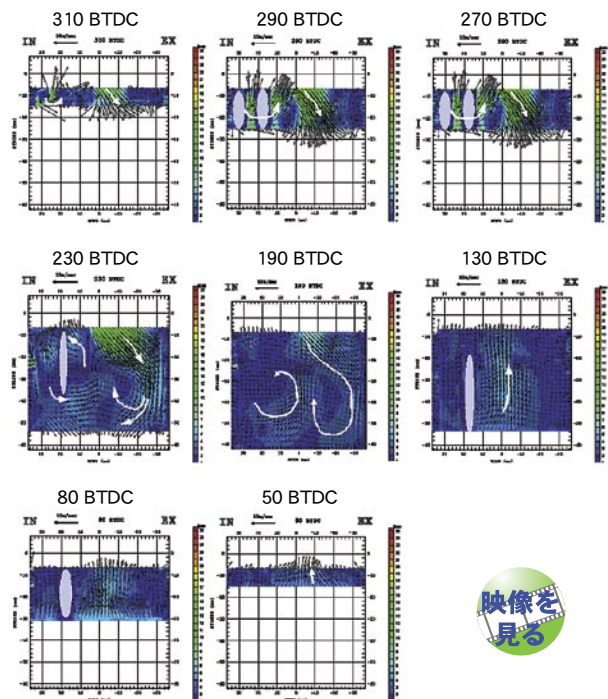


図 3 筒内流動（3 弁、PIV）

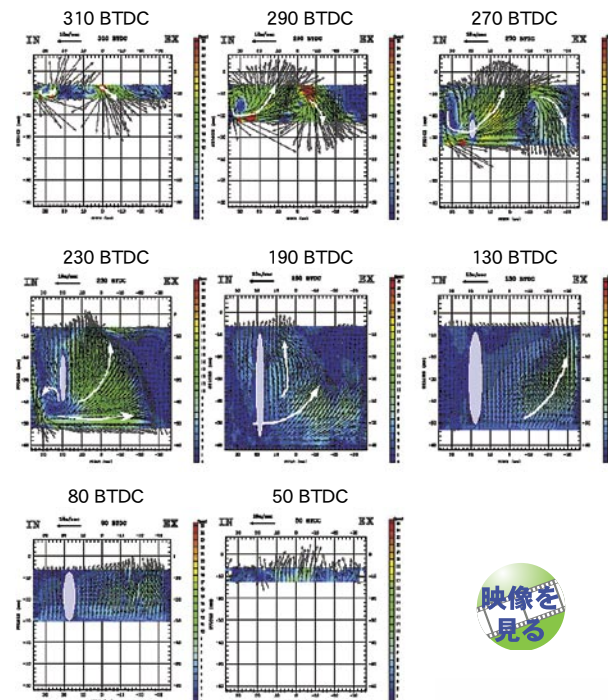


図 4 筒内流動（1 弁、PIV）

5 局部混合気濃度計測（高速 FID）

ファイアリング時の筒内の混合気状態を調べるために、高速 FID を用いて局所 HC（炭化水素）濃度を計測した（図 5）。サンプリングプローブは点火プラグに装着した。エンジン冷却水温は 70 度とした。供給 A/F（空燃比）は 12。測定条件は、1,500 rpm WOT、2,000 rpm WOT とし、燃料噴射時期を各々のエンジン回転数で、340 BTDC（上死点前）、120 BTDC とした。図 6 に示した結果から、3 弁は 1 弁に比べて、筒内混合気濃度が供給混合気濃度に対して、希薄な状態にあることがわかる。1 弁では、おおむね供給混合気濃度と筒内混合気濃度は等しかった。

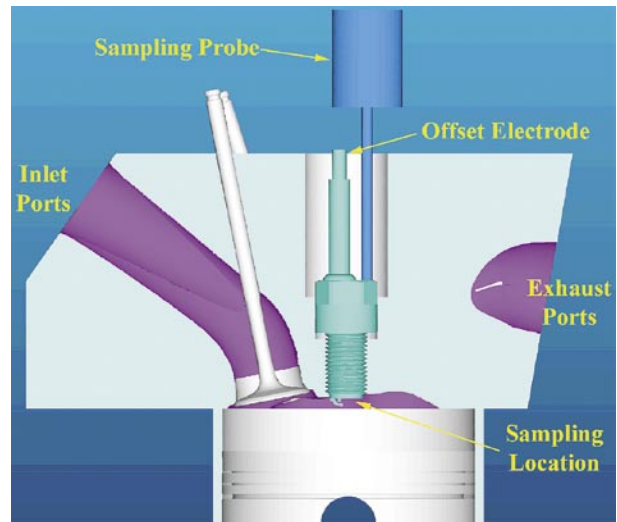


図 5 高速 FID による局部混合気濃度計測装置

6 混合気分布計測（LIF）

レーザー誘起蛍光法（LIF）を用いて、筒内混合気の濃度分布を計測した。本計測のみ燃料供給系を変更し、筒内直接噴射にした。スワール・インジェクタをシリンダヘッド中央に装着した（燃料圧力は 7Mpa）。燃料はイソ・オクタン、蛍光剤は、20% 3-ペンタノンを用いた。Nd-YAG レーザーは、266nm、70mJ。運転条件は、1,500 rpm WOT。結果は 50 サイクルの平均値。別途、濃度が既知の十分に予混合された混合気の計測結果から筒内混合気濃度の絶対値を推算した。図 7 は、噴射タイミングの混合気濃度分布への影響を示す。初期に噴射された燃料はピストン頂部に衝突し、圧縮行程の末期に混合気は成層化されていた。図 8 は、弁数の差を示している。サイド 1 弁では、3 弁に比べて強いスワールが得られ、圧縮行程終わりにより均一の混合気を得られた。

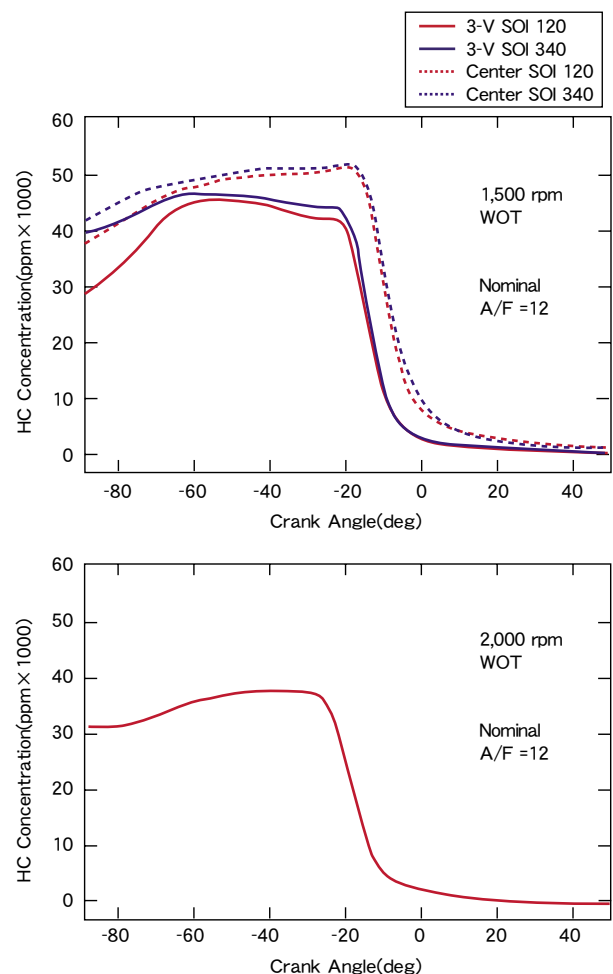


図 6 局部混合気濃度

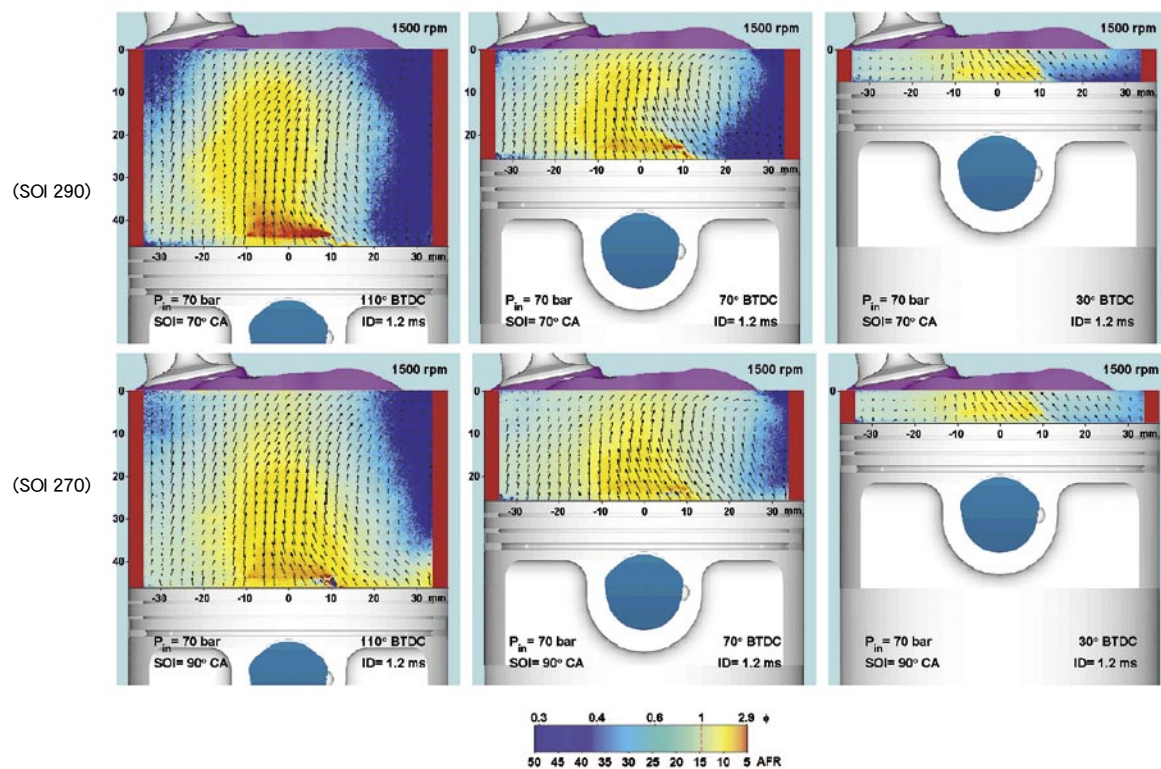


図 7 筒内混合気濃度分布（燃料噴射時期の差）

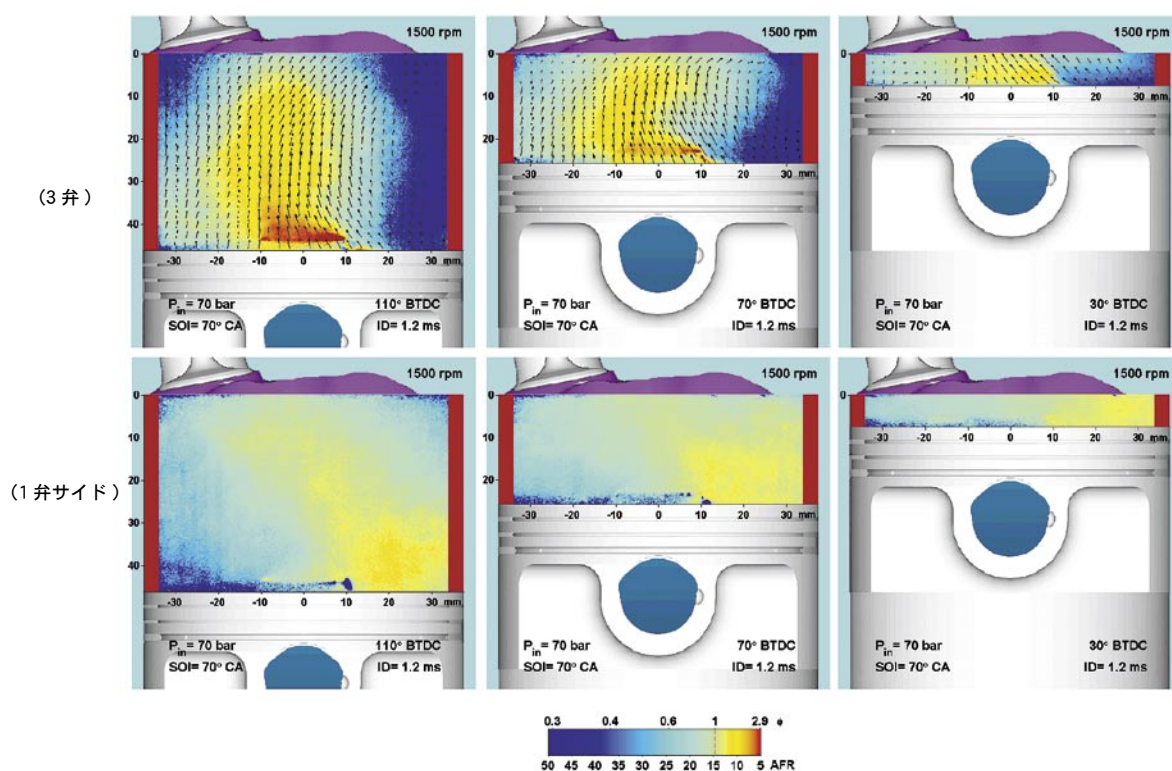


図 8 筒内混合気濃度分布（弁数の差）

7 火炎直接撮影

火炎が筒内を伝播していく様子を、延長ピストンの下に取り付けた45度の傾きを持ったミラーを介して、イメージ・インテンシファイア付きのCCDカメラで撮影した。撮影した範囲を図9に示す。連続する24サイクルから平均火炎面積を求めた。3弁とも駆動したときの結果を図10、中央1弁だけの結果を図11に示す。1弁の方が3弁より火炎伝播速度が速いことがわかる。点火後24度で、1弁の場合、火炎はシリンダの撮影範囲すべてに行き渡ったが、3弁では約半分程度にすぎなかった。これは1弁の場合の点火時期におけるプラグまわりの良好な混合気形成と、高い乱れ強度によると思われる。3弁では、バルブが閉じているときに噴射した場合（SOI（燃料噴射時期）120BTDC）の方が火炎速度は遅かった。1弁では噴射時期による差は小さかった。

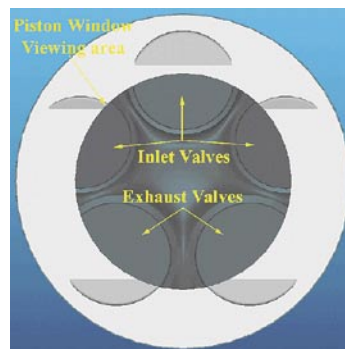
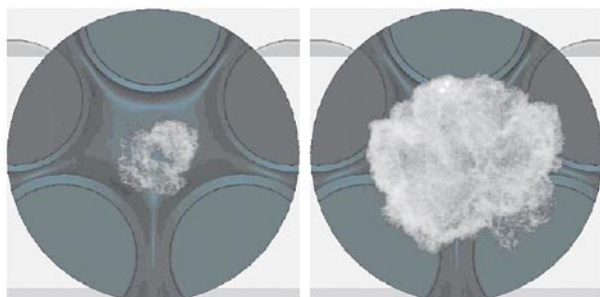


図9 撮影範囲

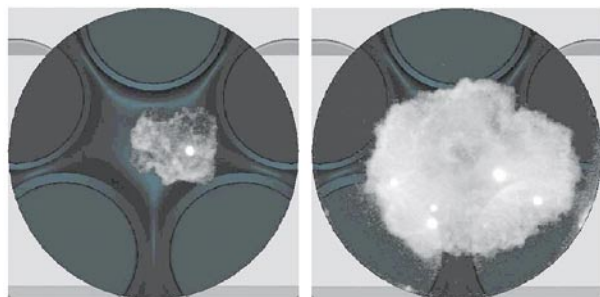
2,000 rpm WOT A/F=13 SOI 120BTDC



14 After Ignition

24 After Ignition

2,000 rpm WOT A/F=13 SOI 340BTDC

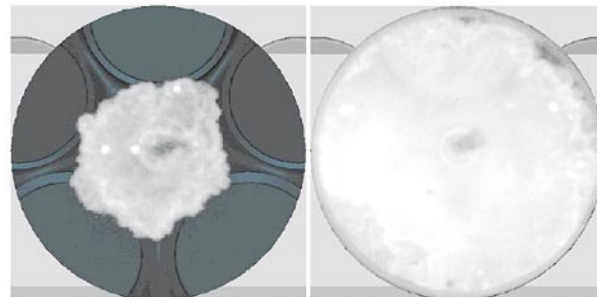


14 After Ignition

24 After Ignition

図10 燃焼撮影（3弁）

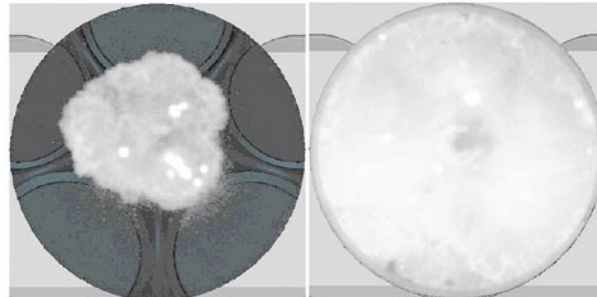
2,000 rpm WOT A/F=13 SOI 120BTDC



14 After Ignition

24 After Ignition

2,000 rpm WOT A/F=13 SOI 340BTDC



14 After Ignition

24 After Ignition

図11 燃焼撮影（1弁）

8 排気ガス (HC) 計測

3 弁と 1 弁の THC (総炭化水素) 排出の違いを調査した結果を図 12 に示す。3 弁では、1 弁に比べいずれの条件においても THC 濃度は高く、1 弁による THC の低減効果が確認された。3 弁での 2,000 rpm WOT では供給 A/F の変化 (12 → 14) に対し筒内 A/F は希薄な状態 (16 → 19) となる。そのため、極端な希薄状態での燃焼の悪化による HC の増加傾向が見られた。

9 エンジン共同研究あれこれ

これまでに述べた実験の多くは、当初英国インペリアルカレッジの熱流体研究室で始まった。実験室スペースは確保されていたものの、新たに動力計を導入し、可視化エンジンを設計製作し、レーザー装置や計測機器を調達するために、多くのエネルギーを費やした。この間、駐在員、大学スタッフ、本社担当者の間の意志疎通の難しさに加えて、仕事を進めていく上での日本と外国の習慣の差にとまどうことが多かった。特に、個人の業務担当が明確に分かれており、「これはわたしの仕事ではない」と主張するテクニカル・スタッフの頑固さと、時として怠惰にさえ感じられる仕事ぶりに困惑した。しかし、このことは欧米に共通して見られる現象らしく、日本の閉じた世界で、腹芸文化の中で育ってきたわれわれこそ変革の必要があるのかもしれない。

こんな苦勞をしてどうして海外で共同研究するのかと言えば、われわれの考えに共鳴して研究を実際に推進していただいた経験豊かな教授の存在があるからだ。アルコマニス教授がロンドン市立大学から工学部長として招聘されたときには、われわれも実験装置ごと一緒に移転した。多くのスタッフも勤務先を変え、教授の後に続いた。日本では、教授は、ほとんど身ひとつで異動するのが一般的と聞くが、この辺は英国の方が融通がきき、合理的だ。

インペリアルカレッジからロンドン市立大学への引っ越しには、またエネルギーが必要だったが、新たに整備された最新の計測設備を利用することが可能になった。2001 年 11 月、教授の活動が実り、ロンドン市立大学にエネルギー・環境センターがオープンした。BMW、トヨタ自動車(株)、ヤマハ発動機(株)などの企業が個々にスポンサーになり、レーザー計測やコンピュータシミュレーションを基にして、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、燃料システム、ガスタービンなどの研究が行われている。

エンジン研究の主な対象は、機構、強度、振動などの機械工学から、流体、燃焼、制御にシフトした。機械工学全般に言えることかもしれないが、もはや、エンジン研究は、現地の優秀な若者を集めるこ

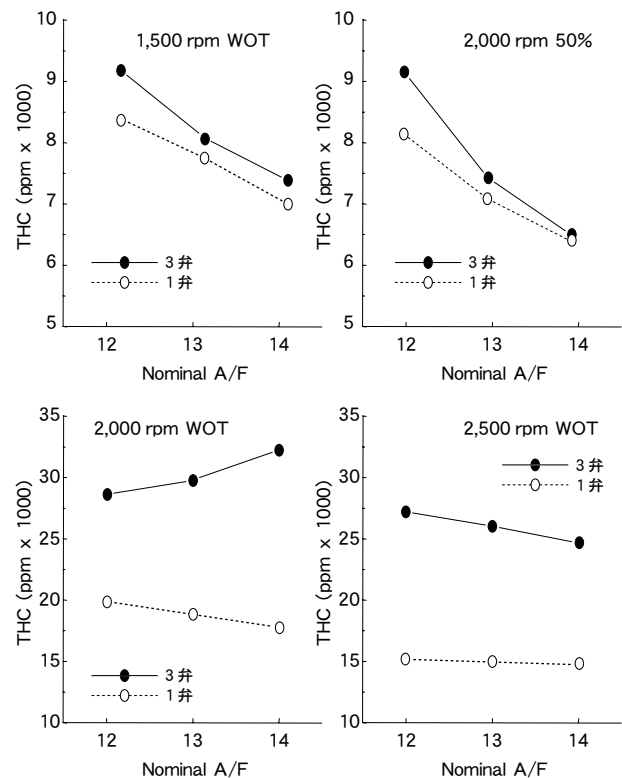


図 12 排ガス計測結果

とが難しく、留学生が目立つのも世界的な傾向だ。ついに、最近、いくつかのエンジン研究室では燃料電池の研究が始まった。燃料電池は燃焼を伴わない化学反応であり、エンジンとはかけ離れた技術のように思われるが、燃料と空気の分配、流量管理、触媒の活性化など、実は共通するところもある。

10 おわりに

筒内現象をいろいろな観点から計測し、空気流動を強化し、乱れを強くすることが、燃焼改善につながることを立証した。

ここで得られた定量的な計測データは、CFD (Computational Fluid Dynamics) によるエンジンシミュレーションの計算結果を検証するのに有用な情報となりうる。逆に、CFD を用いてパラメータスタディすることにより、実験結果をさらに意義あるものにできる。レーザー計測や CFD の計算で得られた結果は、実機テスト結果と照らし合わせてはじめて生きる。というのは、エンジニアリングの世界で最終的なアウトプットは実機で達成されて初めて価値があるからである。

■参考文献

- 1) 飯田実, 林素明, David E. Foster, Jay K. Martin : 予混合自着火エンジンの一般的性質と着火時期の予測, ヤマハ発動機技報, 2001 年 9 月, No.32
- 2) 飯田実, 森川健志, Aroonsrisopon, T., Sohm V., Werner P., Foster D. : HCCI 燃焼における炭化水素燃料性状の影響, 自動車技術会 2002 年 No.10-02 シンポジウム 「進化するガソリンエンジン」
- 3) Iida, M., Hayashi, M., Foster, D.E., and Martin, J., "Properties of Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Engine with n-Butane Fuel", accepted for publication in ASME Journal for Gas Turbine and Power, 2002.
- 4) Aroonsrisopon T., Morikawa T., Iida M., Foster D. "Comparison of HCCI Operating Ranges for Combinations of Intake Temperature, Engine Speed and Fuel Composition", SAE Paper 02FCC-124
- 5) Kampanis N., Arcoumanis C., Kato R., Kometani S., "Flow, Combustion and Emissions in a Five-Valve Research Engine", SAE Paper 2001-01-3556
- 6) 加藤隆輔, 木下久寿, 米谷俊一 : モーターサイクル用 5バルブエンジンの筒内流動による混合気形成への影響, 自動車技術会学術講演会前刷集, 2002 年春季大会, No.74-02, 20025259

■著者



米谷 俊一



海外開発 / 海外生産 特集

超高性能車（アウディ RS6）用サスペンションへの挑戦

The Challenge to Create a Suspension for a High-Performance Automobile (Audi RS6)

沢井 誠二 Seiji Sawai

● AM 事業部 AM 第2 技術室



図1 相互連携ショックアブソーバシステム REAS(アウディ社名称 DRC)

In 1996, Yamaha introduced a linked function shock absorber system called the Relative Absorber System (REAS) to the automobile manufacturer Audi. This Yamaha-original mechanism received high acclaim and has since been used on Audi's high-performance RS6 sedan and station wagon models (called the DRC suspension in Audi applications). The RS6 was first unveiled at the Geneva auto show in 2001 and production and sales began in 2002. When applied to the RS6, a model characterized by a vertically mounted engine in the front and the smooth handling character of its four-wheel drive, the DRC system helps make for sportier handling, while at the same time providing a more comfortable ride. Thanks to the high levels of performance it achieves in all areas (engine, suspension, driving pleasure and comfort), the Audi RS6 has been extremely well received, even being likened to a "four-door Porsche Turbo."

Here we introduce the development process of this unique system up to the point of its adoption by an overseas automaker, as well as the creative passion of the development staff and their development approach.

1 はじめに

1996年にヤマハ発動機(株)がアウディ社へ紹介した相互連携ショックアブソーバシステム REAS (図1) (アウディ社名称 DRC: 以下アウディ社向けのものを DRC と呼ぶ) は、当社独自のメカニズムと性能を高く評価され、超高性能セダン/ステーションワゴンであるアウディ RS6 のサスペンションに採

用された。アウディ RS6 は、2001 年のジュネーブショーで発表され、2002 年に生産販売を開始した。DRC は、アウディ車の特徴であるフロント縦置きエンジンレイアウトおよびクアトロ（四輪駆動）のもたらす穏やかな操縦特性を、スポーティなものへとさらに進化させ、同時にさらなる快適な乗り心地を提供した。アウディ RS6 は、その全方位的高性能（エンジン、サスペンション、快適性、居住性）から、「4ドアのポルシェターボ!」と言われており極めて好評である。

ここでは海外での DRC 採用に至るまでの開発の経緯とともに、開発スタッフの情熱、開発の視点を紹介する。

2 上司に内緒で

REAS の基本原理は 1991 年に考案され、FR 車・4WD 車用として 1997 年以降日本国内向けに実用化された。

FF 車への REAS の展開を考えると、ストラット型サスペンションへの REAS の適用が必要となるが、寸法・コストの制約から最適設計は困難であった。

当時、サンプル車として購入したアウディ A4 は、「DRC を付けてくれ」と言わんがばかりのマルチリンクサスペンション構造であり、純粋に FF 車と DRC との相性を試すことができる車であった。開発スタッフは技術的欲求から上司に内緒でアウディ A4 に DRC を取り付けてしまった。アウディ A4 と DRC との相性は思いの他すばらしく、FF 車特有のフロントヘビーによるアンダーステアを、上質なニュートラルステアに変えた。また、コーナリング中の前外輪タイヤに集中する荷重が内輪タイヤにも分散され、極めてきれいなタイヤ接地面磨耗となった。「FF 車でもいける!」開発スタッフは皆微笑んだ。

その頃すでに DRC へ興味を持ったアウディ社は、フォルクスワーゲングループ東京技術代表部を通じて、当社訪問を打診してきた。幸運にも、アウディ社へのプレゼンテーションにはアウディ A4 で臨むことができた。試乗結果は上々、ドイツから訪れたアウディ社のサスペンション担当マネージャーからアウディ A4 クアトロでのテスト依頼を受けることができた。

3 欧州メーカーテストの聖地ニュルブルクリンクへ

我々のもとに届いたアウディ A4 クアトロへ DRC が組み込まれ、ヤマハ袋井テストコースでのテストが繰り返されたのち、開発スタッフはテスト部品を手に冬のローマ近郊へ2週間のテストに旅立った。アウディ社からローマへ持ち込まれた A4、A4 クアトロの2台に DRC が組み込まれ、テストが開始された。「ローマの松」の並木道やアウトストラダでの過酷なテストの後完成した DRC の性能は、アウディ社の開発担当者を十二分に喜ばせた。ローマ近郊のバレルンガサーキットでの爽快なハンドリングと、成長を続ける松の根で盛り上がった路面での安定した走りが感動的だった。

その後インゴルシュタットのアウディ本社へ送り込まれた DRC は、スポーツタイプのアウディ S4 アバントへと移植され、欧州のカーメーカーが新型車を作り込むことで有名なニュルブルクリンクオールド

コースで繰り返しテストされた（図2）。アウディ社の技術部門での評価は極めて高かったが、遠い日本のオートバイメーカーの電子制御ではない不可思議なサスペンションに対し、アウディ社内でも即採用とまではいかなかった。



図2 ニュルブルクリンク（フリー走行風景）

4

最後の手段

当初 DRC は、搭載上最短距離での連結が可能な左右連結タイプでテストが進められていた。特許出願当初から、ロールとピッチの両方にダンピングが付加できる対角線連結タイプが一番良いことはわかっていて、まずは広く普及させることに専念するための判断だった。DRC が良いものであるということがわかっていながら、採用に二の足を踏むアウディ社に対し、我々は最後の手段に出た。対角線連結タイプをアウディ A4 クアトロに取り付け、来日したアウディの担当マネージャーに試乗してもらったのである。

「左右連結タイプに対し、あらゆる面で大幅に優れている。開発中のスーパースポーツモデル RS4 につけてテストしたい」

開発スタッフはニュルブルクリンクへ飛んだ。アウディ RS4 に移植された DRC は圧倒的な高性能を発揮し、開発スタッフも笑顔で帰国した。しかし、RS4 への採用は開発スケジュール的に問題となり、さらにもうひとつの問題が浮き上がった。

5

サプライヤー問題

DRC の良さを十二分に理解し、ぜひとも採用したいアウディ社は欧州サプライヤーからの OEM（相手先ブランドによる受託生産）供給を望んでいた。ドイツ国内のメーカーが有力候補に上がったが、カヤバ工業㈱の提携先であるスペインの APA 社からの要望で、カヤバ工業㈱を通じて、当社と APA 社が技術提携し、今後の欧州車向け REAS の量産展開を APA 社にお任せすることになった。

APA 社からの供給可能となったことにより、アウディ社から超高性能車であるアウディ RS6 への搭載依頼が届いた。APA 社と合同で行なわれたニュルブルクリンクのテスト走行では予想以上の好結果となり、本採用が決定した。

生産では、ショックアブソーバ部分が APA 社、心臓部であるセンターユニットを当社 AM 事業部で分担することになった。

6 感動創造のために

DRC は、非電子制御サスゆえの自然なフィールと素の高性能が売りなのだが、その簡単な原理から、コストに関して厳しい要求にさらされることが多かった。当然今回もコストダウンが要求されたが、採用決定後も我々は実走行性能をひたすら磨きつづけた。センターユニットの生産仕様を決めるにあたり、ひとつひとつの部品の形状や寸法公差と実走行性能との関連を、計測困難な領域まで、人間の感覚を頼りに徹底的に選定し突き詰めた。その結果、量産仕様はニェルブルクリンクでのプロトタイプよりも更に性能向上させることができた。数値化できる評価項目（強度、減衰力、周波数特性等）のみをクリアしても、基本性能や体感性能が落ちるコストダウンはお客様にとって喜び（感動）を減らすことになり、真のコストダウンと言えないからだ。

「コストダウンしながら、実質的な高性能化を進める」これが我々開発スタッフの信念である。

7 アウディ RS6 の評価

2002 年の春に欧州でアウディ RS6 の試乗会が行なわれ、ジャーナリストの評価が送られてきた。

「常にフラットで安定した姿勢変化。洗練された意のままのハンドリングと、250km/h での手放し走行を可能にする超高速安定性。あらゆる車速での乗り心地の良さ」（図 3、4、5）

V 型 8 気筒 5 バルブツインターボエンジンの 331kW（450PS）を悠々と使い切る超高性能車の誕生である。



図 3 Braking



図 4 Dynamic Cornering



図 5 RS6 実走写真

8 おわりに

アウトバーンの国の超高性能車に採用されることで、REAS (DRC) は事実上世界に通用するものとなった。特筆すべきは、数値的な運動性能の計測や解析無くしてここまで到達できたことである。人間が操る乗り物である以上、人間の感覚こそが、最終的にお客様の評価そのものであるという観点は正しいものであった。

AM 事業部は、お客様が真に感動できる製品づくりをめざして、今後も世界に通用するテクノロジーを開発し続けることにチャレンジする。

本プロジェクトを推進するにあたり、多大なるご支援を頂きましたアウディ社、クアトロ社、アウディジャパン(株)、フォルクスワーゲングループ東京技術代表部、APA 社、カヤバ工業(株)の皆様に深く感謝の意を表します。

■著者



沢井 誠二



海外開発 / 海外生産 特集

Made in Taiwan

Made in Taiwan

大下 茂 Shigeru Oshita

● Yamaha Motor R&D Taiwan Co., Ltd.

Different people may have different images when they hear the name Taiwan. It is unfortunate that for political reasons Japan doesn't have official diplomatic relations with Taiwan, but Japan and Taiwan have in fact a long-standing relationship that continues to today in many forms. There are also few foreign countries in the world today with as many people who speak Japanese as in Taiwan.

Yamaha Motor Co., Ltd. also has a long-standing relationship with Taiwan that goes back more than 30 years. At that time Yamaha established business relationships with two Taiwanese companies, WAN SHAN and KHS, while Honda Motor Co., Ltd. also had relations with the two companies Sangyang Industry Co., Ltd. and KYMCO, Suzuki Motor Corporation with TAILIN Motor Co., Ltd. and Kawasaki Heavy Industries, Ltd. also had a technical assistance contract partner. All these companies were involved primarily in the manufacture of motorcycles developed in Japan by the Japanese makers. Due to various social factors and the conditions within the companies, Yamaha now operates in Taiwan through its joint venture company Yamaha Motor Taiwan. Suzuki continues its relationship with TAILIN while Honda has dissolved its business relationships with Sangyang Industry Co., Ltd. and KYOMCO. Also, since Taiwan was accepted into the WTO in 2002, Honda has begun to develop their own sales network.

The Taiwanese motorcycle environment tends to carry with it some negative images of dust, exhaust gas, and dirty, older bikes, but with a total of 11 million registered motorcycles vs. a population of 23 million, Taiwan boasts an amazingly high ownership rate of almost one bike for every two people. This also means that there is more than one motorcycle for every licensed rider. Taiwan is also unique among the world's motorcycle markets in that over 80% of the demand is for scooters. It is said that the ownership rate for automatic transmission automobiles is also the world's highest. This might suggest that Taiwanese dislike manual transmissions.

While it may be true that the air in Taiwan is not very clean, and the streets are packed with motorcycles and automobiles, the impressive sight of a herd of motorcycles bolting away from a stoplight when it turns green is something that you will never see in Japan.

There are also a number of goods that are necessities for motorcycle riders in Taiwan.

- 1) Face masks made up of more than ten layers of gauze with various designs on them
- 2) Poncho type rainwear protects riders from sudden rain showers
- 3) A reversed cold-weather coat zips (buttons) up in the back to eliminate seams in the front where cold air can rush in

Taiwan's unique motorcycle life has created a number of ingenious goods you will not see in other markets. Here we introduce some of these unique characteristics of the Taiwanese motorcycle market.

1 はじめに

「台湾」（図1）といって、皆さんの頭に浮かぶのは、どんなイメージでしょうか？日本と台湾の関係は、残念ながら今は正式国交がありませんが、古くからの関係を今にとどめる、いろいろなものが残っています。また、おそらく、海外で一番日本語が通じる国ではないでしょうか？

ヤマハ発動機(株)（以下、YMC という）と台湾の関係の始まりも、30 年以上前にさかのぼります。当時は、「萬山（ワンサン）」、「功学社（コンシュエス）」という2つの会社と関係を結び、同様に本田技研工業(株)は「三陽¹⁾（サンヤン）」、「光陽²⁾（コンヤン）」という会社との関係があって、スズキ(株)は、台鈴³⁾で、川崎重工業(株)も、技術提携した会社があり、それぞれ、日本本社で開発された二輪車の製造を主に行っていました。現在、YMC は、合弁企業のYMT⁴⁾（台湾山葉機車工業）と台湾での活動を続けています。スズキ(株)は継続して台鈴として、本田技研工業(株)は三陽・光陽との関係を清算しましたが、台湾がWTO（世界貿易機関）に加盟した2002 年以降は独自の販売網を展開しています。

台湾の二輪車環境というと、「埃が多い」、「排気ガス」、「汚い車」、「古い車」などなど、あまりよいイメージは無いのではないのでしょうか？台湾の二輪車の保有台数は、1,100 万台を超えています。人口が、2,280 万人ですので、二人に1台の割合です。つまり、実際に二輪車に乗れる人が、一人一台以上持っていることになります。そして台湾は、世界でも珍しい、スクーターが市場の80%以上を占めている国です。聞くとところによると、オートマチック四輪車の比率も世界一とか。基本的にミッション付は嫌いなのではないでしょうか？

確かに、台湾の空気はあまりきれいではありません。街には二輪車、四輪車があふれていますし、



図1 台湾



図2 交差点風景

交差点で信号待ちする二輪車が、いっせいにスタートする際の迫力は、日本に居ては決して見ることでできない光景でしょう（図2）。

台湾で二輪車に乗る人達の必需グッズがあります（図3）。生活の知恵と言うか、こういったものは他の地域ではあまり見られないものでしょう。以下に台湾のユニークな市場特性を紹介します。

2 台湾における二輪車の商品開発

先に述べたように、台湾の市場における二輪車と言えばスクーターです。移動の手段として、一人で、二人で、はたまた一家五人乗り、まで、そしてさまざまな物の運搬にと、生活の中になくてはならない道具として溶け込んでいます。そういった意味でも、比較的小型で小回りが効き、荷物を載せるところや入れる場所を持ったスクーターが、台湾の市場においてこれほど多くなっているのです（図4）。例えば、YMC からの出張が「市場を見たい」と言われることがあります。他の国と違い、台湾では早朝から深夜まで、どこにいても、この国における二輪車のさまざまな使われ方を見ることができます。

確かに、地域によって、また商品の特長によって購入されるお客様や、その使われ方に差はありますが、YMT が造る商品も、三陽、光陽、台鈴が造る商品も、お客様の要望に合わせていくと、同じような商品が出来上がります。商品の企画を行なうにおいては、同じ「スクーター」という商品の中で、どのように差別化を行い、YMT の商品にお客様の購入意欲を出させるかということがポイントになります。

ひとつには、商品の基本機能の面で如何に他社商品に対する優位性を持つかということ。そして、お客様のニーズに応えられる機能が追加されているかということです。日本でも、スクーターという商



10 枚以上のガーゼを重ねて、表にはさまざまなデザインがついたマスク

急な雨にすぐ着られるポンチョ風の雨具



袷から風が中に入らないように後ろ前逆に着る防寒着

図3 台湾で二輪車に乗る時の必需品



図4 台湾における二輪車の市場特性

品は数多く開発、販売されています。しかし、日本のお客様と台湾のお客様とでは、基本機能に対する要求も異なります。スクーターが台湾に初めて登場したころには、日本で販売されているものと同じものでも良かったのかもしれませんが、今では台湾のお客様に合わせた商品の開発が不可欠になってきています。これは、台湾に限らず、他の地域でも同じことが言えるようになってきています。

台湾が他の地域と異なる点は、その追加機能の多さにあると思います。我々日本人から見れば「何でそんなものが必要なの?」と思えるようなものも少なくありません。例えば、携帯電話の着信表示、どんなときでもシートが開けられるメインスイッチ、色が変わるメーターなどなど。しかし、最近では、台湾電子部品産業の発展の影響もあり、LED（発光ダイオード）を使った照明技術や、電子部品を利用したものなど、技術の一部には日本を超えてすらいえると思われるものもあります。

YMC の協力の下、2002 年秋、台湾市場に電子制御燃料噴射のモデルを導入しましたが、すでに他社では1年前から市場導入していました。開発のプロセスや、社内の基準の違いもありますが、台湾国内企業の開発スピードには、見習うべき点が数多くあると考えています。我々は、YMC のバックアップで不足している技術を補いますが、競合する他社は、世界中のさまざまな企業や研究団体など、制約のない幅広い選択肢を持っています。現地のメーカーがこれほど高い開発能力を持っているのも、台湾ならではの状況です。競合する相手が日系メーカーではなく、現地のメーカーであるというのも台湾だけではないかと思います。そのため、いつまでも YMC に頼っていては、台湾市場での競争力維持が間に合わなくなってきており、商品開発においては、モデル開発を台湾で完結するということを目指



図 5 RS100 CF



図 6 XC125N CF

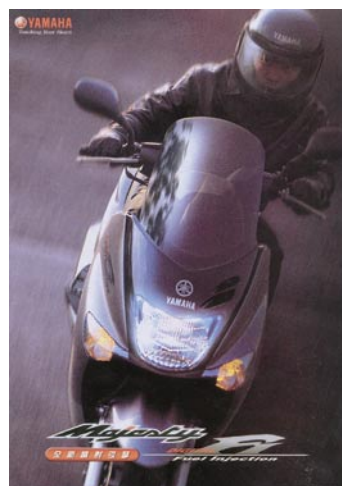


図 7 Majesty 125FI

にしています。

現在のYMRT⁵⁾は、現地スタッフが約180名。直接モデル開発を行なう設計、実験だけでなく、企画・管理部門に加え、デザイナー部門も自社に持っている会社です。日常業務の進め方は、YMCとよく似ていますが、台湾という国の地域性により、職場における女性の立場は男性と区別がありません。「台湾の女性は皆強い!」と言われますが、彼女たちに話を聞くと、「台湾の法律は男性ばかりを保護して、自分たち女性は自分で身を守る必要がある!」といった話が聞かれます。現在の台湾において、二輪車のユーザーにおいても女性を重視する声が多く、商品企画にも女性の担当者が当たることも少なくありません。そして、日本人駐在員と現地の人たちがひとつになって、日本の良いところを取り入れながら、台湾にあった商品開発を行なっています(図5、6、7)。

3 Made in Taiwan

皆さんもご存知のようにYMCでは、2002年末から日本向け50cm³のスクーターの台湾への生産移管が始まります。これまでも、いくつかのモデルが台湾から日本や欧州にも販売されていましたが、日本市場の小型スクーターをすべて台湾から供給するという大きな計画です。これに対して、本田技研工業(株)は大陸の新大州という現地メーカーと手を組んで、大陸製の商品を日本に導入し、スズキ(株)は日本製で対応するという、各社違った戦略で日本市場における50cm³スクーターの競争が始まります。また、台湾企業の光陽も、昨年から独自の販路を日本市場に設けています。

YMTで製造されたスクーターは、これまで日本、欧州、中国大陸、中南米、東南アジアと非常に多くの地域で販売されてきました。

さらに、2001年からYMTで作られたスクーターがアメリカでも販売されています。市場調査のときに、アメリカで「台湾製と、中国製はどう違うと思うか?」と尋ねたときに、「同じだろう!日本製は違う!」と答えられて、がっかりしたことがあります。当時、コピー商品しか作られていなかった大陸商品と、オリジナルの商品を作っている台湾が同じだ、という現地人の答えは、非常にショックでした。確かに、二輪車以外の商品でいえば、電子製品を除いて台湾商品もコピーまがいの商品が多かったのも事実ですし、二輪車ですら、すでに当社のコピー商品が市場に出回っていたことも事実です。市場のお客様にとっては、IBMなどのコンピュータの部品や、ハーレーダビッドソンに使われている部品の一部が台湾で造られていることなど、関係なく、表に張られているブランドが重要であり、その商品の品

表1 漢字の企業名

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 日本企業で、そのまま漢字名を当てはめている企業 (読み方はかわります) |
| 武田、山之内、第一、大塚、久光、三共、参天、 塩野義、大正などの製薬会社 |
| 雪印、明治、森永、廣田などの食品会社 |
| 清水、大林、熊谷組、鴻池、大成などの建設会社 |
| 三洋電機、山葉、鈴木、本田など |
| 日本企業で、漢字の語句の意味を当てはめている企業 |
| 国際、獅子(ライオン) |
| 北京語発音の似た漢字を当てはめている企業 |
| 新力(SONY)、可果美(カゴメ)、可爾必思(カルピス)、 三得利(サントリー)、優比(リョービ)、養樂多(ヤ クルト)、蘭碧兒(ノエビア)、美伊娜多(メナード)、 普利司通(ブリヂストン)、飛利浦(フィリップス)、 夏普(シャープ)、全録(ゼロックス) |
| どう考えても日本人には理解できない? |
| 麥當勞(マクドナルド) |

質や性能が重要なのだと思い知らされた気がしました。台湾製も大陸製も共に中国製で、欧州製の方が品質が良いイメージがある。なんとか、台湾製の良さを知って欲しいと感じた瞬間でした。

台湾にも、英語名の社名やブランドを使った企業が数多くあります。反対に、台湾国内では全ての海外メーカーにも漢字の名称が付けられています(表1)。そういった企業は、独自の販売網やネットワークを使い、世界中にその商品を販売しています。我々のような日系企業は、日本の本社のブランドを使い、その販売網に乗せて商品を販売します。かつて、日本の企業がそうであったように、優秀なコピーを安価で作るところから始まり、そのコピー商品を改良して新たな商品を作り出す。その段階では、コピー元の会社に部品を供給し、そして、オリジナル商品の開発へと移っていくのですが、そろそろ日本に先駆けて台湾で開発された商品が目につき始めています。やはり、コンピュータ関係の商品が多いようですが、いずれは、様々な分野で「台湾発」の商品が世界に広がっていくでしょう。

1990年代半ばの150万台の生産をピークに、台湾における二輪車の市場規模も生産台数も減少傾向にあります(図8)。都市交通の発達や、若年齢層の減少など、その要因は多岐にわたりますが、2002年度は60万台強の予想がされています。また、台湾企業も二輪車だけでなく、海外に市場を求めて展開すると同時に、より安い労働力を求めて大陸への工場進出も行われています。2002年7月に日本経済新聞に掲載された、中国大陸製で世界一の生産量品目のうち、台湾企業が大陸で製造したものが8割以上を占めています。開発は台湾、製造は大陸、といった構図が出来上がっています。

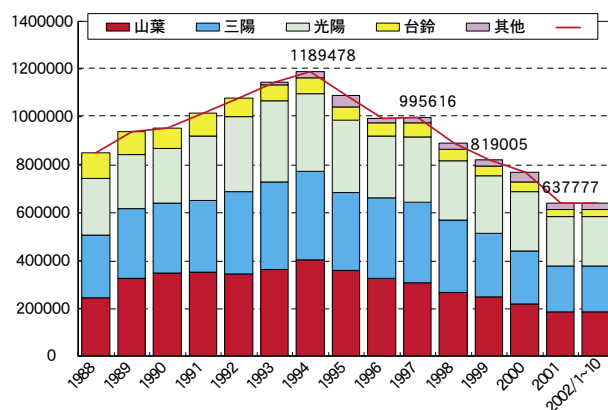


図 8

特に、電子関係の企業にはこの傾向が強く、台湾国内の工場を閉鎖して大陸への進出に対して、政府から待ったをかけるケースも出てき始めました。

二輪車の業界で、初めて中国大陸にスクーターを持ち込んだのは、台湾の光陽ですし、そのときには、多くの協力企業をいっしょに大陸に進出させました。また、インドネシアやベトナムといった地域にも、光陽や三陽の生産拠点と、その関係メーカーが幾つも進出しています。

約30年前から始まった、より安い生産拠点を求めて多くの日本企業が台湾にその拠点を求め進出し始め、追って東南アジア地域へ、そして今大陸へとその生産拠点を移しつつあります。こういった時代の流れの中で、台湾の企業そのものも、その流れの先頭にたっています。こういった状況のもと、台湾でのものの造りをどうやったら続けていくことができるのか!?今、台湾にいる私たちに課せられた大きな課題です。

文頭に、「台湾について想像するものは?」と書きました。皆さんそれぞれもたれているイメージは違うと思います。実際、台湾に暮らしてみると何でもあります。台湾には、世界中のあらゆる文化や商品に触れる機会があります。それぞれの文化が、基本は独立して存在しながら、時には融合しながら共存しています。台湾という日本の九州ほどの小さな国でありながら、住んでいる人も、使われる言葉も、

そして造られる製品もさまざまです。先述した通り、ありとあらゆる商品のコピーが手に入ります。その品質もさまざまです。そして、世界中に台湾で造られた商品が売られています。日本に出張して買ってきたお土産が、台湾製だったなんて笑い話もほんとにあった話です。

2005年には新幹線もでき、首都台北と空港を結ぶ MRT（新交通システム）の建設も決まり、その他の公共投資も次々に行なわれていますが、政権が変わっても経済の伸長が思うようにいかず、金利も下がる一方です。一方で、WTO への加盟後、大陸との関係の変化もあり、台湾が世界でどうやって生き残っていくのだろうか？本当に、国を挙げて考え始めているようです。

台湾における法規制は、厳しいものです。反面、規制はあるものの仮に守られていなくとも、ある程度秩序が保たれていれば大目に見るといった面もあります。それも台湾のよいところかもしれませんが、せめて、もう少しだけでも守られたら・・・という希望もあります。赤信号の横断歩道で止まっていると、「何で車も来ないのに止まっているの？」と聞かれて、「だって赤信号でしょ！」と答え、「おかしい～！」?????

二輪車をとりまく法規制は年々厳しくなっており、近年では、国連規定（ECE 法規（欧州統一車両法規））への規制統合も進められていますが、排ガスに関しては、世界で一番厳しい規制がかけられています。また、国策として国内企業、及び国民の利益を守るという点では、国の姿勢も非常にはっきりしています。


今、台湾国家の方向の主流は、大陸との関係も考慮に入れながらだとは思いますが、知的産業立国を目指す方向のようです。たとえ、工場は大陸などに移しても、台湾をヘッドオフィスとして、経営する。また、マルチメディアや IT（情報技術）、バイオといった先進技術の開発に国家予算で支援し、技術開発を進めさせるといったものです。実際に、台湾ではいろいろな研究開発に対する国家の援助や、税制上の恩典といったものがあります。その恩典を利用して、各企業は研究開発に投資を行なっています。

そんな中、二輪車産業は、台湾ではすでに成熟産業とも言われています。YMRT の従業員の中にも、「業界（会社）の将来が不安だ」といって離職する人もいます。台湾では、30歳までに2、3の会社を転職することもごく普通です。誰しも、最後は「老板（ラオバン）」（ボスや社長をさす）になりたいという夢を持っています。そのために、若いときにいろいろな会社に就職して経験を積んでおく人も少なくないのです。一般的に、製造業の平均離職率が20%になる台湾で、YMRT の離職率は5%程度ですので、その率は高くはないのですが、会社としては経験者が離職するのは大きな痛手であることは間違いありません。

4

台湾でのもの造り

海外でのもの造りを考えるときに、忘れてはならないのは、「100%の良品を造ることが当たり前なのは日本だけ」ということです。アメリカでは、90日以内であれば洋服でさえも交換、または返品が可能であることをご存知でしょうか？企業はお客様のニーズに応える責任がある。しかし、100%の良品を造ることは難しく、ある程度は、お客様のニーズに応えられないかもしれない。そういったときには、



交換も、返品もありうる訳です。一度きた洋服を「自分に合わないから返品する」なんて日本人の感性では考えられないでしょう。日本では、クーリングオフの期間もわずか7日間です。

台湾では、アメリカのような制度はありませんが、それでも 100%の良品を作ることは非常に難しいことでした。しかし、日本企業が数多く台湾に製造拠点として進出し、日本流の製造技術と生産管理技術、そして品質管理手法を導入してきたことで、その品質のレベルは格段に向上してきています。部品輸出の拠点から始まり、先述した通り、YMC グループとしては、小型スクーターの生産拠点を台湾に移管しよう、という決定がなされるまでになってきています。

反面、以前のように世界の工場としてのコスト競争力を保つことが難しくなっていることも事実です。様々な管理や設備を導入してきたことで、物を造るために必要なコストも増加し、また、人々の生活レベルも向上してきたことから、人件費も以前と比べて高くなってきています。

今は世界の工場は大陸だ!といわれています。驚くほど安い人件費と有り余る労働力。人海戦術で造るものは台湾ではかなわないかも知れません。しかし、台湾は日本を一番理解できる国です。そして、過去に日本が歩んできたのと同じ道を、日本よりも早いスピードで駆け抜けています。日本でできることは台湾でも近い将来できるようになって来るでしょう。世界一優秀なコピーが作れる国は、いずれ世界を制する商品が造れることは、過去に日本が実証しています。今、中国大陆も後を追いかけて始めました。日本も、台湾も、オリジナルの商品が造れなければ、いつかは追い越されてしまうかもしれません。これから、どうやって世界の市場で生き残っていくのかは、どれだけ、一步先を歩みつづけられるかということにかかっています。

個人一人一人が自分を守り、悪く言うと利己主義的な傾向がある台湾で、その力をひとつにまとめ上げ、大きな力を発揮することができたとき、台湾がもう一度世界の桧舞台に立つことは、間違いないでしょう。2年前の大地震や昨年豪雨の被害からの復興の速さは、ここ一番、台湾人の結束力と、底力の大きさを表している代表例です。

我々台湾にある YMC グループに属する各企業⁶⁾が、30 年以上にわたる台湾で培った開発、製造、購買、営業、サービスの力を結束し、そしてその情報を生かしながらそれぞれの役割を果たしていく。それに加えて、台湾の人たちのパワーを加えることで、今以上に大きなことができると確信します。台湾の国内市場のみならず、大きく全世界の市場に向けてその商品を提供していくことが必ず実現できます。こういった商品には、どこかお客様の目に触れるところに「MADE IN TAIWAN」の文字が刻まれています。これは、電子部品やその他、商品の中身の部品だけを作っている会社では、決してできないことなのです。

台湾の方が持っている国家に対する誇りと愛国心、その気持ちが商品に書かれる「MADE IN TAIWAN」の文字にこめられたときに、台湾で作られる商品は、大きく変わると思います。皆さんの中でご存知の方は少ないと思いますが、台湾と、中国大陆では国慶節（建国記念日）は違います。台湾においては、清帝国が滅んで中華民国が建国された日、中国大陆では、中華民国から中華人民共和国に変わった日、つまり台湾国民党が大陸から、台湾に移った日がそれぞれ国慶節として定められて

います。台湾で、大陸で使用しているピンイン（国際的な標準の中国語のローマ字化方式、台湾を除き、広く普及）を使うことすら、大陸の一部と認めることになると反対する人もいます。反面、三通（通信、通商、通航）などの面で、徐々に関係を深めつつあるものの、非常に複雑な中国大陆との関係。また、戦時中の出来事を引きずった日本との関係など、いろいろな面で今も、台湾という国は揺れ動いています。

5 おわりに

そして、忘れてはならないことは、いくら日本に近く、そして日本に対してとても親近感を持っていて、おまけに日本人の価値観まで理解できる、そんな台湾ですが、しかし、台湾は台湾なのです。日本人には日本人の考え方や文化があるように、台湾には台湾の歴史と、そこに育まれた文化と人々が住んでいます。決して、「日本（人）が一番」と日本のやり方や考え方を押し付けてもうまくはいかないのです。台湾で日本語を勉強する人が「日本語はとても難しい。尊敬語、丁寧語、謙譲語等々いろいろな言い回しがある。我々の国語には無い」とよく言います。日本語のあいまいな部分、「一を聞いて十を知る」といった文化はありません。このことは、台湾だけでなく、おそらく世界中のどの国でも同じでしょう。日本語に「郷に入っては郷に従え」という言葉があるように、台湾にも「入境随俗（ルーチンスウェイスー）」と同じ意味の言葉があります。

皆さんも、台湾を訪れる機会があったときには、ぜひ、台湾の風俗習慣に触れ、この国の楽しいところ、人々の暖かさを感じて欲しいと希望します。

■参考

- 1) 三陽 (SYM) : <http://www.sym.com.tw/>
- 2) 光陽 (KYMCO) : <http://www.kymco.com.tw/html/intro.htm>
- 3) 台鈴 (SUZUKI) : <http://www.suzukimotor.com.tw/>
- 4) YMT (YAMAHA MOTOR TAIWAN) : <http://www.yamaha-motor.com.tw/index1.asp>
- 5) YMRT (YAMAHA MOTOR R&D TAIWAN) : YMC と YMT の合併研究開発専門会社
- 6) YMT, YMRT, YMTT (YMC と YMT の合併会社) , 台湾萌力克 (ヤマハ発動機と株モリックの合併会社)



海外開発 / 海外生産 特集

グローバル生産管理課題への取組み

Measures for Dealing with the Issues of Global Production Management

大澤 保明 Yasuaki Osawa

● GEM 企画統括部 生産管理室

There continues to be a shift toward overseas local production of Yamaha brand motorcycles in order to strengthen the global competitiveness of our motorcycle operations. Up until now, increasing local supply ratio has been an important goal for the various overseas production bases and, besides local assembly operations, active investment in facilities for the local manufacture of parts has also been carried out. Furthermore, efforts have been made in recent years to make more efficient use of these existing facilities and factory space, accompanied by an increase in global cross-trading of parts and third-country export of finished products.

This dynamic change in the production layout has a big effect on the manufacturing control work at each of the overseas production bases. In other words, the operations that in the past were self-contained within each base have now expanded to include the need for close mutual cooperation between the different bases. In order to help perform these increasingly complex production management operations it is necessary to build a global production information network and raise the level of production management technologies at each production base.

The Production Control Division has created the plan for a PanYamaha Manufacturing Control system (PYMAC III) aimed at solving the above-mentioned problems and is presently working in cooperation with YMC's IT Operations, Global Production Promoting Division, Procurement Management Group, Engineering Administration and other divisions to develop and implement this system.

1 はじめに

モーターサイクル事業の国際競争力強化を目的とした生産の現地化が進んでいる。従来の現地化は自製率向上に主眼が置かれ、各国生産拠点では組立に加えて部品製造のための設備投資が積極的に行なわれて来た。更に近年は、これら既存設備や工場スペースの有効活用が進み、グローバルな部品補完や完成車輸出が急増している。

このような生産レイアウトのダイナミックな変化は、各国生産拠点の生産管理業務に大きな影響を及ぼしている。即ち、従来拠点内で完結していた業務範囲が拡大し、拠点間の緊密な相互連携が必要になって来たことである。これらの複雑化した生産管理業務を効率的に行なうためには、グローバルな生産情報ネットワークの構築と各国生産拠点の生産管理技術向上が必要不可欠である。

生産管理室では、上記課題の解決策として新たなグローバル生産管理システム（PYMAC-Ⅲ）を企画し、現在 IT（情報技術）センター、グローバル生産推進室、調達統括部、設計管理グループ等と共同で開発・導入を進めている。

2.1 生産レイアウトの変化と課題

全世界におけるヤマハグループのモーターサイクル生産台数は、今後アジアを中心に伸張し、現状の200万台から、10年後には600万台に達するものと予想されている。また、これに対応する生産レイアウトは、従来のヤマハ発動機(株)本社（以下、YMCと言う）からの完成車・CKD（ノックダウン）部品輸出を中心とした生産レイアウトから、各国生産拠点が自律化し、互いの強みを生かして緊密に連携するネットワーク型生産レイアウトへ、ダイナミックに変化して行くものと想定される（図1）。なお、現在はその変化の過渡期と捉えている。

このようなネットワーク型生産レイアウトにおいて、各国生産拠点が【完成車・部品（量産用・補修用）の受注⇒調達・生産⇒組立⇒梱包・出荷】という一連の生産活動を効率的に行なうためには、グローバルな生産情報が正確に管理され、各拠点で共有されていなければならない。

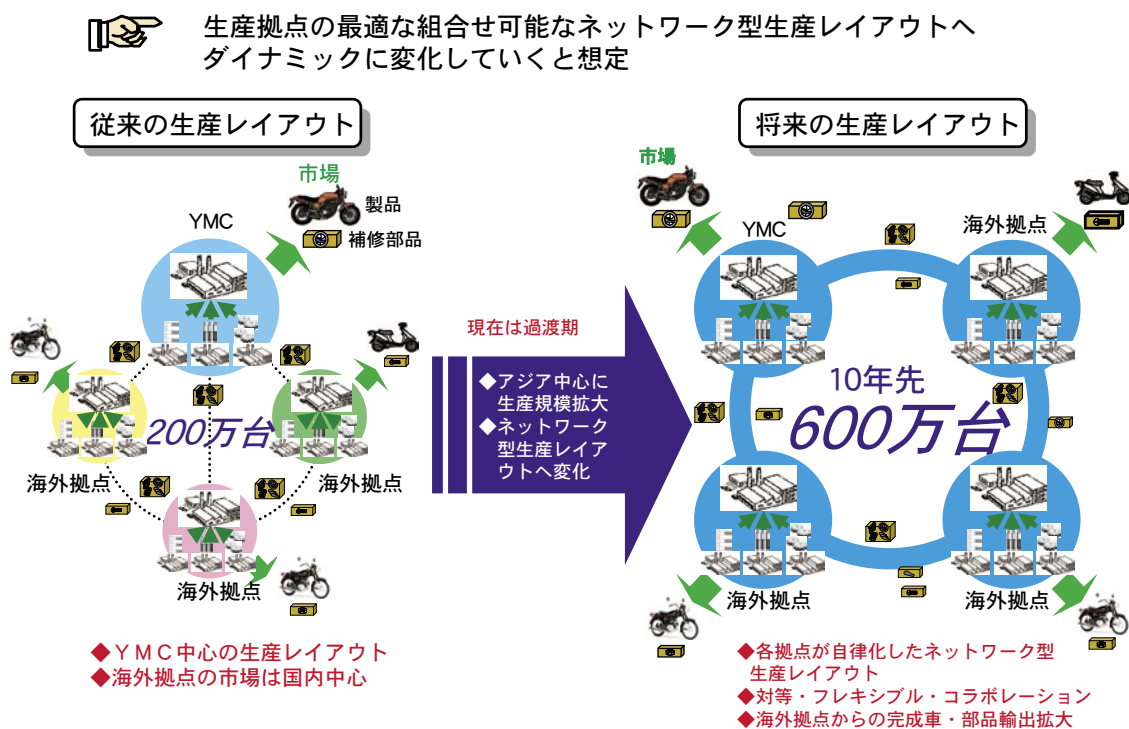



図1 将来の生産レイアウト予測

2.2 グローバル製造部品表の構築

上記課題を解決する手段として、PYMAC-Ⅲの統合管理機能（図2）では、新たにグローバル製造部品表（G-BOM）を構築する。同時に、物理的に分散している各国生産拠点を情報ネットワークで結び、グローバルな生産情報の共有化を図る。

グローバル製造部品表は、部品から完成車までのグローバルな生産レイアウトを表わし、以下の特徴を有している（図3）。

 グローバルな「統合管理機能」、各国生産拠点で利用する「拠点別生産管理機能」

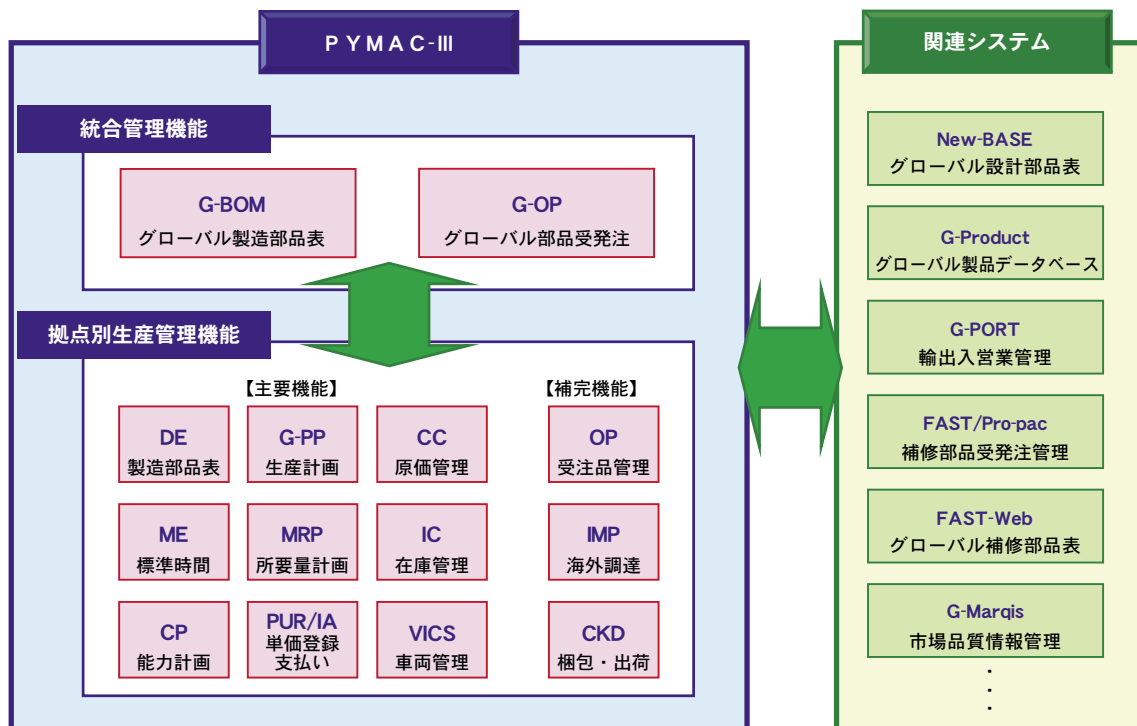



図2 PYMAC-IIIの構成

 ◆部品から完成車までのグローバルな生産レイアウトを表わす部品表
◆YMCで集中管理し、各国生産拠点で活用

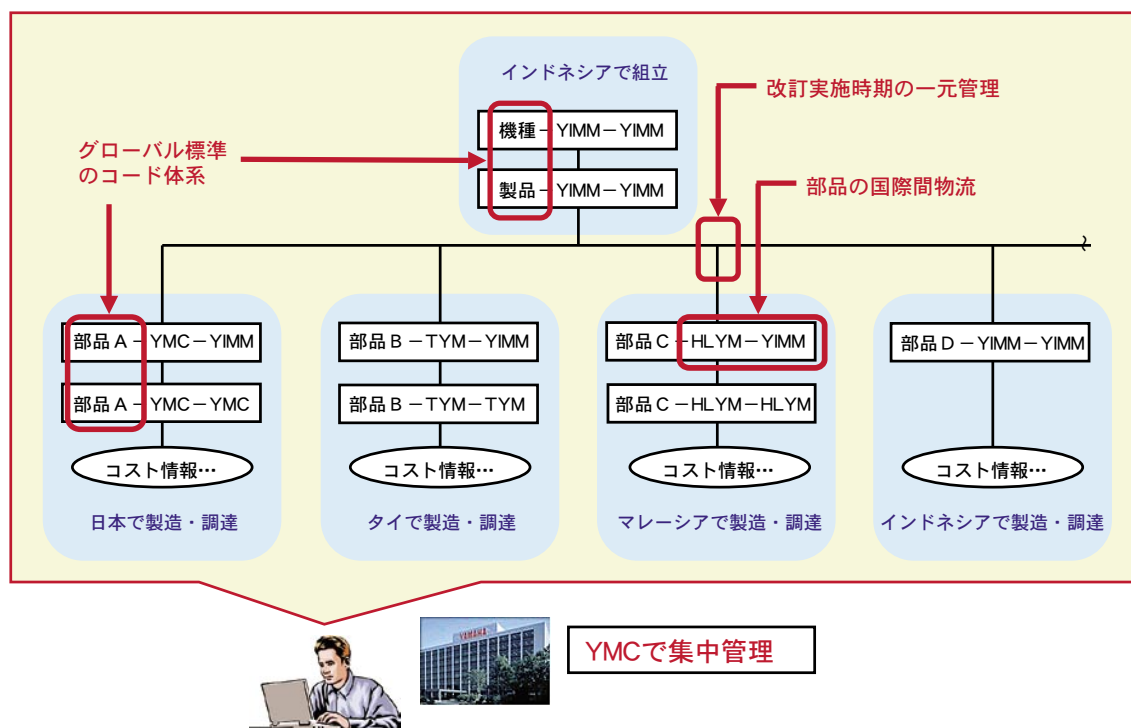


図3 グローバル製造部品表のイメージ

(1) グローバル標準のコード体系

(製品番号はグローバル製品データベース、部品番号はグローバル設計部品表 New-BASE に準拠)

(2) 部品の国際間物流を定義

(3) 改訂実施時期の一元管理

(4) 各国生産拠点における部品のコスト情報を保有

(5) YMCで集中管理

これまで、グローバル製造部品表は ASEAN 生産モデルの一部で試行導入を行なってきたが、2003 年1月からは ASEAN 全モデルでの運用を開始する。また、2003 年度中には、ASEAN 地域以外の量産モデルについても導入を予定している。

なお、本格導入に当たっては、グローバル設計部品表 New-BASE で定義している部品のグローバル内外作情報（PCL 情報）を改良し、グローバル製造部品表との連携強化を図っている。

2.3 グローバル製造部品表の活用

ASEAN においては、グローバル製造部品表構築と足並を揃えて、国際間の部品取引業務での情報活用を積極的に進めている。現在、YMAC（Yamaha Motor Asian Center Co., Ltd.）を中心とした域内の運用ルールの整備と、PYMAC-Ⅲ統合管理機能のグローバル部品受発注（G-OP）導入を並行して進めることにより、オペレーション工数の削減、情報処理リードタイムの短縮、受発注情報の精度向上等で大きな成果を上げている。

更に、今回の ASEAN への導入実績を踏まえて、2003 年度中には中国、台湾を始めとする ASEAN 域外へも、国際間部品取引の情報ネットワークを拡大する計画である。

なお現在は、グローバル製造部品表を活用した業務支援として、まずは国際間の部品取引業務の効率化に最優先で取り組んでいるが、今後は「各国ローカル製造部品表の作成支援」、「コスト情報の共有化と開示」に取り組む計画である（図 4）。

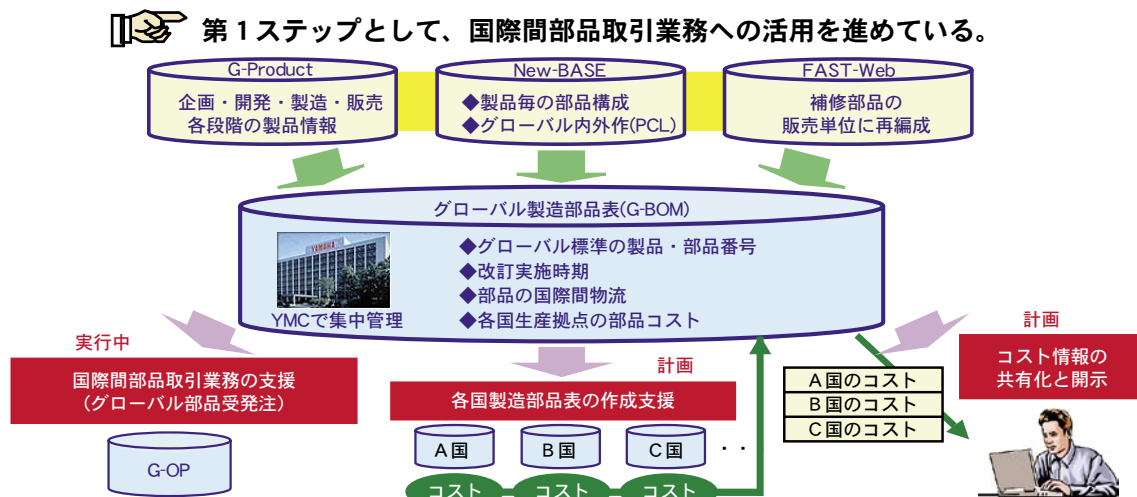


図 4 グローバル製造部品表の活用

3.1 拠点の新たな生産管理課題

将来のネットワーク型生産レイアウトが効率的に機能するためには、グローバル製造部品表を中核とした生産情報ネットワークの構築・活用と共に、その構成要素である各国生産拠点の生産管理技術向上が大きな課題である。

これまで、各国生産拠点における生産管理の運用ルールは、その生い立ちが異なることもあり、各拠点の自主性に任されてきた。また、生産管理システムに関しても、導入時点の生産形態やIT環境を踏まえて、拠点毎に様々なシステムが導入されている（図5）。

このような拠点毎の運用・システム両面の相違は、生産管理技術の差に直結するが、従来の国内生産・販売というクローズした生産体制では、大きな問題とはならなかった。しかし、部品や商品をグローバルに補完し合うネットワーク型生産レイアウトへ変わりつつある現在、以下に示すように、顧客の信頼を損ねかねない問題が発生している。

- (1) 各国の部品番号体系や改訂情報の違いにより、顧客への補修部品供給が遅延する。
- (2) 生産国でのマニフェスト記載内容の間違いにより、輸出先での車両登録ができない。

以上の問題は一例であるが、主として生産レイアウトの変化に起因しているため、速やかに根本的な対策を行わないと、今後拡大する可能性を秘めている。

このような新たに発生したグローバルな生産管理問題と、従来から拠点内に存在する生産管理問題を合わせて解決するためには、グローバル標準を重視した生産管理技術の向上に取り組む必要がある。

3.2 YMCの生産管理技術

YMCでは、生産部門の経営効率向上を目的にPYMACを開発し、1981年に導入した。PYMACはPan Yamaha Manufacturing Control（全ヤマハの生産管理）を意味し、生産設備や物流等のハードウェアの改革と、管理方式・業務体制・コンピュータシステム等のソフトウェア（生産管理シ

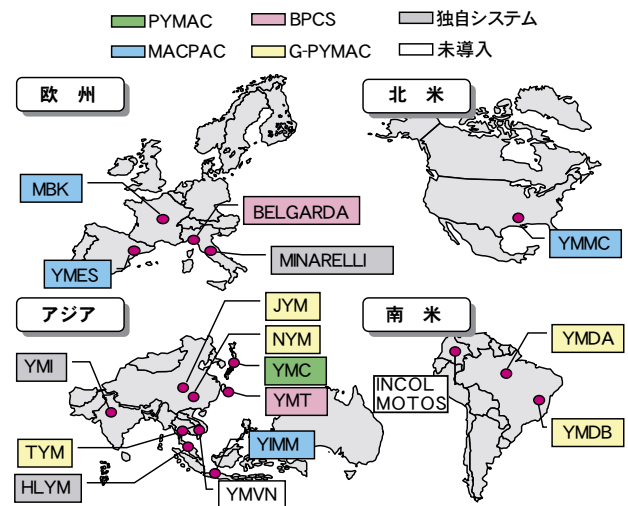
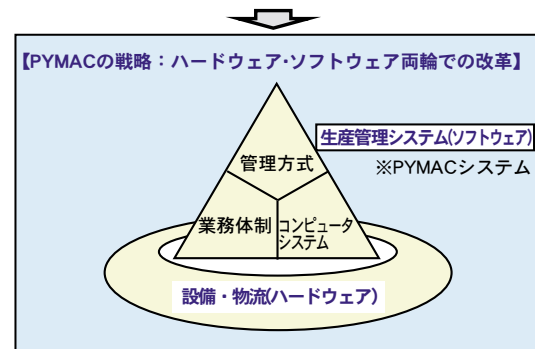
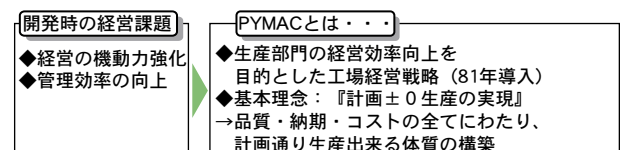


図5 生産管理システムの導入状況



＜PYMAC推進の受け皿としてTPM活動を84年に開始
：設備を変え、人を育てる＞

図6 PYMACの基本的な考え方

システム）の改革を一体で進める、グループ全体の工場経営戦略である（図 6）。


PYMAC は導入後 20 年以上が経過したが、継続的な運用・システム両面での改善努力により、現在では YMC の生産管理技術が凝縮したシステムへと成長している。その成果は、特に在庫やオペレーションコストの削減で顕著である。また近年は、SCM（部品調達から商品が最終顧客の手に渡るまでのモノの流れであるサプライチェーンという視点で、企業間・企業内のビジネスプロセスの最適化を図ること）の中核システムとして、全世界のお客様とモノづくりの間を高スピードで繋ぐ役割を担っている。

3.3 生産管理技術のグローバル展開

今回、各国生産拠点の生産管理技術向上に取り組む考え方として、20 年間 YMC で運用・システムを作り込んだ PYMAC をベースに、生産管理技術のグローバル展開を進める。

PYMAC-Ⅲの拠点別生産管理機能（図 2）では、従来の PYMAC が持つ豊富な機能を更に強化すると共に、海外固有要件を織り込み、最新 IT を活用したグローバル標準の新生産管理システムを構築する。

新システムでは、バッチ処理のオンラインリアルタイム処理化、業務処理のワークフロー化、アウトプットの電子化、生産管理データの可視化・共有化等の改良により、現行 PYMAC に比べて一層のビジネススピードの向上とオペレーションコストの削減が期待できる。今後、各国生産拠点には、YMC からの徹底した運用指導の下で新システムの導入を順次進め、運用ルールのグローバルな統一と生産管理技術の向上を図って行く。

 生産管理システムは現場に密着した仕組みであるため、受け皿準備によって導入の成否が決まると言っても過言ではない。

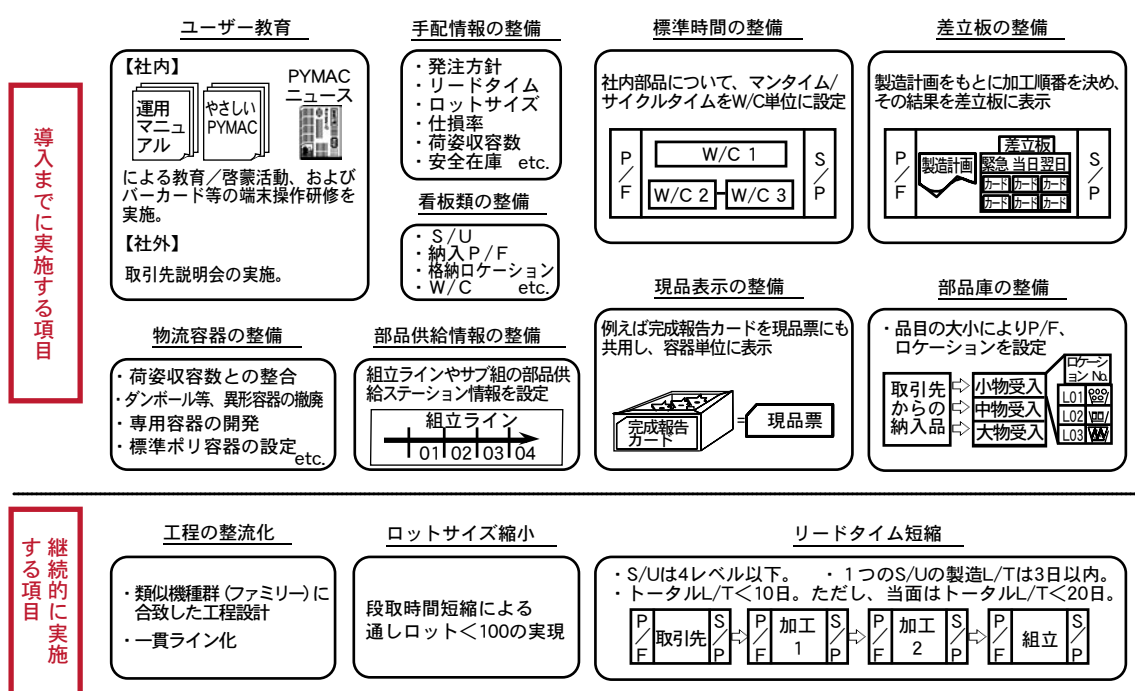


図 7 受け皿準備項目の事例

具体的な導入計画は、国内は 2003 年度の前半に YMC、海外は 2003 年度中に YMVN (Yamaha Motor Vietnam Co., Ltd.) へ導入することが決まっている。YMVN では、2002 年 11 月に現地で導入準備プロジェクトがスタートし、既に PYMAC の導入ノウハウである受け皿準備活動が始まっている (図 7)。この活動の出来栄が新システム導入の成否を左右するため、生産管理室としては海外生産拠点導入の試金石として全力を尽くす覚悟である。一方、他の海外生産拠点については、YMVN 導入と並行して生産管理の運用実態を詳しく調査し、新システムの有効性を確認した上で、2004 年度以降の導入計画を提案したいと考えている。

4 おわりに

社内には多くの業務システムが存在するが、運用に携わる人数が圧倒的に多い生産管理システムの導入は最も難しいと言い切っても良いであろう。また、これだけグローバル化が進み、モデル数や生産規模の大きいモーターサイクル生産において、コンピュータシステム抜きの生産管理はもはや考えられず、運用を大きく変えようとするれば、新システムの導入をその手段とすることが極めて有効である。

我々が開発・導入を進める PYMAC-Ⅲは、あくまでグローバル生産管理課題を解決するための手段である。各国生産拠点の現行生産管理システムを更新し、運用を改革して大きな成果を上げるためには、中長期の取組みが予想される。しかし、PYMAC-Ⅲの導入を、将来の 600 万台体制を支える重要な基盤づくりと位置づけて、粘り強く着実に進めて行く所存である。

今後も、関連部門の皆様の変わらぬご協力をお願いしたい。

■著者



大澤 保明



海外開発 / 海外生産 特集

海外『モノづくり情報共有システム』の有効活用とその広がり

The Effective Use and Spread of an Overseas “Product-Making Information Sharing System”

平野 彦一 Hikoichi Hirano

● GEM 企画統括部 グローバル生産推進室

Recently there has been a shift in our overseas manufacturing base positioning from what until now has been a pyramid type positioning with YMC at the pinnacle toward a horizontal type positioning in which YMC and the overseas bases work together on the same level in close-knit tie-ups. When working in such horizontal relationships, what becomes important is the ability to decide what parts or units are best made by which manufacturing bases from an overall viewpoint. In order to make these kinds of decisions, we decided it was necessary to “put overseas product-making information in visible form.” Here we report on the system we developed for this purpose.

1 はじめに（必然性）

海外生産の位置付けが今迄のヤマハ発動機㈱（以下、YMC という）を頂点としたピラミッド構造から、YMC・海外生産拠点が同一レベルで緊密連携しあうネットワーク型モノづくりに変化してきています（図1）。その時に重要な事は、どの拠点でどの部品・ユニットを作っていくのが良いかという全体最適の視点であり、その為には、『海外モノづくり情報の見える化』を図ることが必要と判断し、本システムの開発に着手しました。以下に、その内容を紹介します。

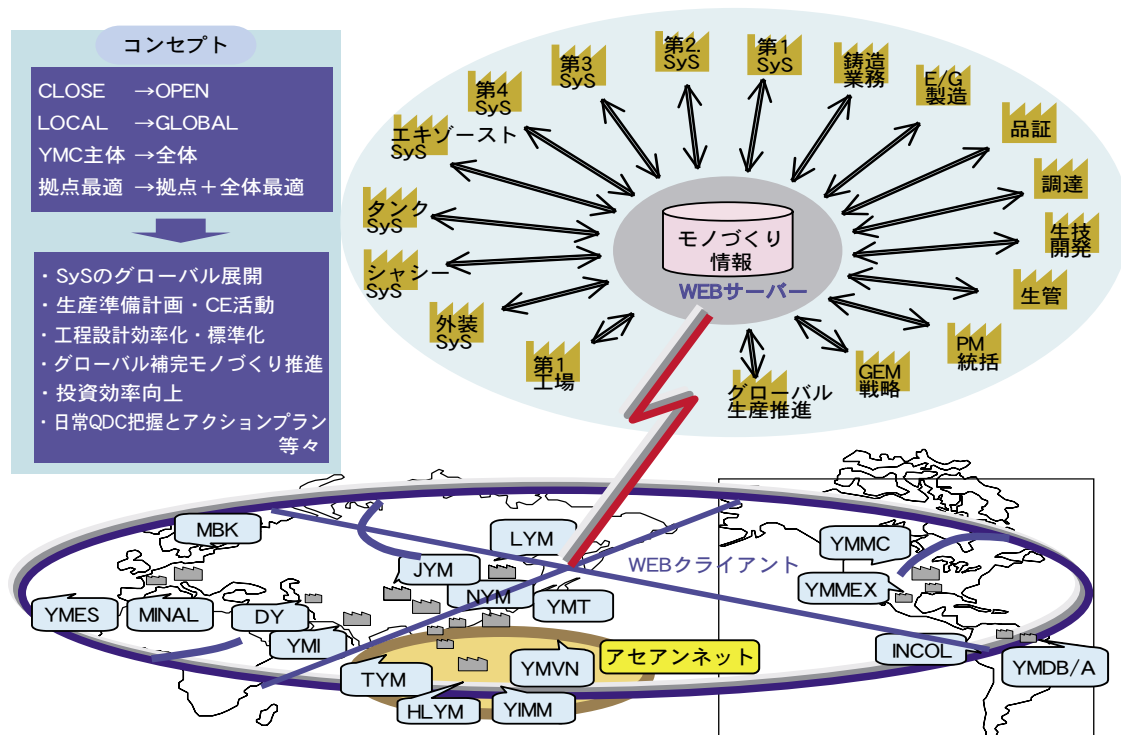





図1 モノづくり情報管理コンセプト






2 海外生産拠点の連結化

YMC のモーターサイクルの海外生産拠点は、技術援助の形態から対等合併・マジョリティー合併に 80 年代後半より徐々に移行し、連結対象の拠点が 14 拠点（当室担当海外製造拠点 33 拠点内にて）となっております（図 2）。





これは我々の資産が増えたことになり、この資産を巧く活用し収益性を上げていくのが我々の使命でもあります。残念ながら昨今の中国製モーターサイクルあるいは競合他社の競争力に対して苦戦している状況です。現在、関連部門が英知を結集し日々この対応をし、経営体質強化とシェア拡大を目指しております。







【全体：31カ国60拠点】事業別海外生産拠点数
 M/C 22カ国29拠点
 マリン 16カ国20拠点
 G/C 特機 1カ国1拠点
 ● その他 7カ国14拠点






22カ国、33拠点（連結対象14拠点）：グローバル生産推進室担当拠点 ■：共有化対象外拠点

| 欧州 <4カ国5拠点> | | | | | 子会社 | | | |
|-------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----|---|---|---|
| 国名 | 会社名（略称） | 生産品目 | 連 | 持 | 子 | 非 | 持 | 他 |
| フランス | MBK |  | ○ | | | | | |
| スペイン | YMES |  | ○ | | | | | |
| イタリア | BELGARDA |  | ○ | | | | | |
| | MINARELLI |  | | ○ | | | | |
| トルコ | BELDEYAMA |  | | | | | ○ | |

| アジア（中国・台湾）<2カ国7拠点> | | | | | 子会社 | | | |
|--------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----|---|---|---|
| 国名 | 会社名（略称） | 生産品目 | 連 | 持 | 子 | 非 | 持 | 他 |
| 中国 | 建設工業 |  | | | | | | ○ |
| | 南方動力 |  | | | | | | ○ |
| | 重慶ヤマハ |  | | | | | ○ | |
| | 南方ヤマハ |  | | | | | ○ | |
| | 南方ヤマハ減震器 |  | | | | | ○ | |
| | 林海ヤマハ |  | | | | | ○ | |
| 台湾 | YMT |  | ○ | | | | | |

| 米州 <4カ国5拠点> | | | | | 子会社 | | | |
|-------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----|---|---|---|
| 国名 | 会社名（略称） | 生産品目 | 連 | 持 | 子 | 非 | 持 | 他 |
| アメリカ | YMMC |  | | | | | | |
| メキシコ | YMMEX |  | ○ | | | | | |
| コロンビア | INCOLMOTOS |  | ○ | | | | | |
| ブラジル | YMDB | ●部品 | ○ | | | | | |
| | YMDA |  | ○ | | | | | |

| アジア（西アジア）<5カ国6拠点> | | | | | 子会社 | | | |
|-------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----|---|---|---|
| 国名 | 会社名（略称） | 生産品目 | 連 | 持 | 子 | 非 | 持 | 他 |
| インド | YMI |  | ○ | | | | | |
| パキスタン | DYL |  | | | | | | ○ |
| バングラディッシュ | KIL |  | | | | | | ○ |
| イラン | DMI |  | | | | | | ○ |
| シリア | GHANDOUR |  | | | | | | ○ |
| | ITANI |  | | | | | | ○ |

| アジア（アセアン）<5カ国8拠点> | | | | | 子会社 | | | |
|-------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----|---|---|---|
| 国名 | 会社名（略称） | 生産品目 | 連 | 持 | 子 | 非 | 持 | 他 |
| タイ | TYM |  | ○ | | | | | |
| | ICC | ●部品 | ○ | | | | | |
| インドネシア | YIMM |  | ○ | | | | | |
| | YPMI | ●部品 | ○ | | | | | |
| ベトナム | YMVN |  | | | | | ○ | |
| マレーシア | HYMM |  | | | | | | ○ |
| | HLYM |  | | | | | ○ | |
| フィリピン | NTC |  | | | | | | ○ |

| アフリカ <2カ国2拠点> | | | | | 子会社 | | | |
|---------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----|---|---|---|
| 国名 | 会社名（略称） | 生産品目 | 連 | 持 | 子 | 非 | 持 | 他 |
| ナイジェリア | YMINL |  | | | | | | ○ |
| ブルキナファソ | SIFA |  | | | | | | ○ |

連 = 連結子会社
 持子 = 持分法適用子会社
 非子 = 非連結子会社
 持関 = 持分法適用連結会社
 持非 = 持分法非適用連結会社
 他 = 上記以外で、技術援助契約により製造に関わる会社

図 2 モノづくり情報共有化対象の海外拠点

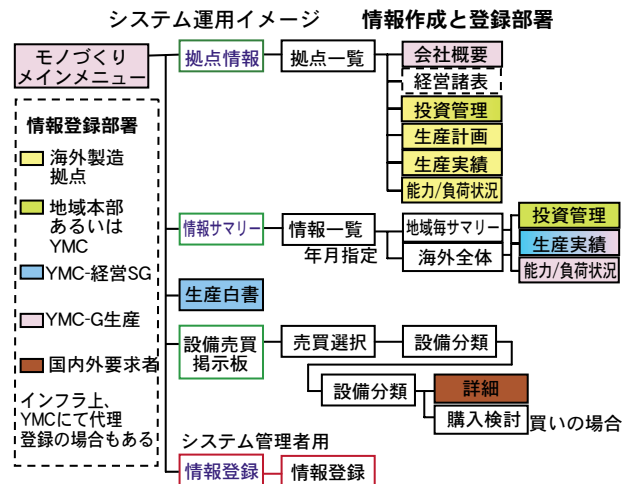
3 SyS構想化の海外での広がり

MC 事業本部では SyS（システムサプライヤ）体制が構築され、事業コスト 30% 低減を目指した活動が既に着手されております。今後この取り組みを海外にも適用し QDC（Quality / Delivery / Cost）の強化を図って参ります。海外拠点間での SyS 構想化による生産レイアウトの変更も予定されており、SyS の参画により、スルー（一貫化）のモノづくりの具現化を推進していく計画です。国内のみでなく海外においても SyS = すなわち開発、製造、調達スルーでの業務が、拡大して行くことになります。現実に多くのプロジェクトが既に開始されています。また調達関連につきましても国内取引先の海外進出が活性化しており、日本での SyS のビジネスモデルを海外へも展開し、国内で実践しているように海外でもシステムを切り口とした開発、製造、調達スルーの業務のやり方になりつつあります。

4 情報共有化の第1ステップ

海外生産拠点へのプロジェクト・業務に関して、多くの YMC 関係者が携わることになります。また前述のように連結経営という観点から海外生産拠点の位置付けが重要になって参ります。

そこで、海外生産拠点におけるモノづくりの状況が YMC にいても見えるようにしていきたいという必要性が高まり、「モノづくり情報共有システム」なるものを今回、グローバル生産推進室、経営 SG（Strategy Group）、IT（情報技術）センターの共同で構築しました（図 3）。第1ステップとしては的を絞り「拠点概要」、「投資管理」、「生産計画・実績・設備能力/負荷状況」、「設備売買掲示板」、「生産白書」に関する情報を、常時共有できる「器」を用意しました。月次・年次で情報を更新し、その中で個々の拠点情報をグローバルに捉え「全体最適活動」と「個別最適活動」のバランスを取り、結果として最善の策がとられる様にしていくためのツールとしていきます。



5 投資効率の向上

海外生産機種種の完成車取引でなく、ここ数年海外拠点間の能力補完の機運が高まっており、インドネシア、インド、中国から、ASEAN、欧米拠点への部品供給が増加しております。個々の余力を活用して需要のある拠点に部品供給し、コストの低減と固定資産の有効活用をし、YMC グループの投資効率を高めようという動きです。

グローバルヤマハの計画に対して、設備計画が拠点最適だけでなくグローバルに捉えた形で投資をしていくようにするために、その情報が見えるような環境設定をしたのが今回のシステムです。

具体的に投資案件が計画に対しどのように使われているかを月次で確認もしていきます。

また遊休設備の活用のために、国内外の設備を掲示板にて売り・買いが出来て、既存設備の有効活用と投資抑制を狙って行きます。

6 拠点情報の相互活用

毎月拠点から入手頂いている経営・生産に関わる情報も、この中で見えるように考えております。拠点のモノづくり情報に対して YMC 関連部門との意見交換ができ、拠点の不具合・課題に対する早期取り組み、解決が図られる状態を作り込んでいく事を狙っております。

7 国内外情報とセキュリティレベル

このしくみは社内イントラを海外でも活用していく方法です。接続方法はフレームリレーあるいはVPN（バーチャルプライベートネット）を各拠点が選択しています。スピードも夫々の契約／インフラ状況で異なっており、スピードが遅い拠点では多少のストレスを感じる可能性はありますが、徐々に改善されることを期待しております。

今回の共有情報は海外拠点のみならず国内関連会社もこの中で情報管理するようになっており、海外拠点と国内関連会社間では情報開示レベルを制約しております。またYMCは部門マトリックス＋職位テーブルで閲覧可否を定義しており、それぞれの関連の部門・職位の方が閲覧できるようにしております。セキュリティにつきましては先に稼動している情報ステーションと同様であり、情報漏洩については万全を期します。

8 次のステップ

第3国輸出（完成車・部品）の広がりにより、今後は海外拠点内の製造職場状況、生産準備状況、工場管理方法のガイド、部品取引先情報、部品品質レベル情報、等の情報共有化が求められることが予測され、その具現化を進めて参ります。

8.1 モノづくり；開発・生産準備の充実

海外生産拠点の開発・生産準備の対応力については各拠点のレベル差があり、ローカルスタッフがCE（コンカレント・エンジニアリング）活動から噛み込み出来る拠点、または、駐在員あるいはSySメンバーがかなりの割合で業務推進をしていかなければならない拠点があります。このステップでは、本社と拠点との開発・生産準備業務連携を効率よく進めていくには、どんな情報を共有していけば良いのかを関連部門と検討し提供していきます。例えば、職場配置、人員体制、ライン構成、設備仕様、マンマシンチャート、稼動率等を見せるか否かを詰めて行き、現行の改善・新機種導入時の各種計画に活用できるような情報を共有化して参ります。

別の視点では、各拠点の改善・改革事例等の情報がここで見れるような場にもなるかと考えられます。例えば拠点毎のTPM（Total Productive Maintenance）活動紹介、あるいは拠点の強さをアピールできるような情報もあります。この中には過去YMCが海外拠点にリコメンドしたモノづくり評価・管理技術評価といった実力調査・強化シートも考えられます。

8.2 調達情報一覧

海外にどのような取引先があるのか？このような質問が多く聞かれるようになってきました。中国、ASEAN 取引先情報（概要、主要生産品目、設備、モノづくり評価）はすでにデータベースがあり、将来的にそのデータベースとの連携を図って行きます。

8.3 共通システムのマニュアル・ガイド

現在 YMC の仕組みが YMC のみならず、海外でも活用されるケースが増えてきています。各プロジェクトでシステムについての説明書、取り扱い書、運用書等が作成されています。それが徐々に見えないようになる、見なくなる、というような場面も想定できます。

このような事柄は、人事異動等により徐々にあるべき姿から薄まった運用になってしまう、あるいはこのように改善したという方法が一拠点で埋没してしまうという事が考えられますが、そうならないように、共通の場に常に見えるようにし改善を織り込める環境にして行きます。

8.4 固定資産管理の拡大

今回は設備売買機能を入れました。それとグループ固定資産全体との関連が見えるようにしていくことも検討しております。グループ内設備が“どこにどんなものを保有しどの程度の活用度”であるかを繋げ、固定資産の最適化（適材適所）ができるようにと考えております。

以上述べました様に、グローバルなモノづくり活動における情報の共有化については様々な活用方法が考えられます。YMC グループのニーズを確認し優先順位を付け、次の姿を決めていきたいと考えます。またユーザーも YMC 主体でなく、YMC と海外拠点が双方向でユーザーになるような情報を共有化したく考えます。

9 おわりに

まず情報が確実に登録されることをお願いすると共に、ユーザーの方々が巧く活用することを期待しております。情報活用プロセスについて不具合点、ご指摘等ございましたらご連絡お願い致します。



海外開発 / 海外生産 特集

WV 誕生から 18 年の道のり

The 18 Years of Progress Since the Birth of the Water Vehicle

谷 聖志 Satoshi Tani

● ME カンパニー WV 技術統括室

Some seventeen years have passed since the first WaveRunner 500 went into production at Yamaha's Arai Factory in Oct. 1986 and the first WaveJammer in Jan. 1987. At the time development began on these models, the exchange rate for the Japanese yen was 240 to the U.S. dollar. When the yen exchange rate began to climb sharply and then fluctuate drastically in the ensuing years, production of these Water Vehicles was shifted to Yamaha Motor Manufacturing Corp. of America (YMMC), which was established shortly after production began at the Arai Factory, and they continue to be produced at YMMC today.

We decided to take a look back over the various Water Vehicle policies that have been implemented over the years in this case of "overseas development and overseas production" in hopes that a review will provide new insights that will be useful in determining policies for the future.

The roots of Yamaha Water Vehicles go back to a presentation of prototypes called the Power Ski and Wing Ski, which was held at YMUS in Sept. 1984. However, at that first presentation we found that due to the heavier average body weight of the American staff who were supposed to evaluate the prototypes, many of them were either unable to ride the craft that had been prepared or, if they could, the prototypes were so under-horsepowered that the ride wasn't even worth evaluating.

Taking impetus from that embarrassing mistake, a project was started at the Technical Division of YMC's Boat Operations aimed at developing a vehicle suitable for the average weight of Americans. Named the Micro Marine Vehicle (MMV) project, the goal was to put together prototypes for another presentation in one year's time.

This project was launched in Dec. 1984. The project team was selected from the Technical Division of YMC's Boat Operations and the Engine Technology Division of Sanshin Industries. The team had the following three development objectives.

1. To develop a single-passenger model that could hold its own against the Jet Ski and Surf Jet models already popular in the U.S.
2. To create a world's first 2-passenger (tandem) vehicle that was not a conventional boat
3. To develop a new engine and pump system that could be used on both the single passenger and 2-passenger models.

In just five month's time the project team completed five single-passenger prototypes and seven tandem prototypes. After evaluating the performance of these prototypes in Japan,

four tandem and two single-passenger models were selected for the presentation in the U.S. At the ensuing presentation held at YMUS in July 1985, official approval was given to begin development of a production tandem model.

The prototype at that time would become the WaveRunner 500, the world's first runabout type personal watercraft. (Photo shows prototype) Before entering the main text of this report, we show in the following table the main Yamaha Water Vehicle models that have been produced in the last 18 years.

1 はじめに

WR500 (Wave Runner 500) が 1986 年 10 月、WJ500 (Wave Jammer 500) が 1987 年 1 月に新居工場で生産スタートしてから 17 年が過ぎる。

開発スタート時の円レートは 1 ドル = 240 円だった。その後超円高の 1 ドル = 90 円の時代を経て、現在の 1 ドル = 120 円時代と言う激動の 18 年間である。円レートに連動して生産工場も新居工場でスタートしてすぐに YMMC (Yamaha Motor Manufacturing Corporation) が設立されたことにより YMMC へ移管され現在に至っている。

WV (Water Vehicle) 事業活動を「海外開発 / 海外生産」という切り口で見直した時、これまでに実施された数々の施策を振り返ることでこれからの施策を考えるヒントになれば幸いと思い、18 年間の施策をまとめることにした。

ヤマハ WV のルーツは 1984 年 9 月に YMUS (Yamaha Motor Corporation USA) で行なわれた (試作仮称) パワースキーとウイングスキーのプレゼンテーションである。

しかし、第一回目のプレゼンテーションでは、肝心の評価者であるアメリカ人スタッフの体重が重すぎて全然乗船出来なかったり、乗船出来ても馬力不足で評価に値しなかったのである。

その失敗を糧にして、アメリカ人の体重に会った乗り物を提案しようと、舟艇事業部技術部では MMV (Micro Marine Vehicle) プロジェクト (以下、PJ と略す) を結成し、1 年後にもう一度プレゼンテーションすることを目標とした。1984 年 12 月のことである。

PJ チームは舟艇事業部技術部と三信工業(株)エンジン技術部から選任された。PJ チームの開発課題は次の 3 点であった。

- (1) アメリカですでに好評を得ていたジェットスキーやサーフジェットに負けない 1 人乗りモデルの開発。
- (2) 世界初の 2 人乗りでボートではない新しい乗り物。
- (3) 1 人乗りモデルと 2 人乗りモデル両方に搭載できる新エンジン及びポンプ開発を行なう事。

PJ チームは僅か 5 ヶ月間にシングル 5 艇、タン



図 1 WR500 プロトタイプ

テム7艇のプロトタイプを製作した。日本で基本性能を評価した後タンDEM 4艇、シングル2艇をUSに持ち込み、1985年7月のYMUSプレゼンテーションに臨み、タンDEMの生産開発が正式に承認されたのである。

このときのタンDEMプロトタイプが世界初のランナバウト型WVとなるWR500である（図1）。

本題に入る前に18年間の主なモデルの流れを表にまとめたものが表1である。

表1 WVモデル年表

| 通称 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| WR500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| WJ500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SJ650/700 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| WR3/WR3GP | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MJ650M | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VXR/PRO-VXR | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FX700 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| WAVE BLASTER | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| WAVE RAIDER 700/1100/760 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Venture760/1100/700/XL1200/XL700 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| WAVE BLASTER II | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| WR-GP760/1200/800 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| XA1200/XLT1200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Exciter220/270/135 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LS2000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| WB800 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUV1200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GP1200R/1300R | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| XR1800 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FX140 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SR230 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

:1人乗りモデル
 :3人乗りモデル
 :ジェットボード

:2人乗りモデル
 :4人乗りモデル

2 WV 誕生期 WR500(1985 ~ 1986)

通称タンDEMと呼ばれていたWR500は、企画台数5,000台/年で計画されていたので、伝統的なハンドレイアップ成形を採用することを避けて、当時生産技術部で研究開発中のNew RTM（Resin Transfer Molding）工法を採用する事が決定された。

そのため工法開発とモデル開発を並行で進めなければならなかった。総力戦で計画通り1986年10月に新居工場で生産が開始され、1986年のシカゴショーで発表することが出来た（図2）。

世界初のランナバウトWVはUSで爆発的な人気のモデルとなり、同様に日本でもMarineJet 500 T/Sとして2モデルが発売され好評であった。1987年には第1回マリンジェットジャンボリーが浜名湖で開催出来るほどの人気であった（図5）。



図2 第28回シカゴショー発表での発表風景

我々開発陣は年間 20,000 台に増産対応できる量産工法の検討を行ない RTM 工法から SMC (Sheet Molding Compound) 工法への変更を決意した。

構造検討のために外注メーカーと共同で実艇の縦曲げ試験を実施した後データを基に SMC 構造設計を行い、1988 年には年間 20,000 台以上の量産化を実現した (図 6、7)。



図 3 航行テスト中の WJ500



図 4 WR500/WJ500 の PJ メンバー



図 5 第1回マリンジェットジャンボリー

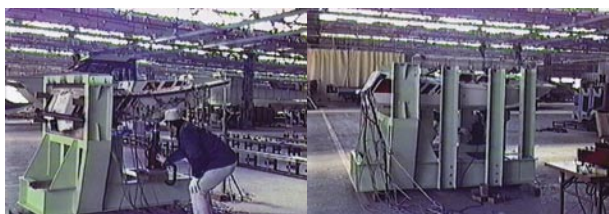


図 6 WR500 の実艇の縦曲げ試験装置



図 7 フロリダ耐久テスト場所近くのレンタル屋

3

North America PJ から YMMC へ (1986 ~ 1989)

同じ時期に NA (North America) PJ では、WV の US 生産の検討を始めていた。US の SMC ベンダー調査を 1986 年 9 月からスタートし、ある SMC ベンダーに決定された。その後 US 用 SMC 型を製作し、US の SMC 原材料を日本に輸入して US 仕様の成形条件を検証した。日本で航走耐久評価した後 US ベンダーで成形したハル、デッキを YMMC で組み立ててフロリダでの耐久テストを実施したが、成形条件が日本と US ベンダーでは異なっており、耐久テストでは艇体クラックが発生してしまった。その後何度も耐久テストを実施したが生産開始予定日までに OK となる仕様が完成出来なかった。数々の

チャージパターン変更後 2 ヶ月遅れでやっと生産開始することが出来たのである。

YMMC ではその間、新規採用した従業員に仕事を与える事が出来ずに作業訓練と草むしりの日々を送り、大変なプレッシャーで倒れてしまう駐在員もいたほどであった。1988 年 12 月ついに YMMC での記念すべき生産が開始された。WV を発売してから 3 年後のことである。

4 YMMC 生産モデルの増加期 (1988 ~ 1990)

1988 年以降、我々技術陣は WR3 (Wave Runner 3) と SJ (Super Jet) の並行開発に追われていた。当時は世界最大のモデルと最小のモデルの並行開発を行っていた。

4.1 WR 3

世界初の 3 人乗り WV となる WR3 の開発課題は、当時世界最大級の SMC 型開発と世界最大級の SMC プレスで成形することであった。日本で最大級の SMC プレスが導入され生産開始されたが、その巨大さと燃料タンク周辺の肉厚のためにハルの SMC 成形時にはキープタイムが長くなるモデルであった。

WR3 は WR500 に続く大ヒットモデルとなったので、営業要求を満たすために WR500 と同じく日本と YMMC 両方で SMC 艇を生産したモデルである (図 8)。

4.2 SJ

YMUS の熱望から 5 年後、ようやく生産スタートしたモデルである。

ハルは SMC、デッキとエンジンハッチはメトン、フローテーションはウレタン発泡を採用した。新材料、新工法を集約したヤマハ期待の 1 人乗りモデルである。1989 年 10 月に YMMC 生産スタートした。生産開始後もメトンの成形とウレタン発泡工程に細心の注意が必要であり、他モデルとの製造工程があまりにも異なっていたので生産効率向上のために 1993 年に製造工場を日本に移動した。YMMC での生産は 3 年半である。



図 8 日米両拠点で生産された WR 3 フロリダ耐久テスト艇

船形開発、構造開発、生産準備に時間のかかったモデルではあるが、その基本船形は 2002 年モデルまでトップレーサーに支持され、今なお 1 人乗りモデルにおいて業界トップシェアを誇るモデルである。ヤマハWV歴史上の最長寿命モデルである。13 年間でデッキの形状変更と材料の変更及びエンジンのパワーアップを実施しているが、ハル基本船形は同じである（図 9）。



図 9 初代 SJ650(上)と3代目 SJ700(下)

5 YMMC での SMC 内製化 PJ と SMC ベンダー変更 (WR650 と VXR650)

SMC の内製化による輸送費のコストダウン、自動車業界の景気の良し悪しに左右されがちな SMC ベンダーとの交渉を優位に進める事、ヤマハの持つ SMC 技術の現地化を目的に 1990 年 YMMC に SMC 内製化 PJ がスタートした（図 10、11）。対象モデルは WR の後継モデルとなる VXR と生産中の WR650LX であった。VXR 開発では SMC 型の US 移管まで順調に進んでいたが、突発事項により SMC 材料メーカーを変更しなければならなくなった。最初に材料開発が必要なモデルは量産体制に入っていた WR650LX である。新ベンダーの材料選択の時間的余裕はなく、なんと生試トライ時に 13 種類の材料及びチャージパターン違いの耐久テスト艇を製作した。その後、テンポラリーアルバイトを 20 名以上雇って同時に 13 台の耐久テストを実施するというアメリカならではの裏技で何とか WR650LX の材料変開発を終えて、直ちに VXR に共用して VXR の生産開始目標を達成したのである。

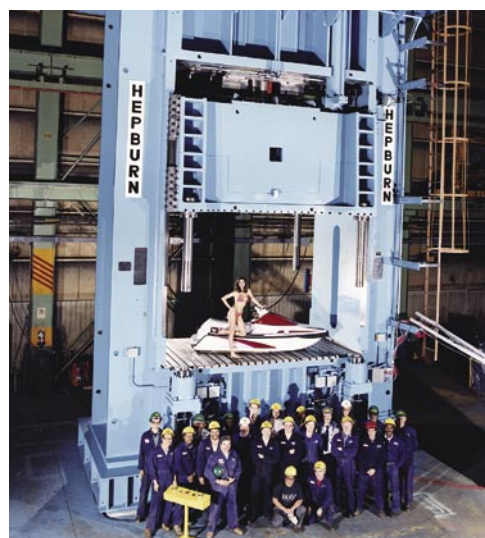


図 10 YMMC の SMC プレス



図 11 SMC プレスのテープカット



図 12 最初に成形されたハル1号機



図 13 テスト前の VXR650

6 業界の馬力競争スピード競争の開始 (Raider700/1100 と /Venture700/1100)

1993 年以降WV業界の需要は爆発的に伸びた。同時にスピード競争の時代に突入してゆく。

6.1 ハンドレイアップ導入調査 PJ

YMMCでは、スピード競争に備えて艇体のハンドレイアップによる軽量化と短期開発化の検討PJを推進した。全米のボートビルダー 8 社とその他の FRP (Fiber Reinforced Plastics) のメーカー 3 社を訪問しベンダー毎の品質およびコスト競争力評価を実施し、Raider700 艇体製造の社外ベンダーを決定した。しかしWV需要が増大する中で SMC 艇のコストの方が安い事、エンジン開発計画を見ると 1995 モデルでは 3 気筒エンジンが搭載され今後の主流となる見込みであることより、1994 モデルのハンドレイアップモデルは日本で生産し、YMMC では 1995 モデルに新エンジンを搭載して立ち上げる事になった (図 14)。



図 14 大船渡製のハンドレイアップ Raider700

実際に US 工場ハンドレイアップ艇を製造するのは 1993 年の PJ 調査から 5 年後 TWI (Tennessee Watercraft INC.) でのことである。当事調査したボートビルダーのひとつに Cobia Boat があり、数年後に YMUS により買収されジェットボート製造拠点の TWI となった。

6.2 高強度 SMC 開発 PJ

1995 モデルの開発目標値は出力 81kW (110PS)、新開発 3 気筒エンジンを搭載して時速 89km/h (55mph) 以上であった。従来の SMC 強度では板厚を増すしか方法はないが、重量が増加し成形時間が長くなる。結果としてコストアップになるので SMC のガラスコンテンツを高めて同じ板厚で高強度を目指す高強度 SMC 材を開発することになった。試行錯誤の後ウーブンロービングプリプレグを開発し、SMC の異方性改善と高強度の両立を計ることが出来た。以前のモデルでは SMC 成形後に RFM (補強材) を弱い部分に接着していたが Venture では RFM なしで耐久テストをクリアすることが出来たのである。1995 年には YMMC で生産台数は倍増し、年間約 5.7 万台の WV 生産を達成し WV 事業の収益向上に多大に貢献した (図 15、16)。



図 15 YMMC で組み立てられる Raider1100



図 16 レスキューシリーズも設定された Venture シリーズ

7 NAFTA (North American Free Trade Agreement) 現地調達率 50%

1993 年以降の超円高の中 YMMC では現地調達率 50% 実現に向けた取り組みも重要なテーマであった。対象モデルは Raider700/1100、Venture700/1100、GP760/1200 の 6 モデル。開発の中で前記の高強度 SMC 開発 PJ と並行して C&G (カラー & グラフィック) の現地開発及び現地調達化 PJ、ジェットポンプ現地調達 PJ を推進し現地調達率向上を目指していた。1995 年には全米のグラフィックベンダー調査とアルミベンダー調査を実施し、C&G の現地調達化とジェットポンプ部品の現地調達化とジェットポンプ組み立ての内製化を実現した (図 17、18)。これらの成果により 1996 年モデルの Venture700 で初めて現地調達率 50% を達成することが出来た。しかしその後の WV 業界の馬力競争と環境対応による CKD (Complete Knocked-Down) 価格の上昇で NAFTA 基準の現地調達率 50% を超えるモデルは存在していない。



図 17 初めて現地調達されたグラフィック



図 18 YMMC に設置されたジェットポンプ組み立てライン

艇体の大型化のための重要なコストダウンとして、梱包仕様変更によるコストダウンも検討した。YMMC では Venture 開発時は幅の広い艇体を水平に梱包していた。この仕様ではコンテナに横 1 列しか搭載出来ない。今までのモデルは横 2 列搭載できたのでコンテナ輸送費が 2 倍かかってしまう。輸送費低減を求める YMUS 営業の声に対応して、YMMC では輸送費削減の為に画期的な斜め梱包仕様を確立し、梱包幅を今までの寸法に収める事に成功した。斜め梱包法は試行錯誤が必要であったが輸送費は半減する。現在では 3 人乗りモデルの梱包法としてヤマハ発動機以外のメーカーも多数採用している方法であり、現在の WV 市場が 3 人乗りモデル中心となるきっかけとなる輸送方法であった。

8 時速 60 マイルの時代 (GP760/1200)

業界のスピード競争は更に激化し、目標スピード 97km/h(60mph) に突入していた。他社が比重の軽いハンドレイアップ工法であるので、SMC の低比重化が非常に重要なテーマであった。

YMMC では材料ベンダーと共同開発して一般の SMC 材より 1 割軽い SMC 材料の開発を進めて 1997 モデルの GP シリーズに採用し、GP1200R に受け継がれている (図 19、20)。



図 19 軽量 SMC 採用の GP760 生産艇



図 20 軽量 SMC 採用艇の GP1200R 試作艇

9 全体製造コストの 30%削減計画 (XLT1200)

1996 年以降の更なる馬力競争や環境対策によるコストアップに対応する為に、YMMC では敷地の近くに YMMC 第二ラボを設置した。第二ラボでの研究により低圧ウレタン発泡技術の開発とハルライナー構造の評価を GP1200R を利用して行ない、艇体の縦剛性アップとコストダウンを実現できるハルライナー構造を実現した (図 21)。

1999 モデルの XLT1200 以降のモデルはすべてハルライナー艇体構造を採用している。

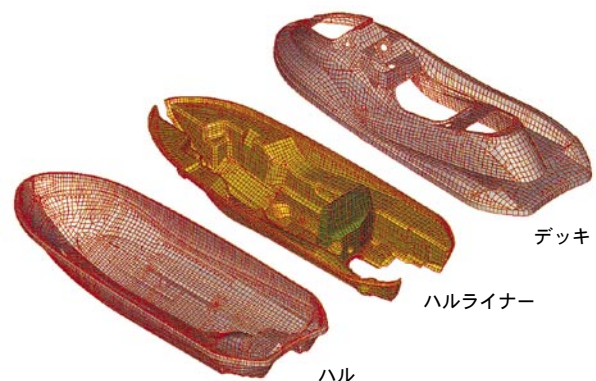


図 21 ハルライナー構造の XLT1200 の SMC 部品構成

10 YMUS の企画提案基地の設置 (1993 ~ 1998)

10.1 レイクハバス基地での開発

1993 年以降 YMUS の営業 / 企画チームはカリフォルニア R&D の中に WV チームを発足させた。さらにレイクハバス基地を整備したことにより US で製作したプロト艇で具体的な次期商品提案を行えるようにした。YMUS チーム提案のプロトを日本の開発陣が量産のための艇体形状の最終仕上げを行い、その後に YMMC で SMC 化及び生産展開を行う分業体制である。Raider700、Venture1100、GP1200、SUV、XLT、GPR、FX140 がレイクハバス基地からの商品提案モデルである（図 22、23）。



図 22 YMUS のレイクハバス基地で改造中の FX140



図 23 レイクハバスでのテスト風景（ポンツーンボートが移動基地である）

10.2 Jet Boat 現地開発と TWI (Exciter220)

1994 年以降ジェット推進をコアとした新商品として Jet Boat の開発が日本と YMUS で計画され、ハル性能開発は日本で行い、全体のコンセプトからデザイン全般を YMUS/R&D を中心に開発が進められ、製造は YMUS が買収した Cobia Boat で生産スタートした。Cobia Boat では 1 機種で年間 1,000 台以上の量産経験はなく、悪戦苦闘の連続で約 2 ヶ月遅れの生産開始となってしまったが、1997 モデル以降 Exciter220/270/135 のシリーズ化を行い、Exciter270 はその総合性能の高さで 1998 モデルの Jet Boat 市場で人気モデルとなった。その後 Cobia ブランドのボート製造はフロリダの Century



図 24 TWI で生産されている世界初の
4 人乗りモデルの SUV1200



図 25 US 現地開発モデルとなった
スポーツジェットボートシリーズの LS2000

Boat に全て移管され Cobia Boat は会社名を TWI へ変更された。

TWI は 1999 モデルの Jet Boat の LS2000 の開発において、US チームによる企画、艇体性能開発、製造までの一貫開発を実現している。同じ時期に SUV の製造準備も進めていて、世界初の 4 人乗りモデルの SUV1200 を 1999 モデルより現在まで生産している（図 24、25）。現在は 2003 モデルの SR230 の開発を進めている。

TWI は湖のほとりに位置していて、WV の開発基地として優れた立地条件である。ハンドレイアップ技術とその環境条件によりレイクハバスに代わる先行商品提案基地化が期待され、2001 年より開発の為に評価基地として評価設備を増強中であり、今後の発展が期待される（図 26）。



図 26 新設された WV 評価用の TWI 桟橋

11 おわりに

2000 年に WV 営業 / 企画グループは長年住み慣れたカリフォルニアを離れて、YMMC と同じジョージア州のケネソーに移動する事になった。ケネソーの YMUS とニューナンの YMMC を中心とした事業運営が可能となり、YMUS と YMMC と TWI が半径 200 km 以内に集結する体制が構築されている。2003 年には米州本部及び YMMC を中心とした新事業運営体制がスタートする予定である。

今後新体制の基に WV 事業効率化、高収益化のために WV 事業部が一致団結して競争力のある商品を生み出せるように努力して行きたい。



図 27 2003 MARINE JET

■著者



谷 聖志



海外開発 / 海外生産 特集

モリックの海外工場の現状と課題

Present Status and Issues Concerning Moric's Overseas Factories

渡邊 郁夫 Ikuo Watanabe

●(株)モリック代表取締役社長

Moric Co., Ltd. has proceeded to expand its overseas production bases in step with YMC's own movement into overseas manufacturing. Overseas production was begun by Moric in Taiwan and Indonesia in 1981, in Thailand in 1986, in China in 1995, in Italy in 1996 and in Vietnam in 2002. As for India, a problem arose with the labor union in 2000 that resulted in a withdrawal from the joint-venture, and plans have been made to launch a new company in 2003.

In Singapore, the company has a business and finance base named Moric Singapore to focus on the ASEAN and Chinese markets.

Since the start of Moric's move to overseas production in 1981, the company has come to have overseas bases in eight countries, five of which are joint ventures (including 100% Yamaha Motor Group ownership) and three of which are being given technical assistance support.

Taking 1980 as the starting point, Moric has now been involved in moving production overseas for 21 years. During this period the form this overseas business has taken is one in which Moric retains the product technologies and manufacturing technologies while the management work involved in running the overseas factories was handled by IIC, which Moric acquired as a 100%-owned subsidiary in 2000. Here we discuss the status and issues involved in these overseas operations.

1 はじめに

(株)モリックの海外進出は、ヤマハ発動機(株)の海外進出に歩調を合わせた形で進出してきた。

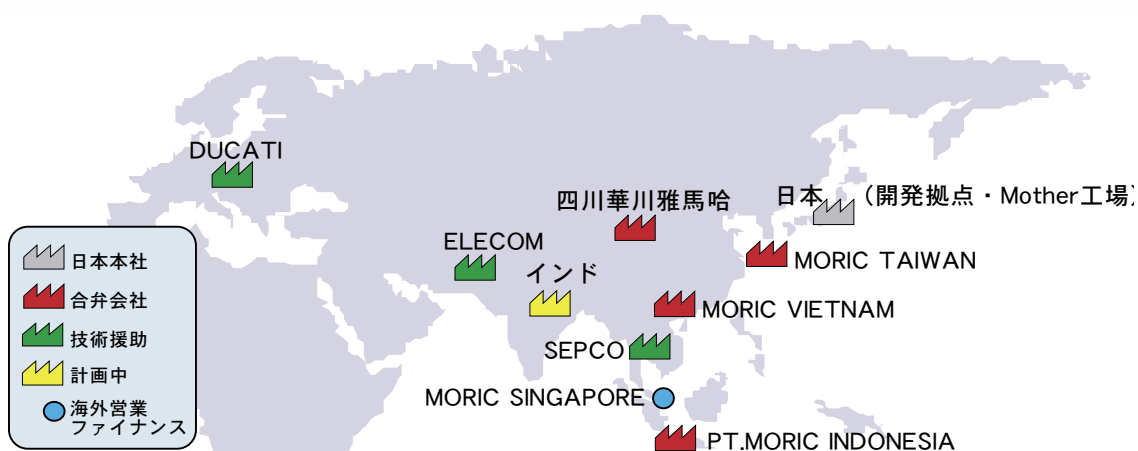
モリックの海外進出は1981年を第一歩とし、2002年度で計8ヶ国に進出し、合併（ヤマハ発動機グループ資本100%を含む）5社、技術援助3社を持つに至っている。

1980年代から現在まで21年間に渡り、海外へ工場進出していることになる。この期間の進出形態は海外進出及び海外工場の運営をIIC（2000年モリックと合併）、商品技術と生産技術をモリックが受け持つ構造で進められてきた。

台湾、インドネシアで1981年に生産を開始、タイで1986年に生産開始、1995年に中国で生産開始、1996年にイタリアで生産開始、ベトナムで2002年に生産開始、インドは2000年に組合問題で撤収、2003年を目標に新会社の設立を計画中である。

シンガポールにはASEAN及び中国を視野に、営業拠点及びファイナンスを目的としたMORICシンガポールを有している。

これらの海外工場の規模、生産品目については図1に、概要を図2に示す。



| 国名 | 拠点名 | 形態 | 資本金 | 生産開始 | 売上高 | 従業員 | 生産品目 | | | | | | | | | |
|--------|-------------|---------------------------|------------|----------|-------|-------|------|------|-------|---------|--------|-------|-----|------|------|---------|
| | | | | | | | MAG. | UNIT | MOTOR | IG COIL | SWITCH | METER | 灯火器 | REG. | HORN | F/Relay |
| 日本 | MORIC | | 約273百万円 | 1973年11月 | 160億円 | 約630名 | ● | ● | ● | ● | - | ● | - | - | - | - |
| 台湾 | M.Taiwan | 合併 (日本側出資: 100%) モリック75% | (約247百万円) | 1981年12月 | 20億円 | 約100名 | ● | ● | ● | ● | - | - | - | - | - | - |
| インドネシア | PT.MORIC | 合併 (日本側出資: 100%) モリック75% | (約600百万円) | 2002年1月 | 52億円 | 約800名 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| ベトナム | M.Vietnam | 独資 (日本側出資: 100%) モリック100% | (約24百万円) | 2002年10月 | - | 約10名 | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | - | - | - | ▲ | - | - |
| 中国 | SHY(四川華川) | 合併 (日本側出資: 50%) モリック20% | (約1200百万円) | 1995年4月 | 10億円 | 約300名 | ● | ● | ● | ● | ● | - | - | - | - | - |
| タイ | SEPCO | 技術援助 | (約140百万円) | 1986年12月 | 9億円 | 約100名 | ● | ● | ● | ▲ | ● | - | - | - | - | - |
| イタリア | DUCATI | 技術援助 | (約700百万円) | 1996年9月 | 38億円 | 約200名 | - | - | ● | (φ40のみ) | - | - | - | - | - | - |
| パキスタン | ELECOM | 技術援助 | | | | | ● | ● | - | - | ● | - | - | - | - | - |
| インド | 新会社 | | | | | | ● | ● | - | - | - | - | - | - | - | - |
| シンガポール | M.Singapore | 独資 (日本側出資: 100%) モリック100% | (約132百万円) | 1997年11月 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

図1 モリック海外進出状況

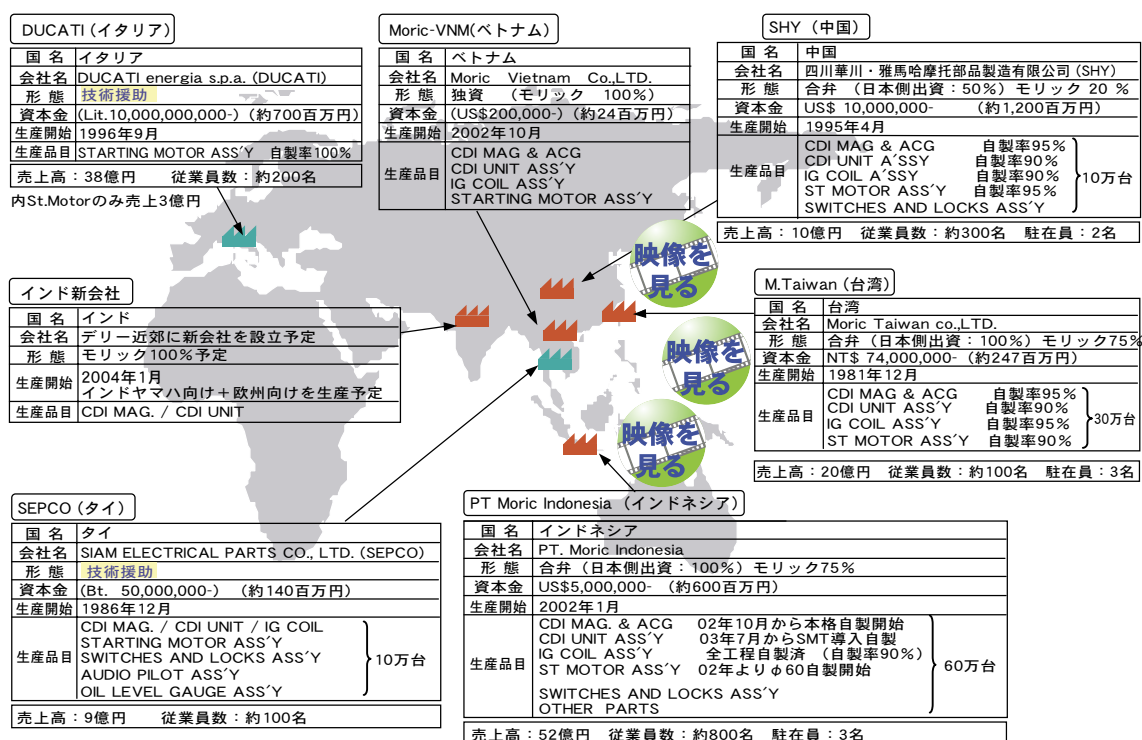


図2 モリック海外生産拠点の概要 2002

過去 21 年に渡る海外進出は各国の経済政策に対応し、市場を確保する為の手段として、簡単な部品の組立工程を持つ工場から始まり、現在では市場でのコスト競争を反映し、ベトナム、インドネシアを除く地域で 90%～95%の現地化を達成している。

しかし、過去 21 年に渡る海外進出はモリック、IIC 共同体の意思として目的を明確にし、戦略的に展開したものではなかったことも事実である。基本的に受身の展開と言って良いと思う。

だが現実には 8 ケ国に合併（ヤマハ発動機グループ資本 100% を含む）5 社、技術援助 3 社を運営している事実があり、主要 4 社（台湾、インドネシア、中国、タイ）の 2001 年度の売上は 76 億円規模に育っている。

今後 2003 年度から 2007 年度にかけて、主要 6 カ国でのモーターサイクルの生産規模をヤマハ発動機の中期計画で見ると、170 万台から 380 万台規模へ拡大していくことになっている。モリックの海外工場の売上規模で評価すると、80 億円から 180 億円規模へ拡大していくことが予測される（図 3）。このことは、現在のモリックのエンジン電装売上 100 億円を超え、約 2 倍の規模になることを示している。完成車におけるエンジン電装の重要性から考えると、今後の海外におけるエンジン電装を生産する工場の重要性が十分認識されて良いと考える。

モリックの 2001 年度の売上構成は、エンジン電装 60%、PAS（電動ハイブリッド自転車）20%、自動車他が 20%となっている。これまで以上に海外へ電装品が生産シフトしていくことになると思うが、モリック日本とモリック海外工場の連結売上が 400 億円から 500 億円になる日も、ここ 3～4 年後には来ることが現実のものとして予測される現状にきている。

一方、海外工場の現状を見ると、現地工場と現地のコンペティターの品質およびコストデータが十分把

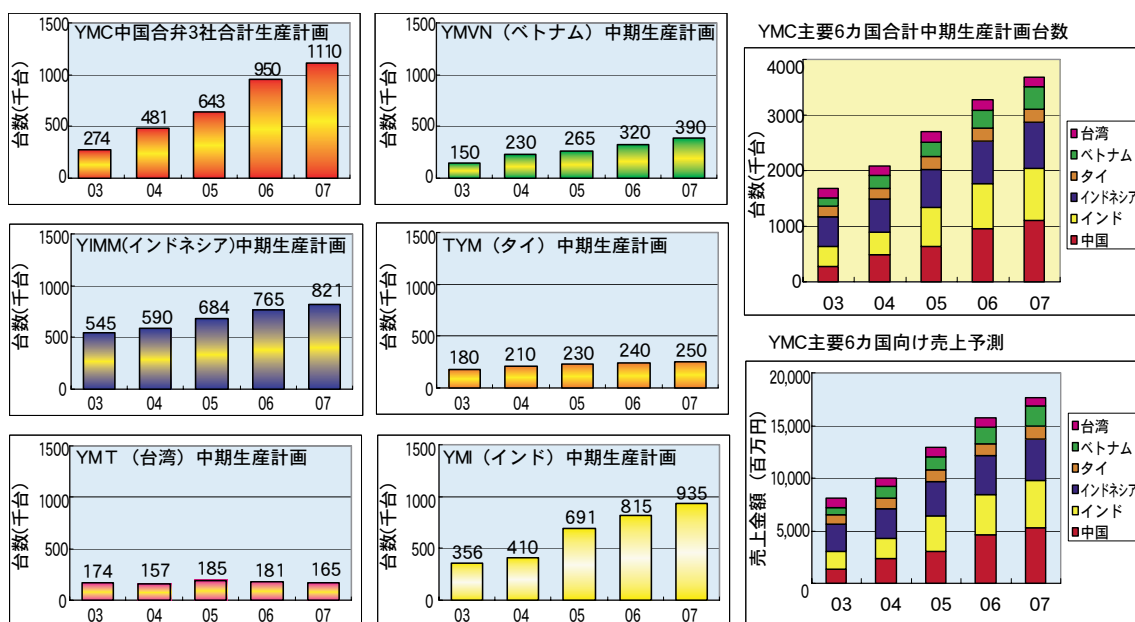


図 3 海外生産事業の状況（主要地域中期生産計画）

握されていない、各国の部品メーカーの QCD (Quality, Cost & Delivery) の評価ができていない、各国間の QCD のデータが共有化されていないなどの問題がある。このような状況下で、部品の補完、製品の補完を各国の強み弱みを知り、投資の効率化やデリバリーの短縮を含むネットワーク構想を実現するにはあまりにも感覚的な話になり、実力のある協力体制を構築することは難しい状況にあるとしか思えない。

3 各国の強みを活用することが大切！

以上の現実を認識し、各国の強みを活用し、ヤマハ発動機グループの利益とモリックグループの利益を両立させる活動を行っていくことが、今、最も重要な施策として実施していくことが大切だと認識している。

2002 年 10 月に海外営業部を設立し、海外営業課と海外生産グループを改め海外生産推進課を一つのマネジメントで運営することにした。これは海外工場の生産品目及び部品の世界調達、各国ヤマハ発動機工場の生産動向、新製品計画を早期に把握し、円滑な生産供給、早期な現地化計画等、十分な準備を可能にすることが狙いである。また、余裕のある活動を目的にシンガポールに営業を駐在させ、ASEAN、中国をそのテリトリーとして活動することにした。

海外工場を円滑に運営し、且つ、モリック日本の海外支援を過不足なく実行する為に、海外工場との技術援助契約の内容を見直し、特許、商標の使用許諾を中心とした内容へ変更していくことを進めている。

品質の向上、生産性向上、人の能力向上を目的に、合併、技術援助を問わず各工場に TPM（全員参加の生産保全）活動を導入、推進していくことにしている。

現在、台湾モリックが TPM 優秀賞を取得し継続賞へ挑戦している状況にある。2002 年から、インドネシア、中国が TPM をにらんだ 5S（整理・整頓・清掃・清潔・しつけ）活動に着手する状況にある。

さらに各国工場の社長をメンバーとした社長会を年 2 回定期的に開催し、各種情報の共有化、部品補完に関する協力体制を構築し、戦闘力のある海外工場グループへ変身していきたいと考えている。

4 おわりに

以上、現状と課題について簡単に述べてきましたが、実現に向けてのエネルギーは膨大です。各関連部門の皆様とコミュニケーションを密に、協力して実現させていきたいと考えています。是非ご協力のほどお願い致します。

■著者



渡邊 郁夫

製品紹介

4 ストローク スノーモビル RX-1

4-stroke Snowmobile RX-1

中野 太久二 Takuji Nakano 窪田 隆彦 Takahiko Kubota
 宮崎 政直 Masanao Miyazaki 西嶋 進一 Shinichi Nishijima 泉 徹 Tooru Izumi
 蘆田 尚志 Takashi Ashida 甲斐 学 Manabu Kai 土井 伸二 Shinji Doi
 ● 第 3PM 室 / ボディ開発室 / エンジン開発室 / 技術開発室



図 1 RX-1

In order to fulfill their purpose of running over snow surfaces at high speeds, snowmobiles require a power unit with a fine balance of light weight and high power output. By this definition, the 2-stroke engine is an ideal power source for the purpose. With the present concerns for preserving the global environment, there is a movement to impose exhaust emission regulations on snowmobiles by the year 2005. Furthermore, there have been high expectations from the marketplace for a next generation of snowmobiles that offer "something new." The RX-1 is a 4-stroke engine powered snowmobile that was developed to answer these changing needs of the times while providing the kind of excitement and satisfaction that exceeds the customers' expectations.

1 はじめに

スノーモビル（以下 SMB という。）は、雪上を高速で走行するため、軽量、高出力を高い次元でバランスさせた動力源が求められている。2 ストロークエンジンは、その点において、まさにうってつけの原動機であった。現在、地球環境保護の観点から SMB に対して 2005 年から排気ガスを規制化する動きがある。更に、市場から Something New を求め次世代の SMB を待望する声も上がっていた。

RX-1（図 1）はこのような時代の変化の中、環境への配慮、お客様の期待と想像を越える感動を提供すべく開発された商品である。

2 コンセプトと開発の狙い

『Advanced Aggressive Performance Trail』SMB をコンセプトに、『業界初の、圧倒的パワーを誇る4ストロークエンジンと、軽快感のある扱い易さを両立した新世代のトレールマシン』を主題とした。開発の狙いは、

(1) 圧倒的パワーを誇る4ストロークエンジン

- ・ 2ストロークトレール車を大幅に超えるエンジン性能を得る。
- ・ トップパフォーマンスクラスに挑める高速走行ポテンシャルを持つ 車両運動特性とする。
- ・ 中低速域での無類のヒット感 / 加速性能を達成する。

(2) トレール車としての乗り易さ

- ・ 俊敏な動きとシャープなハンドリングを実現するサスペンションとする。
- ・ 車両特性の絶妙なバランスからの軽快感と操り易さを演出する。

(3) 一目で既存商品との識別が出来る、記号性のあるスタイリング

- ・ 斬新で無駄のない、戦闘的なイメージを具現化する。とした。

それぞれの項目を高次元で達成した仕様を以下に述べる。RX-1の仕様諸元（表1）、キーフィーチャー（図2）を示す。

表1 仕様諸元

| 項目 | 諸元値 |
|-------------------------|--------------------------|
| 全長 | 2,755mm |
| 全幅 | 1,210mm |
| 全高 | 1,190mm |
| 排気量 | 998cm ³ |
| 気筒数・配列 | 並列 4 気筒 DOHC |
| ボア×ストローク | 74 × 58 mm |
| 圧縮比 | 11.8 |
| バルブ数 | 5 バルブ／気筒 |
| 冷却方式 | 水冷 |
| 潤滑方式 | ドライサンプ |
| キャブレタ形式 | BSR37 × 4 連装 |
| 点火方式 | デジタル D.C. C.D.I. |
| エキゾーストパイプ・マフラ形式 | 4-2-1-2 |
| 変速機 | V ベルト自動変速機 |
| ブレーキ形式 | 対向ピストン |
| スキー形式 | 樹脂スキー |
| スキースタンス | 1,069 mm |
| フロントサスペンション形式 | インディペンデントダブルウィッシュボーン |
| フロントサスペンショントラベル | 229 mm |
| リアサスペンション形式 | クイックアジャスト機構付 プロアクション プラス |
| リアサスペンショントラベル | 292 mm |
| トラックベルトサイズ（幅×周長×パターン高さ） | 381 × 3,073 × 25.4 mm |
| 燃料タンク容量 | 38 L |
| オイルタンク容量 | 3.8 L |



図2 フィーチャーマップ

3 エンジン概要

3.1 モーターサイクル YZF-R1 の DNA（遺伝子）

過去 4 回に渡る 4 ストロークの SMB R&D 結果は、モーターサイクルのエンジンを SMB のシャーシに搭載しても車両の前側の質量が大きくなり過ぎ、機敏な動き、シャープなハンドリングを実現することは困難であると示唆していた。また、超軽量、高出力エンジンでなくては SMB スポーツモデルとしては成立しないことを明確にしていた。

『4 ストロークの SMB』という新しい Excitement と Quality の提案を選択した時点で、RX-1 のコンセプトは、YZF-R1 のコンセプト、『高いエンジンパフォーマンスと、ライダーの操作に対するリニアで、かつダイレクトな応答、により、ライダーに最高のエキサイトメントを与える。』と同じベクトルとすべきであると考えた。現時点で RX-1 のコンセプトを実現できる素材として YZF-R1 のエンジンは最適であった。RX-1 エンジンとして、コンパクト化のためにオイル潤滑方式をドライサンプとし、V ベルト自動変速機を使うための出力軸構造を新設計した。更に、クランク、クランクケース、冷却系、キャブレタ、マフラ、減速軸まわりを新設計とした。エンジン性能に寄与が大きいカムシャフト、吸気排気バルブ、燃焼室形状は、YZF-R1 と共通とした。RX-1 は、YZF-R1 の知的財産を有機的に活用し SMB 独自の課題解決に重点を置いた開発とし、短期間で RX-1 を実現させる道を選択した。

3.2 ドライサンプ化とオイルタンク

エンジン高を下げるため、またオフロード走行でも安定した潤滑を実現するためにオイルパンを排除しドライサンプ方式を採用した。また、ピッチング姿勢変化を伴う加減速時、オフロード走行時でも安定してオイルを供給するためスワール通路を形成したオイルタンクを採用した（図3）。

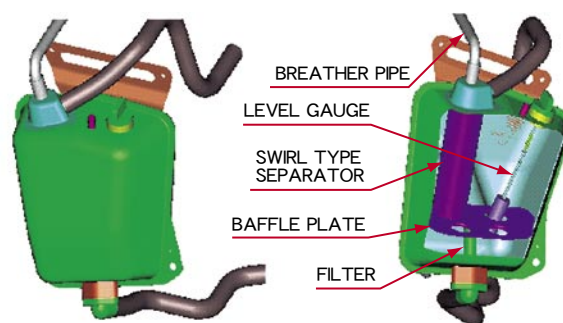


図3 オイルタンク

3.3 クランク軸、クラッチ軸、補機軸の3軸レイアウト

クランク軸から減速しクラッチ軸を駆動するリダクションシステムを持つ。エンジンの高回転出力を確保しつつ、クラッチ回転速度を抑えVベルトの耐久性を確保した。補機軸を含めた3軸を三角形配置する方式を採用した。これにより、エンジン前後幅を最小限に抑え、車両の低位置レイアウトを実現し車両の低重心化を実現した（図4）。



図4 クランク軸、クラッチ軸、補機軸の配置

3.4 4-2-1-2 集合排気管

排気抵抗を最小に抑えつつ、排気騒音を最小にし、静粛性と低回転の高トルクと最高回転の高出力を高次元でバランスさせたRX-1特有のレイアウトである（図5）。

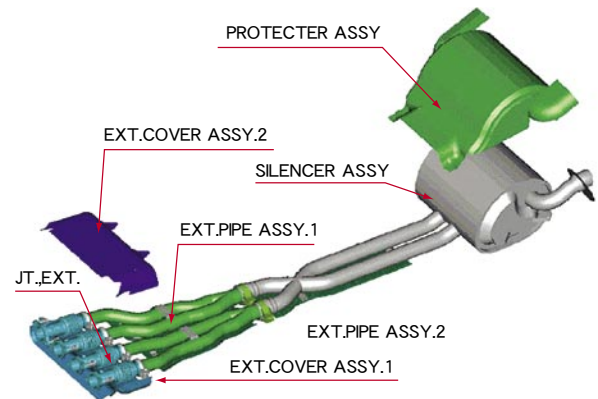


図5 4-2-1-2 集合排気管

3.5 キャブレタと希土類スタータ

Constant-Velocity ϕ 37mm キャブレタに冷却水（温水）ヒータと電気ヒータを配置、制御しアイシングを防ぐ機能を持つ。また、低温環境での安定したエンジン始動性を確保するため、希土類磁石を使用した小型軽量、高出力モータを採用した。（従来モデルのSXV700 に対して質量7%アップで出力58%アップを達成した。） -30°C での始動を確保する上でこれらの技術が確立されたことがRX-1実現の大きな要素技術であると言える（図6）。

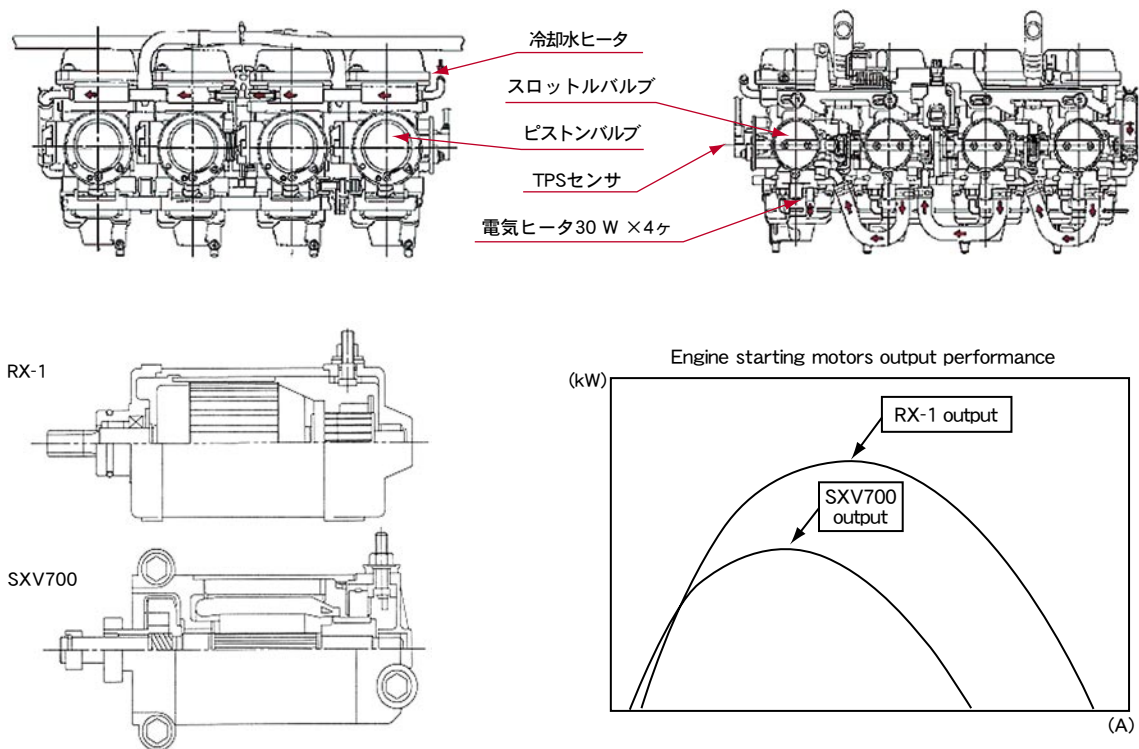


図6 Constant-Velocity ϕ 37mm キャブレタと希土類スタータモータ

4 車体概要

4.1 前方吸気、後方排気レイアウト

車両前側の質量アップを最小限とし優れた運動性能を発揮できるポテンシャルをもたせるため採用したレイアウトである（図7）。

一方、ハンドリングの新たな進歩を照準に、開発された構成でもある。単に4ストロークを搭載する為のフレームではなく、新しいハンドリングをも具現化したフレームを生み出したレイアウトである。

4.2 高剛性軽量アルミ材複合フレーム

新開発のダイカスト、押し出し材、展伸材のアルミ合金を適所に配置し軽量、高剛性を実現した。この軽量、高強度ダイカスト法は、最適材料、高真空、高圧力をコンピュータ制御して実現するHIVAC-Vシステムダイカスト法（日立金属株式会社）である。

押し出し材は、高ステアリング剛性の確保と高ステップ剛性を実現した。展伸材は、パネルフレーム、フットステップに採用しモノコックを構成している（図8）。以上の構成により既存モデルSRX700のフレームに対し約2倍の剛性を達成している。

4.3 ダブルウィッシュボーンフロントサスペンション

229mm ストロークの中で“0”バンプステアを実現し、安定した直進性を確保した。また、キャスタ変化なしを実現し、軽く安定したステアリング特性を発揮している。不等長アームと新ステアリングシステムにより、スキースタンス変化を最小とし唐突な振られ挙動も抑えている（図9）。

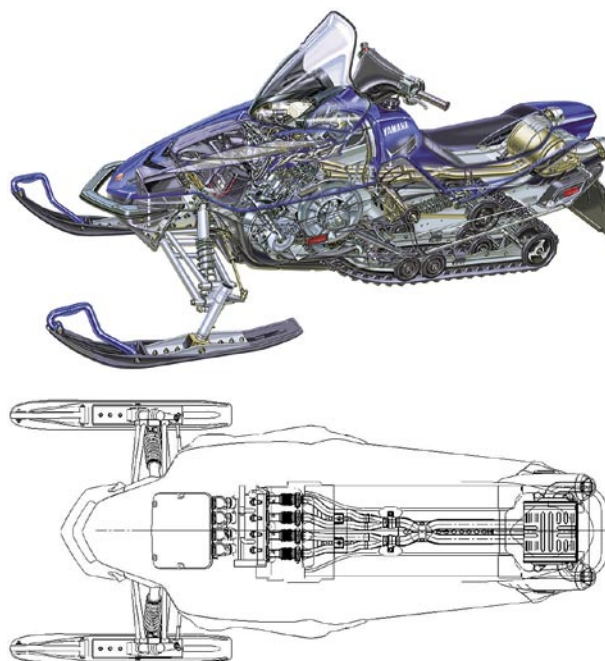
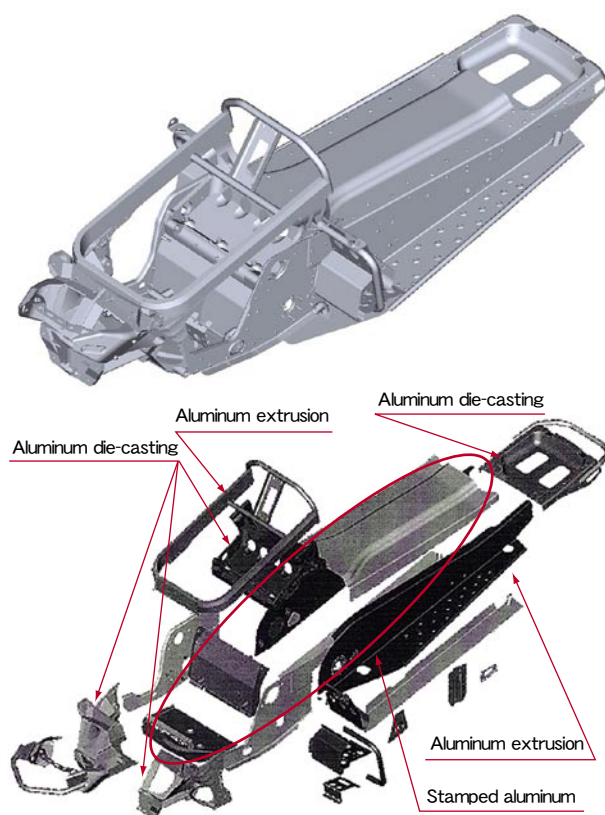


図7 エンジンレイアウト



| | SRX700 | RX-1 |
|------------------------------|--------|--------|
| Weight (g) | 34,250 | 30,185 |
| Torsional rigidity (N-m/deg) | 140 | 270 |

図8 アルミ複合フレーム

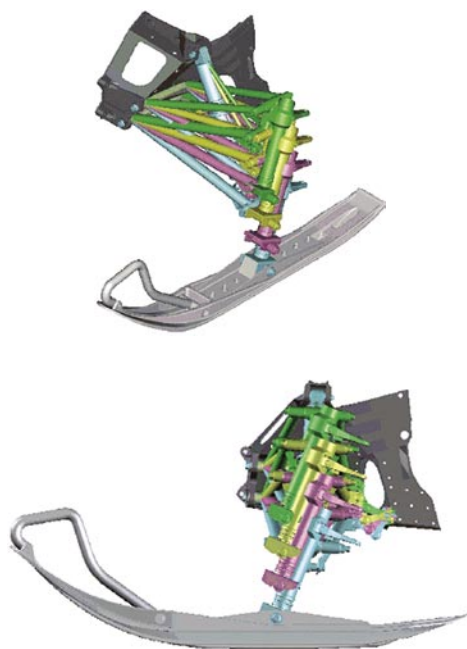
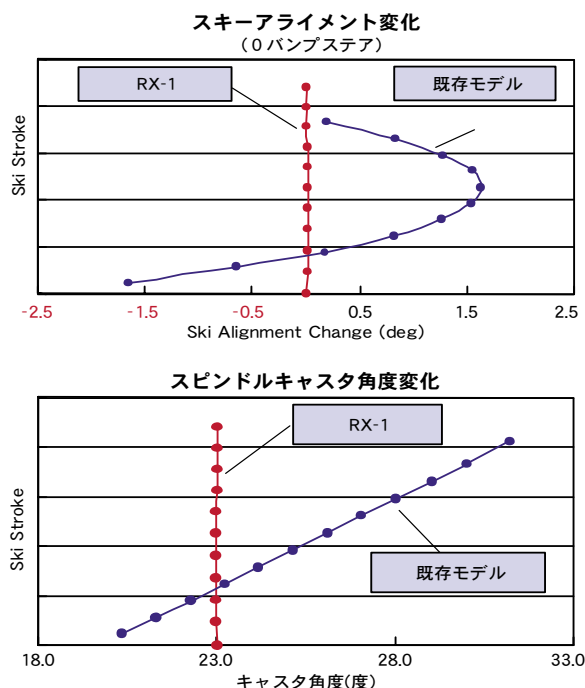


図9 ダブルウィッシュボーンサスペンション

4.4 軽量チェーンケースとベンチレーティッドブレーキディスク

ブレーキレイアウトをチェーンケースの外側配置とし外気導入冷却の効率アップにより優れたブレーキ性能を発揮する。新開発ブレーキディスクは、冷却フィン別体化による軽量化を達成した。同時に、新軽量パーキングブレーキを採用しケース形状の最適化により軽量化を達成した（図10）。

4.5 記号性のあるエクステリア

排気管を車両後方に配置すること、また計画段階から3D CAD (3-Dimensional Computer Aided Design) による検討により必要最小限のクリアランスを3次的に確保した結果、既存のSMBに対してフロントのエンジンルームの容量を縮小できた。これによりコンパクトでありながら力強さを表現したデザインを実現した。更に、燃料タンク部分から排気管部分まで伸びやかに流れるフローラインを形成でき、後方意匠も合わせて一見してRX-1であるとわかる記号性のあるエクステリアに仕上がった。

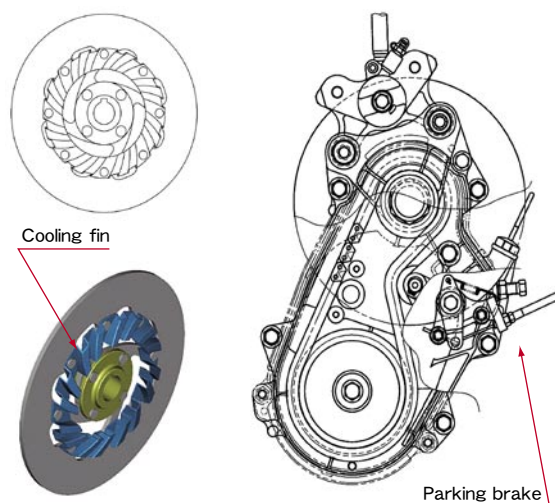


図10 チェーンケースとブレーキシステム

5

品質への取り組み

本モデルは、エンジン、シャーシともほぼ全点新規のため多くのトライ項目を設定していた。その中でも確実に品質を取りこんでいくために以下の点に重点化し対応した。

(1) CE（コンカレント・エンジニアリング）活動の拡張

コンセプト段階で主要部品メーカーに技術、調達要件を提示し、一定期間でご検討いただき、コンペティションという形でプレゼンテーションしていただき、多角的視点から評価し、メーカーを決定した。具体例としては、排気管、フレームダイカスト部品、フロントサスペンション、大物樹脂部品が上げられる。計画、設計から生産まで一貫して品質の作りこみをアウトソーシングしたことにより新技術（HIVAC-V システムダイカスト法）であるにも関わらず短期間で RX-1 へ採用できたことは大きな成果であった。

(2) 構想段階からの 3D CAD 計画

イメージ、レンダリングスケッチ段階から3次元の計画データをもとにデザイン、レイアウトの見直しを実施し、クレイモデル段階での製造要件の検討が進み、製品化における課題のつぶし込みが早期に実施できた。また、試作品が完成してからの初歩的な干渉問題等が激減し、本来の開発工程に集中でき、質の高い開発となった。

(3) 試作車を使った関連部門の事前検証

(2) の成果により早期の試作次元からサービス、製造、品質保証部門の検証ステージを設けより多くの視点での課題抽出、対応検討、対策織り込みが実施できた。また、FMEA(Failure Mode and Effects Analysis) により新構造、新機構の故障モードを推定し、要求品質を認識した上で、評価確認を実施し、仕様を決定した。

6 おわりに

インターネットでのモデル発表以降、YAMAHA サイトの過去最高のヒット数を記録し、各地の商品紹介也大盛況となり、現在予定を上回る予約をいただいている。

試乗体験しない中で、ここまでのお客様が受け入れてくださっている結果を見て我々の商品に対する思いが『4ストローク SMB スポーツモデル RX-1』という実像となってお客様に届けられることは、まさに社内外担当メンバー全員一丸となってチャレンジしてきた成果と考える。RX-1 は、SMB の新しい基軸を提示した。今後 RX-1 を旗頭に新しいYAMAHA SMB のラインナップを構築して、より多くのお客様に Excitement を提供しつづけていきたいと考えている。この紙面をお借りして 関係各位に感謝し、お礼を申し上げる。

●著者



中野 太久二

製品紹介

4 ストローク・モトクロッサー 「YZ450F」

4-stroke Motocrosser YZ450F

林 康男 Yasuo Hayashi 杉浦 義明 Yoshiaki Sugiura 櫻井 太輔 Taisuke Sakurai
 桂 健久 Takehisa Katsura 大森 二郎 Jirou Oomori 小川 一洋 Kazuhiro Ogawa
 永井 孝明 Takaaki Nagai
 ●エンジン開発室 / ボディ開発室



図1 4 ストローク・モトクロッサー 「YZ450F」

The YZ400F made its debut at the U.S. Dealer Show in June 1997 as a production motocrosser that featured technologies fed back from the YZM400F factory machine. Subsequently, the YZ400F was released on the Japanese, North American and European markets from the end of 1997 as the first 4-stroke production motocrosser ever by a Japanese maker.

Developed to be "the fastest 4-stroke motocrosser," the YZ400F took as its chassis base the chassis of the race-proven YZ250 and mounted in it a super-compact design 5-valve engine. The resulting machine won high acclaim from the market for its outstanding competitiveness and proceeded to create a sensation on the MX scene, which had been dominated by 2-stroke models, and to stimulate new demand in the market.

Two years later, in 2000, the engine was bored out to a displacement of 426cm³ and the frame further developed to produce the next evolution of this model, the YZ426F, which stands until today as a leading force in the market. The presence of these Yamaha 4-stroke production motocrossers has caused a big shift in the makeup of the market. The growth in 4-stroke models has been so dramatic that the ratio of 2-strokes to 4-strokes in the U.S. competition motocrosser market now stands at 6 : 4 in the 125cm³ and 250cm³ competition classes.

As the market has grown and the ratio of 2-strokes to 4-strokes has shifted, there has been a rising call from the marketplace for 4-stroke models that satisfy the needs of an even greater range of competition categories.

With these market needs in mind, our development aim with the new YZ450F was to go

beyond mere competitiveness with the 2-strokes in the pinnacle 250cm³ class in order to "develop the strongest motocrosser of all." With this concept, both the engine and the chassis were completely redesigned to create a machine that exceeds the expectations of the customers and stands as "the new standard in next-generation motocrossers."

1 はじめに

ファクトリーマシン YZM400F の技術をフィードバックした市販モトクロッサー YZ400F は、1997 年 6 月の US ディーラーショーにデビュー。日本製初の 4 ストローク市販モトクロッサー YZ400F は、同年末から日米欧市場で発売となった。

《最速 4 ストロークモトクロッサー》を具現化したこのモデルは、モトクロッサーとして多くの実績がある 2 ストローク YZ250 ベースの車体に、超小型 5 バルブエンジンを搭載したモデルで、その優れた戦闘力が高く評価された。そして本モデルは、従来 2 ストロークが主体であった MX シーンに一大セッションを巻き起こし、新しい需要を開拓した。

また 2 年後の 2000 年にはボアを拡大し、排気量を 426cm³ へアップするとともにフレームも一新した YZ426F へ進化し、このモデルは現在も市場の牽引役となっている。そしてこれらヤマハ 4 ストローク市販モトクロッサーは、市場勢力図を多く塗り替えている。近年、US モトクロス市場（125 及び 250 クラス）では、2 ストロークと 4 ストロークの比率が 6:4 と、後者の割合が飛躍的に拡大しつつある。

そしてこの市場拡大と 2 ストローク&4 ストロークのシェア変化に伴い、4 ストローク・モトクロッサーへのニーズも、より広いカテゴリーでの戦闘力を求める声が強くなる傾向にある。

このほど新開発の YZ450F（図 1）は、上記実績と傾向を背景に、最高峰クラスで 2 ストローク 250cm³ を凌駕する事はもちろん『最強のモトクロッサーの開発』をコンセプトに、エンジン・車体ともに新設計を行ない、顧客の予想を超える“次世代の 4 ストロークモトクロッサーの新基準”を具現化するものとして新開発したものである。

2 開発の狙いと設計構想

開発は、現行の YZ426F がもつ優れた性能をベースに、これを継承発展させつつ、① 2 ストロークを意識した軽量コンパクトな車づくり、② 4 ストロークの特性を活かしたモトクロッサー No.1 の操縦性の実現、③ 最強のパワーと扱いやすいエンジン特性の達成、④ 始動時操作性の向上、を技術的な狙いとした。

これに合わせ、4 ストロークの特性や FIM（国際モーターサイクリズム連盟）レギュレーションも含めた環境を再認識し、4 ストロークならではのメリットを最大限引き出す技術的施策と新技術を投入した。

2.1 4ストロークのメリットを生かした設計

この4ストロークのメリットとして次の点に着目した。① FIM レギュレーションに対し排気量アップが可能なこと、② 4ストロークはトラクションが優れること（エンジンプレーキが効くこと）③ パワーバンドが広いこと、④ 排気系の小型設計が可能なこと、⑤ 燃費が良好なこと、という点である。これらのアドバンテージを更に高めることを個別的課題としつつ、総合バランスに優れる製品開発を行なった。技術的施策の詳細は、

- (1) FIM レギュレーション枠を活用するために…………… 排気量をアップ（450cm³ 化）
- (2) 優れたトラクションを戦闘力に繋げるために…………… 慣性マスの最適化（レスポンス、操縦性向上）
- (3) パワーバンドが広いことを戦闘力に繋げるために… ワイドレシオ4速ミッション（守備範囲拡大）
- (4) 燃費がよいことを戦闘力に繋げるために…………… 燃料タンクの小容量化（マス集中化、体重移動性の向上）

などである。

2.2 新技術の導入

4ストローク・モトクロッサーをさらに高機能にバランスさせるために、以下の新技術を導入した。

- (1) チタンバルブに適した動弁系の設計 …………… ヘッドの小型化
- (2) 高強度バルブスプリング材の採用 …………… ロス馬力の低減
- (3) 小型オートデコンプの採用 …………… 始動操作性の向上と軽量化
- (4) ピストン剛性バランス見直し …………… 軽量化
- (5) 新オイルサーキュレーションシステムの採用 …………… 操縦性の向上
- (6) ポンピングロスの低減 …………… 性能向上
- (7) チタンエキゾーストパイプの採用 …………… 軽量化
- (8) 小型キャリパの採用 …………… ブレーキ性能向上 / 軽量化
- (9) ダイレクトイグニッションの採用 …………… 軽量化

そして、これら新フィーチャーの高次元のバランスを達成するために、全面新設計のスチール製セミダブルクレードルフレームを採用した。

このフレームは、鉄フレームならではの“しなやかさ”を活かしつつ、市販二輪車初となる超ハイテン材（超高張力鋼板）を主要部に投入し、縦・横・ねじりの剛性バランス最適化を行ない具現化したもの。上記施策との相乗効果で軽快感あるハンドリングを達成し、最高峰クラスで2ストローク250cm³を凌駕する事はもちろん、クラス最強の性能をもつ次世代4ストローク・モトクロッサーを誕生させた。図2に本モデルのフィーチャーマップ、表1に仕様諸元を示す。

3

主な特徴とフィーチャー



図2 フィーチャーマップ

3.1 エンジン関係

3.1.1 ストロークアップで優れた性能を実現する 450cm³ 新エンジン

水冷4ストローク DOHC 単気筒5バルブエンジン（図3）は、ストロークを従来の60.1mm から63.4mm へと拡大。燃焼室は、5バルブ配置の特色であるレンズ型燃焼室をベースに、燃焼室容量アップに伴う形状最適化を施した。95 × 63.4mm のボア×ストローク、12.5:1の圧縮比から、モトクロッサーに要求される優れた出力・トルク特性を実現している。

3.1.2 慣性マスの低減と4速ミッション化

2ストロークに近いレスポンスと軽快性を引出すためクランク軸回りの慣性モーメントを従来モデル比20%低減した。この超低慣性マスと、ワイドパワーバンドを融合させ、より良好なトラクションに結びつけるため、4速トランスミッションを採用した。これにより、2ストローク並みのレスポンスと軽快性、扱いやすいパワーバンドを具現化させることが可能となった。

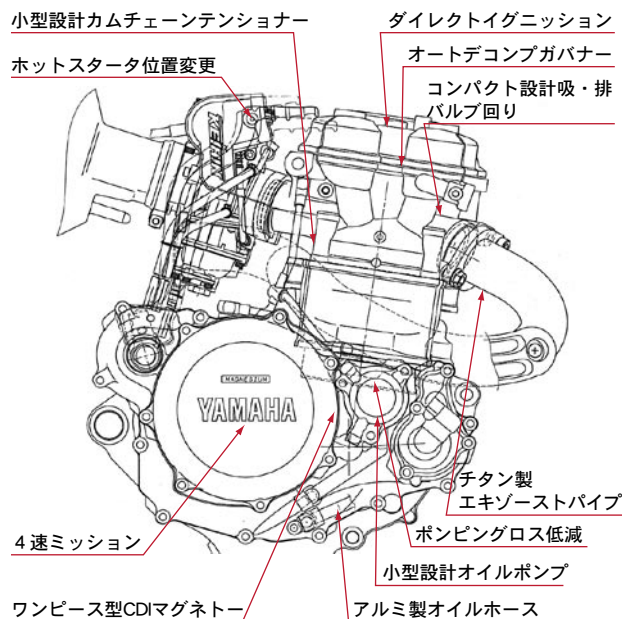


図3 エンジン

3.1.3 ロス馬力低減と小型化に寄与するチタン素材採用吸排バルブ

鉄比較で重量約 60%で強度に優れるチタン材採用の5バルブは、新たにチタン材に適したバルブ回りの設計を行なった。バルブスプリングの線径は現行のφ 2.6mm (IN) 2.7mm (EX) からφ 2.4mm へと小径化、バルブ長は7mm 短縮し、バルブ単体重量も従来比で6%軽量化。これと高強度材採用の新バルブスプリングとの組み合わせで、ロス馬力低減とヘッド回りのコンパクト化を図った(図4)。

この結果、シリンダヘッド高は100mm から93mm へ、カムピッチは78mm から75mm へ、ヘッド容量も従来比較で約1割コンパクトな仕上がりとなった(図5)。また、エンジン外観は、性能向上による俊敏さをイメージさせるために、シャープ感を演出するデザインを施し鮮烈度を強調した。

3.1.4 バランス最適化を図ったピストン

強度バランスの最適化を図った新作鍛造ピストンを採用した。天面形状の最適化、天面の薄肉設計、一層のショーツカート化(△1.6mm)などにより、強度バランスを確保しつつ軽量化を達成。これに伴い、ピストンピン径はφ 19mm からφ 18mm へと小径化、従来モデル比6%の往復重量を低減した(図6)。

表1 2003 年モデル『YZ450F』仕様緒元

| | |
|---------------|-------------------------------------------|
| 全長×全幅×全高 | 2,171 × 827 × 1,303 |
| シート高 | 995mm |
| 軸間距離 | 1,485mm |
| 最低地上高 | 371mm |
| 乾燥重量 | 100.5kg |
| 原動機種類 | 水冷4ストローク・DOHC5バルブ |
| 気筒数配列 | 単気筒 |
| 総排気量 | 449cm ³ |
| 内径×行程 | 95.0mm × 63.4mm |
| 圧縮比 | 12.5 : 1 |
| 最高出力 | 44.1kW (60.0PS) /9,000rpm |
| 最大トルク | 52.9N・m (5.4kgf・m) /6,500rpm |
| 始動方式 | キック |
| 潤滑方式 | ドライサンプ |
| エンジンオイル容量 | 1.2L |
| 燃料タンク容量 | 7.0L |
| キャブレタ型式 | FCR-MX39 |
| 点火方式 | C.D.I. |
| 1次減速比 / 2次減速比 | 2.818/3.429 |
| クラッチ形式 | 湿式多板コイルスプリング |
| 変速機形式 | 常時噛合式前進4段 |
| 変速比 | 1速 /1.929 2速 /1.563 3速 /1.278 4速 /1.05 |
| フレーム形式 | 鋼管セミダブルクレードル |
| キャスト / トレール | 27.2° /118mm |
| タイヤサイズ | 前 80/100 - 21 51M |
| | 後 110/90 - 19 62M |
| ブレーキ形式 | 前 油圧式シングルディスク |
| | 後 油圧式シングルディスク |
| 懸架方式 | 前 テレスコピック |
| | 後 スイングアーム |

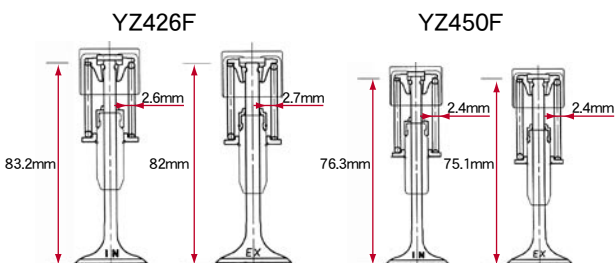


図4 吸排バルブ

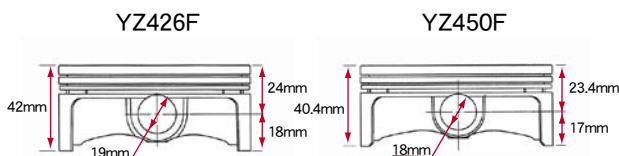


図6 新作鍛造ピストン

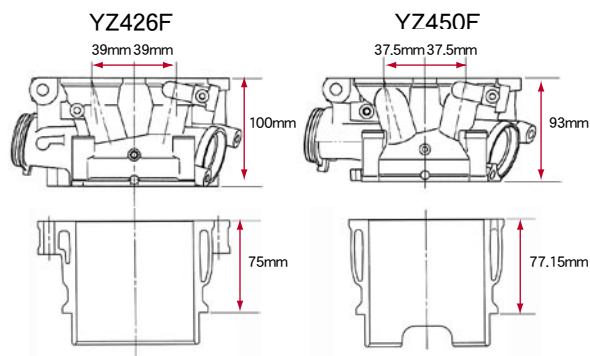


図5 新設計シリンダヘッド&シリンダボディ

3.1.5 小型オートデコンプ、手元ホットスタータ

小型オートデコンプ機構には、デコンプ用バルブを作動させるカム軸回りをコンパクト設計した軽量タイプを新たに採用した（図7）。このオートデコンプ採用により、キック軸回りの軽量化が可能となり、従来比較でトータル 140g 軽量化を達成した。

また、ハンドルから手を離さずに操作出来るホットスタータを採用（図8）。オートデコンプの効果は、手元ホットスタータ効果も加わり、従来モデルに比べ大幅な始動操作性を向上させている。

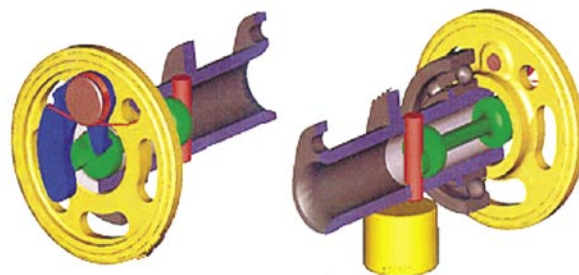


図7 小型オートデコンプ

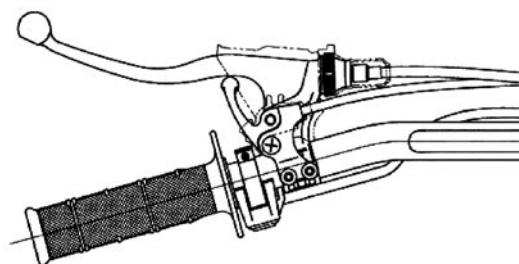


図8 ホットスタータレバー

3.1.6 最適セッティングを行なった FCR39H キャブレタ

FCR39H キャブレタは、現行モデルの優れたスペックをそのままに、450cm³ ニューエンジンに見合う最適セッティングを行なった。さらに、従来の樹脂製カバーに替えて、アルミダイキャスト製 O リングカバーを採用して優れた防塵性、防水性、信頼性を確保した（図9）。

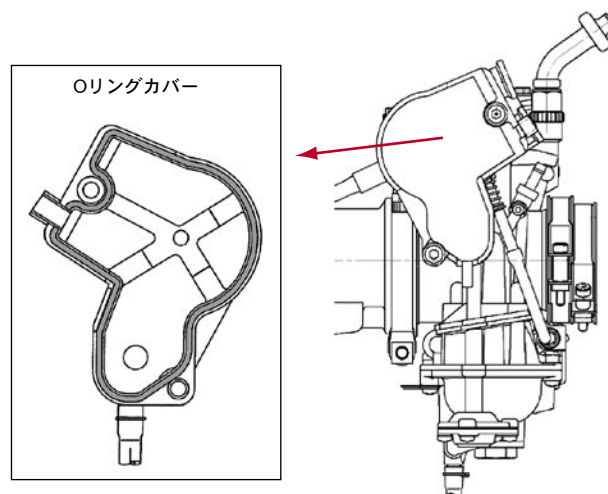


図9 キャブレタ

3.1.7 低重心化に貢献する新オイル循環システム

フレームのダウンチューブ部をオイル通路に活用するドライサンプ方式は、重量マス集中を図るため、ダウンチューブ側からエンジン側へのオイル戻し孔を従来比で約 200mm 低く配置するユニークな設計を施した。またこの新オイル潤滑システムは、フレーム内を通過するオイル量の容量ダウンが可能となり、重量マス集中をもたらし、ステアリング回りの軽快な操縦性に寄与している。

さらに、ケース及びボディシリンダへの潤滑孔を追加することにより、ポンピングロスの低減とオイルのより効率的な戻しが可能となった。新オイル潤滑システムの効果も加わり、オイル容量はウェットサンプ並みの 1.2L（従来は 1.5L）というオイル量設定が可能となった（図10）。

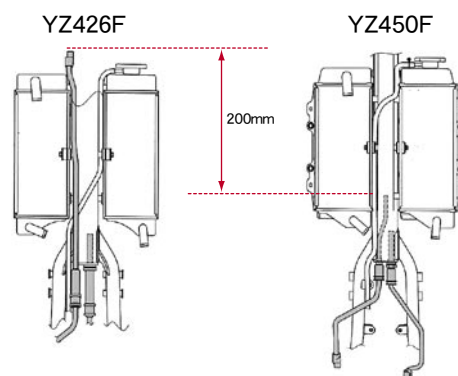


図10 新オイル循環システム

3.1.8 チタンエキゾーストパイプの採用

排気系の軽量化を図るため、軽量のチタン材を採用したエキゾーストパイプを装備した。エキゾーストパイプ回りで従来比約 30%の軽量化を達成し、車体軽量化に貢献している。

3.1.9 冷却性能の向上

排気量アップに対応し、冷却性能のアップを図った。軽量化・低重心化・ライディング・ポジションの自由度をバランスさせた“くさび型”ラジエタ・アウトレット形状は、冷却性アップに貢献。ラジエタ・コアは現行モデル同様ながらも、約5%の冷却性能向上を果たし、性能安定化を図った。

3.1.10 ダイレクト・イグニッションコイルの採用

ダイレクトイグニッションコイルを市販モトクロスサーとして初めて採用した。プラグキャップ内に昇圧装置を内蔵させ、従来モデル比較で約 110g の軽量化とコンパクト化を達成した。

3.2 車体関係

3.2.1 市販二輪車初、強度1GPaの超ハイテン材を投入したスチールフレーム

トラクションに優れる4ストロークの特徴を効果的に引出すことを狙いに新開発したスチール製セミダブルクレードルを採用した。従来モデルのフレーム比較で実に 1.5kg 軽量で、ライバル車のアルミ製フレームに比較してもさらに軽量なのが大きな特色である。

この軽量化は、独自の操縦安定性解析技術をベースに、市販二輪車初の「YSC980Y」と呼ぶ超ハイテン材の採用、そしてフレームの縦・横・ねじりの各剛性バランスの最適化などで可能となったもの。

とくに「YSC980Y」は、一般のフレーム用クロムモリブデン鋼より優れる約 1GPa の強度をもち（クロムモリブデン鋼は約 800 Mpa）、通常の工程では切断、プレスなど加工が出来ない程の超高強度のスチール材。YZ450F では、この「YSC980Y」を、強度・剛性が特に要求されるガセットヘッドパイプ、ガセットダウンチューブ、ブラケットリアアーム部に、絞り加工処理した独自の工法で採用。そして他のパイプ材には 2000 年 YZ426F から採用の 780MPa 系鋼管材を採用、こうしてフレーム全体の剛性バランスに、絶妙なメリハリを施すことで、“しなやかさ”が身上のスチール材の特徴を引出すことに成功した（図 11）。

（「YSC980Y」の強度は 980MPa（約 1GPa）で、ASTM（米国材料試験協会）規格に規定されている高強度材の上限（500 ～ 600MPa 程度）をはるかに超えている）

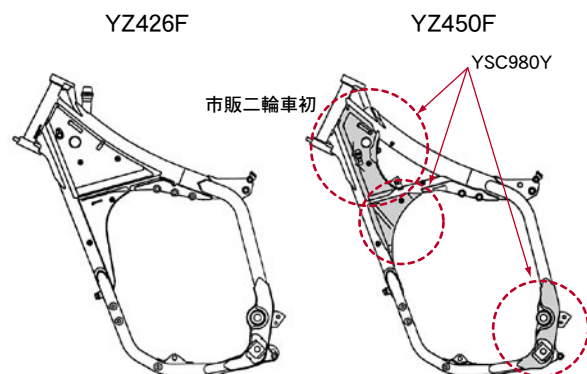


図 11 新設計フレーム

3.2.2 7L 新設計燃料タンクなど、マス集中設計

燃費に優れた4ストロークの特徴を戦闘力に反映させるため、新作燃料タンクを採用した。容量は従来の8Lから7Lへ小容量化してマスの低減を図るとともに、タンク天面位置を5mm低くして低重心化を図った。

3.2.3 フラットなタンク・シート・フェンダ及びサイド部の設計

上記の新設計タンクと合わせ、シート・リアフェンダ部もデザインを一新した。タンクからフェンダまでの流れをよりフラットとして、体重移動時のスムーズな特性を実現。走行・ジャンプ中のポジション移動の容易化をもたらしている。また、搭載の軽量エンジンや重心マスの集中設計の効果が、ラインどりの自由度アップを実現した。

またタンク形状は、ライダー側からは小さく見えるデザインとして取り回しの軽さを印象づける一方、タンクサイド側には若干のボリュームを持たせ、ニードグリップ時の優れたフィット感を実現した（図12）。



図12 フラットシート&フェンダ

3.2.4 サスペンションの最適設定と新軽量リアアーム

新エンジンと新フレームに合わせて前後サスペンションのセッティング最適化及び軽量化を図った。特にリアサスペンションのスプリングは、材質変更により、スプリング単体で従来比で約200gの軽量化を達成。“しなやかさ”が身上のスチール材を採用した新フレーム効果も加わり、軽快なジャンプでの飛びきり特性を実現した。

またリアアームは、“縦方向にしなり易く、横・捩じり方向に強い剛性”を照準に新開発した。2002年モデル同様、加熱したアルミ材に内側から高圧を加え最適形状に加工するハイドロフォーミング工法で生産するこのパーツは、滑らかな形状精度が特徴である。YZ450Fではリアエンド回りの設計変更で、軽量化と剛性バランスの最適化を図った（図13）。

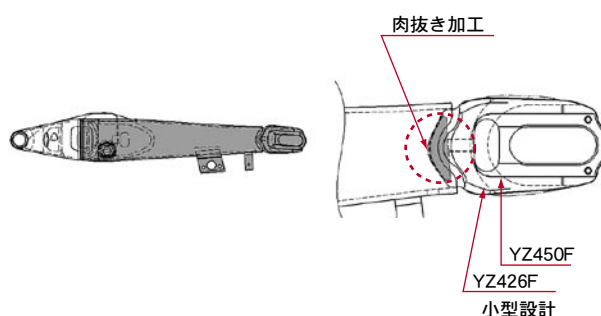


図13 リアアーム

3.2.5 新型小型キャリパ採用による優れたブレーキ性能

フロントブレーキは、キャリパのピストンを従来の樹脂ピストンからアルミ製に変更し、軽量化、操作フィーリングの向上を図った。

一方リアブレーキは、新設計の小型キャリパとリザーバタンク一体マスターシリンダを採用し、キャ

リパ剛性を約 20%アップ。ピストン径 27mm から 25.4mm へ、マスターシリンダ径は 12.7mm から 11mm へ小径化してコンパクト化することで、優れた剛性とコンパクト化を達成。連動してレバー比を上げ、よりダイレクトに効力が得られる特性とした（図 14、15）。

3.2.6 新世代モトクロッサーを主張する外観デザイン

コンパクト感を醸し出し、またシャープなエッジフォルムが特徴の YZ450F のボディは、①機能とデザインの融合、②ダウンフォースラインを基調としたボディ、③ YZ シリーズイメージを確立させるエアアウトレットの提唱、をポイントにデザイン設計を行なったものである。

具体的には、シュラウド部・タンク側面・シート部をひとつの“くさび型”フォルムのデザイン処理として、スムーズなライダーアクションを支援するデザインを採用。さらに、シュラウド部はシャープなエッジフォルムを特徴とする“くさび型”2孔タイプのラジエター・アウトレットを採用し、放熱性、ライディング機能、デザインを高次元で融合させた（図 16）。

4

品質への取り組み

製造品質向上、コスト低減、開発効率向上を狙いとして開発の計画段階からゲストエンジニアとして外部メーカー及び社内 SyS（システム・サプライヤー）に開発へ参加してもらった。

コストを含めた製造要件をデザイン/プリ試作/0次試作より織り込み完成度の高い物を作り込んでいった。

特に、シャーシ SyS と取り組んだ市販二輪車初の超ハイテン鋼板のフレームへの採用に当たってはこの取り組みの成果が大きく現れ、競合他社を凌駕するフレームを作り込む事が出来た。

他のセクションでもこの効果は現れ、結果的にコスト、品質、日程を満足したものの造りが出来たと思う。これからも積極的に、もの作り手側と設計側が一体となった開発を進めて行きたい。

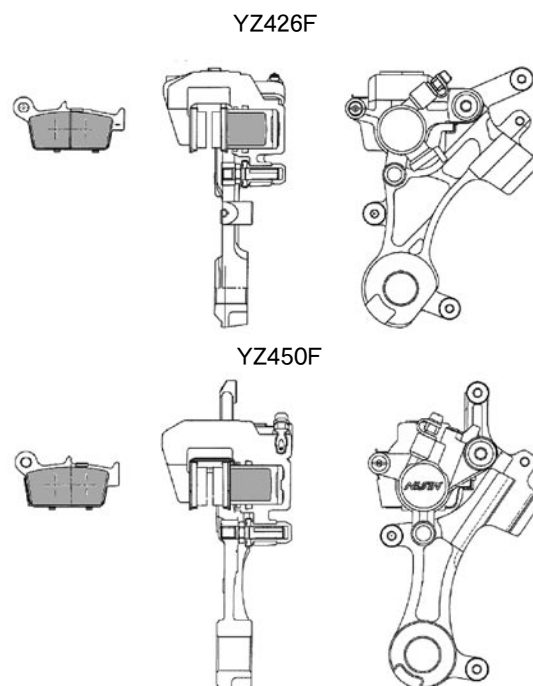


図 14 リアブレーキキャリア

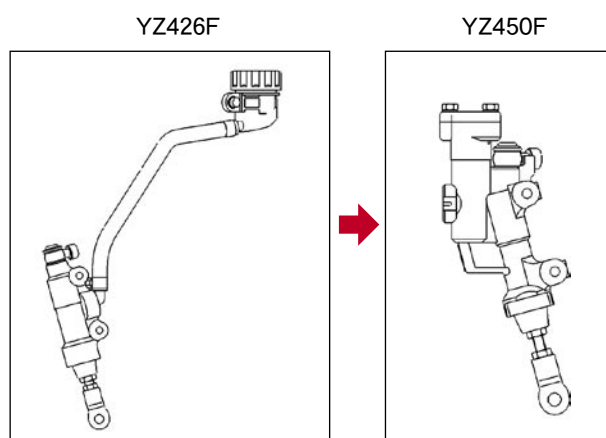


図 15 リザーブタンク一体マスターシリンダ

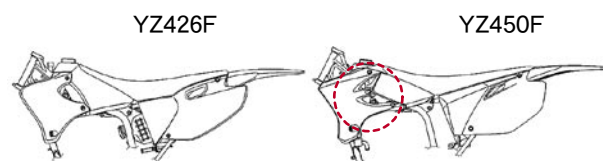


図 16 サイドカバー、リアフェンダ

5 おわりに

4ストロークモトクロッサーのリーディングメーカーである当社が新たなチャレンジとして次世代を睨んだ4ストロークモトクロッサーを市場導入する事ができた。

これから本格的な、雑誌社評価、USをはじめ全世界でレースでの評価がされてくると思うが、このモデルが新たにモトクロスの勢力地図を塗り替える事ができるよう期待している。

最後に開発にあたって、絶大なる協力を頂いた多くの皆様に感謝の意をこめて結びとしたい。

●著者



左から、
櫻井 太輔、桂 健久、林 康男、大森 二郎、田村 幸樹

製品紹介

5人乗りゴルフカー G15AP

Five-passenger Golf Car G15AP

安間 富男 Tomio Anma 佐藤 孝夫 Takao Satou
●特機事業部 開発室



図1 ターフジョイ G15-AP

There are presently about 2,350 golf courses in Japan, where some 160,000 golf carts are in use. The annual demand is estimated at about 15,000 units. The golf industry is experiencing a decline in the number of golf-course users and new-course construction is decreasing significantly. With the increase in use of used golf carts contributing to a longer interval between trade-ins, and the intensified price competition in new models, etc., we at Power Product Operations continue to face very difficult market conditions.

There are a truly diverse array of golf cart types (golf bag carriers) being used at Japan's golf courses today. They include hand-pulled carts, electric carts, monorail carts, stand-up riding carts, electro-magnetically guided carts and regular sit-down type riding carts (which are divided into manually driven and automatic electro-magnetic guidance system type models). Out of the desire to increase the number of course users by making golf as effortless and enjoyable as possible, the percentage of sit-down type golf carts has claimed about 70% of the market in recent years.

Among these carts, the manually driven models have lost ground before the increasing demand for guidance system-equipped automatic-drive models. However, due to the lower initial cost (cost of the cart itself and fact that no guidance system infrastructure is necessary), manual models still enjoy a consistent level of demand.

The recently released Turf Joy G15-AP five-passenger (manually driven) Yamaha Golf Car has been developed with features that make use even easier, including an automatic parking (brake) mechanism that eliminates the need to apply the parking brake every time you stop the cart, plus a speed control system that utilizes a microcomputer to assist the driver by controlling running speed on steep downhills. Here we introduce the development of this model and its features.

1 はじめに

現在国内には約 2,350 箇所のゴルフ場があり、ゴルフカートの保有台数は約 16 万台。年間新規需要は約 15,000 台と推定されている。ゴルフ業界の状況としては、ゴルフコースへの入場者減、新設ゴルフコース激減、ゴルフカートの中古車再利用含め代替期間の長期化や車両の低価格化競争等、当事業部にとってビジネス環境は相変わらず厳しい状況が続いている。

日本のゴルフコースで使われるカート（ゴルフバッグ搬送機）の種類は実に多く、その種類は、手引きカート、電動カート、モノレール、立ち乗りカート、電磁誘導カート、乗用カート（マニュアル式と電磁誘導の自動運転式の 2 種類）があげられるが、楽々プレーでの集客アップやゴルフコース運営の合理化で、乗用カートの普及率がここ数年で 70% 以上を越え標準スタイルに定着している。

またマニュアル（手動運転）式乗用カートは、電磁誘導式（自動運転）乗用カートの需要増加に押され、年々需要比率は低下してきているが、電磁誘導式に比べ、導入イニシャルコストが低い（車両価格、電磁誘導設備や施工が不要）という理由で、まだまだ根強い需要がある。

このほど新発売された乗用（マニュアル式）5人乗りゴルフカー「ターフジョイ G15-AP」（図 1）は、停止のたびの駐車ブレーキを不要にし（自動パーキング機構採用）、急な下り坂でのスピード制御をコンピュータが運転をアシストする減速制御システムを採用することにより、更に使い勝手を向上させた商品として開発したので紹介する。

2 開発の狙い

「ターフジョイ G15-AP」の基本車は「5人乗り電磁誘導ゴルフカー G17A」（技報 1999-9 No.28 で紹介）である。G15-AP では、G17A の自動パーキング機構、オートチョーク機構、（最高）車速制御システムを応用し、新たな車速制御システムを開発した。降坂走行時における坂道の緩急を傾斜センサのような装置は使わず、ソフトにて坂道の傾斜レベルを検知して、急な坂道では最高制限車速より更に減速させるというブレーキペダル操作をアシストするシステムである。本稿では、その内容について述べる。表 1 に基本仕様諸元を示す。

表 1 G15-AP 車両基本仕様諸元概要

| | |
|--------------------|--------------------------|
| 全長×全幅×全高 | 3,136 × 1,240 × 1,840mm |
| 軸間距離 | 2,140mm |
| トレッド | フロント：950mm リア：965mm |
| 乾燥重量 | 392kg |
| 乗員定員 | 5 人 |
| エンジン種類 | 単気筒 OHV |
| 総排気量 | 357cm ³ |
| 最大出力 | 8.45kW(11.5ps)/3,500rpm |
| 最大トルク | 25N・m(2.6kgf・m)/2,500rpm |
| 最高速度 | 19km/h |
| 登坂能力 | 登坂 20° (6km/h 以上) |
| 最小回転半径 | 3.9m |
| ブレーキ方式 | 機械式 4 輪制御 (モーターアシスト付) |
| パーキング ブレーキ方式 | 電磁ブレーキ (車速検知自動ロック) |
| タイヤサイズ 前後輪 (共通) | 18 × 8.5-8 |
| 前輪懸架方式 | ストラット式独立懸架 |
| 後輪懸架方式 | リンク式 |

3 主な特徴・概要について

主な車速制御として、

- (1) 坂道での降坂自動減速機能
 - (2) アクセルオフ減速機能
- の二つがある。

通常、車速はアクセルの踏み具合に応じて設定値が決まり、これに追従してスロットルが動作し実際の車速が設定された車速に一致するような制御を行い、且つ最高車速を制限している。坂道下りにおいては、さらに運転者のアクセル及びブレーキ操作への負担を軽減するために、ソフト的に坂道の傾斜レベルを検知して、所定の傾斜以上の急な坂道と判定した場合には最高車速の制限値を更に下げる機能を持たせている。また、アクセルを離れた場合にも同様に車速をより制限して最高車速の制限値を更に下げる機能も追加している。

その制御フローの概略を図2に示す。

3.1 降坂自動減速制御

降坂自動減速機能とは、坂道下りでの運転者のアクセル/ブレーキ操作の負担を軽減するために、坂道下りが所定の傾斜以上になると最高車速の制限値を更に下げて車速をより制限する機能をいう。特に、路面の傾斜レベルを傾斜計は使用せず、ソフトにて推定していることを特徴としている。すなわち、現在車速と最高車速の制限値との差から計算されたブレーキの必要制動力とエンジン回転数の所定時間内のそれぞれの値とスロットル開度から推定し、これらの値がある条件を満たした場合に所定の傾斜以上の下り坂と認識して最高車速の制限値を更に下げて、運転者のアクセル/ブレーキ操作の負担を軽減する、という降坂時の車速の制御を行なっている。そして、現在速度と一段階下げた最高速度の制限値との差によるPID（比例・積分・微分）制御によって計算されたブレーキの必要制動力を、ブレーキモータにてドラムブレーキを作動させて車速が最高車速の制限値を越えないように制御している。この時、最高車速の制限値を下げていく移行時にはショックを押さえるため速度をスムーズに段階的に下げている。

また、この制御では所定の傾斜レベル以下になった場合にはもとの最高車速の制限値に戻し、降坂自動減速機能を解除している。この場合も、現在速度と下げた最高速度の制限値との差から計算されたブレーキの必要制動力とエンジン回転数の所定時間内のそれぞれの値から傾斜レベルを推定し、これらの値がある条件を満たした場合に所定の傾斜レベル以下になったものと認識して元の最高車速の

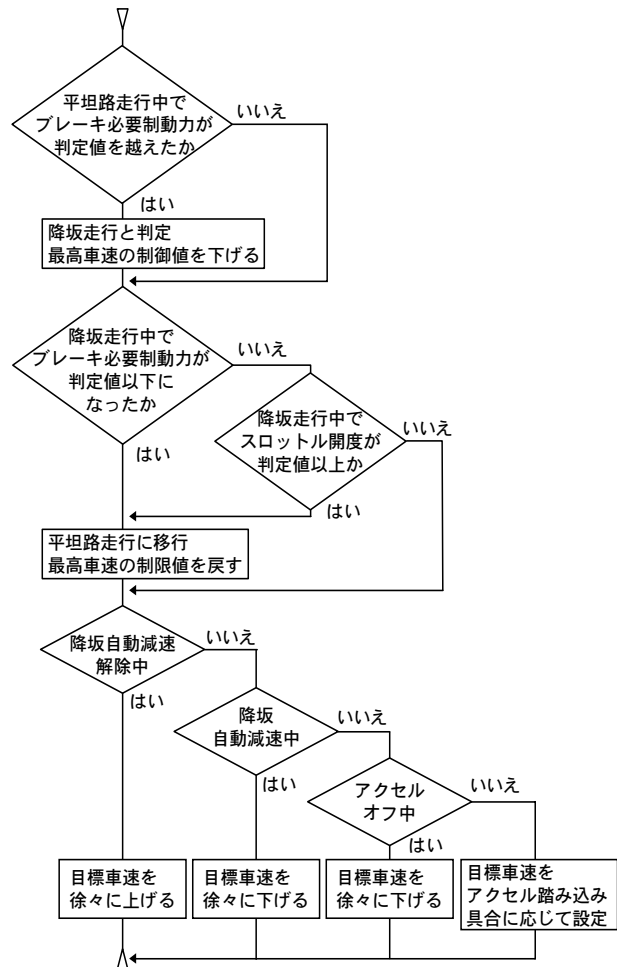


図2 概略制御フロー

制限値に戻す。もとの最高车速の制限値に戻していく移行時は、最高车速の制限値を下げていく移行時の場合と同様に速度をスムーズに段階的に上げている。

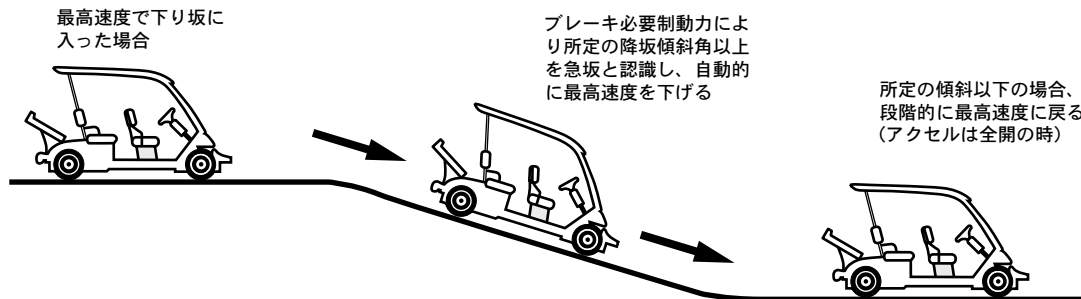


図3 降坂自動減速

3.2 アクセルオフでの減速

降坂自動減速機能に加えて、アクセルを離した（アクセルオフ）場合にも同様の減速機能を持たせている。

アクセルを離すということは车速を落としたいという意思表示と見なして、降坂自動減速の場合と同様に最高车速の制限値を下げていく。実際のゴルフ場のカート道にはカーブが多く、特に坂道下りが終わって平坦に戻る地点がちょうどカーブとなっているカート道がよくある。この時、降坂自動減速機能が解除されてもとの最高车速の制限値に戻った時にアクセルを踏んだままの状態では车速が出ようとするため、運転者はアクセルを離し车速を落とそうとする。このような場合に降坂自動減速機能と同様に、最高车速の制限値をもう一段階下げて運転者のアクセル / ブレーキ操作への負担を軽減し、より快適な走行を実現させることができる。

4 品質への取り組み

基本車両としては G17A 電磁誘導制御車がベースで、それを手動走行のみの仕様車として設定された本モデルにおいて、特に降坂车速制御に関するソフトの変更レベルではあるが、最終的に走行フィーリングでの評価判定が重要な開発内容であった。したがって基準シミュレーション的走行路（ヤマハコース・ゴルフカー特殊走行降坂路及び浜北トレールランド登降坂路）で、基本降坂车速制御仕様及び基本フィーリングを十分に造り込み、その結果を出来るだけ実ゴルフコースにおけるあらゆる走行場面を想定して、多岐に渡る実コースでのフィーリング確認走行及び試乗会評価を実施し、NG部分をフィードバックして、再度基準シミュレーション走行路で見直しフィーリング改良という地道な作業を幾度も繰り返して、総合的に違和感の無いフィーリングで本车速制御仕様を作りこむ事ができた。

5 おわりに

国内ゴルフカーのトップメーカーとして、日本独特のゴルフカー運営システム（キャディシステム）に対し、更に使いやすくゴルフ場の経営に貢献すべく、且つお客様の期待を越えるさらに進化した商品開発のために、製販技一体になって邁進する所存である。

最後に、今回の開発にあたり御協力頂いた社内外の関係各位に御礼申し上げます。



2003 年型 ロードレーサー TZ250

2003 Model Road Racer TZ250

早崎 良明 Yoshiaki Hayasaki 西田 和洋 Kazuhiro Nishida 河野 直樹 Naoki Kawano
 平野 博康 Hiroyasu Hirano 安永 稔之 Toshiyuki Yasunaga
 ● MS 開発室



図1 2003 TZ250

The TZ series road racers were first launched in 1973 as liquid-cooled 2-stroke production racers based on the previous air-cooled 2-stroke machines (TD, TR). With development and sales now having continued for roughly 30 years, these models have one of the longest histories of any Yamaha motorcycles. During these three decades, many riders have entered serious race competition with the TZ models, and of course many have gone on to compete in the World GP among the world's top riders.

In terms of technology, the TZ models have continued to lead the production racer category by being the first to inherit state-of-the-art technologies from the YZR works machines, such as the Yamaha Power Valve System (YPVS), the Monocross suspension, the Deltabox frame and various new materials and alloys used in its components. The results of this technological feedback have been apparent in the race results these models have turned in over the years. Since 2001, riders of the TZ250 have dominated the winners podiums of the All Japan Championships 250cc class almost completely. And, in the opening round of the 2002 World GP, a machine mounting a 2003 prototype engine on the current TZ250 chassis won the 250cc class. Here we introduce a summary of the 2003 model TZ250.

1 はじめに

TZ シリーズは、1973 年にそれまで空冷だった 2 ストロークレーサー TD 及び TR シリーズを水冷化し市販された。開発と生産は 30 年余も継続し、ヤマハ発動機(株)の中でも歴史の古いモデルの一つである。その間、多くのライダーが TZ で本格的レースに入門し、成長した。ワールドグランプリ（以下 WGP と記す）で活躍するまでになったライダーがいることは周知の通りである。

また、技術面でも YPVS（Yamaha Power Valve System）、モノクロスサスペンション、デルタボックスフレーム、材料技術などファクトリレーサー YZR の技術をいち早く採用し、常に市販車をリードしてきた。その成果はレース結果にも見る事ができる。最近では全日本 GP250cc クラスで 2001 年以後 TZ250 が殆ど表彰台を独占するまでになり、WGP でも 2003 プロトタイプエンジンを搭載した TZ が開幕戦の鈴鹿を制した事は記憶に新しい。以下に 2003 年型 TZ250 の概要を紹介する。

2 開発の狙い

図 1 にマシン外観、図 2 にエンジン外観、表 1 に仕様諸元を示す。

TZ ユーザーは、ロードレース入門者から WGP までとレンジが広い為、エンジン性能は低速から高速までカバーしなければならず、車体も多くのライダーにマッチングする様な基本仕様の選定が重要である。また、2003 年より FIM（国際モーターサイクリズム連盟）レギュレーションが一部変更になり（最低車重 5kg アップ、カーボンディスクブレーキ禁止など）、市販レーサーでも同一に近い条件で戦える事を視野に入れて 2003 年モデルは企画された。

開発コンセプトは、ずばり“YZR レプリカ”とし、最新のファクトリタイプのシリンダやカウリングを装備し戦闘力を大幅に向上させた。

表 1 仕様諸元

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| 呼称 / 型式 | TZ250/5KE4 |
| 機関形式 | 水冷・2ストローク・クランク室リードバルブ |
| 気筒配列 / 排気量 | 90 度 V 型 2 気筒 / 249cm ³ |
| 内径×行程 | 54.0X54.5mm |
| 圧縮比 | 7.1 ~ 7.7 : 1 |
| 最大出力 | 68.4kW/12,500rpm |
| 最大トルク | 53.9N・m/ 11,750rpm |
| 排気デバイス | 排気ブランチ兼用鼓型 YPVS |
| 全長×前幅×全高 | 1,955/650/1,163mm |
| 半乾燥重量 | 102kg |
| 軸間距離 | 1,342mm |
| キャスト / トレール | 22 度 / 82mm |
| サスペンション（前 / 後） | 倒立式 / モノクロス |
| ホイールトラベル（前 / 後） | 113/118mm |
| ブレーキ形式（前） | ダブルディスク ラジアルマウントキャリパ |
| ブレーキ形式（後） | シングルディスク |
| タイヤサイズ（前 / 後） | 120-60R17/165-60R17 |

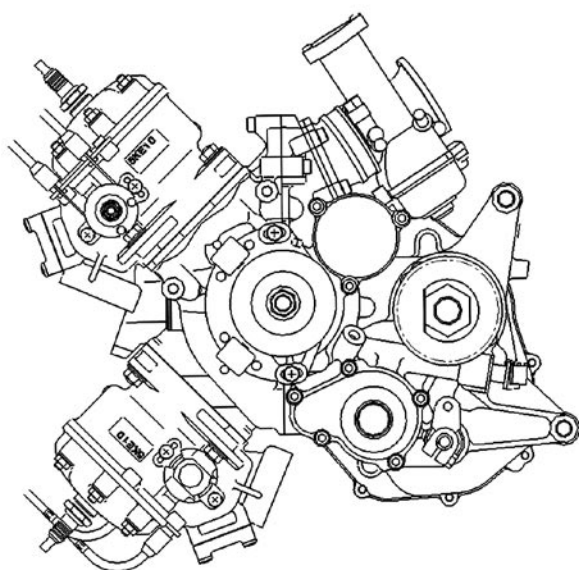


図 2 エンジン外観

3 エンジン概要

3.1 排気ブランチ兼用鼓型 YPVS

元々低速性能には定評のある YPVS だが、スライド型から鼓型に変更し、更にバルブ両サイドで補助排気を、バルブ背面で膨張室を開閉させ一段と低速性能を向上させた。この余力を高速域にも振り分け、過回転特性も同時に改善できた。図3に性能曲線、図4にシリンダ断面を示す。図5に示すように、オンオフ的なスライドバルブ（2002）に対し、鼓型バルブ（2003）は最適な排気タイミングとポート面積を得られる。また、これにより、騒音値が低下し、サイレンサを小型化できた（約 65mm 減）。

3.2 ＊WPC 処理ピストン

高性能と耐久性はトレードオフになりがちだが、YZR で実績のあるピストン表面への WPC 処理を採用し、疲労強度と摺動性を同時に向上させる事ができた（図6）。

＊WPC とは Wide Peening and Cleaning または Wonder Process Craft の略で、金属表面処理の一種である。

3.3 Engine Management System

キャブレタのパワージェットソレノイドをデューティ制御し、A/F（空燃比）の最適化を図った。

また、気象などの使用状況やエンジン仕様（圧縮比など）により最適なマップを選択できるよう8種類のマップを持たせた。切り替えスイッチはオプション。

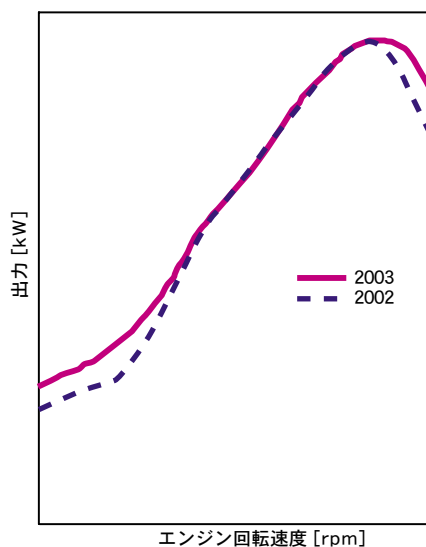


図3 性能比較

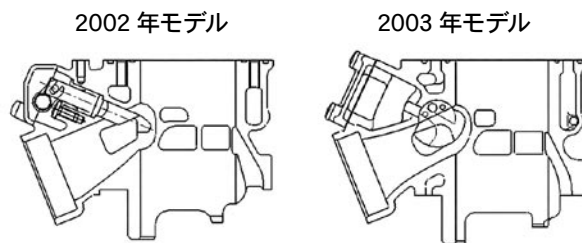


図4 シリンダ

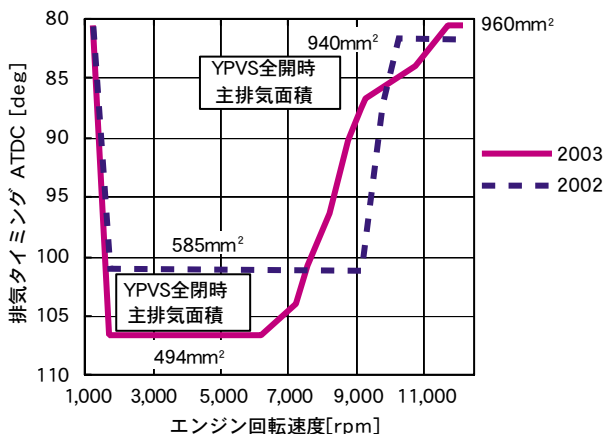


図5 YPVS 開度特性



図6 WPC 処理ピストン右：2003 年モデル

更に、最近では装着率が高いシフトアップ時点火カットシステム（オプション、通称セミオートマチック）を内蔵した。

4 車体概要

4.1 YZR タイプカウリング/シート/フェンダ

WGP を席捲した YZR250 の外観をほぼそのまま採用した（図7）。前面投影面積は増えているにもかかわらず、カウリング/シート/フェンダのセットで CdA 値（空気抗力係数×前面投影面積）は約3%改善され、最高速が平均 3km/h 上がった（当社テストライダーによる）。

また、ウインドプロテクションが大変良い為、ライダーへの負担が軽く、ライダー毎の最高速個人差が減少した。更に効果的なダウンフォースが得られ高速コーナーでの操縦安定性にも効果があった。

シート（図8）は横風対策でやや小型化し、フロントフェンダ（図9）はタイヤとフロントフォークを広く覆い空力性能を上げた。

4.2 左右対称吸気ダクト

YZR250 同様、右気筒の吸気ダクトを左気筒と対称のフロント部へ移動した。この結果、左右気筒でラムエア圧力のバランスがとれた（図7下）。

4.3 その他

旋回性の高さで定評のあるハンドリングと、強力かつコントロール性に優れたブレーキ性能を継承するためフレーム、サスペンション、ラジアルマウントフロントブレーキは 2002 モデルから変更はない。

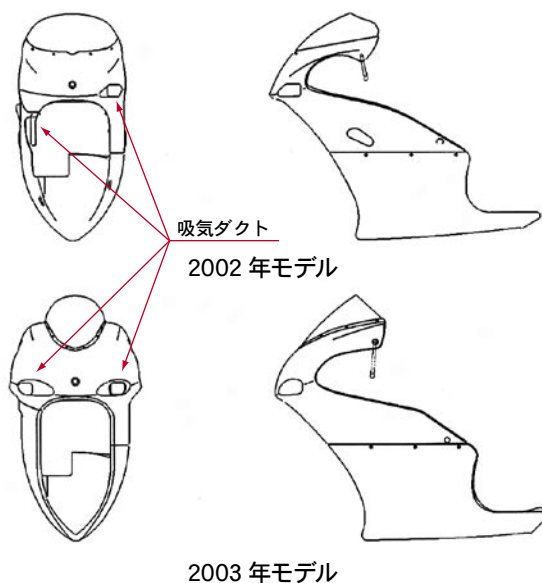


図7 カウリング

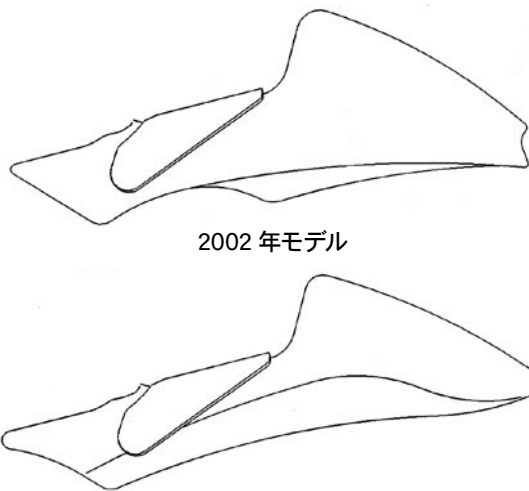


図8 シート

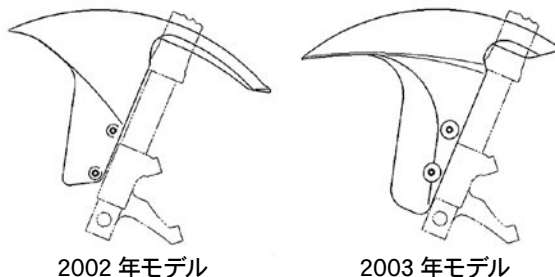


図9 フェンダ

5 品質への取り組み

5.1 耐久性

市販レーサーでは、性能が向上しても耐久性が低下してはならない。その為、前述のようなピストンの WPC 処理の他、クランクケースジャーナルの強度アップを施した。また、オイルメーカーと共同で高性能な2ストローク混合レーシングオイルを開発、クランクの耐久性も向上した。

5.2 ユーザー負担の低減

上級クラス用にオプションで性能アップキットを設定しているが、点火系は予め標準の CDI ユニットにもキット用プログラム&マップを内蔵した。又、旧モデルでのキット用トランスミッションの一部を2003 標準仕様に設定し、ユーザーのコスト負担を減らした。

5.3 開発スピード

YZR のアイテムも速やかに導入する為、TZ と YZR250 のプロジェクトを統合し、開発のスピードを上げ、今までに無く YZR に近い TZ が短期間で完成した。

6 おわりに

近年ロードレースでもカテゴリーが再編され始め、一部クラスでは2ストロークから4ストロークへシフトされる傾向にある。しかし、2ストローク 250 はコーナリングスピードの高さからライダーの技量上がり、また、容易にエンジンを分解整備できるメリットもある。このような理由からも2ストロークレーサーの存続を望む声は強い。

TZ はこれからもファンの期待に応えるべく、エキサイティングパフォーマンスにこだわり、中量級レーサーの主役であり続けたい。

最後に TZ の開発に当り、ご協力頂いた関係各社に御礼申し上げる。

●著者



製品紹介

フィッシングボート YF-23

YF-23 Fishing Boat

門田 律 Ritsu Kadota 曾我 和宏 Kazuhiro Soga
● 舟艇事業部製品開発室 / 舟艇事業部製造統括室



図1 YF-23

Japan's continuing economic recession has contributed to the depressed state of the domestic pleasure-use boat market. However, the fishing boat category has been an exception to the rule, with demand continuing to be relatively healthy. And, among these fishing boats, the 23-ft. (7.0m) class has been especially popular, constituting the largest volume zone in terms of both number of boats sold and total sales value, thanks to their easy-to-use size and affordable price. Yamaha pioneered this class with the release of the "Tackle 23" in 1987 and proceeded to establish brand equity in the category. When the Yamaha "23 Cuddy" was introduced in 1998 with a highly competitive price, it soon became a hit product. Since then, however, increased competition in this category has brought rapid advances in performance and functions that, along with the increased price competition from the growing used boat market, has caused these two models to lose competitiveness.

Here we discuss the development of the new YF-23 designed to address these market needs.

1 はじめに

国内のプレジャーボート市場は景気低迷の影響もあって苦戦が続いている。その中で比較的堅調なフィッシングボート市場においては、23ft (7.0m) クラスのボートが使い勝手の良い大きさと、比較的手頃な価格から売り上げ金額、隻数共に最大のボリュームゾーンとなっている。ヤマハ発動機(株)は「タックル 23」(図2)を1987年に発売し、カテゴリーのパイオニアとしてブランドを築き、更に1998年には価格を抑えた「23 カディ」(図3)を



図2 タックル 23



図3 23 カディ

発売し大ヒットしたが、近年は性能、機能の面で他社との競争が激化し、さらには中古市場との競合も増加しており競争力を失ってきていた。

2 開発の狙い

YF-23（図1）の開発では以上の様な市況の中で、ユーザーの指名買いを獲得出来るような魅力ある新艇とすべく、以下のようなコンセプトの基に開発を進めてきた。

- (1) 卓越した釣りスペースと釣り機能
- (2) 新しい合理的なデッキレイアウト、及び新しい定番スタイリング
- (3) クラスを越えた抜群の乗り心地
- (4) 家族ユースを考えた安全性、安心感

表1 諸元表

| 主要諸元 | YF-23F115 | YF-23F100 | YF-23F80 × 2 |
|---------|---------------|---------------|------------------|
| 全長 | 7.50m | ← | ← |
| 全幅 | 2.55m | ← | ← |
| 全深さ | 1.40m | ← | ← |
| 総トン数 | 5 トン未満 | ← | ← |
| 搭載エンジン※ | F115AETX | F100AETX | F80AETX × 2 |
| 搭載馬力 | 84.6kW(115PS) | 73.6kW(100PS) | 58.8kW(80PS) × 2 |
| 燃料タンク容量 | 120L | ← | ← |
| 完成質量 | 1,341kg | 1,311kg | 1,481kg |
| 定員 | 10 名 | ← | ← |
| 航行区域 | 限定沿海 | ← | ← |

※ YF-23 最大保証馬力は 117.7kW(160PS)

3 航走性能（乗り心地）

最近の市場ではより遠くの釣り場への移動が増えてきており、ポイントまで楽に安心して移動できることが求められている。

YF-23 では小型船外機艇に順次採用されている MV-R 船型を採用している。MV-R 船型とは Modernized V for Reliance の略で、素直な操縦性、安心感をキーワードに開発された船型である。更に YF-23 では前述の MV-R 船型に加えて新開発の Wave Thruster Blade（以下 W.T.B. 特許出願中）（図4）を採用して、更なる乗り心地の改善を狙っている。W.T.B. とは船首キール部に設けられた大きなつまみだし形状のことを言う。このつまみ出し部は船が波の中を走る場合に、最初に海面に着水する部分に設けられている。YF-23 はこの鋭角に尖った W.T.B. により、船が着水した瞬間の衝撃を緩和し、そのあと通常の船底部が船の前後方向の姿勢変化を抑えるため、衝撃が少なく、なおかつ姿勢変化も少ない走りを実現している（図5）。

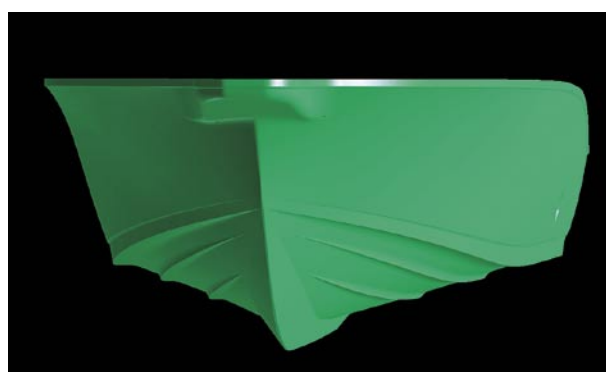


図4 W.T.B.



図5 船型 3D モデル

しかし、W.T.B.のように船首につまみ出しがある場合には、追い波（船の進行方向と同じ方向に移動する波）でブローチング（船首部が波につっこみ保針性を失い、船首が左右にとられる現象）を起しやすくなる。今回の開発では、机上のシミュレーション検討と共に、船型評価用のプリ評価艇を製作し、W.T.B.の大きさ、形状を造り込んできた結果、追い波時のブローチングや旋回において問題のない船型に造り込むことが出来た。この効果は各試乗会でも非常に高い評価を戴いており、乗れば誰もがその良さを実感できるという当初の目標をクリアできたと考えている（図6）。



図6 航走ビデオ

4 風流れ性能

YF-23の主な使われ方としては流し釣りが挙げられる。これは魚群の上で潮の流れにのって船を流しながら釣りをするという釣り方である。通常は魚礁と呼ばれる魚がすごしやすい様に建造物等を沈めた場所で行うことが多い。流し釣りの際には一般的に以下の性能が要求される。

- (1) 風にながされにくい
- (2) 船首が風下を向きにくい

風にながされる距離が長い（流される速度が速い）と魚群の上にいられる時間が短いことになる。

又、船首が風下を向いてしまうと、元のポイントに

戻るために大回りをして戻らなければならないことから、実際の釣りをしている時間が短くなってしまう。これらの性能を総して当社では風流れ性能（図7）と呼んでいる。

風流れ性能は、風を受ける空中部と、抵抗となる水中部の面積、及び面積中心位置により左右される。流される距離を短くするためには水中部の面積を増やして抵抗を増加させること、又船首が風下を向きにくくするためには、船首がまわりにくく船尾をまわりやすくすること、つまり空中面積中心を後ろ寄りに、水中面積中心を前よりにする必要がある（図8）。

一般的にYF-23のような小型の船外機艇は船の重量が軽いこと、船外機が船尾水面下に潜っていることで、風流れ性能は非常に悪い傾向にある。それに対してインボード艇と呼ばれる船内にエンジンがありプロペラシャフトによりプロペラを回転させる船では重量が重いことや、水中のプロペラが船体中央寄りであることで、風流れ性能は良い。実際の釣りの場面では、これらのインボード艇に混じって釣りをする必要があり、YF-23の様な小型の船外機艇は、それらのインボード艇をよけながら釣りをする必要もあった。

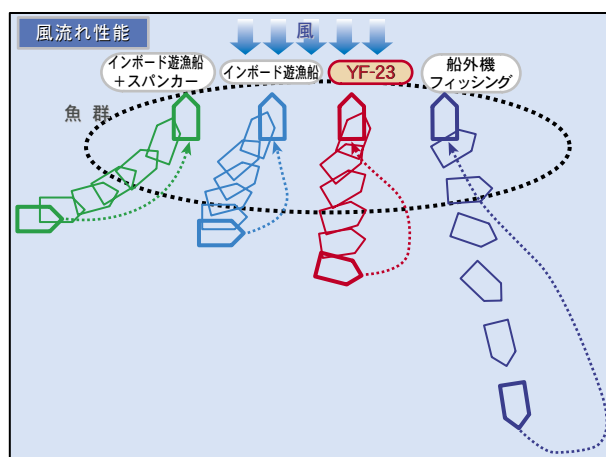


図7 風流れ比較図

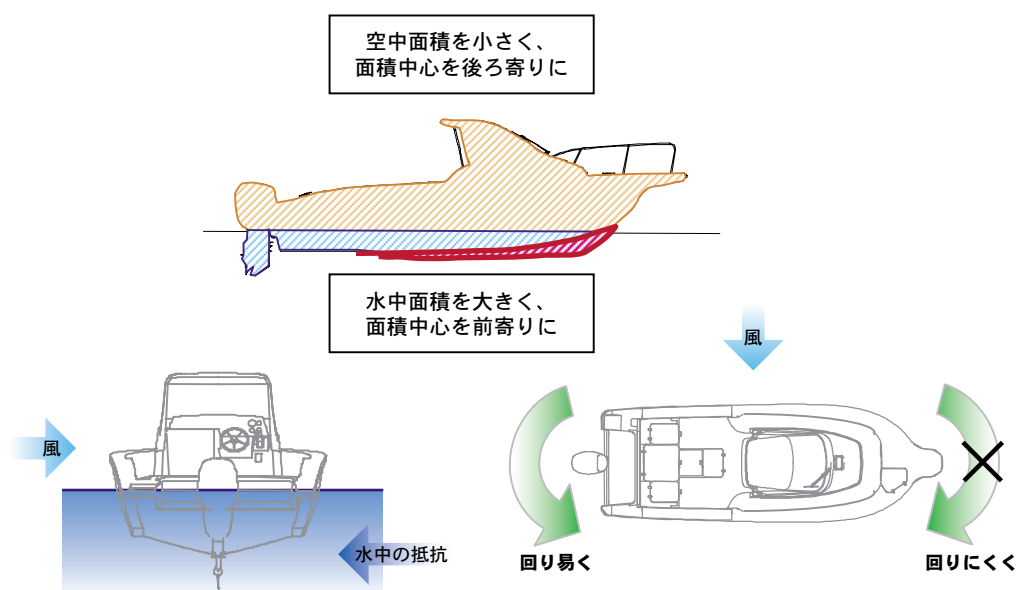


図8 風流れ解説図

YF-23では前述のW.T.B.の効果により船外機艇でありながら、インボード艇並の風流れ性能を実現している。これによりインボード艇に混じって釣りをすることが可能となった。

5 艇体構造

YF-23では乗り心地が飛躍的に改善された影響で、通常同クラスの船では走れない海象条件でも走れてしまう。ただし、その反動である条件が重なった場合に、従来艇よりも激しい船底荷重が発生する可能性がある。YF-23では船型評価用のプリ艇を利用して船底荷重の事前計測を行うことで、事前の解析精度を高めることが出来た。FEM（有限要素法）解析（図9）の結果、従来の仕様に加えてFRP（繊維強化プラスチック）のガラスラップ位置（ガラス繊維シートの継ぎ手部のこと。ラップさせるため板厚が2倍になる）の最適化、ロンジ構造配置の適正化等により大きく補強材を追加することなく必要強度を確保している。又、この強度は通常の航走時には余裕強度として波タタキ音の低減や、剛性感向上による安心感として、乗り心地へも寄与している。

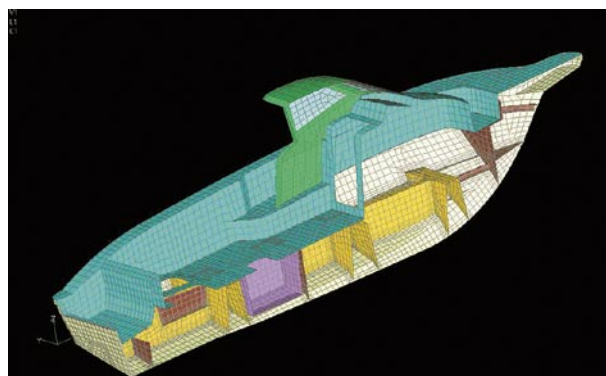


図9 FEMモデル

6 デッキレイアウト

YF-23では釣りスペースの拡大として操船席を通常よりも前方にレイアウトしている。一般的に船の前方にいくほど、航走時の衝撃は増す傾向にあり乗り心地の悪化を招くが、前述のとおり乗り心地を

飛躍的に改善した事で、操船席を前方にレイアウトすることが可能となった。更に、従来は船尾に燃料タンクやバッテリーを納めるために腰掛けを兼用して一段デッキを上げていたが、YF-23ではそれらをデッキ下に収納しスタンデッキをフルフラットにしている（図10）。これらの効果により同クラス艇に対して60%も広いデッキスペースを確保することができた。同乗者の腰掛けについてはオプションのベンチシートが用意されている。

又、釣りの際に体が保持しやすいようにオープンガングネルを採用している。これは通常のデッキではつま先が膝よりも内側にあり踏ん張りが効かないものをブルワーク（デッキトップ部）を別体にする事で、つま先が膝よりも奥に入るようにしたものである（図11）。YF-23ではこのように実際の使い勝手を重視して、移動しやすいサイド通路、より大きなクラスからの乗り換えでも問題無い収納スペース、大人が大の字に寝ることができるカディスペース等を実現している。



図10 スタンデッキ



図11 スタンデッキでの釣り

7 品質への取り組み

近年のボート生産においては、製・技一体の体制を基盤とし、生産性の向上・品質の安定を目指し、次のような施策を実施してきた。

- ・ 商品計画段階からの工場製造技術の噛み込み
- ・ 各艇固有の専用治具の開発
- ・ ロンジ高さセット治具（図12）による接着隙間の安定と管理
- ・ 十分な水量での射水テストの実施（図13）

もちろん、YF-23についてもこれらをさらに徹底させた。

また加えて、このYF-23の生産立ちあがりのタイミングより新たにはじめた品質保証の取り組みがある。「重要保安工程チェック」である。これは、



図12 ロンジセット治具

重大事故（沈没・浸水・漂流・火災）につながる恐れのある工程に対して、その作業者自らが自分の作業に責任を持ち、不良を後工程へ流さないよう、作業者自らがチェックする仕組みである。これにより、魅力ある商品をさらに安定した品質で市場に向けて供給できるようになってきている。



図 13 射水テスト

8 おわりに

実際の販売はこれからになるが、YF-23 は各発表会、試乗会において非常に高い評価を戴いている。これは、机上だけの開発をやめて、市場への検証を繰り返したことや、フィーリングを重視した実験評価、又品質を確保したうえでの製造効率向上等の結果であると考えている。YF-23 が低迷する国内のプレジャーボート市場を活性化させることができる商品になるように継続して熟成を進めていくつもりである。

今回の開発にあたり真摯な意見、提案を下さり、多大な協力を頂いた皆様に、紙面を借りて謝意を表します。

●著者



門田 律



曽我 和宏



モータークルーザー CR-33

Motor Cruiser "CR-33"

前田 雅博 Masahiro Maeda

●舟艇事業部 SP/J 伊勢事業所 商品開発担当



図 1 CR-33

It was a dozen or so years ago that I visited a marina in the U.S. and saw a scene that left a deep impression on me. Even though it was a weekday, there was an elderly couple talking happily as they worked cleaning and sprucing up their own boat. Perhaps it was the combined moment of sun and sky and sea, but this scene has stayed in the back of my mind all these years as I have worked on boat design and development.

In the years that have passed, the generation that was once the driving force of the Japanese economy is now reaching retirement age. For some time now we have been working on a boat development project aimed at offering this retiree generation a way to spend their new-found leisure time. The newly released Motor Cruiser "CR-33" that we have developed in this project is conceived as an embodiment of Yamaha's corporate mission of "We Create Kando — Touching Your Heart" as it applies to our specific market environment. It is a model that has been designed with the aim of creating market demand and waking up a "sleeping user" demographic in the marine market.

1 はじめに

十数年前にアメリカのマリーナを訪問した際、ウィークデーにもかかわらず年輩のご夫婦が自分の船を手入れしながら楽しそうに話している光景。あの時の『太陽・空・海』、一時的なものであったかもしれないが、普段の開発業務の中でもずっと頭の片隅に残っていた。

時は過ぎ、日本も世の中の牽引者であった団塊の世代の方々が定年を迎える時期に来て、その方達が手に入れる『時間の過ごし方』について提案する形でプロジェクトは静かに動き始めた。

ヤマハ発動機(株)は感動創造企業として、ずっと思い描いていた情景に Touching Your Heart を旗印にモータークルーザー CR-33 (図 1) を新発売した。本モデルは市場の活性化とスリーピングユーザー層の掘り起こしに主眼を置いた。

2 コンセプト造り

サードエイジ層を中心とする想定ユーザーが船に接する際に何が障害となるか、何を重要視しているかを洗い出し、以下を強くアピールし、セールスポイントにすることとした。

2.1 若々しく高級であること

想定ユーザー層が青春時代であった 60 年代はミニスカートを穿き、ビートルズを熱唱し、アポロ 11 号が月面着陸をした時代であり、旧来イメージするお年寄りでは無くもっと若々しくバイタリティーがある「スマートシニア」。若い頃から時代を引っ張ってきた世代で、他人と違う物を持ちたいとのこだわりも強い。よって、ネオクラシックデザイン（懐かしさの中にも暖かみを持たせ末永く飽きのこない）とオーダーメイド出来る要素を残す事とした。



図 2

2.2 不安を抱かせないこと

船の船長たる者は乗員全員の安全に気を配らねばならず、それが精神的負担となる場面がある。船長自身が落ち着いていれるよう次の事を織り込んだ。

- ・ 海が少々荒れてきても力強く乗り切れる、乗り心地重視の船型。
- ・ 乗船経験が少ない人がゲストとして乗ってきても落水や転倒の危険が無い、ユニバーサルデザインを心がける。
- ・ 船長が最も緊張する入出港の際、心強いデバイスを付ける。
- ・ 万一の場合に備えて、警報、安全装置の充実を図る。

2.3 気持ち良く落ち着けること

これは事前に行ったアンケートの重視度と満足度調査から、重視するのはキャビンの広さを含めた居住性であり、豪華さは、さほどでもないことが浮き上がってきた。ただし、他人との違いを望む層には余裕を持った造り込みである事と極力木質を全面に出し暖かみを打ち出す事とした。

2.4 憧れの具現化を彷彿させること

これはスパイス的に盛り込みたい項目であった。マホガニーのステアリングを握りながら遠くの海へ行ってみたいとか、ソファに座りながらここで過ごす時の流れを想像して見たり、今までとは違う雰囲気演出して見る事。

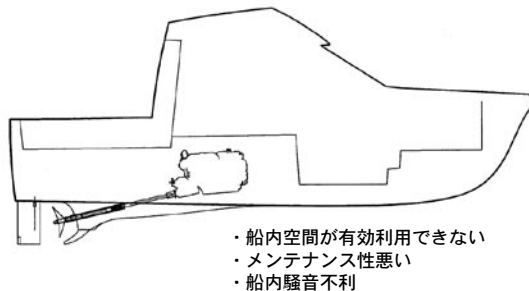
2.5 割り切りを持って望む

なにもかも盛り込みたい所だが、コストの造り込みもままならずピントのぼけた商品とならない様、船の中で一番大きな部品であるエンジンから切り込んだ（図3）。

- ・従来はサロン床下にあったエンジンを、Vドライブ配置にする事によってサロン床下を居住区画として利用。静粛性と、アフトデッキからエンジンに直接アクセス出来る事によるメンテナンス性が良好になる。
- ・従来このクラスになると2基掛けであったエンジンを信頼性の高いエンジン1基とし、トラブル防止策を盛り込んだ。その上でエンジンの不満を感じないスピード性能の限界まで船を大きくし、コストと居住性の両立を図り、ゆったりと走る事を提案する。

コンセプトワードは**簡単・快適・安心**に決まり仕様と細部の作り込みを行った（図4）。

従来艇：ストレートドライブ配置



CR-33：Vドライブ配置

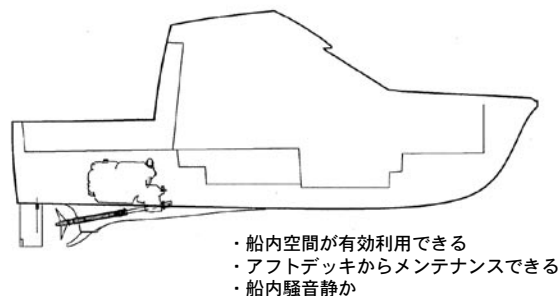


図3 ドライブ配置比較



図4 CR-33 NEW CONCEPT

3 仕様概要

コンセプトを具現化すべく、織り込んだフィーチャーマップを 図 6 に示す。

表 1 仕様諸元

| | |
|---------|----------------|
| 全長 | 11.27m |
| 全幅 | 3.55m |
| 全深さ | 1.75m |
| 船体質量 | 6,300kg |
| 総トン数 | 8.5 トン |
| 搭載エンジン | SX580km(199kW) |
| 燃料タンク容量 | 500L |
| 定員 | 12 名 |
| 航行区域 | 沿海 |



図 5 CR-33 3D 図

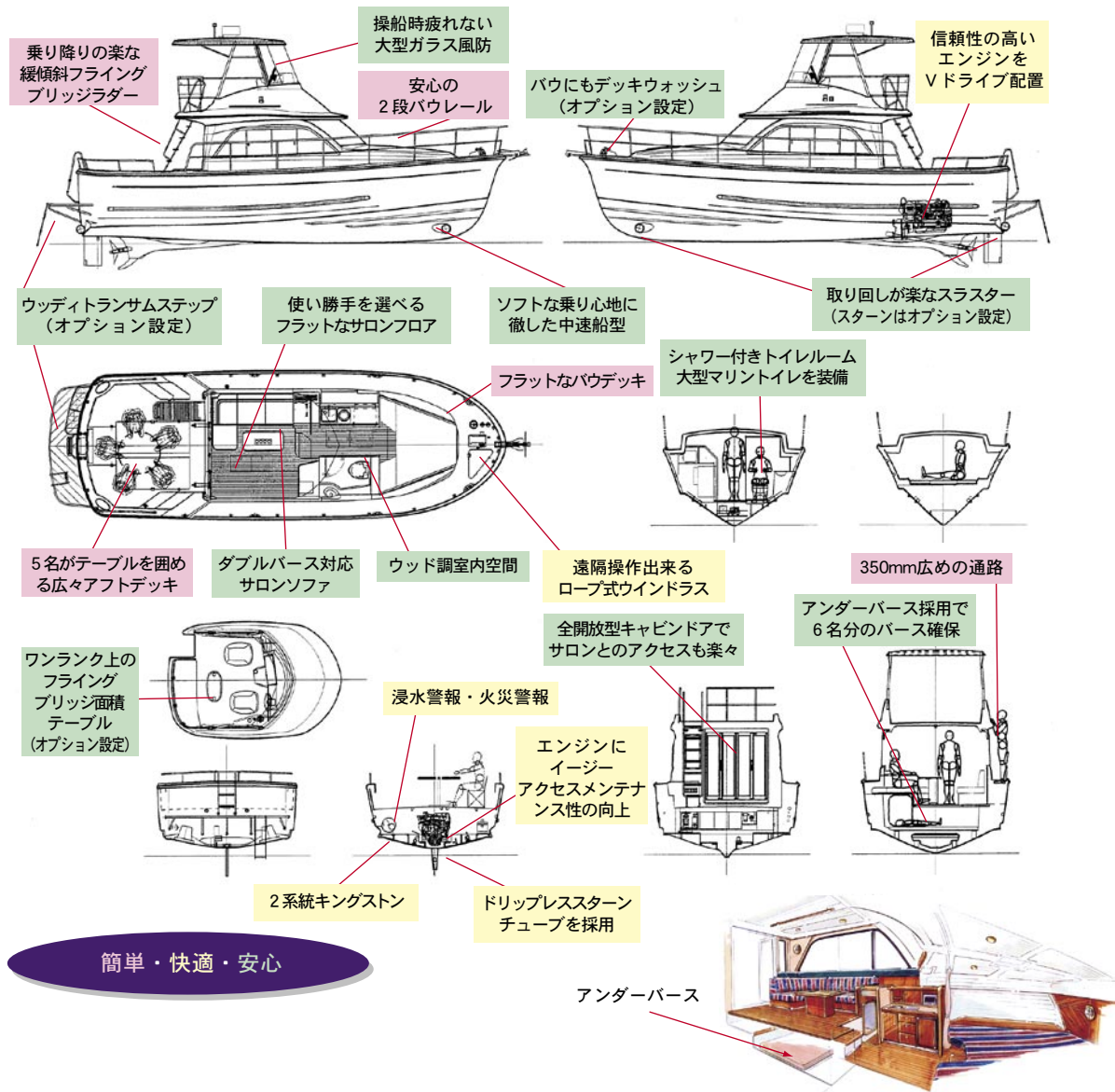


図 6 CR-33 フィーチャーマップ



ローステーション有り、特注家具仕様



ローステーション無し、ソフトレザー仕様

図7 船内配置例

特にユニバーサルデザインを取り込んだお子さままでも安心なバウレールの高さ・通路幅、フライングブリッジへの階段の傾斜角。フラットで広々としたアフトデッキ（図8）とサロンとのアクセス性を重視したフロア配置・開放型キャビンドア。サロンの木質感と左舷ソファのダブルバース化へのアイデア。それと何よりバウとスターンに配置したスラスター（図9）により、たとえ一人でも離着岸をやり直す事無く行える取り回し性は簡単であると同時に精神的な安心感を船長に与えてくれるものとして社内での評価も上々であった。



図8 フラットなアフトデッキ

4 品質への取り組み

商品コンセプトの安心は信頼出来る品質を持ってこそ得られる。特に割り切りを持って望んだ1基仕様だが、万一のトラブルにも漂流に至らない様次の事を行った。

・過去のトラブル事例の分析

全艇種の漂流につながった事例の洗い出しを行い、操縦系ではケーブルを耐屈曲性の高い物に

変更、舵系の安全率を上げ、推進系ではミッションの容量に余裕を持たせ、ベアリング材質を変更したロープガードを取り付け、冷却系では吸水系統を2系統とし、燃料系では大型燃料フィルターを採用、電装系では非常始動バッテリーを標準装備とし、警報装置の充実を行った。

・経験者へのヒアリング

信頼性に定評のあるSX580を選択したのであるが、市場サービス経験者とパーツリストを見ながらパーツ1点1点のトラブル事例を再検証した。また、業務艇で納入後4年5000時間を超える艇



図9 スラスター作動



でバルブが落ちる事例が1件確認出来たが三信工業(株)に確認したところ既に対策済みであった。

- ・ユーザーへの啓蒙方法

車両と比べ船の場合エンジンへの負荷条件が厳しく、お客様に正しい使い方をしてもらわなければならない。その為 CR-33 では連続最高回転を抑制する意味でタコメーターにイエローゾーンを付加し、排気温度計を取り付けエンジンの負荷状況をユーザー自身が分かりやすくした。

さらにお客様への早期市場調査を実施し何を重要視しているかを掴む事により重点化を行い、製造上の品質について段階ごとに評価会を実施。ステージごとの品質判定をする事により、後戻り無き工程進捗管理を行った。

また新しいコンセプトであるが故、売る側の人にも正しい商品知識を会得してもらう様セールスマンQ & A集の展開も同時に行っている。

5 市場キャンペーン

新コンセプトの検証と商品完成度のさらなる向上を計る為、1年間の市場キャンペーンを行った。

都市部を中心に行ったが、大変得る物が多かった1年間であった。

- ・週末の展示会の間に何回も足を運んでくださり、最後は奥様まで連れてこられた方。
- ・最初は怪訝な顔をされていたが、説明するにつれ一枚一枚皮が剥がれる様に納得され、フライングブリッジに案内した後は悟られた様にコンセプトに理解を示された方。
- ・他社ユーザー様ながら、“やっと日本もこう言う船を造れる様になったか!” と、いたく感心され帰り際に“いい船作ってください。”と励ましの言葉を掛けて頂いた方。
- ・遠方より地区を越え、足を運んでくださった方。

多くの方が船のコンセプトに賛同して頂き、物造りの関わる者として冥利につきる時を過ごせた。

6 おわりに

バブル崩壊後の国内舟艇事業における需要の低迷は厳しいものであるが、市場に新しい一石を投じ、コンセプトに賛同して頂いたお客様の声が我々を勇気づけてくれた。コンセプトの造り込みにおいて割り切りを持って望んだ項目がすぐに市民権を得るのは難しいかもしれないが、これからも充足した時間の中で過ごされる人々の手助けになれば幸いである。

●著者



前田 雅博



スーパースポーツ YZF-R6

YZF-R6 Supersport Motorcycle

瀧本 宏 Hiroshi Takimoto 狩野 康伸 Yasunobu Kanou 天野 浩一 Kouichi Amano

高橋 信治 Nobuharu Takahashi 泉 透 Tooru Izumi

● MC 事業本部ボディ開発室 / MC 事業本部エンジン開発室



図 1 YZF-R6

The YZF-R6 debuted at the Intermot show in Germany in the autumn of 1998 as an exciting new 600cm³ supersport model that boasted the fastest performance potential in winding-road riding. It was a model that adopted many of the technical advances of the YZF-R1 that debuted the year before, while also being developed to provide the unique joy of being in full control of a high-revving 600cm³ engine and the responsive machine handling a bike of this class can offer.

With the YZF-R1 and YZF-R6 as its two top hitters in the supersport class, Yamaha expanded its market share in this category in Europe, North America and Oceania. At the same time, the YZF-R6 has contributed to the promotion of Yamaha's high-performance image as a member of our flagship R series.

Since the launch of the YZF-R6, the other makers have come out with competitive models and have further stimulated this class as a result. In the market, the YZF-R6 has maintained its high reputation as a pure performance machine with outstanding engine performance, speed and agility, as well as styling. Now comes the long-awaited remake of the YZF-R6 that we are confident will answer the expectations of its fans.

1 はじめに

1998 年の秋インターモトにて、YZF-R6（図 1）はワインディングロードで最も速いエキサイティング 600cm³ スーパースポーツとして登場した。その前年デビューした YZF-R1 の技術思想をもとに、600cm³ ならではの高回転エンジンを回し切る楽しさ、マシンを乗り回す楽しさなどを具現化したモデルであった。

市場導入後、ヤマハ発動機(株)はスーパースポーツカテゴリーをYZF-R1とYZF-R6の2トップ体制で欧州、北米、太洋州のメーカーシェアを拡大してきた。またYZF-R6はRシリーズの一員として当社の高性能イメージを引き上げることに貢献してきた。

それ以降、各社から競合モデルも投入され、スーパースポーツ市場は活性化した。市場ではYZF-R6のピュアな造り、エンジン性能、運動性能、スタイリングに対する評価は高く、これを進化させたニューモデル登場への期待は大きい。

2 開発の狙い

従来モデルの基本コンセプトを継承しつつ、持ち味である股下で操るフィーリングにさらに磨きをかけ、クラス No.1 の商品力維持を狙いとして開発した。仕様諸元を表1に示す。

新 YZF-R6 の開発にあたっては、下記の 4 項目を商品の狙いとした。

- (1) ワインディングを楽しめるコーナリング性能の向上
- (2) クラス最高性能、最もエキサイティングなエンジンの強化
- (3) 一目で新 YZF-R6 と分かるオリジナリティの実現 (図 2)
- (4) 環境対応などの品質向上

3 エンジン概要

3.1 クラス最高性能のニューエンジン

エンジン性能向上に対応し、強度バランスの見直しを図った鍛造ピストン、ハイリフトカム化など、エンジン部品の約 9 割を新規開発した。

従来モデルのボア・ストローク、圧縮比、燃料室形状などはそのままに、吸排気効率向上、ポンピングロス低減などによる性能アップを果たした。最高出力は NA（自然吸気式）で 86.0kW/13,000rpm を引出している。

表 1 YZF-R6 仕様諸元

| 項目 | 諸元値 |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 原動機種類 | 水冷, 4 ストローク 並列 4 気筒, 4 バルブ |
| 総排気量 | 600 cm ³ |
| 内径 × 行程 | 65.5x 44.5mm |
| 圧縮比 | 12.4 : 1 |
| 最高出力 | 86.0kW/13,000 rpm |
| 最大トルク | 66.4Nm/12,000rpm |
| 変速比 | 1 速 : 2.846 2 速 : 1.947 3 速 : 1.556 4 速 : 1.333 5 速 : 1.190 6 速 : 1.083 |
| 1 次 / 2 次減速比 | 1.955/3.000 |
| 全長 × 全幅 × 全高 | 2025 x 690 x 1,090mm |
| シート高 | 820mm |
| 軸間距離 | 1,380mm |
| 最低地上高 | 135mm |
| 乾燥重量 / 装備重量 | 162kg/182kg |
| キャスター角 / トレール | 24 ° / 86mm |
| ホイールトラベル | 前 120mm |
| | 後 120mm |
| タイヤサイズ | 前 120/60ZR17M/C(55W) |
| | 後 180/55ZR17M/C(73W) |
| ブレーキ形式 | 前 油圧ダブルディスク |
| | 後 油圧シングルディスク |
| 燃料タンク容量 | 17L |
| エンジンオイル量 | 3.4L |
| バッテリー容量 | 12V、10AH |
| ヘッドライト | ハロゲンバルブ 12V55WX2 |



図 2 YZF-R6 360° Virtual Reality

3.2 直メッキシリンダ、新作クランクケース

シリンダへのセラミックコンポジットメッキ処理は、ダイキャストシリンダ内壁に直接メッキする直メッキシリンダを採用した。直メッキ化により、高い放熱性と高精度な真円度が得られた。そしてこのシリンダに、新設計のピストン、ピストンリングの組み合わせにより、安定したガスシール性が得られ、優れたオイル消費特性を実現した。

また、この新作クランクケースでは、各気筒間を繋ぐ通路面積を拡大することにより、ピストン上下に伴うポンピングロス馬力を低減させた。

さらに、クランクジャーナルへの負荷を最小限に抑えるように、クランクバランスを変更し、ロス馬力低減を図っている。

3.3 サクションピストン付きフューエルインジェクション

2002 年 YZF-R1 に搭載して定評のあるサクションピストン付きフューエルインジェクションを採用した。このシステムは、圧力差で作動するフリーピストンの動きを併用して、低速からの吸入空気量を最適に制御することができる。

3.4 吸気系通路・容量の拡大

エンジンレスポンス向上のため、エアクリーナ容量を 7.3L から 7.6L へと拡大した。またスロットルボディ口径は従来の 37mm から 38mm 径へとアップして吸入空気量拡大をした。

走行風圧をエアクリーナボックス内圧へ活用して吸気効率を高めるラム・エアシステムは、従来モデル同様に採用した。新 YZF-R6 では、吸気通路の膨張容積と絞り面積を見直し、これによりラム圧を一層活用できるようになった。

3.5 エアーインダクションシステムとハニカム触媒

エアーインダクションにより、排ガスの未燃焼成分を排気管内で再燃焼させ、排ガスを浄化させる。さらに、マフラ内部のハニカム触媒により、排ガス中の有害物質を浄化させた。これらの酸化・浄化作用により、欧州排ガス規制値 EU-2 をクリアした。

3.6 最軽量マフラ、チタン 2 重管ディフューザ

サイレンサ内部部品は耐熱性に優れるチタン材、サイレンサ外筒には軽量なアルミ材を採用、触媒部分を含めても従来比較で約 1kg の軽量化を達成した（図 3）。

ディフューザはチタン材の一体式とし、グラスウールを挟みこんだ 2 重管の状態に曲げ成形して、騒音の低減とスムーズな排気の流れを得た。

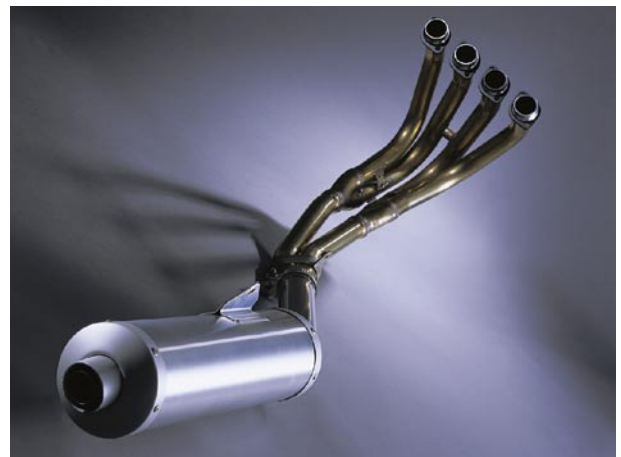


図 3 マフラ

軽量化効果は優れた操縦安定性を引き出す大きなフィーチャーともなっている。

3.7 ラウンドラジエタ、リングファン

エンジン性能向上に合わせて冷却系も一新した。新ラジエタは、従来と同サイズで優れた冷却効果を得るため、ラウンドタイプを採用した。ファン外周部にリングを付けて空気の流れの効率化を図るリングファンにより、トータルでの冷却性能向上を実現した。

3.8 その他、軽量化、シフト操作性改善

エンジン内部部品の樹脂化、希土類 ACM（Alternating Current Magneto generator）薄幅化、シフト操作性向上など改善項目は数多い。

4

車体概要

図 4 に YZF-R6 のフィーチャーマップを示す。

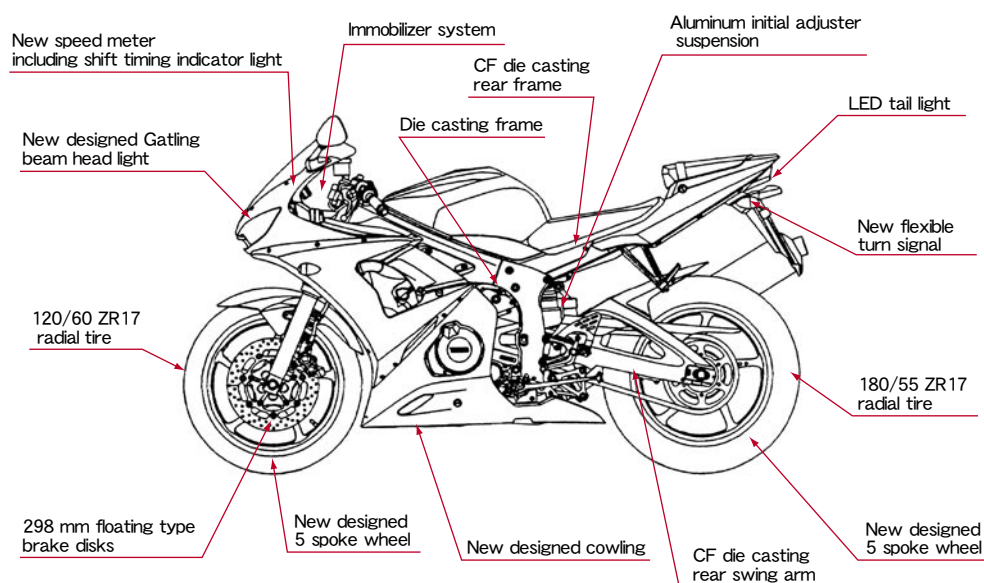


図 4 フィーチャーマップ

4.1 ダイキャスト製デルタボックスⅢフレーム

フレーム部品を全てダイキャストとすることにより、軽量化と高剛性の両立および応答性がよいハンドリングが実現できた。このデルタボックスⅢフレーム（図 5）は金型鑄造部品2部品で構成され、従来モデル比較で約 500g 軽くなり、逆にねじり剛性は約 50%アップできている。

このフレームは、スタイリングと操安性の造り込



図 5 ダイキャスト製デルタボックスⅢフレーム

みを同時進行することにより、構造解析による最適設計が可能となった。フレームの部品点数が2部品となったことにより、従来モデルで16カ所だった溶接箇所は2カ所となり、生産性の向上にも大きく貢献している。また、フレーム設計の可能性が広がり、斬新なスタイリングも表現できている。

4.2 CF（制御充填）ダイキャストリアフレームおよびリアアーム

2003年 YZF-R6 では、特に薄肉・高強度が要求されるリアフレーム、リアアームに当社の独自のCF アルミダイキャスト技術を市販二輪車として初めて採用した（図6）。

リアアームは滑らかな曲面形状で構成され、最小肉厚は2.5mmという薄肉設計ができています。リアフレームも最小肉厚は2mmであり、軽量化と剛性の両立ができています。



図6 CF ダイキャストリアフレーム

4.3 開放断面5本スポークホイール

ホイールはスポークが開放断面の5本スポークホイール（図7）とし、バネ下重量低減を図った。ハブからスポークをひとつの連続した面で構成することにより、強度と剛性バランスをとっている。また、製造工程にて、リム部の金型を4方向スライドとすることで、リム部の軽量化ができた。



図7 スポークホイール

4.4 ガトリングビームヘッドライト

ヘッドライトには、光の広がりが一で優れた配光特性を実現するため、二輪車で初めてガトリングビームヘッドライトを採用した（図8）。また、フロントカウリングのスタイリングも一新し、優れた空力性能、プロテクションおよび斬新なフロントフェイスを合わせて実現できた。

またテールライトは従来モデル同様、消費電力の少ないLED（発光ダイオード）を光源とし、LEDの性能向上によりLEDの個数を前モデルの20個より18個に削減した。

注）“ガトリングビーム”はスタンレー電気株式の登録商標です。

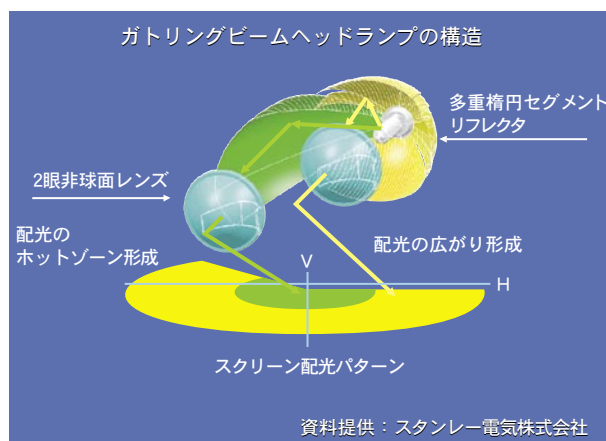


図8 ガトリングビームヘッドランプ

4.5 アルミ鍛造パーツ、イモビライザー

フートレスト、リヤショックアブソーバ部品にアルミ鍛造パーツを採用して、外観品質アップを図った。その他、欧州、太洋州向けにはトランスポンダ方式のイモビライザーシステムを装備し、耐盗難性を向上させた。

5 品質への取り組み

本プロジェクトでは新しい技術の品質確保のため、開発初期から、開発から製造まで一丸となって活動をしてきた。

直メッキシリンダ、チタン2重管曲げディフューザ、ダイカストフレーム、ダイカストリアフレーム、ダイカストリアアーム、5本スポークホイール、ガトリングビームヘッドライト、イモビライザーシステムと、どれひとつとっても製造から開発までが知恵を出し合わなければ達成できるものではなかった。

社内、社外を横断するタスク活動においては、達成イメージをまず明確にし、定期ミーティングにて課題と達成状況を常に共有化して進めてきたことが、製品の品質確保に一番効果があったと感じる。

6 おわりに

YZF-R6 は YZF-R1 と共に、何かやってくれと顧客から期待されているモデルである。常に新しいことにチャレンジし、目標を達成していくことが使命である。今回のプロジェクトは特に技術課題、製造課題の量も多く、開発目標も高かった。それだけに開発のみならず、製造、調達等関連部署の苦労も多かったと感じている。

2002 年 9 月のインターモトミュンヘンでのプレス、カスタマーの評判もよく、全世界のスーパースポーツカスタマーに新 YZF-R6 のライディングの醍醐味（図 9）を楽しんでもらえることと思う。



図 9 走行中の YZF-R6

●著者



後列左から、天野 浩一、荻野 光弘、高橋 信治、飯村 武志
前列左から、泉 透、狩野 康伸、瀧本 宏、安平 明彦

製品紹介

2003 FJR1300

2003 FJR1300

久保 裕 Yutaka Kubo 平野 文人 Fumito Hirano 鶴谷 知弘 Tomohiro Tsuruya
 中川 利正 Toshimasa Nakagawa 大岡 久洋 Hisahiro Oooka 栗田 浩明 Hiroaki Kurita
 望月 卓也 Takuya Mochizuki 高田 祐司 Yuuji Takada 瀬戸 宏昭 Hiroaki Seto
 ● PM 統括部 第 1PM 室 / PM 統括部 ボディ開発室 / PM 統括部 エンジン開発室
 / MC 事業本部 商品企画室



図 1 FJR1300

Yamaha Motor Co., Ltd. released the FJR1300 as a European market model in 2001. This model was developed to be "the best tourer for enjoying tandem trans-European touring." The model won high praise, not only for its full range of touring functions but also its slim, uncluttered styling and the concern for environmental-friendliness demonstrated in the fact that this model was designed to meet emissions regulations in advance of their implementation. Furthermore, Yamaha's primary design obsession with making this a model that offered exceptional performance in tandem riding on winding roads was especially appreciated by the customers and the FJR1300 went on to win wide acceptance throughout Europe. As a result, this model sold over 6,400 units in 2001.

It should also be noted that the demand for sport touring models in the over 901 cm³ class has grown to reach an annual level of about 80,000 units, prompting the various makers to introduce a wide range of models in this class.

Amidst this market background, the reputation of the FJR1300 has continued to grow, to the point that it was recently named the "Best Touring Motorcycle" of 2001 by Germany's Motorrad magazine. Here we report on the results of our development efforts for the recent model change that has produced the next evolution of the FJR1300.

1 はじめに

ヤマハ発動機(株)は 2001 年に欧州向けモデルとして FJR1300 を発売した。FJR1300 は“タンデムでの欧州縦断ツーリングを最高に楽しめるツアラー”として開発を行った。ツーリング機能の充実装備はもとより、スリムで無駄の無いスタイルのすばらしさ、規制を先取りした環境への配慮の狙い通りの評価を頂いたばかりでなく、ヤマハとしての最大のこだわりであった“タンデムでワインディングを余裕を持って楽しめる”をカスタマーに実感して頂き、絶賛され欧州市場に広く受け入れられた。結果、2001 年には欧州で 6,400 台に上る販売を記録した。

また、901cm³以上の欧州スポーツツーリング系モデル市場は、年間約 8 万台規模まで拡大しており、この市場には各社から多彩なモデル群が投入されている。

その中においても、年々 FJR1300 の評価は上がり、ドイツ「MOTORRAD」誌に於いて、2001 年度の Best Touring Motorcycle を頂くまでになった。今回このモデルの更なる進化を目指してモデルチェンジを行ったので、その概要を紹介する。

表 1 仕様諸元

| | | |
|-------------|---|------------------|
| 全 長 (mm) | | 2,195 |
| 全 幅 (mm) | | 760 |
| 全 高 (mm) | | 1,435(Screen hi) |
| シート高 (mm) | | 805 |
| 軸間距離 (mm) | | 1515 |
| 最低地上高 (mm) | | 135 |
| 乾燥重量 (kg) | | 251 |
| 最小回転半径 (m) | | 3.1 |
| 燃料タンク容量 (L) | | 25 |
| フレーム形式 | | AI Delta-box |
| キャスター (deg) | | 26 |
| トレール (mm) | | 109 |
| タイヤサイズ | F | 120/70ZR17M/C |
| | R | 180/55ZR17M/C |
| ホイールサイズ | F | 17M/CXMT3.50 |
| | R | 17M/CXMT5.50 |
| ブレーキ形式 | F | Double Disk |
| | R | Single Disk |
| ブレーキサイズ | F | φ 320Xt4.5 |
| | R | φ 282Xt6.0 |
| 懸架方式 | F | Telescopic |
| | R | Swing-arm |

2 開発の狙い

今回の「FJR1300」は、高性能なスポーツ機能を秘めながらも、ツーリング車として更なる進化をとげる為に、“フラッグシップツアラーとしての熟成”を目指し以下のような開発の狙いを設定した。

(1) ABS (アンチロック・ブレーキ・システム) 仕様の設定

ブレーキの効力、コントロール性等の性能は基本車同等以上を確保し、ABS 機能については FJ1200ABS 同等以上を付加する。

(2) 細部の熟成&クオリティーアップ

盗難防止を目的として、イモビライザシステムを織り込む。ツーリング快適性アップとして、ウィンドスクリーン形状を変更すると共に、リンク部を改良し、状況に応じた最適なウィンドプロテクションを実現する。外観商品性アップの為に、フロントビルトインウィンカを採用。ユーザーの使い勝手向上の為に、インパネ部に小物入れを追加。

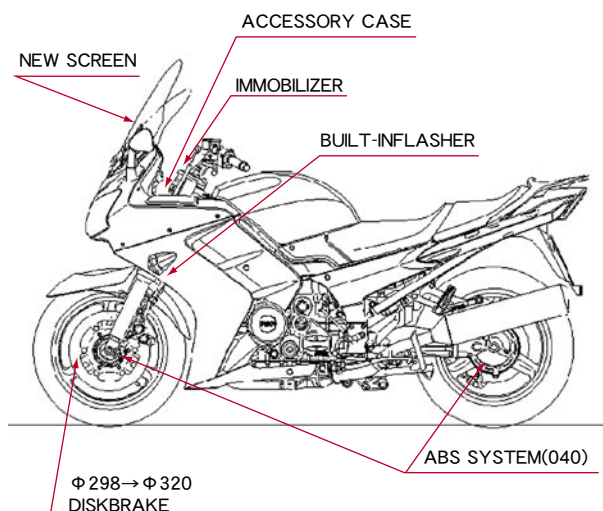


図 2 XJR1300 フィーチャーマップ

- (3) ACEA（欧州自動車工業会）自主規制対応
ヘッドライトの昼間点灯の実施。

FJR1300 の仕様諸元を表1に、フィーチャーマップを図2に示す。

3 車体概要

3.1 ABS

FJR1300 は市場から ABS 仕様が強く望まれた為、今回 ABS 仕様を追加した。ABS のブレーキの効力、コントロール性等の性能は基本車同等以上、ABS 機能は FJ1200A 以上を目標とした。ABS の詳細については後述する。

3.2 細部の熟成、クオリティーアップ

今回のモデルチェンジでフラッグシップツアラーとして細部の熟成クオリティーアップをはかるため、下記項目を採用した。

(1) 小物入れ

利便性を向上する為、インパネ左側に小物入れを追加した。通常の小物入れとは違い、キーでロックするのではなく、ソレノイドをつけて、キーが ON でニュートラルの場合のみ小物入れが開くようにして、盗難されにくくかつロックする時にキーを不要にして利便性を高めた（図3）。

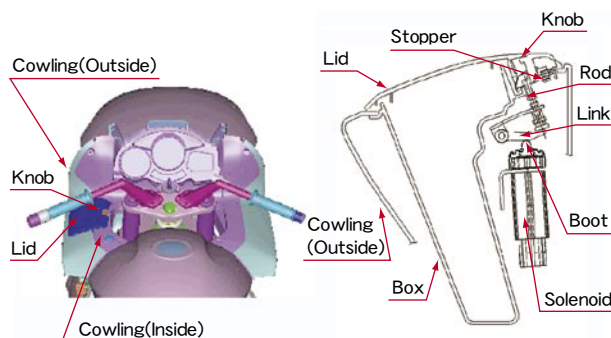


図3 小物入れ

(2) フロントビルトインフラッシュ

外観向上の為、フロントにビルトインフラッシュを採用した。外側をクリアレンズとしてクオリティーアップをした。配光性能を考慮して US/ ヨーロッパの両レギュレーションを満足させ共用化を図った。

(3) イモビライザ

盗難防止上、2003 年モデルの YZF-R6 から採用されているイモビライザを装着した。イギリスの保険認証にも合格している。

イモビライザ採用の為、ハンドルクラウンを新作している。又、オプションでアラームが取り付けられるレイアウトとしている。

(4) ブレーキ関連

ABS を装着すると同時にフロントブレーキの性能アップを図るため、ディスクブレーキ径を現行のφ298 からφ320 に変更した。又、マスタシリンダもディスク径を変更するのに伴い、フィーリング向上のためφ16（ABS 無しはφ15）のブレンボ製マスタシリンダを新作し、すぐれた制動力操作フィーリングを実現した。

(5) その他

快適性向上のため、スクリーンを大型化し、かつ好評の電動スクリーンのリンクのディメンジョンを見直している（図4）。ヘッドライトの配光調整をしやすいように、エーミングのノブを追加した。操安性改善のため、前後サスペンションのばね定数、イニシャルの見直しを図った。外観向上のため、ハンドルクラウンのナットを削り出し品に変更した。

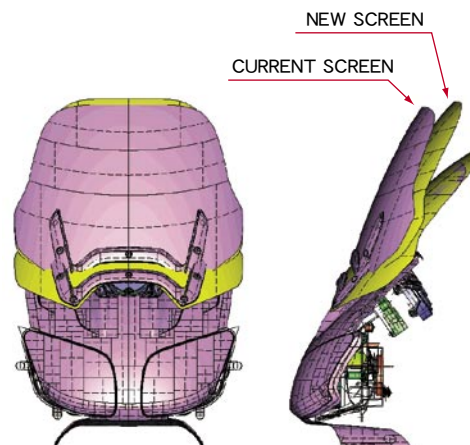


図4 MORE PROTECTION LESS TURBULENCE

3.3 自主規制対応

ヘッドライトの昼間点灯化をおこなった。

4

搭載 ABS システムの概要

1991年、FJ1200Aで国内初のABSを装着して以来お客様の好評を得ているシステムを進化させ、当社で第二世代にあたるABSシステムを搭載した。

4.1 ヤマハABSの4つの特性

- (1) 液圧補償型液量制御弁（Flow Control Valve；以下、FCVという）とそれをコントロールする電子制御によって車両安定性と制動性能をバランスさせている。
- (2) ABS作動中のスムーズな車両挙動を実現させながら、限界条件での制動であるという情報をブレーキ操作系にフィードバックしている。
- (3) 電子制御部および電装システム系の自己診断能力と、液圧制御系の最適化などによる、フェイルセーフ性の確保。
- (4) 小型・軽量のシステムであり、車両としての運動基本特性を高く維持している。特に性能面では最適な制御を作り込み、FJRのもつスポーツツアラーとしての高い制動力と、ロック回避性能を両立させた。

4.2 液圧系概要

ヤマハABSの特徴である、小型・軽量で滑らかな作動を実現するために、FJ1200A以来実績のある、FCVを内蔵した2位置制御型、循環式の液圧ユニット（Hydraulic Unit；以下、HUという）を使用している。

このHUには、通常制動時のブレーキ液回路にオリフィスなどの絞りがないために、ブレーキ操作フィーリングへの影響はなく、二輪車の自然な制動挙動をそのまま維持している。

4.3 電子制御系概要

電子システムは、液圧制御機能とシステムの監視および自己診断機能を有している。従来システムを継承した液圧制御を、1.5 マイコン構成の電子制御ユニット（Electronic Control Unit；以下、ECU という）で行っている ECU は各車輪の速度、減速度演算、車両走行速度の推定、車輪スリップ状態の推定、走行路面の摩擦係数の推定などの多様なパラメータ演算を行い、それをもとに HU への液圧開閉命令を出し、ブレーキ力を失うことなくロック回避を実現する。

それと同時に、ECU は車両各部の状態をモニタし、自己故障判断を行う。故障判断がなされた場合は通常ブレーキへ復帰する。

4.4 センサ系の概要

車輪速センサ系は、電磁誘導型のセンサと、センサロータとからなる。安定した信号出力を保証するために、取り付け精度と剛性を高めることが重要である。このために、焼結成形センサロータを、アルミ合金製ホイールのハブ内に圧入し、センサは、高剛性アルミ合金製のハウジングに取り付ける。これらにより高い取り付け精度と剛性を確保している。本 FJR1300A に搭載の ABS システムを図 5 に示す。

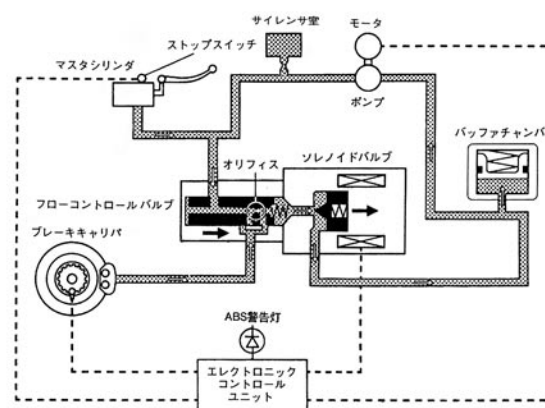


図 5 ABS システム

基本ブレーキスペックとしては、ブレンボ製フロントマスタシリンダ、アドヴィックス製モノブロックキャリパ、大径φ 320mm ディスクブレーキを専用設計・開発した。

また、比較的質量のある HU を車体中央部に配置し、車両運動特性に影響を与えることを避けた。

5

品質への取り組み

本モデルは、マイナーチェンジということもあり、下記のような項目を取り入れた。

生産初期の車を、欧州市場において集中的に長距離走行させ、実市場での使われ方における不具合の抽出を早期に行った。

また、数名を抽出し、使用状況及び車両状況の報告を毎月レポートとして送付頂いた。

これらのことにより、早期に確かな情報を得ることに注力し開発へのフィードバックを行い、モデル熟成を図ることができた。

6 おわりに

本モデルは開発当初より「熟成とは？」を問い続け、“最強のスポーツツアラー”として目標通りのモデルとすることが出来た。今後も“お客様の期待を常に超える商品”として更なる熟成を図っていきたいと考える。

■著者



左から、平野 文人、中川 利正、久保 裕、鶴谷 知弘、
大岡 久洋、望月 卓也



スクーター Majesty 125-FI

Scooter Majesty 125-FI

高橋 博幸 Hiroyuki Takahashi 片岡 政士 Masashi Kataoka 石田 洋介 Yousuke Ishida
 杉谷 剛 Tsuyoshi Sugitani 関谷 直行 Naoyuki Sekiya 三浦 透 Tooru Miura
 ●第2PM室 / ボディ開発室 / エンジン開発室



図1 Majesty 125-FI

The Majesty 125, which was introduced on the Taiwanese market in the summer of 1998, has continued to lead the luxury scooter market in that country. Here we introduce the first significant minor-change re-release of the Majesty 125 in four years, featuring a fuel injection (FI) system for the first time.

As a cousin model to the Majesty 250 marketed in Japan, the Majesty 125 has been developed and manufactured in Taiwan by Yamaha Motor Taiwan as a "Comfortable, luxurious cruising commuter," and since its release some 40,000 units have been sold to satisfied customers.

This minor-change version of the Majesty 125 adopts a new fuel injection system in order to clear Taiwan's exhaust emissions regulations, which are regarded as the strictest in the world today.

The main objectives of this development project included the following:

- (1) To perfect as a product a fuel injection system for small, single-cylinder engines that can serve as a core technology for meeting environmental standards. (Develop the necessary quality and cost performance without excess or deficiency)
- (2) To guarantee emissions levels of less than half those specified in Taiwan's Phase 4 emissions regulation in order to be eligible for subsidies under the Taiwanese government's fuel injection proliferation policy. (A subsidy of 3,000 yuan (approx. 10,000 yen) is granted for systems that achieve emissions levels less than half of the designated Phase 4 levels after a defined period of wear in use.)

In this report we introduce the features of the new Majesty 125-FI. A specific introduction of

the features of the small-capacity fuel injection system developed is made in a separate report in this journal.

1 はじめに

1998 年の夏に台湾で発売以来、上級スクーター市場を常にリードしてきた『Majesty 125』を、このほど 4 年ぶりに、電子制御燃料噴射（以下、FI）を織り込み本格的にマイナーチェンジしたので紹介する。

この『Majesty 125』は、日本の『Majesty 250』の兄弟車として、快適優越クルージングコンピューター』のコンセプトで、YMT（Yamaha Motor Taiwan Co., Ltd.）で現地自製され、これまでに約 4 万人のお客様にご愛顧をいただいている。

今回のマイナーチェンジは、世界一排ガスと燃費規制の厳しい台湾で、その新規制値を新型 FI で、クリアさせ商品化をしたものである。

このプロジェクトの主な目的は、

- (1) 小型単気筒エンジン用の新しい FI システムを商品として完成させ、環境対応技術の 1 つの核とする。
（要求品質、目標コストなどを過不足なく達成させる）
- (2) 台湾排ガス 4 期規制値の 1/2 以下を FI で保証し、台湾政府の FI 普及促進策に応える。

などである。以下に Majesty 125-FI 車の特徴を紹介する。なお、小型 FI システムの具体的紹介は、本誌の別項で紹介している。

2 特徴

2.1 ドライバビリティ

FI システムの構成は、それぞれのメーカーで特徴があるが、Majesty 125-FI では、そのドライバビリティ（エンジン性能を含めた操縦性）の確保に、まず主眼を置いた。

排ガス値の大幅低減（規制値の 1/2 以下）を目指すあまり、ややもすると、A/F（空燃比）が大きく（薄く）なりすぎ、ドライバビリティ悪化の不具合が生じることがある。

Majesty 125-FI では、従来の 4 ストローク SOH C エンジンをもそのまま（原動機、二次空気導入システム、マフラの酸化触媒はキャブレタ車と共通使用）とし、FI の最適な適合（セッティング）とサクシヨンピストン採用などにより、O₂ フィードバック無しとした。

O₂ フィードバックを採用する方法もあるが、125cm³ という小型排気量の制約（出力が大型排気量に比べて小さい）から、O₂ フィードバック時にその（非力の）影響が出易いデメリットがあった。

表 1 Majesty 125-FI ドライバビリティ

| 項目 | FI 車 | キャブレタ車 |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| アイドリング | ◎ （抜群の安定性） | ○ （十分な安定性） |
| 低・中速 | ○ （加速時のツキなど OK） | ○ （加速時のツキなど OK） |
| 高速 | ○ （高速フィーリング OK） | ○ （高速フィーリング OK） |
| 始動 | ◎ （特に高地始動性抜群） | ○ （十分な始動性） |
| アフターバーン・ノッキングなど | ○ （許容レベル） | ○ （許容レベル） |

Majesty 125-FI では、緻密な空燃比の適合とスロットルボディのサクシヨンピストンの採用により、この影響を排除することができた。表 1 にドライバビリティを示す。

2.2 排ガス値

台湾 4 期（コールドスタート :CO 7g/km、HC + NOx 2g/km）を耐久劣化後の状態で、規制値の 1/2 以下を保証できた。耐久車の経緯・結果を図 2 に示す。

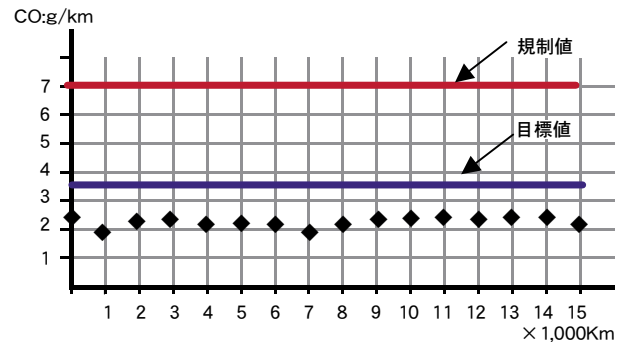


図 2 Majesty 125-FI 排ガス耐久結果（CO の例）

2.3 燃費

実力値として、台湾 3 期燃費規制（CNS モード 燃費 :39.0km/L 以上）を耐久劣化後の状態で、達成できた。

燃費向上率は、キャブレタ車に比べ 8% 以上となり、低燃費を実現した。耐久車の経緯・結果を図 3 に示す。

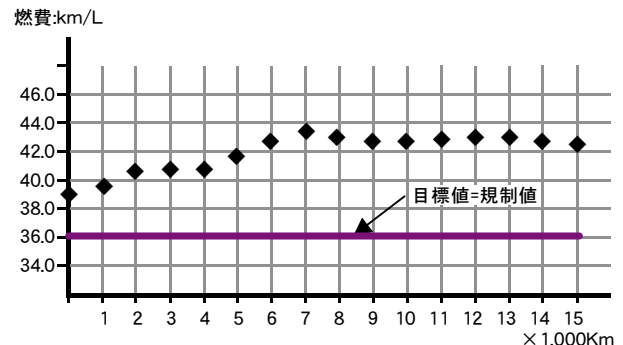


図 3 Majesty 125-FI 燃費数値結果（CNS モード）

この排ガスと燃費の数値を達成できた仕様をまとめると、以下となる。

- (1) 吸気系…新小型 FI（サクシヨンピストン付きスロットルボディ・小型インジェクタ他）
- (2) 排気系…二次空気導入システムと酸化（モノリス）触媒
- (3) 制御系…ECU（Electronic Control Unit）（空気量、点火時期、A/F などのマップ）
- (4) 燃料系…ポンプモジュール（ポンプ、フィルタ、レギュレータ、フューエルセンダー一体化）

2.4 始動性

FI 化によるメリットの 1 つに、エンジン始動性の向上があげられる。高地始動性、高温始動性、低温始動性、長期放置後始動性などがキャブレタ車に比べて改善されている。キャブレタで苦労している、低温始動性、アイドル不安定などの品質問題を FI では、アイドル安定化制御を入れることで解消した。

一例として、

アイドル時のエンジン回転変動率を比較すると、低温（冷機）時ではキャブレタに比べて 1/3 に、暖機時ではキャブレタに比べて約 1/2 にできた。

2.5 燃料系のリターンレス配管

Majesty125-FI は、燃料タンクから、インジェクタに至るまでの燃料配管を 1 本化した。1 本化するにあたっての課題としては、水撃による燃圧変動、燃圧補正、燃欠始動、ベーパーロックなどがあるが、それぞれ、ゴム配管で吸収することや、負圧センサによる大気圧予測、エンジン排熱の影響をなくすなどで問題発生がないようにした。

図4に、タンク回りのリターンレス配管をしたポンプモジュールを、図5にリターンレス配管と通常配管（リターン配管）との違いを示す。

Majesty 125-FI 車は、一般的なスクーターと同じ、ユニットスイングエンジンを採用している。このユニットスイングエンジン固有の問題として、固定タンクと可動インジェクタとの間の配管類に動きを吸収させる構造が必要となる。

この可動部分が簡素化できることが、信頼性向上に直結することは、言うまでもない。

Majesty125-FI 車は、1本配管（リターンレス）とできたことで、信頼性向上やコストダウン、軽量化などに寄与できた。

3 品質への取り組み

FI化により、キャブレタが抱えている諸問題が、基本的に解決されている。

具体的には、キャブレタの生産バラツキによる排ガスや、燃費の下限方向へのバラツキ、始動性不良、アイドル不安定、エンストなどが改善できている。

施策としては、キャブレタ車の市場情報（クレーム・コンプレインなど）を具体的に抽出し、1点1点対策案を出して、地道な品質作り込み活動を展開してきた。結果として、

- (1) 燃費改善
- (2) 始動性改善
- (3) ドライブビリティ改善
- (4) キーイモビライザ信頼性改善

などが達成でき、完成度がさらに高まったと言える。

4 トータル商品性向上度合い

FI化による、開発目標値の達成度がどの程度であったかを表す一例として、キャブレタ車を3点として、FI車の向上度合いを、図6に示す。FI化で、合計で4.4ポイントの向上がみられる。排ガス浄化は当然のこととして、FI化により3で記載したとおり、燃費、始動性、ドライブビリティの項目が向上している。

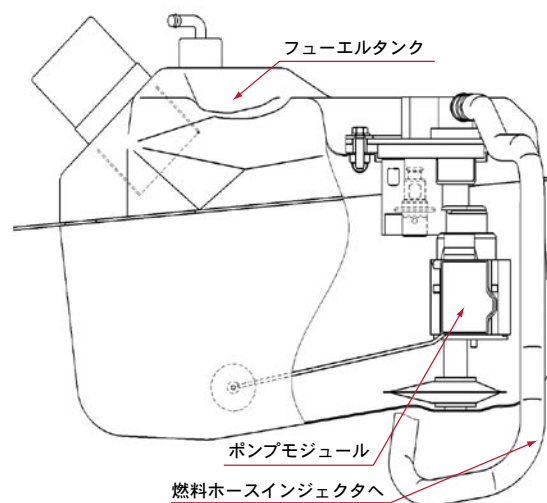


図4 燃料ポンプモジュール

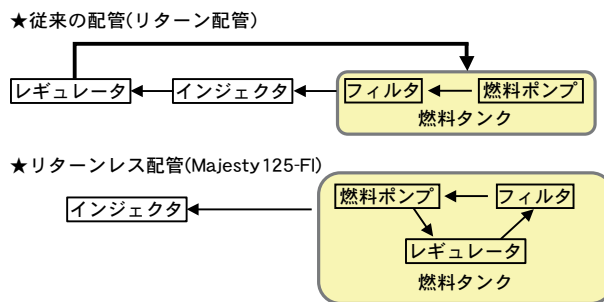


図5 リターンレス配管

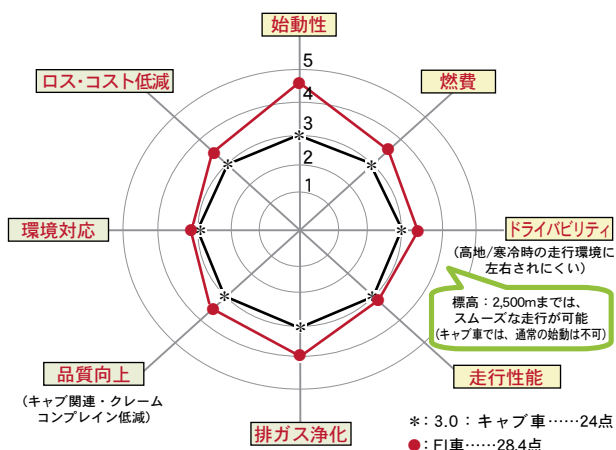


図6 Majesty 125-FI 商品性向上度合い

5 開発で苦労した点

- (1) FIにより、エンジンのバラツキ（吸入負圧のバラツキなど）を考慮した、緻密な適合をしたこと。
 - (2) 現地生産での品質確保：検査方法の確立や燃料系のゴミ・埃対策
（特に燃料タンクのコンタミ流入防止など）
 - (3) 生産試作車、耐久車での A/F の最適化トラブル
 - (4) 高地適合性の精度アップなど…悪条件下での実機マップ適合
 - (5) 台湾市場導入へのサービス情報の徹底化
- などがあったが、このFIシステムは、きちんとした先行開発（品質、コスト）ができていたことで商品化開発がスムーズに行った。
- いかに、きちんとした先行開発が大切であるかをあらためて認識した。

6 おわりに

以上のように、Majesty125-FI では、種々の向上を図りながら、単気筒小型 FI システムを、商品化できた。開発の途中では、現地自製での品質の確保に苦労（5. 開発苦労話しの例）はあったものの、YMT、YMRT（Yamaha Motor R&D Taiwan Co., Ltd.）の協力などで対応でき、計画通り生産できた。

また、FI システムの部品単価も当初目標レベルで仕上がり、小売価格も目標値を達成できた。

加えて、このような新技術を折り込んだ商品が、日本でなく、現地生産で予定どおり達成できたことに大きな意味を持つと考えている。

今後、このFIシステムを商品を通じて育成し、ヤマハモーターサイクルの小型エンジンのFI化のベースになるように、品質、コストのさらなる向上をめざしていく所存である。

●著者



左から、
片岡 政士、杉谷 剛、三浦 透、石田 洋介、高橋 博幸

製品紹介

防音型インバーター発電機 EF1000iS

Silent Type Portable Inverter Generator EF1000iS

深谷 光男 Mitsuo Fukaya
 ● 特機事業部 開発室



図1 防音型インバーター発電機 EF1000iS

The market for small, 1kVA class generators constitutes about 35% of the world market for portable generators. In major markets like North America, Europe and Japan, these generators are used for a wide range of purposes in the household, at factories, construction sites and commercial establishments as well as in outdoor leisure. In today's market, where environmental issues and resource conservation have become primary concerns, we are also seeing intensified price competition sparked by an influx of inexpensive made-in-China copies of the leading makers' portable generators. At the same time, we are also seeing a spread in demand for inverter type generators that are more compact and lighter than conventional models and offer high added value.

Yamaha Motor Co., Ltd. released the open-structure inverter generator EF2800i in October of 2000 and then began development of a 1kVA class inverter model generator. In response to the high user demand for generators that are lighter, more compact and quieter-running in today's market, we developed the EF1000iS as a model to strengthen our inverter model lineup and product competitiveness. Here we give a summary of this product and its development contents.

1 はじめに

1kVA クラス小型発電機は世界の携帯発電機市場の中で約 35%を占め米国や欧州・日本を中心に家庭、工場、工事現場、商店、アウトレジャーなどいろいろな場面で使用されている。地球環境問題や省資源化が社会トレンドとして定着化する中で、中国コピー商品が携帯発電機分野でも散見され、価格競争対応を迫られるようになってきていると同時に、従来型と比較しコンパクトで軽量な高付加価値商品のインバーター発電機が市場に浸透しはじめています。

ヤマハ発動機(株)は 2000 年 10 月にオープン構造のインバーター発電機 EF2800i を発売後、1kVA のインバーター発電機の開発に着手。ユーザーの軽量・コンパクト化・低騒音化要求が高い市場環境の中、インバーターシリーズの強化を図り、商品競争力を向上させる目的で EF1000iS (図1) を開発した。以下、概要と開発内容を紹介します。

2 開発の狙い

本開発では、米国を初めとして、国内、欧州のレジャーニーズを満足させられるよう「信頼性が高く静か」、「運搬しやすい」、「素人でも使いやすい」という顧客要求にもとづき以下の点を開発目標とした。

- (1) 軽量小型高信頼性エンジン・性能劣化が少ない
- (2) 低騒音化での他社との差別化
- (3) 軽量・コンパクト化・持ちやすく運びやすい

3 仕様諸元

仕様諸元表を表1に示す。

表1 仕様諸元表

| | 諸元 | EF1000iS (米国仕様) |
|------|-------------------------|------------------------|
| エンジン | タイプ | 4ストローク単気筒 OHV |
| | 点火方式 | TCI |
| | 始動方式 | リコイルスタータ |
| | 総排気量 (cm ³) | 50 |
| | 内径×行程 (mm) | 41 × 38 |
| 電装 | 《交流出力》 | — |
| | 定格出力 (kVA) | 0.9 |
| | 最大出力 (kVA) | 1 |
| | 定格電圧 (V) | 120 |
| | 定格電流 (A) | 7.5 |
| | 定格周波数 (Hz) | 60 |
| | 《直流出力》 | — |
| | 定格出力 (W) | 96 |
| | 定格電圧 (V) | 12 |
| | 定格電流 (A) | 8 |
| | 電圧変動率 | 3%以下 |
| | 周波数変動率 | 1%以下 |
| | 波形歪み率 | 2.5%以下 |
| 完成機 | 全長×全幅×全高 (mm) | 450 × 240 × 380 |
| | 燃料タンク容量 (L) | 2.5 |
| | 連続運転可能時間 (Hr) | 12.0 [*] ～4.3 |
| | 重量 (kg) | 12.7 |

※エコノミーコントロール ON (1/4 負荷)

4 技術的特徴

4.1 軽量小型高性能エンジン

小型軽量化のため、吸排気兼用1コマ樹脂カムを採用。また部品点数削減を狙って、ヘッドとシリンダー一体の斜め割りクランクケース、及び YDC11（ADC11 相当）アルミ素材を使った鋳鉄スリーブレスシリンダを採用した（図2）。

これにより、従来の 1kVA 発電機用エンジンと比較し、16%の部品点数削減及び 46%の軽量化を達成し、エンジンの定格負荷連続運転耐久性能は、性能劣化、オイル消費量とも目標をクリア。同時にコスト削減を狙い、AC 8 A アルミ素材を使ったダイカストピストンを採用した。



図2 軽量小型高性能エンジン

4.2 低騒音化

(1) 低騒音化を実現するため、発電体に二重巻き線構造を採用。エコノミーモード運転時に低回転域で発電体発生電圧を確保するために専用コイルを設置。当システムにより、軽負荷時に他社比 3dBA/7m の低騒音化を達成した。図3 にシステム回路図を示す。

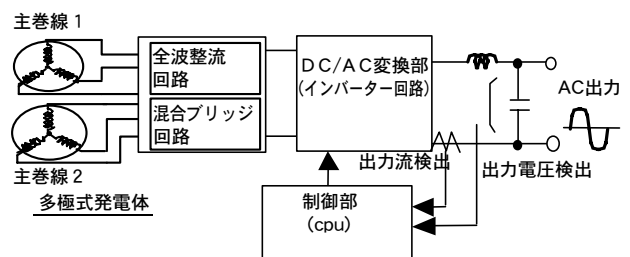


図3 低騒音化システム回路図

(2) カバー類遮音・ダクト化と吸音材の最適レイアウト化・新設計の専用マフラー採用により低騒音化を狙った。定格負荷時の騒音値は、従来モデル EF1000 に対しエンジン回転数 40% アップにもかかわらず、同等の騒音値を達成。同時に、聴感にもやさしい音質を得た。図4 にマフラー・カバー遮音構造外観図を示す。



図4 マフラー・カバー遮音構造

4.3 軽量コンパクト化

インバーターシステム採用及び各部樹脂化により、従来モデル EF1000S の乾燥重量 25kg に対し、12.7kg を達成、50%の軽量化を実現できた。

軽量コンパクト化に大きく寄与したインバーターシステムの主要コンポーネントの写真を以下に示す。

図5は三相多極磁石式発電体。図6は、ダイレクトインカプラー化したインバーターコントローラである。

4.4 片面集中コントロールパネル

顧客要求品質の中で、操作部分が一面に集中している事の要求度が高く、当モデルでは片面集中パネル構造とし操作性を向上させた。

図7は遠隔操作フューエルコックアセンブリで、操作ノブをコントロールパネルにレイアウトするため、操作ノブとフューエルコック間を折り曲げ自在なケーブルで接続する構造とした。図8は、全ての操作部分を集中させたコントロールパネルの写真である。



図5 三相多極磁石式発電体



図6 インバーターコントローラ

5 品質への取り組み

本モデルの開発は、一貫して特機品質保証システム（TQAS）に従った品質の作り込み活動にもとづき進捗をした。

組織としても、開発・営業・企画部門を掛川に移し、製造・販売・技術が一体となって活動できたことが品質向上活動に重要な役割を果たした。EF1000iSは、開発目標達成のため、エンジン、インバーターコントローラ（20%コストダウン）、発電体（二重巻き線構造）を新規設計とした。従って新構造・新機構のFMEA（故障モードと影響解析）に多大の時間を費やすこととなった。これは苦労の多かった点ではあるが、設計品質向上には重要なステップとなった。同時に製造部門と開発室間での生試・生産に向けての完成機評価基準すりあわせのイベントも、TQAS計画書にもとづき確実に実施され生産展開に至った。



図7 遠隔操作フューエルコックアセンブリ



図8 片面集中コントロールパネル

6 おわりに

EF1000iS は、ヤマハインバーターシリーズの強化をはかる商品として、市場投入されたモデルである。エコノミーモード運転での、低騒音化・燃費・連続運転時間は十分に他社との差別化を図ることができたと自負している。また 2002 年 9 月まで生産を継続してきた、コンデンサ補償式発電体搭載の EF1000S に対し、同一最大発電出力で 50%の軽量化を達成できた。軽量・コンパクト化という点に顧客の要望が高い現状から察し、インパクトのある開発結果であり、十分に市場競争力があると信じる。中国製廉価携帯発電機が脅威となりつつある市場環境の中、今後も継続して顧客ニーズを的確に把握し、他社に先行した開発にチャレンジしていく所存である。

●著者



後列左から、深谷 光男、内野 隆、加治屋 晋一、横倉 誠
前列左から、牧野 聡、長津 剛、秋本 悟



防音型インバーター発電機 EF3000iSE

Silent Type Portable Inverter Generator EF3000iSE

深谷 光男 Mitsuo Fukaya
● 特機事業部 開発室



図1 防音型インバーター発電機 EF3000iSE

The market for portable 2 ~ 3kVA class generators constitutes about 38% of the world market for portable generators. In major markets like North America, Europe and Japan, these generators are used for a wide range of purposes such as commercial uses at factories, construction sites and outdoor shop stalls as well as household uses for things like camping, motor homes, fishing and marine leisure. They also serve as emergency back-up power sources. In this market we are experiencing seeing intensified price competition sparked by an influx of inexpensive made-in-China copies of the leading makers' portable generators. At the same time, we are also seeing a spread in demand for inverter type generators that are more compact and lighter than conventional models and offer high added value.

After the market release of our open-structure inverter generator EF2800i in October of 2000, Yamaha Motor Co., Ltd. used its technology in combination with the outstanding anti-noise technologies of the existing EF2300SE model to develop a new low-noise generator. In response to the high user demand for generators that are lighter, more compact and quieter-running in today's market, we developed the EF3000iSE as a model to strengthen our inverter model lineup with the addition of a low-noise model and thus increase product competitiveness. Here we give a summary of this product and its development contents.

1 はじめに

2～3kVA クラスの携帯発電機は世界の携帯発電機市場の中で約 38%を占めている。市場用途は、米国や欧州・日本を中心に、工場整備、工事現場、街頭商店などの業務用のほか、キャンプ、モーターホーム、釣り、マリンレジャーなどの家庭用、及び非常用バックアップ電源としても活用されている。このような市場環境の中、中国コピー商品が携帯発電機分野でも散見され、価格競争対応を迫られるようになってきていると同時に、従来型と比較しコンパクトで軽量な高付加価値商品のインバーター発電機が市場に浸透しはじめています。

ヤマハ発動機(株)は 2000 年 10 月にオープン構造のインバーターモデル EF2800i を発売した後、このインバーター技術と既存防音型モデル EF2300SE の静粛性を併せもった防音型発電機の開発を進めた。顧客の軽量・コンパクト・低騒音化ニーズが高い市場環境の中、防音型モデルのラインナップを揃え、ヤマハのインバーターシリーズの強化を図り商品競争力を向上させる目的で当モデル EF3000iSE (図1) を開発した。

以下に開発内容を紹介します。

表1 仕様諸元表

2 開発の狙い

本開発では、メイン市場の米国ではレジャー需要の獲得を、国内では建機需要の獲得を狙える商品とするため「何にでも使える」、「どこでも使える」、「キャンプサイトで耳ざわりでない」、「素人でも使いやすい」、「運搬しやすい」というユーザーニーズにもとづき、以下の点を開発目標とした。

(1) 起動電力の大きな機器を起動できる

- ・エンジンの高出力化
- ・エアコン 13500BTU (3.9kW) が確実に起動できる

(2) 低騒音化

(3) 軽量・コンパクト化

- ・持ちやすく運びやすい

3 仕様諸元

仕様諸元表を表1に示す。

| | 諸元 | EF3000iSE (米国仕様) |
|------|-------------------------|-------------------------|
| エンジン | タイプ | 4 ストローク単気筒 OHV |
| | 点火方式 | TCI |
| | 始動方式 | セル・リコイルスタータ兼用 |
| | 総排気量 (cm ³) | 171 |
| | 内径×行程 (mm) | 66 × 50 |
| 電装 | 《交流出力》 | — |
| | 定格出力 (kVA) | 2.8 |
| | 最大出力 (kVA) | 3 |
| | 定格電圧 (V) | 120 |
| | 定格電流 (A) | 23.3 |
| | 定格周波数 (Hz) | 60 |
| | 《直流出力》 | — |
| | 定格出力 (W) | 144 |
| | 定格電圧 (V) | 12 |
| | 定格電流 (A) | 12 |
| | 電圧変動率 | 3 % 以下 |
| | 周波数変動率 | 1 % 以下 |
| | 波形歪み率 | 2.5 % 以下 |
| 完成機 | 全長×全幅×全高 (mm) | 680 × 455 × 555 |
| | 燃料タンク容量 (L) | 13 |
| | 連続運転可能時間 (Hr) | 20.5 [※] ～ 8.0 |
| | 重量 (kg) | 69 |

※エコノミーコントロール ON (1/4 負荷)

注) 当米国仕様諸元は、DC コンバータ付きである

4 技術的特徴

4.1 起動電力の大きな機器の起動が可能

(1) エンジンの高出力化

定格出力 2.5kVA の既存インバーター発電機 EF2800i で使用するエンジンを採用。定格出力を 2.8kVA（最大出力 3.0kVA）までアップさせる狙いで、EF2800i に対して以下の点を改良した。

- ① 定格出力時のエンジン回転数を 3,550rpm から 3,800rpm までアップ。
- ② エンジンのインポート形状を変更し、出力を従来エンジン比で 7%アップ。

図2 にエンジンの出力アップに関する改良前後のエンジン出力特性を示す。

(2) エアコン 13500BTU を確実に起動

レジャービークル用のエアコンを起動できる事が目標であるため、実使用状態ですでに電気機器を使用している事を考慮し、開発目標を「15A の電流負荷を使用している状態で前記エアコンが起動できる事」として開発を進めた。

前述のエンジン出力だけでは目標達成は不可能であるため、始動用バッテリーを交流出力のエネルギー源として活用する新システムを考案した。そのシステムのブロックダイアグラムを図3 に示す。図4 はシステムを構成する DC/DC コンバータ外観写真である。当システムは、起動電力の大きな負荷を起動する際に、負荷電流及び電圧の落ち込み量を検出し、規定値以上の瞬時電力を必要とする場合に DC/DC コンバータを起動する。始動用バッテリーを瞬時 AC 電力供給のエネルギー源として活用し、起動時のみ発電出力をアシストするシステムである。

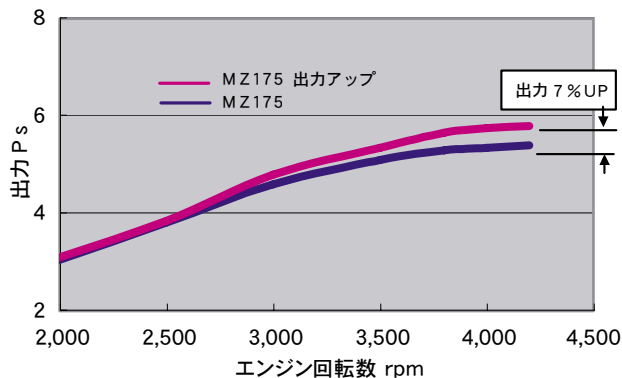


図2 エンジン出力特性

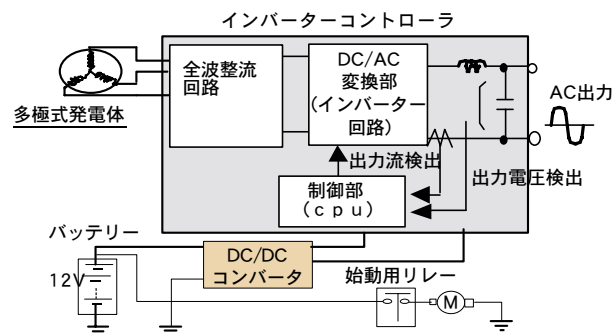


図3 瞬時起動電力アップシステム図

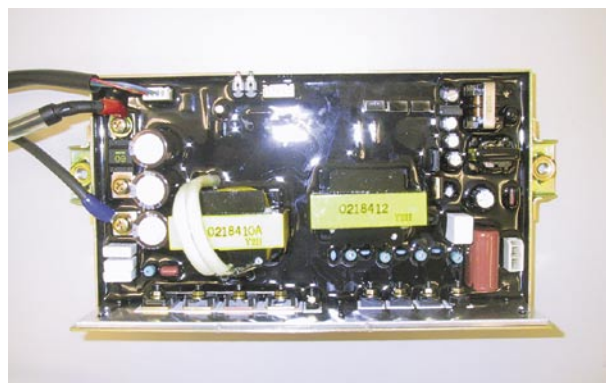


図4 DC / DC コンバータ

4.2 低騒音化

- (1) 低騒音化を実現するため、OHV エンジン用プッシュロッドにアルミを採用。

従来の鉄製プッシュロッドに対して聴感での改善がなされた。

図5に変更前後のプッシュロッドを示す。

- (2) カバー類遮音・ダクト化と吸音材の最適レイアウト化・新設計の専用マフラー採用により低騒音化を進めた。これにより、キャンプ地でも耳障りでない聴感にやさしい音質を達成。図6にマフラー部構造、図7に改善された完成機の周波数特性を示す。



図5 プッシュロッドのアルミ化



図6 マフラー部構造

4.3 軽量・コンパクト化

インバーターシステム採用により、従来モデル EF2300SE（定格出力 2.3kVA）に対し、0.5kVA の出力アップにもかかわらず17%の軽量化および20%のコンパクト化を達成した。

4.4 中国製部品調達

コスト削減を狙い、7部品を中国から調達した（図8）。

4.5 片面集中コントロールパネル

顧客要求品質の中で、操作部分が一面に集中している事の要求度が高く、片面集中パネル構造とし、操作性を向上させた。図9は、全ての操作部分を集中させたコントロールパネルの写真である。

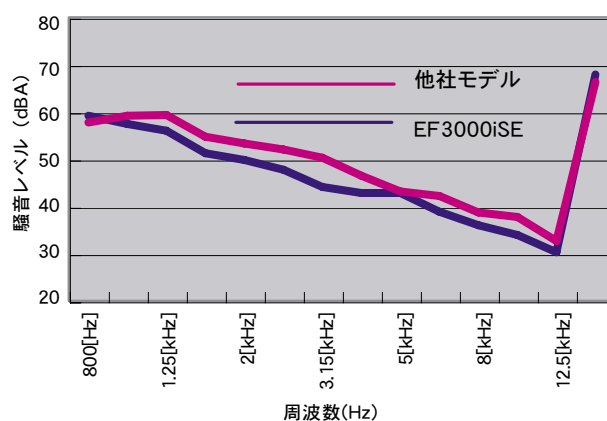


図7 完成機周波数特性



図8 中国からの調達部品



図9 片面集中コントロールパネル

5 品質への取り組み

本モデルの開発は、一貫して特機品質保証システム（TQAS）に従って品質の作り込みを推進した。開発所在地を、磐田本社から発電機の製造工場がある掛川に移し、製造・販売・技術が一体となって活動を展開したことも、TQASのPDCA（Plan-Do-Check-Action）をまわす上で重要な役割を果たした。TQASステップ1の市場要求項目の抽出・市場コンプレイン調査で、営業・サービス部門から徹底した情報を提供してもらう中で品質二元表（QFD）作成にはかなりの時間を費やした。ステップ2では、製造部門も入れて新工程、製造コンプレインについて議論を展開し重点保証項目を決定した。「静粛性確保」と「瞬時起動電力の高い機器への対応」の2項目である。この項目について、生産品質を確保するために何をすべきかを開発部門、創輝機品管・製技で検討し具体策を決定。ステップ3以降の各ステップで、それぞれの部門進捗状況を確認し製造部門と開発部門責任者のレビューを実施した。やり残し部分や対応不足のある場合は再度レビューというサイクルを展開。開発設計仕様についても、このTQASの中で議論され、設計品質確保上の仕様の見直しや、図面への作り込み等を経て生産品質決定に至っている。

6 おわりに

中国製コピー商品の廉価携帯発電機が国内でも散見されるようになってきており、コスト競争がますます加速されようとしている。

同時に、従来型と比較しコスト高ではあるが、コンパクトで軽量な高付加価値商品であるインバーター発電機が市場に受け入れられはじめている。EF3000iSEは、ヤマハのインバーターシリーズの強化をはかる商品として、高付加価値商品領域で顧客のニーズを満足させるものと信じている。廉価版と高付加価値商品の二極化が進む中、更に独創性の高い発電機を継続して開発していく所存である。

●著者



左から、深谷 光男、馬塚 尚人、杉山 隆秀、山本 重樹、
杉浦 啓介

製品紹介

産業用無人ヘリコプタ RMAX type II G

Industrial-use Unmanned Helicopter RMAX Type II G

坂本 修 Osamu Sakamoto
●スカイ事業部



図1 RMAX type II G

Since its market release in 1997, the industrial-use unmanned helicopter RMAX has won a strong reputation in the crop-dusting industry due to its excellent payload capacity and ease of use. In March of 2003, YMC will release the RMAX Type II G featuring new autonomous flight technologies to achieve an even higher level of operability. Here we introduce an outline of this new model and its technologies.

表1 機体スペック

| 機体関係 | |
|----------|--------------------|
| 全長 | 3,630mm |
| 全幅 | 720mm |
| 全高 | 1,080mm |
| 燃料タンク容量 | 6.5L |
| メインロータ直径 | 3,115mm |
| 重量 | 67kg |
| 最大離陸重量 | 97kg(1 気圧、35℃) |
| 原動機 | 2 ストローク、2 気筒 |
| 排気量 | 246cm ³ |
| 最大出力 | 15.5kW/6,350rpm |
| 最大トルク | 2.55Nm/5,500rpm |
| 冷却装置 | 水冷方式 |
| 燃料 | 混合ガソリン (50 : 1) |
| 無線装置 | |
| 形式 | FM-PCM |
| 使用電波 | 産業用ラジコン電波 |
| 周波数 | 73MHz |
| 出力 | 0.3 W |
| 操縦支援装置 | |
| ジャイロ | 光ファイバージャイロ |
| G センサ | 容量式加速度計 |
| GPS | 12 チャンネルレシーバー |

1 はじめに

産業用無人ヘリコプタ RMAX は 1997 年の発売以来、優れた搭載能力と扱いやすさで農薬散布市場において高い評価を得ている。当社では 2003 年 3 月より、自律型無人ヘリコプタ技術を投入し、さらに操縦性を向上させた RMAX type II G (図1) を発売する。ここにその概要を紹介する。

2 開発の狙い

無人ヘリコプタの市場導入を促進するため、「安心と安全」をキーワードに下記の項目を重点に開発を行った。

- (1) 散布初心者が安心して操縦できるよう、送信機から手を離せば機体速度にブレーキが加わりホバリング状態となる機能を追加する。
- (2) 市場要求を取り入れ、操作性・耐久性の向上を図る。
機体スペックを、表 1 に示す。

3 仕様概要

3.1 制御関係

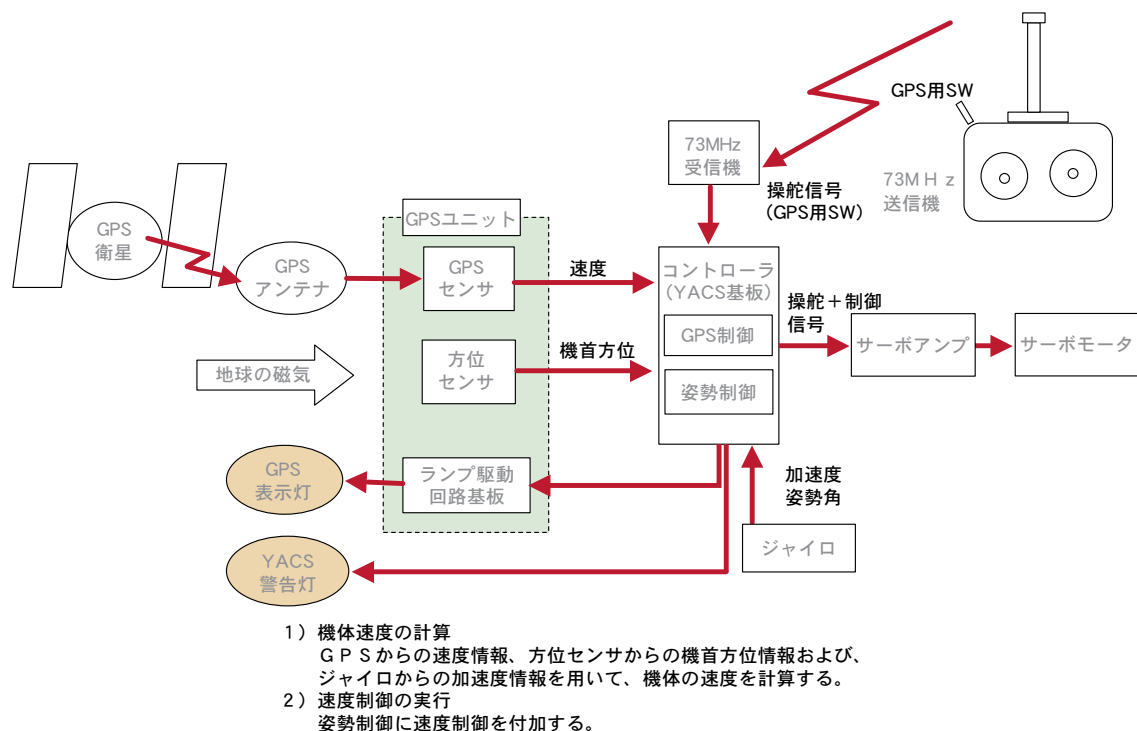


図2 GPS制御の構成

GPS（Global Positioning System）センサを用いた制御の構成を図2に示す。この制御による新機能を図3に示す。この機能を追加したことにより、15km/hで前進中、送信機から手を離すと約10m以内で機体は停止することができた。（従来は、ブレーキ操作の舵を打たない限り前進飛行を続ける。）また、遠方（100m程度）でも定点ホバリング可能となり、散布中のオペレーター移動時の足元確認等を容易にした。

さらに従来のYACS（ヤマハ姿勢安定制御）とGPS制御を組み合わせることにより、ユーザーは6つのフライトモードを好みに合わせて選択することができる（表2）。

- 1) スティック操作量に応じた速度変化（SGモード使用時）

| スティック操作 | 速度 |
|---------|------------------------|
| 最大 | 最大 30km/h |
| 0 | 0 km/h (操作なしでホバリング) |

スティックをニュートラルに戻すと速度を0 km/hにする

- 2) GPS受信状態が悪化した時の安全対策
自動フレアにより前後の動きをとめる。（SGモード使用時）機体の動きは急激に変化させない。
- 3) フェールセーフ時の自動降下モード
GPS受信状態が良好の場合、フライトモードに関係なくGPS制御が働き、ホバリング状態にした後、毎秒30cmの速さで降下する。

図3 GPS制御による新機能

表2 6種類のフライトモード

| モード | GPS スイッチ OFF | モード | GPS スイッチ ON |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S | 現行 RMAX 仕様と同じ思想。 舵角を抑えた初心者適応姿勢制御。 ラダー操舵しないときは、オートトリム機能が働き横風でピルエットしても風に流されない。また、強風時の着陸でメインローター面が安定する。 | SG | エルロン、エレベーター舵とも、スティック比例の速度制御となる。 現行 RMAX 制御と操縦方法が異なるため、初期は若干の違和感を感じるが、短時間の習熟訓練が必要。 前後進飛行散布には大きな効果を発揮する。 |
| C | S モードの操舵量 20%アップ仕様 | CG | ホバリング時は、維持性をあげるために強い速度ブレーキをかけている。しかし、動きはじめると、C モードの操舵フィーリングを崩さないよう、ソフトな速度ブレーキに切りかえている。バンク旋回がやりやすくなっている。 |
| A | C モードよりも、よりマニュアルの操舵フィーリングに近い仕様。 | AG | A モードのフィーリングを崩さず、ホバリング安定性を加えたモード。 速度ブレーキをかける機能は有するが、あくまでも、操縦者意思に任せるブレーキ操作を優先する仕様。 バンク旋回はやりやすくなっている。 |

3.2 機体関係

機体のフィーチャーマップを図4に示す。従来の RMAX の基本サイズを変更せず、農薬散布という過酷な使用状況に合わせて各部の改良を実施した。

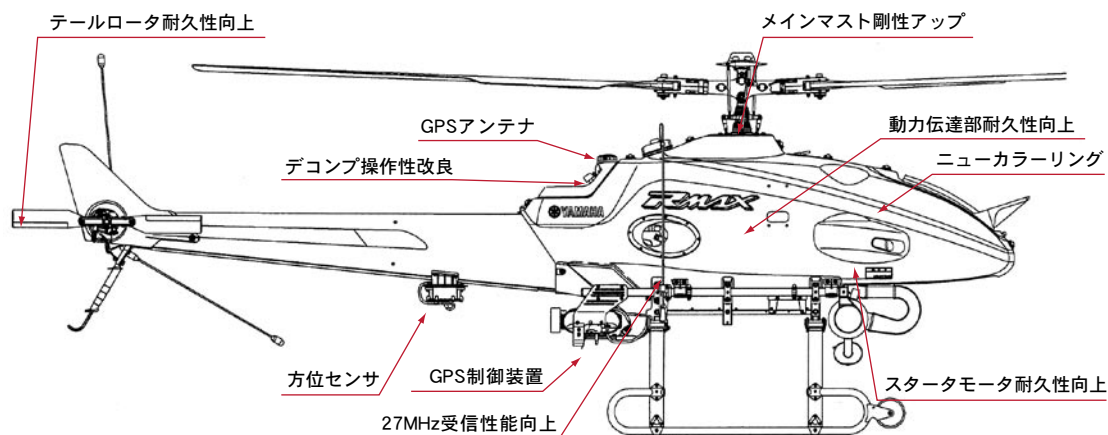


図4 フィーチャーマップ

4 品質への取り組み

本機の開発にあたり、特に商品品質向上に留意した点は次の2項目である。

(1) 市場クレームを1/10に削減する。

過去5年間の市場クレームを集計し重点項目を定め、20数項目の改良を織り込んだ。また、社内評価以外にユーザー機に対策部品を投入し、対策効果を確認した。

(2) GPS機能の問題点の先取りとユーザー要望の適切な織り込み。

本年の散布シーズンに全国で延べ600ha、使用ユーザー数約50名の実散布を実施した。実散布での問題点の抽出、ユーザーの技量の違いによる要求の違いを明確にし、GPS制御仕様に織り込んだ。

5 おわりに

近年、有人ヘリコプタによる農薬散布を中止する自治体が増加し、無人ヘリコプタへの期待が高まっている。今回のモデルチェンジがユーザーの散布作業における疲労低減・安全向上に貢献し、新たな市場開拓に結びつくことを自負している。

最後に RMAX type II G の開発・製造にあたり多大な協力を頂いた社内外の関係者各位に深く感謝いたします。

■著者



坂本 修



レーシングカート M125YZ/M85YZ

Racing Karts M125YZ/M85YZ

尾崎 由斉 Yoshihito Ozaki
●特機事業部 国内営業室



図1 M125YZ



図2 M85YZ

Users of racing karts designed for use on full-fledged road courses are on the increase not only among advanced-level kart competitors but also among less competition-oriented users who classify as hobbyists. In order to accommodate these diverse user groups, we recently developed and released what constitutes a model change of Yamaha's existing transmission-equipped racing kart model for the premier class of Yamaha SL kart racing. Here we summarize the contents of this model change.

1 はじめに

本格的ロードコースも走行可能なレーシングカートは、上級者のみでなくホビー層と分類されるユーザーも増加傾向である。レースカテゴリー内（ヤマハ SL）の最頂点クラスとして位置付けし販売していたミッション付きカートを、それら異なるユーザー層に対応できるようモデルチェンジし発売するのでその概要をここに紹介する（図1、2）。

2 コンセプト及び開発の狙い

本格派とホビー層という全く次元の異なるユーザー層の満足度を向上させるために不可欠な要素の内、共通項目に着目し、①速さの追求、②操作する醍醐味、③ロードコースもカートコースも走行できる、④長く所有できる、これらを付加価値として製品に盛り込むべく検討した。開発コンセプトは「フォーミュラー」、「サーキットの疾風」である。

モーターサイクル用エンジンを流用したミッション付きレーシングカートは、以前より販売を行っており、「M125YZ」、「M80YZ」の2機種をラインナップしていた。いずれのモデルも基本的にカートコース走行を主眼に設計され、それぞれエンジン・シャシー共に別物を設定。M125YZは上級向けシャシー

にモトクロッサー YZ125 のエンジンをカート用に変更したものを、M80YZ は初・中級向けシャシーにモトクロッサー YZ80 のエンジンをカート用に変更したものを搭載していた。

今回、M85YZ は排気量を 80cm^3 から 85cm^3 にアップした。シャシーは M125YZ と同じ上級シャシーとした。4 輪用ロードコースでの走行に適する様、M125YZ に匹敵する性能を持たせ、高級感を醸し出した。

3 仕様概要

表 1 に仕様諸元を示す。

表 1 仕様諸元

| 製品名 | M125YZ | M85YZ |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|
| 全長 / ホイールベース | 1,750/1,040mm | 1,600/1,040mm |
| 乾燥重量 | 89kg (含エンジン) | 81kg (含エンジン) |
| トレッド F / R | 標準 1,115/1,365mm | 標準 1,115/1,365mm |
| エンジンタイプ | 2ストローク・水冷・クランク室リードバルブ | 2ストローク・水冷・クランク室リードバルブ |
| 気筒数 / 配列 / 排気量 | 単気筒 / 前傾 / 124cm^3 | 単気筒 / 前傾 / 84.7cm^3 |
| 内径×行程 | $54.0 \times 54.4\text{mm}$ | $47.5 \times 47.8\text{mm}$ |
| 圧縮比 | 8.7 ~ 10.8 : 1 | 8.2 : 1 |
| 始動方式 | 押しがけ | 押しがけ |
| 潤滑方式 | 混合給油 | 混合給油 |
| 点火方式 | C.D.I. | C.D.I. |
| 点火プラグ型式 | BR10ECS | BR10ECS |
| クラッチ型式 | 湿式多板コイルスプリング | 湿式多板コイルスプリング |
| 変速機 | 常時噛合式 前進 6 段 | 常時噛合式 前進 6 段 |
| フレーム材質 | クロームモリブデン鋼管 | クロームモリブデン鋼管 |
| フロントタイヤ | 10 × 4.50 - 5 (SL02) | 10 × 4.50 - 5 (SL02) |
| リアタイヤ | 11 × 7.10 - 5 (SL02) | 11 × 7.10 - 5 (SL02) |
| 制動装置 F / R | 油圧フローティングディスク式 | 油圧フローティングディスク式 |
| 車高調整 | フロント / 可 リア / 不可 | フロント / 可 リア / 不可 |

3.1 搭載エンジン

モーターサイクル市場で高い評価を受けている YZ 系エンジンを採用。両排気量ともに、中・低速域の扱い易さと高速域でのパンチ力を高次元で両立させた。ホビー層には扱い易く、エキスパートにはその多彩な戦術に応えられる性能を発揮することが可能となる。

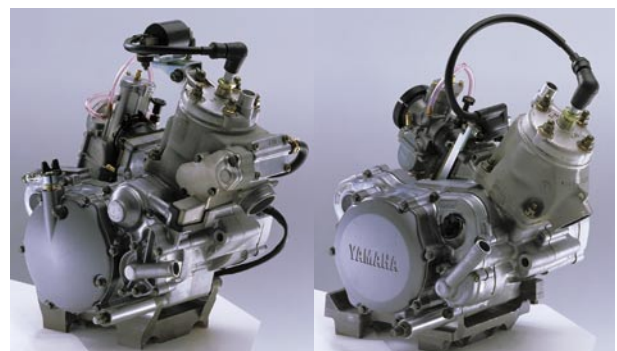


図 3 YZ125 エンジン単体 図 4 YZ85 エンジン単体

3.2 変速装置

38.9kW (53.0PS) の 125、21.3kW (29.0PS) の 85 共にモトクロッサー用が 5 速であるため、本格的サーキット走行に合わせ 6 速化し、本来の瞬発力と粘り強いトルク特性を生かしながら、最適

化を実現した。クイックなシフトワークでパワーバンドを生かし、ダイレクトカートでは味わう事のできない爽快な加速と伸びを引き出した。

3.3 シャシー（採用フレーム）

ダイレクトカートに採用のシャシーが基本ベースでありながら、走行性能面での高次元の制動性能と外観面での高級感を醸し出すため前後輪にディスクブレーキを採用。従来モデルは、125 と 80 でシャシーが異なり排気量のみでなく基本性能にも格差があった。そこで今回のモデルよりシャシーの統一化を行った（図 5）。

3.4 キャブレタ

従来のモデルにはカートコース用の SL キャブレタとサーキット用の 2 種類を設定していたが、異なる層の対象ユーザーを主眼に、遊び的にカートコース〜本格的にロードコース走行を可能とするため、モーターサイクル用キャブレタを採用。ジェット類、ニードル類など細部をカート用にモディファイした（図 6）。

4 品質への取り組み

心臓部のエンジンに関しては、定評の高いモトクロッサー用を採用の上、カート専用部品類を㈱ワイ・イー・シーに開発設計を依頼。変速装置・キャブレタ内部・排気系（チャンバー含む）・補器類等、詳細パーツに至るまで入念なテストを実施した。その結果、本来の性能を損なう事なくカート専用モディファイ化を実現できた。

骨格部のシャシーは、他のヤマハカートモデル同様に、カート名門イタリア birel 社製品を採用。

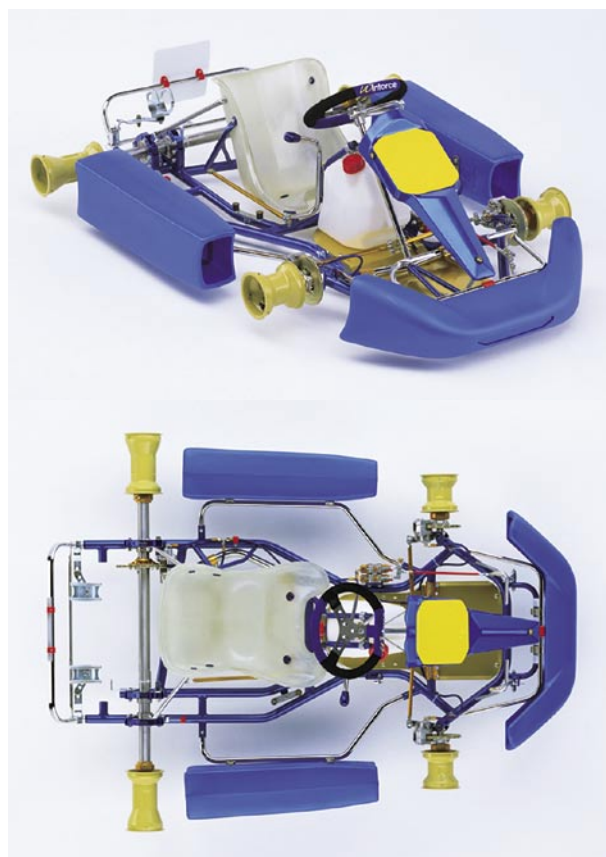


図 5 Winforce WF- II

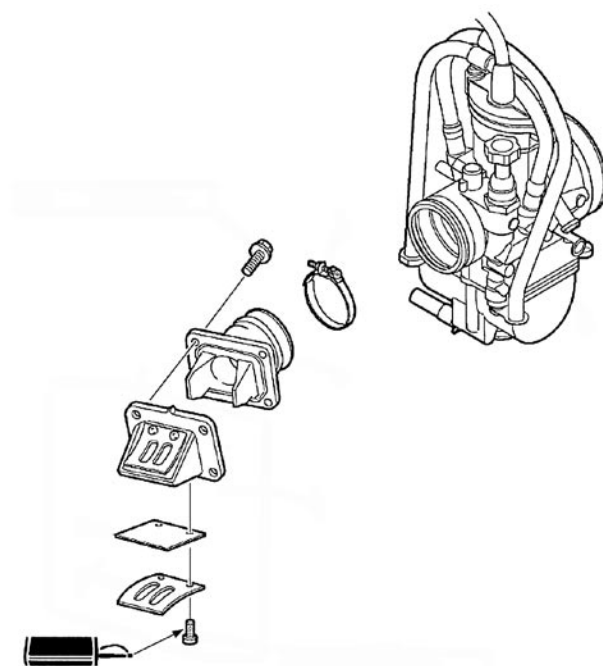


図 6 キャブレタ

5 普及政策との連動

開発コンセプト「フォーミュラー」、「サーキットの疾風」のもと、ユーザー満足度向上を最優先に製品開発設計を行ったが、ソフト面でもこの思想を踏襲し異なる層の購入喚起を図った。

本格的サーキット走行の醍醐味をユーザー全員に体験させる場の提供と、ユーザー満足度向上の両面より発売キャンペーンを展開。新型モデル購入者のみならず、代替予備軍の既存モデル所有者とミッションカート保有者を対象に走行会を企画した。カートコースレベルでの走行会は以前より展開されており魅力に欠ける事、コンセプトに合わない事、フォーミュラカーが走行するのはロードコースである事より、全国の有名コースを選定した。

鈴鹿サーキット本コース、富士スピードウェイ（FISCO）、SUGO ロードコース、ヤマハ袋井テストコースの4会場で、発売開始後からシーズン開始直前の春まで実施する。

6 おわりに

ただでさえ馴染みの薄いレーシングカートの世界の中で、ミッション付カートは更に認知度の低いモデルである。以前はダイレクトカート経験者の最終ステップアップに位置付けられていたが、ここ数年様相に変化が生じている。

比較的年齢・収入の高い、俗に言う「おじさんカーター」の存在が増え、レース志向でなくとも遊び感覚でサーキット走行を楽しむという新しい風潮を生み出している。もともとがモーターサイクル用エンジンであり、このモデルはカート経験者だけでなくバイクユーザーまでもがターゲットになりうると思われる。自動車ですらオートマチックが当たり前の現在、セミオートマチック風変速装置が流行りつつある事も「おじさん族」が疾風を求めている一端かもしれない。

■著者



尾崎 由斉



製品紹介

ミニモジュールマウンター 「MCUBE (エムキューブ)」

Mini-Module Mounter "MCUBE"

村松 啓且 Hirokatsu Muramatsu
●アイパルス株式会社 技術グループ



図1 ミニモジュールマウンター「MCUBE (エムキューブ)」

The recent trend in the electronic parts surface mounter industry has been a shift away from large-scale mass production to more flexible smaller-lot production schedules. This has been accompanied by a shift away from larger high-speed surface mounters toward increased demand for mid-sized mounters that offer both multipurpose flexibility and high-speed mounting performance. While this shift reflects the changes occurring in production facilities as a result of changes in product demand, at the same time it can also be seen as a reflection of the success of long years of product development efforts by mid-size surface mounter manufacturers like ourselves. It should be noted that there was no real mid-size surface mounter category to begin with. These machines were merely part of a niche market for smaller auxiliary mounters. However, continuing development efforts steadily increased the speed and accuracy of the mounting performance of these models. At the same time, we worked to make them more versatile and easier to use from the users' standpoint, as well as finding ways to keep their cost down to ensure excellent cost performance. Eventually we were able to produce mid-size models that achieved higher productivity per area of factory floor space than the large-size high-speed mounters and productivity that was virtually equivalent to the high-speed models at

a low price. The customers soon recognized the value of our efforts and our mid-size mounters finally became the new mainstream standard in the industry. However, new demands never cease coming from the market. In answer to these constantly evolving market needs, we have developed the new mini-module mounter "MCUBE" that we introduce in this report.

The newly developed product described here is sold by Yamaha Motor's IM Company under the product name "THREEM."

1 はじめに

最近の電子部品実装業界では、実装市場が多品種大量生産から変種変量生産への移行するのに伴って、大量生産向きの大型高速機から汎用性と高速性の両機能を併せ持った中型中速機の需要が拡大してきている。製品需要の変化に適合した生産設備の変化ではあるが、我々中速機メーカーの長年にわたる努力が実を結んだとも言える。元来、中速機というカテゴリーが最初から存在していた訳ではない。最初は高速機の補間機としての位置付けでニッチなマーケットからスタートし、少しずつ搭載速度や搭載精度の向上を図ってきた。さらにユーザーサイドに立った使い勝手の向上や、コストの低減を行い、性能の優れた廉価な製品作りの努力を重ねてきた。その結果、高速機以上の設置面積当たりの生産性や、高速機並みの生産性を低コストで実現できるようになった。そうした我々の努力がお客様に評価され、何とか実装機の主流を占めるまでに至った訳ではあるが、新たな市場の要求は高まるばかりである。そこで、さらなる市場要求に応えるため、ミニモジュールマウンター「エムキューブ」を新たに開発したので紹介する（図1）。なお、本開発商品はヤマハ発動機(株) IMカンパニーからは、「THREEM (スリム)」として販売されている。表1にエムキューブの基本仕様を示す。

表1 基本仕様

| | |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 基板寸法 | L330 × W250mm (最大) / L50 × W30mm (最小) |
| 基板厚さ | 0.4 ~ 3.0mm |
| 基板搬送方向 | 左から右 (オプション 右から左) |
| 装着精度 | 絶対精度 ($\mu + 3\sigma$) $\pm 0.05\text{mm}/\text{CHIP}$ 、QFP (当社評価用標準部品使用時) 繰返し精度 (3σ) $\pm 0.03\text{mm}/\text{CHIP}$ 、QFP (当社評価用標準部品使用時) |
| 装着タクト (最適条件) | 0.3 秒 / CHIP |
| 部品品種数 | 16 品種 (最大、8mm テープ換算) |
| 部品供給形態 | テープフィーダー、 スティックフィーダー |
| 搭載可能部品 | 0603 ~ □ 31mm 部品、 搭載可能部品高さ 15mm、 基板下部品高さ 30mm |
| 搭載ヘッド | 4連フルサーボモータ制御、 オートノズルチェンジステーション (オプション) |
| 認識システム | 部品認識用デジタルマルチカメラ、 基板フィデューシャルマーク認識カメラ |
| 基板固定 | 基板挟み込み方式、基板厚さ 自動連動式プッシュアップ |
| 基板搬送 | コンベア幅自動調整 (サーボ式)、 コンベア速度 256 段階 (ソフトウェアにて変更可) |
| 安全装置 | 3色シグナルタワー、フィーダー 部安全カバー、非常停止ボタン |
| 外形寸法 | L1,195mm × W1,275mm × H1,350mm (シグナルタワー上 部まで 1,800mm) |
| 本体重量 | 約 750kg |

2 新商品の開発コンセプト

エムキューブの開発コンセプトは、「小さな本格派」とした。狙いは「小型機市場の創造」である。図2に中型機の価格（定価）と搭載速度（最適条件）の関係を示すが、1,000万円以下で搭載速度が生産ラインで使うことが出来る最低条件の0.2～0.3秒/チップのゾーンが空白となっている。このゾーンを小型機市場と位置付け、ここに魅力的なモデルを投入することにより新しい需要が生まれる可能性があると判断した。最近の市場の声として

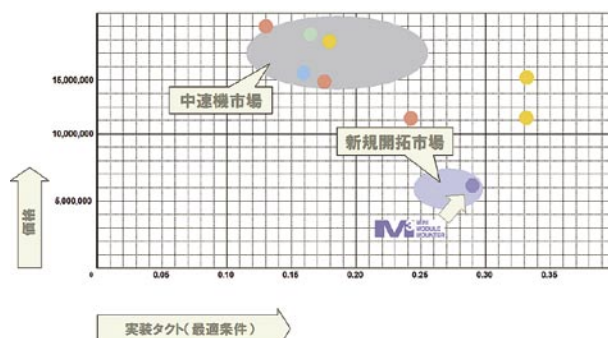


図2 中型機の価格と搭載速度

「小さくて、高機能で、安いマシンが欲しい」という要望が強く、そうしたお客様のニーズを総合すると小型機ゾーンと重なる。特に最近では海外の安い生産コストとの比較でマウンターの価格が決まるなどの新たな要因が加わり、価格に対する厳しさが一層増してきている。こうした背景から開発のキーワードは市場の声そのものである「小さい、高機能、安い」とした。

3 製品の特徴

3.1 小型でスペース効率が低い

「小さい機械が欲しい」、これは実装業界の切実な要望である。生産能力を上げるために工場の増設は許される環境ではない。莫大な工場建設投資は、そのまま実装コストに跳ね返り、結局コスト競争力を失ってしまう。エムキューブは全幅 1,195mm、奥行き 1,275mm、全高 1,350mm と大幅な小型化を実現している。その結果、実装ラインの全長を短縮する事ができる。複数台連結する場合や、既存ラインに増設する場合でも、スペース効率を上げる事が可能である。また、生産計画に応じて頻繁にライン変更をする場合に備えて、重量を 750kg と軽量化し、お客様の工場内で簡単に移設できるようにした。機械の高さも工場管理の見地からすると工場全体を見渡せる高さが望ましいと言う要望が強く、機械が壁にならない様に極力全高を抑える事を構想段階から考慮した設計とした。

3.2 高精度搭載が可能

年々、実装部品は小型化し実装密度は高くなっている。特に最近では 1005 (0.5mm 角×1mm)、0603 (0.3mm 角×0.6mm) チップの狭隣接実装や、鉛フリー化によるセルフアライメント効果の排除などで、より高精度な搭載が要求されてきており、一世代前の実装機では対応できないケースが出てきている。こうした要求に応えるため、エムキューブは、0603 チップ搭載を標準仕様とし、搭載精度も±0.05mm をフルタイム保証としている。

3.3 低価格の実現

マウンターの最大マーケットに成長した中国市場では、価格が最大の関心事となっている。エムキュー

ブは、シンプルな構造、部品の一体化による部品点数の削減、他モデルとの部品の共通化、可動部品を軽量化する事により駆動モータ出力を従来比約2分の1以下として駆動系コストを低減、徹底したユニット構造化で組立工数の削減を図るなどの工夫で、既存中型機の約2分の1の価格を実現する事ができた。

4 高精度・高速化への取り組み

4.1 スーパーモノコックフレーム

マシンフレームは、FEM（有限要素法）構造解析から導き出された高精度搭載に最も適した門方構造とし、ベッド、コラム、サドルをミーハナイト鋳鉄による一体構造として十分な剛性を確保する事により、従来の実装機とは一線を画す低振動化を実現して、長期間にわたる高精度搭載の維持を図っている。図3にスーパーモノコックフレームの外観を示す。



図3 スーパーモノコックフレーム

4.2 高精度組立

アイパルス㈱では長期間安定した高精度搭載を可能とするために、キサゲやハンドラップによる手仕上げ高精度組立を行っている。機械加工のみでは工作機械の精度、工具の磨耗、切削条件、治具、の精度、クランプ歪等の複数の要因が重なり精度の高い平面を安定的に得ることは難しい。アイパルス㈱ではリニアガイドの取り付け面をキサゲ仕上げとし、ミクロンオーダーの平坦度を確保して可動部のピッチングやヨーイングを最小とし、搭載ヘッド軌跡の安定化を実現している。また、送り系のボールネジナット取り付け面の直角度が出ていないとボールネジの転走面とナットの転走面にズレを生ずるが、この面の直角度を完全なものとする事により、有効に接触するボールの数が増え、送り系のコンプライアンスを小さくでき、精密な送りを実現する事ができる。また同時に発熱を抑え、発熱による精度への悪影響も最小限に抑える事ができる。アイパルス㈱では、ハンドラップ仕上げでこの直角度を確保している。ソフトウェアによる精度補正に最初から頼らず、静的機械精度を極限まで追求した上で最終的にソフトウェア補正をするやり方が機械的寿命を高め、長期間にわたって安定的な精度を確保できると考えている。図4にキサゲ加工されたベース面を示す。

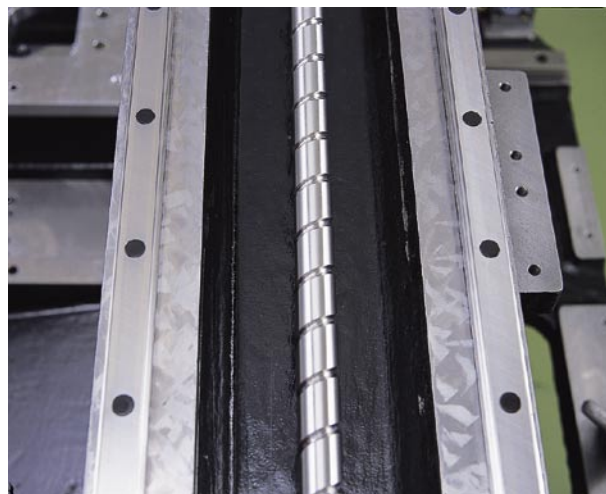


図4 キサゲ加工ベース

4.3 多重精度補正システム

部品搭載精度に影響するマシンの要素を総合的、多重的にソフトウェアで補正する機能で機械の静的精度の補正、温度変化に対する補正を行う。工場出荷時の精度をお客様の工場で容易に再現または調整できるため、マシンのインストレーションを容易にしている。ヒートサイクル環境（午前午後、日中夜間などの温度変化の繰り返し）にも完全対応し、常に安定した部品搭載をすること事ができる。

図5に補正前と補正後の精度比較を示す。

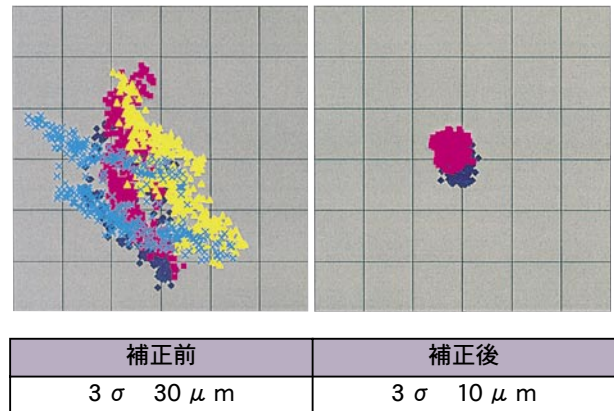


図5 絶対精度補正比較

4.4 挟み込みクランプ方式

高精度搭載を実現する為には、まず基板を安定的にクランプする事が重要である。エムキューブでは、特殊な構造で基板を微小な面で挟み込んで固定する、挟み込みクランプ方式を採用して確実な基板保持を実現している。また基板の厚さに自動的に連動するプッシュアップ方式により、プッシュアップピンの高さ調整を不要とし、標準装備のコンベア幅自動調整機能を含めて大幅な段取り時間の短縮を図っている。図6に挟み込み方式基板クランプを示す。

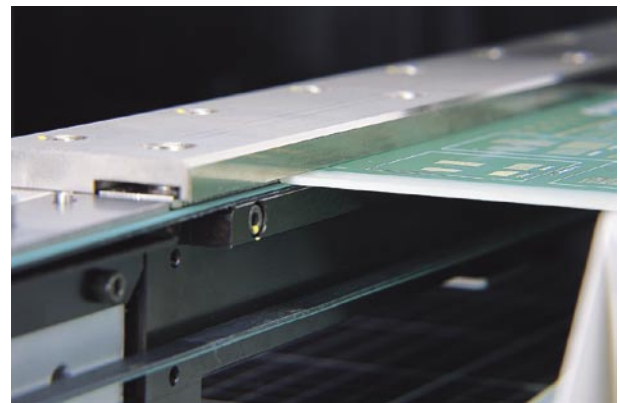


図6 挟み込み方式基板クランプ

4.5 小型高精度4軸ヘッド

実装機における心臓部ともいえる部品搭載ヘッド部は、フルサーボモーター駆動の4軸とし、0.3秒/チップ（最適条件）の搭載速度を実現すると共に、部品搭載時の衝撃を最小にして、0603から大型部品までの部品の高精度、高速搭載を可能とした。また対応部品高さも15mmとし、部品対応能力を向上させている。図7に小型高精度ヘッドを示す。



図7 小型高精度ヘッド

4.6 テープフィーダーの高速化

テープフィーダーは、マウンターの構成部品の中で最も重要なエレメントである。特に 1005、0603 のような微小部品の吸着率は、テープフィーダーの性能に左右される。新型フィーダーは現行フィーダーと取り付け互換性を保ちながら高速送りを実現すると共に吸着位置を安定させる事により、吸着率と実生産タクトの向上を図った。トップテープ処理は現行の巻取り方式から掃出し方式とし、キャリアテープのスプライシングに対応できるようにした。図 8 に新型高速フィーダーを示す。

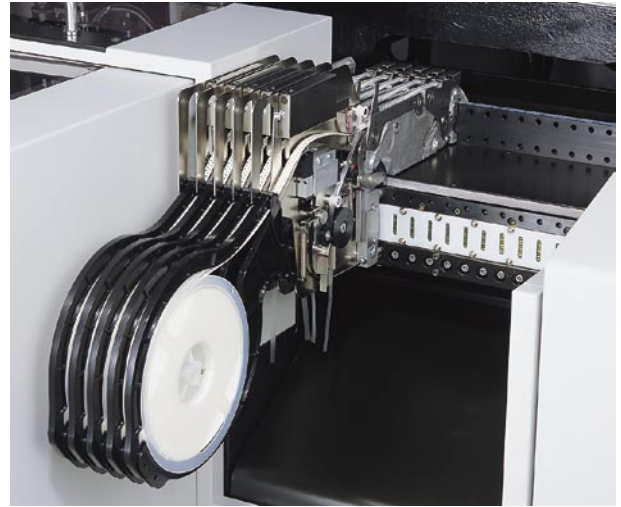


図 8 新型高速フィーダー

5 おわりに

エムキューブは、ヤマハ発動機(株)「IM カンパニー」と「アイパルス(株)」とのヤマハグループが持つ最新技術を惜しみなく投入し、共同で開発した自信作である。2002 年 6 月に行われた JPCA2002 展示会においては、日本市場のお客様だけではなく、海外のお客様を含めて大きな反響を得る事ができた。新しいコンセプトの商品だけにお客様の新たな要望も多く、こうしたお客様の要求に沿って周辺装置の充実を図りながら、お客様に喜ばれる実装機作りをして「小型機市場の創造」を図っていききたい。また、アイパルス(株)としては初めて、2002 年度グッドデザイン賞も受賞することができた。

最後に、エムキューブと言う名前は我々の製品開発ポリシーである、Maximum value (ユーザーにとって最大の価値のあるものを)、Minimum cost (最低の原価で)、Most effective investment and efficient expense (最も効率的に効果的に作り上げる) から命名されており、この頭文字の 3 個の M が、お客様の工場で 3 乗の効果を発揮できるようにとの強い思いが込められている。今後とも、お客様のご要望に合わせた、最適な生産システムをご提案していきたいと思っている。

■著者



村松 啓且

製品紹介

エレクトリック コミュータ
「Passol(パッソル)」の開発

Electric commuter Passol

寺田 潤史 Junji Terada 幸田 秀夫 Hideo Kouda
 ● PM 統括部 技術開発室 / PM 統括部 ボディ開発室



図1 エレクトリック コミュータ「Passol」

As increasing attention focuses on global environmental destruction, resulting from phenomenon like acid rain caused by nitrogen compounds in exhaust or global warming due to CO₂ emissions, and alternative energy resources, the possibilities of low fuel-consumption automobiles and "Zero Emission Vehicles" as solutions to these problems are drawing increased attention worldwide. In light of this, the various automotive makers are applying full-fledged research and development efforts aimed at creating low fuel-consumption automobiles and "Zero Emission Vehicles" on which their corporate futures will depend.

The electric commuter "Passol" introduced in the autumn of 2002 is a new type of motorcycle proposed by Yamaha Motor Co., Ltd. not only as an answer to environmental and traffic problems but also as a vehicle that pioneers a new category of two-wheeled commuters for the 21st century that are fun and easy to operate and powered by a viable, near-futuristic power source.

1 はじめに

窒素酸化物による酸性雨や炭酸ガスによる地球温暖化などの地球規模の環境破壊とエネルギー資源の多様化が、大きな課題として取り上げられ、低燃費自動車や排出ガスを発生しない自動車（ZEV）がこれら問題の解決策の一つとして世界中で注目されている。このような背景から国内外の自動車メー

カー各社は業界での生き残りをかけて、低燃費自動車や ZEV の開発・実用化に本腰を入れて取り組んでいる。

2002 年秋にデビューしたエレクトリック コミュータ「Passol(パッソル)」(図1) は、時代の要望する地球環境問題・交通環境問題への一提案であるとともに、更にはイージー感覚で楽しむ新たなカテゴリーの二輪コミュータとして、近未来の“新動力源”も視野に入れた 21 世紀型新コミュータを提唱するモデルである。

2 開発の狙い

クリーンな電気エネルギーを動力源として排出ガスをゼロにするだけに留まらず、普及に向けて既存のスクータとは違った新しい概念で新規需要を創造することを目指し、走行性、航続距離、収納性よりも、ニーズの高まりを見せている環境意識、気軽さ、おしゃれ感覚を優先させて開発した。特に、“高い環境性能を実現したアーバン・ミニマム・コミュータ”を開発コンセプトとし、都市部でのショートレンジ用途に必要とされる機能に絞り込み、以下の5つの重点開発項目を設定した。

- (1) 従来型原付スクータの概念を超えるスリムさ、手軽さ、イージーさの実現
- (2) EV (電気自動車) ならではの滑らかな発進と静粛かつ軽快な走行性能
- (3) 都市部でのショートレンジ用途に不足の無い航続距離
- (4) 室内充電を可能とする脱着式のメンテナンスフリー長寿命バッテリーの実現
- (5) 材料製造から廃棄にいたるライフサイクル全体での環境への配慮

表1 Passol 仕様諸元

3 仕様概要

前述のコンセプトを高い次元で実現し、まったく新しいカテゴリーの二輪コミュータを実現するために、車体・パワーユニット・電源等のほとんどのコンポーネントを新規に開発した。また、重点開発項目の目標値を高く設定し、コンポーネント開発においてそれぞれの目標を達成することで、従来型スクータの概念を超える高い環境性能を実現すると同時に、スマートさ、気軽さ、静粛かつ軽快で滑らかな走りなどの都市でのショートレンジ移動に適した機能・性能に加え、お洒落なスタイルで女性でも扱いやすい車両に仕上がっている。

Passol の仕様諸元を表1に、フィーチャーマップを図2に示す。

| | |
|-------------|--------------------------------------|
| 全長×全幅×全高 | 1,530mm × 600mm × 995mm |
| 軸間距離 | 1,040mm |
| 最低地上高 | 115mm |
| シート高 | 745mm |
| 車両重量 | 44kg(バッテリー未装着時 38kg) |
| 乗車定員 | 1 人 |
| 1 充電走行距離 | 32km(30km /h 定地走行テスト値) |
| 最小回転半径 | 1.6 m |
| 原動機型式 | Y801E |
| 原動機種類 | 交流同期電動機 |
| 定格出力 | 0.58kW |
| 最高出力 | 0.95 kW/1,830rpm |
| 変速機形式 | 遊星減速機 |
| ブレーキ形式(前/後) | ドラム(リーディングトレーリング) |
| タイヤサイズ(前/後) | 60/100-12 36 J(チューブタイプ) |
| 懸架方式(前/後) | テレスコピック/ユニットスイング |
| フレーム形式 | バックボーン(アルミパイプ) |
| バッテリー種類 | リチウムイオンバッテリー |
| バッテリー電圧/容量 | 25V/14Ah |
| 充電時間 | 80%まで 1.5 ~ 2 時間 / 100% まで 2.5 時間 |
| バッテリー充電電源 | AC100V |



図2 Passol フィーチャーマップ

3.1 パワーユニット

YIPU (ヤマハ・インテグレイテッド・パワー・ユニット) と呼ぶ超薄型のパワーユニットを新規に開発した。このユニットは後輪ハブ部に、①超扁平対向型ブラシレスDC (直流) モーター、②超小型MCU (モーターコントロールユニット)、③グリス潤滑遊星減速機、④ドラムブレーキなどを一体化し、さらにリアアームと一体で設計することにより軽量・コンパクト・高効率化を実現すると同時に、パワーソース以外のコンポーネントをリアアーム部に全て一体化することで車体のデザイン自由度を向上させた。また、電子スロットルと緻密なモーター制御とにより、滑らかで軽快な走行性を実現した。図3にYIPUのレイアウトを示す。

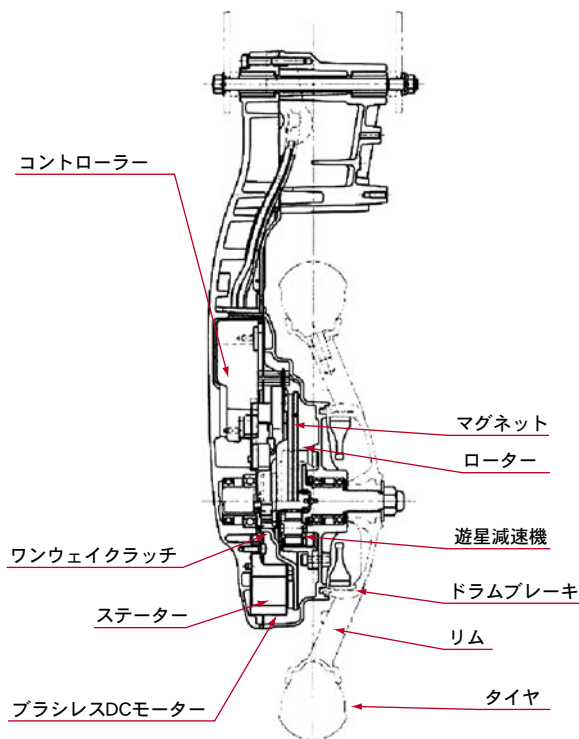


図3 YIPU

3.2 バッテリー

高い重量エネルギー密度で高出力特性をもったリチウムイオンバッテリーを新規に開発した。

軽量・高容量の特徴を生かし脱着式としたバッテリーは、女性でも持ち運べる重量 (6kg) で32km (30km/h 定地走行) の一充電航続距離を実現し、高い出力特性により低温でも安定した動力性能を確保した。更に、高率充電特性にも優れた本バッテリーは、新規開発の240W出力の充電器とあわせて、80%まで1.5時間、100%まで2.5時間という急速充電を可能にし、高い充電効率により1充電あたりの電気代は約12円の優れた経済性を実現した。

3.3 車両システム

CPU（中央演算装置）を搭載する①BMC（バッテリーマネジメントコントローラ）、②MCU（モーターコントロールユニット）、③充電器、④メーター、これら4モジュールの制御系コンポーネントをそれぞれ通信で繋ぐと同時に、相互起動回路を設け、常に車両全体の総合制御を実現する相互制御システム、YMCS（ヤマハ・ミューチュアル・コミュニケーション・システム）を開発した。これにより、走行可能スタンバイ時、走行中、盗難抑止設定から車載充電まで様々な状態に応じ、システム起動やモーター駆動・補機駆動などの制御を自動化することで、イージーな操作性を実現した。

また、バッテリー性能の安定化を図るために、前述の相互起動制御システムを利用して各電池セル状態に応じた最適な充電・放電制御を行う新システム「リチウム・パワー・マネジメント・システム」を開発した。CPU搭載の制御装置であるBMCが、充電・放電制御と電池容量を管理して高精度な残量表示を実現するとともに、電池保守機能、自己診断機能を織り込むことによりリフレッシュ不要のリチウムイオン電池の特徴とあわせてメンテナンスフリーを実現した。

3.4 車体

車体設計のコンセプトは軽量化の徹底と、モーターショーイメージを踏襲することを主眼に開発した。軽量化は、所有感を損なわず車両を小さくしないで達成する為、フレーム、フロントフォーク、ホイールを主としてアルミ化を図った。いずれも従来比60～70%の重量で仕上がり、車両重量44kg達成に多大に貢献した。なお、車両全体のアルミ使用の重量比率は、通常スクータが10～15%に対しPassolは約30%である。12インチ低ロスタイヤの採用と共に、転がり抵抗を軽減した。図4に他機種との重量比較を示す。

外観は2001東京モーターショー出品車のイメージを踏襲し、カバーレスイメージでフレームパイプ（2本ダウンチューブ）を見せる外観とした。仕上げには特に気を使い、メタリック塗装とした。

電装補器類は全て、そのフレームの間にレイアウトし、細身の外観を達成した。

3.5 電装部品

車体電装品は全て24V系を採用した。新規に開発したデジタルメーター（図5）は車両情報の表示はもとより、運転モード切替、暗証番号入力による盗難抑止装置、オド&トリップ切替などがメーター

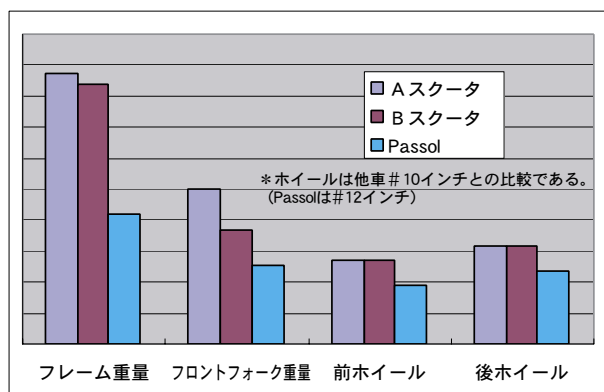


図4 重量比較



図5 デジタルメーター

上のボタンにより操作可能でイージーな操作性を実現するとともに、更に、停車時のエネルギー使用量を最小限とするため、車速感应式のヘッドライトデューティ制御機能をも有している。

4 環境負荷

Passol の電力使用量を電力発電時のCO₂発生量から換算し計算すると、1km 走行あたりに排出するCO₂排出量は弊社既存 50cm³ スクータに対して 81%の削減を達成している（図6）。また、材料や製品製造時における環境負荷まで考慮したライフサイクル全体での環境負荷（LCA（Life Cycle Assessment）換算値）についても、CO₂で 59%、NO_xで 89%低減した（生涯走行距離は、2万 kmで計算）。

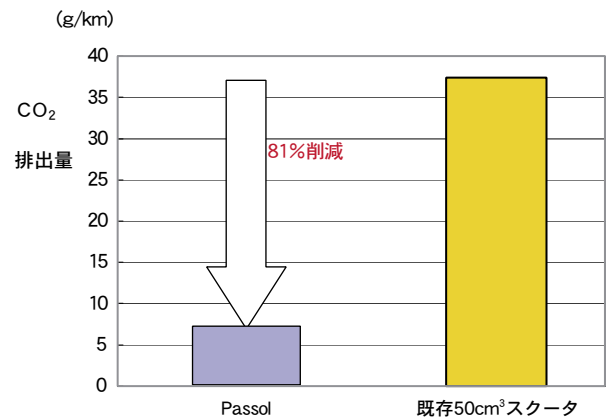


図6 走行時の二酸化炭素排出量（1km あたり）

5 品質への取り組み

本モデルは、当社にとって全くの新規の開発項目がほとんどであるため、他モデルにて取り組んでいる品質対応は当然のこととし、それ以外には以下の3点を重点的に行った。

(1) FTA（故障の木解析）・FMEA（故障モード影響解析）

新規開発コンポーネント全てにおいて、設計段階にてFTA・FMEAを徹底的に実施することにより設計段階での開発品質の確保を行なった。FMEAは従来より実施されている手法に追加して、使用・環境条件の変化、劣化、もののばらつきをノイズとして扱い、ノイズから発生する故障モードを洗い出すというNEW FMEAも同時に実施した。また、使われ方FMEAを組織横断体制で実施し、幅広い使われ方を想定した上で設計・評価を実施した。

(2) 信頼性評価基準

新規カテゴリー商品であるため、従来の車両評価基準・制御系電装部品評価基準をベースに新たに評価基準を策定した。策定にあたってはQFD（品質機能展開）をベースに要求品質を展開し、前述のFMEAにて洗い出された故障モードに対する対応確認を含めて、従来の基準を修正・追加する方向で進めた。作り込み段階においては、車両成熟度管理のみならず新規開発の全てのコンポーネントを新たに策定した評価基準にて成熟度を管理し、開発品質を向上させた。

(3) 重点保証活動

新規開発のコンポーネントそれぞれに、開発・調達・品質保証・製造にて、部門を横断した重点保証チームを作り、開発初期より製造品質の確保に取り組んだ。その結果、新規開発コンポーネントを短期間で立ち上げることが出来た。

6 おわりに

モデル発表より今日にいたるまで、予想を越える好意的な反響を頂き、「環境と感動の両立」を実践するための新動力源を具現化した商品を世に送り出し、社会的な責任の一端を遂行できたと実感している。

また、本モデルはまったくの新商品でありながら非常に短時間で立ち上げることが出来た。これはひとえに開発初期より技術・製造・調達・取引メーカーが高い志を共有し、商品化に向けて取り組んだことにより達成した成果と考えている。この紙面をお借りして社内外の関係各位に感謝し、お礼を申し上げます。しかしながら、我々はまだ新動力の世界に一步を踏み込んだにすぎず、まだまだ発展途上の商品であると考えている。全てのお客様に満足いただけ、次への期待をいただける様に挑戦を繰り返していきたい。

■著者



寺田 潤史



幸田 秀夫



ゴルフカー G22A/G22E

Golf Cars G22A/G22E

加地 令一 Reiichi Kaji Kendall Fisher

● Yamaha Motor Manufacturing Corporation of America



図1 G22A



図2 G22E

Yamaha Golf Cars are presently manufactured at two factories, in Japan and the U.S., each producing models tailored to the needs of their respective markets. In Japan, where 5-passenger models constitute most of the demand, annual production is about 8,000 units. In the U.S., where 2-passenger models are the norm, annual production is about 35,000 units.

Riding on the wings of a strong economy in recent years, golf car sales in the North American market have continued to grow steadily. Ten years ago, annual demand for new golf cars stood at about 110,000 units. Since then demand has grown 50% to the present level of approximately 170,000 units.

Recently, the gasoline engine model G22A and the electric motor model G22E developed originally by a team made up primarily of local staff at the Atlanta, Georgia, factory of Yamaha Motor Manufacturing Corp. of America, have undergone their first full-fledged model change in six years, since 1996. Here we report on these re-designed models that have now gone into production.

1 はじめに

現在ゴルフカーは国内および米国の2工場でそれぞれの市場要求に合致したモデルが生産されている。国内では5人乗りモデルを中心に年間約 8,000 台、米国では2人乗りモデルを中心に約 35,000 台が生産されている。

近年北米市場では好調な景気と歩調を合わせるようにゴルフカーの販売台数も増加を続けてきた。

10年前は新規需要は約11万台であったが、現在は17万台と50%の伸びを示している。その中でもモーターで走行するエレキ車の伸びが顕著である。図3に北米の総需要の推移を示す。

このたび米国のYMMC（Yamaha Motor Manufacturing Corporation of America）アトランタ工場で現地スタッフ主体により開発されたゴルフカーとしては、1996年以來6年振りのモデルチェンジとなるG22A（ガソリン車）（図1）、およびG22E（エレキ車）（図2）を生産開始したので概要を紹介する。

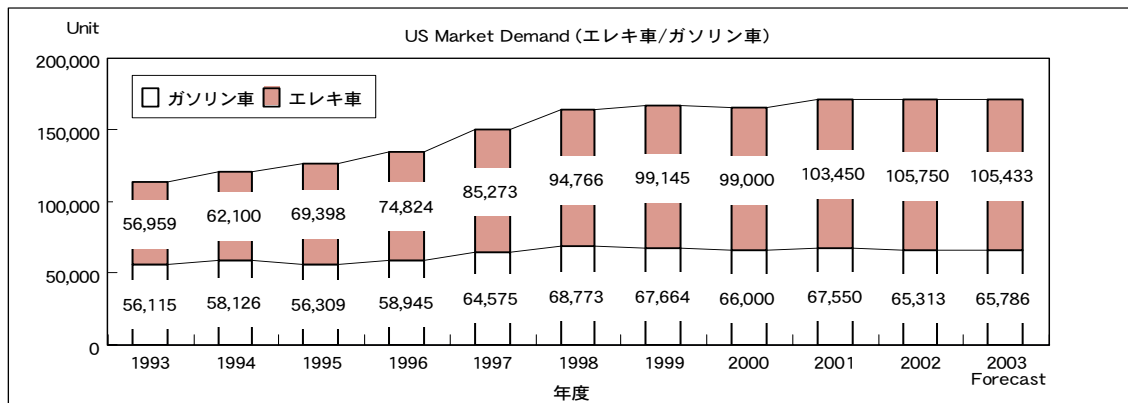


図3 北米総需要の推移

2 開発の狙い

ヤマハ発動機(株)は昔からそのエンジン技術で業界をリードして、ガソリン車では35%を超えるトップシェアを確保してきた。しかしながらここ数年は他社の品質も向上し優位性も薄れて30%を割る状況にある。またエレキ車においては差別化が難しく、また他社の価格攻勢が厳しい市場であり昔から10%前後の低いレベルにある。このような中でガソリン車およびエレキ車の商品力を向上させて競争力を高め、ゴルフカービジネスの収益性を改善させる開発企画を設定した。

具体的な達成手段として主なものを挙げると、

- (1) エンジン排気量アップによる走行性能の向上
(ガソリン車、301cm³から357cm³、他社は300cm³以下)
- (2) フロントストラットサスペンション採用によるタイヤ寿命と乗り心地の改善
- (3) ラック&ピニオン式ステアリング採用による操舵フィーリングの向上およびメンテナンスレス化

表1 基本仕様諸元

| 項目 | G22-A(ガソリン車) | G22-E(エレキ車) |
|----------|--------------------|-----------------|
| 全長 | 2,589mm | |
| 全幅 | 1,200mm | |
| 全高 | 1,824mm | |
| 重量 | 344kg | 289kg(バッテリー含まず) |
| 軸間距離 | 1,632mm | |
| トレッド 前/後 | 870/980mm | |
| 最低地上高 | 97mm | |
| 原動機 | 4 ストローク OHV | 直流 48V モータ |
| 総排気量 | 357cm ³ | |
| 最大出力 | 8.5kW/3,500rpm | 2.5kW/3,540rpm |
| 最大トルク | 25.5Nm/2,500rpm | |
| 乗車定員 | 2 人 | |
| 最高速度 | 19km/h | |
| 燃料タンク容量 | 24 リットル | |
| バッテリー | | 8V x 6 ケ |
| 登降坂性能 | 20 度 | |
| 最小回転半径 | 2.9m | |
| タイヤサイズ | 前後輪 18x8.5-8 | |
| 前輪懸架方式 | ストラット式 | |
| 後輪懸架方式 | モノリンク式 | |
| ブレーキ | 機械式後 2 輪制動 | |
| ステアリング | ラック&ピニオン式 | |

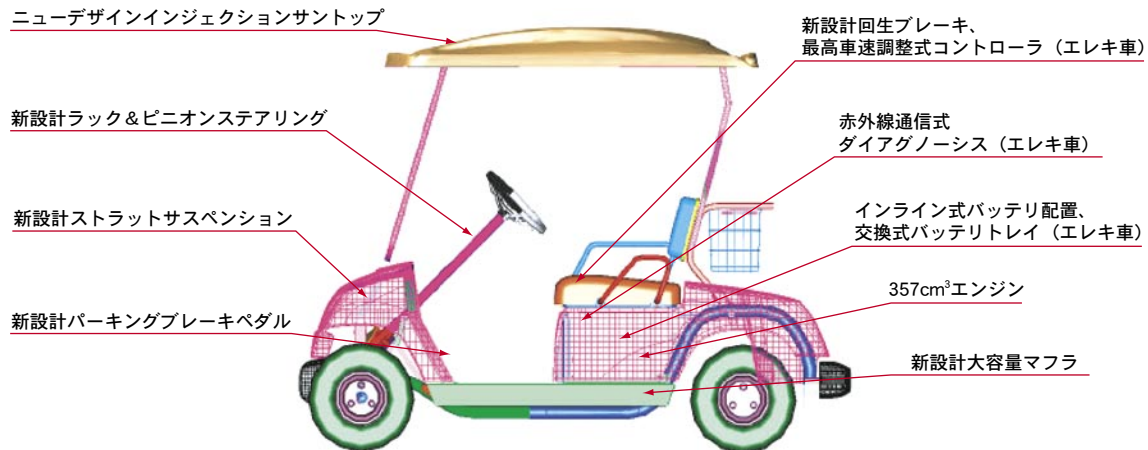


図4 G22 フィーチャーマップ

- (4) ガスアシストインジェクション製法によるサントップの機能および品質向上
 - (5) 駆動モータおよび制御見直しによる回生ブレーキ力の向上（エレキ車）
 - (6) 車速と回生ブレーキ力が PDA（Personal Digital Assistant、携帯型情報端末）で調整可能なプログラマブル MCU（モータコントロールユニット）の採用（エレキ車）
 - (7) ヤマハロゴマークの追加による外観品質の向上
 - (8) 4年保証バッテリーの採用、MCU の FET（電界効果型トランジスタ）保護機能の追加による信頼性の向上
- などがある。

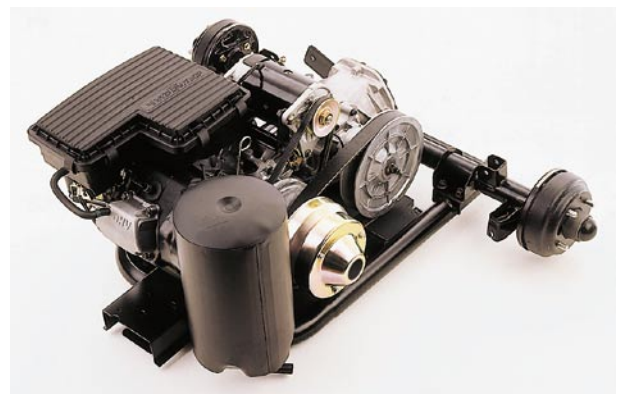
図4 にフィーチャーマップを、表1 に基本仕様諸元を示す。

3 主な特徴・概要について

3.1 エンジン

エンジンは国内向けの5人乗りモデルに用いられている 357cm³OHV エンジンを搭載、2 人乗りゴルフカーとしては業界で最大排気量とした。

エンジン本体部品は日本製であるが、エアクリーナ、マフラなどの給排気系は従来と同じ北米調達品を採用した。但しマフラについては排気量アップに伴い容量を20%大きくして騒音を従来と同等以下のレベルに押さえるよう留意した。図5 にエンジン概要を示す。

図5 357cm³OHV エンジン

3.2 フロントサスペンション

北米モデルに長い間用いられてきたスイングアーム方式を改め、マクファーソンストラット方式を新規に開発し採用した。設備投資を最小にするため、ストラット方式では一般的なローアーのボールジョイン

トをリンク式に変更してフレームの基本レイアウトを共通化している。

これにより従来モデルに対してキャンバー変化を最小に抑えて、フロントタイヤの偏摩耗や操安性の改善を図った。またキングピン軸回りの潤滑は従来と同じメンテナンスフリーであるが、信頼性を更に向上させるためブッシュやオイルシール構造を変更した。

3.3 ステアリングシステム

ステアリングはこれも長い間使われてきたウォーム方式を改め、ハンドルの遊びが少なく応答性に優れたラック&ピニオン方式を新たに採用した。前述のストラットサスペンションと合わせて、従来モデルに対し非常にシャープな操舵フィーリングを実現することができた。

また従来はハンドルの遊び調整を必要としたが、ラック&ピニオン採用により調整は不要となった。

図6にストラットサスペンションおよびステアリングシステムを示す。

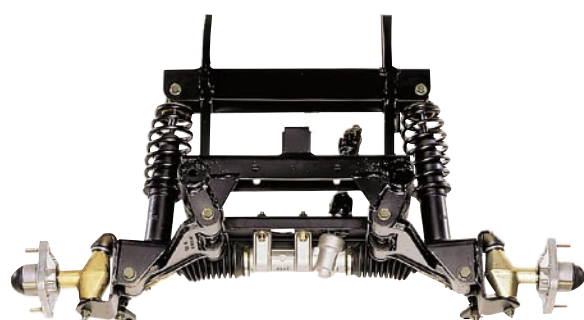


図6 ストラットサスペンションとステアリングシステム

3.4 サントップ

強い日差しや雨をしのぐためのルーフがオプション設定されているが、近年 80%以上の装着率となっている。

そのため外観デザインやその機能性がゴルフカーの販売を左右する重要なポイントとなってきている。従来はバキューム製法によるシンプルなデザインであったが、ガスアシスト付きインジェクション製法を採用し外観品質ならびに機能を大幅に向上させた。

特に従来にない機能として人間工学的にデザインされたハンドグリップを、運転席と助手席側に一体成形するとともに、近年採用するコースが増えている GPS (Global Positioning System) ディスプレイを無理なくマウントできる形状にした。

更に市場でのセットアップの効率化を図るため、ルーフを支えるステーを半分組み立てたセミアッセンブリの状態で梱包できる設計としている。これによりセットアップの時間が大幅に短縮され、付属部品の紛失などの防止にも寄与している。図7にサントップの梱包状態を、また図8に GPS を装着した状態を示す。



図7 サントップ梱包状態



図8 サントップGPS装着状態

3.5 MCU との通信機能

エレキ車には駆動モータを利用した回生ブレーキ（下り坂などでモータを発電させてその抵抗力をサービスブレーキとして使う。発生した電流はバッテリーへ戻す）が装備されている。また最高車速はスピードセンサによる制御で通常 19km/h に抑えられている。平坦なゴルフコースではこの回生ブレーキを弱くして最高車速をもう少し上げたいという要望が、またアップダウンのあるコースでは逆に回生ブレーキを強くしたいといった要望がある。

今回このような市場の声にこたえるため、回生ブレーキの強さと最高車速を市場で調整できる機能を新たに追加した。他社は3段階程度の調整幅であるが、当社は回生ブレーキの強さと最高車速をそれぞれ5段階に調整できるようにし、マトリックスの組み合わせで最大 25 通りの調整が可能にした。

更に他社が専用の調整ツールを車両に接続して使用する、あるいはシートの下のスวิตช์を切替える方式などであるのに対し、当社は北米で普及しているパーム社製などの PDA を用いて赤外線通信で外部から非接触で簡単に調整可能なようにした。またダイアグノーシスやバッテリー電圧、モータ電流などの各種情報についても同じ方法でチェックできるようになっている。図 9 に PDA 本体を、図 10 に赤外線センサを、また図 11 に PDA による現場でのチェック風景を示す。

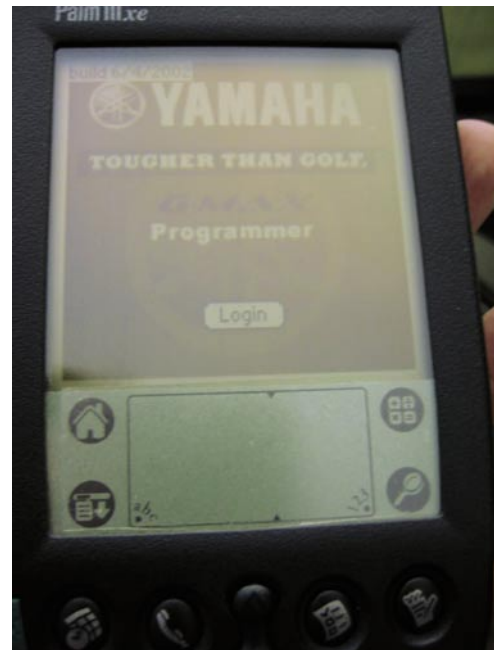


図9 PDA本体



図10 赤外線通信センサ



図11 PDAによるMCUとの通信

4 品質への取り組み

品質に関しては、試作段階より開発、製造、品管、営業が一体となったコンカレントな開発を進めるために定期的な 1QDC 活動（生産立ち上がり後1週間で品質、納期、コストを目標値に持っていくための活動）を展開し、試作車の組立評価、新規設計項目の要求品質の共有化、などを実施して上流での問題点吸い上げを行い効果を上げることができた。

またゴルフカー専用工場として増設された第2工場の立ち上がりに合わせて生産を開始するという目標があり、新しい溶接、塗装、組立部署の問題点を洗い出すために第2工場でも生産試作を行い重点項目の確認を実施した。

5 おわりに

本モデルは久しぶりのモデルチェンジということもあり、各ディーラからは大きな期待を持って迎えられ評判も上々である。ゴルフカーの市場は今後も安定した成長を続けていくものと予想されるが、商品力で他社をリードし、シェアを伸ばしていくために更に努力していく所存である。

■著者



加地 令一



Kendall Fisher

要求品質と開発目標 ～“感動”具現化ツールとしての QFD～

● CCS センター 製品保証推進室

技術紹介

The examples used in the graphs in this report were created afterwards from a previous case of QFD application in a snowmobile development project for the purpose of making the explanations easier to understand.

1 はじめに

YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW

言っても過言ではなく、顕在化しているものもあれば、声には出てこない潜在要求もあります。更に、大きな声、つぶやき、極端で過激な要望、などなど…。また、それ以前に“お客様”とはいったい誰を指して言っているのでしょうか？

QFD は、新製品開発においてお客様の声を網羅的に展開した上で重点化を行い、設計品質を合理的に設定できるツールです。当社でも QFD を取り入れた商品開発を進めるモデル（プロジェクト）が多くあり、事業部の中には商品企画や品質保証のため、開発プロセスの中に QFD を組み入れ、実施していなければ次のステップに進めないような関所を設けて活用しているところもあります。

しかし、「QFD を実施したが、時間をかけたわりには新たな要求の発見がなかった!」との負のイメージを持つ人も少なからずいるのではないのでしょうか。ここでは、感動につながる要求品質を必要最小限の作業時間で抽出していく方法も紹介します。

尚、掲載された図表における事例は、説明を分かりやすくするため、過去に QFD を実施したスノーモバイル事例を参考に、後付けで創作・脚色したものです。

2 QFD とは

本論に入る前に QFD についての概要を紹介します。

QFD は 1970 年代の後半、赤尾洋二、水野滋の両博士によってその考え方が提案されたことがスタートとなり、多くの企業で活用されてきました。その結果、新製品開発や設計段階からの品質保証に有効な方法であることが報告され、世界的に QFD という名で活用され続けています。近年では欧米だけでなく韓国、台湾などから多くの事例が報告され、また米国での定着具合は、ビッグスリーの QS-9000 の中に QFD が推奨手法として明記されている事からも窺えます。

QFD とは、Quality Function Deployment の頭文字を取った略称で品質機能展開のことです。またこの品質機能展開は、品質展開と業務機能展開の総称です。品質展開とは「ユーザーの要求を代用特性（品質特性）に変換し、完成品の設計品質を定め、これを各種機能部品の品質、さらに個々の部分の品質や工程の要素に至るまで、これらの関係を系統的に展開していくこと」であり、業務機能展開とは「品質を形成する職能ないし業務を系統的にステップ別に細部に展開していくこと」です。

品質展開の主要なツールとしては市場の要求を展開した要求品質展開表と、提供側の技術的な品質特性を展開した品質特性展開表の二元表である品質表があります。この品質表の作成手順と構成は図 1 に示した通りですが、顧客の生の声を提供する製品やサービスに、具体的に反映させるために作成するものです。図 2 に品質表実例を示します。

顧客の声を原始データとして収集し、変換・抽出し、階層構造化して要求品質を明らかにします。

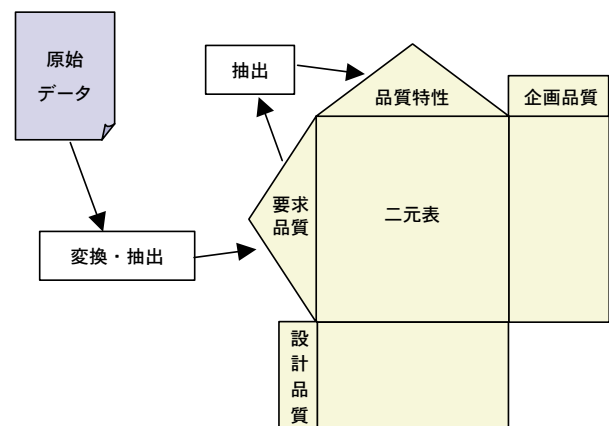


図 1 品質表の作成手順と構成

各要求品質に対する市場の声を収集して品質に関するベンチマーキングを実施して企画品質を設定し、これを設計品質に反映させていきます。

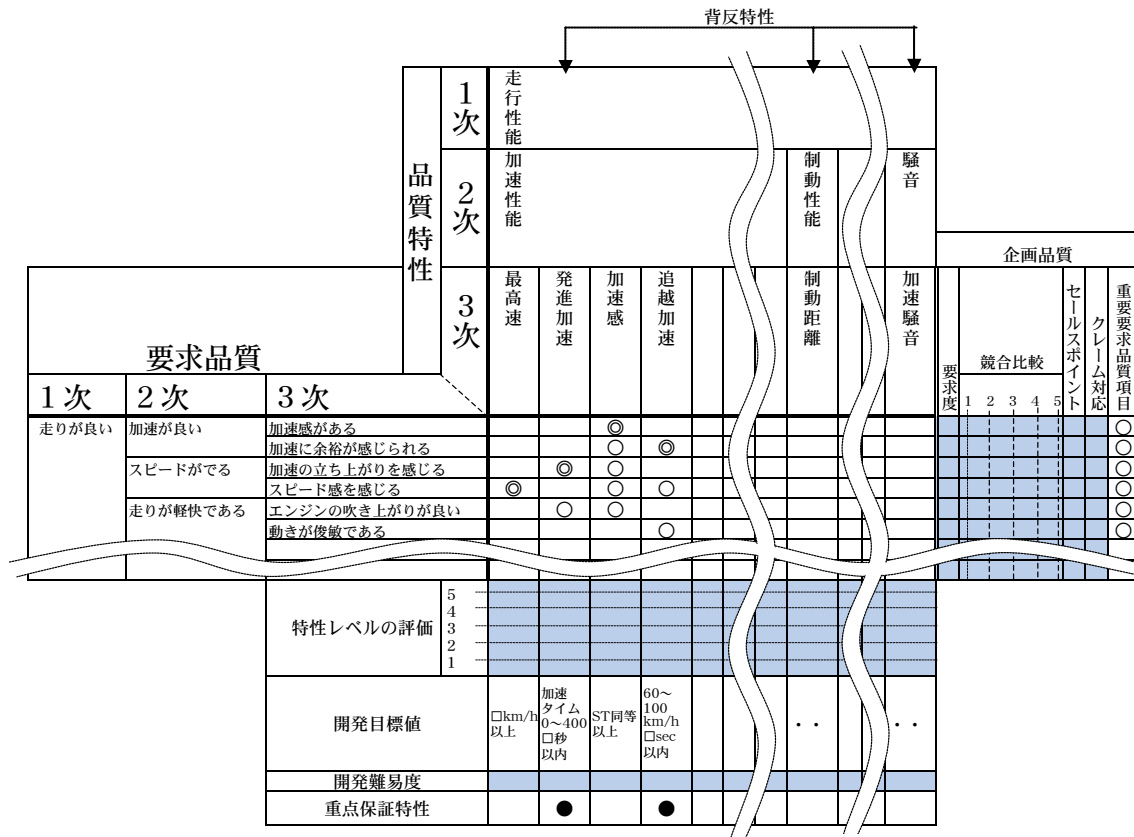


図 2 品質表実例

3 従来の品質展開作業における問題点

過去、商品企画～品質展開の進め方の中には、以下のような反省すべき点がありました。

- ・ ターゲットとする市場やユーザー絞込みが不十分
- ・ 企画目的の開発担当者への伝達（囁き、咀嚼）が不十分
- ・ 企画内容の要求品質への橋渡しが不十分
- ・ お客様が期待している価値の把握が不十分

その結果予想としては、

- ・ 開発メンバーのベクトルがそろわず、後戻り仕事の増加
- ・ 特徴のない総花的な製品や、機能・性能だけのプロダクトアウト的な製品が挙げられます。

また手法という観点から品質展開法を見ると、前述の QFD 概要からも分かるように、「HOW（いかにして作るか）」という目的には強力なツールであるけれども、「WHAT（何を作るか）」に対しては 100%応えてくれるものではありません。特に“感動”といった情緒的品質については、これまで具体的な方策は十分には示されていませんでした。

4 感動展開法

4.1 概要

ディズニーランドやシーのリピート率をご存知ですか？ 一説には90%以上とされています。繰り返し行く理由は、アトラクションの良さからでしょうか、それともパレードなどのイベントの面白さだけでしょうか？ きっとお客様は、それら全てを含めたディズニーランドという感動を経験させてくれる場へ「今度は何が起こるのかな。まだ何かあるかもしれない。」とわくわくしながら出かけているのではないかと考えます。そこではアトラクションという設備は、場を演出してくれる小道具の一つと位置付けられています。これと同じようにモーターサイクルなどの当社の製品が、お客様が感動したい場における演出のための重要な小道具だと置くと、その製品はどうあるべきであり、またどのように作り込まねばならないのでしょうか。

商品企画段階で「どのようなお客様が」「どのような感動を」「どのように経験するのか」を、精度良く仮説づくりできればよいと考えられそうです。そこで感動展開法では、「ユーザー、経験価値、シーン」という3つの対象についてターゲットを絞り込み、そこから抽出される感動要求品質を集め、品質展開手法を用いて製品設計できるための開発目標値にまで橋渡ししていくのです。

4.2 感動展開における新商品企画の概念

図3に新商品企画の概念図を示します。従来の概念と異なる部分は、市場の世界（市場構造）とお客様の世界（価値構造）は同じ範ちゅうで検討することが多かった（であろう）ものを別々に分けたところにあります。新商品企画ではこれら3つの世界のバランスを取ることで、具体的、且つ自信が持てる商品の企画が誕生すると考えています。更に誕生した企画を洗練させるツールとして「商品企画七つ道具」があり、技術の世界である設計への橋渡しツールとしてQFDの「品質表」が位置付けられています。

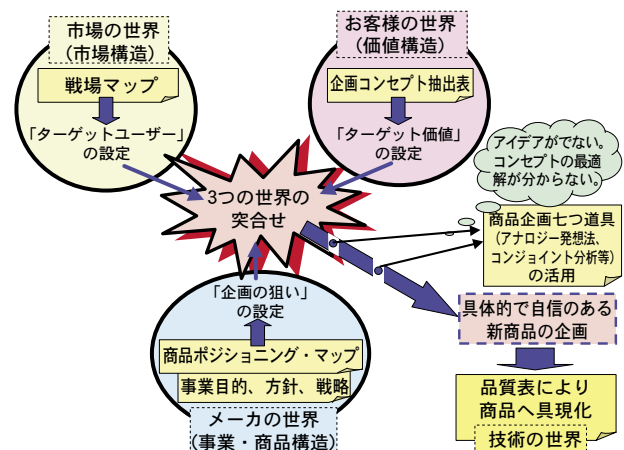


図3 新商品企画概念

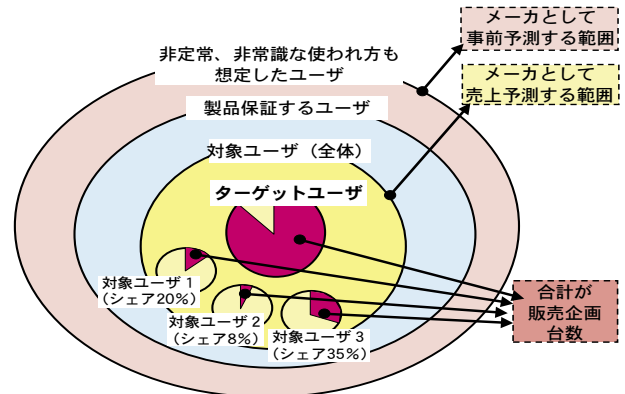
4.3 ポイント

以下に感動展開法のポイントとなる部分について紹介します。

(1) ターゲットユーザーの設定

ターゲットユーザーとは、発売する製品を買ってくれそうなお客様ではありません。買ってくれそうなお客様（対象ユーザー）のうち、その製品を買う（所有する）という自分自身の行為に意味を持っている、あるいは価値共感する、ユーザーグループ層です。性別とか年齢、年収だけでは説明できない、つまりライフスタイルとか価値観などからセグメンテーションされるグループです。

このターゲットユーザーを図4のように可視化し、且つ誰でもが理解できるように簡易な文章で定義されていることが重要です。この定義がしっかりできていなかったり、なぜターゲットをそこに絞ったのかが説明できなければ、開発途中のノイズ（例えば、声の大きな人からのズレのある開発要望）に影響を受けやすくなります。



(2) ターゲット経験価値の設定

図4 ターゲットユーザーの考え方

人は誰しも基本的なニーズ（例えば、尊敬されたい、自己向上したい、健康でありたい、等）を持ち、その基本ニーズのため何らかの行動欲求が起こり、更にそのために“物”を所有したくなるという法則（キーンズ法）があります。具体的には、『健康でありたい（BE ニーズ）→ジョギングしたい（DO ニーズ）→ジョギングシューズが欲しい（HAVE ニーズ）』、といった流れになります。

この流れを逆に考えてみます。お客様はどんな BE & DO ニーズのために、数あるメーカーの製品やサービスの中からひとつを選び、買うという行動につながっているのでしょうか。多分一個だけのニーズはなく、また百個もあるわけではないと思います。みなさんが自家用車を買替えるために何種類ものカタログを集めて来たところを想像してみてください。「俺は、燃費と車内広さ、それとドア仕様だけは※※でないとダメだ」と知らず知らずのうち頭の中で数項目を重要視して取捨選択した後、その条件にかなった車のカタログだけをじっくり読み始めてはいませんか。それらの項目が重要視された理由は、BE & DO ニーズに逆変換できるはずです。

企画段階でターゲットに置いたお客様の重要 BE & DO ニーズの仮説ができれば、そのニーズを満たすための要求品質やその達成レベルの抽出が容易になります。さらには要求品質を満たすための達成手段である方策や仕様の選択幅も無限に広がります。この重要 BE & DO ニーズこそがターゲット経験価値なのです。

(3) ターゲットシーンの設定

乗用車買い替えのためのカタログの話に戻ります。カタログには「雄大な自然の中を疾走」「家族でキャンプにお出かけ」「新機能の便利さの紹介」といった写真がたくさん載っています。それらの写真のシーンに自分や家族を登場させてみて、「楽しそうだな」とか「もっと※※だったら更に良いのに」などと思い浮かべませんか。

ここでは、お客様が強く期待する、逆に絶対に経験したくない、といったシーンを「5W1H」の文章で展開します。例えるならば、一本の映画の中から重要場面だけを切り出し、キャストの思いや表情も含めた場面状況を言葉で描写したものと考えてください。切り出したシーンのうちお客様が最重要と考えるシーンを抽出します。抽出は(2)のターゲット経験価値と強く関連するシーンを選び出せばよいのです。こうして選ばれたものがターゲットシーンです。経験価値展開表とシーン展開表を二元表にまとめた事例を図5に示します。

| シーン展開表 (5W1H) | | | | | | | 経験価値展開表 | | | | | | | | | | 価値充足度比較 | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------------|--------------|---------|--------------------------------------------------------|------|-----|---------|------|--------------|--------|------------|-----------|--------------|-----------|------------|-----------|-----------|-------------|------------|-----|-----|---|---|---|---|---|----------|---|
| WHO | WHEN① | WHEN② | WHERE | WHY | WHAT | HOW | Bニーズ | Dニーズ | 豊かさ | 尊敬 | 自己向上 | 健康 | 楽しさ | 感動 | 安心 | 快適 | シーン頻度 | 安全 | 非常急 | 非常識 | 重視度 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ターゲットシーン | |
| ターゲットユーザー 30才自営業男性 | シーズン中 (1日の9時頃) | 休日の朝6時 | 自宅ガレージ | 仲間と4人でバイクやカーを積み込んでいる。意外と荷物が多い。そうだと雪の日のためのウェアも持っていく。 | | | | | いい物を安く手に入れたい | 金儲けしたい | ステータスを持ちたい | 操縦テクを磨きたい | 仲間とホスト役になりたい | アクティブでいたい | 日常を忘れて遊びたい | 上達感を味わいたい | 高性能を体感したい | 準備 後始末で楽したい | 準備 快適に走りたい | 非常急 | 非常識 | 3 | | △ | × | ○ | | |
| ↑ | ↑ | 6時半 (移動中) | 道路 | CD聞きながらトレールコースへ向かう。今日は混みそうだからちょっと飛ばしていこう。 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | △ | | ○ | × | | |
| ↑ | ↑ | 遊び開始 | トレールコース | トレールコースには先にS社に乗るグループいた。どうしようかと思っていると向こうが場所を譲ってくれた。 | | | | | | ◎ | | | | | | | | | | | 5 | △ | | | | ○ | × | ● |
| ↑ | ↑ | 遊び中 | トレールコース | 今日は新しいヒルクライムに挑戦だ。前のS/Mとはリグが全然違うからうまくいくかも。下手なレーサーより好みだ。 | | | | | | ○ | ○ | | | | ◎ | ○ | ○ | | | | 4 | | △ | | | ○ | × | ● |
| ↑ | ↑ | 遊び終盤 | トレールコース | 今日は5時間も操縦したが、案外疲れないな。 | | | | | | | | ○ | | | | ○ | | ◎ | ○ | | 3 | | △ | | ○ | × | | |
| ↑ | ↑ | ベース地への帰路 | 林道 | 曇って風も出てきた。柔らかな雪にも出くわしたがまだまだ行けそう。風防も良く効いて寒さもあり感じない。 | | | | | | ○ | ○ | | | | | ◎ | | | | | 4 | × | △ | | ○ | | ● | |
| ↑ | ↑ | 帰り支度 | ベース地 | カギの満ちにしておこう。思ったより少なくて得た気分。 | | | | | ◎ | | | | | | | | | | | | 2 | × | | | ○ | △ | | |
| ↑ | ↑ | 帰り支度 | ベース地 | 来週も乗ろうと話がまとまった。めんどくさいから、トラックに積んだままにしよう。 | | | | | | ○ | | | | | | | | ◎ | ○ | | 3 | × | | | ○ | △ | | |
| ターゲットユーザー 30才自営業男性 | 商品のリサイクル | 購入前 | 自宅リビング | カギやインターネットで輸入モデルとどっちにしようか迷っている。 | | | | ◎ | | ○ | | | | | | | | | | | | 4 | | △ | | × | ○ | |
| ターゲットユーザー 30才自営業男性 | 商品のリサイクル | オフシーズンの休日 | 自宅ガレージ | 久々の愛機との対面。昨夜好リグで作っていたリグがリグをフェーリングに貼付ける。 | | | | | | | | | | | | | ◎ | | | | 1 | | | △ | | ○ | × | |
| リサイクル店経営者、 インストラクター | シーズン繁忙期 | レンタル手続き | ショップ受付 | このところ盛況で全機出でしまったことも数回あった。しかし最初に出るのはいつもこのモデルからだ。 | | | | ◎ | | | | | | | | | | ○ | ○ | | 3 | | △ | × | | ○ | | |
| ターゲット経験価値 | | | | | | | | | | ● | | | | ● | ● | | | | | | | | | | | | | |

図5 経験価値展開表とシーン展開表の二元表事例

(4) 感動要求品質の抽出

感動要求品質は、図5の二元表から抽出します。具体的には、ターゲットシーンに登場する製品の品質が“どう”あれば、関連するBE & DO ニーズが満たされるかを考えます。つまりターゲットシーンを原始データと置き、そしてその原始データから要求品質を変換し、抽出するのです。

(5) こだわり品質展開

感動要求品質については、開発メンバーによって徹底的に検討し尽くした上で作り込みを行い、製品に織り込まねばなりません。そのためには通常のQFDを活用していきます。

それでは感動要求品質以外の要求（従来要求）についてはどうすればよいとなると、ある意味割り切って、従来方法で当たり前に作り込めるまでを明確にします。図6に示すように、要求品質展開表において、感動要求品質は、具体的な3次レベルまで展開したうえで品質特性と関連付けして開発目標値まで掘り下げていきます。従来要求は、やや抽象的な2次レベルで止め、企画品質（要求の達成レベル）までは明確にします。品質特性への関連付け以降の作業は基本的には行いません。しかし、従来

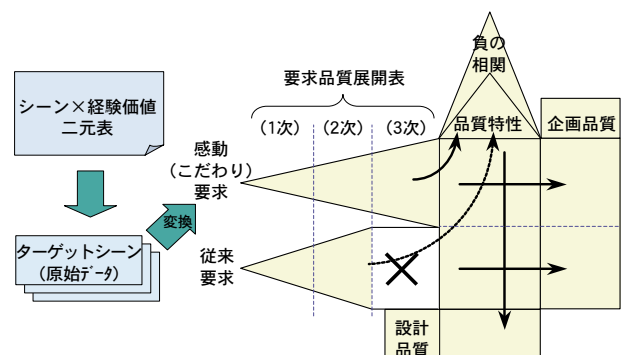


図6 こだわり品質展開

要求ではあるが、開発上ボトルネックになると予想できる項目は展開しなければなりません。

展開項目をこだわり要求だけに重点化することで、QFD 作業時間は従来に比べ、はるかに短時間で済みます。こだわる部分には必要十分な時間を掛けて、割り切る部分と差別化する品質展開の方法です。

5 おわりに

お客様は、今や「十人十色」から「一人十色」と言われています。男性よりも女性の方が進んでいるように感じます。例えば知人の A さんです。彼女は、仕事の速い庶務の顔、子供に優しく旦那に厳しい主婦の顔、実家に帰ればつつましい良家の娘の顔、テニスサークルでは練習より飲み会に熱心な会員の顔、まだ知られていない顔も含め、たくさんの顔（仮面?）を持っていて、それらを明快に使い分けています。仮に A さんのようなお客様にテニスラケットを買ってもらおうと商品企画したとします。単に「レディス・ビギナー・ラケット」といった性能・機能の“くくり”だけの製品だとしたら、変身上手なお客様に価値を認めてもらい買っていただけるのでしょうか？ 真の顧客要求品質を衝いた製品提供を行い、「こんな製品が欲しかった!」と感動した声で言っていただきたいものです。

今回紹介した感動展開法はひとつのリファレンス・モデルですが、この考え方とフローを基に、各事業や製品で活用できるオリジナル・モデルを確立すべきだと考えます。活用に当たって、また、本文の内容に関してのご意見・ご要望がありましたら、製品保証推進室までお気軽にお寄せ下さい。

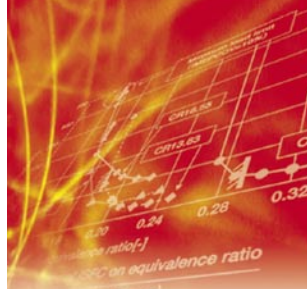
■参考文献

- 1) 杉浦 忠, 山崎 秀夫 (2002) : 『ものづくりを演出するナレッジワーカー』, 日科技連
- 2) 大藤 正, 小野 道照, 永井 一志 (1997) : 『QFDガイドブック』, 日本規格協会
- 3) 梅澤 伸嘉 (1995) : 『消費者ニーズの法則』, ダイヤモンド社
- 4) 神田 範明 (2000) : 『ヒットを生む商品企画七つ道具 はやわかり編』, 日科技連
- 5) 田井 弘充 (2002) : 『開発者が活用できる品質展開』 『機械設計』, Vol.46 No.6, pp.26-33, 日刊工業新聞社
- 6) 田中 孝司, 大藤 正, 田井 弘充 (2002) : 『価値提供を目指す企画コンセプト設定の研究』, 日本品質管理学会第69回研究発表要旨集, pp.133-136.

■著者



田井 弘充



技術紹介

小型二輪車用 FI システム

Fuel Injection System for Smaller Motorcycles

中村 友治 Tomoji Nakamura 長谷川 貴彦 Takahiko Hasegawa
 鈴木 雅巳 Masashi Suzuki 中村 倫久 Michihisa Nakamura
 澤田 雄一郎 Yuuichirou Sawada
 ● PM 統括部 エンジン開発室

Electronically controlled fuel injection systems provide the potential for highly precise control of the air/fuel mixture ratio, which makes them ideal for use in combination with catalytic converters to achieve cleaner exhaust emissions. For this reason, fuel injection systems are used on almost 100% of today's automobiles. Use of these systems on motorcycles is also on the rise in recent years, beginning with the larger-displacement models.

Given today's market conditions and environmental concerns, demand for fuel injection systems for smaller motorcycles and scooters is also expected to rise, and over the last several years Yamaha has undertaken research and development efforts directed at small-motorcycles fuel injection systems. Developing fuel injection systems for smaller motorcycles presents several problems not seen in automobile systems, and considerably more demanding limitations than those applying to systems for large-displacement motorcycles. However, we were able to overcome these problems and develop a system that has been successfully introduced on the Taiwan market model YP125FI, as reported in a separate article in this issue. Here we report on the contents of this development project and the resulting system.

1 はじめに

FI システム（電子制御燃料噴射システム）は、高精度の空燃比（空気と燃料の比率）制御が可能であることから触媒との相乗効果による排ガス浄化効果と相まって、四輪車では 100%に近い普及率となっている。二輪車においても近年大型二輪車を中心に導入が進んできている。

このような背景のなか小型二輪車においてもニーズが高まることが予想されたため、我々は、数年前より小型二輪車用の FI システムの研究、開発に取り組んできた。小型二輪車用の FI システムには四輪車にはない、また大型二輪車より厳しい種々の制約条件があり、商品化のためには多くの開発課題があったが、それらをクリアし別項でも紹介されているように、このたび台湾の YP125FI にそのシステムが搭載、市場投入されるに至ったのでその内容を紹介する。

2 FI システムの概要

FI システムは空燃比の高精度な制御を目的とし、図 1 に示すような種々のセンサとアクチュエータおよび ECU（エンジン制御ユニット）からなる電子制御システムで四輪車では 30 年近い歴史がある。

その動作は種々のセンサにより検出される空気量やエンジンの状態、環境条件、ライダーの意思を基に最適な燃料噴射量を算出し、燃料ポンプ部により調圧された燃料をインジェクタを用いて高精度に供給するものである。

FI システムではこの空気量の計測精度と燃料供給量の制御精度が高いことによって、その比である空燃比を高精度に制御可能となる。

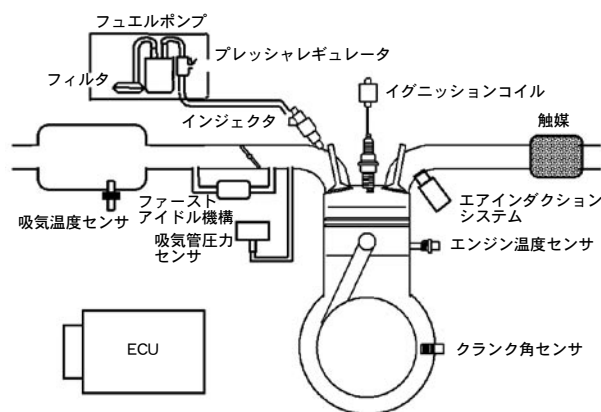


図1 システム構成図

3 開発の狙い

小型二輪車の FI システムとして以下の4項目を開発課題と設定し開発の狙いとした。

- (1) ローコスト
- (2) 小型、コンパクト
- (3) 低消費電力
- (4) エンジンパフォーマンスの向上

以下にそれぞれの課題に対する我々の取り組みを紹介する。

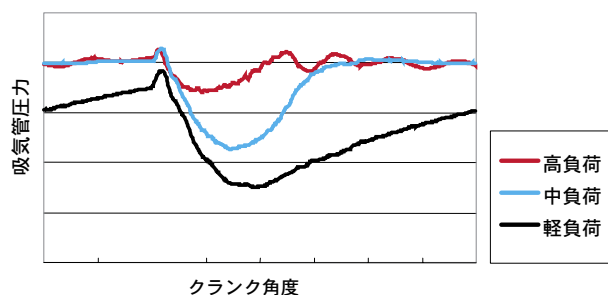


図2 クランク角度 - 吸気管圧力波形

3.1 ローコスト

小型二輪車は四輪車や大型二輪車に比べ車両価格が安い。そのため、環境への有効性を考慮して小型二輪車に FI システムを導入、展開していくためにはシステムのコストを下げる必要がある。我々はこの課題の解決のためにシンプルなシステムの実現を目指した。シンプルなシステムの実現とは、少ない部品点数でシステムを成立させることである。

そのためにセンシング部分では単気筒エンジンの特徴を生かし、吸気管内の圧力変位（動的変化）が大気圧やスロットル開度と連動する（図2）点に着目し、この情報を多目的に活用することによって、当社の大型モデル FJR1300 で8個のセンサで構成していたシステムを、1/2の4個のセンサで実現し、高い信頼性とシンプル化を達成した（図3）。またインジェクタ部分ではキャップにより燃料の通路と電気配線を1部品で実現し、燃料ポンプ部分では燃料ポンプ、プレッシャレギュレータ、フィルタを一体化した燃料ポンプモジュールを開発、採用した。さらに、車両の転倒を検出して、エンジン停止させる機能を ECU 内部に取り込むことに成功した。これらコンポーネント数の低減はその部品コストのみならず配線の削減にも寄与しコスト低減に大きな効果を上げた。

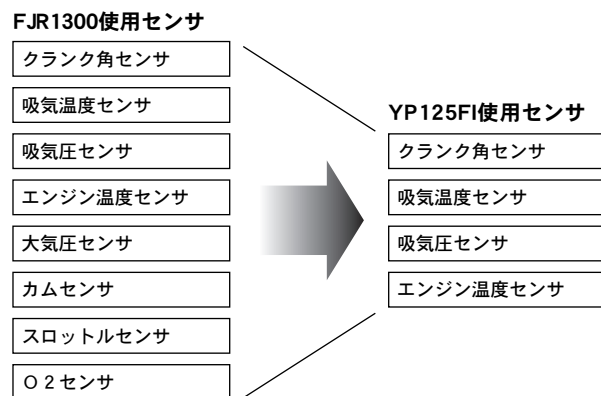


図3 大型 - 小型センサ

3.2 小形化

二輪車は元々多くの部品をレイアウトすることは難しい。特に小型二輪車は車格も小さく大型二輪車よりも厳しい条件でのレイアウトとなる。そのような状況の中、我々は愛三工業(株)との共同作業により、写真のように従来比約1/2の体積のインジェクタと従来比約1/2の燃料ポンプモジュールを開発した(図4、5)。

この結果、インジェクタはエンジン性能上最適な位置への搭載が可能となり、燃料ポンプモジュールは燃料タンクの容量減を最小限にすることでタンク内に収納された。また、ECU(図6)もほぼ点火ユニット並の大きさとし、レイアウト可能とした(図7)。

3.3 低消費電力

小型二輪車はエンジンの出力が小さいため発電のロスが無視できない。

また発電機の直径も大きく設定することは難しい。

そのためシステムの消費電力を小さくすることが必要となる。

大型二輪車で使用されていたものは最大5A強の消費電流であったが、愛三工業(株)との共同開発で燃料流量の見直しや効率アップにより1/3の1.7Aとすることができた。



図4 インジェクタ

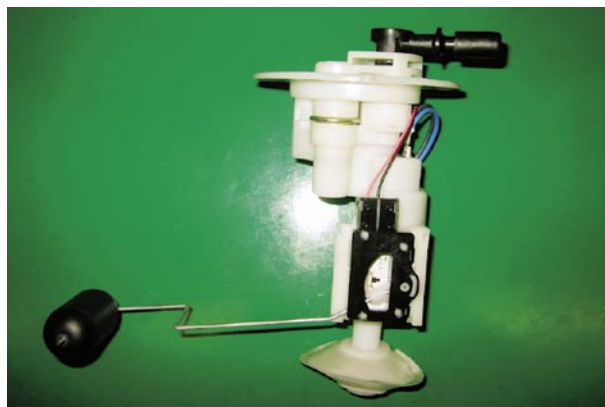


図5 燃料ポンプモジュール



図6 ECU

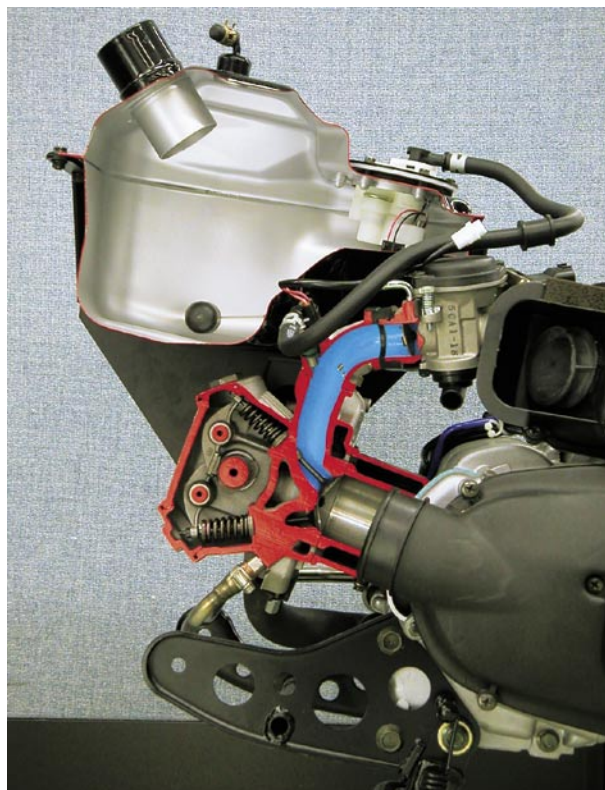


図7 カットエンジン

3.4 パフォーマンス

環境への貢献をする中でエンジンのパフォーマンスに対する配慮も織り込んだ。それは大型二輪車でも評価の高いサクションピストンとワックス式のファーストアイドル機構の採用である。状況に対して最適な制御を可能とする FI システムとの組み合わせによって、前者は過渡でのドライバビリティ向上に大きな効果を上げ、後者は様々な環境での始動性向上に貢献した。

4 おわりに

これまで述べてきたように小型二輪車の FI 化に対する種々の課題を克服し、現時点では世界一シンプルな FI システムを商品化できたと自負している。

また今回のシステム開発を通じ、この領域の技術をコア技術とする歩みを始められたとも感じている。しかし小型二輪車への FI システム導入はまだ始まったばかりであり、開発もこれで終わりではなく、むしろこれから始まると言ってもいいだろう。

今後も社内外の協力を得ながら競争力のあるシステム開発を進めて行きたい。

■著者



後列左より、長谷川貴彦、鈴木雅巳
前列左より、澤田雄一郎、中村友治、中村倫久



YZF-R6 に採用した薄肉ダイキャスト車体

Thin walled die-cast Body for YZF-R6

橘内 透 Toru Kitsunai 山縣 裕 Hiroshi Yamagata 小池 俊勝 Toshikatsu Koike
●研究開発センター 応用プロジェクト開発室 CF プロジェクト

Abstract

Thin walled die-cast parts for the YZF-R6's rear suspension arm were developed. The die-casting concept we used is called CF (controlled filling) die-casting. It enables the production of weldable and heat-treatable parts. The technology is characterized by a high vacuum level in the die cavity, controlled injection velocities during casting and refined aluminum containing less hydrogen gas and aluminum oxide. The combination of Al-10%, Si-0.3%, Mg-0.6%, Mn alloy with T5 heat treatment has enable the assembly of a rear suspension arm from just two main components. The high welding velocity, as fact as 1 m/min, has caused less distortion, even in this thin-walled part.

1 はじめに

ヤマハ発動機(株)は、アルミニウムを二輪量産車の車体に積極的に採用してきた。アルミニウムは軽量化な車体を作るために有効な素材で 1980 年以前より GP(グランプリ)レーサーの車体などでは研究されていた。しかし、車体に最適な高強度かつ耐応力腐食性のある合金の開発、溶接の信頼性確保、あるいはコストを安く作り込む量産技術の進歩などが必要であったため、一般市販車に使われだしたのは、1984 年以降のことである。図 1 に参考のためアルミニウムの 5 つの特性をまとめた。アルミニウムには、軽量化による低燃費化を実現する構造部材として、あるいはリサイクル容易な材料として、地球環境保全の視点からも期待が高まっている。

スポーツモデルを中心にアルミの使用は急速に広がったが、これまでの車体は、板材や押出し型材あるいは鍛造品などの成形品と重力铸造铸件を溶接組み立てし構成してきた¹⁾。これは当初からの基本構成であり、その中で種々の改良がなされてきている。例えば鍛造品の使用をやめ、形状自由度の高い重力铸造品にかえるとか、板材の成形限界の向上に対する努力などである。しかしながら、板材や型材は自在な曲面を作り出すのに制約があり、一方、制約の少ない重力铸造铸件は薄肉化や大型化に限界があった。

車体設計の理想から言えば、曲面を自在に作れ、強度上必要な部分に必要な肉厚をもたせ、かつ不要部分はできるだけ薄肉化し、結果的に軽量高剛性な構造を得ることである。そこで、これらのニーズにこたえるべく、薄肉で大型部品が成形可能で十分な強度・伸びを持たせることができ、同時に溶接接合可能な製品ができる高圧ダイキャストの新技术、CF ダイキャスト (Controlled Filling Die-Casting) を開発し、今回 YZF-R6 のリアアームに採用するに至った。本文ではこの関連の技術を紹介する。

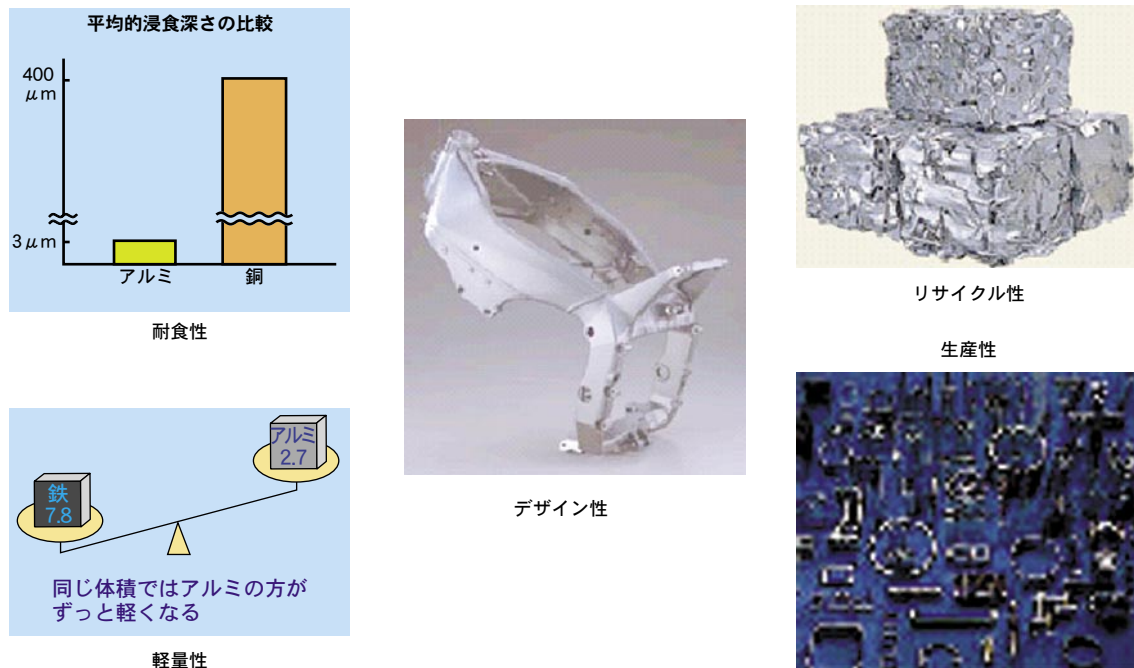


図 1 アルミニウムの特長

2 要素技術

2.1 CF ダイキャスト技術

従来、アルミニウムの鑄造技術には表 1 のような技術が一般的に知られている。このうちダイキャストとして日本で略称される高圧ダイキャスト技術 (High Pressure Die-casting) はきわめて生産性の高い技術で、精度が高く値段も安いのでクランクケースをはじめとし多くの採用実績がある。

高圧ダイキャストは溶けたアルミをピストンシーリング機構で金型中に高速で注入し製品とする。溶けたアルミを注入するので、他の鑄造方法と比べ、転写精度のよい薄い鑄物が生産可能である。さらに、型内の真空吸引を併用した高圧ダイキャスト技術は、減圧により注入溶湯に抵抗がなくなることによる湯流れ充填の改善および充填時空気の巻き込みが減少するなどのメリットがある。これらには様々な方法が提案されてきており、使用例は多い。しかし、材質的には一定の改善効果は見られるが、塑性加工あるいは熱処理や溶接に適した材質までは至っていなかった。これはダイキャスト品の含有水素ガス量の多さ、酸化物の巻き込みなどが技術的に解決されていなかったためである。そのため、T6 熱処理あるいは溶接が必要な部材には、表中の砂型鑄造、金型鑄造あるいは低圧鑄造などの製品が従来用いられてきた。

著者らは従来の高圧ダイキャストの問題点を克服する技術として CF ダイキャストというコンセプトを提案している。この技術は従来からある真空を併用した高圧ダイキャストの延長上にある技術として位置づけられるが、次のような点に留意することで、溶接性および熱処理性において飛躍的な品質向上が可能となった。

表 1 アルミダイキャスト技術の特長

| | 生産可能数量 / 1h |
|---------------|----------------|
| ダイキャスト | 50 ~ 60 |
| 砂型鑄造 | 5 ~ 10 |
| 金型鑄造 | 20 ~ 40 |
| 低圧鑄造 | 15 ~ 30 |

軽量かつ生産性に優れている！

- (1) 金型キャビティ部の真空度を向上させるためリーク部に全てシールを入れる。このことで 3 kPa 程度の高真空が操業中に維持される。
- (2) 多系統の温度調節機により金型の温度制御を精密に行う。このことを積極的に行うことで金型の温度バランスを良くし、湯流れを助け、冷却速度を制御することで材質を改善する。
- (3) 湯流れシミュレーションにより最適な金型方案を設定する。薄物のシミュレーションにはノウハウが必要である。
- (4) 部品形状に最適な注入速度の選択および制御を行う。特に量産時の繰り返し精度を確保する。このことで製品のばらつきは減少でき、同時にショット毎の異常が検出できる。
- (5) 製品中の酸化物あるいはガス量を低減するため溶湯の精錬処理をおこなう。製品の伸びを確保するには、破断チル層低減の策を講じる必要がある。

以上のようなことを特徴としている。

これらの相乗効果により、製品内のガス混入量を重力铸造品なみの $3\text{cm}^3/100\text{g}$ 以下にすることができた。その結果、ダイキャスト技術を薄肉、大型の方向に拡大し（図 2）、溶接や T6 熱処理ができるようになった。

溶接および熱処理を可能とするには、铸造条件の制御管理が一段高いレベルで要求される。そのためには形状出しは容易に行え、その上に材質制御のための条件管理を行う必要がある。形を出すことに窮々としているようでは、材質の向上は望むべくもない。そのために上述 (2) ~ (4) の技術は重要である。

図 3 に従来法と CF 法の模式図を示す。製品の材質を向上させるための各種制御機器を装備している。

今回ダイキャスト品を採用するにあたり、構造の強度解析を行うとともに、そのデータを铸造方案の湯流れ解析に使用し、金型方案の最適化を行った（図 4）。これらの技術の詳細はノウハウの塊でもある。

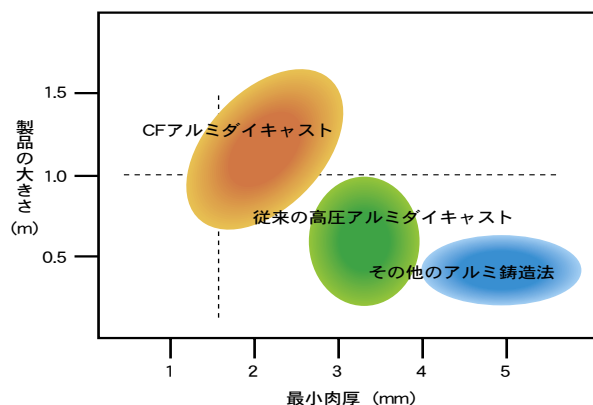


図 2 CF ダイキャストの目指すもの



図 4 リアアーム鑄造シミュレーション

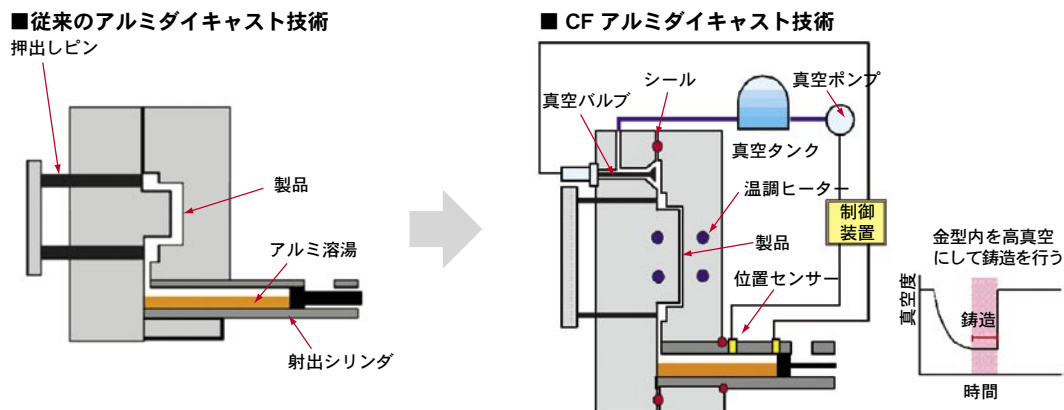


図 3 従来の高圧ダイキャスト法と CF 法の比較模式図

2-2. 素材

車体に必要な延性と耐力の両立のために、材料は Al（アルミニウム）-10%, Si（シリコン）-0.3%, Mg（マグネシウム）-0.6%, Mn（マンガン）系の新塊グレードを採用した。ダイキャスト用材料は金型との焼きつき防止のために Fe の添加が不可欠であったが、Fe の添加は針状晶を形成し伸びを低下させる。そのため本材料は Fe の添加をやめ、Mn で焼きつき防止を計った。また、この材料は鑄造性と耐食性が優れているとともに、Mg 添加量および図 5 に示す熱処理条件を変えることにより延性と耐力が調整できる。今回は必要な延性と耐力およびひずみを考慮し、T5 熱処理を採用した。さらに、冷却速度の遅い厚肉部でも強度伸びの低下を最小限に抑えるため、Si を添加し組織の微細化を計った（図 6）。図 7 は拡大写真である。厚い部分でも共晶 Si が微細化され高強度化されている様子がうかがえる。

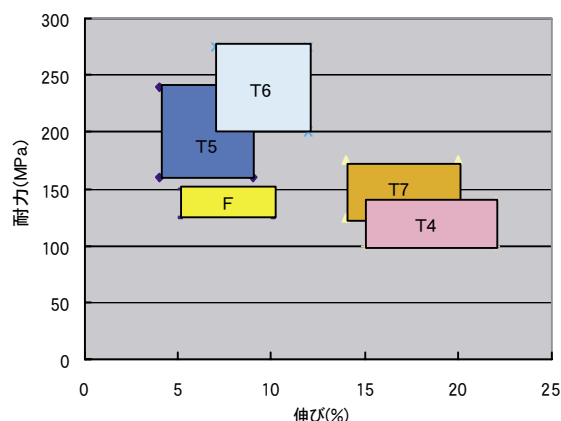


図 5 熱処理毎の強度、伸び値分布

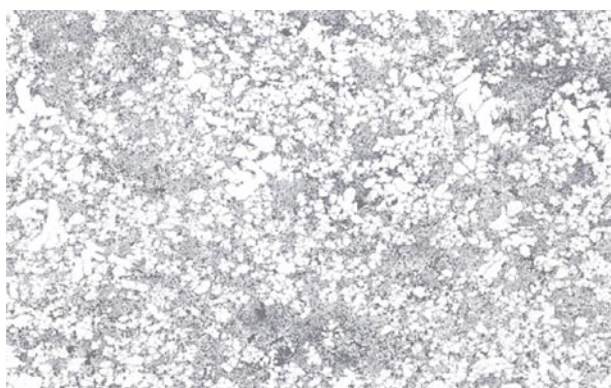


図 6 断面金属組織写真
板厚 4.5mm 部の板厚中心部 (100 倍)

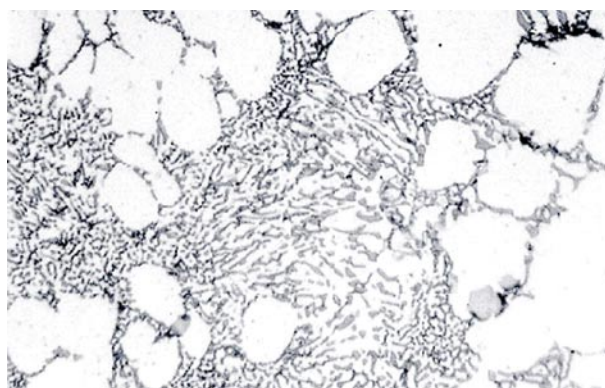


図 7 断面金属組織写真
板厚 4.5mm 部の板厚中心部 (1000 倍)

2.3 高速 MIG 溶接技術

CF ダイキャストで鑄造された製品は含有水素ガス量が少なく TIG（Tungsten Inert Gas）および MIG（Metal Inert Gas）溶接ともに可能である。今回ダイキャスト品の溶接を研究する中で、MIG 溶接の高速化の研究を行った。従来のアルミ TIG 溶接や MIG 溶接（溶接速度で 250 mm/min 程度）は、入熱による素材強度の低下と溶接ひずみが課題であった。今回 1,000 mm/min の高速 MIG 溶接技術を開発採用することにより、高い接合強度を実現し、同時に生産性を大幅に向上した。図 8 には高速 MIG 溶接により溶接二番の硬度低下が起きていないことが示される。

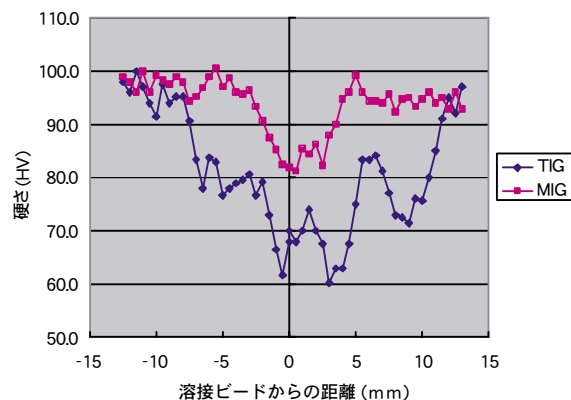


図 8 従来 TIG と高速 MIG 溶接部近傍の硬さ分布比較

3 YZF-R6 部品への適用

3.1 リアアーム

今回のリアアームは主な部品を CF ダイキャスト製の 2 部品とし、それらを中心線で高速 MIG 溶接接合している（図 9）。これにより部品点数を従来比 7 割削減できた。また、接合位置が中央線部になったこともあり、組み立て溶接後、必ず必要とされた矯正工程は不要となった。使用した材料は高耐食性で、従来行っていた塗装前のクロム酸クロメート処理を廃止し、表面処理は 1 コート 1 ベークの黒塗装仕様とした。



図 9 R6 リアアーム外観

4 おわりに

CF ダイキャストを開発することにより、ダイキャストのもつ形状自由度、生産効率を生かし、重力铸造なみの強度、伸び、溶接性を実現できた。また、この技術を YZF-R6 の車体に採用することにより、外観デザインの自由度が高まり、部品点数および生産工程の大幅な削減ができた。今後、この技術を改善していくことで、さらに環境にやさしく高機能、かつ生産コストを低減することのできる車体が提供できるものと確信している。

■参考文献

- 1) 山縣裕：塑性と加工, 40-465, (1999-10), 920-924.
- 2) Z.A. Xu and F. Mampaey: AFS Transactions, 104(1996)155-166.

●著者



山縣 裕



小池 俊勝

技術論文

レーザ干渉法を利用した小型温度センサによる
エンジンシリンダ内未燃ガス温度計測Transient Temperature Measurement of Unburned Gas in an Engine
Cylinder Using Laser Interferometry with a Fiber-Optic Sensor河原 伸幸 Nobuyuki Kawahara 富田 栄二 Eiji Tomita 一宮 充 Mitsuru Ichimiya
高須 康嗣 Kouji Takasu 後藤 一廣 Kazuhiro Goto 都竹 広幸 Hiroyuki Tsuzuku
●岡山大 / 岡大院 / コア技術研究室 / 応用プロジェクト開発室

Abstract

Various global environmental issues are related to the use of internal combustion engines, including air pollution and energy concerns. It is therefore desirable to improve the efficiency of spark-ignition engines. In order to develop lower fuel consumption, higher power output engines, it is necessary to know the fuel concentration, temperature and turbulence in an engine cylinder. Therefore new measurement systems with high accuracy and highly temporal resolution need to be developed. The purpose of this present study is to develop a fiber-optic sensor probe using a polarization-preserving fiber and a metal mirror for use in a fiber-optic heterodyne interferometry system. A fiber-optic heterodyne interferometry system offers high potential resolution and provides a non-intrusive temperature measurement technique. The accuracy of the measurements and the applicability of this system for an engine cylinder were discussed. The measurement accuracy of the developed fiber-optic sensor and heterodyne interferometry system was sufficient to be applied to temperature history measurement of unburned gas compressed by flame propagation in an engine cylinder. The resolution of the temperature measurement is approximately 0.7K, and is dependent on both the sampling clock speed of the A/D converter and the length of the measurement region.

要旨

省資源・地球環境保全のため、低燃費かつ高出力のエンジンを開発するには、燃焼状態に大きく影響する燃料濃度、温度、乱れ強さ等を高精度、高応答で測定可能な計測システムが必要である。そのうち温度計測に関しては比較的安価で高分解能なレーザ干渉法があるが、その1つであるヘテロダイン干渉法に光ファイバを用い、今回新たに小型温度センサを製作した。開発した温度計測システムにより、圧縮膨張機関におけるガス温度変化を測定した結果、モータリング時は圧力値から求めたシリンダ平均温度と比較的良く一致した。また、火花点火を行った場合に火炎伝播により圧縮される未燃焼ガスの温度変化を測定した結果でもシリンダ内平均温度とほぼ一致した。以上の結果から、今回開発したシステムで、火花点火機関における未燃焼ガスの温度変化が測定できることを確認できた。今後は実機エンジンへの適用に向け、開発を進める予定である。

1 はじめに

省資源・地球環境保全のために、内燃機関において熱効率向上および有害排出ガス低減の同時達成が必要とされている¹⁾。低燃費かつ高出力のエンジン開発を行うには、サイクル単位の制御や気筒

毎の制御が求められており、燃焼状態をより正確に把握しておく必要がある。そこで燃焼状態に大きく影響する燃料濃度、温度、乱れ強さなどを高精度、高応答で測定でき、実機エンジンに適用可能な計測システムが求められる。このうち温度計測は熱電対、レーザ誘起蛍光法（LIF法）、コヒーレントハ反ストークスラマン分光法（CARS法）、レーザ干渉法といった計測法がある。熱電対で急激に変化するエンジンシリンダ内の温度を測定するためには応答性に問題が生じる。LIF法では、2次元的な温度分布の測定が可能であるが定量性に問題がある。また光学窓を必要とするために実機エンジンへの適用は困難である。CARS法は光学窓が必要であること、精度も数十Kであると言われていること²⁾から実機エンジンを改良することなく適用することは困難である。また、装置としても非常に高価である。一方、レーザ干渉法は比較的安価に、数Kの分解能で温度履歴を測定できるが、機械的振動に非常に弱い実機エンジンへの適用は通常困難である。そこで富田、河原ら^{3),4)}はレーザ干渉法の1つであるヘテロダイン干渉法⁵⁾に光ファイバ等を組み合わせることにより振動に強い温度計測システムを開発した。光学系に偏波面保存型光ファイバを利用し、測定部の小型化およびセンサ化の可能性を示した。

そこで今回新たに光ファイバと金属ミラーからなる小型温度センサを用いた温度計測システムを開発し、圧縮膨張機関のモータリング時および火花点火時でのガス温度変化の測定を行った。また、温度計測システムの持つ温度分解能について検討した。

2 ガス温度測定原理

図1にレーザ干渉を用いたガス温度の測定原理を示す。レーザ干渉法はガスの密度変化を対象にした計測手法の一つであり、密度による屈折率の変化を計測することができる。密閉容器内で火炎伝播により未燃焼ガスは断熱圧縮され、未燃焼ガスの密度は屈折率とともに変化する。屈折率と密度の関係はGladstone-Daleの式⁶⁾により表すことができる。未燃焼ガスの屈折率は温度だけではなく化学種の濃度変化にも影響を受けるため、ガス温度を見積もる際にはガス組成の情報が必要となる。屈折率変化、圧力履歴、ガス組成よりガス温度を時系列で計測することができる。

図2に典型的なヘテロダイン干渉光学系を示す。レーザからの光はハーフミラーにて2本に分けられ、1本は参照光として、もう1本は試験光として周波数シフタにて周波数シフトされた後、試験気体が入った容器内部を通過する。検出器では、参照光

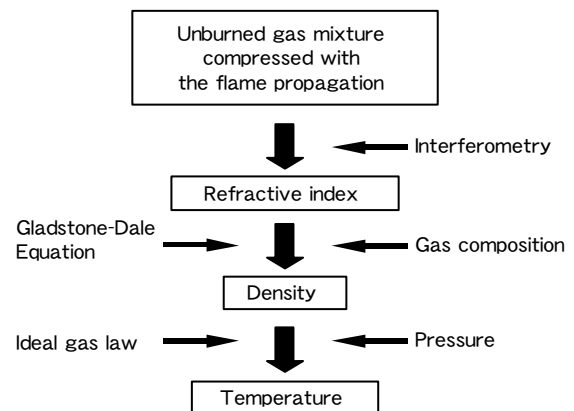


図1 Principle of temperature measurement using laser interferometry

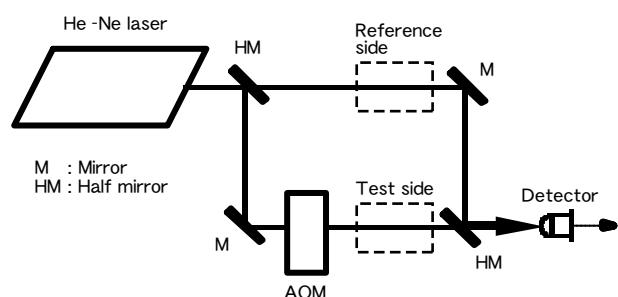


図2 A typical optical heterodyne interferometry

と試験光の周波数の差がビート周波数として表れる。ヘテロダイン法では、ある周波数のビート信号を検出するので、周波数が異なるノイズ光の影響を受けにくい。参照光と試験光のビーム強度を I_0 とすると、干渉信号 I は次式で表される。

$$I = |E|^2 = 2 \cdot I_0 [1 + \cos(2\pi f_b t + \psi_i)] \quad (1)$$

ただし、 f_b はビート周波数であり、 ψ_i は測定部の位相変化である。

測定開始から、ある時刻 t まで測定したヘテロダイン信号の位相変化を ψ_H とすれば、測定部気体の位相が変化することによって、測定信号の位相変化量 ψ_H が変わる。 ψ_H は測定部の位相変化 ψ_i と次の関係を持つ。

$$\psi_H = \int_0^t 2\pi f_b dt + \psi_i \quad (2)$$

測定部の位相変化 ψ_i は、

$$\psi_i = 2\pi\phi_i / \lambda_s = 2\pi n_i L_i / \lambda_s \quad (3)$$

となる。ここで、 ϕ_i は測定部での光路長変化である。

ガスの屈折率変化はビート周波数を変化させるため、ビート周波数は時間 t の関数となる。

$$f_b \rightarrow f_b(t) \quad (4)$$

式(4)を式(2)に代入すると、測定部の位相変化 ψ_i は、

$$\psi_i = \psi_H - \int_0^t 2\pi f_b(t) dt \quad (5)$$

となる。

気体温度 T_i は計測した光学位相変化より求められる。気体の屈折率 n_i と密度 ρ の関係は近似的に Gladstone-Dale の式で表される。

$$n_i = 1 + \frac{\rho_i R_{Gi}}{M_i} = 1 + \frac{P_i R_{Gi}}{R_0 T_i} \quad (6)$$

ここで、 R_{Gi} は Gladstone-Dale 定数⁶⁾であり、使用するレーザの波長と気体種類により決まる。 M は気体の分子量、 R_0 はガス定数、 P_i は測定部の圧力、 T_i は測定部の絶対温度である。なお、 s 種の混合気体の Gladstone-Dale 定数⁶⁾ R_{Gi} は、次式に示すように i 成分気体のモル分率 X_i から求めることができる⁶⁾。

$$R_{Gi} = \sum_{i=1}^s R_{Gi} X_i \quad (7)$$

ここで、 R_{Gi} は i 成分気体の Gladstone-Dale 定数⁶⁾である。

未燃焼混合気温度 T_i は次式で求まる。

$$T_t = \frac{2\pi P_t R_{G_t} T_{t0} L_t}{2\pi P_{t0} R_{G_t} L_t + \psi_t T_{t0} R_0 \lambda} \quad (8)$$

すなわち、初期状態の圧力 P_{t0} 、温度 T_{t0} が既知であり、混合気組成が不変であれば、圧力 P_t および干渉光の位相変化量 ψ_t を測定することにより測定部の気体温度 T_t を求めることができる。

3 温度計測システム

3.1 小型温度センサを用いたヘテロダイン干渉光学系

本研究にて開発した温度計測システムの概略を図3に示す。安定化 He-Ne レーザ（出力 1mW、波長 632.8nm）からの光は、ヘテロダイン用音響光学素子（ブラッグセル式）により周波数を 80.0MHz と 79.9875MHz や、80.0MHz と 79.975MHz など異なる周波数に周波数シフトされ、2本のビームはそれぞれ P 偏光、S 偏光に分離される。本研究では、P 偏光の光を 80.125MHz、S 偏光の光を 80.1MHz に設定した。2本の光は偏光ビームスプリッタ (PBS) により一本のビームとなる。

ハーフミラーにより反射されたビームは偏光板により干渉し、フォトリランジスタにより参照信号として 25kHz のビート周波数が検出される。一方、ハーフミラーを透過したビームは PBS により、再び2本のビーム（それぞれ P 偏光と S 偏光の偏光面を持つ）に分けられ、マイケルソン型干渉計を構成する。試験光の1本 (P 偏光の偏光面を持つビーム) は、 $\lambda/4$ 板を通過し円偏光となる。円偏光となったビームはミラーにより反射され再び $\lambda/4$ 板を通過後、S 偏光となり PBS に戻る。試験光の他方 (S 偏光を持つビーム) は $\lambda/2$ 板を通過後、レンズによって絞られ偏波面保存型光ファイバへと入射される。ファイバから出た光はセルフフォーカスマイクロレンズ (SML) によってコリメート化される。測定部を通過した後ミラーにより反射され再び測定部を通過する。反射されたビームは再び $\lambda/2$ 板を通過し PBS に戻ってくる。試験側の両者の光は再び一本となり偏光板を通過後干渉し、フォトリランジスタ (PT) で試験信号として検出される。500kHz のサンプリング周波数でこの干渉信号をデジタルメモリに記録する。参照信号と試験信号のビート周波数の違いから、位相差を算出することができる。

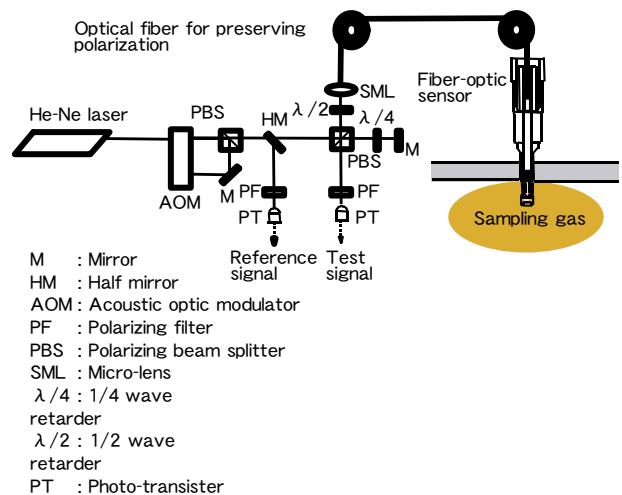


図3 Heterodyne interferometry with fiber-optic sensor

3.2 小型温度センサの開発

試作した小型温度センサの写真および概略を図4に示す。温度センサを開発するにあたり、主に (1) 耐熱性、(2) 大きさ、(3) 測定部長さを考慮した。

(1) 耐熱性

センサが高温に耐えられるようにウィンドウ部にサファイア、ミラー部には金属ミラーを使用した。

また、SMLと光ファイバは熱に弱く、光ファイバに熱が加わると位相変化が生じる。それゆえ、光ファイバに熱が伝わりにくくように測定部と光ファイバを切り離した構造にした。実用機関への設置に関してはセンサが非常に高温にさらされると予想される。そこで、レーザ光が通過する測定部以外の温度変化を知る必要がある。よって、SMLとウィンドウ部の間の温度測定を熱電対で行う。

(2) 大きさ

実用機関を改良することなくセンサが設置できることが望ましい。よって、一般的なエンジン筒内圧力センサの取り付け方法と同様の方法にて設置できるように、センサにはM5のネジを切っている。

(3) 測定部長さ

本測定法では測定部が長いほど位相変化量は大きくなるためS/N比が向上し、温度計測分解能も向上する。しかし、測定される値は測定部の平均温度になるため、より局所的な温度変化を知りたい場合には好ましくない。また実用機関への設置を考えた場合、筒内への突き出し量が増加するため設置できる場所が限られてしまう。一方、測定部を短くするとS/N比は低下するが、局所的な温度変化の測定が可能となる。よって最適な測定部長さと温度計測

分解能の関係をj知る必要がある。そこで、以前著者ら⁴⁾が行った火花点火における未燃焼ガスの温度履歴の結果を基に位相変化量を見積もり、測定部長さと温度計測分解能の関係を求めた。温度、圧力条件は3.2MPa、660Kである。図5に測定部長さと温度計測分解能の関係を示す。図の横軸は測定部長さを示し、縦軸は温度の最小読み取り値を示す。これによると測定部が長くなるにつれて、温度の最小読み取り値が小さくなり温度計測分解能が向上しているのがわかる。この結果から測定部長さはダブルパス方式で13mmとした。

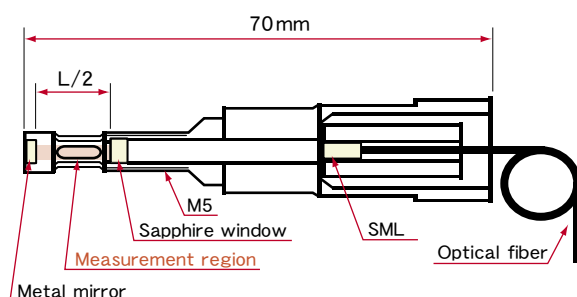
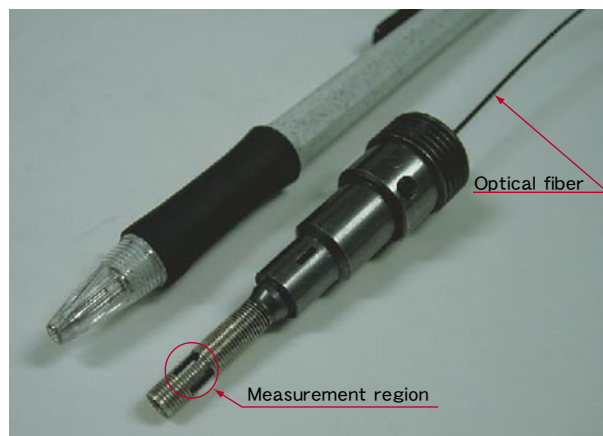


図4 Schematic diagram and photograph of fiber-optic sensor

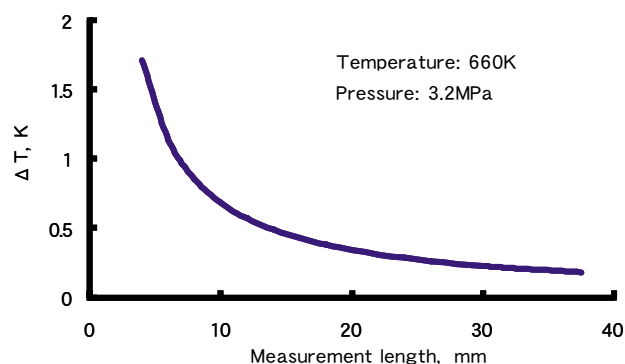


図5 Relationship between measurement length and resolution of temperature

4 実験結果

4.1 実験装置と方法

図3に示した温度計測システムを一度だけ燃焼が可能な圧縮膨張機関に適用した。図6に機関の概略を示す。この機関は燃焼が行われるシリンダ部と混合気が充填される混合気タンクで構成されている。燃焼室内はパンケーキ型である。また、石英製のピストンヘッドを使用することで、ボトムビュー方式で可視化ができる。ボア×ストロークは78mm×85mmであり、圧縮比はスぺーサを変えることにより可変できる。本研究では圧縮比は9.7および11.2である。実験手順を以下に示す。

- (1) シリンダヘッドに取り付けられたきのこ弁を開け、燃焼室内を真空状態にして、ピストンを上死点(TDC)に設置する。
 - (2) あらかじめ作成しておいた均一予混合気を混合気タンクからシリンダ内に所定の圧力まで充填する。
 - (3) 弁を開けた状態でモータにより機関を駆動し、一定の時間後に下死点(BDC)で弁を閉じ、上死点前(BTDC) 20°で点火した。弁が閉じた時のシリンダ内のガス温度は混合気タンクに取り付けられた熱電対により知ることができる⁷⁾。
- 以上の手順で行い、計測は弁が閉じた後の最初の圧縮膨張行程で行った。

図7にセンサが取り付けられた状態での機関の写真を示す。センサは電極の反対側に壁面から14mmの位置に取り付けられ、筒内への突き出し量は8.8mmである。

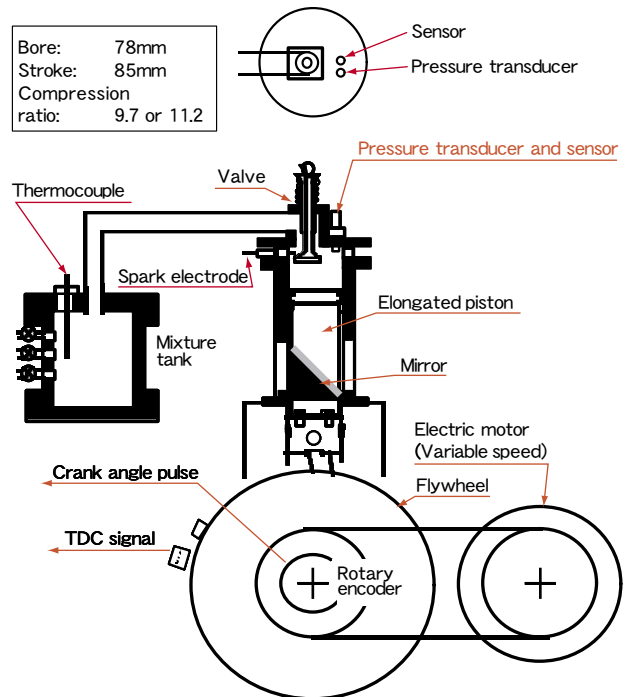


図6 Schematic diagram of compression-expansion engine

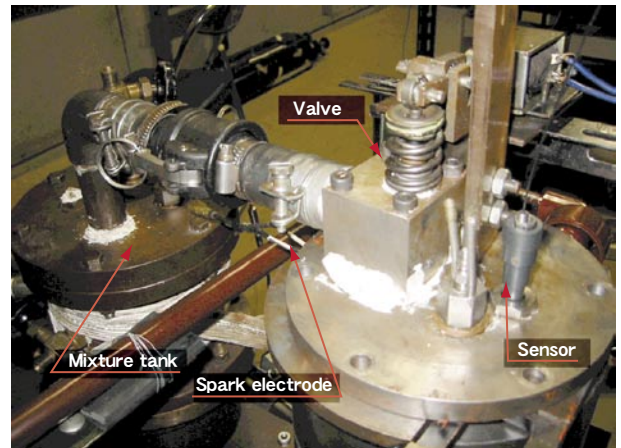


図7 Photograph of test engine with fiber-optic sensor

4.2 モータリング時のガス温度計測

初めに機械的振動などの影響を調べるために、モータリング時でのガス温度変化の測定を行った。図6に示した圧縮膨張機関に空気を室温で大気圧まで充填し、図3に示す温度計測システムおよび圧力変換素子により、測定部における位相変化および圧力を測定した。圧縮比は9.7である。図8に測定した位相変化量と圧力値の関係をクランク角に対して示す。圧縮行程においてクランク角300°まで

の緩やかな圧力上昇に対して位相変化量も同じように緩やかに増加している。300° から 360° までの急激な圧力上昇に対しては位相変化量も急激に増加しているのがわかる。この位相変化量と圧力履歴より測定部のガス温度変化を式 (8) より見積もった。図 9 にガス温度変化をクランク角に対して示す。青丸 (●) がヘテロダイン干渉法で求めた値である。一方、実線は圧力値からポリトロプ変化を仮定して計算したシリンダ内平均温度である。この結果を見るとクランク角 240° では両者の値に違いが見られる。これは、圧力値が低いと位相変化量も少ないため位相の読み取り誤差が影響していると考えられる。また、弁が閉じた時の振動の影響があげられる。一方、TDC 付近になると位相変化量も増大し、弁の振動の影響もなくなるために両者の値は比較的良好に一致している。

4.3 火花点火による未燃焼ガス温度計測

前節まででモータリング時におけるガス温度計測は測定可能であることがわかった。本節では圧縮膨張機関において火花点火を行い、未燃焼ガスの温度変化測定を試みた。ガスには当量比 1.0 のメタン-空気混合気を用いた。圧縮比は 11.2 であり、点火時期は BTDC20° である。また、機関回転速度は 600rpm である。図 10 に測定した位相変化量と圧力値との関係をクランク角に対して示す。モータリング時と同じようにクランク角 340° までは緩やかな圧力上昇に伴って位相変化量も緩やかに増加している。そして、340° から火炎が測定部を通過するまでの急激な圧力上昇に伴って位相変化量も急激に増加し、モータリング時と比較しても位相変化量も大きいことがわかる。また、試験信号が急激に減少したときを火炎が測定部を通過したと判断した。この位相変化量と圧力履歴から式 (8) を利用して未燃焼ガスの温度履歴を算出した。図 11 に

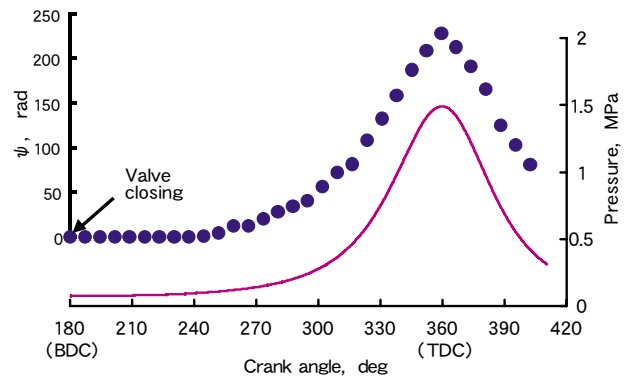


図 8 Measurement phase shift and pressure under motoring condition

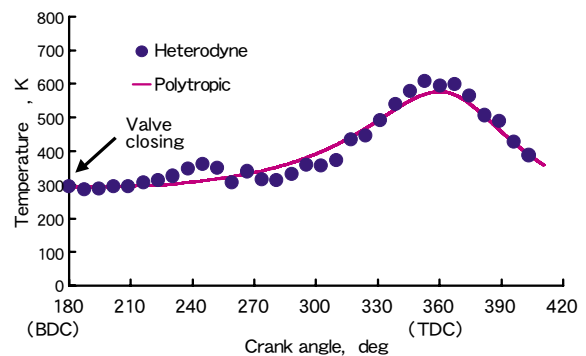


図 9 Temperature change of air under motoring condition

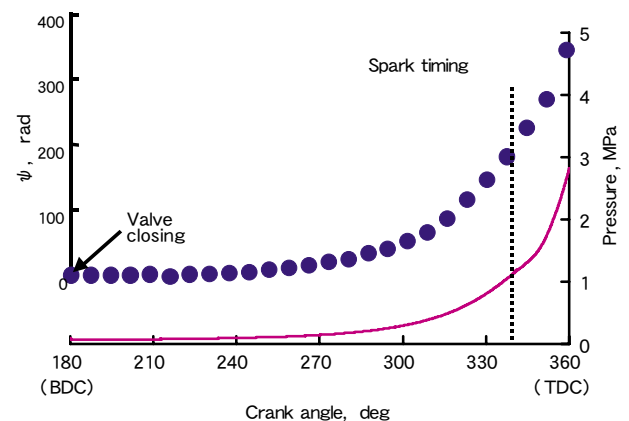


図 10 Measurement phase shift and pressure under firing condition

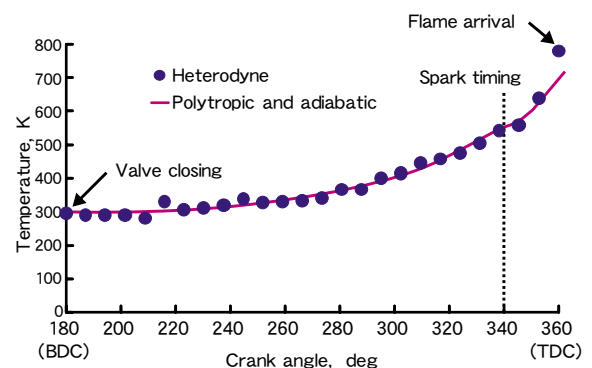


図 11 Temperature change of unburned gas under firing condition

測定部のガス温度変化を示す。横軸はクランク角で縦軸は温度を示している。青丸（●）は実験値である。実線は式 (9) より圧力値を用いて算出したシリンダ内平均温度である。

$$T_m = T_{ig} (P_t / P_{ig})^{\frac{k-1}{k}} \quad (9)$$

ここで k は未燃焼混合気の比熱比であり温度 300K ～ 600K 圧力 0.1 ～ 3MPa の範囲における平均値を 1.380 として用いた。両者の値を比較すると下死点から点火時期まで混合気が圧縮されるにしたがって、緩やかに温度上昇しており両者の値は比較的良く一致しているのがわかる。点火後の急激な温度上昇に対しては、実験値 T_t の方がシリンダ内平均温度 T_m よりも若干高い値となっているが、両者の値はほぼ一致していることがわかる。

以上の結果から今回開発した小型温度センサを用いた温度計測システムでエンジン内の未燃焼ガス部の温度変化を局所的に計測できることを示すことができた。

5 測定精度の検討

本節では小型温度計測センサを用いた温度計測システムの持つ温度計測分解能の検討を行った。今回は 25kHz のビート周波数信号をアナログ / デジタル (A/D) ボードを用いて 500kHz のサンプリング周波数で記録した。このとき、20 点で一周期を記録することになる。ここで 1/20 周期分の光路長変化を位相の最小読み取り値とすると、圧力の増加に伴いビート周波数が変化するために最小読み取り値は変化する。図 12 に圧力履歴と温度の最小読み取り値との関係を示す。圧力の増加に従い温度分解能が上昇しているのがわかる。火炎が測定部を通過する直前の温度分解能は 0.7K 程度である。温度分解能は、A/D 変換ボードのサンプリング周波数、ヘテロダイン干渉法のビート周波数、測定部の長さにより決定されるため、これらの最適化を行うことで改善することが可能である。

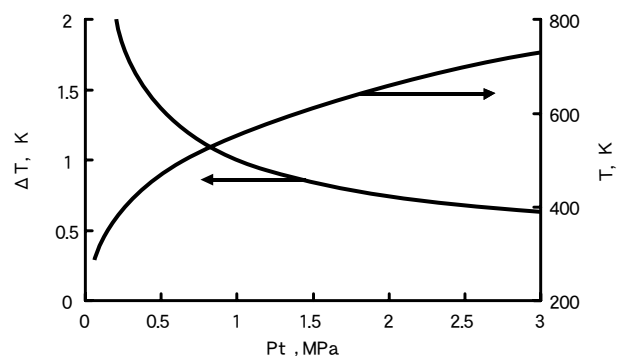


図 12 Resolution for temperature measurement of unburned gas

6 おわりに

小型温度センサとヘテロダイン干渉光学系を利用した温度計測システムを開発した。このシステムを使って圧縮膨張機関におけるガス温度変化を測定した。その結果、モータリング時は圧力値から求めたシリンダ平均温度と本システムで計測した値とは比較的良い一致を示した。また、火花点火を行った場合に火炎伝播により圧縮される未燃焼ガスの温度変化を測定した結果でもシリンダ内平均温度とほぼ一致した値となった。以上の結果から今回開発した温度計測システムを用いて火花点火機関における未燃焼ガスの温度変化が測定できることが確認できた。今後は、実機エンジンへの適用に向け開発を進める予定である。

■参考文献

- 1) Heywood, J. B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, Inc., (1988).
- 2) Akihama, K., Asai, T., JSME International Journal, B 36-2: 364 (1993).
- 3) 河原, 富田, 鎌倉, 光ファイバを用いたヘテロダイン干渉法によるガス温度変化計測, 第 16 回 内燃機関シンポジウム・講演論文集, (2002), pp.349-354.
- 4) Kawahara, N., Tomita, E., and Kamakura, H., Unburned Gas Temperature Measurement in a Spark-ignition Engine Using Fiber-Optic Heterodyne Interferometry, Meas. Sci. Technol. 13-1, (2002), pp.125-131.
- 5) 吉澤, 瀬田編, 光ヘテロダイン技術, OE シリーズ 2, 新技術コミュニケーションズ, (1994).
- 6) Gardiner, W. C. Jr, Hidaka, Y., and Tanzawa, T., Refractivity of Combustion Gases, Combust. And Flame, 40, (1980), pp.213-219.
- 7) Tomita, E., Hamamoto, Y., and Jiang, D., Measurement of Temperature History of Unburned Gas Before Knocking in a Spark-Ignition Engine Using Laser Interferometry, Meas. Sci. Technol. 11-6, (2000), pp.587-593.



技術論文

ソフトコンピューティングによる スマートサスペンション制御システムの開発と乗用車への適用

**An application of a smart control suspension system
for a passenger car based on soft computing**

萩原 孝英 Takahide Hagiwara Sergey A. Panfilov Sergei V. Ulyanov

高橋 一樹 Kazuki Takahashi Olga Diamante

●研究開発センター フロンティアプロジェクト室 / Yamaha Motor Europe N.V.

/ STMicroelectronics Srl

Abstract

A mathematical model-based design methodology for a robust intelligent semi-active suspension control system for passenger cars based on stochastic simulation and soft computing was developed. A globally optimized teaching signal for damper control was generated by a genetic algorithm, the fitness function of which is set to satisfy conflicting requirements such as riding comfort and stability of the car body.

Proper selection of the input signals for the fuzzy controller achieved accurate and robust control, making it possible to reduce the number of sensors.

The knowledge base is optimized for various kinds of stochastic road signals on a computer without carrying out actual field tests.

要旨

数学モデルを使った設計手法により、自動車用ファジー制御セミアクティブサスペンションシステムを開発した。制御に使う知識ベースの基となる教師信号は、評価関数に従い乗り心地や走行安定性など両立の難しい要求をも満足する様、遺伝的アルゴリズムにより広域的に最適化されている。

コンピュータシミュレーションにより様々な路面に適応できる様作り上げられた知識ベースは、車体の上下加速度信号から制御に必要な各種情報を引き出し、精度とロバスト性に優れた制御を実現している。

1 はじめに

車両のダンパー減衰力のみを制御する、いわゆるセミアクティブサスペンションシステムについては、これまでも様々な方法が提案されてきた。古典制御理論に基づきサスペンションの伝達関数を制御する方法は、必要とするセンサー数は少なく済むが車両の姿勢制御は出来ない。また現代制御理論に基づく方法では車両の姿勢を制御する事も可能であるが、十分な情報を得る為にたくさんのセンサーを必要とし、システムのコストを押し上げている。

一方、遺伝的アルゴリズムに基づくファジー制御の設計手法は、Karr によって始められたが、これはメンバーシップ関数のみを最適化するものであった¹⁾。また橋山等は遺伝的アルゴリズムを制御則の探索にまで広げたが^{2,3)}、基になっているのは Karnopp の提唱するスカイフック制御であり⁴⁾、これに制御則を追加する物であった。

筆者等は既に、基となる制御則を事前に決めなくても、評価関数を決めるだけで最適な制御則を自動的に作り出す方法を提案した⁵⁾。この方法によれば多くの情報を数少ないセンサー信号から引き出して、制御性能の高い知識ベースを作り上げ、その結果乗り心地と走行安定性の両立を可能とする事が出来る。本報告ではこのシステムを乗用車のダンパー制御に適用した事例について述べる。

制御システムは2つの方法について比較した。一方は7つのセンサーを使って車体及びサスペンションの動きを直接測定し制御する方法、他方はセンサーを1つだけ使い、不足する6つ分の情報を知識ベースで補った方法である。前者をシステム7、後者をシステム1と呼ぶことにする。

制御性能の評価はシミュレーションと実車の走行テストで行った。

2 教師信号の生成

2.1 車両の数学モデルと運動方程式

これから行う全てのシミュレーションの基となる運動方程式作成にあたり、非線形な挙動も表現可能とするためサスペンションのモデルは単純なバネ・マス系とはせず、図1のようなモデルを用いた。各車輪位置毎のサスペンション周りに4つ、ばね上の車体に3つ、合計19の局所座標を使い、ラグランジェの運動方程式を求めた。計算はこれを Simulink モデルに書き換えて行った。以下は計算によって求められる変数と運動方程式の一部である。

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|
| \ddot{z}_0 : ヒープ加速度 | \ddot{z}_{6n} : ダンパストローク加速度 |
| $\ddot{\beta}$: ピッチ角加速度 | \ddot{z}_{12n} : タイヤ撓み加速度 |
| $\ddot{\alpha}$: ロール角加速度 | $\lambda_{1n} \sim \lambda_{3n}$: ラグランジェの乗数 |
| $\ddot{\theta}_n$: 車体に対するロアアームの角加速度 | |
| $\ddot{\eta}_n$: 車体に対するダンパー軸の角加速度 | ここで添字 n は 4 箇所の車輪位置を示す。 |

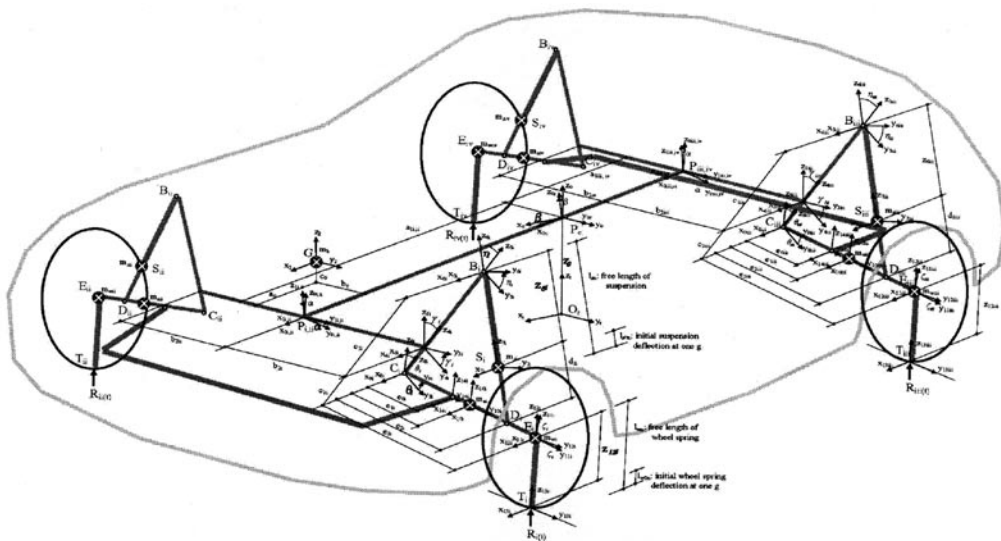


図1 車両モデル

$$\begin{aligned}
 & m_b(\cos \beta ((b_0 \cos \alpha - c_0 \sin \alpha) \ddot{\alpha} - (b_0 \sin \alpha + c_0 \cos \alpha) (\dot{\alpha}^2 - \dot{\beta}^2) - (\alpha_0 + \alpha_1) \ddot{\beta}) + \sin \beta ((\alpha_0 + \alpha_1) \dot{\beta}^2 - (b_0 \sin \alpha + c_0 \cos \alpha) \ddot{\beta})) \\
 & + m_{sn}(\cos(\alpha + \gamma_n + \eta_n)(\ddot{z}_{6n} - (\dot{\alpha} + \dot{\eta}_n)^2) - \sin(\alpha + \gamma_n + \eta_n)(2(\dot{\alpha} + \dot{\eta}_n)\dot{z}_{6n} + (\ddot{\alpha} + \ddot{\eta}_n)z_{6n})) \\
 & + m_{awl n}((\ddot{\alpha} + \ddot{\theta}_n)\cos(\alpha + \gamma_n + \theta_n) - (\dot{\alpha} + \dot{\theta}_n)^2 \sin(\alpha + \gamma_n + \theta_n)) \\
 & - m_{sawcn}(\ddot{\alpha} \sin(\alpha + \gamma_n) + \dot{\alpha}^2 \cos(\alpha + \gamma_n)) + m_{sawbn}(\ddot{\alpha} \cos \alpha - \dot{\alpha}^2 \sin \alpha) - \ddot{\beta} m_{sawcn} \cos \beta \\
 & - 2 \dot{\beta} (\dot{z}_{6n} m_{sn} \cos(\alpha + \gamma_n + \eta_n) - (\dot{\alpha} + \dot{\eta}_n) z_{6n} m_{sn} \sin(\alpha + \gamma_n + \eta_n) + (\dot{\alpha} + \dot{\theta}_n) m_{awl n} \cos(\alpha + \gamma_n + \theta_n)) \\
 & - \dot{\alpha} m_{sawcn} \sin(\alpha + \gamma_n) + \dot{\alpha} m_{sawbn} \cos \alpha - \dot{\beta} m_{sawcn} / 2 \sin \beta \\
 & - (\dot{\beta} \sin \beta + \dot{\beta}^2 \cos \beta)(m_{awl n} \sin(\alpha + \gamma_n + \theta_n) + \dot{z}_{6n} m_{sn} \cos(\alpha + \gamma_n + \eta_n) + m_{sawcn} \cos(\alpha + \gamma_n) + m_{sawbn} \sin \alpha) \\
 & \dot{z}_0 = \lambda_{3n} - g - \frac{m_b + m_{sn} + m_{aw} + m_{wn}}{m_b + m_{sn} + m_{aw} + m_{wn}}
 \end{aligned}$$

... 以下省略。ここで m_{xxx} は各質点の質量又は複数の質点の合計質量を表す。

また計算に用いたテスト車の主要パラメータを表 1 に、可変ダンパーの特性を図 2 に示す。ダンパーの減衰力は Soft から Hard までステップモータで 9 段階に制御される。各ステップ間の移動には 7.5ms かかる。

2.2 路面信号

シミュレーションに用いるため、実測した路面形状から、50km/h の走行速度に相当する車輪への速度入力信号を求める（図 3）。この路面を“教師信号路”と呼ぶ事にする。

後輪への信号はホイールベース分として前輪への信号を 200ms 遅らせたものを用いる。

2.3 評価関数の設定

車体の挙動はしばしば加速度と加加速度の視点から論じられる。しかし、車両の走行安定性と乗り心地の両方を考える場合にはこれら時間領域の視点からだけでは十分とは言えない。乗員が感じる走行安定性は主に 1Hz 近辺の低い周波数に支配され、ユサユサ感やゴツゴツ感などの乗り心地は 4～5Hz 以上の高い周波数で決まる。またヒープ・ピッチ・ロールの 3 軸についても個別に見る必要がある。

そこで以下の様に、走行安定性評価のため低周波のピッチ加速度成分と、乗り心地評価のため高周波のヒープ加速度成分とを取り出した評価関数 FF を設定した。

$$FF = |A_p(1)| + |A_h(5)| + |A_h(9)| + |A_h(12)| + |A_h(13)|$$

ここで $A_p(1)$ は 1Hz のピッチ加速度振幅、 $A_h(5)$ は 5Hz のヒープ加速度振幅、以下同様に各周波数の加速度振幅を示す。これらの周波数は、実走行におけるテスト車両の振動振幅の大きなものから選定した。

表 1 テスト車の主要パラメータ

| パラメータ | 前 | 後 | 単位 |
|-----------------------|--------|--------|------------------|
| Mb: 車体質量 | 1594 | | kg |
| Ms: サスペンション質量 | 3.9 | 5.6 | kg |
| Ma: ロアアーム質量 | 4.4 | 6.6 | kg |
| Mw: 車輪質量 | 28.3 | 37 | kg |
| Ks: サスペンションバネ定数 | 50000 | 45000 | N/m |
| Kw: タイヤバネ定数 | 191300 | 131300 | N/m |
| Cw: タイヤ減衰係数 | 100 | 100 | Ns/m |
| Kz: トーションバーバネ定数 | 26300 | 14300 | N/m |
| Ibx: 車体ロール慣性モーメント | 431 | | kgm ² |
| Iby: 車体ピッチ慣性モーメント | 1552 | | kgm ² |
| a _l : 車軸距離 | 2.78 | | m |

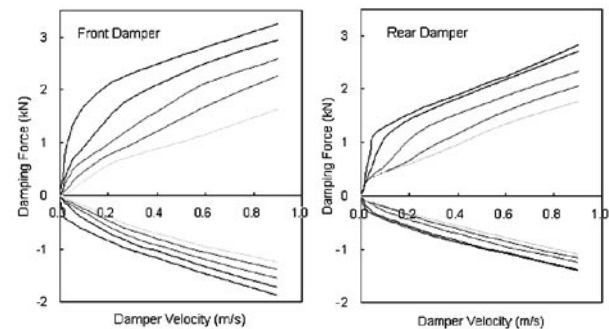


図 2 可変ダンパー特性

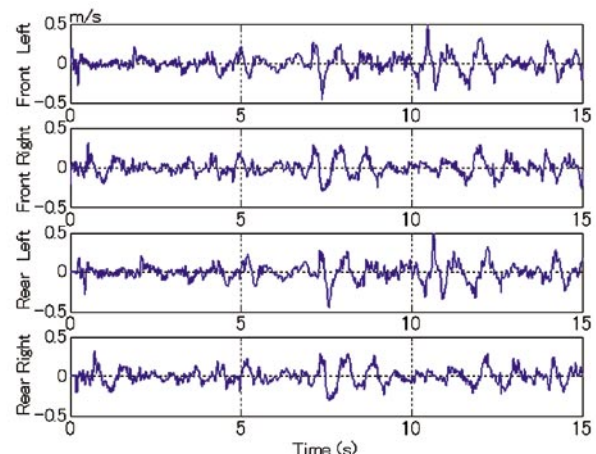


図 3 教師信号路の路面速度信号

2.4 遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm) による教師信号の生成

運動方程式を基に図 5 に示す車両とサスペンションの Simulink モデルを作成し、図 6 に示す方法で教師信号を作成する。

路面信号が与えられ、4つのダンパーの減衰係数が設定されると、Simulink モデルは車体とサスペンションの動きを計算する。遺伝的アルゴリズムは 7.5ms 毎に、評価関数を最小化する為に最適なダンパー減衰係数を探し出す。遺伝的アルゴリズムによるこの探索は 1GHz のパソコンを使って約 2 日かかる。この作業によって得られた一連の減衰係数列を教師信号として用いる (図 7)。

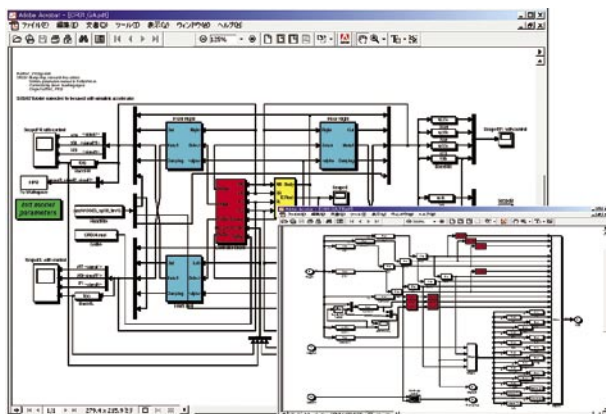


図 5 車両とサスペンションの Simulink モデル

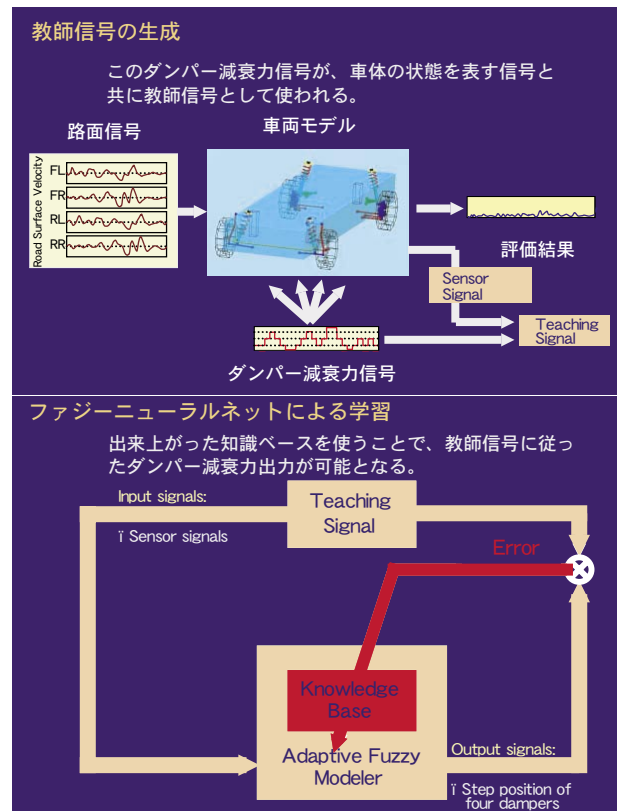


図 4 教師信号の生成と学習

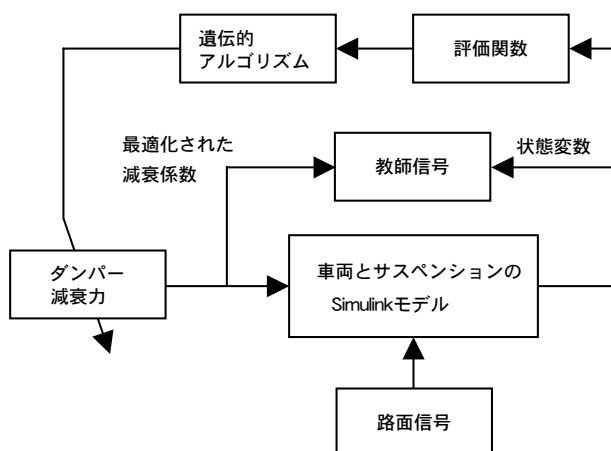


図 6 教師信号の生成

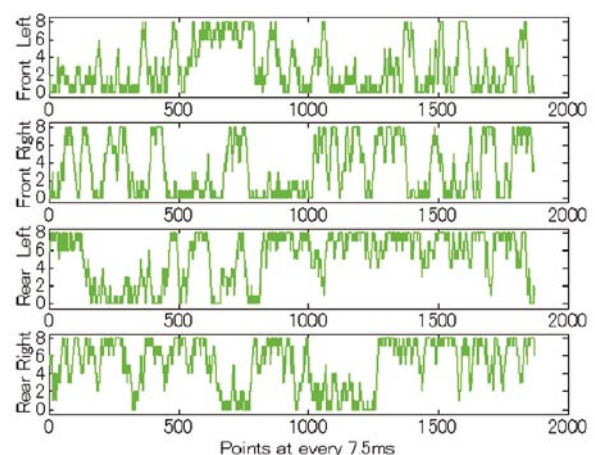


図 7 教師信号

3 ファジーニューラルネット (FNN) による学習

3.1 FNN の構成

教師信号から知識ベースを作り上げる為の学習には、STMicroelectronics⁶⁾ が提供する AFM (Adaptive Fuzzy Modeller) を用いた。

このプログラムはファジー推論器の出力と教師信号の差 (エラー) が小さくなるように、ニューラルネットワークを用いてファジールール及びメンバーシップ関数の作成と最適化を行う。ファジーモデルは 0 次菅野タイプである。

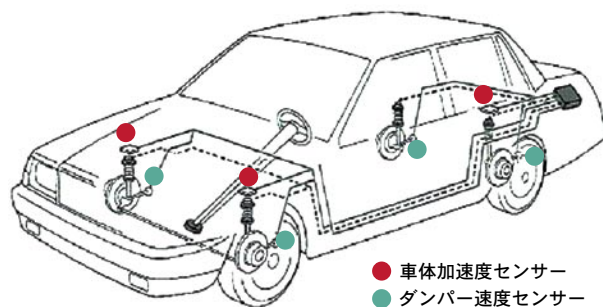


図 8 システム 7 のセンサーレイアウト

3.2 システム 7 の学習

車体の 3 軸方向の動きを独立した 4 つのダンパーを用いて制御する為には、それぞれの状態を知るために 7 つの信号が必要である。ここではヒープ加速度、ピッチ角加速度、ロール角加速度の 3 つの信号と、4 つのダンパー速度信号をファジー推論の入力として使った (図 8、9)。

知識ベースは 2.4 節で生成した教師信号を使って作成する。図 10 は出来上がった知識ベースによる推論結果を教師信号と比較した物である。

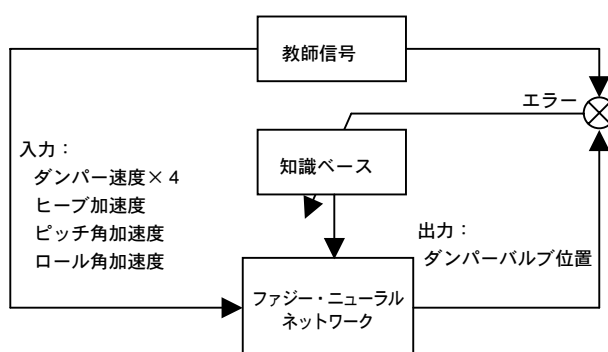


図 9 システム 7 の学習方法

3.3 システム 1 の学習

ヒープ・ピッチ・ロールの車両の 3 つの動きは連成しており、互いに深く結びついている。上下方向の併進運動はやがてピッチやロール等回転運動に変化していくし、またその逆も起きる。従ってどれか一つの状態を計測すれば他の 2 つの状態を推測する事が可能である。

またそれらの信号はダンパーの動きについても何らかの情報を持っていると考えられる。

ここではヒープ加速度信号をいくつかのフィルターを通過させる事で、制御に必要な情報を引き出す試みを行った (図 11、12、13)。

ヒープ加速度信号はノイズ削除の為ローパスフィ

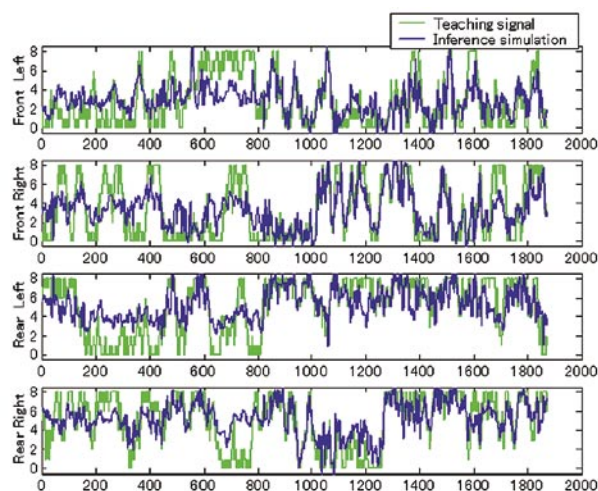


図 10 システム 7 の学習結果

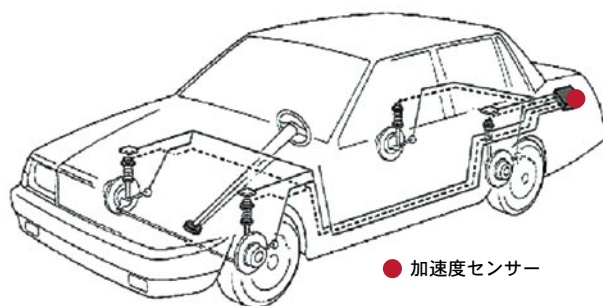


図 11 システム 1 のセンサーレイアウト

ルターを通過し、入力信号1としてFNNへ加えられる。この信号は分岐した後積分器によって速度信号に変換され入力信号2となる。そして車体の固有振動数周りの情報がバンドパスフィルターによって取り出され、入力信号3となる。車輪振動を含む不快感に係わる5Hz以上の成分と、路面の状態を表す為にFFT（高速フーリエ変換）で引き出された1Hzの信号成分は、それぞれ入力信号4、5となる。

学習にはシステム7に使った物と同じ教師信号を用いる。図14は得られた知識ベースによる推論結果と教師信号の比較である。

システム7とシステム1について、AFMにより作成されたファジーモデルの各パラメータと学習の結果を表2に示す。

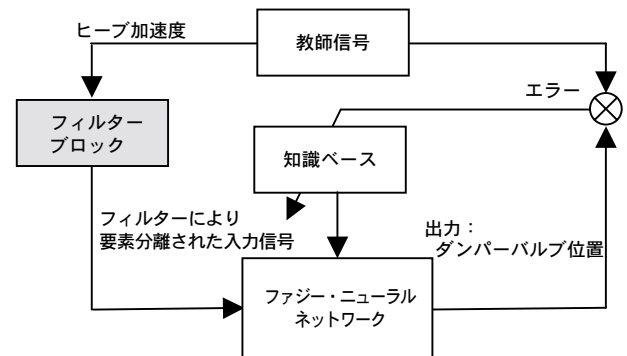


図12 システム1の学習方法

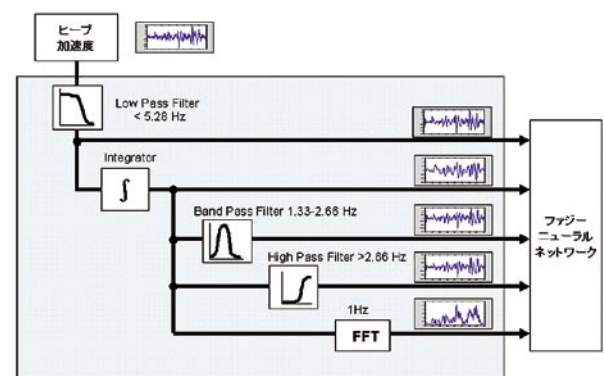


図13 フィルターブロック構成

4 知識ベースの評価

4.1 Simulink モデルによるシミュレーション

シミュレーションは、教師信号生成に用いたモデルと同じ物を使って行う（図6）。ただここではダンパー減衰力はGAからの値でなく、ファジー制御器からの出力を用いる（図15）。

システム7とシステム1両方のシミュレーション結果を図16に示す。比較の為、制御を行わず減衰係数を固定した場合についても併記する。

それぞれの図はヒープ・ピッチ・ロールの3つのグループからなり、左右に低周波成分と高周波成分

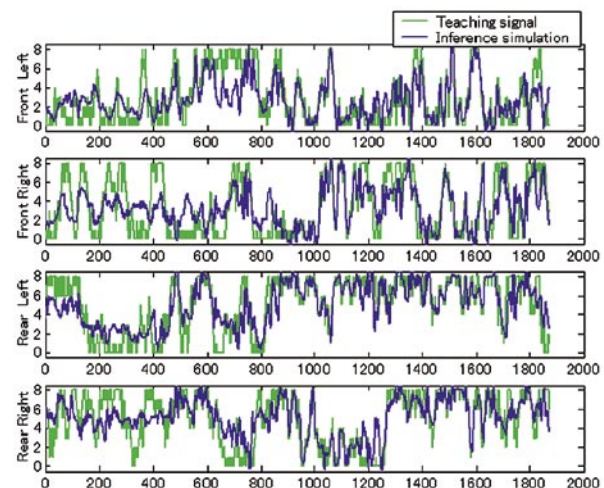


図14 システム1の学習結果

表2 ファジーモデルパラメータと学習結果

| ファジーモデル | | システム7 | システム1 |
|----------------|----------|-------|-------|
| モデリング パラメータ | 前件部（入力） | 7 | 5 |
| | 後件部（出力） | 4 | 4 |
| | ファジーセット数 | 4 | 5 |
| | 推論方法 | 積算 | 積算 |
| | 前件部形状 | ガウス | ガウス |
| 学習結果 | ルール数 | 333 | 248 |
| | エラー | 6.526 | 5.457 |

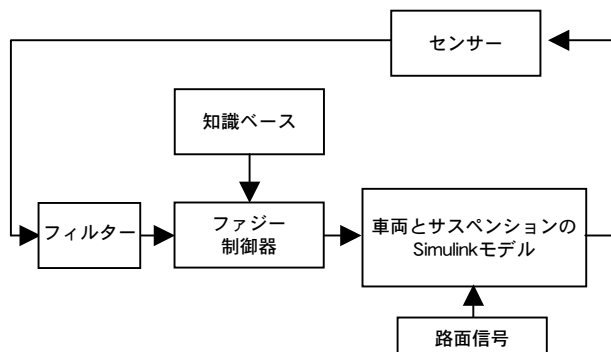


図15 ファジー制御シミュレーション

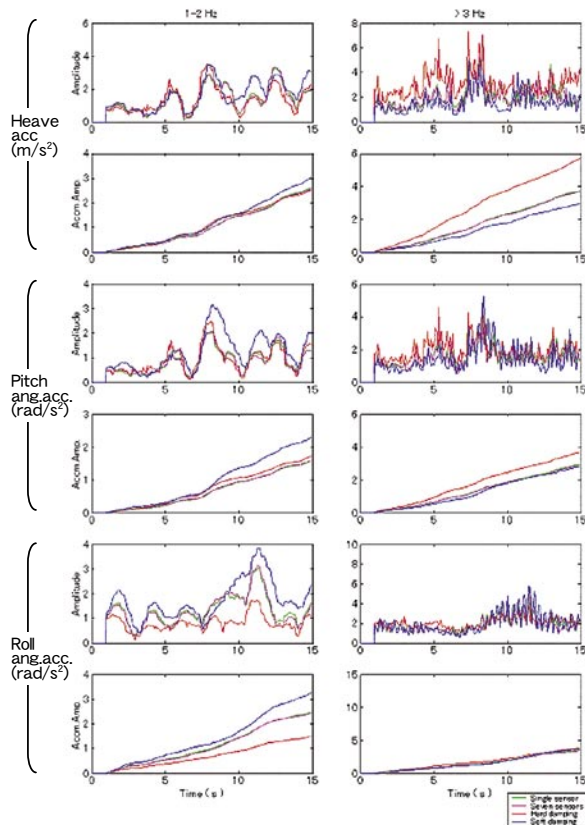


図 16 教師信号路によるシミュレーション

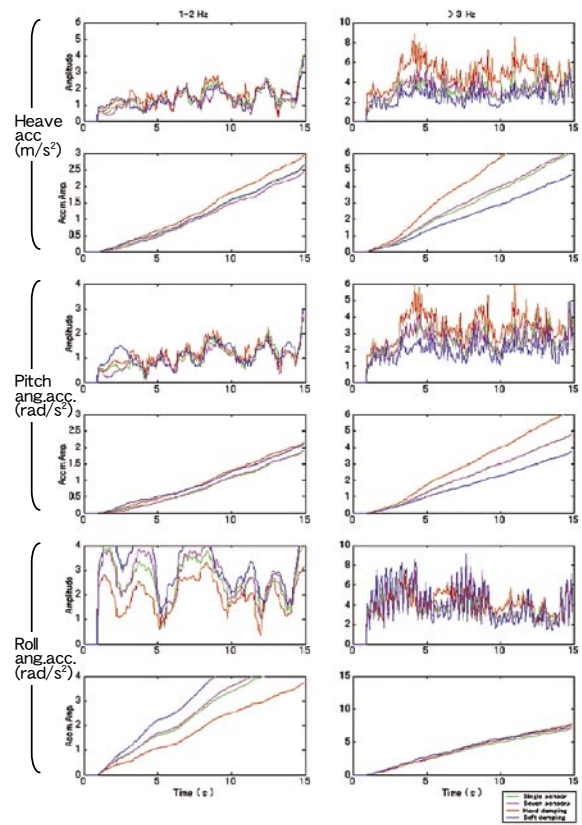


図 17 ランダム信号路によるシミュレーション

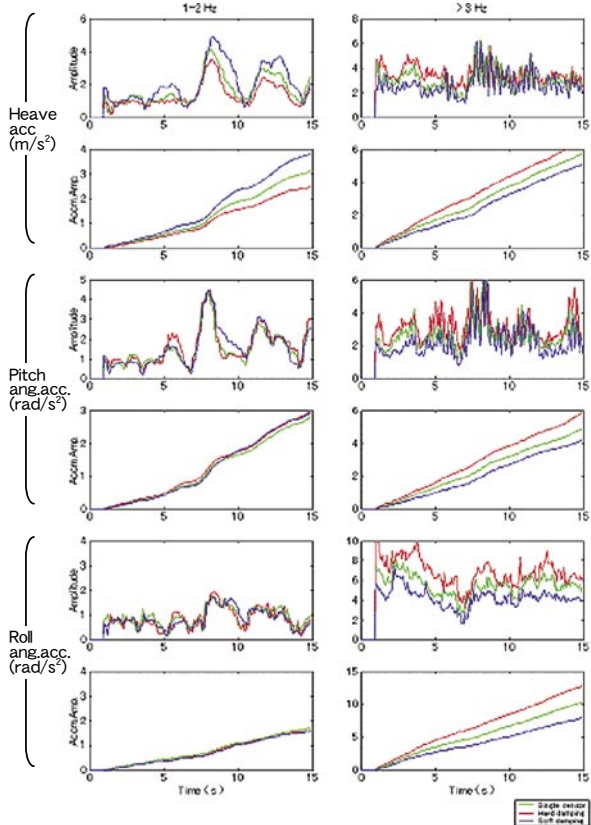


図 18 教師信号路による実走テスト

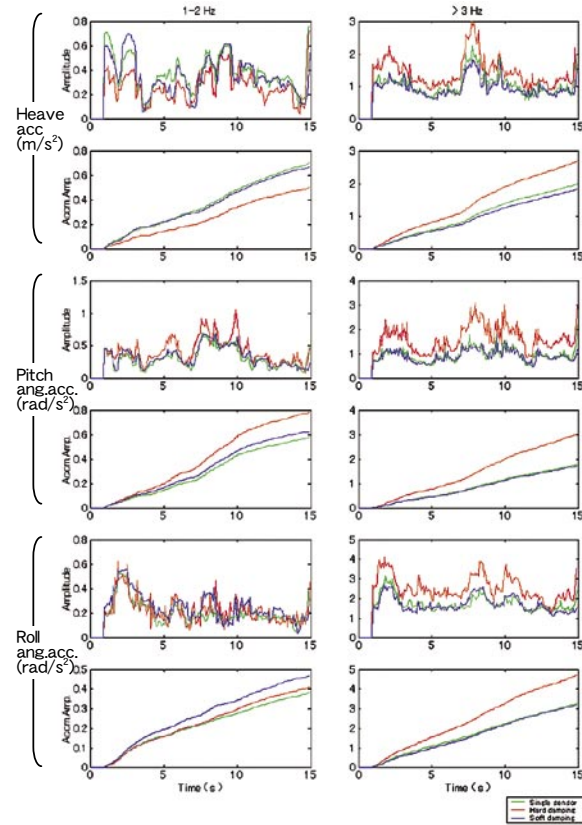


図 19 別路面による実走テスト

分に分けて表示してある。各グループの上段は加速度振幅の時間変化を示し、下段はその値を時間で積算した物で、各仕様の比較をしやすくしている。

ロバスト性を見るため、別の路面信号でもシミュレーションを行った（図 17）。ここで用いた路面信号は実測した物ではなく、教師信号と異なった周波数特性を持つランダム信号から作ったものである。

4.2 実走行による評価

実走行テストは装置の都合上システム1と固定減衰係数により行った。図 18 は教師信号路で行ったテスト結果である。

走行テスト環境は路面形状が道路補修の為若干変わってしまったこと以外シミュレーションとほとんど同じであったが、車載の加速度センサー信号にはシミュレーションと比べ高い周波数成分が多く含まれている。

ロバスト性を見るために行った教師信号路とは別の路面での走行テスト結果を図 19 に示す。

5 考察

表2の学習結果を見るとシステム1の方がシステム7よりルール数が少ないにも係わらず、小さなエラーとなっている。図 13、14 に示すファジー推論のシミュレーション結果にもその様子が現れているが、これは適切に選んだ入力信号群により、前者の方がより優れた知識ベースを構築する事が出来た為と思われる。

すなわちシステム1では入力信号処理に用いたフィルター群が、車両の上下加速度信号から様々な要素を分離し、制御に必要な情報を上手く引き出していると思われる。そのため重量など車両特性が変わった場合はこのフィルター特性も変える必要があり、実車への適用に当たってはこの点の対応も必要であるが、この点の確認はこれから行う。

シミュレーションで見る制御性能は、教師信号路の路面信号を使う限りシステム1とシステム7との間に大きな差は無い（図 16）。両者とも評価関数として意図された通りピッチの低い周波数成分は低く抑えているが、ヒープの高い周波数成分については満足な結果が得られていない。しかしシステム1は教師信号路とは別の路面において僅かながら制御性能に勝り、高いロバスト性を示している（図 17）。

システム1は実走行においてもシミュレーションと同様の傾向を示し（図 18）、教師信号路以外の路面においても良好に制御している（図 19）。これは知識ベースが路面自体の情報を学習したのではなく、車両挙動の特徴を学習した結果、路面からの入力により誘起された特徴的な車両の動きを、上手く制御しているからではないかと考える。

6 おわりに

数学モデルを使った設計手法により、ソフトコンピューティングに基づく自動車用ファジー制御セミアクティブサスペンションシステムを開発し、次の結論が得られた。

- (1) 乗り心地や走行安定性など相反する項目からなる評価関数を持ち、ダンパー制御のために広域的に最適化された教師信号を遺伝的アルゴリズムにより生成する事が出来た。
- (2) 適切なフィルターによる適切な入力信号群を設定する事で、優れた制御性能とロバスト性を持つファジー制御器を実現する事が出来た。
- (3) 実走行をせずにコンピュータ上で様々な路面に適合する知識ベースを構築する事が出来た。

■参考文献

- 1) C.L.Karr: Design of an Adaptive Fuzzy Logic Controller Using a Genetic Algorithm, Proc. of the 4th. Int'l Conf. on Genetic Algorithms, pp. 450/457, 1992
- 2) Hashiyama T., Furuhashi T., Uchikawa Y.: Fuzzy Controllers for Semi-Active Suspension System Generated through Genetic Algorithms, Proc. of IEEE Int'l Conf. Syst Man Cybern, Vol.95, No. Vol. 5, pp. 4361/4366, 1995
- 3) Hashiyama T., Furuhashi T., and Uchikawa Y.: On Finding Fuzzy Rules and Selecting Input Variables for Semi-Active Suspension Control Using Genetic Algorithm, Proc. of 11th Fuzzy System Symposium, pp. 225/228, 1995
- 4) D.Karnopp, et al.: Vibration Control Using Semi-Active Force Generators, ASME J. of Engineering for Industry, Vol.96, No.2, pp. 619/626, 1974
- 5) Hagiwara T., Panfilov S.A., Ulyanov S.V. and Kurawaki I.: Intelligent robust control suspension system based on soft computing, Proc. of the 4th. Int'l Conf. on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, pp. 180/189, 2000
- 6) <http://eu.st.com/stonline/index.shtml>

■著者



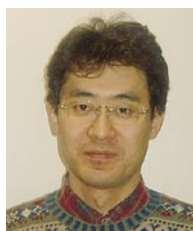
萩原 孝英



Sergey A. Panfilov



Sergei V. Ulyanov



高橋 一樹



Olga Diamante



2 ストロークエンジンオイルの ベアリング潤滑性についての研究

Study on Bearing Lubricity with 2-stroke Engine Oil

河部 秀明 Hideaki Kawabe 石丸 光明 Mitsuaki Ishimaru
● PM 統括部技術開発室 / 新日本石油㈱

Abstract

Polybutene is generally formulated into 2-stroke engine oil in order to prevent smoke and carbon accumulation in the exhaust systems of motorcycles. The higher content of polybutene in the oil is said to be essential to maintain the initial performance of 2-stroke engines. However, it is not so well known that this polybutene deteriorates the lubricity of engine bearings. Therefore, we developed a method for evaluating the lubricity of the bearings to verify the influence of 2-stroke engine oils. Tests were conducted to measure the temperature of the big end of the connecting rod directly while running the engine. The bearing lubricity was evaluated by comparing the temperature of the big end of the connecting rod with the different candidate oils compared to a standard oil. A better 2-stroke engine oil formulation can be found by adding this bearing lubricity test to the JASO (or ISO) standard tests.

要旨

一般的に 2 ストロークエンジンオイルにはモーターサイクルの排気煙や排気系へのカーボンの堆積を防止するためにポリブテンが使われる。2 ストロークエンジンの初期性能を維持するためには、オイル中のポリブテンの含有量を増やす必要がある。我々はポリブテンの含有量を増やしたオイルのエンジンへの影響を把握するためベアリングの潤滑性評価方法を開発した。試験方法はエンジン運転中にコンロッド大端部の温度を直接測定するものである。各種オイルの試験後、ベアリング潤滑性が JASO 結果より予測できることが判明した。今後も、環境保護に対応した 2 ストロークエンジンオイルの開発が必要である。その際、バランスの良いオイル開発のために JASO あるいは ISO 標準試験にベアリング潤滑性試験を加えることを望む。

1 はじめに

2 ストロークエンジンも環境保護の対応のため、初期性能を長く維持することが重要視されてきている。それをサポートするオイルの性能評価には JASO の標準試験が使われるのが一般的である。JASO 試験は一定以下の性能のオイルを市場より削減するというその役目を十分果たしてきた¹⁾。著者らもその試験法を用い各種のオイルの開発を実施してきた。しかし、最近市場にこの初期性能を維持する性能を極端に高めたオイルが販売され始めている。それらのオイルを調査している段階で、新たにオイル性能として評価が必要な項目を発見した。本報告ではまず、その初期性能を維持するオイルの特徴を述べる。次にそれらのオイルに必要な評価とその試験方法を示す。そして、最後にその試験方法を使って行った各種のオイルの評価結果を述べる。それにより、今後の 2 ストロークエンジンオイルの設計に必要なとなる指針を示す。

2 初期性能を維持するオイルの特徴

排気系へのデポジットの堆積により、エンジンの初期性能は徐々に下がる場合がある²⁾。初期性能を維持する性能を評価するのは JASO の排気系閉塞試験 (JASO M343-92) である³⁾。この試験法を使い、市場にある代表的な組成の 5 つのオイルを評価すると図 1 のようになる。

図 1 の縦軸は排気閉塞性指数をとっている。図 1 は指数が大きいほど排気系のカーボンによる閉塞が少ないことを意味している。尚、今後オイルの各性能はすべて指数で表し、JASO 評価同様 JATRE-1 を標準油とし、常に数字が大きいほど性能が良いとする。図 1 より、現状使われる基油材料の中でポリブテン (PB) が最も排気閉塞性能が優れている。また、鉱油等他の材料との混合ではその性能が大幅に低下している。現在の低排気煙タイプのオイルの基油は鉱油分とポリブテン分との混合が一般的である。両者の割合による排気閉塞性への影響を見たのが、図 2 である。基油中のポリブテン含有量を増加させれば排気閉塞性指数が向上している。このようにポリブテンは 2 ストロークエンジンの初期性能を維持する上で欠かせないものである。

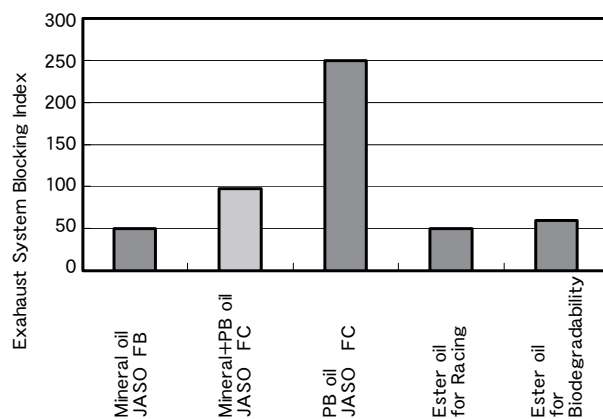


図 1 Influence of Oil Composition on Performance in Exhaust System Blocking (PB means Polybutene)

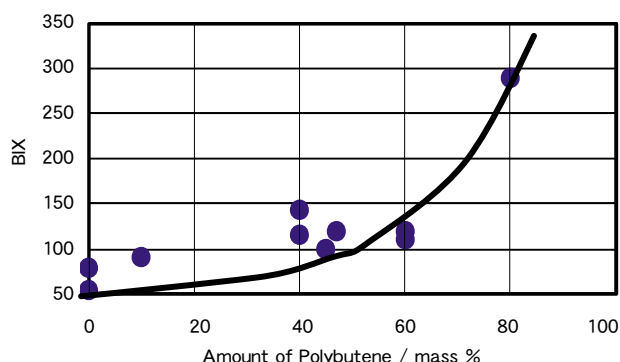


図 2 Influence of Polybutene Component on Exhaust System Blocking Index (BIX)

3 ポリブテンの短所

ポリブテンは同分子量の鉱油より粘度が高いことから、ロストルク増加の原因になることは過去、報告されている⁴⁾。このことは同時に一度付着したオイルが次に進入してくる新しいオイルと入れ替わりにくいことを示している。この特徴は、基油にポリブテンを使うとコンロッドの小端部や大端部が熱により青く変色することから見て取ることが出来る。そこで、基油が鉱油のみのものとポリブテンのみのオイルを使い、エンジン運転中のコンロッド大端部にあるクランクピン表面温度の違いを測定してみた。使ったエンジンは排気量 125cm³ の水冷エンジンで分離給油システムを装備している。使用したエンジンの諸元を表 1 に示す。

表 1 Specification of The Test Engine

| | |
|--------------------|------------------------|
| Cooling Method | Water cooling |
| Bore × Stroke | 56.4mm × 50mm |
| Displacement | 125cm ³ |
| Cylinder Material | FC sleeve |
| Power Output | 25kW/9,000rpm |
| Lubrication system | Separate oiling system |

また、運転条件は全負荷にて実施した。結果は図3のようになり明らかに全回転域でポリブテンのほうが温度が高い。

また、エンジン回転数が高くなるほど両者の差は開いた。更に、9,000rpmでポリブテン単独のものを運転し続けたところ、急激に温度が上昇した。そのため、エンジン運転を中止し、分解点検を実施した。すると、大端部が真青に変色していた。大端部への影響に関し、ポリブテンの使用に注意が必要である。さらに調査を進める前にこのコンロッド大端部におけるオイルによる温度の違いをベアリング潤滑性と呼ぶことにし、次のように規定した。

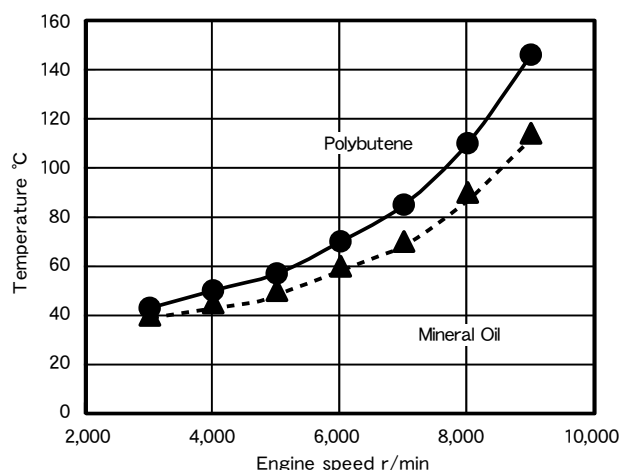


図3 Influence of Oil Composition on Crank Pin Temperature

4 ベアリング潤滑性評価方法

リング部におけるオイルの潤滑性を評価するために図4に示す大端軸受け部クランクピン慣性力側の外周面中央部に熱電対を埋め込み、出力はスリップリングにてエンジン外に出した。

JASO 規格と同様 JATRE-1 を標準油とし、JATRE-1 の測定温度を指数 100 とした。そして、次の計算式でサンプル油の指数を求めた。

$$BLIX = TJ1 / TS \times 100$$

BLIX ; ベアリング潤滑性指数

TJ1 ; JATRE-1 使用時のクランクピン温度

TS ; サンプル油使用時のクランクピン温度

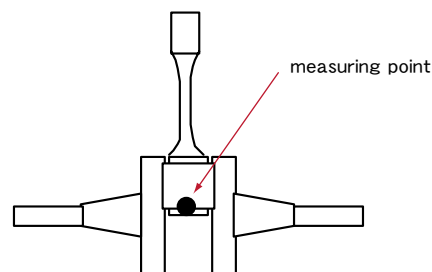


図4 Installation of temperature sensor

5 ベアリング潤滑性へのポリブテンの影響

上記に示したベアリング潤滑性評価方法を用いてポリブテンの影響を調査した。

(1) ポリブテン含有量の影響

図5に示すようにポリブテンの含有量が増加するほどベアリング潤滑性は悪化する。ただし、含有量が同じでもベアリング潤滑性指数に10もの違いがある場合があった。先に示したロストルクとの関係が同じだとすれば、ポリブテンの分子量の違いが影響しているものと予想した。

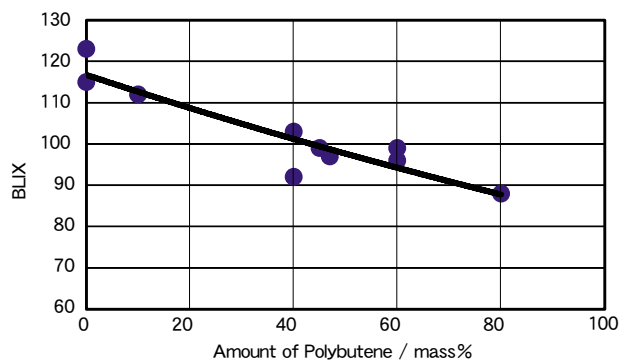


図5 Influence of Polybutene Component on Bearing Lubricity Index (BLIX)

(2) ポリブテン分子量の影響

図 6 に示すとおり、明らかにポリブテンの平均分子量が大きいとベアリング潤滑性が低下している。特に分子量が 1,000 以上のものが少量であっても含有される場合は運転中にベアリング部に残るポリブテンの粘度が非常に高い。そのためベアリング潤滑性が悪化する。したがって、その使用は避けるべきである。

(3) 市販油への影響

先に示した一般的に市販されているオイルにてベアリング潤滑性との関係を調査した結果が図 7 である。ポリブテン系が鉱油系・エステル系に比べてベアリング潤滑性が劣っている。現状では、ポリブテンは排気閉塞性を犠牲にしても鉱油と混合して使わざるを得ない。

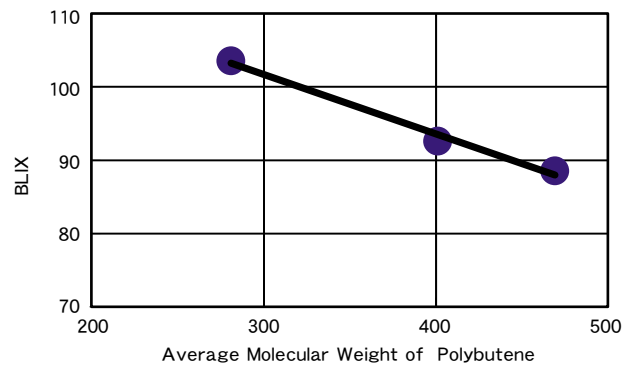


図 6 Influence of Polybutene Molecular Weight for Bearing Lubricity Index

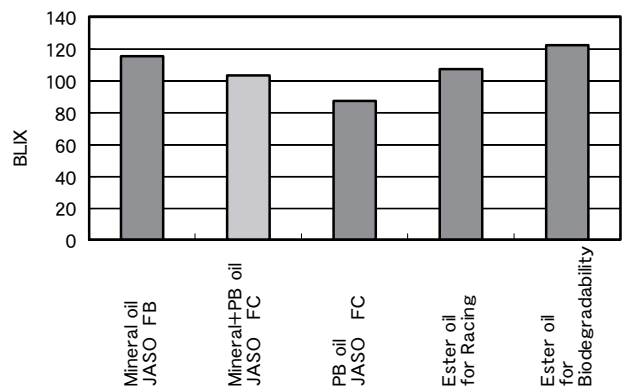


図 7 Influence of Oil Composition for Bearing Lubricity

6 ベアリング潤滑性と JASO 評価

ここまでの結果をみるとベアリング潤滑性は JASO のロストルク試験 (JASO M340-92) や排気閉塞性試験 (JASO M343-92) 結果と相関性が高いようである⁵⁾。今回紹介したベアリング潤滑性試験は再現性が高い試験である。しかし、この試験はコンロッドの大端部の温度を測定することから、エンジン改造に手間がかかり、かつ、測定部の耐久性にやや不安がある。そこで、JASO 試験より、ある程度のベアリング潤滑性が予測できないかとそれぞれの関係を調査した^{3,5,6)}。

今回は、特に関係が認められそうな排気閉塞性試験との関係を図 8 に、ロストルク試験との関係を図 9 に、排気煙試験 (JASO M342-92) との関係を図 10 に示した。

- ・ベアリング潤滑性は JASO の排気煙試験およびロストルク試験と非常に相関性が高い。
- ・ベアリング潤滑性指数を 100 以上にしたい場合、3 つの指数が以下の条件を満たす必要があることがわかった。

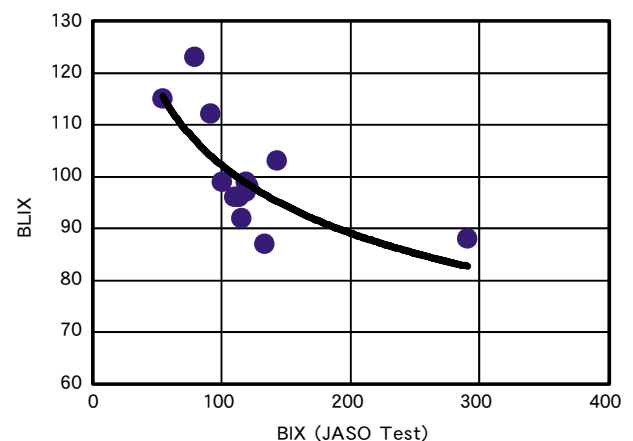


図 8 Relationship between Bearing Lubricity Index and Exhaust Carbon Blocking Index (BIX)

- (1) 排気閉塞性指数は 120 以下
- (2) 排気煙指数は 100 以下
- (3) ロストルク指数は 100 以上

上記 3 つの性能が保持されていないオイルはベアリング潤滑性能が標準油以下のオイルであるといえる。反対にこれら 3 つの条件を満足するオイルは標準油以上のベアリング潤滑性をもつオイルといえる。つまり、JASO 評価指数の値より、ベアリング潤滑性が予測可能である。ベアリング潤滑性を考慮し、3 つの指数を決定することは、もちろん、他の性能も含め、バランスのとれたオイルを開発することが今後最も重要であると考ええる。

7 おわりに

以上、大端部のベアリング潤滑性試験の評価方法を開発してきた。そして、ポリブテン、鉱油、エステルを用いた各種オイルの試験により、以下のことが判った。

- (1) エンジンの初期性能を維持するためには基油へのポリブテンの含有は不可欠である。
- (2) 鉱油およびエステルはベアリング潤滑性の改善に効果がある。また、ポリブテンの含有量を排気閉塞性や排気煙性能が許す限り少なくすれば、ベアリング潤滑性を改善できる。
- (3) ポリブテンの高分子量分はできるだけ使用しない、特に 1,000 以上のものは使用を避ける。
- (4) ベアリング潤滑性は初期トルク、排気閉塞性および排気煙の 3 つの指数より予測することが可能である。

本論文作成にあたり、御援助頂いた新日本石油株式会社の方々に厚くお礼申し上げます。

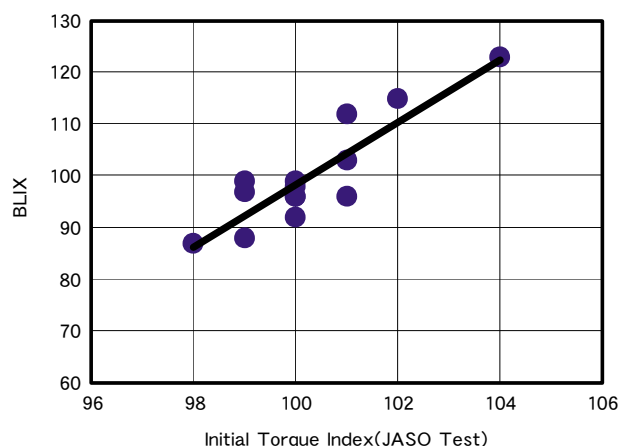


図 9 Relationship between Bearing Lubricity Index and Initial Torque Index

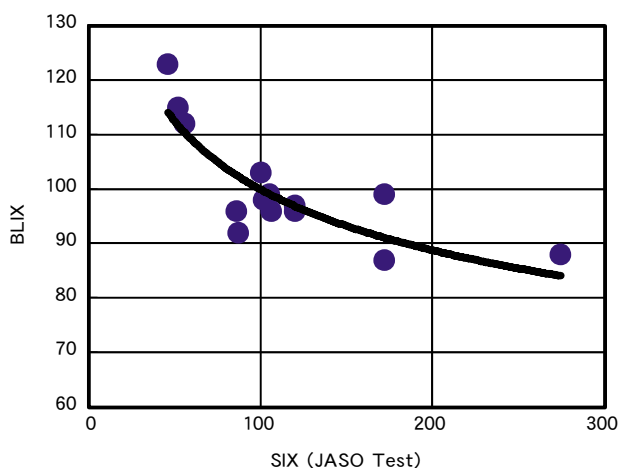


図 10 Relationship between Bearing Lubricity Index and Exhaust Smoke Index (SIX)

■参考文献

- 1) JSAE, "JASO M345-93 Two-stroke gasoline engine oils,"1993.
- 2) H. Kawabe and Y. Konishi, "Effect of polybutene on prevention of clogging in the exhaust system of two-stroke engines" SETC Paper 931507,1993.
- 3) JSAE, "JASO M343-92 Exhaust system blocking test procedure for evaluating two-stroke gasoline engine oils,"1992.
- 4) M.Kagaya and M.Ishimaru,"A New Challenge for High Performance Two-Cycle Engine Oils",SAE Paper 881619.
- 5) JSAE, "JASO M340-92 Lubricity test procedure for evaluating two-stroke gasoline engine oils,"1992.
- 6) JSAE, "JASO M342-92 Smoke test procedure for evaluating two-stroke gasoline engine oils,"1992.

■著者



河部 秀明



石丸 光明



技術論文

HCCI 燃焼における炭化水素燃料性状の影響

Effects of Hydrocarbon Fuel Properties in an HCCI engine

飯田 実 Minoru Iida 森川 健志 Takeshi Morikawa Tanet Aroonsrisopon
Volker Sohm Philipp Werner David E. Foster

●研究開発センター コア技術開発室 / Engine research center / University of Wisconsin-Madison

Abstract

From among the topics of joint research we are conducting with the University of Wisconsin concerning HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) engines, we report here on the results of research concerning the effects of hydrocarbon fuel properties. An HCCI engine was run using five different types of hydrocarbon fuels in order to test such things as heat generation and range of running capability. The results showed that the order of heat release and relative position in terms of operating range comparison is dependent on the engine speed range, even for fuels with the same octane rating. Neither Research nor Motor octane rating alone is sufficient to explain these results. However, the linear form of these two parameters explains quite well the timing of heat generation when running an HCCI engine. Therefore, when comparing HCCI running performance using gasoline fuels, it is necessary to take into account the both Research and Motor octane rating as one of the fuel properties. Also, we found that due to the dependence of the octane rating indices on the intake air temperature, HCCI engine running performance is more robust with regard to changes in fuel when the intake temperature is in the higher range. Here we introduce the results of our research.

要旨

ウィスコンシン大学との共同研究として行ってきた HCCI（予混合自着火）エンジンの研究のうち、今回は炭化水素燃料性状の影響について報告する。5種の炭化水素燃料により HCCI 運転を行い熱発生・運転可能範囲を比較した。その結果、同程度のオクタン価燃料間の比較でも、熱発生順序や運転可能当量比の相対的位置はエンジン回転数に依存することがわかった。これらを説明するためには、リサーチ・モータオクタン価単独では不十分である。そこでそれらを組み合わせて定義したオクタン価指標を用いたところ、HCCI 運転での熱発生時期をうまく説明できた。よってガソリン系燃料を用いた HCCI 運転の比較においては、燃料の性状としてリサーチ・モータオクタン価を組み合わせて考慮する必要がある。またオクタン価指標の吸気温度依存性から、吸気温度が高い条件のほうが燃料の変化に対する HCCI 運転のロバスト性は高いことがわかった。

1 はじめに

石油資源の枯渇や二酸化炭素による温室効果、また酸性雨などの問題から、高効率かつ低公害のエネルギー源を求める声は年々高まっている。既存のエネルギー源を考えると、火花点火エンジンの空燃比制御を厳密に行い、各種触媒を用いた場合非常に低公害なエネルギー源となるが、スロットルによるロスや希薄火炎限界・ノッキングにより高効率化は制限される。一方直噴ディーゼル機関は、上記

のような火花点火エンジンの問題がないため、高効率なエネルギー源であるが、不均一な燃料分布中での燃焼のため、NO_x（窒素化合物）とすすのトレードオフから逃れることは非常に難しい。HCCI 機関は、直噴ディーゼル機関なみの高効率を持ちつつ¹⁾、NO_x とすすの排出量が極端に少ないと期待されている。

HCCI 燃焼は希薄な混合気を自着火させるものなので、燃焼過程が基本的に化学反応機構に支配されており、熱力学的状態に非常に敏感である。さらに、HCCI 燃焼で放出される熱量は火花点火燃焼におけるノッキングと同等なので、HCCI 燃焼を理解・制御するためには自着火過程を理解する必要がある¹⁾。自着火過程に影響する運転パラメータに関しては多くの研究例がある²⁻⁷⁾が、最近では温度や燃料・新気の不均一性が HCCI 運転に影響すること⁸⁻¹⁰⁾が知られている。

ガソリン系燃料の耐ノック性に関する指標としては、一般的にオクタン価が使われている。オクタン価の正確な定義は ASTM（米国材料試験協会）procedures D-2699 and D-2700 によるが¹¹⁻¹³⁾、表 1 に示す 2 種の計測法とそれにより決まる値（RON と MON）がある。これらは代表的な燃料については計測されており、化学種によりその値やその差（センシティビティ）が異なることが知られている。

最近の Kalghatgi の研究によれば¹²⁾、燃料のアンチノック性は RON・MON と運転条件による。つまり RON・MON 単独ではアンチノック性はあらず、代わりにオクタン指標 octane index (OI) = RON-KS を用いる必要がある、と提案している。ここで K はエンジンと運転条件に依存する量であり、混合気の熱力学的履歴を示す指標と考えられる。

一方 HCCI における燃料性状の影響についてもいくつかの研究例がある。HCCI とノッキング現象の共通性から、オクタン価は HCCI 運転領域や熱発生時期などと何らかの関係があることが予想されるが、HCCI 運転領域との関係は複雑との報告例もある¹⁴⁾。

そこで当研究では、オクタン価や RON と MON の差であるセンシティビティを HCCI 燃焼の指標に使えないかを検討した。さらに上記の OI をいくつかの運転条件に依存する量として実験的に求め、その運転条件依存性を考察した。

表 1. オクタン価計測法比較^{11~13)}

| Engine parameter | Research method | Motor method |
|-------------------|-----------------|----------------|
| Engine speed | 600 rpm | 900 rpm |
| Inlet temperature | 52° C | 149° C |
| Inlet pressure | Atmospheric | Atmospheric |
| Spark advance | 13° BTDC | 19 to 26° BTDC |

2 実験

今回の研究に用いた実験装置についてはすでに報告済み⁶⁾なので、概略を報告する。図 1 に用いた実験装置を示す。実験には Cooperative Fuels Research (CFR) エンジンを用いた。表 2 にエンジン諸元を示す。

吸気は圧縮されて供給されている工場エアを制御弁にて吸気チャンバ圧力 100kPa として使用した。吸気温度は、3kW のエアヒータを用いて加熱・制御した。

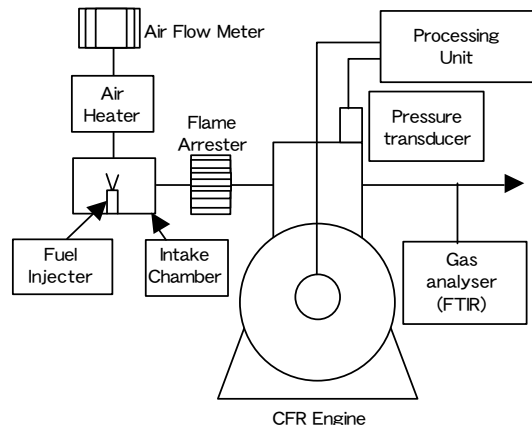


図 1. 実験装置

今回の実験で用いた燃料諸元を表 3 に示す。表中の PRF91.8 と 70 はイソオクタンとノルマルヘプタンの混合燃料である。BIN-1 と BIN-2 は、ガソリン相当の多成分燃料であり、他の燃料に比べセンシビティが大きい（RON と MON の差が大きい）のが特徴である。これは燃料中に多量に含まれる芳香族の影響と思われる。

筒内圧力ピックアップは、Kistler model 6061B（水冷）を用いた。筒内圧データは、クランク 1 回転あたり 720 パルスのエンコーダを用いてサンプリングし保存した。この同一条件で 100 サイクル連続した筒内圧データをもとに、IMEP（図示平均有効圧）や燃焼のパラメータを計算した。

燃焼のデータをもとに、HCCI 運転が可能な領域を決定した。実際の運転は低負荷側では失火がおこり、その結果 IMEP の変動が大きくなる。そこで今回は IMEP の共分散 IMEPCOV が 10% になる点を低負荷限界とした。また負荷を上げていくと熱発生が急激になりすぎ、通常の火花点火運転で見られるノッキングに近い状態となる。このとき、熱発生が急激になるに従い筒内圧力上昇率も高くなる。そこで高負荷限界は最大圧力上昇率が 10 bar/CA となる点とした。

3 結果と考察

3.1 筒内圧と熱発生率

図 2 と 3 に上記 4 種のオクタン価が 90 程度である燃料の筒内圧・熱発生波形を示す。図 2 には n-butane、PRF91.8、BIN-1 と BIN-2 の 600 rpm 吸気温度 380K 当量比 0.20 のデータ、図 3 は n-butane、BIN-1 と BIN-2 の 1,800rpm 吸気温度 380 当量比 0.22 のデータである（この条件では PRF91.8 は HCCI 運転不可能であった）。これらから、4 種の燃料の熱発生の挙動は異なることがわかる。またこの 2 つを比べることにより、熱発生が

表 2. エンジン諸元

| | |
|-----------------------|----------|
| Compression ratio | 16.55 |
| Bore | 82.6 mm |
| Stroke | 114.3 mm |
| Displacement | 612 cc |
| Connecting rod length | 254 mm |
| Exhaust Valve Open | ATDC140 |
| Exhaust Valve Close | ATDC5 |
| Intake Valve Open | ATDC10 |
| Intake Valve Close | BTDC146 |

表 3. 燃料性状

| Fuel | RON | MON | LHV (MJ/kg) | 芳香族 (体積比) |
|----------|------|------|--------------------|-----------|
| n-butane | 91.8 | 89 | 45.74 ^c | 0% |
| PRF 91.8 | 91.8 | 91.8 | 44.35 ^d | 0% |
| BIN-1 | 94.1 | 86.8 | 43.09 ^d | 35.1% |
| BIN-2 | 93.0 | 86.2 | 43.07 ^d | 31.1% |
| PRF 70 | 70.0 | 70.0 | 44.49 ^d | 0% |

PRF : primary reference fuel の略、イソオクタンとノルマルヘプタンの混合物

BIN : ガソリンにノルマルヘプタンを混合したもの

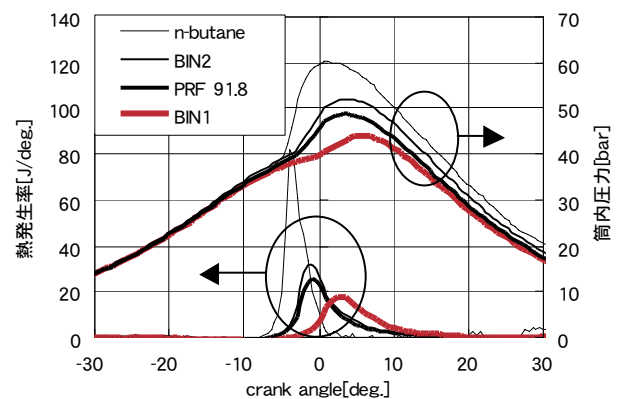


図 2 熱発生率と筒内圧力比較
600rpm 吸気温度 380 K、当量比 0.2

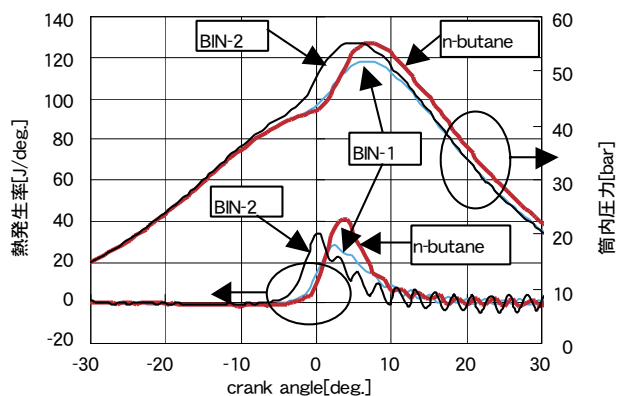


図 3 熱発生率と筒内圧力比較
1,800rpm 吸気温度 380 K、当量比 0.22

おきる燃料の順序はエンジン回転数に依存することがわかる。つまり図2の条件では、n-butaneの熱発生が最初でその後BIN-2・PRF91.8・BIN-1の順であるが、図3の条件ではBIN-2に続きBIN-1・n-butaneがほぼ同時と、n-butaneの熱発生が一番最後になっている。さらにPRF91.8については、図2の条件ではBIN-2に近い熱発生位置だったが、図3の条件ではHCCI運転が成立しなかった。

上記のようなエンジン回転数の変化に伴う熱発生の変化の原因は、熱力学的な履歴の差と考えられる。つまり、1,800rpmにおけるタイムスケールは600rpmの条件の1/3であるため、圧縮・膨張過程においてある温度・圧力である時間も1/3となり、その結果燃焼に大きな差を生じたと考えられる。またタイムスケールの変化の影響は、燃料ごとに異なるということがわかる。オクタン価テスト法との対比で言えば、モータ法のほうがより高回転でのテストであるため、図3の条件はRONの条件よりMONの条件に近い、と考えられる。

次に同一燃料による運転での熱発生の吸気温度依存性を見る。最初にPRF91.8の900rpm当量比0.29における熱発生率を図4で比較する。これを見ると、吸気温度を380→360→340Kと低下させたときの熱発生位置の変化は小さいが、320Kになると大きく遅角している。また低温酸化反応によると思われる熱発生も観測されたが、非常に小さいレベルであった。一方、図5に示すBIN-2の900rpm当量比0.29における熱発生率は、吸気温度を380→360→340Kと低下させると熱発生位置は大きく遅角し、またその変化量は温度変化に対しほぼ等間隔である。低温酸化による熱発生は観測されなかった。このように、PRF91.8とBIN-2は同一条件での熱発生の吸気温度依存性が大きく異なることがわかる。

ここで注意すべきは、BIN-2の燃料成分である。表3に示したように、BIN-1・2は芳香族を30%以上含んでいる。芳香族は一般的に負の温度係数（NTC）領域を持たないとされており、着火の温度依存性が単純と考えられる。BIN-2は上記の性質を持つ芳香族を多量に含むため、その熱発生の温度依存性は、NTC領域を持つPRF91.8に比べ単純であると説明できる。逆にPRF91.8の示した熱発生率の複雑な温度依存性は、パラフィンが一般的に持つNTC領域が原因と考えられる。

このように、HCCI燃焼での熱発生には燃料の低温での反応機構が大きく影響することが示された。今回の例のように低温酸化反応による熱発生がほとんど観測されなくても、NTC領域の熱発生への影響は無視できないと考えられる。

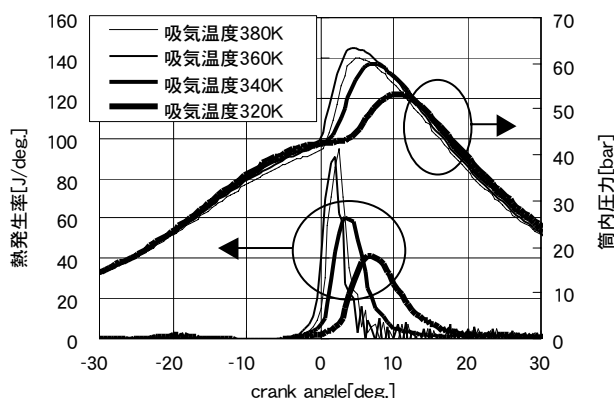


図4 熱発生率と筒内圧力比較
PRF91.8 900rpm 当量比 0.29

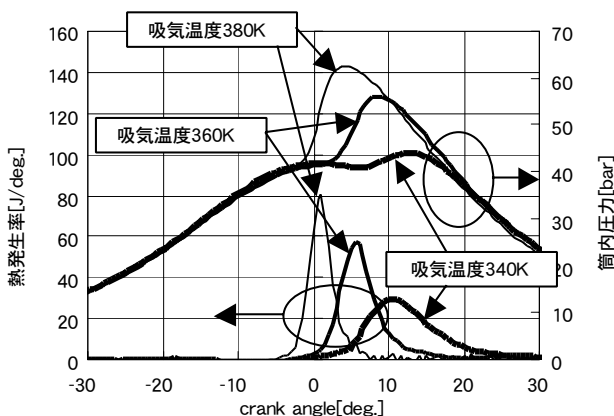


図5 熱発生率と筒内圧力比較
BIN-2 900rpm 当量比 0.29

3.2 HCCI 運転領域

図 6-8 に吸気温度をそれぞれ 340・360・380 K としたときの 5 種の燃料の HCCI 運転領域を負荷と当量比について示す。吸気温度による影響は、予期されるとおり高温になるに従い希薄側となる。

興味深いのは、運転領域は燃料により大きな影響を受けることである。まず PRF 70 による運転領域は、他の RON が 90 前後の燃料に比べかなり希薄側にあるが、これはその低いオクタン価から考えて理解できる。また低吸気温（340K）において、他の燃料が示しているようなエンジン回転数依存性がほとんど現れないことが特徴的である。

特筆すべきは、RON が 90 前後の 4 種の燃料もかなり異なるエンジン回転数依存性を示していることである。これら 4 種の燃料のエンジン回転数依存性を詳細に見ると、次のようなことがわかる。たとえば、吸気温度 340K において BIN-2・PRF91.8・n-butane の運転領域は、エンジン回転数上昇に伴い過濃側へシフトするが、BIN-2 に比べると、PRF91.8 の運転領域はエンジン回転数上昇に伴い希薄側へシフトしていている。

図 7 に示す吸気温度 360K でのデータでも、吸気温度 340K の場合と同様に燃料による差が見られる。エンジン回転数 600rpm では、RON が 90 前後の 4 種の燃料の中では、n-butane の運転領域がもっとも希薄側で、PRF70 と同等の位置にある。一方 BIN-2 の運転領域は、エンジン回転数上昇に伴い n-butane に対し希薄側へシフトしていく。また BIN-1 の 600rpm での運転領域は、PRF91.8 と同レベルにあるが、回転数上昇に伴い急激に過濃側へシフトし、1,200rpm 以上では運転できなかった。図 8 に示す吸気温度 380K でのデータでも吸気温度 360K の場合と同様の傾向が見られる。この吸気温度では、RON が 90 前後の 4 種の燃料はすべてのエンジン回転数で運転可能であった。600rpm では、n-butane の運転領域が最も希薄側であり、PRF91.8・BIN-2・BIN-1 の順に過濃側に位置している。一方 2,000rpm では、BIN-2 の運転領域が最も希薄側であり、n-butane・BIN-1・PRF91.8 の順に過濃側に位置しており、順序がかなり入れか

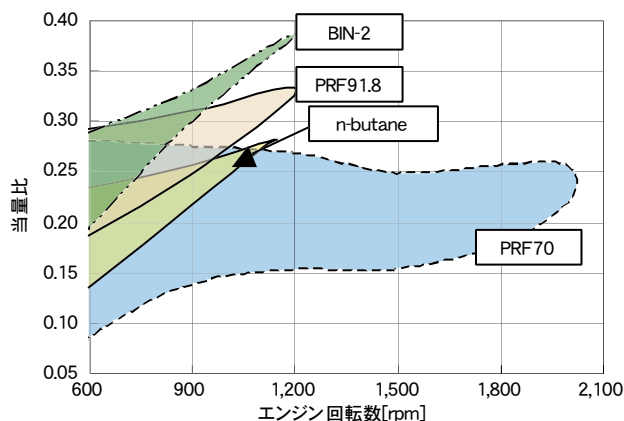


図 6 HCCI 運転領域比較（吸気温度 340K）

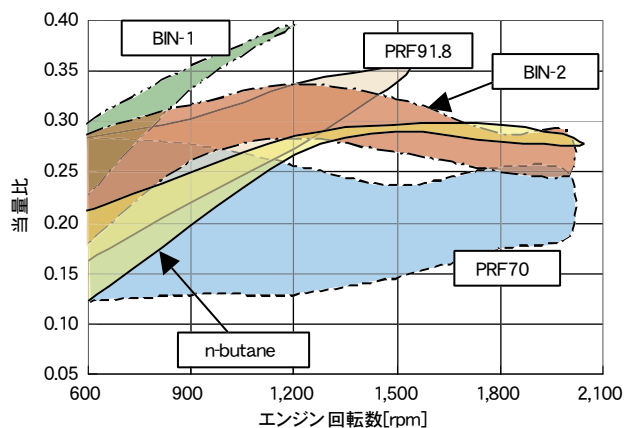


図 7 HCCI 運転領域比較 吸気温度 360K

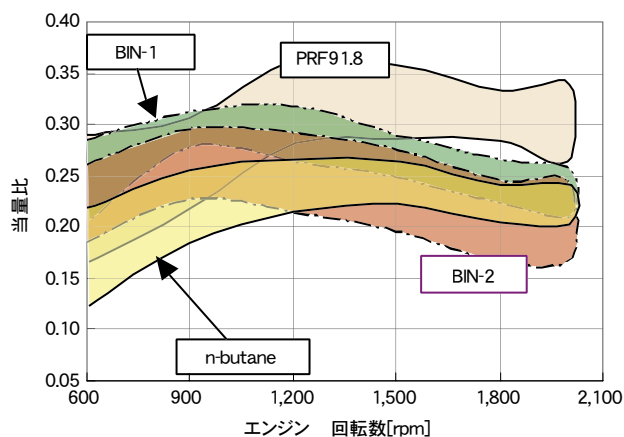


図 8 HCCI 運転領域比較 吸気温度 380K

わっている。つまりエンジン回転数により、燃料種による自着火での熱発生のおきやすさが異なる、ということである。先の熱発生波形の比較において示された燃料による影響が、運転領域の比較においても示された。

3.3 HCCI 運転とセンシティビティの関係

上記で示した、HCCI 運転での熱発生や運転領域の燃料依存性を説明するために、熱発生時期とオクタン価・センシティビティの関係を考察する。この解析は、基本的には Kalghatgi らによって行われた火花点火燃焼におけるノック限界の解析¹²⁾と類似の方法である。ここでは、火花点火燃焼における点火進角の代わりに、主燃焼の10%熱発生時期を用いる。先に定義したオクタン指標 OI は運転条件により異なり、式中の係数 K は、ある特定の運転条件が RON と MON のどちらがよりよい指標であるかを示すことになる。つまり $K=0$ であれば $OI=RON$ となり、この運転条件は RON でよく表されることがわかり、逆に $K=1$ であればこの運転条件は MON でよく表されことになる。

最初に図 9、10 に吸気温度 360K 当量比 0.25 エンジン回転数 600rpm での 10% 熱発生時期（100 サイクル平均）と RON・MON の相関を示す。図中のひしがたが実際の計測点を示す。これらの図から、RON はこの条件では 10% 熱発生時期と比較的よい相関を示し、逆に MON と 10% 熱発生時期の相関は悪いことがわかる。問題は、相関のよいパラメータが運転条件により変化してしまう、ということである。例えば、図 11 に 2,000 rpm 吸気温度 380 K 当量比 0.24 での MON と 10% 熱発生時期の関係を示す。この例では、先の例とは逆に MON が 10% 熱発生時期と比較的よい相関を示している。

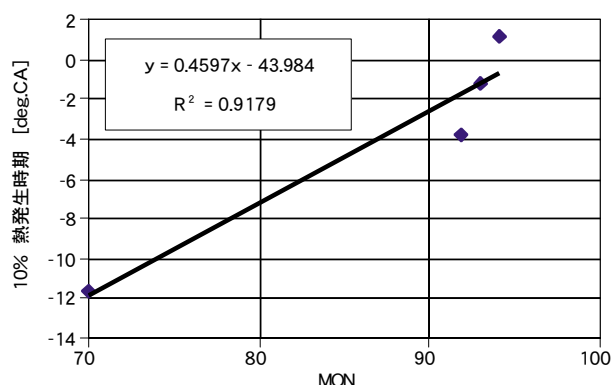


図 9 10% 熱発生時期と RON の関係
(600 rpm 吸気温度 360 K 当量比 0.25)

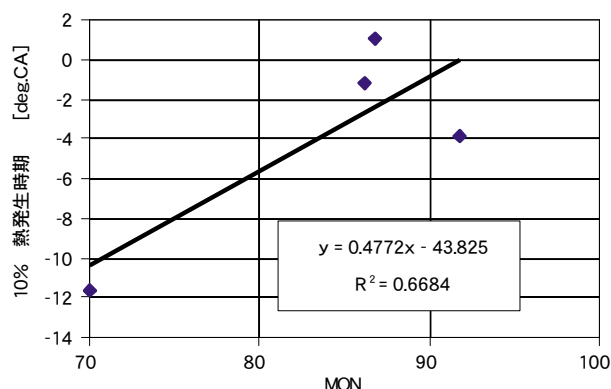


図 10 10% 熱発生時期と MON の関係
(600 rpm 吸気温度 360 K 当量比 0.25)

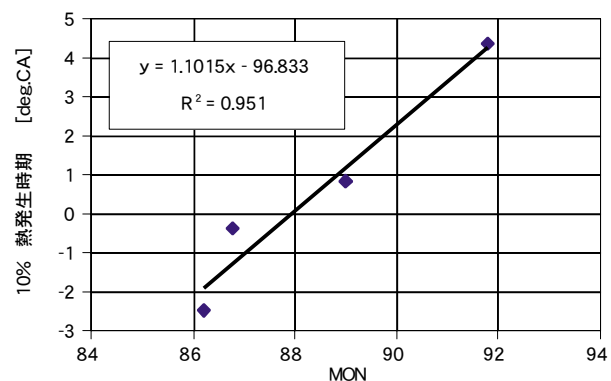


図 11 10% 熱発生時期と MON の関係
(2,000 rpm 吸気温度 380 K 当量比 0.24)

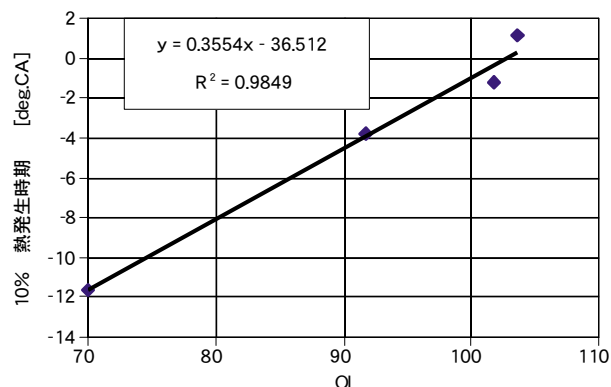


図 12 10% 熱発生時期と OI の関係
(600 rpm 吸気温度 360 K 当量比 0.25)

この問題を解決するため、オクタン指標 octane index (OI) = RON-KS を計算し、10%熱発生時期との相関を調べた。OI は、OI と 10%熱発生時期が 1 次の関係を示すと仮定し、このときの残差を最も小さくなるよう係数 K を決定することにより計算した。このように係数 K をきめると、図 12 に示すように 10%熱発生率との相関は非常によくなる。もちろん、これはその計算法からして当然である。問題はこのようなきめ方の妥当性、あるいは有用性である。

このような指標の妥当性を考える上で重要なのは、この指標が運転条件に対してどのような依存性を示すかということである。たとえばエンジン回転数は、HCCI 燃焼においては筒内ガスの熱力学的履歴のタイムスケールをきめるパラメータと考えられる。もし OI がエンジン回転数に対してよい相関があれば、OI とタイムスケールは相関があることになり、OI を用いて他の運転条件での HCCI 運転可能性について示唆を得ることができる。

そこで、OI を実験したいくつかの条件において求め、比較した。図 13 に吸気温度 360K と 380K での係数 K の回転数依存性を示す。これを見ると、係数 K はエンジン回転数と正の相関があり、係数 K はタイムスケールは相関があることがわかる。また高回転側で K が大きくなっていることは、高回転側で RON よりも MON がよい指標となることを示しており、この傾向は RON・MON の定義とも一致する。このようなことから、今回の手法は燃料性状を検討する上で程度有用であると考えられる。

また上記のデータは、燃料性状の吸気温度依存性といった観点からも見る事ができる。吸気温度が 380K では K のエンジン回転数依存性は比較的小さいが、360K では非常に大きい。これは、吸気温度により、燃料性状の影響が変化することを意味する。具体的には、吸気温度 380K の条件ではセンシティビティの高い燃料と低い燃料のエンジン回転数による差は小さい。逆に吸気温度 360K ではセンシティビティにより、エンジン回転数変化に対する振る舞いが大きく異なることになる。より一般的に言えば、吸気温度が高い条件のほうがセンシティビティの変化に対してロバスト性が高い、とも考えられる。

またこの結果から、HCCI 運転を行う燃料についても示唆をえられる。例えば、センシティビティの考慮についてである。多くの HCCI に関する研究では、イソオクタン・ノルマルヘプタン単独、あるいはそれらを混合した標準燃料が用いられているが、これらの燃料はセンシティビティが 0 である。一方、通常のガソリンは今回の例のように芳香族を含んだり、またオレフィン系を含むことが多い。これらの分子種は、一般的にセンシティビティが大きいことが知られており、HCCI 運転時のエンジン回転数依存性は標準燃料とは今回のような差があると考えられる。このように、ガソリン系燃料で HCCI 燃焼システムの応用を考える場合、燃料によるセンシティビティの差を念頭において進める必要があると考えられる。あるいは逆に、センシティビティ依存性の小さいエンジンシステムを構築する必要があると考えられる。

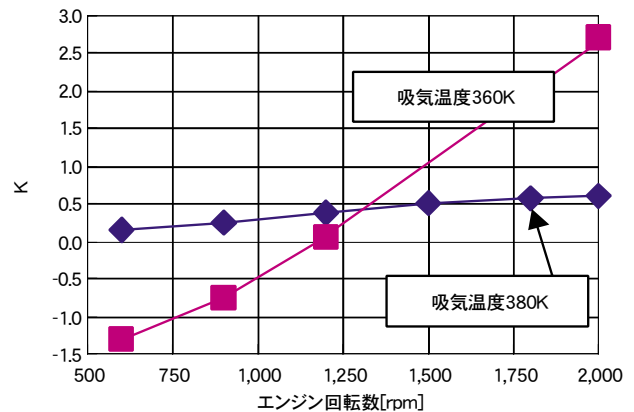


図 13 エンジン回転数と係数 K の関係

今回提案した方法では、OI を求めるために同一運転条件でいくつかの燃料のデータを得る必要がある。一方 HCCI 運転可能域はすでに見たように狭く、また運転領域同士の重なりも広くない。そのため、OI を求められる点が限られてしまうという問題点がある。ただ今回のデータをもとにすれば、燃料の RON・MON に対する HCCI 運転領域はある程度予測できる。つまりそのような予測の上で燃料を作りテストを行えば、より広い領域で OI がどのように振舞うかを調べられると思われる。また今回使った燃料は、炭化水素のみでしかもオクタン価が 70-95 程度の範囲のもののみであるため、たとえば含酸素燃料などがどのように振舞うのかなども興味のあるところである。

4 おわりに

CFR エンジンを用いて 5 種の燃料の HCCI 運転をおこない、エンジン回転数・吸気温度依存性を調べた。その結果、以下の結論を得た：

- (1) 低温酸化反応による熱発生がほとんど観測されなくても、HCCI 燃焼での熱発生には燃料の低温での反応機構が影響する。
- (2) オクタン価が 90 程度である 4 種の燃料での熱発生順序は、エンジン回転数により変化した。また HCCI 運転可能な当量比領域の相対的な位置もエンジン回転数により変化した。
- (3) HCCI 運転を表す指標としては、RON・MON とともに単独では不適當である。RON と MON を組み合わせて定義される OI を用いると、今回得た HCCI 運転での熱発生時期をうまく説明できた。
- (4) ガソリン系燃料を用いた HCCI 運転領域の比較においては、燃料の性状としてオクタン価のみでなくセンシティブティを考慮する必要がある。
- (5) 吸気温度が高い条件のほうが、センシティブティの変化に対して HCCI 運転のロバスト性が高い。

なおこの研究にあたり、Department of Energy (USA)、Kasetsart University (Thailand)、and DAAD (Germany) の支援を受けたことを記し、謝意を表する。

■参考文献

- 1) Westbrook C., Chemical kinetics of hydrocarbon ignition in practical combustion systems, Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 28, pp. 1563-1577, 2000.
- 2) Najt, P. M. and Foster, D. E., "Compression-ignited Homogeneous Charge Combustion", SAE Technical Paper, No. 830246, 1983.
- 3) Aroonsrisopon, T., "An Experimental Investigation of Homogeneous Charge Compression Ignition Operating Range and Engine Performance with Different Fuels" M.S. Thesis, Mechanical Engineering Department, University of Wisconsin-Madison, 2002.
- 4) Aroonsrisopon, T., Morikawa, T., Iida, M., and Foster, D. E., "Comparison of HCCI Operating Ranges for Combinations of Intake Temperature, Engine Speed and Fuel Composition", submitted to 2002 Future Car Congress.

- 5) Hayashi, M., "The Effect of Charge Thermodynamics on Performance and Autoignition on a HCCI Engine" M.S. Thesis, Mechanical Engineering Department, University of Wisconsin-Madison, 2000.
- 6) Iida, M., Hayashi, M., Foster, D.E., and Martin, J., "Properties of Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Engine with n-Butane Fuel", accepted for publication in ASME Journal for Gas Turbine and Power, 2002.
- 7) Christensen M. et al., "Demonstrating the Multi Fuel Capability of a Homogeneous Charge Compression Ignition Engine with Variable Compression Ratio", SAE Technical Paper, No. 1999-01-3679, 1999.
- 8) Aceves S. M. et al., "A Multi-zone Model for Prediction of HCCI Combustion and Emissions", SAE Technical Paper, No. 2000-01-0327, 2000.
- 9) Noda, T. Foster, D., "A Numerical Study to Control Combustion Duration of Hydrogen-fueled HCCI by Using Multi-zone Chemical Kinetics Simulation", SAE Technical Paper, No. 2001-01-0250, 2001.
- 10) Richter M. et al., "The Influence of Charge Inhomogeneity on the HCCI Combustion Process", SAE Technical Paper, No. 2000-01-2868, 2000.
- 11) Leppard, W.R., "The Chemical Origin of Fuel Octane Sensitivity", SAE Technical Paper, No. 902137, 1990.
- 12) Kalghatgi, G.T., "Fuel Anti-Knock Quality - Part I. Engine Studies", SAE Technical Paper, No. 2001-01-3584, 2001.
- 13) Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, Inc., ISBN 0-07-028637-X, 1988.
- 14) Duret, P., Gasoline CAI and Diesel HCCI: the way towards Zero Emission with Major Engine and Fuel Technology Challenges", SAE 2002-32-1787, 2001.



技術論文

ロボット塗装手法改善による 塗装効率の向上

An Improved Robotic Painting Method that Improves Painting Efficiency

濱田 忍 Shinobu Hamada
●ボディ SyS 統括部 外装 SyS 技術 G

Abstract

In recent years measures to protect the environment are being undertaken in all fields of industry on a worldwide scale. The field of industrial painting is no exception, as manufacturers take on the responsibility of reducing the volumes of organic solvent waste from the painting process.

In the case of motorcycles, there are many plastic external parts with complex shapes, like cowling. And, since the edges and back sides of these parts must also be painted, there tends to be a relatively large amount of VOC (Volatile Organic Compound) waste generated per unit of surface area painted. What's more, due to the complex shapes of cowling parts, it is still the norm in the industry for these parts to be hand sprayed, and there are few cases where they are painted completely by robots. Because in the case of hand spraying it is difficult to make fine adjustments in the amount of paint sprayed and the spray pressure level for each different part compared to robotic painting, there is a limit as to how much you can reduce the amount of paint used and increase the efficiency of the painting process. On the other hand, with robotic painting it is possible to optimize the spraying conditions for each part, but there are other problems like the amount of time it takes to create the teaching data itself. In response to these problems, we succeeded in improving the methods for determining the robot path-of-motion data and setting the conditions for the various painting aspects to enable completely robotic painting of cowlings that reduces the amount of paint used and improves painting efficiency and thus contributes to reducing the volume of organic solvent waste generated.

要旨

近年、あらゆる産業分野において世界規模で環境保全に対する取り組みが進められており、塗装分野においても、有機溶剤排出量削減が重要な責務となっている。

モーターサイクルでは、カウリングに代表される形状が複雑な外装樹脂部品が多く、意匠上の必要性から端面や裏面にも塗装を施しており、単位面積あたりの VOC（揮発性有機化合物）排出量が多くなる傾向がある。また、カウリングの塗装は、その形状の複雑さから、現在も手吹き塗装が主流となっており、完全ロボット塗装化されている例は少ない。手吹き塗装では、塗装中に吐出量、霧化圧力等の塗装条件を部位毎に細かく切り替えることが難しい為、ロボット塗装に比べ、塗料使用量低減、塗着効率向上に限界がある。一方、ロボット塗装では、塗装部位毎に最適条件で塗装することが可能であるが、ティーチングデータそのものの作成に時間がかかるなどの問題を抱えていた。そこで、軌跡データの作成及び各種塗装条件の設定に関する手法改善に取り組み、カウリングの完全ロボット塗装化によ

る有機溶剤排出量削減に寄与する塗料使用量低減と塗着効率向上を達成した。

1 はじめに

近年、あらゆる産業分野において世界規模で環境保全に対する取り組みが進められており、人と環境に優しい先端技術の開発は、企業が担う大きな課題の一つとなっている¹⁾。塗装分野においても、塗装作業における有機溶剤排出が大気汚染源の一つとなるだけでなく、塗装作業員自身の健康にも影響を及ぼすとされており、その削減が重要な責務となっている²⁾。

モーターサイクルでは、カウリングに代表される形状が複雑な外装樹脂部品が多く、意匠上の必要性から端面や裏面にも塗装を施している。平面的な形状物への塗装と比較すると単位面積当たりの有機溶剤排出量が多くなる傾向がある。また、カウリングの塗装は、その形状の複雑さから現在も手吹き塗装が主流となっており、完全ロボット塗装化されている例は少ない。当社においても、その殆どが手吹き塗装にて生産されている。パネルなどの比較的単純形状の部品と比較し、作業効率が悪く、塗料ミストの飛散が多いなどの問題点を抱えており、予てよりロボット塗装化が望まれていた。そこで、軌跡データの作成及び各種塗装条件の設定（以下、ティーチングと称す）の手法改善に取り組み、カウリングの完全ロボット塗装化による塗装吹き付け作業の無人化、並びに有機溶剤排出量削減に寄与する塗料使用量低減と塗着効率向上を達成したので、その概要を述べる。

2 現状の塗装方法

ヤマハ発動機(株)（以下、当社という）では、外装樹脂用塗装ラインに塗料を空気のエネルギーで微粒化させるエア霧化タイプのスプレー塗装方式を主に採用している。この方式は、微粒化に使用する空気量が多く、吹き付け圧力が高いほど塗料の微粒化が向上し、仕上がり外観が向上する傾向がある。しかし、ワークに付着できない微小粒子も増える為、塗着効率としては、低下する傾向がある（図1）³⁾。

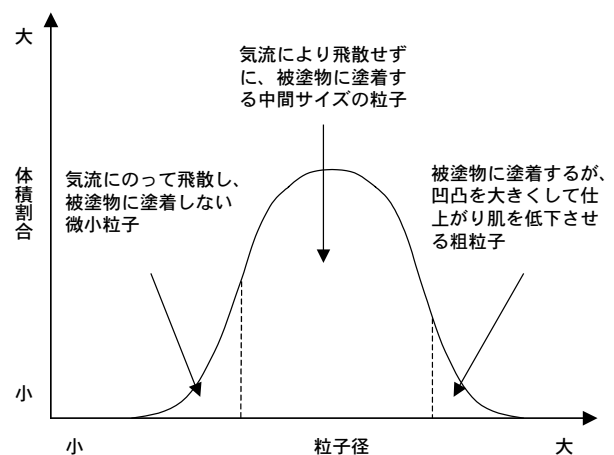


図1 霧化粒子の粒度分布

2.1 手吹き塗装

手吹き塗装では、左手を駆使することで複雑な面形状、ヘッドライトやウインカーなどの開口部、端面・裏面への塗装に柔軟に対応することができる（図2）。また、塗装の濡れ具合を見ながら環境変化に応じた補正を適宜実施できるなどの長所がある。しかし、低圧塗装ガン¹⁾やパターン切り替

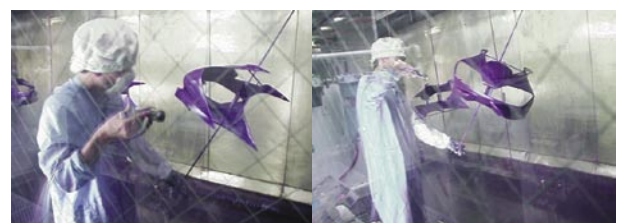


図2 手吹き塗装時の左手活用例

え塗装ガン⁴⁾の開発により、塗料使用量低減、塗着効率向上に対する取り組みは行われているものの、塗装中に吐出量、霧化エア圧力等の塗装条件を部位毎に細かく切り替えることが難しい為、ロボット塗装に比べ、塗料使用量低減や塗着効率向上に限界がある。また、塗装作業者によって品質のばらつきを生じやすいなどの短所がある。

2.2 ロボット塗装

ロボット塗装では、塗装作業中に吐出量、霧化エア圧力、パターンエア圧力の細かな調整が可能であり、塗装部位毎に最適条件で塗装することが可能である(図3、4)。また、長時間連続生産ができ、安定的に高品質が得られるなどの長所がある⁵⁾。しかし、①ティーチング技能の習得に熟練を要す、②CAD (Computer Aided Design) システムによるオフラインティーチングへの取り組みは行われているものの、カウリングなどの複雑形状の部品で実用化された例は少なく、ティーチングデータそのものの作成に時間がかかる⁶⁾(図5)、③加・減速、回転動作に時間がかかる為、手吹き塗装よりも塗装時間が長くなる傾向がある、④常に設定した条件で塗装してしまう為、気温・湿度等の塗装環境変化に柔軟な対応ができないなどの問題を抱えていた。

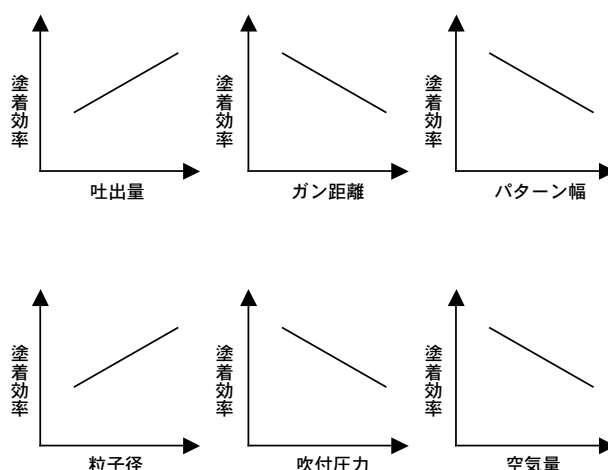


図3 各種塗装条件と塗着効率の関係

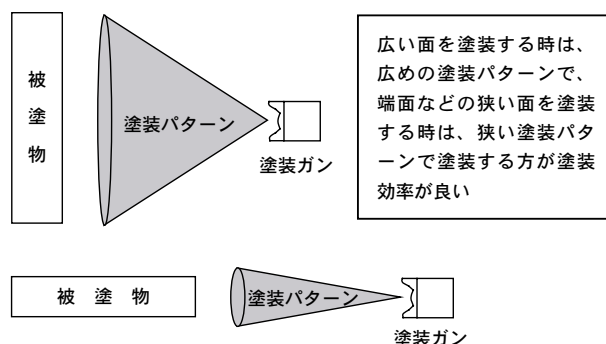


図4 塗装部位別の塗装パターン適用例

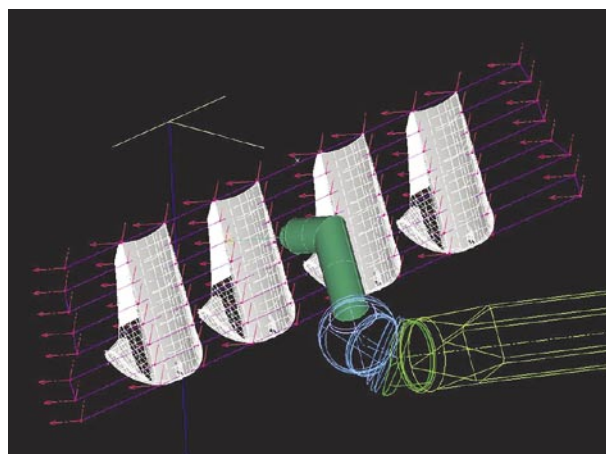


図5 3D CAD システムによるオフラインティーチングの一例

3 ティーチング手法改善に関する取り組み

3.1 軌跡データ作成上の改善

3.1.1 塗装時間短縮

ロボットメーカーと共同開発したロボット外部2軸同期制御システムを人の左手代わりに活用することで、ロボット動作量の最小化に挑戦し、ロボット塗装での課題の一つであった塗装時間の短縮に取り組んだ(図6、7)。本システムの開発により、ワークの回転+チルト動作が可能となり、従来の回転のみで塗装した場合と比較し、約3割の塗装時間短縮を達成した。

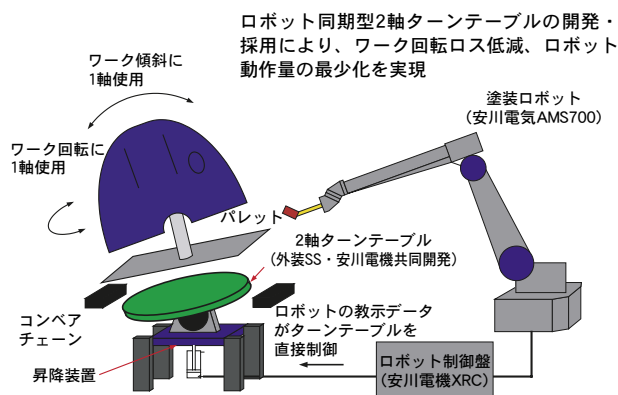


図6 ロボット外部2軸同期制御システムの概要

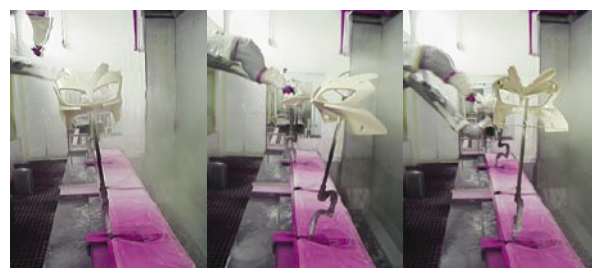


図7 ロボット外部2軸同期制御システムを利用したロボット塗装例

3.1.2 軌跡データの汎用化

同一のティーチングデータで複数の塗色を塗装した場合、実ワークでの塗装膜厚にばらつきが生じると、ある塗色では塗装外観上の問題が出なくても、別の塗色では、たれ、透けなどの問題が出る場合がある。これは、塗色毎に、たれ限界膜厚、下地隠蔽性などの塗料特性が異なる為に生じるものである。たれ限界膜厚の低い塗色は、膜厚が厚くなる部位で、たれが生じやすくなり、下地隠蔽性が低い塗色では、膜厚が薄くなる部分で透けが生じやすくなる。そこで、実ワークでの徹底した膜厚均一化に取り組み、繰り返し塗装テストでの膜厚測定結果を軌跡データに反映することで、軌跡データの作りこみを実施した(図8、9)。更に、従来の軌跡データと合わせて塗装条件をプログラムする方式を見直し、軌跡データと塗装条件を分離独立化することで、軌跡データの汎用化(多色化)を図った(図10)。これらにより、軌跡データの汎用化に成功し、ティーチング期間の大幅短縮を実現した。

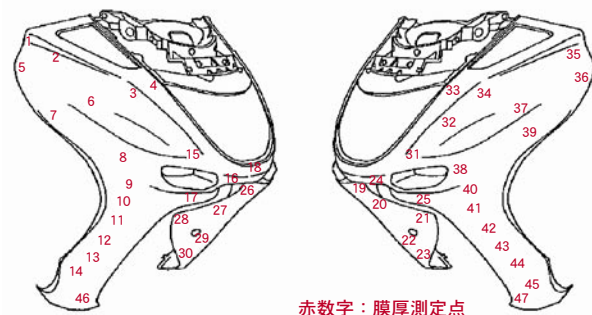


図8 塗装テスト時の膜厚測定ポイントの一例

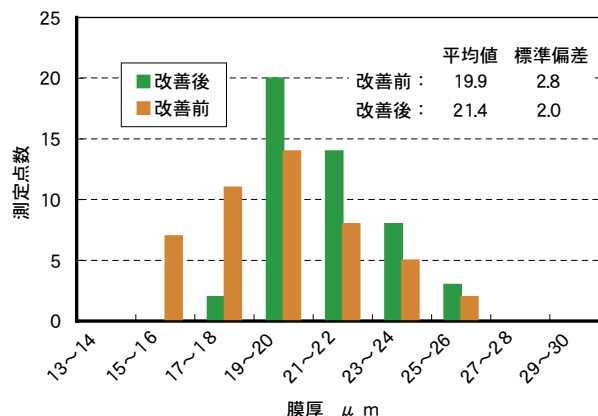


図9 実ワークでの膜厚分布の一例

3.2 塗装条件の最適化

3.2.1 塗料条件

当社では、外装樹脂用塗料として、2液型ポリウレタン系塗料を採用している。ポリウレタン系塗料は、その成分にイソシアネート（ $-N=C=O$ ）と活性水素化合物（一般的にはOH基）をもち、これらの反応によりウレタン結合をもつ3次元網目構造の塗膜を形成する⁷⁾（図11）。

ロボット塗装では、前述のように環境変化に対して柔軟な対応が難しい為、塗装外観品質の維持・向上には、使用する塗料の特性を把握し、塗装作業環境に合った希釈シンナーの選定と塗料粘度の調整が重要となる（図12）。そこで、膜厚均一化により作りこんだ軌跡データを用い、メタリック、ソリッドなどの塗色カテゴリー別に各種希釈シンナーと塗料粘度の水準別塗装テストを実施し、それぞれで最も優れた塗装外観が得られる最適領域を明確化することで、希釈シンナーと塗料粘度の最適化による塗装外観品質の安定化を図った（表1、2）。

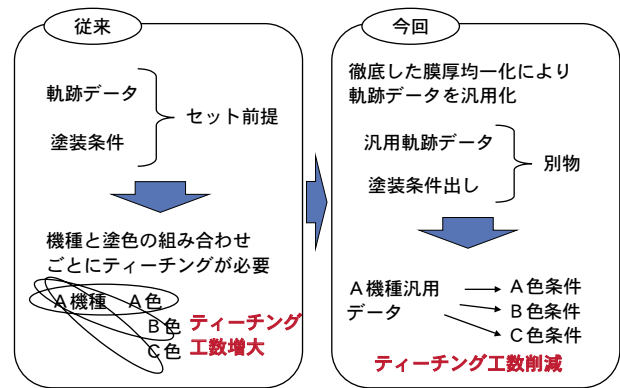


図10 ティーチング手法改善の考え方

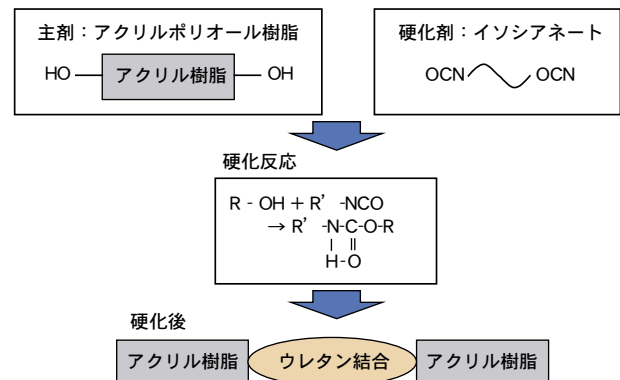


図11 ポリウレタン系塗料の反応モデル

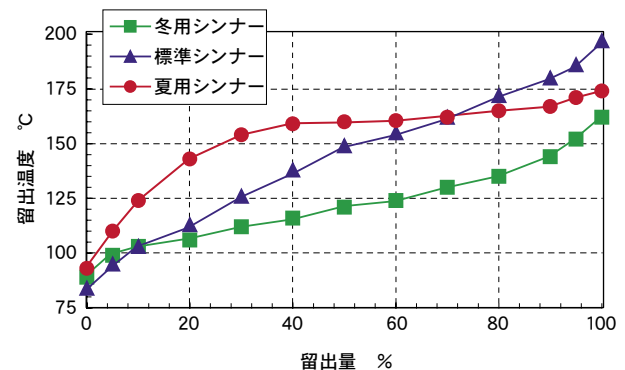


図12 希釈シンナーの蒸留曲線

表1 希釈シンナーの水準別塗装テスト結果の一例

| 希釈シンナー | | 上塗り | | |
|--------|----|------------|------------|------------|
| 希釈シンナー | | 冬用 | 標準 | 夏用 |
| 下塗り | 冬用 | △ (肌荒れ) | △ (肌荒れ) | △ (肌荒れ) |
| | 標準 | △ (肌荒れ) | ○ | ○ |
| | 夏用 | △ (肌荒れ) | ○ | ◎ |

◎：色調、ツヤ、肌ともに最も外観が優れる条件、
○：色調、ツヤ、肌ともに良好な外観が得られる条件
△：色調、ツヤ、肌のいずれかに問題がある条件

表2 塗料粘度の水準別塗装テスト結果の一例

| 塗料粘度 | | 上塗り | | |
|------|---------|---------|------|------------|
| 塗料粘度 | | 標準 -2 秒 | 標準粘度 | 標準 +2 秒 |
| 下塗り | 標準 -2 秒 | ◎ | ○ | ○ |
| | 標準粘度 | ○ | ○ | ○ |
| | 標準 +2 秒 | ○ | ○ | △ (肌荒れ) |

◎：色調、ツヤ、肌ともに最も外観が優れる条件、
○：色調、ツヤ、肌ともに良好な外観が得られる条件
△：色調、ツヤ、肌のいずれかに問題がある条件

3.2.2 塗装エア圧力

塗料使用量の低減と塗着効率向上には、必要最小限の塗料で目標膜厚を確保する必要がある、一般面、端面などの塗装部位別に最適塗装エア圧力を設定し、塗料ミストの飛散を最小限に抑えることが重要である（図4）。そこで、霧化エア圧力とパターンエア圧力の水準別塗装テストを実施し、各水準での塗装パターン形状及びパターン幅を測定することで、塗装部位別、塗色カテゴリー別に最も効率良く、目的とする色調が得られる最適塗装エア圧力を設定した（表3）。

3.3 効果

ティーチング手法改善に取り組み、塗装外観品質を手吹き塗装と同等以上に維持すると共に、①塗料使用量 35 ～ 60% 低減と塗着効率 5 ～ 10% 向上により大幅な塗料コスト低減を達成した。②揮発性有機溶剤（VOC）を 30 ～ 50% 低減し、地球環境保護に寄与する VOC 削減に貢献した。③設定色 12 色の場合、60 日間必要であったティーチング期間を半減化し、生産準備期間の大幅短縮を達成した。

表3 霧化エア圧力、パターンエア圧力の水準別塗装パターン形状・幅測定結果

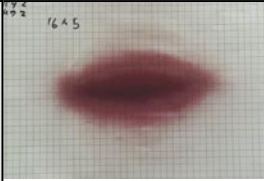

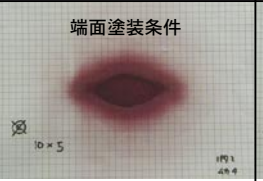
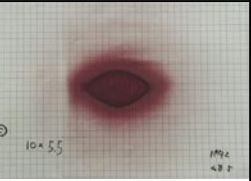
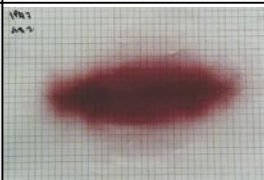
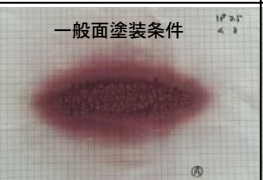
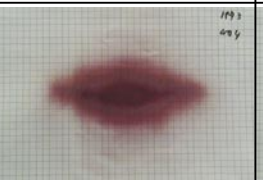
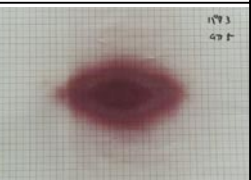
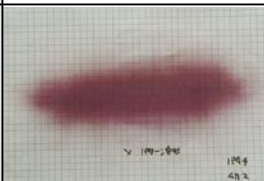
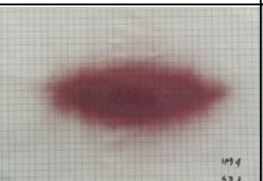
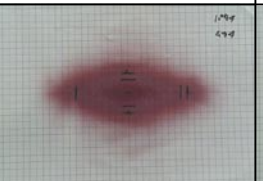
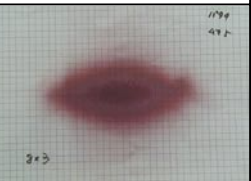
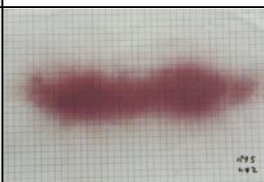
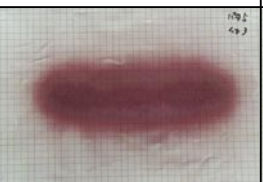
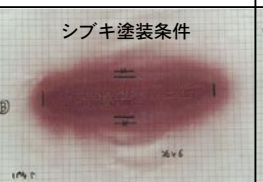
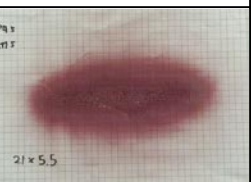
| | | 霧 化 エ ア 圧 力 | | | |
|--------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| | | 0.2MPa | 0.3Mpa | 0.4MPa | 0.5Mpa |
| パ タ ー ン エ ア 圧 力 | 0.2Mpa |  |  |  |  |
| | | 形状：○ 幅：16 × 5cm | 形状：× | 形状：○ 幅：10 × 5cm | 形状：○ 幅：10 × 5cm |
| | 0.3Mpa |  |  |  |  |
| | | 形状：× | 形状：○ 幅：21 × 6cm | 形状：× | 形状：○ 幅：7 × 4cm |
| | 0.4Mpa |  |  |  |  |
| | | 形状：× | 形状：× | 形状：○ 幅：10 × 4cm | 形状：○ 幅：8 × 3cm |
| | 0.5Mpa |  |  |  |  |
| | | 形状：× | 形状：× | 形状：○ 幅：26 × 6cm | 形状：○ 幅：21 × 6cm |

表 4 ロボット塗装化による塗装効率向上効果の一例

| 測定ワーク | | 手吹き塗装ライン | | | | ロボット塗装ライン | | | |
|-------|----------|-------------|-----|-----|------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| | | 塗料（主剤）使用量 g | | | 塗着効率 | 塗料（主剤）使用量 g | | | 塗着効率 |
| 部 品 | 塗 色 | プライマー | 下塗り | 上塗り | % | プライマー | 下塗り | 上塗り | % |
| カウリング | ホワイト系パール | 無し | 495 | 440 | 20 | 無し | 262 (Δ 47%) | 276 (Δ 37%) | 30 (+10%) |
| パネル | ブルー系パール | 120 | 224 | 176 | 10 | 48 (Δ 60%) | 109 (Δ 52%) | 104 (Δ 41%) | 15 (+5%) |

表 5 ロボット塗装化による VOC 削減効果の一例

| 測定ワーク | | 手吹き塗装ライン | | | | ロボット塗装ライン | | | |
|-------|----------|-----------|-----|-----|---------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | VOC 使用量 g | | | TOTAL g | VOC 使用量 g | | | TOTAL g |
| 部 品 | 塗 色 | プライマー | 下塗り | 上塗り | | プライマー | 下塗り | 上塗り | |
| カウリング | ホワイト系パール | 0 | 391 | 332 | 723 | 0 | 219 (Δ 44%) | 233 (Δ 30%) | 452 (Δ 37%) |
| パネル | ブルー系パール | 138 | 176 | 95 | 409 | 84 (Δ 39%) | 86 (Δ 51%) | 56 (Δ 41%) | 226 (Δ 45%) |

4 おわりに

手吹き塗装からロボット塗装への生産移管に際して、ティーチング手法改善に取り組み、カウリング 4 機種、モールサイドカバー左右 1 機種、パネル左右 1 機種の全 16 色について完全ロボット塗装化を短期間で達成することが出来た。しかし、年間を通じたロボット塗装品質の安定化には、塗装環境（温度・湿度）の変化に応じた詳細な塗装条件設定が必要であり、また、更なる塗装効率向上には、ゴミブツ等の塗装欠陥低減が不可欠である。今後は、これら残された課題を含め、ロボット樹脂塗装での静電塗装化にも挑戦し、塗装効率の更なる向上に取り組んでいきたい。

■参考文献

- 1) 畠隆行：「低圧スプレーガン」，工業塗装 No.166
- 2) 姫野祐子：「VOC 削減と塗装作業の効率化」，工業塗装 No.170
- 3) 菊田真人ほか：「VOC 削減に対する最近の塗装技術動向」，塗料の研究 No.132 Apr.1999
- 4) 「エア静電ハンドガン HB2000 シリーズ（VI）」，塗装技術 2001 年 10 月号アサヒ・レポート
- 5) 坂本進：「ロボット塗装システムの設計事例」，塗装技術 2001 年 7 月号
- 6) 竹内徹：「塗装シミュレーションの世界」，塗装工学 Vol.36 No.6(2001)
- 7) 塚平博之ほか：「アレスエコレタン」，塗料の研究 No.136 Apr.2001

■著者



濱田 忍

技術論文

3次元データを基準とした ベベルギヤ歯面形状加工精度向上

Improving the Precision of Bevel Gear Surface Processing
Based on 3-D Data

山口 淳 Jun Yamaguchi
● MC 事業本部 生産技術開発室

As one means of reducing the running noise of motorcycles we have worked on improving the precision of the shapes of tooth surfaces of individual bevel gears. At Yamaha Motor until now our evaluations of gear tooth shapes has been based on differential tooth contact check results. However, this is a technique that requires training and experience and we have seen a considerable degree of discrepancy in observation results achieved by different technicians. To solve this problem, we developed a system for bevel gear measurement by which even technicians with limited experience can get quantified results.

Next we developed a system for correcting gear tooth shape processing. By controlling the processing machines by means of shape-discrepancy data, we were able to reproduce master shapes with a high degree of precision.

Here we introduce the resulting system that enables the processing of high-precision bevel gears in a short amount of time.

1 はじめに

モーターサイクルの低騒音化への顧客要求は年々増してきている。中でもメンテナンスフリーのベベルギヤユニットを採用している高級車に対しては、その要求度は一段と高い。そこで騒音低減の一環として、単体ギヤの歯面形状精度の向上に取り組んできた。

ヤマハ発動機(株)の歯面形状評価は、歯当り観察により行われてきたが、熟練を要し、作業者により評価のばらつきが発生している。そこでベベルギヤ計測システムを構築し、熟練者でなくとも歯面形状を数値評価できるようにした。

次に、歯面形状加工修正システムを開発した。形状誤差データを利用して加工機を制御することにより、高精度にマスター形状を再現することができた。

これにより短期間で高精度なベベルギヤを加工することが可能になったので、ここに紹介する(表1)。

表1 ベベルギヤ歯面形状精度向上の取組み

| 歯面形状精度向上 | |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| ① 誰もが高精度に 歯面形状を計測できる ↓ 歯面形状計測システムの 構築 | ② 形状誤差が発生した 場合に形状修正ができる ↓ 加工修正システムの 構築 |

2 ベベルギヤユニット概要

ベベルギヤユニットは、エンジン動力を車輪に伝えるために用いられる(図1)。



図1 モータサイクルとベベルギヤユニット

駆動軸と被駆動軸が直交する点が特徴である（図2）。

また、ユニットを構成する単体ギヤの歯面形状は、平歯車と異なり、3次的に複雑な形状である（図3、4）。

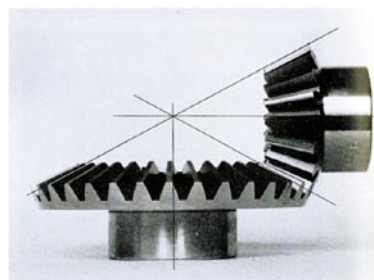


図2 駆動軸と被駆動軸の位置関係

2.1 ベベルギヤユニット製造工程

ベベルギヤユニットは、鍛造・熱処理前加工・熱処理・熱処理後加工を経て製造される（図5）。

各工程にて精度向上の取組みを行っているが、本論文では熱処理前加工の歯切り工程での取組みについて述べる。



図3 駆動側単体ギヤ



図4 被駆動側単体ギヤ

2.1.1 歯切り工程

歯切り工程を図6に示す。

単体ギヤの加工機（以下、歯切盤と呼ぶ）では、カッタとワークを共に連続回転させ次々に各歯溝を削る（図7）。

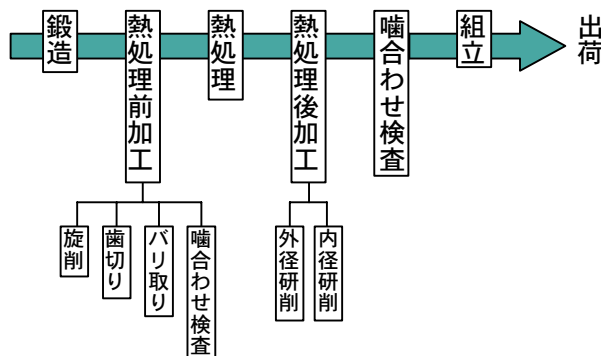


図5 ベベルギヤユニット製造プロセス



図6 歯切り工程

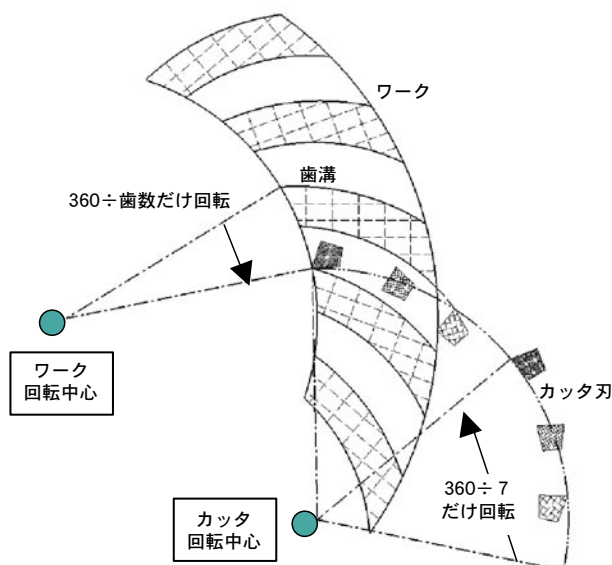


図7 カッタとワークの動作

歯切盤は複数の加工軸から構成されている。この複数の軸同士の角度・オフセット量を調整し、加工することで狙った歯面形状を生成する（図8）。

2.1.2 現状の歯面評価方法の問題

現状の歯面評価方法（以下、歯当り評価と呼ぶ）を以下に示す。光明丹と呼ばれる鉛化合物（四三酸化鉛）を歯面に塗布したギヤ同士を噛み合わせる（図9）。

その時光明丹が除かれた部分（以下歯当りと呼ぶ）の面積・形状・歯面中の位置が狙った当り方をしている時、加工された形状が正しいと判断する（図10）。

この方法で歯面形状をミクロンオーダーで評価するためには熟練を要し、熟練度により評価のばらつきが生じている。この問題を解決するため、評価方法を歯当り評価から歯面形状計測へ変更し、誰もが安定して高精度に歯面形状を評価できるようにした。

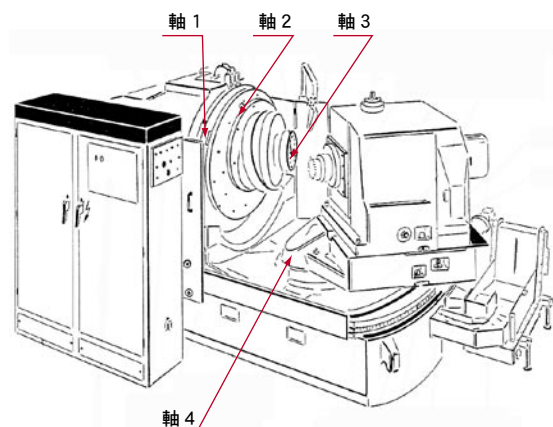


図8 歯切盤の軸構成



図9 噛合わせ検査による歯当り評価

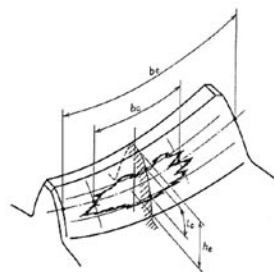


図10 JISによる「歯当り」定義

3 歯面形状計測技術の開発

これまで当社では、複雑なベベルギヤの歯面形状を計測する手段がなかった。一部のメーカーでは、ギヤ専用測定機を使用して、歯面形状計測を行っている。

しかしギヤ専用測定機は高コストで汎用性に欠けるため、エンジンプロック・シリンダヘッドなどの計測に使用している汎用3次元測定機を使用し、歯面形状計測技術のしくみを構築した。

3.1 計測システム概要

当社では、早くから計測の自動化に取り組み、CAD（Computer Aided Design）と3次元測定機を結んだ自動計測システムを開発・実用化している（図11）。今回、このシステムをベースに、ベベルギヤ歯面形状・工具・治具等を計測できる形状計測システムを構築した。

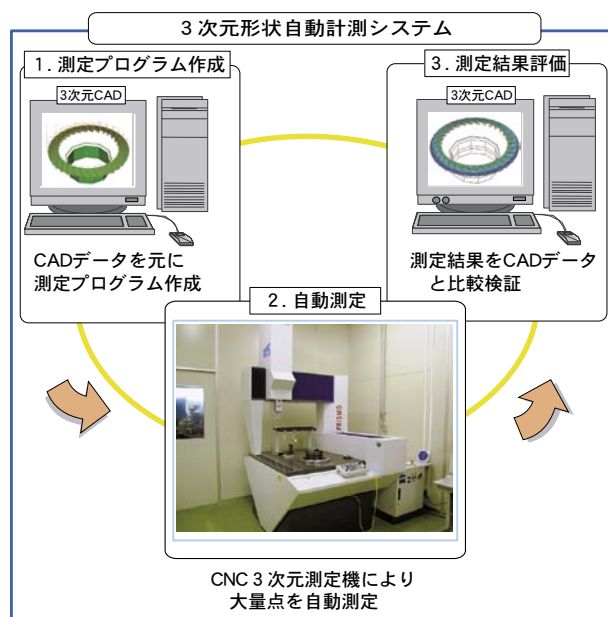


図11 自動計測システム

3.2 ベベルギヤ歯面形状計測

3.2.1 マスターデータの定義

計測にあたっては、マスターデータとの形状差を数値化する。本計測システムでは、設計した理論歯面データを取込みマスターデータとしている。また、実物ワークを測定してマスターデータとすることもできる。

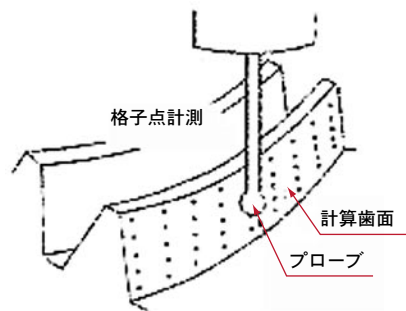


図12 プローブによる接触式計測

3.2.2 計測箇所と結果出力

各歯面5×9の45点を計測し、各計測点の誤差量を数値化している。

プローブによる接触式計測の様子を示す（図12）。計測結果は、各計測点での誤差量を図示により表現する（図13）。

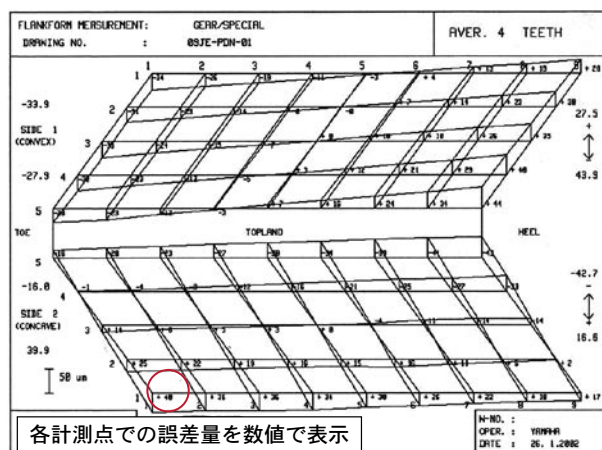


図13 計測結果の表示

4 歯面形状計測による評価レベルの向上

歯当り評価において同一と判断された2つの単体ギヤの歯面形状を数値化した（図14、15）。

また、この2つの間には、加速時の騒音値の差が約6dBあった。

歯面形状計測の結果、マスターギヤとの歯面形状差が最大±60μmあった。また、2つのギヤの間には、最大40μmの形状差があることがわかった。これらの誤差量が、歯当り評価での評価のばらつきと考えられる。

振動・騒音の差を低減するためには、この形状差を小さくすることが必要である。

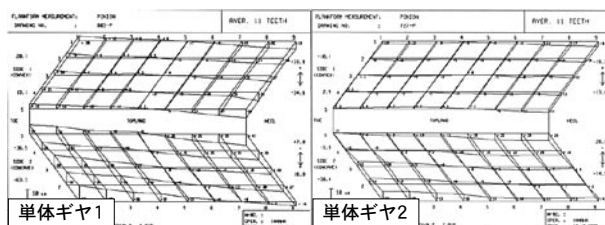


図14 単体ギヤ1
（騒音値大）

図15 単体ギヤ2
（騒音値小）

5 歯当り評価による歯面作り込みの問題

現状の歯面作り込みのプロセスを以下に示す。歯切盤の複数の軸のセット位置（以下、歯切盤セッティングと呼ぶ）は設計諸元より算出され、これに従い歯切り加工する。歯当り評価は、駆動側・被駆動側双方のギヤを加工した上で行う（図16）。

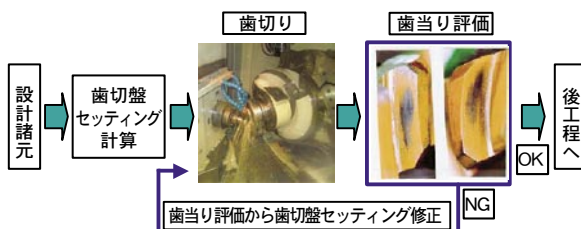


図16 現状の歯面作り込みプロセス

歯当り評価が良くない場合、歯切盤セッティングを変更して歯当りを修正する。この修正は試行錯誤にて行われるため、多大な時間が必要となる。また前章の通り、歯当り評価は熟練度によるばらつきがあり、その結果、歯面形状にもばらつきが生じている。よってマスター形状を高精度に再現すること、及び生産準備期間を短縮する技術開発が求められていた。

6 計測結果フィードバックによる歯面作り込み技術の開発

歯当り評価から歯面形状計測へと評価方法を変更したため、形状変動要因の分析から行なった。ここでの変動には、ばらつき及びばらつき中央値と設計値の差の両方を含む。

6.1 歯面形状変動要因の調査

歯面形状が変動する要因を示す（図 17）。

設計値通りの歯切り加工を行うには、カッタ及びブランク材の両方が設計値通りに製作されており、加工時にその相対位置関係を正しく再現している必要がある。

図 17 中で歯切り加工工程に関係する、ワーク素材・治具・カッタ組立精度を計測した（表 2）。

ワーク素材・治具の精度に比べて、カッタの組立誤差量が著しく大きいため、これを考慮した歯切盤セッティング補正が必要と考えた。

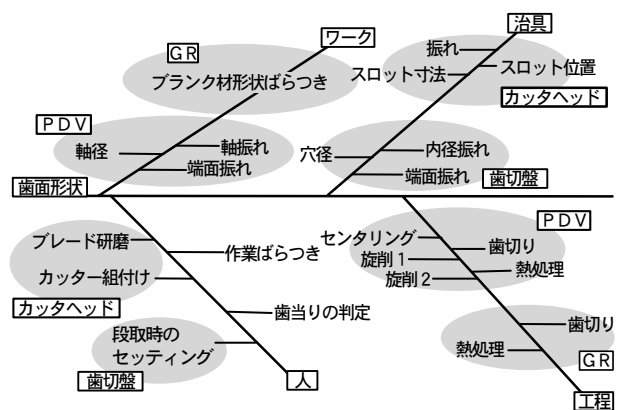


図 17 歯面形状の変動要因

表 2 ワーク素材・治具・カッタ組立精度計測結果

| 計測対象 | 計測部位 | 計測結果 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| ワーク素材  | 歯先になる部分を計測  | 誤差幅 14 μ m |
| 治具  | 基準面を計測  | 誤差幅 5 μ m |
| カッタ組立  | 切刃エッジのカッタ中心からの距離を計測（詳細は 6.1.2 による） | 誤差幅 300 μ m |

6.1.1 カッタ概要

歯切用カッタは、カッタヘッドに、歯溝を削るブレードを組み込んだものである（図 18）。

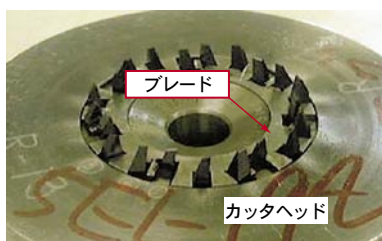


図 18 カッタの構成部品

ブレードは、粗加工用・凸歯面加工用・凹歯面加工用の3種類存在し、この3本で1グループを成す。これが計7グループあり、次々に歯面を連続割り出しして加工する（図19）。

6.1.2 カッタ計測箇所

カッタヘッドへのブレードの組込みは、ブレードの高さ誤差 $\Delta 1$ を $\pm 5 \mu\text{m}$ に収まるよう調整しながら行われる（図20）。

今回、歯面形状を生成する、ブレード切刃エッジ回転中心からの位置 (RBA) をブレード 21 本それぞれ計測した（図21）。

6.1.3 計測結果

計測結果を以下に示す。横軸はカッタのグループ、縦軸は中心からの位置を示す。カッタ組立精度は物によって差があり、カッタの設計値に対し、最大で約 $300 \mu\text{m}$ の誤差を持つことがわかった（図22、23）。

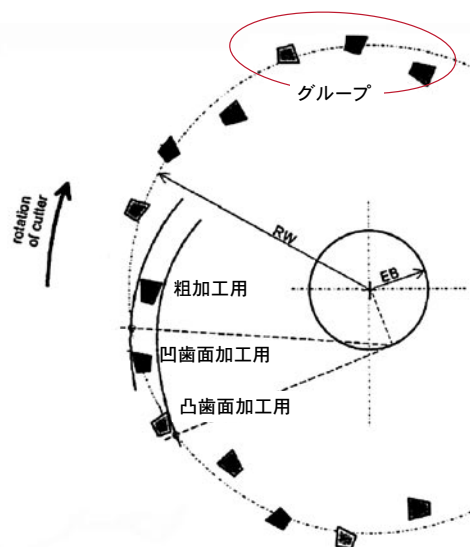


図19 歯切り用カッタの組立

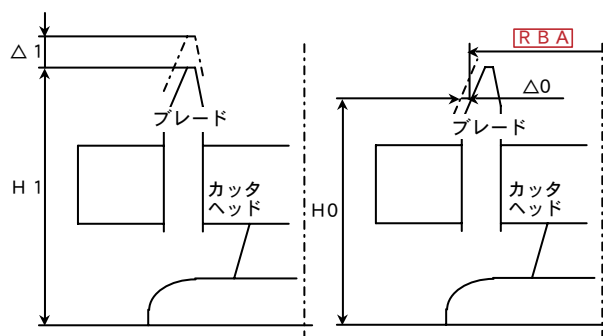


図20 ブレード組込み調整 図21 組立後のカッタ計測位置

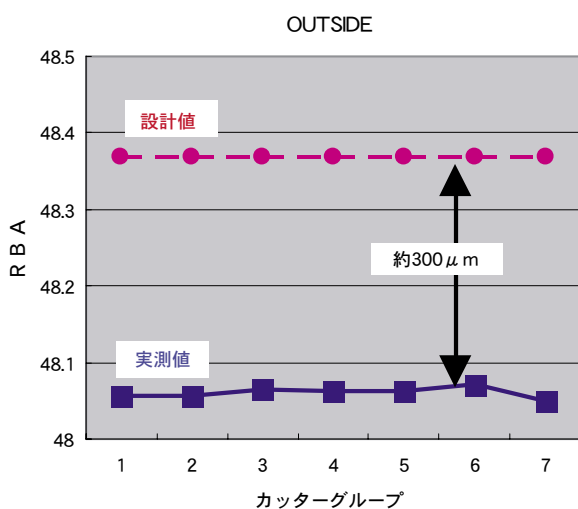


図22 計測結果（誤差が大きい場合）

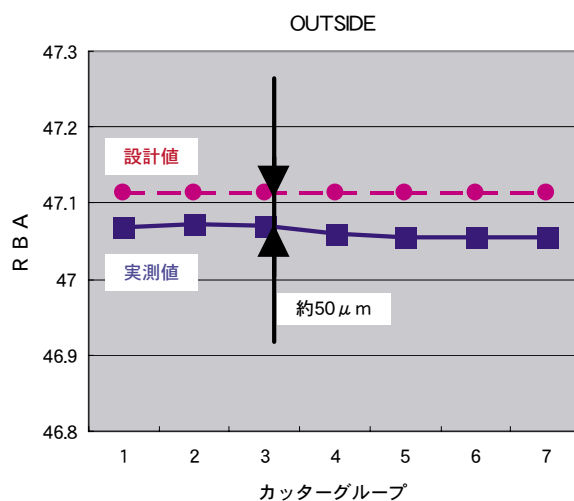


図23 計測結果（誤差が小さい場合）

6.2 加工修正システム開発

設計諸元を元に算出したセッティング条件で歯切りをしても、特性要因図（図16）に示した複数の要因により、精度良い歯面形状は得られない。ここで歯面計測結果データを元に、セッティング条件を再計算させるシステム（以下加工修正システムと呼ぶ）を構築した（図24）。

加工修正システムは、カッタ組立精度検証部と歯切盤セッティング修正部の2つの部分から成る。

6.2.1 カッタ組立精度検証部

カッタを計測し、粗加工用・凸歯面加工用・凹歯面加工用の3種類の切刃エッジ RBA 実測値を歯切盤セッティング計算ソフトに取り込む部分である。

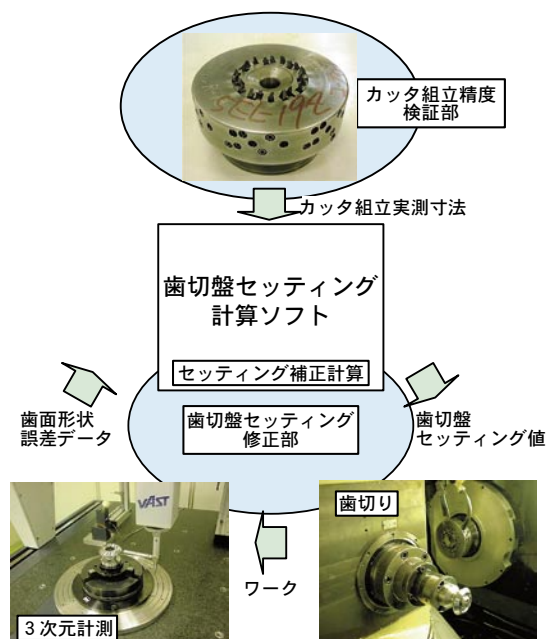


図24 加工修正システム概要

6.2.2 歯切盤セッティング修正部

試加工したワークとマスターデータとの形状差データ（歯面形状誤差値）を読み込み、歯切盤セッティング値を再計算する。そのセッティングで再加工したワークを計測する。この作業を繰り返し行い、形状差を許容値以下にする部分である。

7 加工修正システム適用の結果

加工修正システムを適用することで、歯面形状を設計値に対して $\pm 10 \mu\text{m}$ 以内におさまられた。この歯面作り込みは、歯切盤の段取り作業時間も含め4時間にて行えた（図25）。

また、この適用トライの過程において、カッタ組立誤差が大きいと歯面形状を設計値に近づけられないことがわかった（図26）。

カッタ組立誤差が大きい場合は、4回修正しても形状が収束しなかった。

このことから、カッタ組立誤差の許容値を設定すること及び、カッタ組立誤差の低減が今後の課題となる。

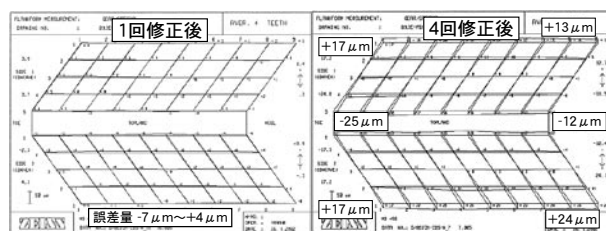


図25 加工修正システム適用結果（カッタ誤差 Δ RBA=0.05mm）

図26 加工修正システム適用結果（カッタ誤差 Δ RBA=0.3mm）

8 効果

歯面形状計測から加工修正システムを開発したことで、以下の結果が得られた（表3）。

- (1) 熟練作業でなくても、歯面形状を高精度に評価できるようになった。
- (2) 狙った設計形状を高精度にかつ安定して加工できるようになった。
- (3) 歯面形状の変動要因を定量的にとらえることができ、歯面形状変動発生原因が短時間につかめるようになった。また、量産時に管理していくポイントが明確になった。
- (4) 歯面作り込みの時間が短縮できた。

表3 加工修正システムによる歯面形状修正法の効果

| | 歯当り評価による 歯面修正 | 加工修正システム による歯面修正 |
|------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 歯面形状評価 | 熟練を要し、作業によるばらつきが生じやすい | 作業によるばらつきが生じにくい |
| 狙った形状を加工できるか | できない (実績±60 μm) | できる (実績±10 μm) |
| 量産の中での形状ばらつき | 40 μm | 40 μm (カット補正により低減可能性あり) |
| 歯切盤 セッティング値 決定時間 | 24 時間 | 4 時間 |

9 おわりに

歯当り評価による定性的・試行錯誤的な歯面形状修正法から3次元データを中心にした定量的な歯面形状修正法へ移行することで、精度面・効率面ともに大きな効果を得ることができた。

今後は適用事例を増やし歯面形状精度を更に向上させると共に、生産の中での管理手法確立・工程全体での形状ばらつきの低減に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 津久井勝巳：ハイポイドギヤ歯面形状測定技術開発とデフノイズ低減への応用：日本設備管理学会誌第9巻第4号（1988）
柴田好克等：ハイポイドギヤ最適歯面設計：自動車技術会学術講演会前刷集962（1996）

著者



山口 淳



技術論文

二輪車タイヤの衝突特性解析

Crash Analysis of Motorcycle Tire

藤井 茂 Shigeru Fujii

●研究開発センター コア技術研究室

Abstract

When a motorcycle crashes, the front tire generally receives the reaction force first. And the force influences the following motion of the motorcycle and the rider. So the reaction force for the tire should be calculated with a good degree of accuracy, otherwise the evaluation of injury potential in a motorcycle crash simulation may have serious error. This paper describes the development of the FE (Finite Element) model of a tire consisting of rubber, nylon cord, aluminum rim and air. The results of the tire crash simulation using this model produced good agreement with the data from both static and dynamic experiments.

要旨

二輪車が衝突する多くの場合において、前輪タイヤが一番はじめに対象物に接し、反力を受ける。そして、タイヤが受けた力はその後の二輪車やライダーの挙動に大きな影響を与える。よって、タイヤの反力を十分な精度を持って求めることができれば、シミュレーションによってライダーの傷害の程度を予測することはできない。本論文ではゴム、ナイロンコード、アルミ製のホイール、空気内圧をできるだけ正確に表現できるように詳細なタイヤの有限要素モデルを開発した経緯について述べる。このタイヤモデルの衝突シミュレーションの結果は静的な実験、動的な実験のいずれの結果ともよく一致した。

1 はじめに

二輪車の衝突問題については衝突形態の多様性からシミュレーションモデルの活用が期待されており、近年シミュレーションの有効性を示す報告がなされている^{1, 2)}。一方、図1に見られるように衝突時の二輪車乗員の挙動は自由度が大きく、再現性が得られにくい。たとえば、二輪車の前輪が四輪車のセンターピラーに当たるかまたは外れるかの僅かな違いで二輪車及び乗員のその後の挙動は大きく異なる。従って、シミュレーションで二輪車の衝突現象を解析するためには、はじめに対象物に衝突する個所であるタイヤの衝突特性を精度良く求め



図1 二輪車対四輪車の衝突試験の様子

ることが必要不可欠であると考えられる。そこで、本研究ではリムが破損するような条件まで含めてタイヤが衝突対象物から受ける力を精度良く推定する手法を検討する。

2 解析モデル

一般的にはタイヤのFEM (Finite Element Method) モデルではホイールを剛体と見なしたり拘束点とする。しかし、実車の衝突試験にてホイールのリム部が破損する場合があることから、このような場合まで適用範囲を広げられるようにホイールのリム部もFEMモデルとした。また、ナイロンコードはモデル対象としたバイアスタイヤでの実際の配置に合わせて1層ごと1方向補強膜として表し、タイヤゴムはソリッド要素で表した。また、タイヤとホイールで囲まれる密閉されたエリアの周囲に空気圧要素³⁾を配し、圧力変動を考慮できるようにモデル化した(図2、3)。

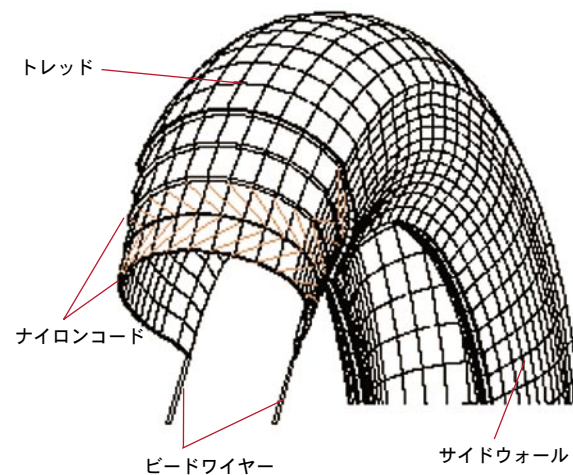


図2 タイヤの構造

2.1 リムとその周辺部のモデル

ホイールはリムの部分のみモデル化し、リムの付け根部分を全周にわたり拘束した(図3)。なお、スポークの有無で解析結果に有意の差が生じなかったため解析時間短縮のため、スポークは省略することとした。

図3で○に囲まれた部分、すなわちタイヤの下端になる面はビードワイヤーにてリムに強く押し付けられているので、リムに固着されているとした。一方、サイドウォールの外側の面とリムはすべりが生じるため接触対象面として定義した。リムの先端部周辺のタイヤは大きく変形するために、メッシュを密にした。

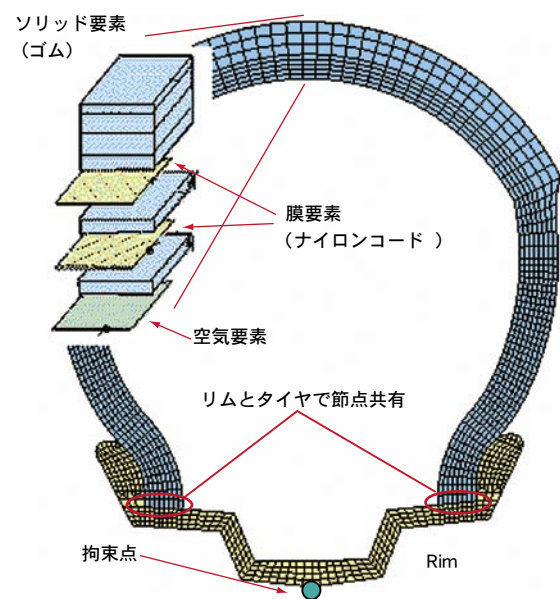


図3 タイヤのFEMモデル(断面)

リムの材料データはリムの一部から取り出したテストピースにて引張試験を行い塑性時の特性を求めた。

2.2 タイヤゴムのモデル化

タイヤゴムについては8節点のソリッド要素を用い、材料モデルについては以下の3つの仮定を採用した。

- ①材料は等方性を有する。(Neo-Hookean 形ひずみエネルギー関数を適用)

- ②材料は近似的に非圧縮である。(体積比によるエネルギー増分をひずみエネルギー関数式に追加)
③材料は粘弾性を示す。(1項のみのProny級数による等方形線形粘弾性モデルをせん断挙動に適用)
Neo-Hookean 形ひずみエネルギー関数の式 (微小圧縮性を考慮)

$$U = C_{10}(I_1 - 3) + \frac{1}{D_1}(J - 1)^2 \quad (1)$$

U : 単位体積あたりのひずみエネルギー
 C_{10} : せん断剛性に関する材料定数
 D_1 : 体積弾性に関する材料定数
 $J = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3$: 弾性体積比
 λ_i : 主ひずみ方向の伸び度
 $I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2$: ひずみ第1不変量
 $\lambda_i = \lambda_i \cdot J^{(1/3)}$

Prony 級数 (1項) によるせん断粘弾性の式

$$C_{10} = C_{10}^0(1 - g(1 - e^{-t/t_0})) \quad (2)$$

$$C_{10}^\infty = C_{10}^0(1 - g) \quad (3)$$

C_{10}^0 : 瞬時的応答時の材料定数
 C_{10}^∞ : 静的な材料定数
 g : 粘弾性の性質を示す定数
 t : 対応するひずみ増分が生じてからの時間
 t_0 : 時定数

(1)(2)(3) 式において独立な4つの定数 D_1 、 C_{10}^∞ 、 g 、 t_0 を決めることにより材料モデルが定義できる。

タイヤゴムの材料定数は下記の1軸引張試験の結果より同定した。

試験方法: JIS K6251(加硫ゴムの引張試験方法)
に準拠

試験速度: 10mm/min

試験片形状: ダンベル状 3号形

(平行部長さ20mm、幅5mm、厚さ1~2mm)

タイヤからトレッド部、サイドウォール部、カーカス部、インナーライナー部とそれぞれの部位について各5枚のテストピースを作成し、それぞれについて100%伸びまでの引張試験を行った。当初は材料モデルとしては上記に示した3つの仮定のうち粘弾性を示すという③の仮定を採用しなかった。その場合には図4に示すように小さなひずみから大きなひずみまで応力が一致するようなモデルは得ら

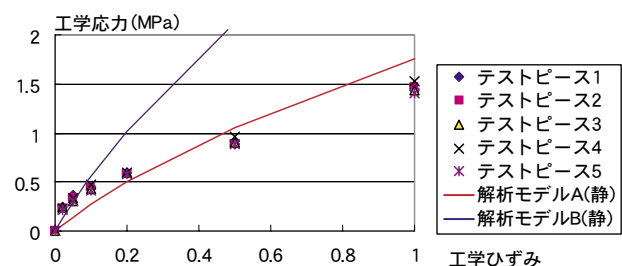


図4 材料試験結果と材料モデル応答の比較の例
(粘弾性考慮しない場合)

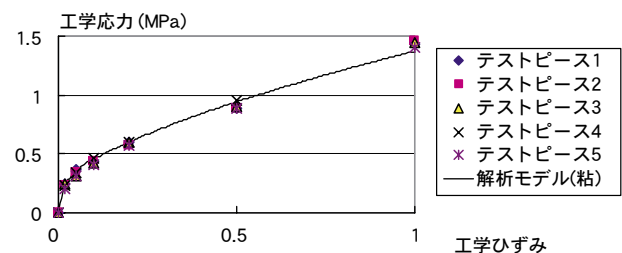


図5 材料試験結果と材料モデル応答の比較の例
(粘弾性考慮した場合)

れなかった。しかし、③の仮定を採用することにより、図5のように材料定数を同定することが可能となった（表1）。また、 D_1 については解析ソフト（ABAQUS explicit）のデフォルト値を用いた。

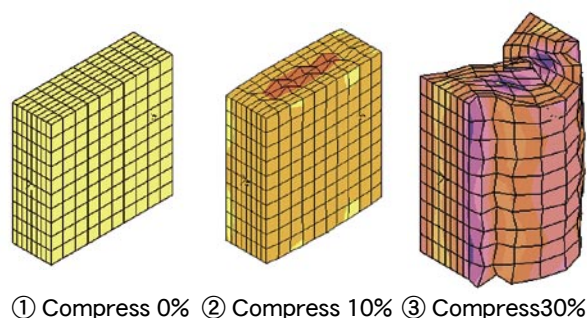
2.3 ナイロンコード特性とモデル化

ナイロンコードは繊維方向に1方向に補強された膜要素としてゴムを表すソリッド要素の間に1層ずつ配置した。ナイロンコードの強度的な役割は非線形性が強く、特に圧縮時の剛性については注意が必要である。本来は圧縮側と引張側で異なる材料特性を用いることが望ましいのであるが、用いたソフトにそのような機能がないため、ナイロンコードの剛性を線形とした。

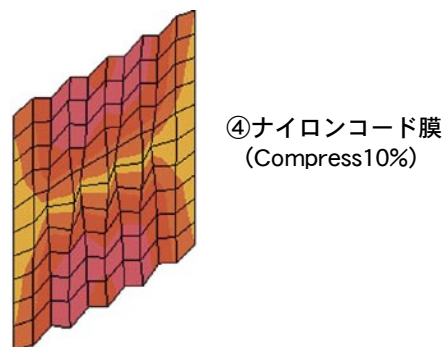
このモデル化の妥当性を検証するために図6に示すような部分モデルを利用した。この部分モデルはサイドウォールを模しており、ゴムのブロックがナイロンコードにて補強されている。このモデルを繊維方向に圧縮、引張する解析にて挙動や応力を求めた。引張りでは単に断面が小さくなりながら伸びるだけであるが、圧縮時には図6①～③に示すようになる。すなわち、圧縮力がかかると内部で膜が④のように蛇腹状に座屈し、その後③のように全体が座屈する。ナイロンコードを入れない場合と入れた場合の応力を比較すると（図7）引張時（グラフ右側）ではナイロンコードが入ることで剛性が増えるが圧縮側では差が小さい。図7を詳細に見るとナイロンコード入りのものは1%程度の圧縮ひずみまでは引張時と同様の傾きであるがそれ以上の圧縮ひずみに対してはゴムのみの場合の傾きと同程度であり、その傾きが変わる時点で膜の座屈が生じている。そして、同様の解析をメッシュをより細かくして行った場合には引張時の応答は変化しないが、圧縮時の応力はゴムのみの場合に近づく。このような現象が生じるため、充分細かいメッシュを作成すればナイロンコードの剛性を線形としてもゴムブロックと組み合わせたモデルでは実際に近い挙動を示すことが推定される。

表1 部位ごとの材料定数

| 部位 | 材料定数 C_{10}^{∞} (MPa) | g | t_0 (sec) |
|----------|------------------------------------|------|----------------|
| トレッド | 0.3 | 0.9 | 2 |
| サイドウォール | 0.35 | 0.9 | 2 |
| カーカス | 0.37 | 0.85 | 2 |
| インナーライナー | 0.3 | 0.8 | 2 |



① Compress 0% ② Compress 10% ③ Compress 30%



④ナイロンコード膜
(Compress 10%)

図6 サイドウォールモデル圧縮シミュレーション

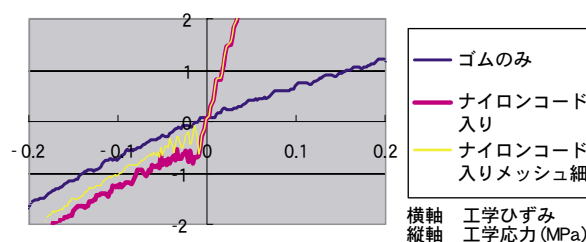


図7 サイドウォールモデル応力-ひずみ

3 解析結果と検証試験

3.1 静荷重試験

静荷重試験（図8）では10mm/minと500mm/minの2通りの負荷速度にて試験を行った。その結果、反力はタイヤが底付きする（トレッドとサイドウォールの内面同士が接触する（図9③）ところまではほぼつぶれ量に比例して大きくなり、底付き後は急激に反力が大きくなった（図10）。また、底付き後のつぶれ量に対する反力の増加量はホイール単体で圧縮した場合の2倍ほどであった。これはホイール単体で圧縮する場合リムが容易に対象物とすべるために曲がり易いのに対して、タイヤがついている場合にはタイヤがリムの曲がりを妨げることが原因になっていると考えられる。なお、負荷速度の違いは反力の大きさに大きな影響を与えることがわかった。また、いずれの場合も破損はリムの付け根の角部に発生した。

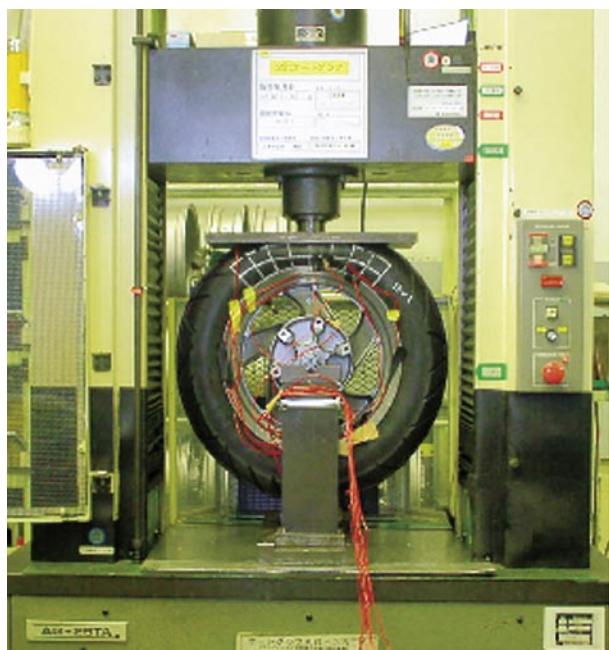


図8 静荷重試験の様子

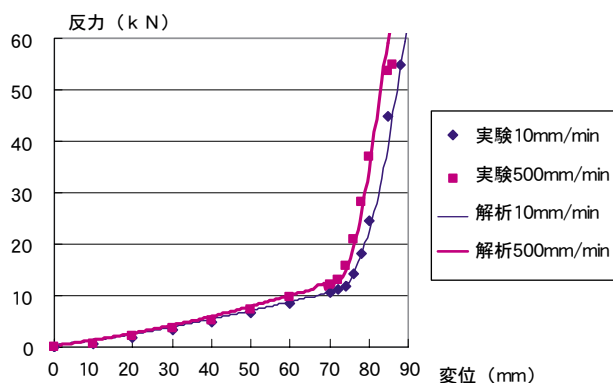


図10 反力比較（実験対解析）

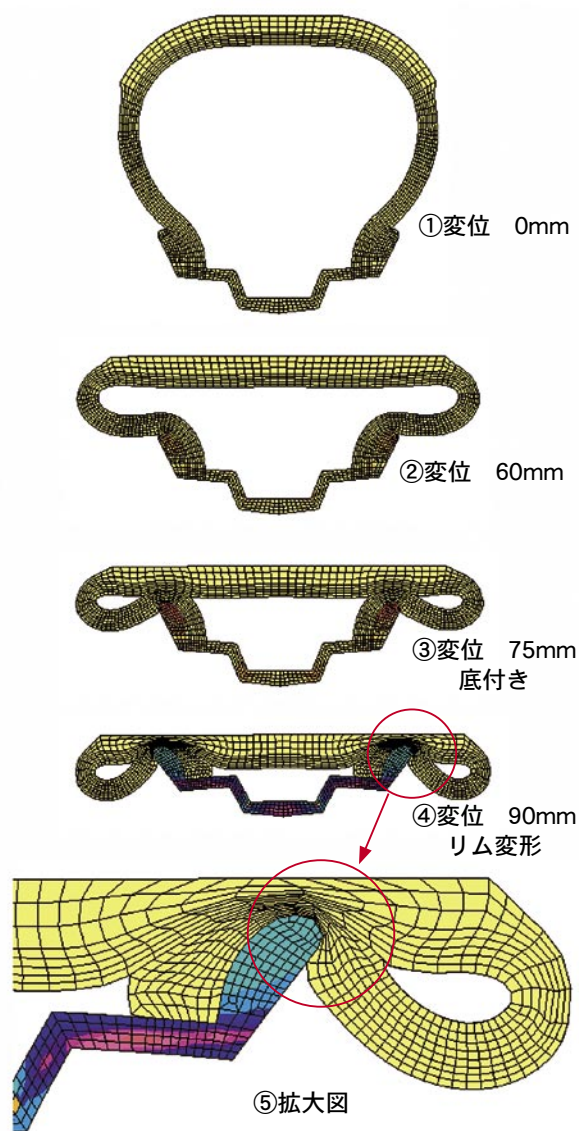


図9 解析変形状（断面図）

反力については粘弾性を考慮したタイヤゴムのモデルを用いることにより負荷速度の違いによる差も含めて再現できた（図 10）。また、変形形状の様子についてもシミュレーションで実験をほぼ再現できた（図 11、12）。なお、ナイロンコードの剛性値を低い値に変更した場合には図 13 のように折れ曲がり方が異なるものになる。

シミュレーションでは図 9 ⑤の○で囲まれた部分の要素形状が潰れ、かつ、ゆがむために ADAPTIVE MESH 法³⁾を用いている。また、図 12 の○で囲まれた部分はアワグラスモード変形が発生し易いためにアワグラス制御が必要である。

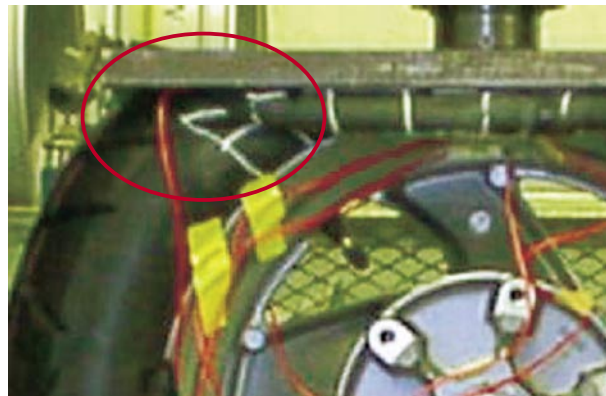


図 11 静荷重試験時圧縮変形形状

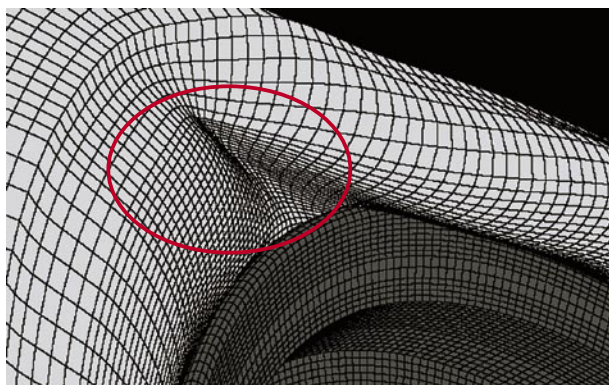


図 12 解析変形形状

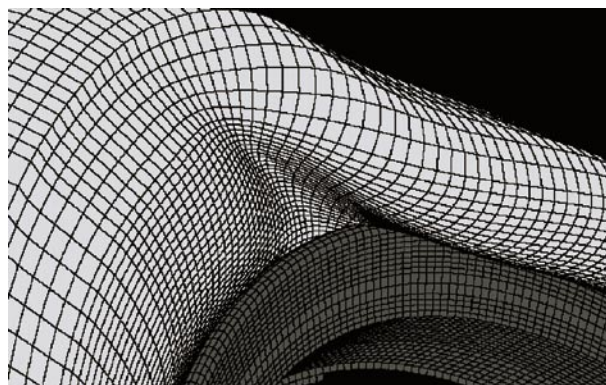


図 13 解析変形形状（ナイロンコード剛性弱くしたもの）

3.2 動荷重試験

静荷重試験では負荷速度のオーダーが、想定される2輪車の衝突速度と違うので、より実際に近い条件にてシミュレーションモデルを検証するために落下試験を行った。

80kg ほどの錘を高さ 25cm ～ 3m までの6段階の高さより自由落下させて固定したタイヤに衝突させ、その際の挙動や反力を計測した（図 14）。なお、高さ 3m の場合はホイールの破片が飛び散り、用いた試験設備においては危険であることがわかり、1度しかデータを取れなかった（図 15）。一方、高さ 2m からの落下は3度の試験を行い確度の高いデータが取れ、かつ完全にホイールが破損するまで試験が行えたので、2m の場合の反力の結果を解析結果と比較したものを図 16 に示す。この図のようにいずれの高さからの場合でも試験結果と解析結果で反力が良く一致した。ゴムの粘弾性モデル

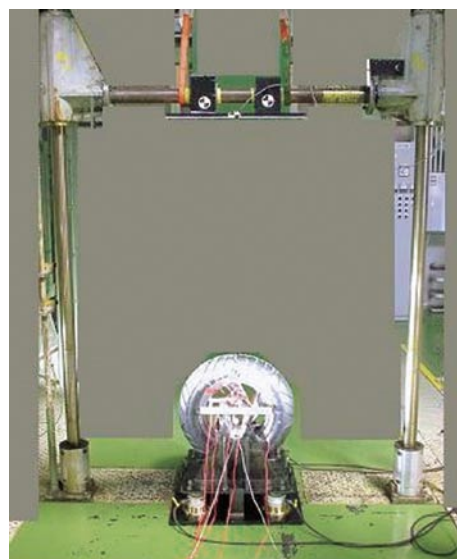


図 14 落下試験

が、この試験での速度域においても負荷速度の違いによる剛性の変化を表すことができたためと思われる。一方、アルミホイールの剛性のひずみ速度依存性については考慮しても反力に有意な差が生じなかった。

4 課題

本研究にて用いた解析モデルは節点数約30万とタイヤのみのモデルとしては非常に大きなモデルであり、現状では0.04秒のシミュレーションに約1日を要する。そのため、車体と連結したモデルでシミュレーションを行うことは非効率である。よって、解析モデルを簡略化することが必要である。

5 おわりに

本研究ではタイヤが衝突対象物から受ける力を求めることができるようにFEMモデルを作成した。静荷重試験、動荷重試験での検証結果から解析結果は十分な精度を持つことが確かめられた。

参考文献

- 1) S. Iijima, et al.: Exploratory Study of an Airbag Concept for a large touring Motorcycle, Paper No.98-S10-O-14, Sixteenth International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles(1998)
- 2) 中谷 有ほか：二輪車衝突コンピュータシミュレーション手法に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.104-01-152(2001)
- 3) Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc : ABAQUS/Explicit User's Manual(ver6.2) (2001)

著者



藤井 茂

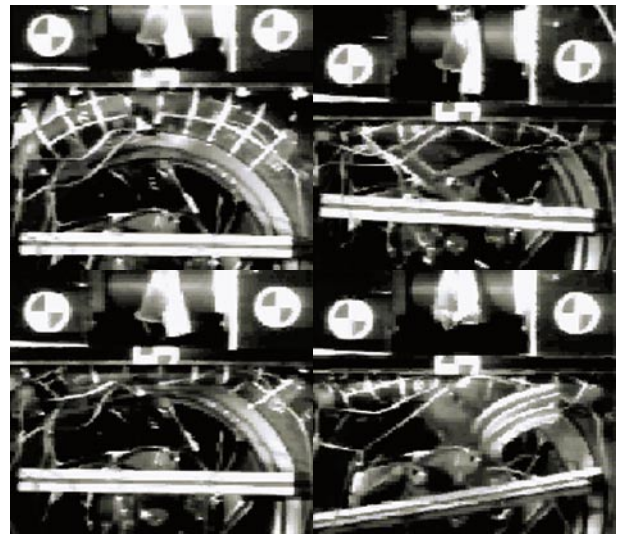


図 15 落下試験 ホイール破壊の様子
(高さ 3 m からの落下)

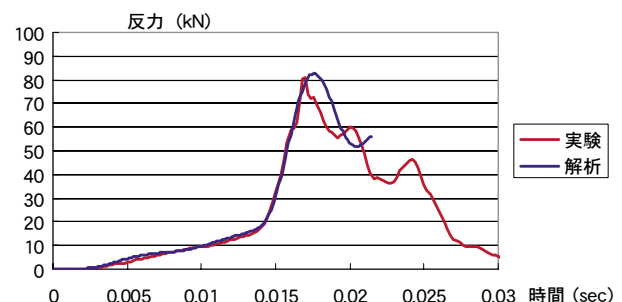


図 16 落下試験反力比較 (2 m からの落下)

先日、ニュース番組で流れた、驚くべき赤字国債発行額に依存する国家予算の報道を、SF映画を見るように見つめてしまった。

世界を見渡せば、デフレスパイラルの中で深刻な経済情勢に喘ぐ日本と、低賃金を武器に世界の工場として躍進する中国、インドが好対照に見えてくる。おそらくUSも資本主義の旗手としてその座を不動のものにしようとするだろう。

しかし、不安定要因が多々ある世界情勢の中でも物作りのグローバル化は大きな潮流であり、技術者達は、頭をうなだれるか、新たなチャレンジに踏み出すかの分岐点に立たされているのが今日の姿ではないだろうか。

まさに、新たなチャレンジスピリットの発揮と同時に、問題点を先送りせず責任を持って迅速に対処していくマネジメント能力が問われる時代が到来している。

一方、個人主義思想が徹底したヨーロッパや北米に比較して、ITは普及しても今もってカラオケに例えられる自己満足文化に依存し、真のコミュニケーションによる自己表現よりも、単純な要求願望に終始する「くれない族」としての姿が今日の日本のネガティブな一面ではないだろうか。

そのような我々を取り巻く環境を念頭に、今回の技報テーマである「海外開発 / 海外生産」を改めて見ると、数々の困難を克服して今日に至った技術チャレンジの大きな足跡を感じずにはいられない。

ソクラテスは「考えない人生は生きるに値しない」と言ったが、我々には、顔を上げ、成功を確信して、考え、行動するポジティブなチャレンジスピリットが今まさに必要であると思う。

(小柳 智義)

この技報が第35号となり、18年目を数えることになりました。これまでの記事の件数は、一昨年は14～15、昨年は23～24件でありました。今回は34件の記事で、これまでにない多くの原稿が集まり、編集事務局一同は、大変嬉しい悲鳴を上げました。ご投稿くださいました方々に厚くお礼申し上げます。

さて、ある高僧の言葉に、「急ぐな 休むな 夢を追え」とあります。現代の時勢を洞察した言葉と思います。また、有名な心理学者ユングは、「夢を見、夢を追いかける人には幸せがやってくる」と言っています。

いまや歴史的な大転換の時代にあって、発想の転換と新しい理念をもっていきたいものであります。特に技術にたずさわる者は、絶えず「地上の星」を追求していると言っても過言ではありません。私達は、夢を追いかけて、これを成功に導くべく果敢に挑戦していきたいものです。そして、その情報交換の場、創発の場としても、この技報を活用していただければ幸甚に存じます。

(平野 雅久)

ヤマハ発動機 技報 第35号

印刷
発行
発行所
発行人
編集委員長
編集委員

デザイン
翻訳
事務局

印刷所
お問い合わせ
ホームページ

2003年2月28日

2003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

山下 隆一 代表取締役副社長

平野 雅久 研究開発C、企画推進室

鈴木 篤 AM第1技術室 設計グループ

鈴木 晴久 GEM企画統括部 生産管理室

橋本 正喜 MC事業本部 業務改革推進室

澤田 良治 ㈱モリック 技術2課

本山 雄 研究開発C、コア技術研究室

小柳 智義 MEカンパニー WV技術統括室

小野 惣一 創輝㈱ 技術開発室

岡本 琴路 ㈱スタジオコバ

唐沢 幸子 玄㈱

田村 力 法務・知財C、知財戦略G

三浦 正明 研究開発C、企画推進室

㈱スタジオコバ 〒437-1196 静岡県磐田郡浅羽町松原2455-2

研究開発C、企画推進室 TEL 0538-32-1171

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

YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW

木宮 祐三 IMカンパニー 技術チーム

望月 範久 MC事業本部 技術管理室

鈴木 昭彦 スカイ事業部 技術開発室

鈴木 隆 ㈱ワイ・イー・シー 開発企画室

松下 行男 ヤマハマリン㈱ 第1技術部

村松 康幸 新事業推進部 浄水器事業室

中村 和郎 特機開発室

藤田 嘉久 研究開発C、企画推進室

ヤマハ発動機 技報

CD-ROM

ご使用方法

【収録技報】

- 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）。



文中にある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