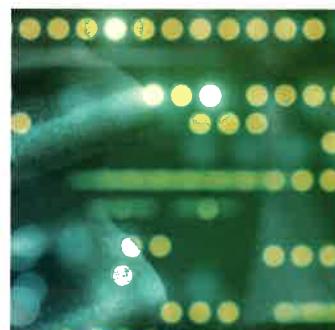


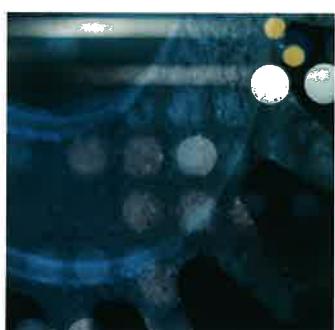
# YAMAHA MOTOR

## TECHNICAL REVIEW

ヤマハ発動機 技報



**2012  
No.48**



# CONTENTS

ヤマハ発動機 技報

2012  
No.48

## ▶ 卷頭言

1

### 我々が目指す「モノ創り」とは!

The "Monozukuri" We Aim For

黒元 敏則

## ▶ 技術紹介

4

### 介護予防型車両「らいふ・ウォーカー」の開発

Development of the "Life Walker" preventative-care vehicle

松本 智仁 鈴木 修一 市川 誠 池谷 吉紀 伊藤 智一 岩口 優也

## ▶ 製品紹介

8

### 2013年モデル FJR1300A/AS

The 2013 model FJR1300A/AS

森 秀市

13

### ポリス仕様モーターサイクルの開発および製品の紹介

Police specification motorcycle development and product introductions

小杉 圭 永田 一

17

### 2013モデル スポーツATV YFM700R(RAPTOR700)

The 2013 model sport type ATV YFM700R (RAPTOR700)

松浦 達也 日高 史博 太田 啓二郎 藤井 隆

21

### 2013モデル スノーモービル VK540IV

2013 model snowmobile "VK540IV"

中野 太久二 大石 直幸 窪田 隆彦 輪石 隆太 村嵩 篤 宮崎 政直 小倉 幸太郎  
天野 忍 伊東 俊幸 辻 陽介 白石 健太 高橋 優輔

28

### AL115i Mio J

AL115i Mio J

赤尾 拓也 神ノ門 裕之 櫻井 仁

33

### 女性向けスポーティアシスト自転車 PAS Vienta の開発

Development of the PAS Vienta sporty electrically power assisted bicycle for women

野澤 伸治郎 佐々木 孝文 長網 大輔

39

### 新サービスツール(YAMAHA DIAGNOSTIC TOOL)開発

Development of a new service tool, the "YAMAHA DIAGNOSTIC TOOL"

杉山 雄一 伊藤 幸夫 橋本 茂喜 花倉 靖 大津 典大 古川 泉 山谷 正貴

大城 郡二 設樂 尚希

- 44 **高速多関節ロボット(パラレルリンク機構)の開発**  
**Development of a high-speed multi-joint (parallel link construction) robot**  
 平野 晓史 富田 佳成
- 49 **フィッシングボート YF-24**  
**The YF-24 Fishing Boat**  
 武富 大海 杉山 紘史
- 53 **フィッシングボート SR-X**  
**Fishing Boat SR-X**  
 佐竹 秀紀 太田 淳司 西澤 孝平 小野寺 廉
- 58 **スポーツボート新19ft.「AR/SX190」の開発**  
**Development of the new 19-ft. AR190/SX190 Sport Boats**  
 逸見 恭彦 太田 延治 高島 純広 宮下 祐司 児島 慎平

## ▶ 技術論文

- 63 **二輪車の低速ウィーブモードとスラローム走行の関連調査**  
**Investigating the relationship of motorcycle weave mode at low speeds and slalom running**  
 岸 知昭 藤井 茂 内山 俊文
- 71 **自動二輪車ライダーの操縦技量定量化に関する基礎検討**  
**Fundamental Study on the Quantification of the Riding Skills of Motorcycle Riders**  
 森島 圭祐 大本 浩司
- 81 **人を検出するステレオ画像認識システム**  
**A Stereo Vision System for Human Detection**  
 吉田 瞳 山崎 章弘
- 87 **Influence of Injection and Flame Propagation on Combustion in  
 Motorcycle Engine**  
**– Investigation by Visualization Technique –**  
 Miki Yumoto Kazuhiro Goto Shouichi Kato Minoru Iida
- 103 **チタンとステンレスの異材接合工法研究と生産への導入**  
**Research for a dissimilar-material fastening method for joining titanium and stainless steel  
 and its deployment in manufacturing**  
 中島 智之 新間 敬也 塩野 由紀



卷頭言

## 我々が目指す「モノ創り」とは!

The “*Monozukuri*” We Aim For

黒元 敏則

Recently, we hear more news about the difficulties that the major industries like home electronics and automobiles, etc., and the major companies that have powered the Japanese economy for so long are now encountering in the world markets. Prior to the “Lehman Shock” of 2008, these companies had continued to grow in Japan and around the world, boosted by strong international markets and were yielding shining business results. It is truly surprising how dramatically things have changed in such a short time.

The main reasons cited for the troubled situations they have fallen into include the sudden change in currency exchange rate marked by the appreciation of the yen and the corresponding loss of cost competitiveness it has brought, and factors like the gap in the speed of decision-making and corporate business promotions. However, regarding the approach these companies took in adapting to and developing markets in the rapidly growing emerging countries' economies, the big dissociation and sometimes alienation that existed between the Japanese corporations and the markets and customers of the emerging countries led to a sizable delay in adapting to and developing these markets compared to their competitors. This is an undeniable factor connected to their current struggles and one of many other aspects that we at Yamaha Motor have to consider as a Japanese manufacturer in the same boat.

Ever since Yamaha Motor's founding, we have continued to create a great variety of products through our ongoing efforts in technological innovation and these products have been distributed to markets around the world. They are used and loved by customers as means of transportation and as necessities that help people make their living. This is thanks to ongoing efforts to adapt the products to each market and develop new markets, and in the process make lives more fulfilling for people all over the world. However, we cannot deny the fact that the recent developments in our surroundings, such as the sudden changes in the scales of markets, changes in the environmental awareness of societies at large, changes in the value customers demand and changes in competition, etc., are proceeding at rates far quicker than we ever anticipated.

In the motorcycle markets, we have seen rapid growth and expansion in the ASEAN nations, China, India, Central and South America and other emerging markets, especially since 2000, and the contrasting economic troubles and decline in demand in the developed markets. These trends have brought big changes to our own proud tradition of “*monozukuri*,” our Japanese word for the process and philosophy we bring to the engineering, manufacturing and marketing of our products. I believe these changes have brought us to a point in time where each and every Yamaha engineer and technician must think and question whether or not we have truly been able to (1) use our technology to innovate, build and supply products and services that meet the rapidly changing needs of society, the markets and the customers and (2) respond to the high expectations that society, the markets and the customers have in the Yamaha brand. This is a time when we must step back and consider exactly what type of “*monozukuri*” we should be striving for as engineers and technicians.

In the growth markets where the demand for motorcycles is expanding rapidly, there are still many use

environments and use conditions that we haven't grasped fully. Although at first glance it appears that there is increasing diversity in the types of technology needed, the value of the products supplied and the levels of quality involved, I believe that the essence of what we are expected to provide is the technology to be able to continue to create the basic functions, value and quality that all motorcycles must have, and that this technology is something universal applying to both the emerging and mature markets. The difference lies in how we ourselves continue technological innovation in pursuit of this essence, how we apply the results to each market, category and customer group and what technologies we use to effectively create the basic motorcycle functions and value we bring to them. And I believe that the key to solving the critical issue we face in development of both cost performance and quality in the growth markets is our approach to and the speed of our diligent and ongoing pursuit of this essential technology.

In the field of manufacturing, implementation of "theoretical-value-based production" is already in progress and with it the full pursuit of similar practices in manufacturing operations in our factories both here in Japan and abroad. In the area of engineering, reforms to cost development and process development are underway to bring about technological development that pursues essential value. Furthermore, company-wide measures are now commencing in the area of design as an effective vehicle that gives expression and visual form to this essential value. With these elements in place, I firmly believe that the "*monozukuri*" we aim for is one where engineering and manufacturing are engaged in a thorough and diligent pursuit of essential value, where the results of that pursuit are speedily applied and visualized through a communicative, unified design in all our products and services. This is the "*monozukuri*" that will enable us to continue bringing essential value to society, the markets and the customers.

最近、永く日本経済を引っ張ってきた家電・自動車等の日本の主要産業・主要企業が世界市場で苦戦している情報を耳にする機会が増えています。2008年末のリーマンショック前までは、好調な世界経済にも支えられ、日本および世界市場で成長し、輝き続けていた企業がこのように短期間で急激に変化する様は、ただただ驚かされるばかりです。

苦戦に陥った主な原因としては、急激な円高基調の為替によるコスト競争力の相対的な低下、意思決定を含めた事業推進のスピードの差などと言われていますが、特に成長著しい新興国市場での市場適合・市場開拓の考え方において、日本企業と市場・顧客との間に大きな乖離が有り、競合先に対して市場適合・開拓が大きく遅れたことが、新興国市場での現在の苦戦の原因の一つとなっている事実は、同じ日本の製造業に携わる身としても、考えさせられるものがあります。

創業以来、私達が技術革新を続け、創り出してきた多種多様な製品は全世界に出荷され、生活の足として、生活の糧・必需品として、市場適合・市場開拓を繰り返し、また生活を豊かにする商品として、現在も世界中で愛用され続けていますが、昨今の我々を取り巻く状況も、市場規模の急激な変化、社会全体の環境意識の変化、顧客の要求価値の変化、競合の変化等、我々の推測を遥かに超えるレベルで進んできているのも事実です。

モーターサイクルの市場においても、特に2000年以降はASEAN、中国、インド、中南米等、新興国市場の急激な成長・拡大、また成熟市場の景気停滞・需要低迷等に伴い、我々自身の「モノ創り」も大きく変化してきました。一方

で、このように急激に変化してきた社会・市場・顧客に対して、私達は持てる技術を駆使して、商品・サービスを提供し続け、かつ社会・市場・顧客からの高い期待に応えるべく、技術革新を進めることができたのか、今一度我々が目指す「モノ創り」を技術者自身が考える時期に来ていると考えています。

モーターサイクルの市場が急激に拡大している成長市場においては、私達が把握できていない使用環境、使用実態も多々あり、求められる技術・提供価値・品質も一見多様化しているように見えますが、求められているモノの本質は、全てモーターサイクルの基本機能・価値・品質を創出し続ける技術であり、これは新興国市場、成熟市場ともに普遍のものと考えています。異なるのは、私達自身が本質を追究する技術革新を継続し、その結果を私達自身が、いかに市場・カテゴリー・顧客ごとに展開していくのか、どのような技術を基本機能・提供価値として活用していくのかということです。現在、私達にとって大きな課題となっている成長市場でのコスト開発・品質開発も、鍵となるのは本質を徹底的に追究し続ける技術の取り組みとスピードであると考えています。

製造では「理論値」生産への取り組みが既に開始されて、製造の本質を徹底的に追究する試みが、海外含めて展開されつつあります。また、技術ではコスト開発、プロセス開発の改革を行い、本質価値を徹底的に追究する技術開発が動き始めています。更に、このような本質価値を表現・可視化するのがデザインであり、私達が目指すべき「モノ創り」とは、技術・製造が本質価値を徹底的に追究して、そこから得られた本質価値をいち早くスピードを持って、商品・サービス等を通して可視化し、社会・市場・顧客に提供し続けていくことだと考えます。

## ■著者



**黒元 敏則**

Toshinori Kuromoto

執行役員



# 技術紹介

## 介護予防型車両「らいふ・ウォーカー」の開発

Development of the "Life Walker" preventative-care vehicle

松本智仁 鈴木修一 市川誠 池谷吉紀 伊藤智一 岩口倫也



図1 介護予防車両「らいふ・ウォーカー」

### Abstract

It has been some time since awareness of the aging of society began to spread in Japan. Currently, the number of people in Japan officially registered as requiring "Long-Term Care" (needing support) has reached five million, and forecasts predict that this aging of society will only accelerate in the future. (Fig. 2)

In response to this rapid aging of the population, the government enacted a "Long-term Care Insurance System" in the year 2000 that is supported by the entire population through taxation. However, the demand for nursing care continued to grow at a rate far exceeding initial forecasts and, as a result, amendments were made to the Long-term Care Insurance Act in April 2006 that reflected a change in policy toward preventative care. Under the new system, 1.3 million frail elderly, designated as Tokuteikoureisha (a person of age 65 or over who requires long-term care), have become recipients of preventative care.

In response to this trend and with the aim of acquiring new technology that could contribute to the aging society, Yamaha Motor Engineering Co., Ltd. undertook research and development of a new type of vehicle that would be applicable for preventative care for the elderly. Applying Yamaha Motor's know-how in vehicle chassis, drive systems and electronic control systems from motorcycle development, etc., the "Life Walker" preventative care vehicle was developed. Here we report on this development project.

### 1 はじめに

わが国において高齢化が叫ばれはじめてから久しい。そして現在要介護(要支援)認定者は500万人に達し、今後もこの高齢化の流れは加速すると予測される(図2)。

急速な高齢化に対し、平成12年度から国民全体で支え合う保険システムとして介護保険制度が施行されたが、介護ニーズは予想をはるかに上回る増加を続け、平成18年4月には介護保険法の一部改正により、「特定高齢者」と呼ばれる虚

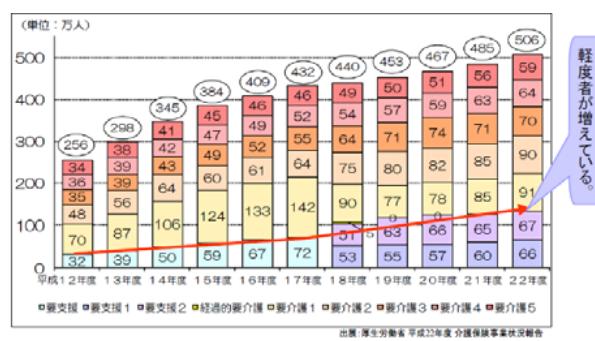


図2 要介護(要支援)認定者数



## 技術紹介

弱高齢者130万人に対し、予防重視型への政策転換を図る方針が示された。

のことからヤマハモーターエンジニアリング株式会社(以下、当社)は、高齢化社会に貢献できる技術習得のため、モーターサイクル開発等で培った車体、駆動、制御技術などを応用し、介護予防に対応する新たな車両「らいふ・ウォーカー」を研究車両として開発したので紹介する。

## 2 開発の狙い

日常生活で杖を使うなど、足腰に軽度の障害を持った高齢者の方々が外出移動に利用するハンドル型車いす(電動カート)は有用ではあるが、筋力や運動機能の向上にはつながらない。そこで高齢者や病後の方々が、電動の力を借り、軽く自力でペダルを動かすことにより、本人の行動半径を拡げ、かつ体力の維持向上、運動機能の回復等につなげたいという新しい発想から、介護サービスを受けなくとも長く健康でいていただぐため、また疾病で歩行障害となられた方の早期リハビリに利用していただくため、「らいふ・ウォーカー」を企画した(図3)。

## こんな方に提供できる機器としたい！

- 腕力(握力)・脚力が弱い
- バランス感覚が衰えた
- 膝が痛くて上がらない
- 軽度の障害がある  
(自力で歩けるが、かなりの歩行困難)



運動能力向上に役に立つ乗り物

図3 企画概要

## 3 「らいふ・ウォーカー」の特徴

「らいふ・ウォーカー」は、ハンドル型電動車いすの特徴である利便性、操縦安定性を継承しつつ、残された脚力の維持、向上を目的とし、当社独自の技術を応用したアシスト式自転車型ペダルを装備した。また、握力の低下した高齢者の使用を想定し、ペダル回転および車速に連動した自動制動装置、自動駐車ブレーキを装備することにより、傾斜地での乗降安定性の確保やペダル走行時の速度超過抑制を容易にする車両とした(図4)。



図4 フィーチャーマップ

## 4 車体概要

### 4-1. JISハンドル型電動車いすに準拠

本車両はペダリング機能とモータ走行を兼ね備えた新しい乗り物ではあるが、寸法諸元、走行安定性、装備などJISハンドル型電動車いすに準拠して設計・開発を進めた。また、さまざまな環境での走行性能を確認するため、型式認定を取得し、実際の介護施設でのモニタを実施した。

### 4-2. 軽量アルミフレーム採用

小柄な高齢者でも乗り降りしやすい低床形状とし、取り扱い性に優れた軽量アルミフレームを採用した(図5)。



図5 低床フレーム

### 4-3. 体格対応性

最大体重75kgまでを許容する強度や身長149~175cmまで対応可能なサドル調整機構を設けた。高齢者だけでなく身体障害のある児童の需要を考慮し、児童による実機検証を

実施し、身長116cmの児童まで対応可能であることを確認した(図6)。

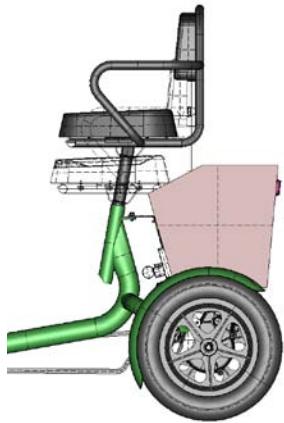


図6 シート調整範囲

#### 4-4. タイヤ

メンテナンスフリー化を目指し、異物貫通、リム打ちが無いノーパンクタイヤを装着した。

#### 4-5. キャリヤ

日常生活において頻繁に利用していただけるよう、食料品等の買い物が搭載可能な前部に耐荷重1kg、後部には耐荷重10kgの大型のキャリヤを設置した。また積載物が走行安定性に有利に作用するよう位置、高さを決定した。

### 5 駆動系概要

#### 5-1. ペダル周り

この車両の最大の特徴はペダル操作によってアシスト走行することだが、ペダル操作に対する走行制御のためには、ペダル踏力、ペダルを漕ぐ回転数、回転方向などの検出が必要であった。これらの検出のために、ペダル踏み込みトルク確認用に電動アシスト自転車のトルクセンサに加え、ペダル回転数、回転方向を検知する2個の近接センサをペダルユニットに搭載した。

高齢者が使用することを前提として、乗車の際のフレーム跨ぎ越し性を向上させるべく、2段掛けチェーンレイアウトを採用した。このレイアウトの結果、チェーンラインをフレームよりも低い位置まで下げる事ができた。

ペダルクランクは幼児車両用のものを流用することにより、ペダルを漕ぐ際のひざの曲げ角を抑え、ひざへの負担を減らすようにしている(図7)。

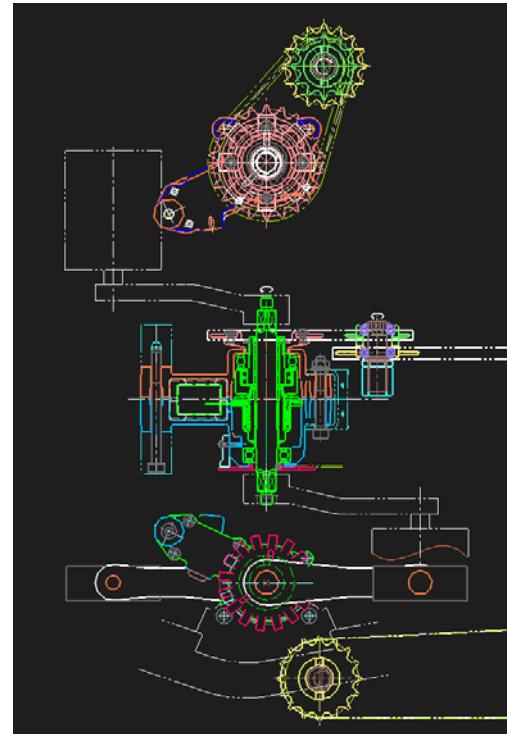


図7 ペダル周り

### 6 制動系統概要

制動部の構成としては、手動ブレーキ、駐車ブレーキ、駐車ブレーキ解除機構の3機能を一体としたユニットを車両後輪左右に取り付けている(図8)。

後輪軸上に平歯車を追加して軸回転数を増速することにより、電磁ブレーキを小型化し消費電力を半減した。

また、この増速による軸オフセットを利用して、機能部品をオフセット側軸に配置する際、ユニット取り付け部を極力薄くし小型化した事により、車体への取り付け自由度を向上させた。

ユニットの構成部品は、組み立て方法のみで左右の使い分けを行えるよう共通化している。



図8 制動系装置



## 7 制御系概要

### 7-1. アシスト走行とフル電動走行

車両の走行制御において、ペダル踏力検知によるアシスト走行とフル電動スロットルレバー操作によるフル電動走行を両立し、違和感の無いスムーズな走行制御機能を実現している。アシスト走行は、介護施設などにおいて高齢者による試乗評価をいただき、平地や坂道もスムーズに操作できるように改善を進めた。ペダル踏力や回転数など複合した信号処理から、ペダルを違和感無く踏むことにより、走行を開始する。また、自転車と異なり、狭い通路やエレベータ内での出し入れのために後進走行機能があり、誤操作を考慮して後進スイッチとペダル逆回転操作を感知した場合にのみ可動するようになっている(図9)。

### 7-2. ブレーキ制御

平地や坂道での登り下りにおいては、走行速度を監視しており、時速6km以上出ないように速度制限している。ペダル回転操作やフル電動スロットルレバー操作を止めると、電磁ブレーキが働きその場で車両が停止保持される。坂道や段差など過度な傾斜を感知すると、警告音で異常を知らせる。壁や障害物に当たった場合や過負荷な状態が継続すると、警告音を出し異常を知らせて車両を停止保持する。ブレーキ機能には手動と自動の2種があり、手動ではブレーキレバー操作を検出、また自動ではペダル操作やフル電動スロットルレバーが解除されると、電動モータにより滑らかに減速して停止する(図9)。

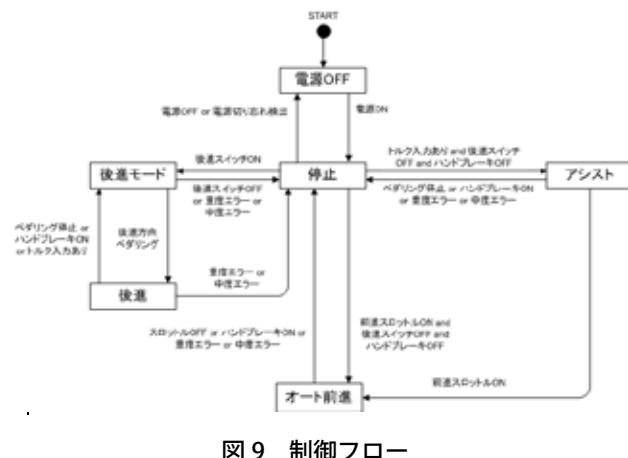


図 9 制御フロー

## 8 おわりに

介護予防型車両「らいふ・ウォーカー」は、快適移動と体力維持向上の両立という高齢化社会に対する技術命題に、ひとつの答えを示すことができたと確信している。

今後は、想定ユーザーへの介護予防効果検証へ研究を前進させ、さらなる独自技術の開発を進めていく。また、新たな開発課題として、片麻痺障害のリハビリにも対応できる操作性向上や構造の簡素化等による軽量化、製作コスト低減があり、より良い車両作りを目指し、たゆまぬ改良を進めていきたいと考える。

最後に、「らいふ・ウォーカー」の開発にあたり、情熱を持ち多大なご協力をくださった日光市役所をはじめとする関係者各位に深く感謝する。

※本車両は2012年10月現在製品化されていません。

### ■著者



松本 智仁  
Satoshi Matsumoto  
ヤマハモーターエンジニアリング株式会社  
事業推進部



鈴木 修一  
Shuichi Suzuki  
ヤマハモーターエンジニアリング株式会社  
電装制御部



市川 誠  
Makoto Ichikawa  
ヤマハモーターエンジニアリング株式会社  
事業推進部



池谷 吉紀  
Yoshinori Ikeya  
ヤマハモーターエンジニアリング株式会社  
事業推進部



伊藤 智一  
Tomokazu Itou  
ヤマハモーターエンジニアリング株式会社  
電装制御部



岩口 倫也  
Michiya Iwaguchi  
ヤマハモーターエンジニアリング株式会社  
電装制御部



# 2013年モデル FJR1300A/AS

## The 2013 model FJR1300A/AS

### 製品紹介

森秀市



図1 2013年モデル FJR1300AS

#### Abstract

The original FJR1300 was first unveiled at the 2000 INTERMOT show and then launched on the European market in 2001. As a “Cross-Europe tourer” designed to handle ten days of tandem riding over 3,000 km in comfort with its silky smooth and torquey engine characteristics, high-speed (expressway) touring performance, plenty of features and equipment and its agile handling performance, the FJR1300 won a strong following and gave birth to a new category referred to as “Sport GT” or “Sport Tourer” motorcycles. The FJR1300 continued to mature with the addition of ABS (Antilock Brake System) in 2003 and an exterior restyling, adoption of a Unified Brake System and more in 2006. The deluxe FJR1300AS model also featured Yamaha’s YCC-S (Yamaha Chip Controlled Shift) system. Through this process of evolution, the FJR1300A/AS have won strong support in the market as the “pioneers of the sport tourer category.” The 2013 model FJR1300A/AS we introduce here is the first model change in seven years. Featuring the latest Yamaha electronic control technology, fresh new styling and more, this is a model designed and engineered to meet the expectations of customers who have been waiting for the next evolution of the FJR.

#### 1 はじめに

2000年のインターモトでデビューしたFJR1300は、翌2001年より欧州に導入された。「欧州横断ツアラー」として二人乗りで10日間のべ3,000kmのツーリングに対応できるシルキーかつトルクフルなエンジン特性、高速巡航性、充実した装備に加え、俊敏な運動性能を併せ持つキャラクターが高く支持され、「スポーツGT」や「スポーツツアラー」と呼ばれる新カテゴリーを作り出した。2003年にはABS(Antilock Brake System)を追加搭載し、2006年には外観を一新し、さらにユニファイドブレーキシステム等を採用し熟成させた。また上級機種のFJR1300ASには、YCC-S(Yamaha Chip Controlled Shift)を織り込んだ。このような進化の中で、FJR1300A/ASは、

“スポーツツアラーのパイオニア”として根強い支持を得てきた。

ここで紹介する2013年モデルFJR1300A/ASは7年ぶりのモデルチェンジであり、当社最新電子制御技術の投入と外観リフレッシュ等により、「進化したFJR」を待ち望むお客様の期待に応えるものである。

#### 2 開発の狙い

2013年モデルFJR1300A/ASは、お客様満足度の向上を目指し、付加価値向上による“FJRブランドの維持・熟成”をコンセプトに企画・開発した。開発の狙いは、下記の通りである。



図2 フィーチャーマップ

- ① 燃料供給系から足周りまで総合的な熟成を図ることによる、走りの楽しさ・操る喜びを感じられるスポーツ性能の進化
- ② ツアラー機能・装備の充実によるツーリングシーンでの快適性、利便性の向上
- ③ フロント周りの外観変更による“進化の視覚化”と、フラッグシップモデルとしての存在感の強調

### 3 エンジン関連の特徴(変更点)

#### 3-1. 直メッキシリンダ採用エンジン

シリンダは、ライナレス設計の直メッキシリンダを採用した。直メッキシリンダは、ライナ部を省略できるため、優れた放熱性が得られるものである。なお、新シリンダに合わせ、ピストンリング(トップ、セカンド)も張力を調整し、摺動抵抗の低減も図っている。

#### 3-2. 優れたドライバビリティを引き出す YCC-T(Yamaha Chip Controlled Throttle)

スロットルバルブ駆動には、YCC-Tを採用した。YCC-Tでは、ライダーのスロットルグリップ操作を検知したECUユニットが最適なスロットルバルブ開度を瞬時に演算し、モータ駆動でスロットルバルブを作動させることで、吸入空気量をキメ細かく調整することが可能となる。また、ファンネル形状、エキゾーストパイプ形状や管長も変更するなど、燃料供給系から排気系までを総合的に最適化した(図3)。エンジン出力は2.0kW向上し、“スムーズなスロットルレスポンス”や“力強いパワーセンス”を感じさせる優れたドライバビリティも引き出している。

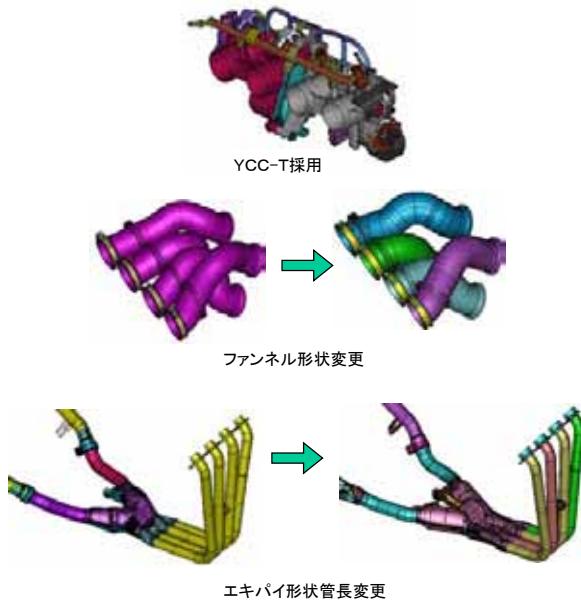


図3 エンジン吸気系～排気系主要変更部位

#### 3-3. クルーズコントロール

高速、長距離ツーリングにおける快適性向上を図る“クルーズコントロール”を採用した。クルーズコントロールは、一定速度での巡航を可能にするもので、左側ハンドルスイッチのセット操作により、その時点での速度を維持できるようECUユニットがYCC-Tを制御する。本モデルでは、3～5速ギヤ状態で50km/h以上でセットできる設定とした。

クルーズコントロールセット後の速度の昇降は、スイッチのワンプッシュ操作で2km/h単位、押し続けることで連続昇降させることができる。キャンセルは、ブレーキ操作、クラッチ操作、スロットルグリップ操作等、複数の操作系から行うことができる。一度キャンセルした後でも、再び直前の設定速度に戻



して定速走行できる“レジューム機能(スイッチ操作)”も備えている。

### 3-4. トラクションコントロールシステム(TCS)

濡れた路面や未舗装路等で、滑らかな発進性を実現するトラクションコントロールシステム(TCS)を採用した。後輪のスピン傾向が検知された時、点火時期・燃料噴射量・スロットル開度(YCC-T)を統合制御し、滑らかな発進・走行が可能となる。路面状況やライダーの好みに応じて、ON/OFF選択が可能である。

### 3-5. YAMAHA D-MODE(走行モード切替システム)

“YAMAHA D-MODE”を採用した。スロットルバルブを電子制御するYCC-Tの構造を有効活用したシステムであり、走行環境やライダーの好みにより、2モードの選択が可能である。

Tモード:長距離ツーリングや市街地での扱い易さを重視したモード

Sモード:パワー感・スポーティな走行フィーリング・操る喜びを楽しめるモード

### 3-6. 基本性能の向上および“STOP MODE”機能採用のYCC-S(Yamaha Chip Controlled Shift)(FJR1300AS)

クラッチ操作を全て電子制御により自動化し、クラッチ操作が不要となるYCC-Sの制御方法を刷新した。本モデルで採用したYCC-Tと連携させ、スロットル開度(=エンジン回転数)を次のギヤに合わせる等の制御により、変速時間を約30%短縮でき、変速フィーリングもよりスムーズなものとしている(図4)。

YCC-Sの新機構として、“STOP MODE”機能を採用した。これは、低速から停止までの間で、車速・エンジン回転数・使用ギヤの情報を検知して自動的にシフトダウンし、停止時には1速となる機能である(例:5速ギヤで走行中に減速した場合、29km/h以下で自動的にシフトダウン)。これにより、停止の際に1速までのシフトダウン操作が不要となる。またライダーの好みにより、ハンドルスイッチの操作でON/OFF選択ができるようにした。

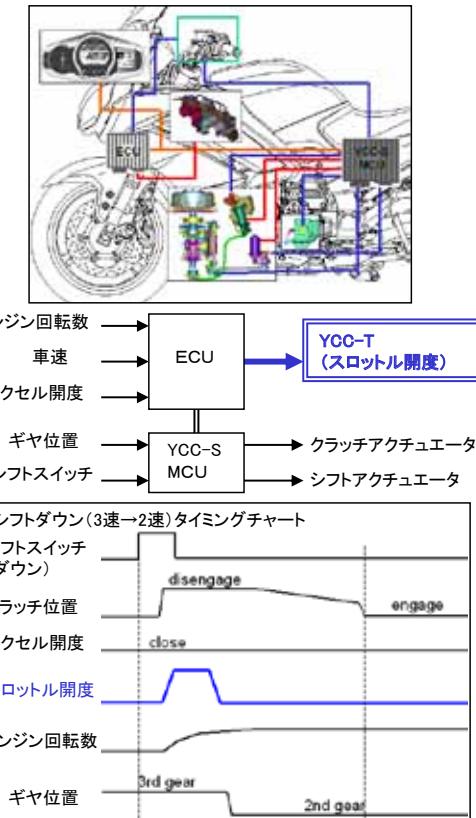


図4 YCC-S/T 連携制御概要



図5 センターダクト

## 4 ボディ関連の特徴(変更点)

### 4-1. ウィンドプロテクション

フロント周りの外装変更により、ボディの前面投影面積を微増させながら、CdA値(空気抵抗)は現行モデル同等を維持し、空力性能と優れたウィンドプロテクションによる快適性を

両立した。

センターダクトのエア取り込み口と出口側の形状を新設計し、エア排出は、メータパネルの上側からスクリーンに沿った流れとし、エア排出量の最適化を図った。これにより、スクリー

ン位置が高い設定においても、高速走行時の負圧によるライダー負荷や、ターピュランスによる身体の振られを低減し、快適な空間を作り出している(図5)。

スクリーン位置の電動調整機構は、構造変更により約900gを軽量化するとともにスクリーン昇降速度を倍増させている。

#### 4-2. フロントフォークとリヤサスペンション(FJR1300A)

フロントフォークはアルミ製ピストンロッド、アルミ製プランジャー等の採用と内部構造の変更により約140g軽量化した。フロント、リヤともに減衰特性とスプリングレートを変更し、走行中の車両姿勢を最適化した。新銘柄のラジアルタイヤの採用とあいまって、様々な走行シーンでの快適な乗り心地と素直なハンドリングを実現した。また、2名乗車および荷物積載時の乗り心地の向上も図っている。

#### 4-3. 電動調整サスペンション(FJR1300AS)

電動調整サスペンションを採用し、走行条件・状況変化・ライダーの好みに合わせたサスペンション調整の利便性を向上させた。調整はハンドルスイッチの操作により、メータのドットマトリックス表示を確認しながら素早く簡便に行うことが可能である(図6、7)。

荷重設定は、「1人乗り」「1人乗り+荷物」「2人乗り」「2人乗り+荷物」の4種から選択できる。この中で、それぞれ「ソフト」「スタンダード」「ハード」の減衰力が選択でき、好みに応じて微調整も可能としている。各選択による調整は「フロントの減衰力」「リヤのイニシャル・減衰力」を統合的にバランスさせている。

この電動調整サスペンションの機能を実現するため、左右独立減衰力機構を備える倒立式フロントフォークを採用した。左右独立減衰力機構とは、圧側減衰を左側フォーク、伸側減衰を右側フォークで発生させる方式で、当社を代表するスポーツモデルYZF-R1への採用実績がある。倒立式サスペンションは車体剛性に寄与し、車体剛性に合わせた新銘柄のラジアルタイヤ、リヤサスペンションのリンク特性変更(プログレッシブ特性)などの相乗効果により、剛性感のあるスポーティなハンドリングに仕上がっている。

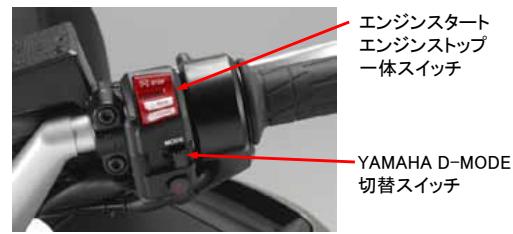
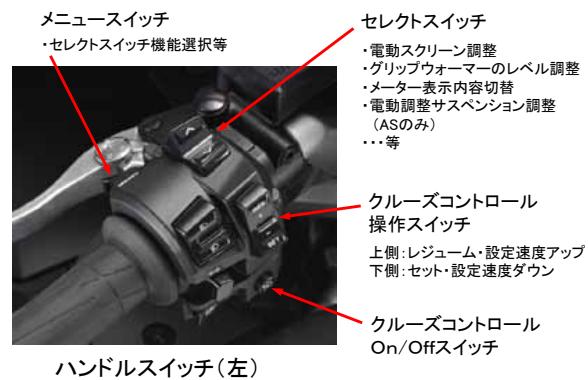
#### 4-4. 多彩な機能を簡便に操作できるハンドルスイッチ

多彩な機能を簡便にかつ総合的に操作するハンドルスイッチを採用した。グリップウォーマーの温度調整、電動スクリーン昇降、メータ表示内容切替、電動調整サスペンション調整など、各種操作や調整が容易にできる多機能スイッチとした。エ

ンジンストップスイッチとエンジンスタートスイッチも当社初の一體式を採用している(図6)。

#### 4-5. 多機能ドットマトリクス表示を備える3連メータ

新デザインメータを採用した。左から①アナログ式タコメータ、②デジタル式速度計、③ドットマトリクスディスプレイが並



ハンドルスイッチ(右)

図6 ハンドルスイッチ

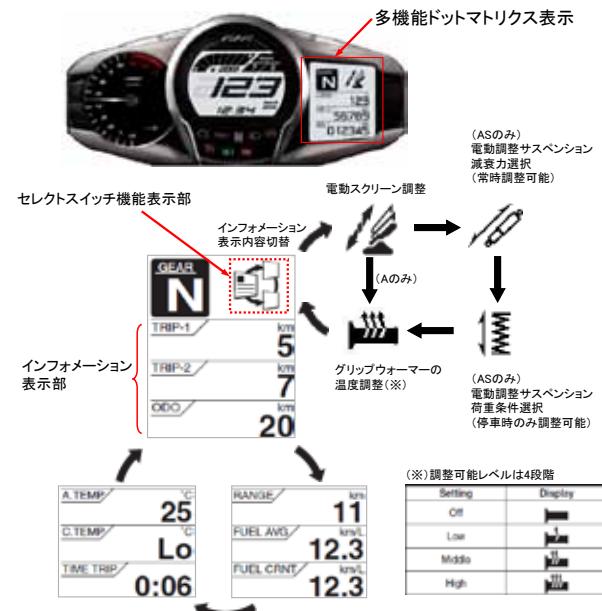


図7 多機能ドットマトリクス表示内容

ぶ3連構造としている。右側のドットマトリックス表示は、多機能表示が特徴であり、さまざまなマシン状況や走行データを表示する。ライダーの好みや使用実態に合わせ、表示内容のカスタマイズも可能となっている(図7)。

#### 4-6. メインスタンド

メインスタンドは、リンクのピボット位置など細部の仕様変更から、操作荷重を約30%低減し、操作性を向上させた。

### 5 デザイン関連の特徴

#### 5-1. FJRの新スタイル

“スポーツツツアラー”コンセプトを継承、進化させるために外装デザインを一新した。ヘッドライト、スクリーン、フロントアッパー＆フロントアンダーカウル全般においてFJRデザインのブラッシュアップを図り、よりアグレッシブさを強調した。

特にアッパーカウル中央のエアインテーク部は、走行風を積極的に吸い込み、その流れを制御して快適な空間を作り出す機能を備え、その役割を鮮明に示すデザインとした。

一方、アンダーカウルの上側部ラインへは、マシンが前方に向に飛び出すような造形“ジャンピングムーブメント”を織り込み、スポーツツツアラーという個性を視覚的にも表現した(図8)。

#### 5-2. “ジャンピングムーブメント”をさらに印象づける LEDフラッシュ

フロントのフラッシュライトにはLEDを採用した。レンズ面はフロントアクスル方向を向かせつつ、フラッシュライト本体をアンダーカウルに埋め込み、構成ラインをカウル全体の造形とバランスさせた。これにより、新しいアンダーカウルの“ジャンピングムーブメント”的印象を、さらに強調させた(図8)。



図8 FJRの新スタイル

#### 5-3. ヤマハスポーツのVI シャープな2眼ヘッドライト

シャープな2眼ヘッドライトは、1998年型YZF-R1に競合他社に先駆けて採用して以降、当社スポーツバイクのVI(Visual Identity)を担うものである。本モデルでは従来型の2眼ヘッドライトをさらに進化させ、力強さのある2眼ヘッドライトを新デザインにて採用した。ヘッドライトの下側アイライン部はポジションランプとなっており、片側3個ずつのLEDランプを配した。点灯時は、光りが拡散するようカットしたレンズとリフレクターにより、ヘッドライトの下側がアイライン状に輝き、個性と高級感を演出している(図9)。



図9 アイライン状に輝く LED ポジションランプ

### 6 おわりに

本モデルには、「ライダーの感性に響くモーターサイクルを創る」という当社のモノ作りの企業風土が色濃く反映されている。スペックや電子系フィーチャーだけでなく、実際に乗って感じる「乗り味」の飛躍的な進化を実現できたと確信しており、多くのお客様に「体感」していただくことを期待している。

#### ■著者



森 秀市

Shuichi Mori

MC事業本部

第2事業部

車両開発部



# 製品紹介

## ポリス仕様モーターサイクルの開発および 製品の紹介

Police specification motorcycle development and product introductions

小杉圭 永田一



図1 2013 モデル FJR1300AP

### Abstract

Yamaha Motor Engineering Co., Ltd. has been developing police specification motorcycles for the Japanese and overseas markets since the FZ750P (released in 1987).

Currently, Yamaha Motor markets a lineup of four police specification motorcycles, the FJR1300AP (Fig. 1), XJ900P, XJ6SAP (Fig. 2) and XV250P, all on a CBU basis. The annual wholesale total for these four motorcycles together is around 1,000 units.

The main destinations for these police motorcycles are numerous countries in Europe, Oceania, Asia, the Middle East, Africa and Central and South America. To build "absolute trust in the Yamaha brand," work has been underway to create a comprehensive business system that brings together sales, service, the Yamaha Motor group's overseas bases and the development teams to offer (1) machine specifications that best meet police-use needs in each country, (2) thoroughly established service systems at the overseas bases, (3) riding educational support for police users through the Yamaha Riding Academy (YRA) and more.

In this report, we introduce Yamaha police motorcycles with a particular focus on the key words of "product development."

### 1 はじめに

ヤマハモーターエンジニアリング株式会社(以下、当社)では、FZ750P(1987年)以来、国内外向けのポリスバイク開発を手掛けている。

現在、ヤマハ発動機のCBUモデルラインナップとしては、4機種 FJR1300AP(図1)、XJ900P、XJ6SAP(図2)、XV250Pが販売されており、4機種トータルでの年間出荷台数は1,000台前後となっている。

主な納入先は、欧州、大洋州、アジア、中東、アフリカ、中



図2 2012 モデル XJ6SAP



南米と、多くの国々で受け入れられている。「各国警務用途にマッチした車両仕様」、「海外拠点のサービス体制の充実」、「ヤマハライディングアカデミー(YRA)によるポリスユーザーへのライディング教育サポート」など、営業、サービス、海外拠点、開発が一体となってビジネスの作り込みを行っており、多くの国々のポリスユーザーに対する「YAMAHAブランドへの絶対的な信頼づくり」へつながっている。

本稿では特に開発をキーワードとして、ポリスバイクの紹介をする。

## 2 ポリスバイク開発への当社の関わり

ヤマハ発動機からの設計委託業務から始まった当社のポリスバイク開発であったが、現在では、ポリス専用車両の開発企画の策定から設計、評価までの開発全般を担当している。ポリスを含む特務車両は、一般向け車両とは異なり、納入先ごとに仕様要求が様々であり、入札方式という販売特性上、生産量の安定化が難しい環境にある。量産を前提とするヤマハ発動機での開発、生産に適さないことから、当社が開発および生産準備を委託されるようになった。このような環境のもと、各国ポリスの市場運用情報を積極的に収集し、蓄積してきたことが、当社の開発の強みとなっている。更に事業収益を基に、市場のニーズを捉えた次期モデルの先行検討も行い、ヤマハ発動機へのモデル提案を行うまでになってきている。

## 3 ポリスバイクの仕様検討の特徴

ポリスバイクは納入先の用途に応じ、警察からの要求、あるいは指定する専用装備の追加改装を、現地にて行うケースが多い。日本から出荷する車両の仕様決定においては、現地での追加改装を想定し、その作業をなるべく少なくすることで、品質の均一化や改装経費を低減することが重要となり、ヤマハ発動機の工場生産に取り込む部分を増やすことがポイントとなる。そのため、開発構想時点で、積極的に営業部門や海外拠点とコンタクトを取り、情報収集を行い、ヤマハ発動機の工場生産に対応可能な設計アレンジを行うようしている。例えば、フランス市場で活躍しているポリスバイク(FJR1300AP)では、導入初期には無線機用のハーネスやポリス専用サスペンションなど、多くの部分がヤマハモーターフランス(YMF)による現地対応となっていた。

そこで、当社設計者がYMFの対応内容の実地調査を重ね、各部の仕様について工場生産に織り込む分を増やし、改装経費の低減を推進している(図3、4)。



図3 フランス国家警察パレード (FJR1300AP)



図4 フランス警察エスコート (FJR1300AP)

## 4 ポリスバイク開発の狙い

市街地警ら、高速取り締まり、街中での交通整理、パレードでのエスコートなど、ポリスバイクは納入先ごとで用途に差があり、ベースとする車両や装備の仕様も多様である。そのような中、乗務する隊員から信頼を得ることは大変重要であり、信頼獲得に向けた基本的な開発の狙いとして、1)装備重量の増加に対する操縦安定性や取り回し、機動性の悪化がない 2)長時間乗務でも疲労が少ない快適性 3)ポリス専用電装装備に対する発電量や蓄電量の向上などがある。

## 5 開発のポイント、ベース車両選定

警務用途に則した専用装備の追加が必要で、ベース車両のポテンシャルを維持しながら、それらの機能を成立させることが開発のポイントとなる。また、イニシャルコスト、ランニングコストなどの管理面での優位性を持たせることも考慮すべきポイントである。

入札評価判定においては、実運用面での評価も重視される

ことから、ポリス車両独特のハードな運用に対する評価や、装備の操作に対する現場隊員の細かな要求も市場情報として収集し、機能改善にも注意を払っている。

ベース車両の選定では、無線機や携行用具などの積載に向け、大型のパニアケースやリヤキャリヤの装着が可能であること、長時間の使用で疲労が少ない乗車姿勢やプロテクション機能を有することなどに重点が置かれるため、ツアラー系のモデルを選定することが基本となる。また、昨今の警察当局の要望から、ABS装着の車両をベースとする場合が多く、欧州ではさらにトラクションコントロールの装備を要求する国も出てきている。

## 6 専用装備の開発

専用装備の開発においては、台数規模が小さいことから、要求機能を集約し、部品共用化を高めることがポイントとなる。例えば、サイドケースやハイスク린は、アクセサリ部品との共用化を図り、仕様と数量の集約を行っている。できるだけ多くの市場情報を得るよう努めているが、日本にいながらにして、各国警察隊員の意見を入手することは困難でもあり、今後さらに強化したい部分である。以下より、主なポリス専用の仕様、装備品とポイントを記す。

### 6-1. ライディングポジション

疲労軽減、視界確保など、アップライトな乗車姿勢が求められるため、アップハンドルや、乗車姿勢変更によるシート形状の調整を行っている。

### 6-2. ウィンドプロテクション機能

ライディングポジションと同様に、高速移動での疲労軽減、無線機使用時に走行風による雑音を抑止する目的でハイスク린の装着をしている(図5)。



図5 ウィンドプロテクション機能検証

### 6-3. フロントガード、リヤガード

万一の横転時に、車両を保護するためのガードを装着するが、特にフロントガードは、サイレンのステーを兼ねることとなり全幅が広くなる。そのため、狭路での機動性の悪化や、バンク角を阻害しないよう、保護機能とのバランスを取ってパイプワークのレイアウトを行っている。多くの場合、ガードなどポリス専用装備の取付構造はベースとなる車両では考慮されていないため、効率的な構造の選定や、ベース車両側に悪影響が出ないような剛性バランスの取り方に工夫が必要となる(図6)。

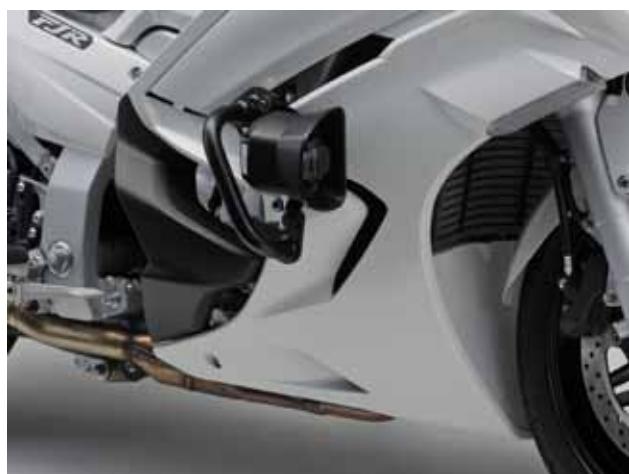


図6 フロントガード&サイレン

### 6-4. パニアケース/ラジオボックス

パニアケースは、リッドの開き方についても警察ごとに細かく要求される場合があり、現在は車種ごとに異なるが、アクセサリ部品と共に横開きケースと、ポリス用に専用開発した上開きケースを設定している。

無線機を搭載するラジオボックスについては現地警察当局で準備する場合もあるが、FJR1300APでは欧州各国の無線機サイズを調査し、車両デザインと一体化させた専用のラジオボックスを開発し装備している。これらの装着により車両後部の重量が増加するため、モデルによってはリヤフレームに補強を追加する場合もある(図7、8)。

### 6-5. 操縦安定性の確保

車両後部への積載量増加により、操安性能、特にハンドルシミーが発生し易くなるため、装着タイヤの選定等を慎重に行っている。更にベース車両によっては、主にポリスユースでの重量増加に適したサスペンションのセッティング開発を行っている。



図7 パニアケース



図9 パトロールランプ



図8 ラジオボックス



図10 リヤポール パトロールランプ

#### 6-6. パトロールランプ、サイレン、スピーカー

パトロールランプ、サイレンは、各国警察で要求仕様が異なるため、日本を出荷する時点で標準装備する場合と、現地で選択し対応できるよう、配線や操作スイッチのみを装備する場合がある。パトロールランプについては、海外では青色ランプが主流で、LEDタイプ採用が増えているが、依然として安価なバルブ式のものを求める国もある(図9、10)。

## 7 おわりに

ヤマハポリスバイクは欧州、大洋州、アジア、中近東、アフリカなど世界の各国で警察官の職務遂行パートナーとして日夜活躍している。

最近では、新興国における治安維持のために、ポリスバイクの役割は重要になってきている。世界の人々に安心して快適な生活を提供することに一役を担う商品であることを意識し、世界のポリスユースにベストマッチする車両造りに向け、企画・開発力をより高めていく所存である。

#### ■著者



左から

#### 小杉 圭

Kei Kosugi

ヤマハモーターエンジニアリング株式会社  
事業推進部

#### 永田 一

Hajime Nagata

ヤマハモーターエンジニアリング株式会社  
事業推進部

# 製品紹介

## 2013 モデル スポーツ ATV

### YFM700R(RAPTOR700)

The 2013 model sport type ATV YFM700R (RAPTOR700)

松浦 達也 日高 史博 太田 啓二郎 藤井 隆



図1 車輛外観

#### Abstract

Since its release by Yamaha Motor (hereafter “the Company”) in 2005, the YFM700R (RAPTOR 700R) has been the top-end model in the Company's RAPTOR sport ATV series. From beginners to veteran riders, it has won popular approval from a wide range of users for being easy-to-control and for its high level of performance. It also achieved a solid position from a sales standpoint. However, the overall trend in ATV sales in recent years has been one where, even though the desire to ride remains strong among customers, factors such as the rise in retail cost and stricter credit examinations in the largest ATV market, the United States, have made it difficult for potential customers to make purchases.

In light of these market conditions, the Company took the opportunity of the shift of production to an overseas base to review the old model's specifications and succeeded in addressing current customer needs by releasing a new model with a retail price reduction of \$700 (YFM700R (RAPTOR700): Retail price \$7,699) compared to the previous year's model without compromising on basic performance specifications. As the driving force behind the sport ATV category, one of the Company's strongest areas, this model continues to offer a riding experience not found in the products of other makers. Here, we provide an outline of this achievement.

#### 1 はじめに

ヤマハ発動機(以下、当社)のYFM700R(RAPTOR 700R以下、旧モデル)は2005年の発売以降、当社スポーツATV「RAPTOR」シリーズのトップエンドモデルとして、扱い易さとパフォーマンスの高さが、ビギナーからベテランまで幅広いお客様に好評を博し、販売面においても確固たる地位を築いている。しかし、近年のスポーツATV販売全般の傾向として、お客様の乗車マインドは旺盛であるものの、小売価格の上昇やメイン市場であるアメリカ合衆国でのクレジット審査の厳格

化が、お客様の購入障壁となっているのが現状である。

このような市場環境を背景に、基本性能は維持しながらも、海外工場への生産移管を機に仕様を見直し、前年モデル比小売価格△\$700(YFM700R(RAPTOR700):販売価格\$7,699以下、本モデル)を実現し、お客様のニーズに応えるモデルとして発売する運びとなった。当社の強み領域であるスポーツATVカテゴリーにおける牽引役として、引き続き他社にない世界観を具現化している。ここにその概要を紹介する。図1に本モデルの外観を示す。



## 2 開発の狙い

旧モデルの顧客調査を基に「エンジン性能」「信頼性」「快適性」を維持向上させつつ、「仕様見直しによる販売価格の適正化」に取り組み「顧客満足度の向上」を目指した。

旧モデルは、市場要望に応え、仕様が年々向上し、小売価格も上昇してきた。本モデルでは、販売開始当時の仕様や他機種との共用部品を採用することで、「販売価格の適正化」を狙った。

仕様見直しにより、部品単位での適正スペック化を進め、車両の軽量化や操縦性の作り込みにより、従来からの高いスポーツ性能を維持向上させることを開発の狙いとした。表1に諸元表を示す。

表1 諸元表

項目		諸元値
寸法 & 質量	全長	1845mm(72.6 in)
	全幅	1155mm(45.5 in)
	全高	1115mm(43.9 in)
	シート高	830mm(32.7 in)
	軸間距離	1280mm(50.4 in)
	最低地上高	113mm(4.4 in)
	E/G搭載部地上高	240mm(9.4 in)
	装備重量	192kg(422 lb)
	トレッド前	940mm(37.0 in)
	トレッド後	900mm(35.4 in)
原動機	最小回転半径	3.5m(138 in)
	原動機種類	Liquid cooled,4-stroke, SOHC,4valve
	総排気量	686cm <sup>3</sup>
	内径×行程	102.0 mm × 84 mm
	圧縮比	9.2:1
	始動方式	Electric starter
	潤滑方式	Dry sump
	燃料タンク容量	11L(2.9 usgal)
	点火方式	TCI
	バッテリ容量	12V 8Ah(10HR)
車体	変速機形式	Constant mesh 5-speed.forward, 1-speed.reverse
	タイヤサイズ(前)	AT21x7-10
	タイヤサイズ(後)	AT20x10-9
	制動装置形式(前)	Hydraulic single disc brake×2
	制動装置形式(後)	Hydraulic single disc brake×1
	ペイロードブレーキ形式	Mechanical type
	懸架方式(前)	Double wishbone/Independent
	懸架方式(後)	Swingarm(link.suspension)
	緩衝方式(前)	Coil spring/gas-oil damper
	緩衝方式(後)	Coil spring/gas-oil damper
電装	ヘッドライトバルブ種類	Krypton Bulb
	ヘッドライト	12V, 30/30W ×2
	ストップ/テールランプ	12V 3.9/0.5W LED

## 3 エンジン概要

本モデルのエンジン(図2)は、旧モデルの水冷4ストロークSOHC4バルブ単気筒エンジンをベースとして、エンジン性能はそのままに、コンロッド大端部BRG.仕様やシフトフォークの構造の見直しにより、軽量化と信頼性のさらなる向上を実現した。



図2 エンジン外観

## 4 車体概要

以下に「販売価格の適正化」に大きく寄与した主な仕様変更点を示す。

## 4-1. タイヤ

フロント、リヤ共にラジアル構造からバイアス構造へ変更した。

内部構造やゴム材質といった種々の要因から最適仕様を選定すると共に、トレッドパターン形状の新規開発を実施した。また、バイアス構造への変更は、バネ下重量の軽量化に大きく寄与しており、路面への接地性向上、ハンドリング追従性向上により操縦性のさらなる向上を実現した。図3にフロント、図4にリヤのトレッドパターンを示す。



図3 フロントタイヤ



図4 リヤタイヤ

#### 4-2. サスペンションユニット(フロント)

ビギーバック式ガスケットから複筒式低圧ガスケットへ変更した。

減衰力およびスプリングのバネ特性の作り込みにより、トレールコースや砂漠でのスポーツ走行に必要な快適性を確保した。図5にフロントサスペンションユニットを示す。



図5 フロントサスペンションユニット

#### 4-3. LEDインジケーター

スポーツ走行において、必要情報をより早く認識可能にするため、LCDデジタルメータから読み取り易いLEDインジケーター(図6)へ変更した。

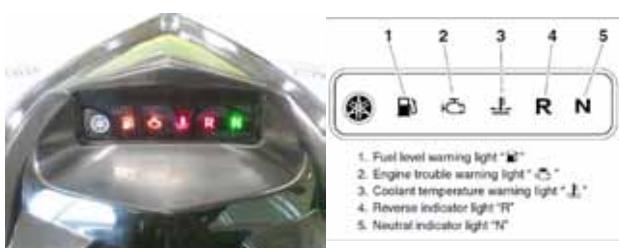


図6 LED インジケーター

#### 4-4. リヤブレーキキャリパー

1POTキャリパーから2POTキャリパー(図7)へ変更し、制動力アップとコントロール性のさらなる向上を実現した。

機能アップしつつ、パーキングブレーキのオートジャスタ機能の廃止と他機種との共用部品の採用により、販売価格の適正化にも寄与している。



図7 リヤブレーキキャリパー

#### 4-5. 外装部品(前廻り)

前廻り外装部品の新規デザインにより商品性の向上を狙った。また、膝とのクリアランスを広く確保したフロントフェンダーの新規形状により、ライダーアクションの自由度を向上させ、機能性の向上も実現した。

#### 4-6. 主要部品の内製化

フレームの溶接/塗装工程およびフェンダー類の成型を現地工場で内製化することにより、輸送費等含め販売価格の適正化に大きく寄与している。

## 5

### おわりに

関連部署の方々の協力もあり、旧モデルのスポーツ性能を維持向上させつつ、小売価格を低く抑えることができ、幅広いお客様に受け入れていただけると確信している。

今後とも市場環境の変化を十分に理解し、お客様に満足していただける商品を提供し続けていきたいと考える。最後に多大なご協力をいただいたサプライヤーの方々、YMUS<sup>注1</sup>、YMMC<sup>注2</sup>をはじめとする拠点の関係各位にお礼を申し上げる。



2013 モデル スポーツ ATV YFM700R(RAPTOR700)  
The 2013 model sport type ATV YFM700R (RAPTOR700)

注)1…YMUS

Yamaha Motor Corporation, U.S.A.

注)2…YMMC

Yamaha Motor Manufacturing Corporation of America

■著者



**松浦 達也**  
Tatsuya Matsuura  
事業開発本部  
RV事業部  
開発部



**日高 史博**  
Fumihiro Hidaka  
事業開発本部  
RV事業部  
開発部



**太田 啓二郎**  
Keijirou Oota  
事業開発本部  
RV事業部  
開発部



**藤井 隆**  
Takashi Fujii  
事業開発本部  
RV事業部  
企画推進部



# 2013 モデル スノーモービル VK540 IV

## 2013 model snowmobile "VK540 IV"

### 製品紹介

中野 太久二 大石 直幸 齋田 隆彦 輪石 隆太 村鳶 篤 宮崎 政直  
小倉 幸太郎 天野 忍 伊東 俊幸 辻 陽介 白石 健太 高橋 優輔



2013 モデル VK540 IV

#### Abstract

In recent years, world demand for new snowmobiles had been on the decline. However with the growth of the Russian market, a new trend of growth in overall demand has been seen since 2011. The precursor to the new model VK540IV we introduce here was the original VK540, launched in 1988 as Yamaha's first wide-track (indicating a continuous track with a belt over 500 mm in width) snowmobile model. The first VK series model to be introduced on the Russian market was the VK540II. Launched in 1997, the VK540II's performance and functionality as a multipurpose model and its high level of reliability proven in the Canadian and European markets, steadily established its reputation in the Russian market. Later, the VK540III was launched in 1999 as a minor-change model with increased product value. Meanwhile, as marketing efforts to develop the Yamaha snowmobile market in Russia began to bear fruit and the Russian economy continued to grow, the reputation and sales of the VK540III grew to the point where the VK540 became known as the snowmobile of choice in Russia. From the initial launch in 1988 through to 2012, some 64,500 VK540 series models have been sold around the world (Fig.1).

In this report, we discuss Yamaha's overall activities in the Russian snowmobile market as it enters its period of most active growth and introduce the new 2013 model VK540IV and the maturation it has undergone as a product.

#### 1

#### はじめに

近年、世界のスノーモービル(以下、SMB)の新車需要は、縮小傾向にあったが、ロシア市場の拡大を受け、2011年以降、総需要は増加傾向にある。ここで紹介するVK540IVの初代モデルであるVK540は、1988年に市場導入された当社初のワイドトラックモデルである(無限軌道履帯であるトラックベルトの幅が、500mm以上のものをワイドトラックモデルという)。1997年に、ロシア市場に初めて導入されたVK540 IIは、カナ

ダ、ヨーロッパで培われたマルチパーパスなSMBとしての性能、機能と高い信頼性によって、着実に市場に浸透した。その後、1999年にVK540 IIIとしてマイナーチェンジを施し、さらにその商品価値を向上させた。同時にロシアでは、市場開拓販売活動が実を結び、またロシア経済伸長の追い風を受け、VK540 IIIは拡販売を続けてきた。その結果、ロシアでは「SMB」といえば「VK540」と言われるほど浸透している。VK540シリーズの1988年から2012年の間の全世界累計生産台数は、64,500台に達している(図1)。



## VK's Total Production 1988-2012

- SNOWMOBILE is VK540 in Russia.
- Multi-purpose VK's are growing up.

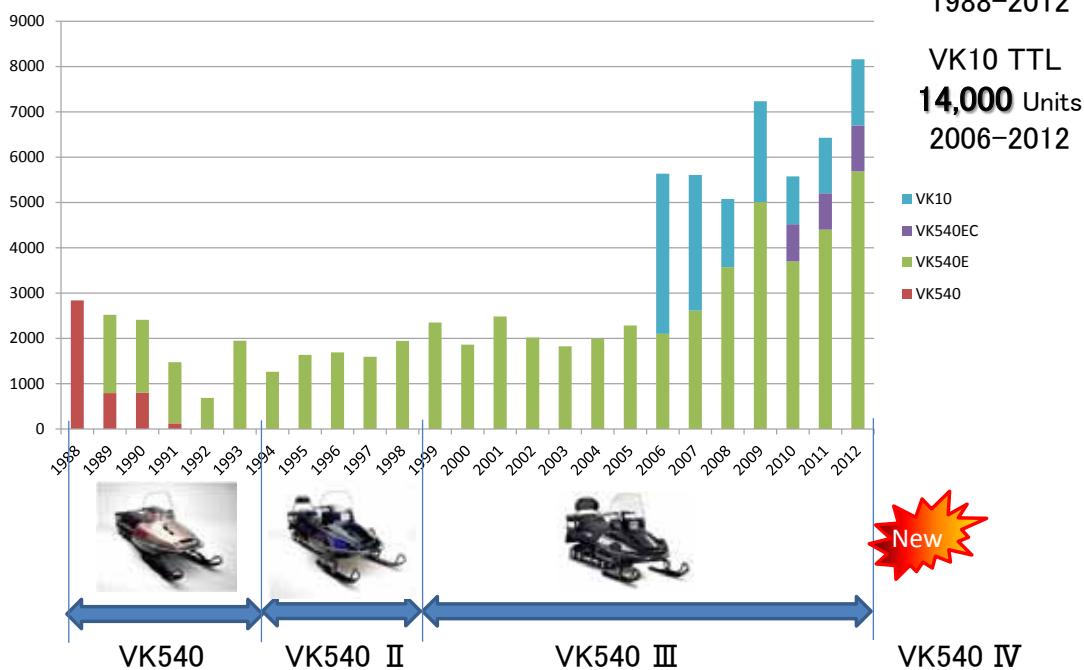


図1 VK540 生産台数推移 (RSViking Professional 含む)

本稿では、SMBの市場として活性期を迎えたロシア市場に対する諸活動とともに、成熟を図った2013年モデル「VK540 IV」について紹介する。

とから始め、ロシア市場について学んだ。市場で競合他車を一気乗りし、使用環境調査と競合の他社ベンチマークを行った。プロト車を市場で確認し、目標値の修正と仕様決定を行った。さらに、市場でユーザーと同等の使用に供して、課題を抽出し、フィーチャーの確認、課題対応案の検証も実施した。

「現場第一」を掲げ、活性化するロシア市場に正面から取り組み、商品コンセプトと目標値をクリアしつつ、ロシア市場からさらに高い信頼性を得ることを目指した。その主要諸元(表1)とフィーチャーマップ(図2)は、次の通りである。エンジン、シャーシの基本コンポーネントとロギア&リバースギア、バックレスト付きタンデムシートなど実用性に優れた装備を引き継ぎながら、新しいスキーやリヤサスペンション、トラックの採用で足まわりを強化した。より軽快なハンドリングと新深雪走破性、力強い牽引力を実現している。

## 2 開発の狙い

VK540IVでは、ロシア市場への適応力をさらに高めるマイナーチェンジを織り込むこととした。ターゲット顧客像は西部大都市圏(モスクワ、サンクトペテルブルク等)の30-40歳代を中心とした富裕層、また比較的SMB経験年数の少ない、ロシア国産雪上車/輸入中古車からの代替え層とした。

しかし、2009年の開発スタート時には、ロシア市場の情報が十分ではなかった。1999年に導入されたVK540 IIIの2011年モデルは、年間4,000台を超える販売実績があったが、この10年以上マイナーチェンジを行っていない。また当時の開発記録が十分ではなく、モデル開発目標のベクトル設定は困難であった。

そこで、商品企画起草の段階でYAMAHA MOTOR CIS LLC(ロシア販売会社YMCIS)の全面的バックアップを受け、エンジニアをロシア市場に派遣し、ユーザーと行動を共にするこ

## 3 スキーとリヤサスペンションの開発

VK540IVの使用環境条件は、気温+15°C~-35°C、雪質は氷・シャーベット・圧雪・新深雪、走路は不整地・山の斜面・凍った湖・林の中など変化に富んだ条件下での走行と、荷物



## 2013MY VK540 IV Features

## ■ Improve Deep Snow Performance



図2 フィーチャーマップ

表1 主要諸元表

名称	VK540IV
寸法	
全長(mm)	3055
全幅(mm)	1190
全高(mm)	1355
エンジン	2ストローク・2気筒・並列
冷却方式	空冷
総排気量(cm3)	535
ジボア xストローク(mm)	73.0 X 64.0
エンジン	セルスターター
点火方式	CDI
車体	
フレーム形式	モノコック
ラゲージボックス容量(リットル)	43.0
スキースタンス(mm)	960
燃料タンク容量(リットル)	31.0
オイルタンク容量(リットル)	2.5
駆動	
懸架方式 前	テレスコピックストラット
バネ方式	コイルスプリング
懸架方式 後	スライドレール式
バネ方式	コイルスプリング/トーションスプリング
トラック・長さX幅X高さ(インチ)	154 X 20 X 1.375
ブレーキ形式	機械式ディスク
リバース機構	標準装備
他	
ヘッドライト	ハロゲン 12V60W/55W X 1
乗車定員(名)	2

の牽引・ツーリング・スポーツ走行など用途も多種多様に亘っている。今回、軽量化と新深雪走行性能・牽引性能の向上を目的とし、スキー、リヤサスペンション、トラックベルト、駆動スプロケットをそれぞれ新規に開発した。

## 3-1. VK専用の新設計スキー

これまで、スノーモービル用スキーは、鉄製で幅狭のスキーから始まり、金属サドル付きの樹脂スキー、サドル一体型の樹脂スキー、新雪用ワイド樹脂スキーと進化を遂げてきた。本モデルでは、メイン市場であるロシア市場で要求の高い新深雪での走行性能を向上させるため、フローティング性能と旋回性能を重視した設計とセッティングを行い、同時に軽量化も図った。

まずスキー本体の幅を180mmから228mmに変更し、雪面との接触面積を20%拡大させた。これまでと同様の樹脂の圧縮成形では、幅の拡大がそのまま質量の増加となるため、中空成形による樹脂スキーを採用した(図3-1)。その結果、幅の拡大にもかかわらず約500gの軽量化を達成した。軽い中空成形構造を用いたスキーと新深雪にも重点を置いたサスペンションセッティングを行うことで、今までにない新深雪でのフローティング性能と走行安定性、旋回性能を実現できた。特に、新深雪での旋回では外側スキーが沈み込むことなく、適度なフローティングを保ったままシャープなハンドリングを実現し、トラバースや凹凸など不安定な路面に遭遇した場合でも、路面形状に左右されること無く思い通りのラインを走行することができる。ハンドル操作が重くなる圧雪路面でも、ボトム

形状と前部アプローチ形状を見直し、リバース走行においても同じ効果が得られるように、後部のアプローチ角度を最適化した。

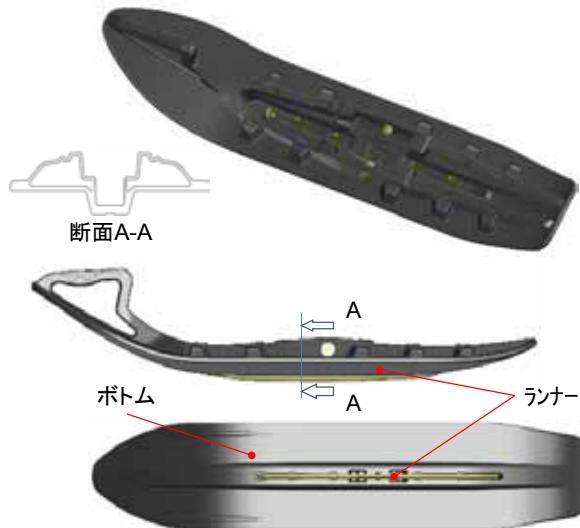


図 3-1 中空成形 樹脂スキー

### 3-2. 新設計のリヤサスペンション

スノーモービルのリヤサスペンションは、大まかにスポーツ、マウンテン、ツーリング、ユーティリティなどのカテゴリーに分かれる。リヤサスペンションの基本となる機構はそのままに、フレームスライディングの長さやリンクの配置・角度などを調整し、各カテゴリーごとに特性を設定している。また、仕向地ごとにセッティングなどを変更して、市場ニーズに合わせたバリエーション展開を行っている。

VK540IVのサスペンションは、これまで高評価を得てきたプロアクションプラスのリヤサスペンションの特徴である乗り心地の良さと牽引時の旋回性能の良さをそのままに、牽引性能そのものと新深雪走破性をより向上させるため、4サイクル車両で実績があるふたつのタイプのリヤサスペンションの基本機構を合体融合させた。ひとつはRSシリーズ用いた乗り心地が良好かつバリエーションへの対応力のある機構と、もうひとつはRFX用いた軽くてアグレッシブな基本特性の機構である。これにより市場のニーズを凌駕することができた。

リヤサスペンションの働きとして、路面からの衝撃を吸収し車両の重量配分をコントロールする以外にも、牽引や様々な雪質変化に対応しトラックベルトを適切に雪面に押さえつけ、有効なトラクションを得られるようにすることも重要な役割である。トラックベルトが駆動スプロケットから離れ雪面に接するまでの角度をアプローチアングルと呼ぶが、この角度は有効なトラクションを得るための前準備として、柔らかい新雪の雪を押し固める役割があり、推進力、浮力、トラクションを得

るための重要な要素となる。

アプローチアングルを決定する要素は、フレームスライディングの前方部曲げRと、走行時にリヤサスペンション全体の揺動角度をコントロールする揺動ストッパー機構である。新設計のリヤサスペンションでは、それぞれ実績のあるRSのフレームスライディングの前方部曲げRとRFXの揺動ストッパー機構を融合させることにより、新深雪走行性能・牽引性能の向上を図った。

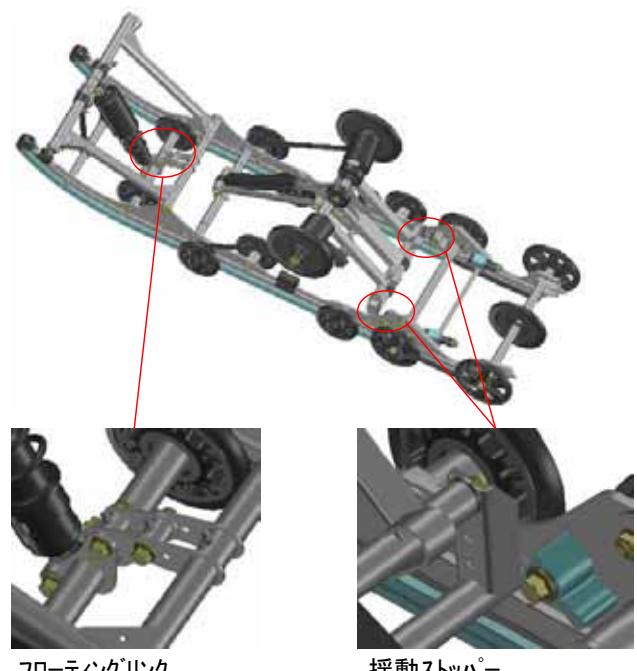


図 3-2a リヤサスペンション

2人乗りや牽引時に必要となる適切な反力は、プロアクションプラスサスペンションからトーションスプリングタイプのサスペンションに変更し、RSシリーズのセンターショック部分に用いたフローティングリンクの機構をVK540IV専用に設計することで、新深雪から圧雪路面、牽引まで幅広いシチュエーションでの対応を可能にし、乗り心地と耐底付き性の向上を実現している(図3-2a)。

リヤのフリップ機構については、現状の構造より約3度上方に角度を付けることで、通常の走行路面ではトラックベルトの後部接地面積が30%程小さくなり、ショートモデルに似た旋回性能が得られる。新深雪においては、この角度はキャンセルされ、フリップ部分を含めたトラックベルト全面でトラクションが得られるため、新作のトラックベルトとあいまって新深雪走破性は格段に向上している。また、この角度を付けることでリバース時の耐スタック性能にも効果を発揮している(図3-2b)。

新設計のリヤサスペンションは従来のプロアクションプラス・サスペンションに対して、約4,000gの質量削減を達成した。

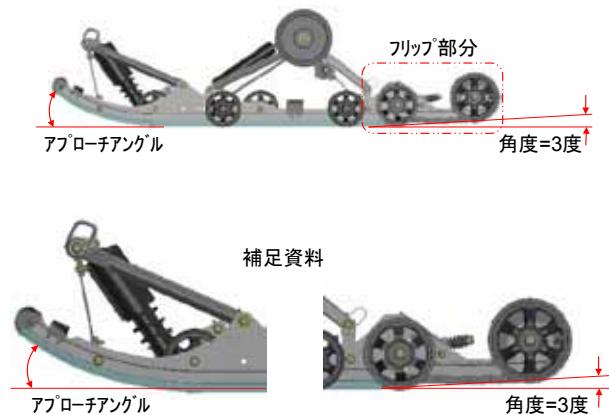


図 3-2b アプローチアングルとフリップ

サスペンションの内部応力を複雑なリンク内で処理せず、単純にフレームと地面に発散させ、シンプルな構造が実現できるトーションスプリングタイプのサスペンションを採用した。サスペンションのねじれ剛性を上げるために各リンク部材をひと回り大きい物とし、板厚など最適化を行うことで、剛性と信頼性を向上させ、リヤサスペンション全体の質量を下げることに成功した。

### 3-3. 軽量新設計のトラックベルトと エクストロバーツプロケットホイル

新深雪走行と牽引性能の向上に最も有効な手段として、トラックベルトのパターン高さを高くする方法がある。これにより、柔らかい雪上でトラクションを増加させ、新深雪走行と牽引性能の双方を向上させることができる。特に今回の1.375インチ高さはパターン剛性も高く、発生したトラクションを余すことなく牽引力に置き換えることができる。

しかし、パターン高さによってトラックベルトの質量が増すことは、車両質量の増加のみならず、回転物の質量も増え走行性能の妨げとなる。このため、トラックベルト本体部分のゴム容量を最適化し、駆動伝達と剛性部材であるロッド配列を2.52インチピッチから2.86インチピッチに変更し、8本分の質量、約1,000gの質量削減を行った。

この結果、パターン高さを9.5mm増やしたにもかかわらず、新深雪走行と牽引性能が向上し、さらに軽く回転効率の良いトラックベルトができた。パターン形状は、信頼性のあるリップソーパターンを採用した(図3-3)。

トラックベルトのロッドの配列ピッチ変更により、エンジンの駆動力をトラックベルトに伝えるための駆動スプロケットも専用設計した(図3-4)。現行の内側ラグにスプロケットホイルの突起を押し当てて駆動するインストラバート駆動と、トラックベルトのロッド間の孔に駆動スプロケットから突起を出し勘合

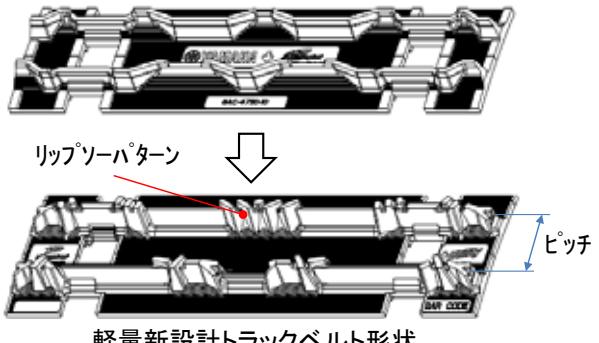


図 3-3 トラックベルト

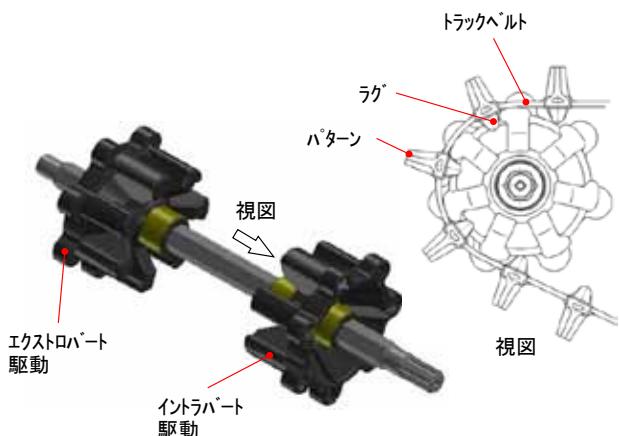


図 3-4 駆動スプロケット

させ駆動するエクストロバート方式を合体させた。これにより加速時は、適度なラグのたわみの後にロッドとホイルが勘合するため、スロットルのON/OFF操作に対してスムーズなつながりとレスポンスの良い加速感が味わえる。逆にブレーキング時は、直接トラックベルトのロッドとスプロケットホイルの突起が勘合するため、しっかりとブレーキング感がライダーに提供される。

## 4 ライダー、パッセンジャーの快適性向上

ロシア市場調査の結果を踏まえ、以下2項目を織り込むこととした。

第一に、フットステップ周りへのアンチスキッドプレート(すべり止め板)の追加をした(図4-1)。深新雪走行頻度の高いロシア市場においては、現行モデルの仕様では、ライダーのブーツホールド性が更に必要とされる場面があった。そこで、パネルフレームのフットステップ端部にアンチスキッドプレートを追加し、これによりライダーの深新雪走行時のアクティビティが改善され、よりアグレッシブな走行に対応できるように



なった。また、このアンチスキッドプレートを後方まで延長することで、ライダーのみならず、これまで、固定位置となっていたパッセンジャのフートポジションの自由度も向上させることができた。

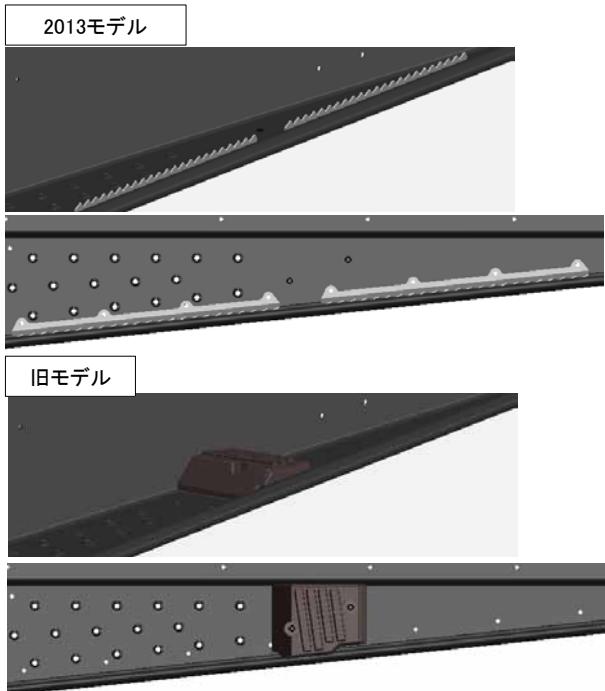


図 4-1 フートステップとアンチスキッドプレート

第二に、パッセンジャアシストグリップの変更である。グリップの持ち手位置を、エルゴノミクスを考慮し、より体重を支え易い位置に変更した。また、動的な構造解析を行うことで、現行品よりも永久変形を抑制しつつ材料硬度を下げ、適切な可動性を与えた。これにより、乗車時のグリップのホールド感の向上と、パッセンジャに掛かる衝撃を緩和できる仕様とした(図4-2)。

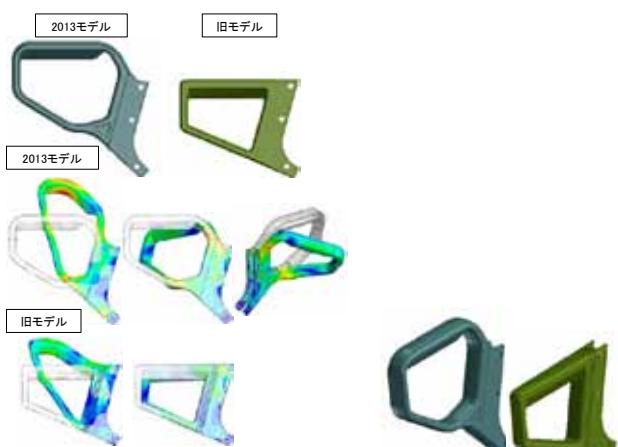


図 4-2 パッセンジャグリップ

## 5 終わりに

本モデルは、VK540Ⅲをよりロシア市場の環境に適応させることを基本に、「ロシア新深雪での扱いやすさ、信頼性No.1 SMB」を商品コンセプトとして開発した。ロシアスノーモービルのスタンダードとなっている基本骨格を維持しつつ、足周りを中心とした新設計部品とのすり合わせ技術により成熟させることができた。また、

YMCISの協力を得て、市場モニタープロジェクトとして、ロシアの代表的な市場にて5,000km以上の走行検証を行い、高い性能、機能、ロシア市場での適応性、信頼性が十分に確認できた。実際にプレスやディーラー対象の試乗会でも「VK540IV」の進化に対し、高い評価をいただいている。「スタッフの心配なく、意のままに操れるスノーモービル」として、長く楽しんでいただけるモデルに仕上がっているものと確信する。VK540IVの開発関係各位に、この場を借りて、感謝を申し上げる。

## 6 参考文献

- [1] 製品紹介-企業情報 | ヤマハ発動機株式会社  
2009-12 No.45 スノーモービルFXNytro M-TX SE
- [2] 製品紹介-企業情報 | ヤマハ発動機株式会社  
2004- 9 No.38 スノーモービルRSVectorシリーズ

※この論文に関連した動画が、下記 URL「映像ライブラリー」に掲載されています。

↓直接こちらのリンクをクリックしてご覧になれます。

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

## ■著者



前列左から

## 高橋 優輔

Yusuke Takahashi

MC事業本部

技術統括部

電子システム開発部

## 天野 忍

Shinobu Amano

事業開発本部

RV事業部

開発部

後列左から

## 宮崎 政直

Masanao Miyazaki

事業開発本部

RV事業部

開発部

## 辻 陽介

Yosuke Tsuji

事業開発本部

RV事業部

開発部

## 小倉 幸太郎

Kotaro Ogura

事業開発本部

RV事業部

開発部

## 輿石 隆太

Ryuta Koshiishi

事業開発本部

RV事業部

開発部

## 村島 篤

Atsushi Murashima

事業開発本部

RV事業部

開発部

## 窪田 隆彦

Takahiko Kubota

事業開発本部

RV事業部

開発部

## 白石 健太

Kenta Shiraishi

事業開発本部

RV事業部

開発部

## 大石 直幸

Naoyuki Oishi

事業開発本部

RV事業部

開発部

## 伊東 俊幸

Toshiyuki Itoh

事業開発本部

RV事業部

開発部

## 中野 太久二

Takuji Nakano

事業開発本部

RV事業部

開発部



# AL115i Mio J

AL115i Mio J

## 製品紹介

赤尾 拓也 神ノ門 裕之 櫻井 仁

### Abstract

The current number of motorcycles owned in the Indonesian market is about 8 million units (Yamaha Motor survey, 2011 results), of which around 50% are automatic models. The first generation model of the AL115 Mio series entered this market category in 2003 and, with 5.5 million units sold to date, is now one of Yamaha Motor's representative models in the country.

In the Indonesian market, "Mio" is often used to refer to automatic models in general and in order to answer the heightened concern for the environment and fuel economy recently, the AL115i Mio J was introduced to the market in February 2012, adopting a fuel-injected engine with even better fuel efficiency.

Here we introduce the AL115i Mio J, Yamaha Motor's first fuel-injected automatic model for the Indonesian market.

### 1 はじめに

インドネシアの2輪市場において年間販売台数は現在約800万台(2011年/ヤマハ調べ)ほどで、そのうちオートマティックモデルは約50%を占める。このカテゴリーにおいて「AL115 Mio」シリーズは2003年に初代モデルが導入され、これまでに累計約550万台が販売され、インドネシア市場における弊社の代表モデルのひとつになっている。

市場ではオートマティックモデルの代名詞的な「Mio」であるが、近年高まりつつある環境志向や燃費志向に応えるため、より燃費性能に優れたFIエンジンを搭載した「AL115i Mio J」を2012年2月より市場に導入した。

インドネシアの弊社オートマティックモデルでは初めてFIエンジンを搭載した「AL115i Mio J」について紹介する。

### 2 モデルの狙い

AL115i Mio J(以下、本モデル)は'New Basic AT Commuter'をキーワードに開発を行った。市場で評価を頂いている旧モデルの長所を維持・向上させつつ、燃費・環境性能を大幅に改善し、市場において新しいオートマティックの基準車としたいという意志が込められたキーワードである。

このキーワードを実現するため、以下の4つの商品特性を設定した。

- 1 家族の誰もが快適に使える丁度良い車格
- 2 様々な用途に対応できる装備
- 3 改善が明らかに感じられる燃費
- 4 誰からも愛されるスポーティでクリーンなスタイリング

そしてこれらの商品特性を実現するため、以下の4つの開発目標を設定した。

- 1 燃費性能改善:旧モデルに対し25%以上
- 2 動力性能改善:0~50m加速でクラストップの加速性能
- 3 収納容量改善:旧モデルに対し2倍のシート下収納容量を確保
- 4 軽量・コンパクトな車格維持:車重、シート高は旧モデルと同じ

上記の開発目標を達成すべく技術開発を行った。

### 3 開発課題と対応

動力性能を向上させつつ燃費性能改善を行うことや、車格・車重を維持しながらより広い収納スペースを確保することなど、項目同士では矛盾している開発目標をバランスよく高层次で実現するために、以下の技術開発を行った。

- ・ 小型強制空冷オートマティック(以下、AT)エンジンの開発
- ・ 小型FIシステムの開発
- ・ 新充電システム:単相AC/DCオープン制御の開発
- ・ 軽量・コンパクトを徹底追及した車体の開発

それぞれの技術開発について概要を説明する。

### 3-1. 小型強制空冷ATエンジンの開発

定評ある旧モデルの走行性能を維持しつつ燃費性能向上、排ガス低減を実現するために、次世代エンジンを新作することとした。

出力、燃費、排ガス、騒音、振動などエンジンに求められる様々な要求を高い次元で融合させるべく、細部にまで亘って徹底的な検討を行い仕様を煮詰めた。

エンジンの基本諸元を表1に示す。

特に燃費改善については、既に台湾・タイ向けのモデルで先行採用しているYM-JET FI<sup>(注1)</sup>を改良することによって、更なる筒内流動強化を実現し、クラストップレベルの燃費性能確保に重要な役割を果した。

燃費改善の方針・手段を表2にまとめる。

またYM-JET FIが改良によって筒内流動が強化された様子を図1に示す。

表1 エンジン基本諸元

原動機種類	空冷・4ストローク・SOHC・2バルブ
気筒数配列	単気筒
総排気量	114cm <sup>3</sup>
内径×行程	51.5mm×60.0mm
圧縮比	9.5:1
最高出力	5.7kW／7,000r/min
最大トルク	8.9N・m／6,000r/min
始動方式	セルフ・キック併用式
潤滑方式	強制圧送ウェットサンプ
燃料供給	フューエルインジェクション
点火方式	TCI(トランジスタ式)
1次減速比／2次減速比	1.000／9.882
クラッチ形式	乾式、遠心
変速機形式	Vベルト式／オート
変速比	2.399～0.829:無段変速

### 3-2. 小型FIシステムの開発

YM-JET FIの改良のもうひとつの特徴は、FIシステム全体の小型化・低コスト化を実現したことである。

システム搭載対象の機種を小型排気量に限定し、システムがカバーする機能を絞り込んだ。その上でシステムの中核となるスロットルボディなどの4部品、及びO<sub>2</sub>センサーなどの周辺構成部品全てを対象に汎用性を確保しつつ、小型化、低コスト化を実現すべく開発初期段階からお取引先様と共に開発に取り組んだ。

またFIシステム開発をモデル開発のPJチームとは別組織にすることで、開発が先行するモデル固有の都合で仕様が決められることを防ぎ、汎用性を担保した。

汎用性を確保することでより多くのモデルにFIシステムを変更なく搭載できるようになり、これにより生産数量確保によ

表2 燃費改善の方針・手段

燃焼改善	筒内流動強化	YM-JET FI 改良 吸排気バルブ配置狭角化 吸排気ポート最適化
	霧化強化	燃量圧力強化
効率改善	高効率化	圧縮比UP
	冷却性向上	遠心ファン効率UP ダイアジルシリンダー
ロス低減	低フリクション	低張力ピストンリング ローラーロッカーアーム 低ロスオイルシール 低ロスペアリング 低粘度エンジンオイル対応
	低消費電力	ACM単相化 AC-DCオーブン制御 O <sub>2</sub> センサーのヒータ化 フューエルポンプのフルレス化
排ガス改善	低回転化	カムプロファイル オーバーラップ最適化 CVTセッティング最適化 エアクリーナ容積拡大 吸気管長最適化
	振動改善	触媒追加 小型ハニカム触媒 軽量化 鍛造ピストン

### ～断面流速ベクトル～

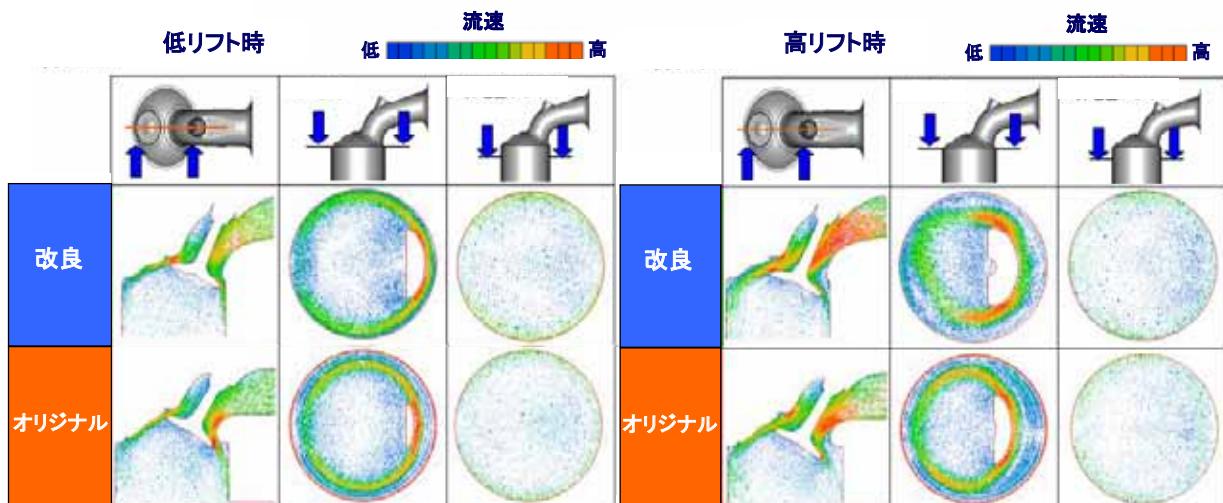


図1 YM-JET FI 改良による筒内流動強化の様子

表3 FIシステム主要5部品の特徴

部品名称	仕様概略
スロットルボディ	YM-JET FI リンク式2弁タイプ 新複合センサ搭載
インジェクタ	ダイレクトカプラ/クイックコネクタ採用
フューエルポンプ	小型低消費電力ブラシレスモータ (2輪業界初)
エンジンコントロールユニット	小型廉価ユニット (ヤマハ最小)
O <sub>2</sub> センサ	小型ヒータレス

るコスト低減も実現し、FIシステム搭載による商品に与えるコストインパクトも少なくすることができた。

部品供給面は生産立ち上げ時から最大限の現地生産を実現した。これは開発初期段階からの調達・品質保証など社内各部門とお取引先様との計画的な品質作り込み活動の結果である。

FIシステム主要5部品の特徴を表3に示す。

### 3-3. 新充電システム: 単相AC/DCオープン制御の開発

キャブ仕様からFI仕様に変更する場合、インジェクタやフューエルポンプ、各種センサー類の追加により発電機に要求される出力電力が増加する。

この要求に対応する手段として、従来のアセアン向けモデルでは、充電システムを単相AC/DCショート制御から3相全充電ショート制御への変更が行われていた。

しかし、この変更では発電機の重量アップやコストアップが伴う上、発電機の駆動力増大も必要になるため、燃費向上を阻害する要因のひとつになっていた。

これらの要因を解決するため、駆動力も低く重量も軽い単相発電機の今まで要求電力を確保することができる単相AC/DCオープン制御システムを開発した。

このシステムの主な特徴は以下の2点である。

①ヘッドライト等の灯火器に掛かる電圧を波形ごとに最適制御を行なうことにより、AC/DC制御の欠点であった灯火器点灯時のチラツキが軽減できる。

②余剰電力は、灯火器側、バッテリ側の回路ともに発電をカットする制御を行い、エンジン負荷を軽減できる。

### 3-4. 軽量コンパクトを徹底追及した車体の開発

FIシステムを搭載し、収納容量も増加させながら軽量・コン

パクトを維持するため、車体全体のレイアウトを徹底的に見直した。

#### 3-4-1. 全体レイアウト

居住空間の拡張、運転中の快適性向上とシート下の収納容量向上を目的として、ホイールベースを旧モデルに対し20mm延長し1,260mmとした。

ホイールベースを延長しても旧モデルと同じ装備重量を実現するため、各部位の合理的なレイアウトと構成部品の小型化・軽量化を行った。

全体レイアウト図を図2に示す。

また車両諸元を表4に示す。

表4 車両諸元

諸元		Mio J	旧モデル
車両寸法・重量	全長 (mm)	1,850	1,820
	全幅 (mm)	700	675
	全高 (mm)	1,050	1,050
	シート高 (mm)	745	745
	最低地上高 (mm)	130	125
	車両装備重量 (Kg)	93	94
	燃料タンク容量 (L)	4.8	4.0
原動機	原動機種類	Air-cooled 4-stroke SOHC 2-Valve	Air-cooled 4-stroke SOHC 2-Valve
	総排気量 (cm <sup>3</sup> )	114	114
	燃料供給方式	Fuel Injection	Carburetor
	最高出力	5.7Kw/8500rpm	6.1Kw/8000rpm
	最大トルク	8.5N·m/5000rpm	7.9N·m/7000rpm
車体	フレーム形式	Under-Bone	Under-Bone
	タイヤサイズ(前)	70/90-14MC	70/90-14MC
	タイヤサイズ(後)	80/90-14MC	80/90-14MC
	シート下収納容量 (L)	8.2	3.7

#### 3-4-2. 軽量化への取り組み

大幅に軽量化を実現できた部品が、フレーム、外装カバー、前後ホイール周りである。

フレームはメインパイプに薄肉のハイテン材を使い、ブレケット類の小型化などの手段も合わせて旧モデルのフレーム

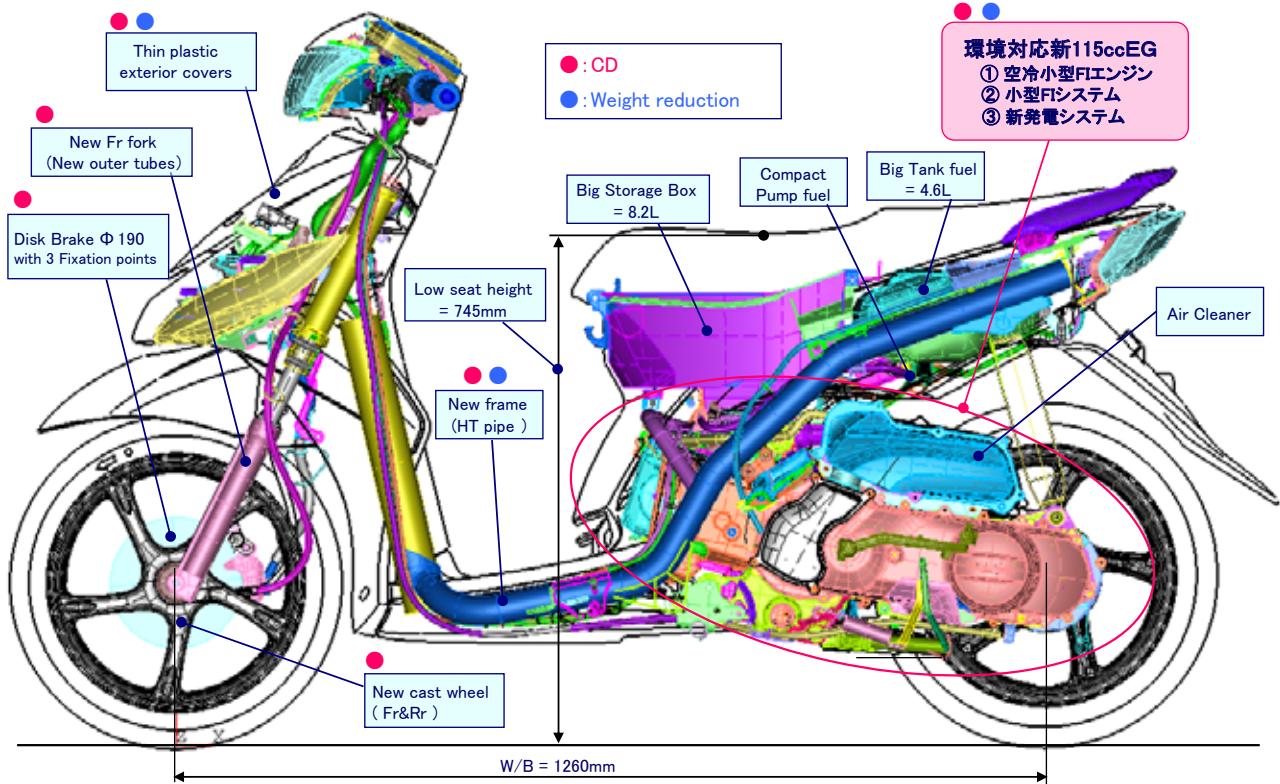


図2 全体レイアウト図

に対し約500gの軽量化を実現した。

樹脂製外装カバーは従来一律の板厚としていたものを、従来モデル並の剛性を形状的な工夫で確保しつつ、薄肉化の検討を行った。結果的に約半数の外装カバーの板厚について10~20%程度の薄肉化を実現し、約250gの軽量化を達成した。前後ホイール周りについては要求機能と仕様の見直しを行い、ホイールリム部の薄肉化やホイールスポーク部の断面形状の最適化、ディスクブレーキの有効径見直しや取り付けボルト点数削減などを実施し、約300gの軽量化を実現した。

### 3-4-3. コンパクト化への取り組み

旧モデルとほぼ同じ大きさのリアボディを維持しつつ、シート下収納容量の向上とタンク容量の向上を実現するため、リアボディ中身のレイアウトについて徹底的に検討を行った。

その結果

- ・スロットルボディ横へのバッテリの落とし込み
- ・タンク底面への燃料ポンプの固定

を達成手段として採用した。

旧モデルでは、バッテリはキャブレタの斜め上前方にレイアウトされている。FIシステム採用でキャブレタがよりコンパクトなスロットルボディに置き換わるため、その分スロットルボディの両脇にスペースが空くことになる。その左側のスペース

にバッテリを配置した。車両側面から見るとスロットルボディとバッテリが重なっており、その分シート下の収納スペースを広く確保できていることが分かる。

従来のスクーター型車両では、FI用燃料ポンプはタンク上面に固定されたレイアウトが一般的である。しかしこのレイアウトでは、タンク上面とシートの間に燃料ホースやポンプ駆動用のハーネスなどを通す空間が必要となり、コンパクト化の阻害要因となっていた。

本モデルではFI用燃料ポンプをタンク底面に固定し、燃料ホースやハーネスなどの経路はスロットルボディが小さくなり空いたスペースを有効利用し、省スペース化を実現した。

## 4 おわりに

発売後、市場から燃費向上を含めエンジン性能について非常に高い評価を頂いている。また振動を抑えた快適な走りや大容量で便利なシート下の収納機能も好評で、市場ニーズに応えた新しいATモデルの基準となる商品が実現できたと考える。

2012年2月に本モデルを発売した後、外観やその他一部を変更した SOUL GT や TTX115i の2モデルを2ヵ月後の4月に発売した(図3)。

ひとつのベースモデルから複数のモデルをほぼ同時に開



図3 Mio 3 兄弟

発し、市場に投入するという新しい開発方式に、全社一丸と

なって取り組み、それを実現できたことも成果のひとつである。

今後もお客様のニーズにしっかり応えた商品をより早く、安価に提供できるよう取り組んでいく所存である。

#### ■著者



左から

**櫻井 仁**  
Hitoshi Sakurai  
MC事業本部  
技術統括部  
電子システム開発部

**赤尾 拓也**  
Takuya Akaoo  
調達本部  
原価革新統括部  
電子システム開発部

**神ノ門 裕之**  
Hiroyuki Kaminokado  
MC事業本部  
第1事業部  
車両開発部

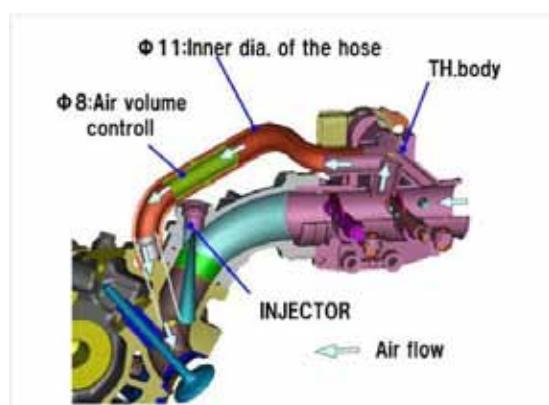


図4 YM-JET FI 構成説明図

副通路無し  
一般的なFI

副通路有り  
YM-JET FI



図5 YMJ-FI の効果(副通路有り無しによる筒内流動の差)



# 製品紹介

## 女性向けスポーティアシスト自転車 PAS Vienta の開発

Development of the PAS Vienta sporty electrically power assisted bicycle for women

野澤 伸治郎 佐々木 孝文 長網 大輔



図1 PAS VIENTA ペスカピンク

### Abstract

Since the development and subsequent 1993 release of the PAS as the world's first electrically power assisted bicycle, Yamaha Motor has continued development efforts to make the PAS drive unit more compact and lighter, improve battery performance and increase the overall maturity of the product, while staying true to the initial development philosophy of placing "priority on human sensations." The market for electrically power assisted bicycles is growing every year and in 2011, total demand reached approximately 420,000 units. As the market grows, Yamaha Motor has developed models to answer increasingly diverse customer needs. In response to the growing number of women using PAS bicycles for exercise, work and recreation, the PAS Vienta we introduce here has been developed as a women-oriented model that is fun and stylish while also being easy to ride and convenient in use.

### 1 はじめに

1993年に世界で初めて電動アシスト自転車PASを開発・発売して以来、“人間感覚を最優先する”という開発当初の理念を受け継ぎながら、PASユニットの小型軽量化やバッテリ性能の向上など、商品の熟成を重ねてきた。電動アシスト自転車市場は年々拡大し、2011年の総需要は約42万台となった。市場が伸長する中、当社ではバリエーション拡大を図り、多様化するニーズに対応してきた。「PAS VIENTA」は、エクササイズを兼ねて仕事や遊びにPASを活用する女性が増えつつあることを受け、乗りやすく利便性を兼ね備え、楽しくスタイリッシュに乗れるモデルとして開発した。

### 2 開発の狙い

「PAS VIENTA」は、女性ユーザに求められるニーズに応えるため、以下のような機能、外観に求められる様々な要望を盛り込んだ。

- ①乗り降りしやすく、楽な乗車姿勢がとれるフレームやハンドルの形状
- ②スタイリッシュな外観
  - ・大きなグラフィックとカラフルなフレームカラーの採用
  - ・サドル、グリップ、タイヤなど、細部パーツのカラーディネート
  - ・白を基調とした、バッテリ、フロントフォークのカラー
- ③スポーティな走行性能



図2 PAS VIENTA フィーチャーマップ

- ・S.P.E.C.8(スペックエイト／Shift Position Electric Control × 内装8段変速)の採用

- ④利便性を両立させるフロントキャリアを標準装備
- ⑤充実した表示機能による付加価値の提案
  - ・走行速度、距離、バッテリ残量などの表示
  - ・バッテリ残量の目安として、アシスト走行が可能な残りの距離を表示
  - ・エクササイズの効果が見える消費カロリの表示

ケットが取り付けできるなど、利便性も追求した。

表1 PAS VIENTA 主要諸元表 (2012年モデル)

			PAS VIENTA
寸法	全長		1,760mm
	全幅		595mm
	サドル高		770~935mm
	タイヤサイズ		26×1.5 HE(前後)
適応身長の目安			149cm以上
車両重量			21.5kg(ワイヤロック0.3kg含む)
性能	補助速度範囲(変速機8J)	比例補助	0km/h以上 10km/h未満
		減速補助	10km/h以上 24km/h未満
	一充電あたりの走行距離(標準パターン)	標準モード	30km
		強モード	25km
		オートエコモードプラス	39km
電動機形式(定格)			ブラシレスDCモータ(240W)
変速方式			リヤハブ内装8段
電池	種類		リチウムイオン電池
	電圧/容量 <sup>※1</sup> /充電時間		25.2V/6.6Ah/約3.5h
照明装置			1W砲弾型ホワイトLEDバッテリーランプ
盗難防止装置			ディンプルキー式ワイヤロック
カラーライン			ブリーズブルー クローバーグリーン ベスカビング クリスタルホワイト

※ 1: JIS C 8711による定格容量は6.3Ah

### 3 製品の特徴

#### 3-1. 仕様概要

PAS VIENTAの主要諸元を表1に、フィーチャーマップを図2に示す。

#### 3-2. 主な特徴

##### 3-2-1. 利便性と快適性を実現するための装備

トップチューブやハンドルシステムの角度・長さなど、乗り降りが楽に行えるフレームレイアウトを新採用した。上半身を起こした楽な姿勢で乗車できるライザーバーハンドルや握りやすい細身のグリップを採用し、快適性を実現した。また、フロントキャリアを標準装備することで、オプションでのフロントバス

##### 3-2-3. スタイリッシュな外観

スポーティなモデル特性と女性ユーザの嗜好に配慮し、ポップでカラフルなカラーリングと大きなグラフィックを採用

した。また、バッテリ、サドル、ハンドルグリップ、チェーンケース、フロントフォーク、鈴色タイヤなど、細部パーツと車両全体をカラーコーディネートした。

## 4 液晶マルチファンクションメータ

### 4-1. 仕様概要

図3に示すように、スピードメータやオドメータなど、一般的な自転車用メータに搭載されている機能のほか、パワーメータやバッテリ残量メータのような電動アシスト自転車ならではの機能を搭載した。



図3 液晶マルチファンクションメータの外観と機能

### 4-2. 機能

スピードセンサやトルクセンサなどを利用して、以下のような様々な表示機能を実現している。

- ①スピードメータ: 走行速度を時速0.1km単位で細かく表示する。
  - ②バッテリ残量メータ: 0~10個のブロックでバッテリ残量を常に表示する。機能表示では、0~100%の数字で表示する。
  - ③パワーメータ: 最大アシスト力に対するアシスト力の割合を0~7の8段階で表示する。
  - ④残りアシスト走行可能距離: アシスト走行が可能な距離の目安を表示する。
  - ⑤平均車速・最大車速: 平均走行速度および最大走行速度を表示する。
  - ⑥トリップメータ・オドメータ: 区間走行距離および総積算走行距離を表示する。
  - ⑦消費カロリ: ペダルを踏み込む力から、走行で消費したカロリの目安を表示する。
- なお、メータには、前照灯の点灯／消灯と連動するバックライトを装備し、夜間走行中の視認性を確保した。

### 4-3. 構造

#### 4-3-1. 開発の狙い

もともと、ヤマハモーターエレクトロニクス株式会社では、モータサイクル、電動船外機、四輪バギー、電動スクータなどの様々な乗り物用デジタルメータを手掛けてきた背景があり、この度のPAS自転車用デジタルメータの構造部の開発を担うこととなった。PAS自転車用デジタルメータは、他の乗り物用デジタルメータと要求が異なる点がある。そこで、次の2項目を重点課題とし、開発を進めた。

- ①自転車の外観、また、転倒時の衝撃回避に適した薄型デザインの実現
- ②ハンドルを握った状態でも操作可能なように、横押しSWを採用することによる操作性の向上

#### 4-3-2. 薄型デザインの実現

薄型を実現するため、基本構造を見直す必要があった。従来の基本構造(図4)は、ディスプレイユニットと呼ばれる機能体(基板上に液晶やバックライトなど表示関連部品を組み付けたもの)を一旦組み立て、それをケースに収めてシールする構造をとっていた。また、バックライトには、EL(エレクトロルミネセンス)を用いた方式を採用していた。このバックライト方式では、薄さを実現する際に障害となる背の高い部品(トランジスタ)が用いられる。

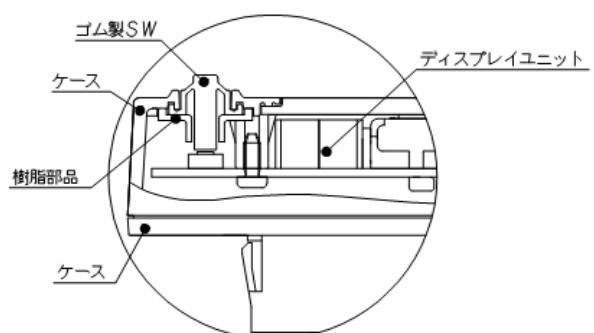


図4 従来の基本構造（断面）

そこでバックライト方式を見直し、EL方式からLED方式へ変更を行った。図5に示すとおり、トップビュー型LEDを1個と、そのLEDからの光を導光し面発光させる導光板、またケース内部へ漏れる光を表面へ反射させる反射板、さらにその光を拡散させる拡散板を用いた。ここで、導光板はL字型に成形することで、基板に実装されたLEDから発光された光を、リード線等を使用しなくてもLCD裏面まで導光することを可能にした。結果、従来のEL方式のデジタルメータから約10mm薄くすることができた。

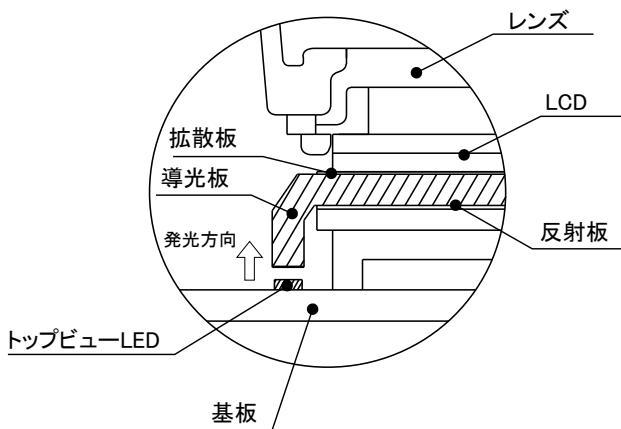


図5 バックライトの導光構造

また、今回の構造変更では、従来よりも構造を簡素化することが可能となり、組立性も向上した。従来のディスプレイユニットと呼ばれる機能体を組み立てることを止め、図6のように最初からケースに内部部品を一方向に組み付けていくことが可能となった。

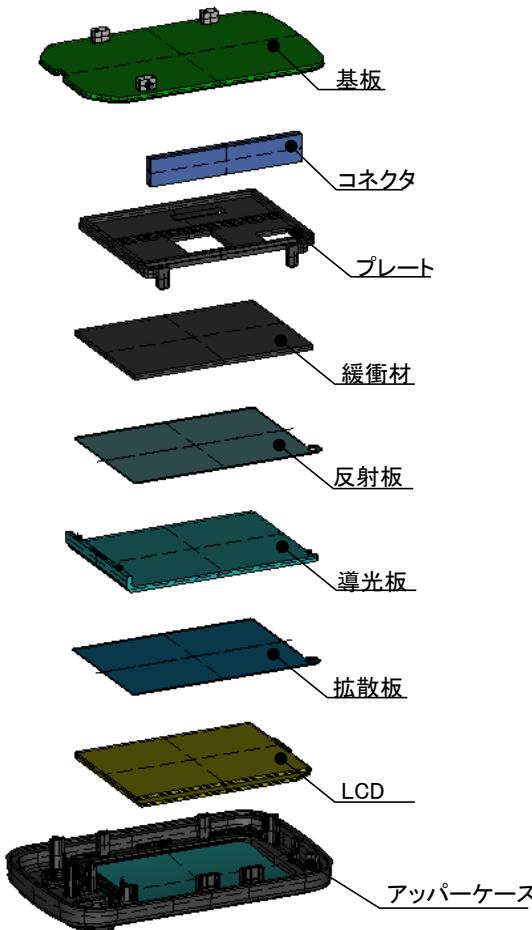


図6 メータの部品構成と組み付け

#### 4-3-3. 横押しSWを採用することによる操作性向上の実現

さらに、SW構造についても、横押しを実現するために、従来の基本構造に対し変更を加えた。従来は、ゴム製のSW部品を裏面から樹脂部品で押さえることで防水性を確保していた(図4)。この樹脂部品を固定するための溶着がケース側面に適用することができないこともあり、今回は、ケース(ASA)と熱可塑性エラストマを2色成型することで、SW部品を構成した。一体成型することで、防水性の確保はもちろんのこと、従来必要であった樹脂部品を廃止することも可能となった(図7)。これら主なふたつの新規構造により、薄型という外観要求と、操作性要求を両立させることができた。

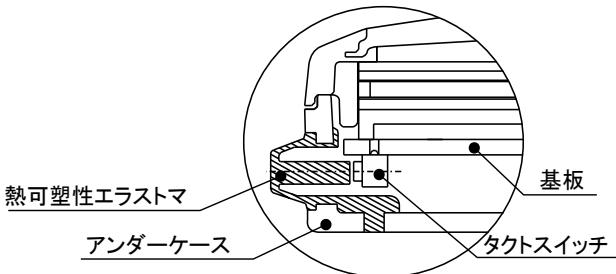


図7 横押しスイッチの構成

## 5 フレームと車体部品

### 5-1. 車体コンセプト

小柄な方やスポーツ自転車が初めての方でも、無理なく快適に、スポーツ走行を体感できることを主眼とし、操舵性や各部機能の向上を行った。

### 5-2. 小柄な方を配慮したフレームレイアウト

最低適応身長149cm以上の小柄な方でも、楽な姿勢で乗

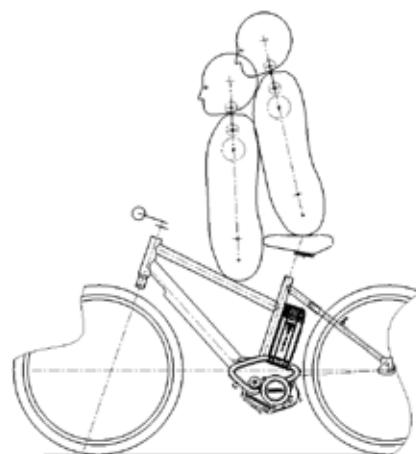


図8 フレーム検討のための人体モデル

車でき、急制動等でとっさに両足で立てるようなフレームレイアウトを図8の人体モデル検討から導き出し、乗車姿勢に関連するハンドルバーからサドルまでの距離や、図9で示すトップチューブが車両後ろ下がりなフレーム形状とした。



図9 トップチューブレイアウト

### 5-3. 旋回性能

スポーツ自転車に初めて乗る方を対象とするため、車体を傾斜させて旋回する方法でも、タイヤを操舵して旋回する方法でも、快適に旋回できるよう、トレールやヘッドアングル等のハンドリングに関連する値について、設計検討と実機検討を繰り返し、どちらの旋回方法でもイメージしたコーナーリング走行を行えるようにチューニングを施した。

### 5-4. 駐輪性能

小柄な方が駐輪をする際に、自転車ラックへの出し入れの取り回しや、スタンド操作が楽に行えるよう、車両をコンパクトにするための検討を行った。車体の旋回性との兼ね合いや部品レイアウトの検討を行い、同じタイヤ径の車種に対してホイールベースを短くし、取り回し性や操作性を向上させた。

### 5-5. リヤブレーキレイアウト

スポーツ自転車のワイヤは外観部品の一部となっており、リヤブレーキワイヤは車両左側のトップチューブに沿ってレイアウトされることが販売店から重要視されている。

そのため、スポーツ自転車のブレーキワイヤの通しは車両左側になるようにブレーキ関連部品の設計がされている。

VIENTAで、リヤブレーキワイヤをトップチューブに沿ってレイアウトする際、フレームサイズやトップチューブを低い位置でレイアウトしたため、図10のとおりバッテリ脱着側の側面

にリヤブレーキワイヤがレイアウトされ、脱着の際に干渉等の問題が生じる。この問題を回避するため、ブレーキ関連部品の車両への組み付け方、強度検討、制動性能の検討を行い、図2のとおりバッテリの脱着に関係しない車両右側にレイアウトを変更することで、バッテリの脱着と外観の両方を成立させた。

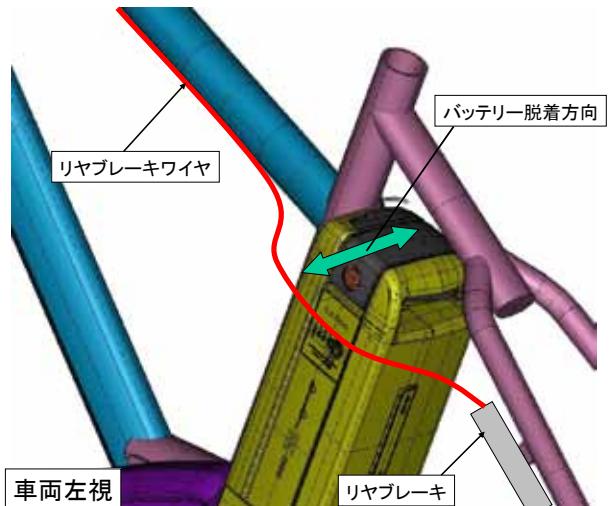


図10 リヤブレーキレイアウト(検討)



図11 リヤブレーキレイアウト(製品)

## 6 おわりに

本モデルでは、新規にフレームとメータの開発に取り組み、利便性と外観、付加価値を向上させた魅力あるモデルの開発ができた。電動アシスト自転車市場が多様化し、様々なニーズが求められている中、本モデル開発の経験を生かし、さらに顧客満足度の高い商品開発にチャレンジしていきたい。

最後に、本モデルの開発に際して多大なご協力をいただいたブリヂストンサイクル株式会社の関係諸氏に改めて御礼申し上げる。

■著者



左から

**佐々木 孝文**

Takafumi Sasaki

事業開発本部

SPV事業部

品質保証部

**野澤 伸治郎**

Shinjirou Nozawa

事業開発本部

SPV事業部

第1開発部

**長岡 大輔**

Daisuke Nagaami

ヤマハモーターエレクトロニクス株式会社

開発統括部

技術部

# 製品紹介

## 新サービスツール (YAMAHA DIAGNOSTIC TOOL) 開発

Development of a new service tool, the "YAMAHA DIAGNOSTIC TOOL"

杉山 雄一 伊藤 幸夫 橋本 茂喜 花倉 靖 大津 典大 古川 泉 山谷 正貴  
大城 郡二 設樂 尚希

### Abstract

Until now, Yamaha Motor has provided diagnostic functions for displaying sensor values and for forcibly triggering actuators in the meters and specialized "FI Diagnostic Tool" in order to aid in the service work performed at dealerships on Yamaha motorcycles, with their growing complement of electric and electronic components and functions.

However, advances in electronic control systems and their increasing complexities in recent years have made the problems encountered in these systems more complex as well, making it increasingly difficult to find quick solutions with existing diagnostic functions. Furthermore, the fact that the existing equipment only displayed codes or numerals made it necessary to constantly consult the service manual while working in order to know what the numerals indicated and how to evaluate them. This made the service work inefficient and prompted calls for more user-friendly improvements.

In this report, we introduce the newly developed service tool designed to bring about these improvements.

### 1 はじめに

これまで当社では、電気・電子化された車両を販売店様で整備するため、センサ値の表示やアクチュエータの強制駆動といった診断機能をメータや専用のサービスツール(FI Diagnostic Tool)で提供してきた。



図1 FI Diagnostic Tool

しかし、年々電子制御システムが高度化、複雑化する中で、問題も複雑化してきており、現状の診断機能だけでは早期解決が困難になりつつある。また、従来のものはコード表示や数値表示がされるのみであったため、表示されている数値が何を表すのか、どう判断すればよいのかはサービスマニュアルで確認しながらの作業となり、整備効率の改善が望まれていた。

本稿では、これらを改善すべく新規に開発したサービスツールについて紹介する。

### 2 開発の狙い

高度な故障診断および整備効率の向上は本サービスツール開発の基本であるが、それに加えてサービス部門との協議の結果、お客様に対しても本ツールを通じて新しいサービスの提供を行うこととした。具体的には“見せるサービス”的提供である。近年アセアン地域にもFI(Fuel Injection)車の導入が進み、電気の整備が増え、お客様にとっても車両の状態が分かりづらくなったと思われる。そこで、お客様が販売店様での整備時に車両の状態を確認でき、安心して乗っていただけるようGUI(Graphical User Interface)の充実を図った。

本サービスツールは従来品からの置き換えであり、全世界の販売店様(サービス)が購入して使用いただくものとなるため、①低価格 ②既存車(FI Diagnostic Tool対応車)への対応 ③多言語対応について検討を重ねた。また、OBD(On-Board Diagnostics)等を見越した拡張性の確保やプログラム書き換えに伴うセキュリティに関する管理についても併せて検討を行った。これらの開発の狙いを実現し、サービス部門への要望に柔軟かつ迅速に対応するため、ハード/ソフト全てを自社にて開発した。

### 3 システム構成

#### 3-1. システム

上記開発の狙いを実現するため、各機能はパソコン上で

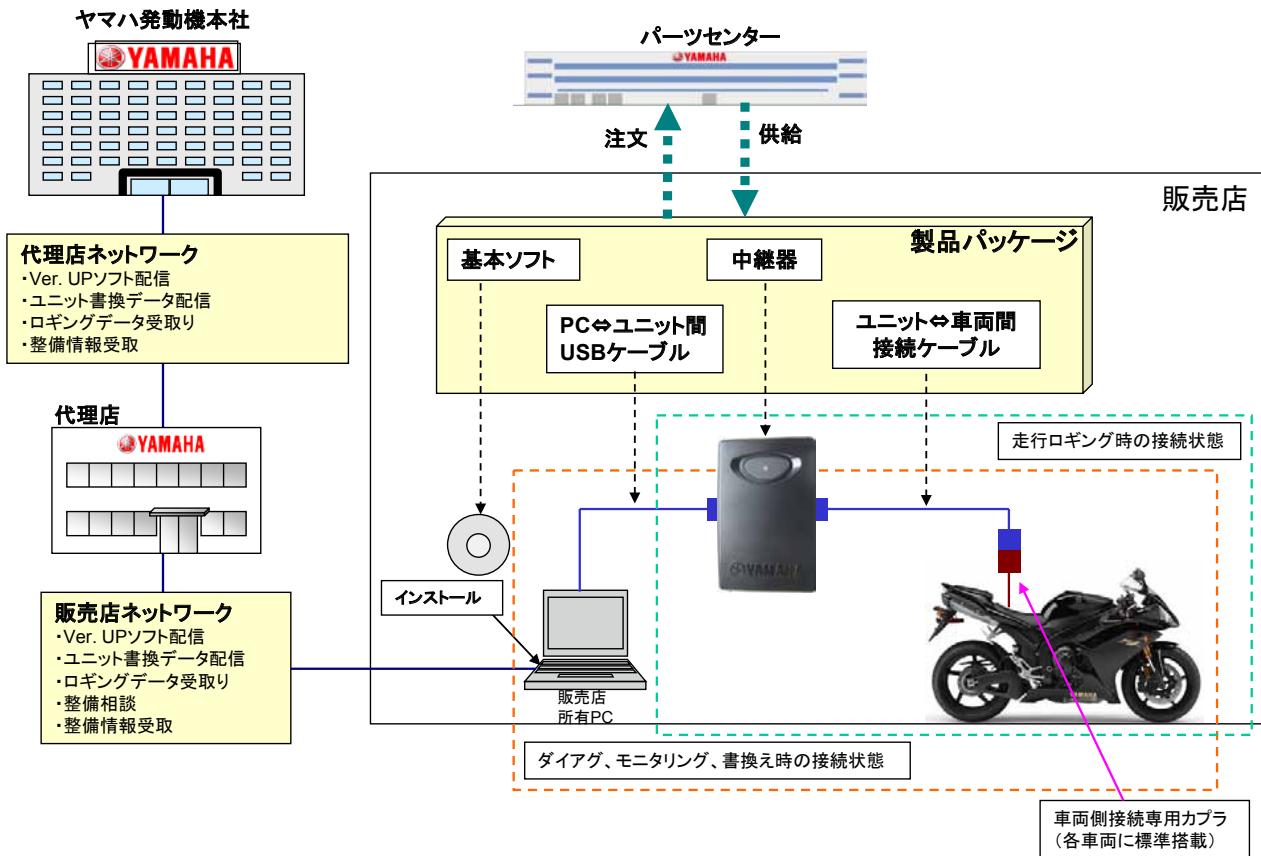


図2 システム全体イメージ図

操作、確認する仕様を採用した。パソコンは販売店様で使用されているものをそのまま使用し、通信ケーブル、中継器、アプリケーションソフトを提供する。中継器はパソコンとコントロールユニット(Engine Control Unit等)間の通信を変換するために使用され、パソコンとはUSBケーブルで接続し、車両とは専用の通信ケーブルにて車両に設けられたサービスコネクタへ接続する。アプリケーションソフトのアップデートはサービス専用のwebサイトを介して実施し、将来の機能追加にも対応可能となっている。また、後述のコントロールユニット書き換え用プログラムも本サイトを介して配布される。

### 3-2. ハードウェア

中継器はISO 15765 / 11898 CANおよびISO 14230 K-Line と従来のFI-Diagnostic Tool(メータ)通信の3仕様の通信形態に対応している。電源は、ロギング時にパソコンから切り離して使用でき、また、車両から切り離してロギングデータの読み出しができるように、車両バッテリとUSBバスパワーの両方に対応している。車載ロギングを可能とするため、大容量のフラッシュメモリを搭載し、長時間のロギングに対応している。ロギングデータ解析の利便性向上のため、外部トリガスイッチ入力を用意した。

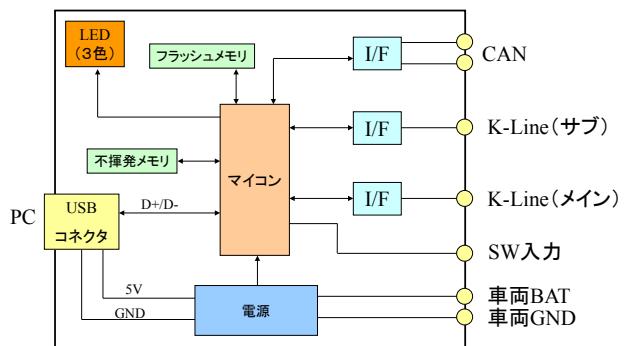


図3 ブロック図

### 3-3. ソフトウェアについて

FI Diagnostic Toolに対応した市場導入済みの車両についても故障診断等の一部機能を使用できるよう、既存の通信プロトコルと互換性を持たせている。中継器のファームウェアは、将来のバージョンアップに対応できるよう、アプリケーションからアップデート可能とした。アプリケーションの対応言語は、11言語（日本語、英語、フランス語、インドネシア語など）に対応した。GUIでは、エンジンのイラスト上に制御システムを表示させ、車両状態を分かりやすくした。



## 4 機能

### 4-1. 電子カルテ

車両1台毎に電子カルテを作成し、そこに故障診断結果等の車両整備情報を蓄積できる。これにより過去の車両状態や整備状況等の確認や定期点検の案内などにも活用できる。また、メンテナンスレポートとして出力できるため、お客様に対し整備結果を分かりやすく説明することが可能である。



図4 電子カルテ

### 4-2. 故障診断

コントロールユニット内に記録されている現在発生中の故障および故障履歴を表示する。故障コード、故障名称のほか、症状や考えられる原因が表示されるため、基本的な整備方法がアプリケーションのみでわかるようになっている。また、サービスマニュアルを参照したい場合は、アプリケーション上で故障診断画面と合わせて表示することができる。



図5 故障診断

### 4-3. 機能診断

接続されたコントロールユニットが持つセンサやアクチュエータなどの項目が表示され、センサ値の表示やアクチュエータの駆動テストが可能である。各診断項目の内容と確認方法の説明文が表示されるため、基本的な使い方はサービスマニュアルを必要としない仕様である。本機能も4-2. 故障診断同様にサービスマニュアルを表示させる機能を搭載している。センサ値など車両によって正常範囲が異なるものについては、サービス専用webサイトから提供される基準値ファイルをアプリケーションに取り込むことによって、アプリケーション上に正常範囲を表示させることができる。



図6 機能診断

### 4-4. 点検

本機能の基本仕様は4-3. 機能診断と同じであるが、自動判定機能とイラストによる診断結果の表示を追加した。これにより、お客様が整備状況をモニタで確認できる環境が整備されている場合に、そのモニタに本ツールの画面を表示させて

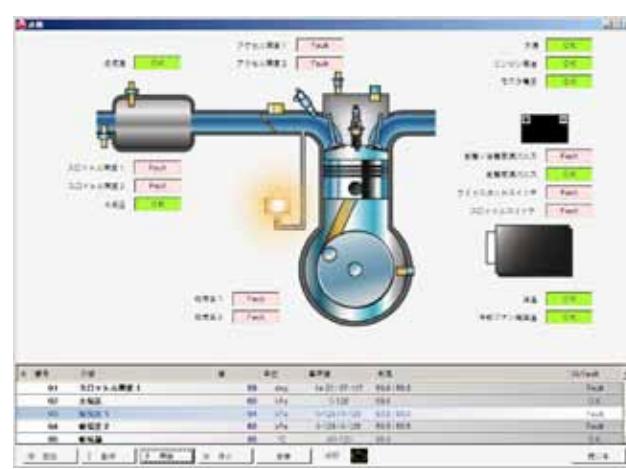


図7 点検



見せるサービスを提供することができる。

自動判定機能では、作業者がチェックする項目を選択するとイラスト内の整備箇所がクローズアップされ、画面の指示通りに操作を行うことでアプリケーション側が基準値と比較し、結果(OK, Fault)をイラスト内に表示する仕様となっている。これにより、お客様がひと目で車両の状態(正常・異常)を確認していただくことが可能となる。

#### 4-5. CO調整

アイドリング時における排ガスCO濃度の調整を行う機能である。気筒数を自動的に判定し、各気筒毎に調整を行うことが可能である。



図8 CO調整

#### 4-6. モニタリング/ロギング

モニタリングは、エンジン回転数や各種センサのコントロールユニットへの入出力信号をリアルタイムにパソコン画面上でグラフ表示させることができる機能であり、ロギングは中継器内のフラッシュメモリへデータを記録することができる機能である。これにより、不具合発生時における車両の様々な入出力信号から原因の推定、特定に有効な情報が得られる。

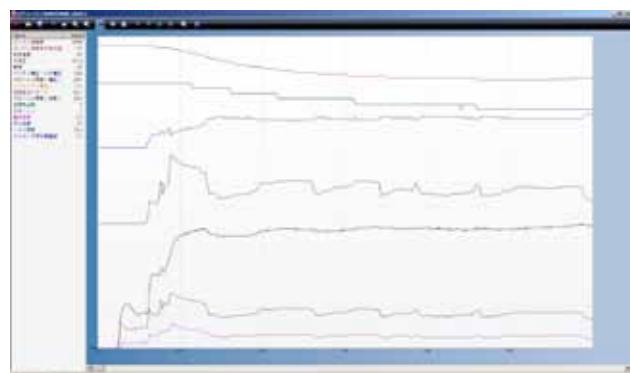


図9 モニタリング

また、本機能により取得したデータを不具合情報と合わせてE-Mail等で送付することもできるようになるため、現場と正確な情報共有もでき、迅速な対応が可能となる。お客様に対しては、データを見せながら車両の状態を説明することができるため、より分かりやすい情報の提供が可能となる。

#### 4-7. コントロールユニットプログラム書換え

更新プログラムをコントロールユニットに書き込む機能である。

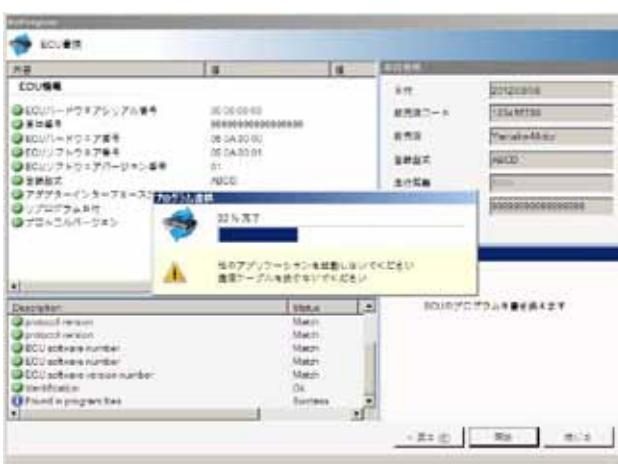


図10 コントロールユニットプログラム書換

## 5 おわりに

前述してきたように、サービス部門と二人三脚で開発を進めることで、狙いであった高度な故障診断や見せるサービスなどの機能が実現でき、全世界のお客様、販売店様に対し、従来に比べワンランク以上高いサービスを提供可能になったと確信している。

また、高度な電子制御システムの搭載が見込まれる今後の車両の市場導入に向けて、この新サービスツールは寄与するものと考える。

そして、本サービスツールの導入によって、アフターサービスも充実したヤマハとして定着し、お客様にヤマハを選んでいただける環境構築に繋がれば幸いである。

■著者



**杉山 雄一**

Yuichi Sugiyama

MC事業本部  
技術統括部  
電子システム開発部



**伊藤 幸夫**

Sachio Ito

MC事業本部  
技術統括部  
電子システム開発部



**橋本 茂喜**

Shigeki Hashimoto

MC事業本部  
技術統括部  
電子システム開発部



**花倉 靖**

Yasushi Hanakura

MC事業本部  
品質保証統括部  
サービス部



**大津 典大**

Norio Ohatsu

MC事業本部  
品質保証統括部  
サービス部



**古川 泉**

Izumi Furukawa

ヤマハモーター  
エンジニアリング株式会社  
電装制御部



**山谷 正貴**

Masaki Yamaya

ヤマハモーター  
エンジニアリング株式会社  
電装制御部



**大城 郡二**

Gunji Oshiro

ヤマハモーター  
エンジニアリング株式会社  
電装制御部



**設樂 尚希**

Naoki Shidara

ヤマハモーター  
エンジニアリング株式会社  
電装制御部



# 製品紹介

## 高速多関節ロボット（パラレルリンク機構）の開発

Development of a high-speed multi-joint (parallel link construction) robot

平野 晓史 富田 佳成

### Abstract

The Intelligent Machinery Business Unit of Yamaha Motor Co., Ltd. is the outgrowth of the development and manufacture of the SCARA robot "CAME" for use on the company's motorcycle production lines in 1979. Since then, we have applied our expertise in robot control technology to specializing in the development and manufacture of surface mount systems and continue to grow as a maker of industrial machinery. The SCARA type robots that our business began with are now offered in one of the most extensive lines in the industry, with arm lengths ranging from 120 mm to 1,200 mm and variations for clean rooms and dust-proof, drip-proof facilities, as well as model specifications to accommodate ceiling-suspended applications and more. With this lineup, we have become the world's No. 1 maker\* in terms of unit wholesale. Because of this lineup with models designed for varied uses, our robots are being used for factory automation, etc., in all types of industries. In order to continue growing our business and aiming to open up new markets, we have now developed a multi-joint robot with high-speed performance capability.

\*Based on figures for unit shipments of industrial SCARA robots in 2010 (according to Fuji-Keizai's 2011 research report about the current and future situation in the global robot market)

### 1 はじめに

ヤマハ発動機IM事業部(以下、当社)では、1979年にモーターサイクルの社内設備向けとして開発したスカラロボット"CAME"をきっかけにロボット事業が始まった。その後、ロボット制御技術を表面実装機へ特化、応用することで、産業用機械メーカーとしての発展を続けている。事業部発足のきっかけとなったスカラロボットは、現在ではアーム長120mm～

1,200mmまでのバリエーションをもち、クリーンルームや防塵・防滴環境仕様、天吊設置仕様など業界トップクラスの豊富なラインナップにより、出荷台数世界No.1メーカー<sup>注1)</sup>になった。これら様々な用途に対応可能なバリエーション展開により、あらゆる業種において工場の自動化設備などに導入されている。さらなる発展のために、新たな市場への参入を目指し、高速性に特化した多関節ロボットを開発したので紹介する(図1、図2)。



図1 スカラロボット YK600XG



図2 デルタロボット外観



## 2

### 開発の背景・狙い

近年、産業用ロボットは、スマートフォンに代表される携帯端末や液晶テレビ、自動車関連部品など、ありとあらゆる工業製品の製造現場で使用されている。

これら工場の自動化には、高速・高精度・省スペース性が必要とされ、当社の販売する単軸ロボットをはじめ、直交ロボットおよびスカラロボットが数多く使われている。しかし、近年、欧州を中心とした先進国では、上記用途以外でも、食品や医薬品、化粧品分野にロボットが使われるケースが増えている。この分野では、コンベア上に流れてくる製品を移載する工程にロボットが使われるため、より高速なロボットが必要となっている。そこで、高速性に特化した多関節ロボットを開発、市場投入することにより、当社の性能面での優位性を確立し幅広い分野への参入を狙う。

## 3

### 構造特徴および性能

#### 3-1. 製品概要

パラレルリンク機構を採用した高速多関節ロボット（デルタロボット）の概要を説明する。

パラレルリンク機構は、ベース上に120度間隔で配置された $\alpha$ ・ $\beta$ ・ $\gamma$ 軸モータの各アームの並列に交わる箇所（ツールセンター・ポイント以下、TCP）が、各軸を上下に回転させることで、XYZ方向動作が可能な機構である。モータ駆動部を固定部に配置して軽量なアームのみを旋回制御し、各軸のトルクを合成して動作するため、高速動作が可能となる（図3）。

動作範囲は、最大径の1,100mm範囲では深さ250mmまで、中心部の直径600mm範囲では深さ400mmまでの広範囲であり、本体下方360°を死角なく動作する（図4）。

また、R軸を追加することで、上記動作に加えてツールを $\pm 360^\circ$ 回転できる。

#### 3-2-1. 高速性

$\alpha$ ・ $\beta$ ・ $\gamma$ 各軸は、サーボモータから減速後、第1アームに連結される。モータは、高速動作に必要かつ十分な容量（ワット数）を選定し、減速機は高加減速で動作可能な減速比・出力トルクのものを選定している。

第1アームは、直接高トルクを受けるため剛性を重視するとともに、アルミダイカストを採用することで複雑な形状が可能となり、軽量化を実現している。

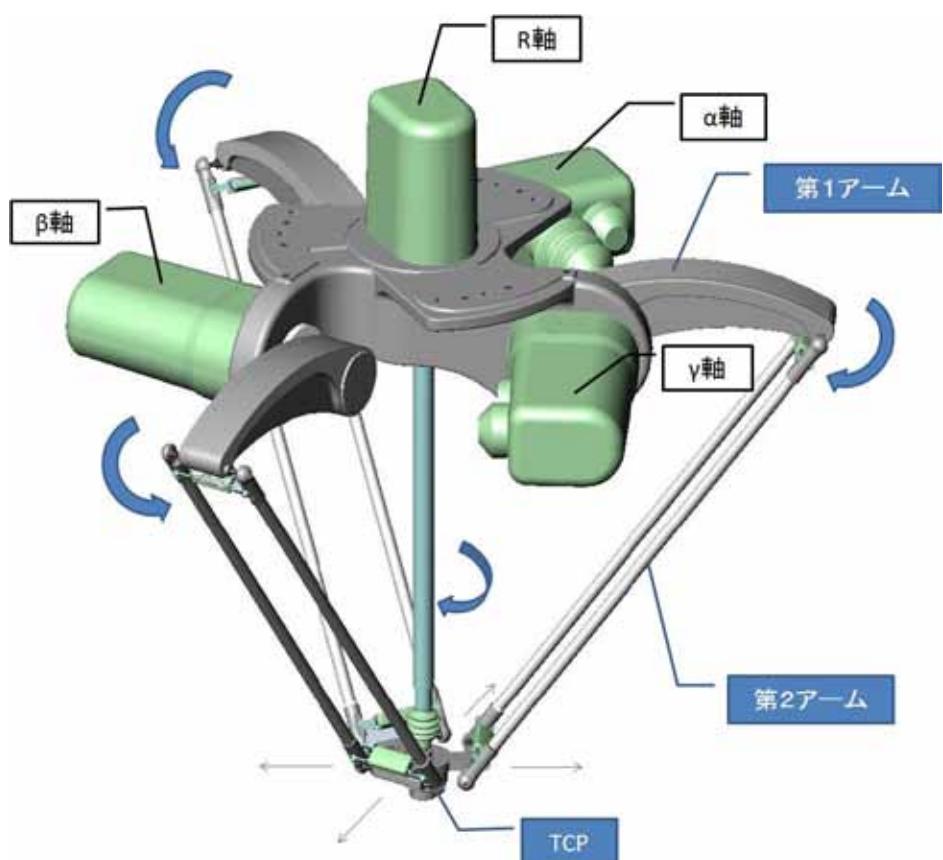


図3 ロボット概略図

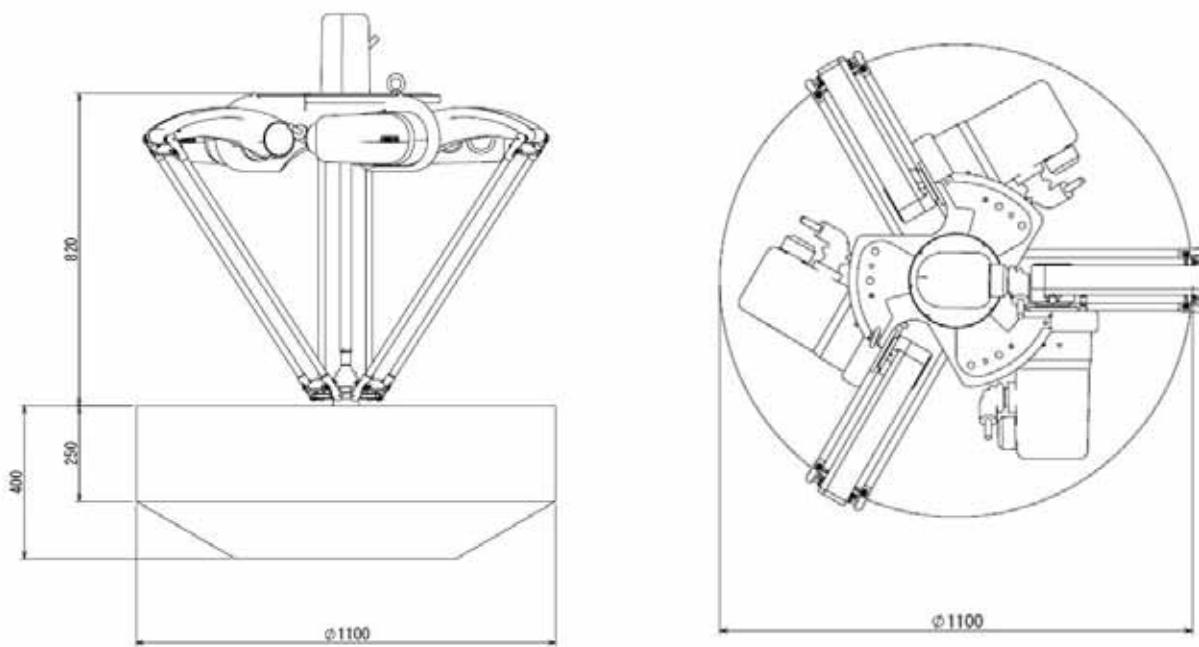


図4 外形図、動作エリア

第2アームは、イナーシャ軽減のために軽量化を重視し、カーボンシャフトを採用している。また、平行配置した2本のシャフトを使用することで、TCPは常に平行を保持して動作することが可能になる（図5）。

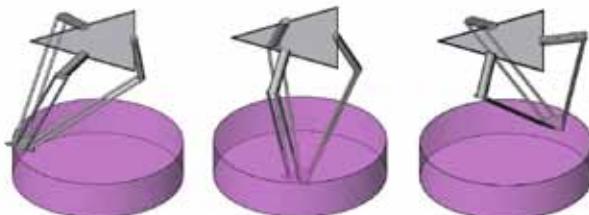


図5 動作イメージ

ツール回転は、ベースにR軸モータを配置し、角度と回転を伝達するカルダン継ぎ手と伸縮可能な軸により構成される。TCPは、ポールプランジャの採用により、R軸が付与されても

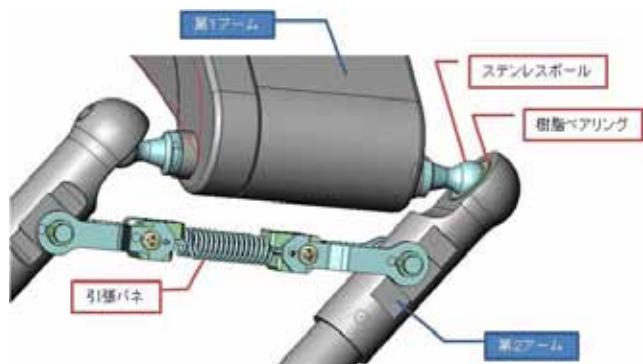


図6 関節部構造

### 3-2-2. メンテナンス性

一般的なリンクボールなどの関節ユニットでは、揺動角度が広く取れないため、動作範囲に制約があり、また分解もできない。本モデルでは、リンク部分をステンレスボール部とアーム部の2部品に分割し、その間に樹脂ベアリングを配置する構造とし、これらをバネで押さえるだけの構造としたことで、工具無しで取り外しが可能となり、メンテナンス性に優れている。しかし、衝突などの過大負荷が発生した時にはリンク部分が外れてしまい、アームやTCPが周辺の装置を損傷せざるを得ない。本モデルでは、伸長方向にのみ規制するカバーを追加することでこの問題を回避し、脱着容易な構造とすることでメンテナンス性にも配慮した（図6、図7）。

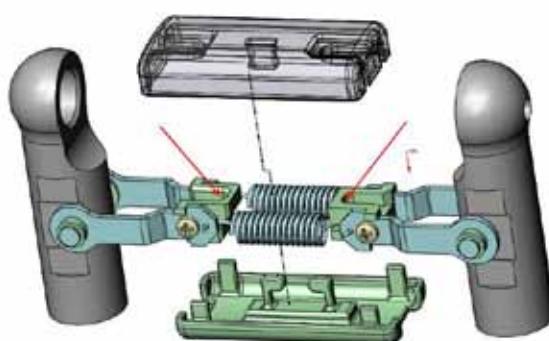


図7 規制カバーの構造

工具が無くても取外しができる構造とした(図8)。

TCPには標準で吸着パッド用の先端部品を備えている(図9)。

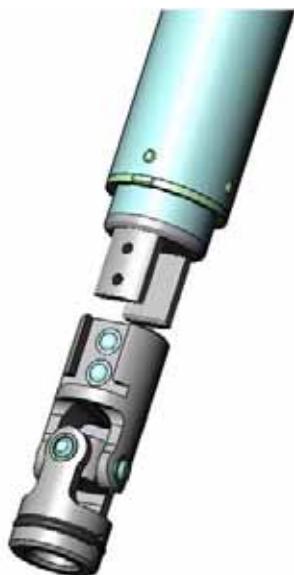


図8 R軸脱着構造

### 3-2-3. 材料・表面処理の対応

本モデルは、特に食品業界への使用を考慮して設計した。食品用設備では洗浄を前提としているため、防水性・耐食性を考慮した設計とした。モータや減速機部分の勘合部にはOリングを配置しIP67を満たす構造とした。減速機のケース部材にはステンレス材を、その他の部品にもステンレス材を積極的に採用した。また、アルミ部品にはアルマイ特や無電解ニッケルめっき処理を施し、樹脂部品にはABS材に食品衛生対応塗料を採用した。

### 3-3. 性能

#### ①トップクラスの高速性

アデプトサイクル:0.3s(0.1kg搬送時)。同様の動作範囲をもつスカラロボットのサイクルタイムは0.4s台であり、25%の動作時間短縮を達成した(図10)。食品や医薬品のピック＆プレイスではワークが軽量のため、軽量搬送時に特に性能が発揮できるような機械構成とした。

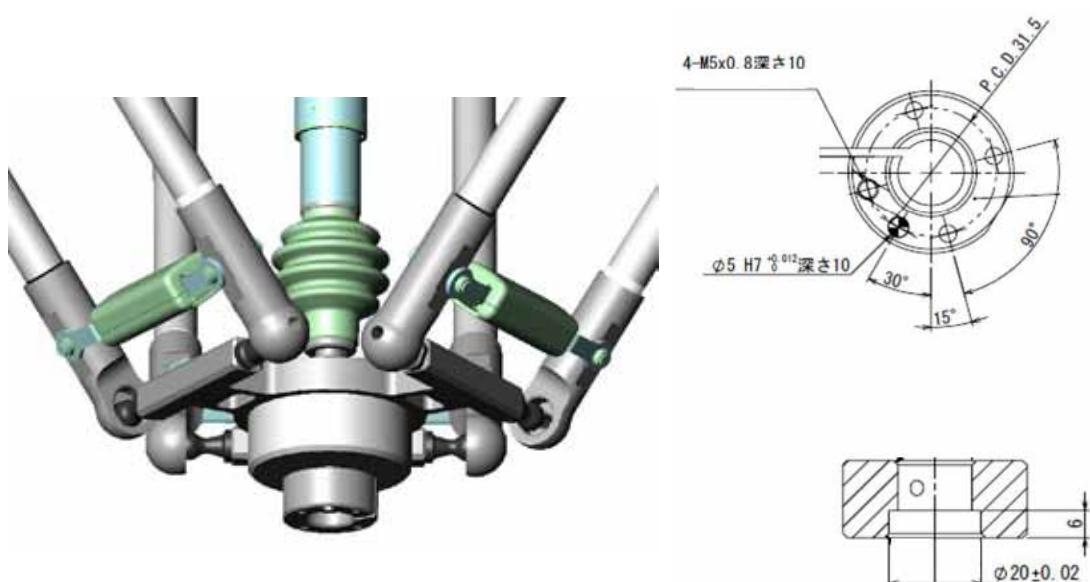


図9 TCP：ユーザー用取付ブラケット



※ アデプトサイクル: 高さ25mm、リーチ305mmの往復動作時間

図10 アデプトサイクル



## ②トップクラスの軽量化

ロボット質量:65kg。ベース部をアルミ鋳造品で設計し、構造解析により軽量化を達成した。

## ③食品対応・防水仕様

IPクラス:IP67対応。食品業界の洗浄用途に標準モデルで対応するため、電気機能部は完全防水とし、機構部も耐食性を考慮し水環境対応とした。

## ④メンテナンス性

関節部の樹脂ベアリングなどの寿命交換品は、簡単に脱着が可能。モータなどの機能部品も特別な工具無しで交換可能とした。

## ⑤繰り返し位置決め精度:±100 μm (XYZ動作)

精密部品の位置決め精度まで必要とされないが、食品業界では十分な仕様を満たす。

## 4

## おわりに

本モデルは、新しいリンク機構への挑戦だった。構造自体は古くからある構造だが、実際に設計・評価をすると多くの克服すべき事項が明らかになった。また、それらをクリアするため独自の構造を追加していくことで、今までに無い高速搬送ロボットをラインナップに組み入れることができた。また食品用設備への対応として防水・耐食性を保つための構造も採用し、評価することでノウハウを吸収することができた。

この機種を皮切りに、製品の熟成やバリエーション展開を行うことで、ロボットビジネスにおける新しい柱となることを期待している。

注1)…産業用スカラロボットの2010年の台数ベース出荷実績/富士経済『2011ワールドワイドロボット市場の現状と将来展望』調べによる。

## ■著者



平野 晓史

Akifumi Hirano

事業開発本部

IM事業部

ロボットビジネス部



富田 佳成

Yoshinari Tomita

事業開発本部

IM事業部

ロボットビジネス部



# 製品紹介

## フィッシングボート YF-24 The YF-24 Fishing Boat

武富大海 杉山紘史

### Abstract

In the Japanese angling boat market, the 23-ft. (approx. 7.0 m) class has the largest sales volume of any class. The 23-ft. model YF-23 released by Yamaha Motor Co., Ltd. in 2002 has long enjoyed a strong reputation in the market. However, due to the slowing of the economy and factors that drive up product prices such as the rising cost of raw materials, the trend with customers in recent years has been a shift towards purchasing used boats or lower-priced new boats, and with this trend, the resale price of used YF-23s has been among the highest. In light of these market conditions, we set about developing the next-generation YF model in order to bring further maturity and refinement to the highly acclaimed basic performance of the YF-23 while also adding new value.



図1 YF-24



図2 YF-23

### 1 はじめに

国内のフィッシング市場においては、23ft(約7.0m)クラスのボートが最大のボリュームゾーンとなっている。ヤマハ発動機株式会社(以下、当社)が2002年に発売を開始したYF-23(図2)は、長年に亘り市場から高い支持を得てきた。しかし近年は景気低迷や原材料の価格高騰による値上げの影響で、中古艇ならびに廉価モデルに顧客がシフトしていく傾向にあり、その中でも、YF-23の中古艇は高値で取引されている状況であった。そこで、YF-23で評価の高い基本性能の熟成と、新たな価値を付加した次世代のYFボートを生み出すべく開発を行った。

### 2 製品概要

#### 2-1. 開発の狙い

前述のように、中古艇や他社廉価モデルとの差別化を図るために以下の項目を目標として掲げた。

#### 2-1-1. 競争力のある価格

YF-23(以下、従来艇)や他社競合艇よりも低価格とし、さらに中古艇にも勝てる価格作りを目指した。従来艇に比べ、ボリュームアップした材料のコスト増加分を、機能を落とさず部品や船体構造を見直すことでコストダウンを達成した。

#### 2-1-2. 差別化・付加価値

新規開発のハル(艇体)およびデッキ(上甲板)により、中古艇には無い魅力を付加できた。スタイリッシュなデザイン、特徴的なフォルムを生んだスクウェアバウやストレートチャイン、S-QUALOで確立したAnti-Rolling-Blade(以下A.R.B.)、さらに熟成を進めたWave-Thruster-Blade(以下W.T.B.)などが挙げられる。

#### 2-1-3. 商品熟成

基本性能および使い勝手の更なる向上を目指し、目の肥えたボートアングラーの期待を上回る商品作りを行った。走行性能はもちろんのこと、最近の主流となってきたルアーフィッシ



シング(キャスティング、ジギングなど)にマッチングさせるべく、静止安定性の向上やデッキレイアウトの作り込みを行い、従来艇に対し大きく利便性を向上させた。

## 2-2. 主要諸元

主要諸元を以下に示す。

表1 諸元表

主要諸元	YF-24 F115	YF-24 F150	YF-2 FSR F115	YF-24 FSR F150
登録型式	E3U1			
全長	7.20m			
全幅	2.59m			
全深さ	1.64m			
艇体質量	1,280kg		1,310kg	
完成質量	1,475kg	1,498kg	1,505kg	1,528kg
搭載エンジン	F115AETX	F150AETX	F115AETX	F150AETX
搭載馬力	84.6kW [115ps]	110.3kW [150ps]	84.6kW [115ps]	110.3kW [150ps]
燃料タンク容量	200リットル			
定員	8名			
航行区域	限定沿海			

## 2-3. レイアウト

従来艇はハードトップ仕様とキャビン後方にスライド式のドアを持つEX仕様の2タイプが存在した。今回は、EX仕様に限定して開発を進めた。その結果、共通プラットフォームの制約がなくなり、キャビンフロアをデッキフロアより100mm下げることが可能となった。ブリッジ全体を低くすることで低重心化による安定性向上や風流れ性能の向上とともに、低くシャープなデザインを実現できた。またEX仕様に特化することにより、専用の作り込みを行うことができ、コストダウンが可能となった。



図3 全体レイアウト

スクウェアバウは、図4のように従来艇のバウデッキよりも大幅にスペースを拡大し、キャスティングやジギングなどスタンディングポジションでのフィッシングステージとして充分な広さを確保している。またバウレール(OP)の高さを腰下まで

ホールドする位置に設定し、キャスティングに集中できる環境を実現した。



図4 バウデッキ

スクウェアバウにすることにより、ブリッジサイドの通路幅を広げ、移動の利便性向上と広いデッキスペースを実現した(図5)。

## DECK SPACE

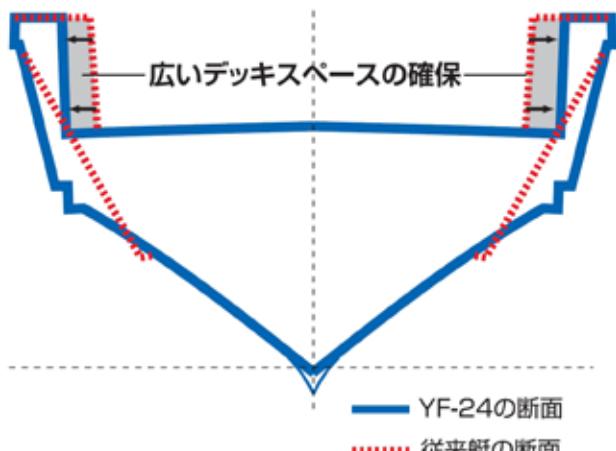


図5 デッキスペース断面図

スター側では、船外機を1基掛け専用とすることで、モーターウェルの両サイドをキャスティングスペースおよび、腰掛スペースとして利用できるレイアウトとした。

アフトデッキには人工木材製のトップガンネルを新規採用した。これにより艤装の自由度を高めアングラーが自分流の艤装を行うことが可能になった。また、デザイン面のアクセントに加え、FRP製ガンネルよりもコストダウンができることも採用した理由の一つである(図6)。



図6 スターンデッキ

コンソールは、YAMAHAとYFのYをモチーフに前方に広がりを感じさせるデザインとし、機能を徹底的に追及したレイアウトを実現した。フロントウインドウ下をGPS魚探やレーダーの設置スペースとし、自由なレイアウトを可能とした(図7)。



図7 ダッシュボード

#### 2-4. 基本性能

##### 2-4-1. 走航性能

本開発にあたって、W.T.B.(図8)をスターン方向に伸ばすことによって直進性能の向上はもちろん、旋回時においても、素直な操縦性を実現した。加えて、W.T.B.船首部は波に切り込む角度を鋭角にすることで、波当たりのショックをやわらげ、乗り心地を一段と向上させた。(上下衝撃:従来艇比 約20%低減)。

また、スクエアバウ形状に合わせ、船首部においてもチャイン幅が広いストレートチャイン形状(図9)とすることで、従来艇よりも大きく反り返ったワイドフレア(図8)を実現した。これにより、走航中に発生するスプレーをストレートチャインで外側へさばき、さらに駆け上がる飛沫をワイドフレアが抑止するという、卓越したドライバビリティ性能を備えている。燃料タンクは200リットルと大容量で、長距離クルージングにも対応している。

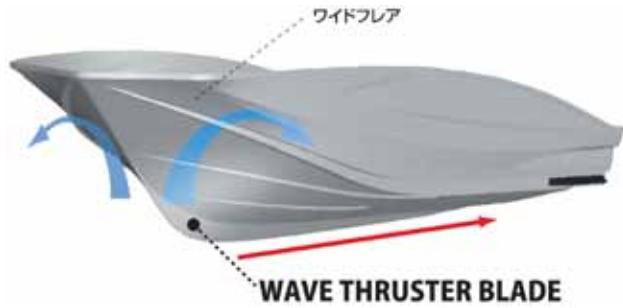


図8 W.T.B.



図9 ストレートチャイン形状

##### 2-4-2. 安定性能

走航時および静止時の安定性能は、フィッシングを始め、様々なボートレジャーを楽しむ上で乗る人の安心感を支える基本性能である。特にフィッシングにおいて静止安定性は、釣りに対する集中力を左右する重要なポイントである。そのため、本開発艇は、A.R.B.(図10)を標準仕様で採用した。ハルに施したリバースチャインは、走航時のボートのフラつきを抑え、直進時の波によるロール変化量を従来艇と比較して約40%低減させた。さらにサイドスponsonと組み合わせることにより、波の中での静止安定性を向上させ、横揺れ角度を約15%低減させた(従来艇比)。また、ストレートチャイン採用により、バウでのキャスティング時の揺れも約25%低減させた(従来艇比)。

#### ANTI-ROLLING BLADE



図10 A.R.B.



図11は桟橋からの上下船時の横揺れ収まりを示しているが、前述の波の中での横揺れ角度も同様の波形となる。

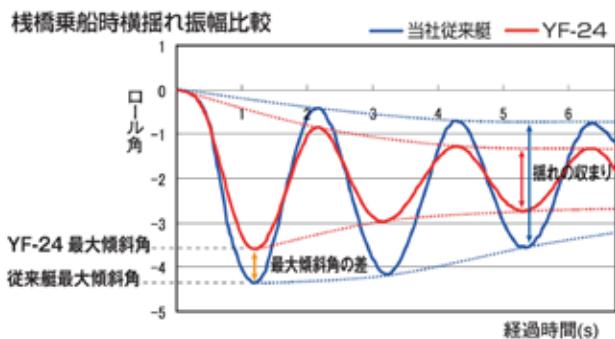


図11 横揺れ振幅比較

#### 2-4-3. 風流れ性能

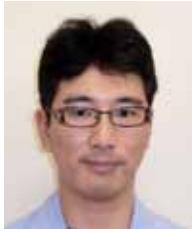
フィッシングボートにとって風流れ抑止性能は、より本格的にボートフィッシングを楽しむために求められる要素のひとつであり、船尾にエンジンを搭載する船外機艇にとっては、解決が非常に困難な課題であった。本開発艇では、新しいW.T.B.の採用に加え、ブリッジの高さを下げ風圧を受ける面積を軽減することで、優れた風流れ抑止性能を実現した。(図12)

※この論文に関連した動画が、下記 URL 「映像ライブラリー」に掲載されています。

↓直接こちらのリンクをクリックしてご覧になれます。

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

#### ■著者



武富 大海  
Hiromi Taketomi  
マリン事業本部  
ポート事業部  
舟艇製品開発部



杉山 紘史  
Hiroshi Sugiyama  
マリン事業本部  
ポート事業部  
舟艇製品開発部

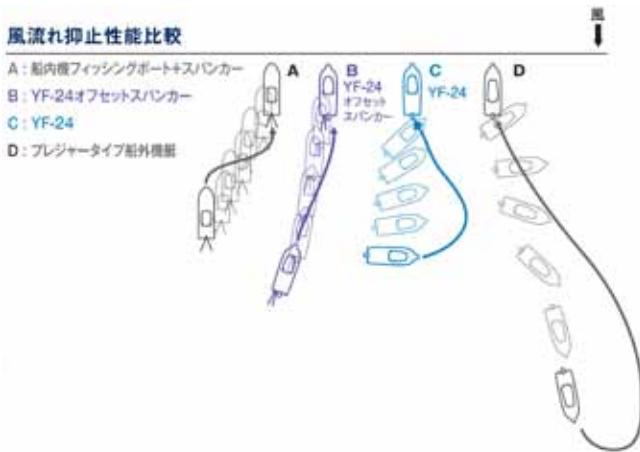


図12 風流れ抑止性能比較

### 3 おわりに

本開発艇のベースとなったYF-23は、2002年10月の発売以来、シリーズ合計約1,300隻以上を販売した当社のベストセラーモデルとして、市場で高い評価を得てきた。それゆえ後継機となる本艇の開発に対する期待や要求は、非常に高いものであった。しかしながら社内外のさまざまな方々の協力を得て、期待に応えられる艇を開発することができた。多大なご協力をいただいた方々に、紙面を借りて感謝申し上げる。



# フィッシングボート SR-X

## Fishing Boat SR-X

### 製品紹介

佐竹秀紀 太田淳司 西澤孝平 小野寺廉



図1 SR-X(2011年7月発売)

#### Abstract

The SR-X (Fig. 1) is a boat created to fulfill the dreams of shore anglers who always long to reach that ideal fishing point where two sea currents meet or to have a great fishing spot that nobody else has gotten to yet all to themselves. In this report, we introduce the attractive design and performance features of the SR-X, winner of Japan's 2011 Good Design Award (G Mark) and the Boat of the Year award (domestically manufactured small boat category) from a technical standpoint.

## 1 はじめに

「あの潮目まで届けば…」「誰にも叩かれていないポイントを独り占めできたら…」きっと多くのショアアングラー(岸釣りの人)が抱く感情ではないだろうか? SR-X(図1)はそのような願望を叶えられるボートである。

本稿では、2011年グッドデザイン賞/2011年ボート・オブ・ザ・イヤー(国産小型艇部門)を受賞したSR-Xの魅力について、技術的視点を交えて紹介する。

ボートを使ったルアーゲームも開拓されてきた。しかし、比較的安価で玉数豊富な中古艇が存在する昨今、新艇販売は厳しい状況にある。そこで、新艇需要の創出を狙い、既存モデルと一線を画すスタイリングと釣り機能を高次元で融合させたボートの開発に踏み切った。

### 2-2. 開発の狙い

「ボートオーナーにおける底辺層の拡大および低年齢化を達成するモデルの開発」を狙い、次の項目を目標として掲げた。

新領域客の取り込み⇒潜在需要の発掘

顧客需要である中古艇ユーザーからの取り込み

(想定マーケットボリューム:350[隻])

戦略的な低価格モデル

(安価なマリーナ保管パッケージの展開)

## 2 製品概要

### 2-1. 開発の背景

過去10年、弊社ボートオーナーの平均年齢は増加傾向にあった。そのような中、ルアーフィッシングが全国各地で浸透し、若年層を中心に人気を獲得してきた。より良い釣果を求め、



## 2-3. 商品コンセプト

- 次に挙げるコンセプトのもと、開発を進めた。
- 既存モデルの延長線上からの脱却
- (新しいデザインイメージの創造)
- 進化した基本性能
- 釣り機能の充実
  - (4人同時に釣りができるレイアウト)
  - 十分なタックル(釣り道具)収納力
  - (ロッド(釣り竿)3~4[本/人]の持ち込みを想定)
- 女性・子供が喜ぶ魅力をもつ

ディ内にはオプションでマリントイレを装備できる(図5)。ハッチ類は共通品を使わず、デザイン性重視で専用品を採用した。収納スペースの容積は同クラスの21ft艇比較で136%と広

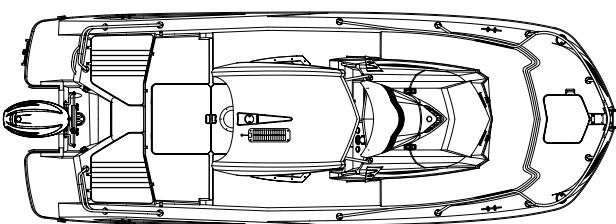
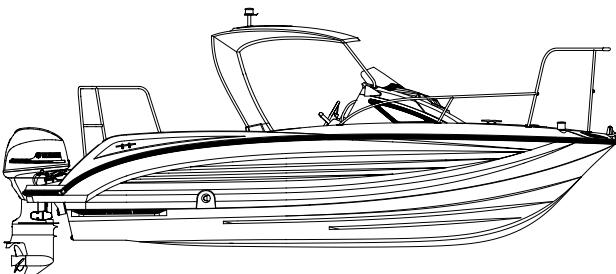


図2 配置図

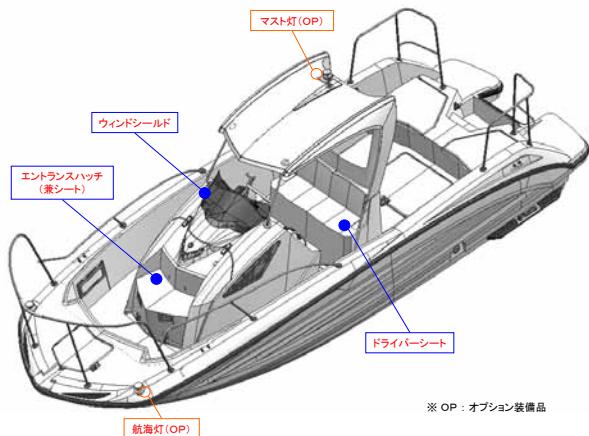


図3 レイアウト (1)

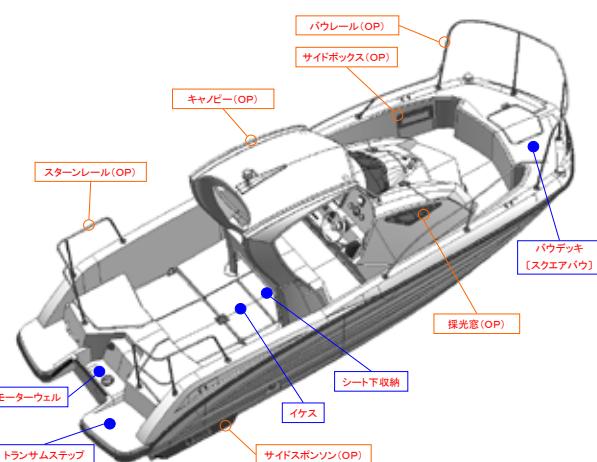


図4 レイアウト (2)



い。トランサムステップを有するデッキ形状とトランサムラダー(オプション)により親水性を確保し、フィッシングだけに留まらず、マルチユース・ファミリーユースをイメージさせる工夫を織り込んだ。

レイアウト上、SR-Xが特に優れる点は、「4人がボートの隅に構え、ストレスなくロッドを取り回すことができる」とある。



図5 ダッシュボードレイアウト / カディ内トイレ

### 3 性能

#### 3-1. 性能コンセプト

SR-Xでは、快適なフィッシングならびにクルージングを実現するため、ボートの基本性能である以下4点に着目。全項目当社従来同型艇比30%向上を目指し開発を進めた。

- ① 摆れない
- ② 疲れない
- ③ 濡れない
- ④ 流されない

#### 3-2. 横揺れ抑止性能

水面に浮かぶボートは、波、風、他艇の引き波など様々な影響を受け横揺れを生じる。ボートの揺れは、フィッシングユースのみならずクルージングなどを楽しむファミリーユースなど全てのユーザーに不快感を与える。また、乗船時に発生する

傾き(舷(船端)に足をかけ乗り込む際発生する沈み込み)は乗船者に不安感を与える。

SR-Xでは、リバースチャイン、サイドスponson 2つの要素技術が融合したAnti Rolling Blade (以下A. R. B)をハル(船体)に採用した(図6)。

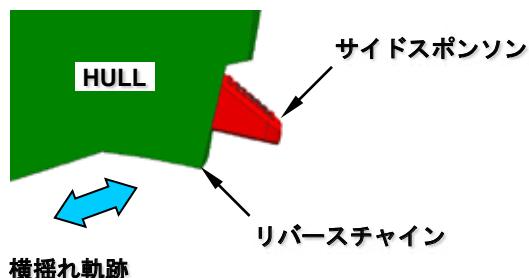


図6 Anti Rolling Blade

以下2点の相乗効果により、横揺れ抑止性能の向上が図れた。

- ① 減衰率の向上  
(当社従来同型艇比+30%) (表2)
- ② 波浪中の横揺れ抑止性能  
(当社従来同型艇比+34%) (表3)

表2 減衰率比較

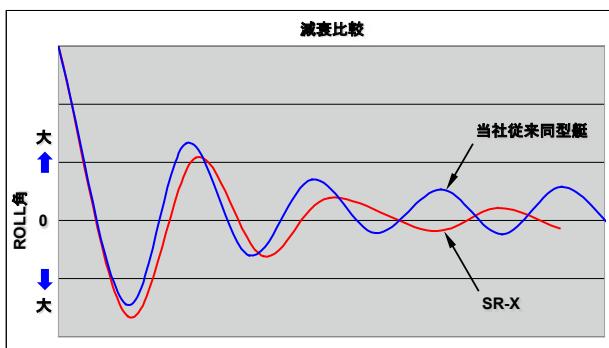
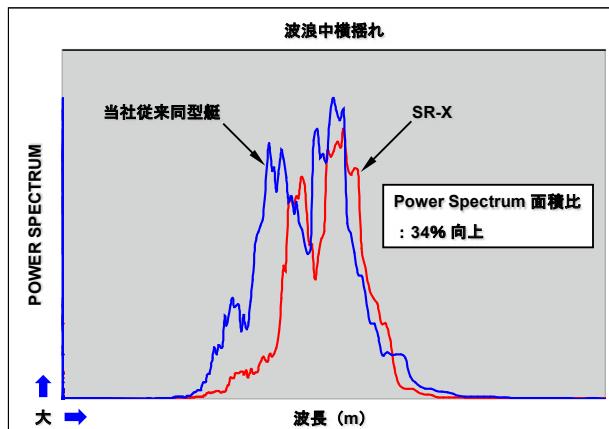


表3 波浪中の横揺れ比較



また、乗船時の沈み込み量も低減（乗込傾斜角▲45%）することで、より傾きにくくなり、乗船時の不安感も同時に改善させた。

### 3-3. 乗り心地

航走時に波に当たることにより発生する衝撃（上下G）、ブレーキング（前後G）が乗船者の体に負担を与える（図7）。

SR-Xでは、ハル開発にあたり、既存技術であるWave Thruster Blade（以下W. T. B.：船首キール部に設けられたつまみ出し）を最適にチューニングさせ採用した（図8）。それにより、乗船者の体に負担を与える以下2点のGの大幅な低減が図れ、フィッシングポイントへの移動時、クルージングにおける乗り心地を向上させ、航走時の疲れを低減すると共に凌波性能（波さばき）を向上させた。

- ① 衝撃（上下G）  
当社従来同型艇比 ▲25%（表4）
- ② ブレーキング（前後G）  
当社従来同型艇比 ▲40%（表5）

表4 上下G比較

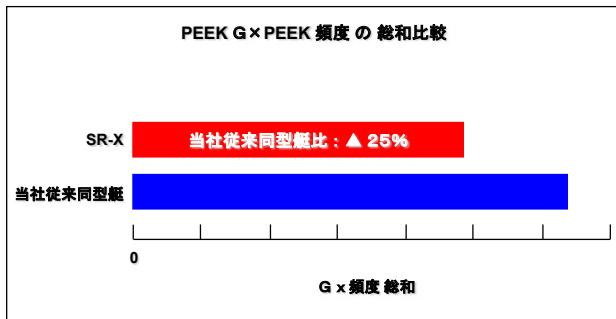
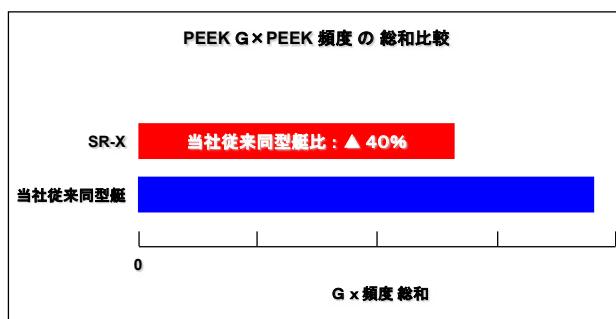


表5 前後G比較



### 3-4. ドライ性

航走時に、波とハルが衝突する際に発生するスプレー（波しぶき）が乗船者を濡らし、不快感につながる。

SR-Xでは、スクエアバウ形状とチャイン（船体の船底と船

側外板とが交わる部分）形状によりデッキ（甲板）上へのスプレー上がりを抑制した（図8）。これにより、ドライ性が向上し、オープンボートでありながら濡れにくく快適な航行を実現した。



図7 航走時に受けるG

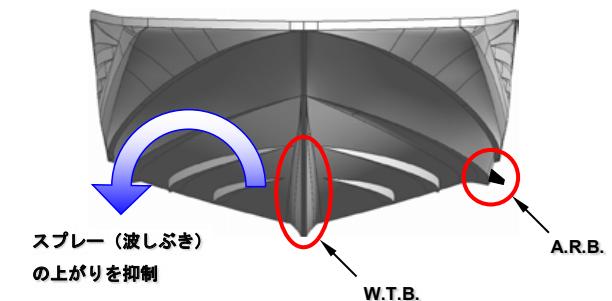


図8 SR-X船型

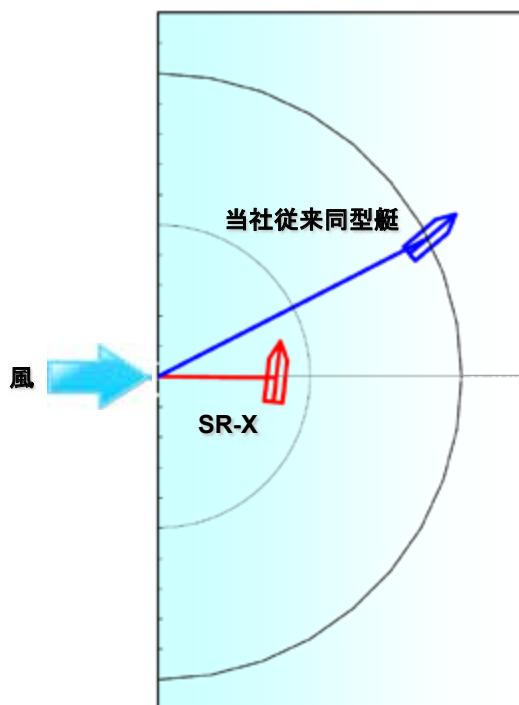


図9 風流れ比較



### 3-5. 風流れ抑止性能

最適にチューニングされたW. T. B. と喫水上下の面積（風を受ける空中面積および抵抗を受ける水中面積を示す）および各面積中心のバランス調整によりクラストップレベルの風流れ抑止性能を実現（図9）。風の影響を受けにくいため、集中してフィッシングが楽しめ、釣果向上に繋がる。

## 4 おわりに

発売から約一年半が経過し、海やマリーナでSR-Xを目にする機会が多くなった。市場からの評価は上々で、とりわけクラスを超越する走行性能と安定性には驚きと共に好評をいただいている。そのような評価を受けるのは開発者として大変喜ばしいことである。

広大なフィールドの中、SR-Xでターゲットを探し、キャッチする。そこで得られる喜び・感動を多くのお客様に味わっていただきたい。

※この論文に関連した動画が、下記 URL 「映像ライブラリー」に掲載されています。

↓直接こちらのリンクをクリックしてご覧になれます。

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

### ■著者

**佐竹 秀紀**

Hidenori Satake

マリン事業本部

ポート事業部

舟艇製品開発部

**太田 淳司**

Jyunji Oota

マリン事業本部

ポート事業部

舟艇製品開発部

**西澤 孝平**

Kouhei Nishizawa

マリン事業本部

ポート事業部

舟艇製品開発部

**小野寺 廉**

Ren Onodera

マリン事業本部

WV事業部

開発部



# 製品紹介

## スポーツボート新19ft.「AR/SX190」の開発 Development of the new 19-ft. AR190/SX190 Sport Boats

逸見 恒彦 太田 延治 高島 純広 宮下 祐司 児島 慎平



図1 AR190

### Abstract

Yamaha Motor Co., Ltd. (hereafter "the Company") developed the world's first sit-down type personal watercraft (PWC) in 1986. The Company then went on to market a "jet boat" that mounted a PWC engine and jet pump propulsion unit. After that, Yamaha's jet boats underwent a shift to 4-stroke engines and, in order to make a full-fledged entry into the "family fun" segment of the recreational boat market, the boat was renamed the "Sport Boat" (hereafter SB) to differentiate it from its previous positioning as an extension of the PWC, and the Company continues to market it today as a series.

The first Yamaha SB was a 23-ft. boat, to which a 21-ft. SB was later added. In both categories, Yamaha SBs emerged from among the many competitors to become No. 1 in market share.

In order to expand the Company's SB business and further strengthen our presence in the family fun segment of the recreational boat market, the new 19-ft. category AR190 and SX190 models have been developed and marketed. Here we report on the development of these new models.

### 1 はじめに

ヤマハ発動機株式会社(以下、当社)では、1986年に世界初となる座り乗りタイプのウォータービークル(以下、WV)を開発し、さらに、そのエンジンとジェットポンプをボートに搭載したジェットボートを市場導入した。その後、エンジンを4ストローク化し、それまでのWVの延長としてのボートから、より本格的なファミリーファンボートカテゴリーに参入するために、スポーツボート(以下、SB)と呼び方も変え、現在に至っている。

ボートのサイズも、23ftから始まり、その後21ftを追加、各クラスにおいて、あまたの競合を抑えシェアNo.1を獲得している。

さらなるSB事業の拡大とファミリーファンボートにおける当社のプレゼンスを確固たるものとするため、19ftクラスに、新製品「AR/SX190」(図1)を開発し、投入した。

### 2 ウォータージェット推進器の特徴

まず、当社SBの最大の特徴であるウォータージェット(以下、WJ)推進を、スタードライブ(以下、SD)の同等モデルと比較する。

当社のエンジン、推進器の断面図を図2に、SDとの主要な諸元比較を表1に示す。

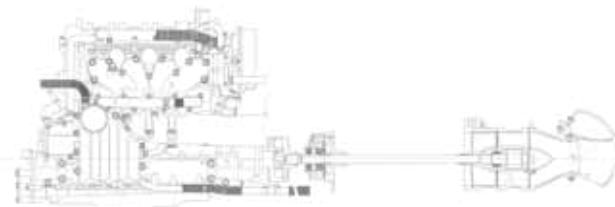


図2 エンジン、推進器の断面図

表1 主要諸元比較

	排気量	気筒数	機関重量	出力
Stern drive	4300cc	V6	405kg	140kw
Water Jet	1800cc	L4	121kg	132kw

WJ推進はプロペラ推進であるSDと比較し、低中速域のトルクを比較的の要しない特性を有す。その結果、圧倒的に軽量・小型のエンジンで同等の推進性能を得ることができる。船体に内蔵されるコンパクトな推進器と合わせ、図3に示すような広大で水面に近いスイミングプラットフォームを実現した。



図3 スイミングプラットフォーム

また、回転物が突出していない安心感、浅瀬でもプロペラヒットを心配する必要のない使い勝手や高い運動性など、さまざまな優れた特徴を有している。

### 3 AR/SX190の紹介

#### 3-1. 開発の狙い

企画コンセプトである「Entry level value and versatility」を念頭に、以下3つを開発の狙いとした。

- ・ヤマハSBの流れをくむ優雅なデザインと、広くて使い勝手の良い居住空間を提供する。
- ・WJ推進の特徴を生かした、軽快な中にも安定感のある運動性を実現する。
- ・電子制御系を始めとした、他社にないフィーチャーを付

与し、バリューを持たせる。

AR190のサイドビューを図4に示す。

バウからスターにかけての流麗なガンネルラインと動力源の存在を感じさせないエンジンレスデザイン、インテグレートされたスイミングプラットフォームが特徴である。



図4 AR190 サイドビュー

#### 3-2. 開発への取り組み

本クラスになると、ただ単に長さが短いというだけでなく、例えば、保管に際しても自宅ガレージの中に入れてしまうなど、お客様のプロファイルから使い方まで、上位クラスとは異なる。従って、企画から評価まで徹底的に、市場の使われ方や使い勝手を意識して開発してきた。

実際に、開発および営業、企画のキーメンバーが主市場であるフロリダに集結し、トレーラーによる運搬性からガレージへの収納性などをチェックする「リアルワールド評価」を行い、企画・仕様の確からしさを検証した。

また、当社では、ボート、マリンエンジン、WVのマリン3事業部間ににおける技術の融合・昇華を積極的に進めてきた。本モデルの開発にあたっては、ボートの開発部門からもプロジェクトに参画し、商品性、生産性向上などに大きな効果を得た。評価にあたっても、WV、ボート、TWI<sup>注1)</sup>の実験者が一堂に介し、それぞれの豊富な経験と技術を持ちより、効率的かつ精度の高い評価をTWIで行った。

#### 3-3. 仕様と技術の特徴

主なフィーチャーマップを図5に、本モデルの仕様諸元を表2に示す。

##### 3-3-1. 船体概要

今回の19ftは、現在の我々の商品ラインナップにないサイズであり、よってハル形状(船型)から新規に開発する必要があった。

船型開発においては、メイン市場である米国の大河や湖を想定しつつも、世界展開を視野に、日本やカナダ市

## F3A フィーチャー

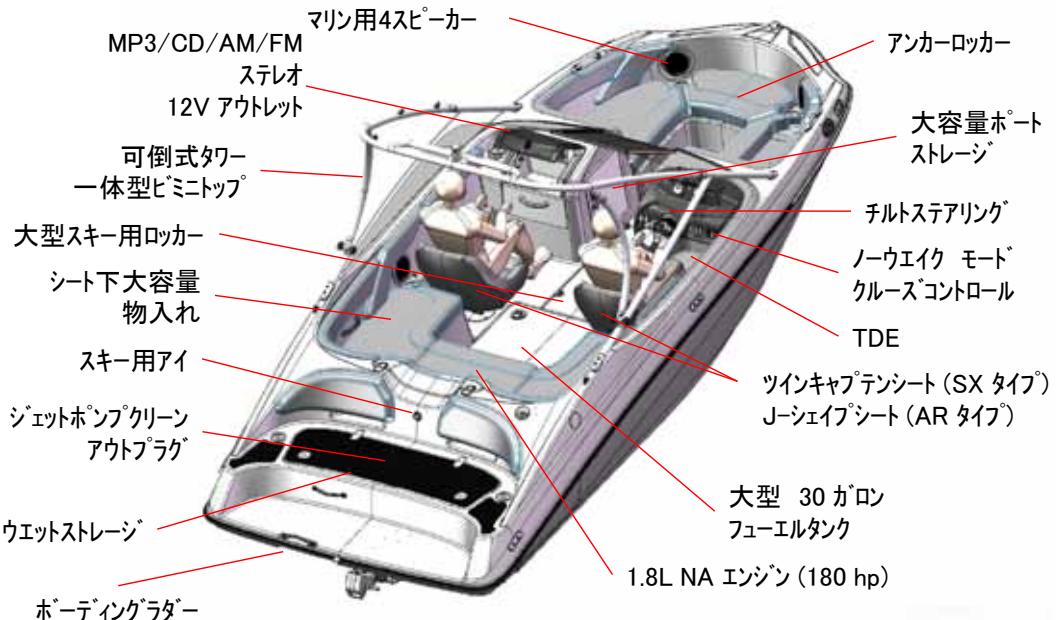


図5 フィーチャーマップ

表2 主要諸元

全長 (m)	5.8
全幅 (m)	2.4
全高 (m)	2.6
乾燥重量 (kg)	971 (AR) / 959 (SX)
定員 (人)	8
燃料タンク容量 (L)	113.6
種類・気筒数・配列	並列4気筒 直接水冷却
総排気量 (cc)	1,812
エンジン出力 (kw)	132.4 kw (180ps) / 7600rpm
ドライブ形式	φ 155mm、 シングルステージ軸流ポンプ ステンレス3翼インペラ

Y.P.D.S. (YAMAHA Performance Development System)を駆使し、影響する各船型パラメーターを評価しながら基本船型を決定し、実航走にて計算結果を確認、調整を行った。

また、主要コンセプトのひとつである、居住空間とストレージスペースの最大化にあたっては、デッキ成形上の要件(型の抜き勾配や、スプレーの射出アングルなど)を細かくチェックした上で、これら成形要件を満足させつつも、無駄なスペースを極力排除する形状設計を織り込んだ。

強度設計においても、艇体構造のFEM解析(図6)により、無駄な補強や、形状を排除し、その分を空間の有効利用に向けた。その結果、ストレージにおいては、19ftという小型サイズの艇でありながら、1,800mm長さのスキーロッカーを床下に実現することができた。(図7)

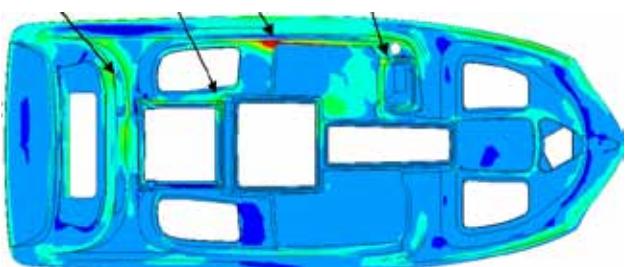


図6 艇体構造のFEM解析

場のような、波長の短い、チョッピーな海面でも、安定して航走できる動安定性とソフトライドの両立を目指すと共に、本ボートのターゲットカスタマーである、ファーストタイムバイヤー(初心者)や、ファミリーユースを想定し、桟橋からの乗り降りやデッキ上の移動などで重要な“静止安定性の確保”といった基本的な性能にも最大限の注意を払った。

開発のステップは、当社独自のシミュレーション技術、



図7 スキーロック

### 3-3-2. エンジン・ジェットポンプ概要

本モデルでは、WVで開発した高性能で信頼性の高い1,800ccのエンジンと、φ155mmのジェットポンプを一部SB用に変更して搭載することとした。このエンジンに装備された電子制御式スロットルにより、SBに特化したフィーチャーとして、No-Wakeモードとクルーズアシストを備えている。

No-Wakeモードとは、スイッチ操作だけで、アイドリング回転数を3段階に調整することが可能で、米国国内の水路や住宅地付近に多く設けられている徐行区間を、アイドリングより少し上の速度で安定的に走ることができるものである。クルーズアシストとは、クルージング領域でリモコンレバーの操作なしに、No-Wakeと共にスイッチ(図8)により、微妙なエンジン回転数の調整を可能にし、操船者の負担を軽減することができるものである。



図8 No-Wake モード スイッチ

WJ推進は、クラッチ機能を持たないため、リバースゲートの位置により、前進、後進、ニュートラルを制御する。この機構を利用し、WJ推進の弱点として知られる低速時の舵効き性を改善するために、TDE(Thrust Directional Enhancer)を開発した。通常、前進の時には、全ての水流は後方に噴射される。TDEポジションでは、僅かの水流が下前方に噴射される。(図9)

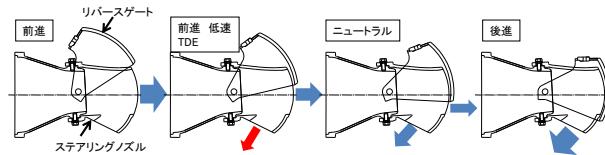


図9 TDE ポジション

機械的な舵の代わりに、この水流が舵役割を果たし、舵効き性が改善される。シンプルであるが、WJ推進の特徴である高い運動性を阻害することなく、改善をもたらす画期的なシステムである。先のNo-Wakeモードと合わせ、SDと対抗するための強力な武器となっている。

### 3-4. 製品の評価

同等クラスのモデルと比較評価した結果を図10に示す。当初の狙いどおり、WJ推進の特徴である小気味の良い加速感と軽快な旋回性、そしてキャビンの広さを実現でき、当社の米国現地法人である、YMUSと合同評価を行った際、このクラスの"Game Changer" <sup>注2)</sup>であるとの評価を得るに至った。

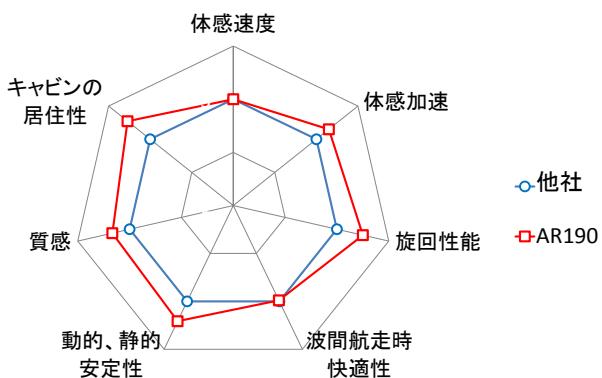


図10 製品評価

図11に、航走燃費をSDの競合モデルと比較した結果を示す。一般的にWJ推進は燃費効率が悪いとされているが、AR190では良好な燃費効率の実測値を示している。これは燃費効率の良いエンジンと圧倒的に軽い完成重量によるところに尽きる。艇体軽量化は、WVでもNanoXcel、VARTMといった新素材、新工法の技術開発と製品導入に力を注いでおり、当社のアイデンティティとなっている。

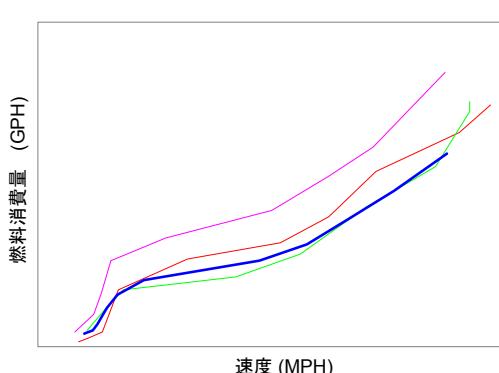


図11 燃費性能

## ■著者



**逸見 恒彦**  
Yasuhiro Henmi  
マリン事業本部  
WV事業部  
開発部



**太田 延治**  
Nobuharu Oota  
マリン事業本部  
WV事業部  
開発部



**高島 純広**  
Sumihiro Takashima  
マリン事業本部  
WV事業部  
開発部



**宮下 祐司**  
Yuji Miyashita  
Tennessee Water Craft Inc.



**児島 慎平**  
Shinpei Kojima  
マリン事業本部  
ポート事業部  
舟艇製品開発部

## 4 おわりに

ボートのメイン市場である北米は、リーマンショックにより一旦大きく落ち込んだものの、その後の景気回復に伴い、ゆっくりではあるが、着実に以前の活気を取り戻しつつある。そのような中、本モデルの導入と上位モデルの好評価により、当社SBは確実にシェアを伸ばしている。また、導入時には、北米市場一極に集中していたものが、最近では、中国、中東を始めとする新興国でも販売を始め、将来の需要拡大が期待できる。

今後、WV、SBの商品力強化、さらにはウォータージェット推進器の更なる可能性を広げ、WV事業、ひいては、マリンのヤマハを世界に確固たるものとするために、新商品の開発、技術の革新に努めていく所存である。

注1)…Tennessee Water Craft Inc.

テネシー州にあるSBの開発、製造工場。

注2)…Game Changer

米国内で頻繁に使われる言葉。スポーツ等の競技途中で交代し、試合の流れを一気に変えてしまう選手のこと。転じて、世論の動向を大きく変える人物や出来事を示す。



# 技術論文

## 二輪車の低速ウィーブモードとスラローム走行の関連調査

Investigating the relationship of motorcycle weave mode at low speeds and slalom running

岸知昭 藤井茂 内山俊文

### 要旨

我々の研究プロジェクトでは、二輪車の操縦安定性を把握する上で重要となる二輪車の代表的な振動モードであるウィーブモードについての研究を進めている。ウィーブモードの分析方法としては、走行中の二輪車のハンドルに外乱を加え、その時のロール角等の応答波形から推定する方法が挙げられる。しかし、車輌速度が低い領域では、ライダーの操縦による影響が走行データに大きく現れるため、推定が困難である。そこで低速領域においては、ウィーブモードとほぼ同じ振動周波数であるスラローム走行のデータからウィーブモードを推定できないかと考えた。

今回、シミュレーションを用いて両者の関連を調査した結果、特定の車速及びパイロン間隔でのスラローム走行は低速ウィーブモードと同じ振動モードであることを確認できた。また実際の車両でスラローム走行した時のデータについても、シミュレーション結果との比較を行い、操縦安定性を考える上で重要なデータである操舵トルクとロール角についてシミュレーションと同様の傾向を示すことが確認できた。

### Abstract

Recently, our research has focused on the weave mode. This is a representative vibration mode occurring in motorcycles and is important when considering maneuverability and stability. One method of analyzing the weave mode is to apply external disturbance to the handle-bars of the motorcycle in motion and then make estimations based on the waveform of the roll angle and other responses that occur as a result of the disturbance. However, when the motorcycle is ridden at low speeds, the steering operations of the rider have a large effect on the running data and this makes estimation difficult. As a solution to this problem, we hypothesized that weave mode data can be estimated from slalom running data, since slalom running produces almost the same vibration frequency as the weave mode in the low speed range.

In our research this time, the simulations were used to investigate the relationship between the weave mode and slalom running. The results of the investigation confirmed that slalom running at a specified speed around pylons spaced apart at a specific interval resulted in the same vibration mode as the weave mode in the low speed range. Furthermore, the data obtained from actually performing the slalom running was compared to the simulation results, and we were able to confirm that the same trends occurred in the steering torque and roll angle, which are vital data when considering maneuverability and stability.

### 1

### はじめに

二輪車において、運転のしやすさおよび安定して走行できることは重要であると考えられるが、それらを数値化することは難しい。もしこれらの操縦安定性を数値化でき、さらに実際に運転することなく車輌の設計データから操縦安定性を示す数値が予測できれば、車輌の設計段階においても操縦安定性を考慮した設計が可能となり、開発プロセスに大きく貢献することができる。従って二輪車の操縦安定性を定量的に評価することには大きな意義がある。

これまでに我々のチームでは、二輪車の操縦安定性を定量的に評価するため、二輪車に姿勢計測装置を搭載し、計測

を実施してきた<sup>[1]</sup>。これによりテスト条件や乗車姿勢の違いによって定常円旋回でのタイヤ横すべり角や操舵トルク等に異なる傾向が見られることを確認した。このように定常状態での車輌挙動の把握を進めてきたが、現在は過渡的な挙動についても研究を進めており、特に二輪車の操縦安定性を把握する上で重要な低速域でのウィーブモードについての研究を進めている。

ウィーブモードを始めとする二輪車の振動モードの分析方法として、ハンドルに外乱を加え、その時のロール角等の応答波形から推定するハンドルヒット法が挙げられる。しかし、低速におけるハンドルヒット法では、ライダーの無意識でのハンドル操作や体重移動により、振動が即座に減衰してしまい、振

動モードを分析することが困難である。

そこで本報では、低速におけるウィーブモードとほぼ同じ周波数であるスラローム走行データに着目し、二輪車のシミュレーションモデルを用いて、低速ウィーブモードとスラローム走行が同じ振動モードとなっているか検証を行った。また、シミュレーション上で車速・パイロン間隔・スラローム幅を変化させてスラローム走行を行い、これらの走行データから低速ウィーブモードを予測することが可能であるかを検証した。さらに、スラローム走行データと二輪車モデルから算出した周波数応答との関連についても調査した。最後に実際の車両でもスラローム走行を行い、シミュレーションと同じ傾向を示すか確認した。

## 2 シミュレーション

### 2-1. シミュレーションモデル

調査には、図1に示すような排気量1300cm<sup>3</sup>の大型二輪車のシミュレーションモデルを用いた。モデルは10剛体(main frame、rider、engine、tank、front fork、front arm、front wheel、arm relay、rear arm、rear wheel、ただし、rider、engine、tankはmain frameに剛結)、11自由度を持ち、タイヤモデルについてはタイヤ試験データによりモデリングを行うMF-Tyre modelを用いた。座標系は図2に示すようにISO座標系を用いている。また、ライダーによる制御モデルを式(1)に示す。なお、モデルの詳細な説明については参考文献を挙げる<sup>[2]</sup>。

$$\tau = -k_p(\phi - \phi_{ref}) - k_{d1}\dot{\phi} - k_{d2}\dot{\alpha} \quad (1)$$

$\tau$ : steering torque  
 $\phi$ : roll angle  
 $\alpha$ : steering angle  
 $k$ : gain

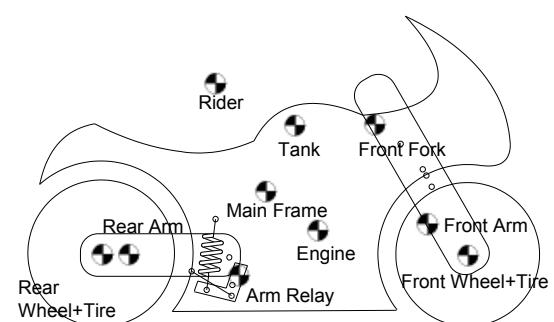


図1 シミュレーションモデル

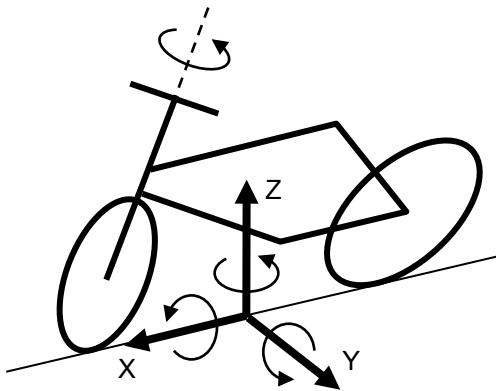


図2 座標系

### 2-2. 振動周波数について

シミュレーションモデルにて様々な車速で直線走行させた時の固有値解析を行い、その結果からウィーブモードを示す固有値を抜き出したものを図3に示す。二輪車のウィーブモードは、中高速域で振動周波数1~4Hz程度の領域に現れることが一般的に知られている。しかし、従来は注目されていなかったが、図3に示すようにこのモードは低速域でも発生しており、図中の低速域で実部が0、つまり振動が減衰せずに持続する時の車速は25km/h前後であり、この時の振動周波数は実部0の固有値の虚部から読み取ることができ、約2.3rad/sec (0.3Hz)である。

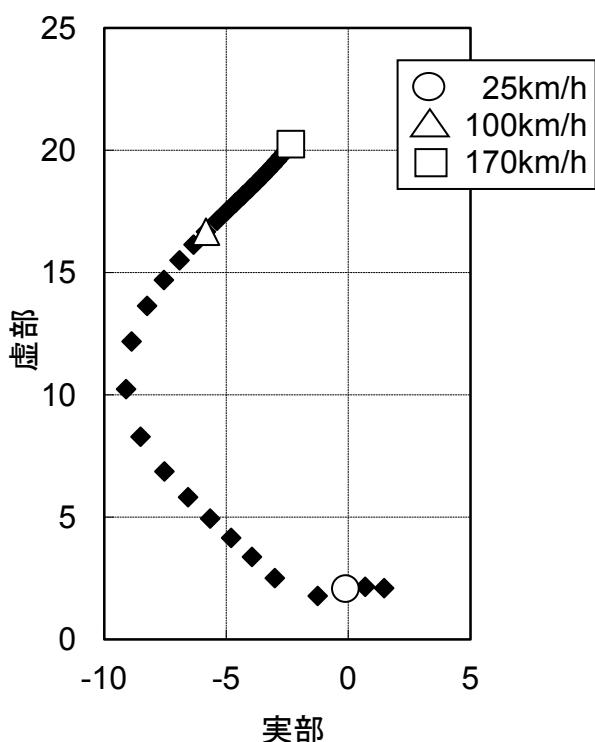


図3 ウィーブモードの固有値

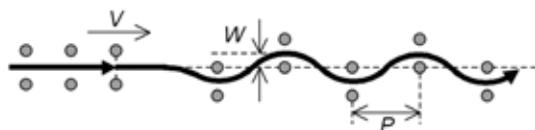


図4 スラローム走行テスト

一方、スラローム走行試験は図4に示すようなものであり、車速 $V$ 、スラローム振幅 $W$ 、パイロン間隔 $P$ の各条件を変化させて行う。このスラローム走行時の条件のうち、車速 $V$ を低速ウィーブモードと同じ25km/hとし、パイロン間隔 $P$ を8~20mで変化させて走行したとすると、スラロームの周波数 $f$ は0.2~0.4Hzとなり、低速ウィーブモードの周波数とほぼ同じ範囲となる。

### 2-3. スラロームシミュレーション

固有値解析結果とスラローム走行試験結果の関連性を調べるために、上記のスラローム走行試験をシミュレーションで再現した。結果の一部を図5に示す。

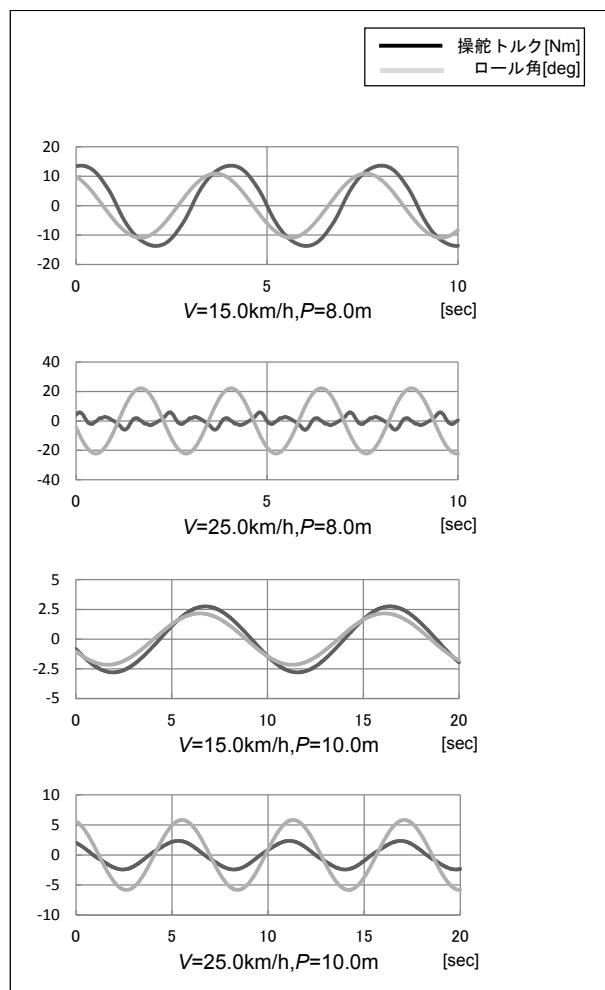


図5 操舵トルクとロール角

通常、ライダーはスラローム走行の際に操舵トルク入力を与えている。従って、スラローム中の走行データ波形から振動モードを分析しようとしても、ライダーの操舵トルク入力の影響があるため、二輪車単独の振動モードを分析することはできない。しかし、図5に示すスラロームシミュレーションの結果中の $V=25\text{km/h}$ 、 $P=8.0\text{m}$ の時のように、与える操舵トルクが比較的小さい場合もある。

そこで、実部0のウィーブ固有値となる速度と振動周波数のスラローム条件を求めて、その条件でスラローム走行するシミュレーションを行えば、初期を除けば操舵入力が無くても持続振動が可能であることが予想される。この場合、ライダー操縦の影響は無くなり、二輪車単独のウィーブモードがスラローム走行として現れると考えられる。

### 2-4. 低速ウィーブモードとスラローム走行の比較

検討結果を基に、実部0の固有値から算出した条件(車速 $V_0$ 、パイロン間隔 $P_0$ )でスラロームシミュレーションを行い、低速ウィーブモードと同じ振動モードとなることを示す。

まず、低速ウィーブモードと同等の振動周波数となるスラローム条件(車速 $V_0$  km/h・パイロン間隔 $P_0$  m)を求める。図3より実部0となる固有値 $\lambda_0$ から車速 $V_0$ を求める。そして式  $P_0 = (V_0 / 3.6) / (b / 2\pi) / 2$  ( $b$ : $\lambda_0$ の虚部) からパイロン間隔 $P_0$ を求める。算出すると $V_0 = 24.3\text{km/h}$ 、 $P_0 = 10.1\text{m}$ となる。

次に、低速ウィーブモードとスラローム走行、それぞれにおいて振動モードを表す固有ベクトルを以下の方法で算出し、比較を行う。

- ・固有値解析結果より、実部が0となる低速ウィーブの固有値 $\lambda_0$ に対応する固有ベクトルを求める(図6)。図6のベクトルの長さから振幅比、ベクトルのなす角度から位相差を読み取ることができ、それらを表1に示す。
- ・算出した条件(車速 $V_0$ 、パイロン間隔 $P_0$ )のスラローム走行をシミュレーション上で行い、走行中の各状態量を測定する(図7)。

なお、スラローム振幅 $W$ は実車走行試験時のデータを参考に0.8mとした。そして各状態量間の振幅比、位相差を求め、これらを表1に示す。また、固有ベクトルと同様のベクトル表示も行う(図8)。図8には参考として、 $V_0$ 以外の車速(15km/h、35km/h)でも同様に算出した状態量のベクトル表示も図示している。比較を容易にするため、両者のベクトルは主要な状態量5変数についてのみ表示し、ロール角を示すベクトルが(1,0)となるよう回転及びスケーリングさせている。

表1より、ウィーブモードと車速 $V_0$ のスラロームについては、



振幅比・位相差共にほぼ一致していることが確認できた。つまり、実部0の固有値から算出した条件(車速 $V_o$ 、パイロン間隔 $P_o$ )でスラローム走行を行えば、低速ウィーブモードと同じ振動モードとなっている。

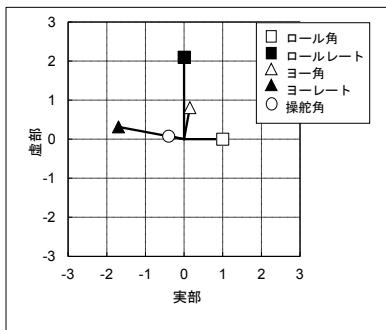


図6 固有ベクトル (ウィーブモード)

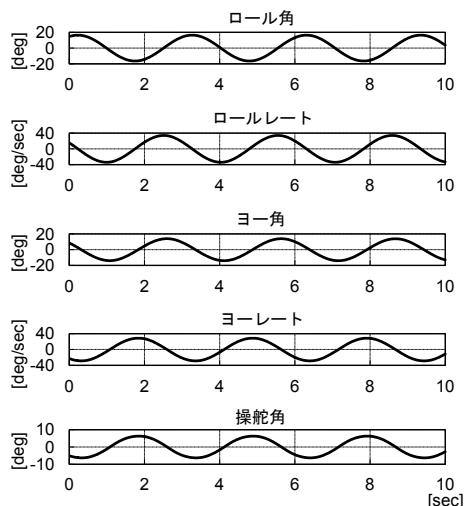


図7 スラローム走行データ

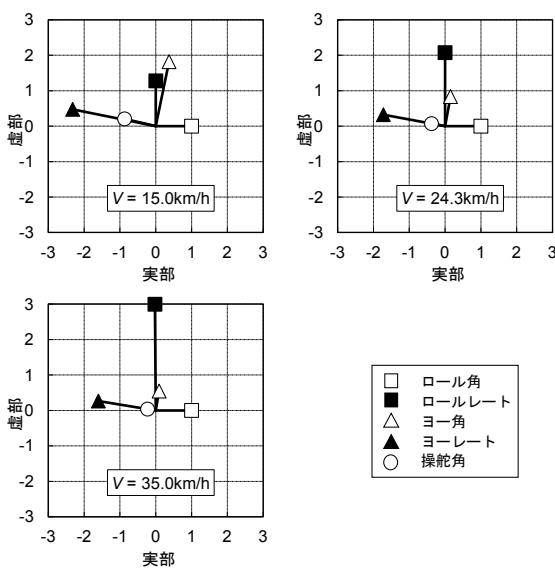


図8 スラローム走行データのベクトル

表1 ベクトルの比較

&lt;振幅&gt;

	ウィーブ モード	スラローム走行		
		15.0km/h	24.3km/h	35.0km/h
ロール角	1.00	1.00	1.00	1.00
ロールレート	2.10	1.28	2.07	2.99
ヨ一角	0.82	1.86	0.85	0.55
ヨーレート	1.73	2.37	1.75	1.62
操舵角	0.41	0.89	0.38	0.23

&lt;位相[deg]&gt;

	ウィーブ モード	スラローム走行		
		15.0km/h	24.3km/h	35.0km/h
ロール角	0.00	0.00	0.00	0.00
ロールレート	89.98	89.91	90.00	90.43
ヨ一角	79.52	78.46	79.74	80.19
ヨーレート	169.50	168.40	169.34	170.62
操舵角	169.02	166.70	169.34	170.62

### 3 スラローム走行データの分析 (シミュレーション)

#### 3-1. スラローム走行データから低速ウィーブモード取得

前章では実部0のウィーブ固有値から求めた条件(車速 $V_o$ 、パイロン間隔 $P_o$ )でのスラロームに着目した。次にスラロームデータからウィーブモードを取得できるか、すなわち様々な条件でスラローム走行を行い、その中で操舵トルクが0に近い走行データから低速ウィーブモードを予測することができるかシミュレーションを用いて調査した。

調査方法はroll transfer functionを参考とし<sup>[3]</sup>、図9に示すように、スラローム中の操舵トルクとロール角の振幅比及び位相差を、スラローム条件毎に求めることで行った。スラローム条件は、パイロン間隔については $P_o=10.1\text{m}$ がほぼ中央となるように6m、8m、10m、12m、16mの計5パターンを用意し、車速は $V_o=24.3\text{km/h}$ がほぼ中央となるように15km/hから35km/hまで変化させた。また、これまでスラローム幅 $W$ は0.8m固定してきたが、 $W$ の違いによる影響も把握するため、 $W=0.1\text{m}$ 、0.4m、0.8mの3パターンで調査した。以上のスラ

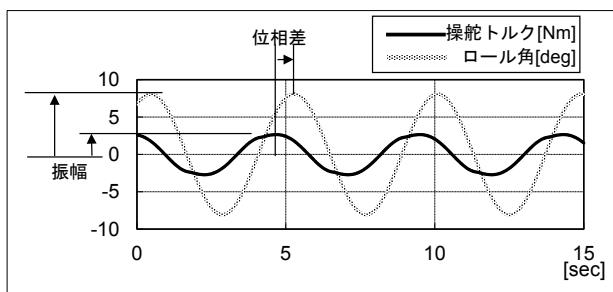


図9 位相差と振幅比の算出

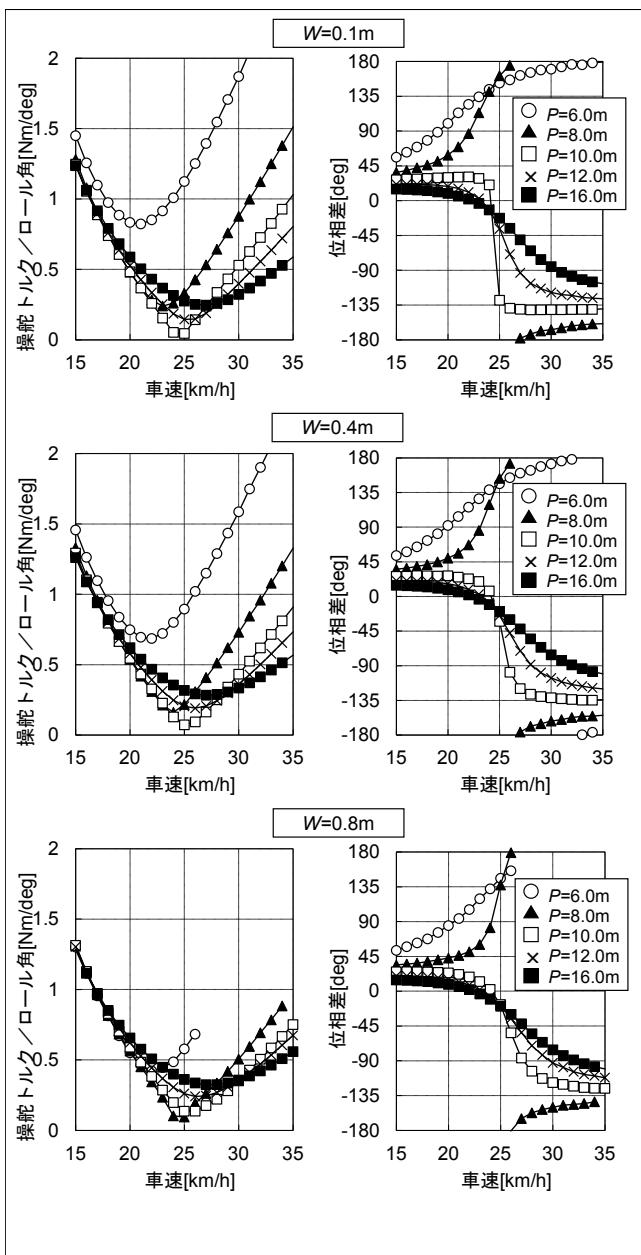


図 10 振幅比と位相差（シミュレーション）

ローム条件で算出した操舵トルクとロール角の振幅比及び位相差の結果を図10に示す。

図10よりスラローム幅Wの値、パイロン間隔Pの値が、いずれの場合でも振幅比のグラフは下に凸のグラフ形状となった。振幅比が最小、つまり操舵トルクが0に最も近くなるのはパイロン間隔Pが8mまたは10mの時であり、車速Vは25km/h付近となった。この結果については前章での調査結果である「 $V_o=24.3\text{km/h}$ 、 $P_o=10.1\text{m}$ 」の時操舵トルクが0に近いと言える。また、位相差のグラフについてはパイロン間隔Pが8m以下では車速Vが増加するにつれて位相差が増加するのに対し、パイロン間隔Pが10m以上の時は位相差が減少していく、0degの値を通過する傾向が見られる。

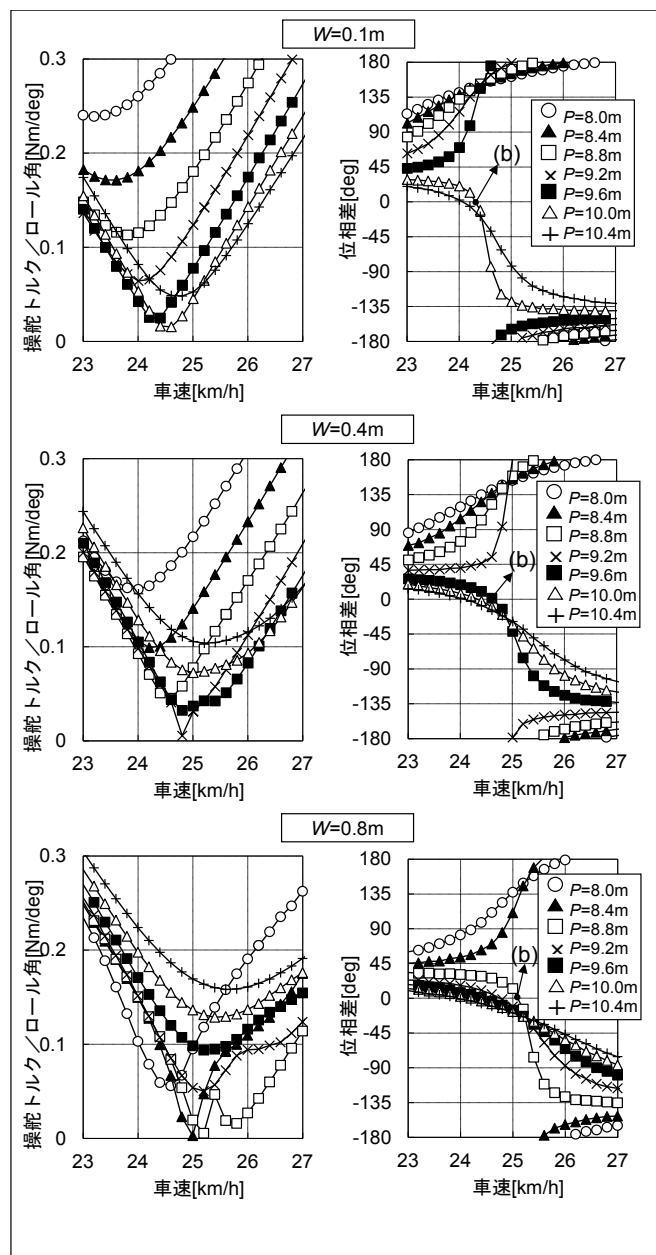


図 11 振幅比と位相差の詳細（シミュレーション）

これらの傾向をより詳細に確認するため、さらにパイロン間隔Pを細かく変化させてスラロームデータを取得した。結果を図11に示す。そして図11から「(a)振幅比が最小となる時のスラローム条件」と「(b)パイロン間隔Pを拡大した時に、位相差0を通過する最初のスラローム条件(図11中の矢印)」を表2に示す。また比較のため、「(c)ウィーブ固有値から算出したスラローム条件」も合わせて示す。

表2より、スラローム幅がW=0.1mの時は「(a)振幅比から算出した値P=10.0m、 $V=24.6\text{km/h}$ 、 $f=0.34\text{Hz}$ 」と「(c)低速ウィーブ固有値から算出した値P=10.1m  $V=24.3\text{km/h}$   $f=0.33\text{Hz}$ 」は、ほぼ一致していることが確認できた。また、「(b)位相差から算出した値 P=10.0m  $V=24.3\text{km/h}$   $f=0.34\text{Hz}$ 」



についても(c)とほぼ同じ値が得られていることも確認できた。このことから様々な条件でスラローム走行を行い、その時のロール角と操舵トルクの振幅比・位相差を調べることで、ウィーブモードが低速域で発生する時の車速と周波数を求めることができると見える。

ただし、スラローム幅 $W$ が大きくなるにつれ(a)と(c)の差が大きくなっている。この原因としては(c)の値は線形化したモデルから算出しているのに対し、(a)の値を算出しているスラロームについては、振幅が大きくなるにつれ非線形的な要素が強くなっているため、線形化モデルとのズレが大きくなっているからであると考えられる。

表2 スラローム条件の比較（シミュレーション）

(a)振幅比が最小となる時のスラローム条件

スラローム幅 $W$ [m]	振幅比 [Nm/deg]	パイロン間隔 $P$ [m]	車速 $V$ [km/h]	周波数 $f$ [Hz]
0.1	0.015	10.0	24.6	0.34
0.4	0.005	9.2	24.8	0.37
0.8	0.003	8.4	25.0	0.41

(b)パイロン間隔 $P$ を拡大した時に、

位相差0を通過する最初のスラローム条件

スラローム幅 $W$ [m]	パイロン間隔 $P$ [m]	車速 $V$ [km/h]	周波数 $f$ [Hz]
0.1	10.0	24.3	0.34
0.4	9.6	24.6	0.36
0.8	8.8	25.1	0.40

(c)ウィーブ固有値から算出したスラローム条件

パイロン間隔 $P$ [m]	車速 $V$ [km/h]	周波数 $f$ [Hz]
10.1	24.3	0.33

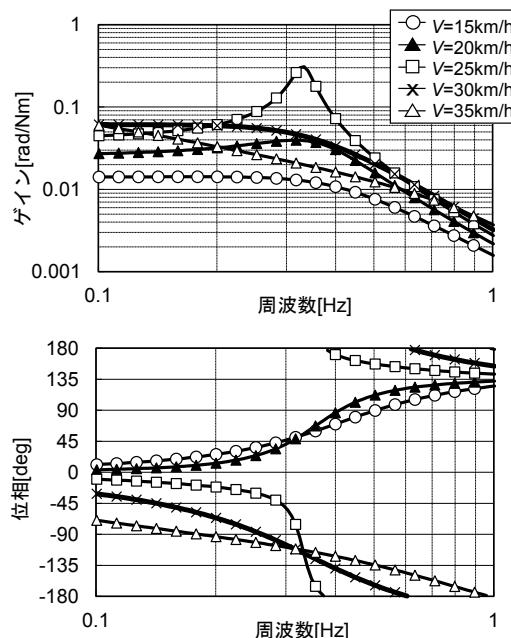
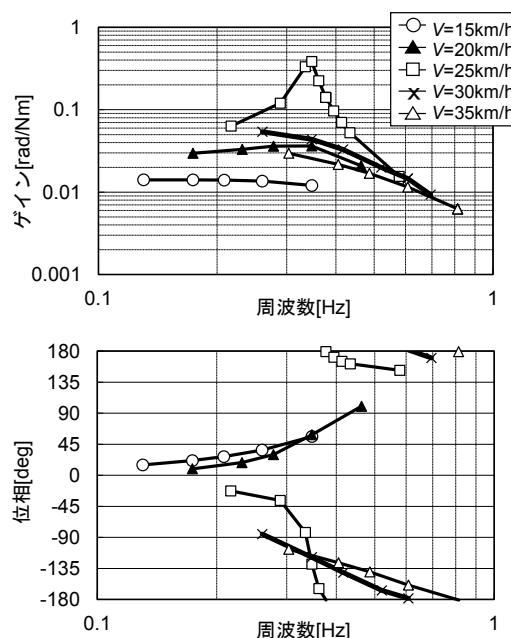
### 3-2. スラローム走行データと周波数応答の比較

二輪車において操縦性は重要な指標であるが、これは言い換えると「ライダーからの操舵トルク入力に対する車両挙動の応答性」と言うこともでき、つまりこれは二輪車モデルにおける周波数応答ということになる。また、今まで示してきたスラローム走行データにも、操舵トルクと車両挙動であるロール角の情報が含まれているので、周波数応答のグラフが作れるはずである。そこでまず、二輪車モデルから周波数応答のグラフを算出し、これがスラロームデータから求めたグラフと一致するかを調査した。

図1のモデルを用いて、入力を操舵トルク[Nm]、出力をロール角[rad]とした時の周波数応答を車速別に算出した結果を図12に示す。周波数応答のゲインのグラフ上にピークが

現れており、これが低速ウィーブモードを示している。

また、これまでに取得したシミュレーション上のスラローム走行データから算出した車速別の周波数応答のグラフを図13に示す。周波数の範囲は限定されるものの、図12とほぼ一致していることが分かる。従って、周波数応答の代用データとしてスラローム走行データを使用できると言える。

図12 周波数応答（シミュレーション）  
(入力：操舵トルク 出力：ロール角)図13 周波数応答（スラローム走行）  
(入力：操舵トルク 出力：ロール角)



## 4 スラローム走行データの分析 (実機走行)

前章ではシミュレーション上でのスラローム中の操舵トルクとロール角の関係について述べたが、実機でのスラローム走行でも同様の結果が得られるかを確認するため、走行試験を実施した。なお、走行試験に用いる実機車両はシミュレーションモデルで扱った車両と同一とした。

表3にテスト条件を示す。実車では気温による違いが車両に影響を与える可能性を考慮し、異なる走行日でのデータを取得した。また、実車では走行しながらスラローム幅Wを調整するのは困難であるため、車両に搭載したGPSによる走行データ軌跡から幅Wを算出した。幅Wの値はいずれの日でも約0.9mであり、大きく変動していないことを確認できた。

表3 走行テスト条件

走行日	気温 [°C]	スラローム幅 W [m]
2月28日	9.1	0.89
3月29日	14.6	0.90
4月25日	22.4	0.91

実機でのスラローム走行データから算出したロール角と操舵トルクの振幅比と位相差の結果を図14に示す。図14の振幅比のグラフについては下に凸のグラフ形状であり、また位相差のグラフについてはスラローム間隔Pを大きくしていくと0deg付近を通過するようになっており、これらの傾向はシミュレーションと同様の傾向である。

そこで、シミュレーション結果である図11と同様の方法で「(a)振幅比が最小となる時のスラローム条件(図14の矢印a)」と「(b)パイロン間隔Pを拡大した時に、位相差0を通過する最初のスラローム条件(図14中の矢印b)」を算出し、結果を表4にまとめた。ただし、(a)の振幅比についてのスラローム条件は、グラフ上でスラローム間隔P別にそれぞれ曲線近似を行い、全ての近似曲線の中で振幅比が最小となる時の条件としている。

表4の結果を考察すると、まず(a)の車速と(b)の車速の差がシミュレーションでは差が僅かであったのに対し、実車では2~3km/hの差が出ている。この理由として(b)点付近の25~30km/hのデータが少ないため、(b)点の位置を正確に求められていないことが考えられる。

また、走行日による違いに着目すると、日付が後の方、つまり気温が高くなるにつれて周波数が低くなっている。データ数が少ないと明確には言えないが、気温によりタイヤ特性へ

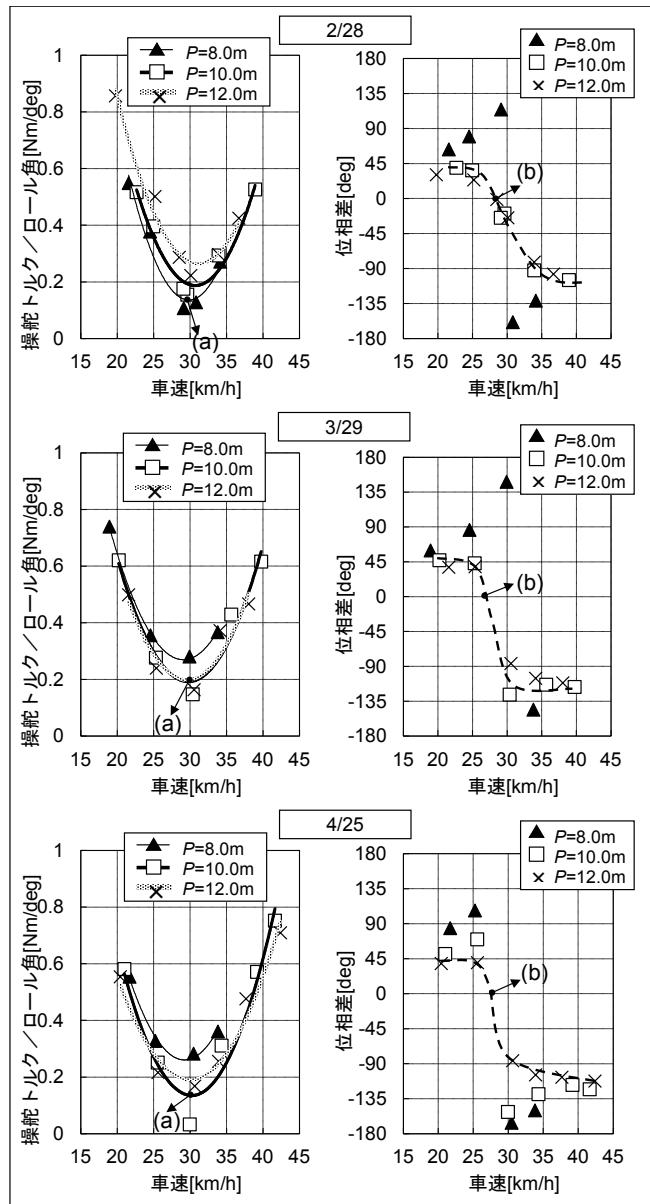


図14 振幅比と位相差 (実機走行)

表4 スラローム条件の比較 (実機走行)

(a)振幅比が最小となる時のスラローム条件

走行日	振幅比 [Nm/deg]	ハーフイロン間隔 P [m]	車速 V [km/h]	周波数 f [Hz]
2月28日	0.14	8	30	0.52
3月29日	0.19	10	30	0.42
4月25日	0.14	10	30	0.42

(b)ハーフイロン間隔Pを拡大した時に、位相差0を通過する最初のスラローム条件

走行日	ハーフイロン間隔 P [m]	車速 V [km/h]	周波数 f [Hz]
2月28日	10	28	0.39
3月29日	10	27	0.38
4月25日	12	28	0.32

の影響が現われたのではないかと考えられる。

そして実機走行で算出された車速は27~30km/hであるが、表2のシミュレーション結果である約25km/hと比較すると高めとなっている。この理由としては実機車輌とシミュレーションモデルとの間に何らかの差異があると考えられ、現在調査中である。

#### ■著者



岸 知昭

Tomoaki Kishi

技術本部

研究開発統括部

システム安全技術研究部



藤井 茂

Shigeru Fujii

技術本部

研究開発統括部

システム安全技術研究部



内山 俊文

Toshifumi Uchiyama

技術本部

研究開発統括部

システム安全技術研究部

## 5 結論

本報では低速ウィーブモードとスラローム走行の関連性について紹介した。シミュレーションにおいて、低速ウィーブモードを示す実部0の固有値から算出した車速とパイロン間隔でスラローム走行を行えば、両者は同じ振動モードであることを、固有ベクトルを用いて示した。

また、シミュレーション上で車速・パイロン間隔・スラローム幅を変化させてスラローム走行を行い、走行データ中の操舵トルクとロール角の振幅比と位相差を分析することで、低速ウィーブモードが発生する車速と周波数が予測できることを示した。さらに、スラローム走行データから周波数応答が算出できることを示した。そして実機でもスラローム走行試験を行い、スラローム中の操舵トルクとロール角の振幅比についてはシミュレーションと同形状のグラフとなることを確認できた。

今後はスラローム中のタイヤにかかる力・モーメントの計測を行い、低速ウィーブモードのメカニズムの把握に役立てていきたいと考える。またウィーブモードが低速域で発生する時の車速と周波数に関して、車速については二輪車の安定性の指標、周波数は二輪車の操縦性の指標になりうるのではないかと考える。今後様々な車輌でこれらの指標を求めていき、車種の違いによる傾向を把握していく所存である。

## 6 参考文献

- [1]. 藤井 茂 塩澤 総一 品川 晃徳 岸 知昭:「二輪車の操縦特性調査」ヤマハ発動機技報2009年12月第45号
- [2]. Akinori Shinagawa, Shigeru Fujii:A Study on Three-Dimensional Course Model For Motorcycle, Proceeding of AVEC06 ,p575-580, 2006.
- [3]. Vittore Cossalter : MOTORCYCLE DYNAMICS(Second Edition) , p.320-323, 2006.



# 技術論文

## 自動二輪車ライダーの操縦技量定量化に関する基礎検討

Fundamental Study on the Quantification of the Riding Skills of Motorcycle Riders

森島 圭祐 大本 浩司

### 要旨

本研究の目的は、自動二輪車ライダーの操縦技量を定量評価する手法を構築することである。本研究の方法は、指導員の評価視点をインタビューにより調査し、その評価視点を車両状態およびライダーの操縦行動から表現することである。インタビューの結果、指導員における5つの評価視点の主要因を明らかにした。また、技量の異なる15名のライダーを対象としたライディングの計測を行い、5つの評価視点の主要因を、計測した車両状態およびライダーの操縦行動から得られた10の評価指標で表現した。さらに、これらの評価指標を対象とした主成分分析の結果、これらの評価指標は3つの評価指標（修正操作、積極的操作、針路確認動作）に集約された。そして、3つの集約された評価指標を用いて15名のライダーを技量に応じて分類することができた。以上のことから、走行中のライダーの操縦技量を操縦行動、車両挙動から定量化する可能性を示すことができた。

### Abstract

The aim of this research project was to create an approach for quantitative evaluation of the riding skills of motorcycle riders. The research method employed was to survey the evaluation points used by riding instructors through interviews and to then express those evaluation points in terms of the machine's behavior and the rider's actions while operating it. Through the interviews, five primary factors involved in the evaluation points used by the instructors were clarified. These factors were expressed with ten evaluation indexes obtained from the results of riding tests that measured machine behavior and the actions of 15 riders of varying skill levels. Then, as a result of principal component analysis, these ten evaluation indexes were further condensed into three evaluation indexes (corrective actions, active operational actions, course confirmation actions). Using these three indexes to test 15 riders, we succeeded in classifying them according to skill level. From these results, we have shown that it is possible to quantify riding skill level based on the rider's actions and machine motion.

### 1

### はじめに

近年、国内における自動二輪車乗車中の交通事故死傷者数は減少傾向にある。2007年では1998年比で89.9%であった。一方、この間、国内における自動二輪車の保有台数は減少を続けており、2007年では1998年比89.3%であった<sup>[1]</sup>。交通事故による死傷者数は減少傾向にあるものの、保有台数あたりの死傷者数はほぼ横ばいとなっていることが分かる。これらのことから、自動二輪車の交通事故低減に向けた取り組みをさらに推し進める必要があると考える。

交通事故の原因として様々な要因が挙げられるが、そのひとつとして、ライダーの操縦技量自己評価とリスクテイキングがある。ライダーは一般的に自己の操縦技量を過大評価する傾向があり、若年者ほどその傾向が強いことが知られている<sup>[2]</sup>。そして、自己の操縦技量を過大評価するライダーは危険な操縦行動をとる、つまりリスクテイキング傾向が強いといわれている<sup>[3]</sup>。

ライダーが操縦技量を自己評価する際に、客観・定量的な操縦技量評価をライダーに与えられれば、操縦技量の適正な自己評価を助け、ライダーのリスクテイキング傾向を軽減できる可能性がある。

自動二輪車における操縦技量は、ライディングスクールや教習所などの限定されたコースにおいて、走行タイムの計測や、指導員によって評価される。しかしながら、ライダーによる操縦技量の自己評価は様々な走行状況下において隨時行われていると考えられることから、教育機関における一時的な評価だけでは、適正な自己評価を助ける上で不十分であると考えられる。ライダーが自動二輪車を運転している間に隨時、客観・定量的な技量評価をライダーにフィードバックするシステムが必要である。その実現のためには、自動二輪車運転時ににおいて計測可能なライダーの操縦行動、車両挙動から、操縦技量の評価指標を構築する必要がある。

かかる観点から、本研究では、自動二輪車における走行指

導員による操縦技量評価視点の主要因を調査し、その評価視点を走行中に計測可能なライダーの操縦行動、車両挙動データを用いた定量的な評価指標として表現する手法を検討した。また、検討により得られた評価指標を用いたライダーの分類・評価手法についても検討した。

## 2 走行指導員による技量評価視点の調査

### 2-1. 調査方法

走行指導員による技量評価視点を明らかにするために、熟練者と非熟練者の操縦行動の違いについて、自動二輪車メーカーの実験部門において実験担当ライダーの走行教育を専門に担当している走行指導員をインフォーマントとしたインタビュー調査を行った。インタビューは、トライカーナコース走行時における熟練者と非熟練者の操縦行動の違いについて、インフォーマントに自由に発言させるデプスインタビュー方式<sup>[4]</sup>を採用し、発想支援のために事前に撮影した熟練者と非熟練者の走行時の映像を参考しながら進めた。調査の対象としたトライカーナコースの概略を図1に示す。これは安全運転講習によく用いられる8の字走行とスラローム走行を組み合わせたものであり、基本的な操縦操作を網羅した走行課題である。

### 2-2. インタビューデータの解析手法

インタビュー調査の結果としてテキストデータが得られる。その特徴として、情報量が豊富な反面、質的な情報であり、分類整理が難しいという側面がある。そこで本研究では、インタビューデータの解析にマイクロシナリオ手法<sup>[5]</sup>並びにKeyGraph手法<sup>[6]</sup>を応用した。マイクロシナリオ手法は、主にISO9241-210に規定されている人間中心設計プロセス<sup>[7]</sup>中の上流工程で用いられる。人間中心設計プロセスでは、ユーザや組織が抱えている現状の問題点を把握することが重要であり、この点にマイクロシナリオ手法が用いられる。マイクロシナリオ手法では、問題点の微細構造を個別に問題マイクロシナリオとして記述し、その内容を表すキーワードをタグの形で記述する。このタグを用いて同種の問題点を一覧することにより、問題点の集約のための発想を支援している。本研究では、この手法を一部改変し、熟練者・非熟練者の行動に関するマイクロシナリオを作成し、これを集約することでそれぞれの特徴の集約を試みる。ここで、シナリオ集約の際、タグ付けに用いるキーワードを適切に設定することが重要であるが、解析者に解析対象に対する知識や経験が不足していた場合、適切なキーワード設定ができない。そのため、シナリオ集約に際してタグによる集約方法の他に、解析者の知識や経験

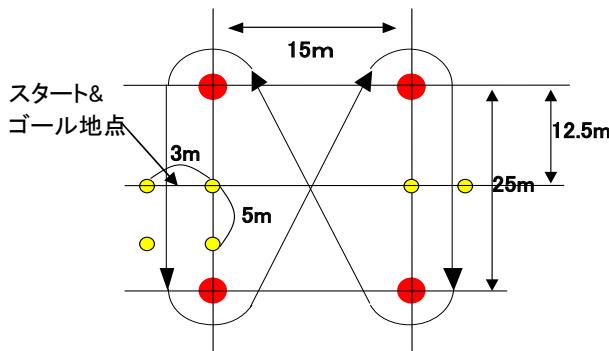


図1 トライカーナコース概略

表1 シナリオの例

非熟練者	熟練者
コーナーの進入時に、ブレーキをかけた際に発生する減速Gに対して、腹筋や背筋を使った姿勢維持ができないため、腕に過剰な力が入りハンドルの把持力が大きくなる。そのためハンドルの動きが阻害されたり、ブレーキ操作が制限される。結果としてハンドルを切るタイミングが遅れ、旋回半径が大きくなり旋回に要する時間が長くなる。	コーナーの進入時に、ブレーキをかけた際に発生する減速Gに対して、腹筋や背筋を使った姿勢維持をして、腕に不要な力を入れないようにしている。そうすることでハンドルやブレーキを自由に操作できるようしている。結果として意図したタイミングでハンドルを切ることができ、旋回半径を小さくすることができることから旋回に要する時間が短くなる。

を補うための発想支援が必要である。そこで本研究では、シナリオの集約にタグ付けによる方法とKeyGraph手法を併用した。KeyGraphはシナリオ内の「語」の関係をノードとリンクで表現されるネットワークモデルによるシナリオマップで視覚的に表現する手法である。語の関係は語同士が同一のシナリオに出現する頻度等を用いて求められる共起度により決定され、共起度が高い語同士をリンクで結ぶことでシナリオ内の語のネットワークモデルを構成する。KeyGraph手法を用いてシナリオの全体構造を可視化することで、熟練者・非熟練者の操縦行動の違いをテキストの羅列ではなく視覚的なマップとして捕らえることができることから、解析者による両者の特徴の集約が容易になると考えられる。本研究ではまずKeyGraph手法によりシナリオの集約を試み、KeyGraph手法による集約からもれたシナリオについてタグ付けによる集約を行うこととした。

### 2-3. シナリオの記述

計4時間のインタビュー調査の結果、熟練者・非熟練者の操縦行動に関して25,000文字程度のテキストデータが得られた。このテキストデータをもとに、熟練者・非熟練者の操縦行動についてのシナリオを記述した。シナリオの記述に際して、「[走行状況、行動、結果]を明記する」とした記述ルール<sup>[8]</sup>を設けた。また、シナリオ内で用いる語の統一化を行った。表1に

作成したシナリオの一例を示す。熟練者・非熟練者それぞれについて22篇、計44篇のシナリオを作成した。

#### 2-4. シナリオの集約

作成したシナリオを用いてKeyGraph手法によるシナリオマップの作成を行った。ここでは熟練者に関するシナリオのみを用いた「熟練者マップ」、非熟練者に関するシナリオのみを用いた「非熟練者マップ」、すべてのシナリオを用いた「総合マップ」の3つのシナリオマップを作成した。シナリオマップの作成にはPolaris<sup>[6]</sup>0.19 alphaを用い、語同士の共起度の計算にはJaccard係数<sup>[6]</sup>を用いた。KeyGraphによるシナリオマップを構成するノードとリンクの凡例を表2に示す。解析に用いるノードやリンクの数が多ければシナリオの詳細な構造を表す大縮尺マップとなり、少なければシナリオの全体構造の概略を表す小縮尺マップとなる。本研究では、高頻度語を上位25語、ハブを上位10語、キーアイテムを上位10語、リンクを上位25リンク用いた。

図2に熟練者マップを、図3に非熟練者マップを、図4に総合マップをそれぞれ示す。それぞれのマップにおいて、コーナー進入行動、旋回行動、立ち上がり行動といったコーナーを旋回する際の経時的な行動が表現されていることが分かる。また、図2～4のようにマップを切り分けると、①ハンドル操舵の力加減、②車体傾斜時のスロットル・ブレーキ操作、③視認行動といった技量評価視点の主要な要因が抜き出されていることが分かる。この3つの主要因について、マップをもとにさらに解説を進めた。その結果、技量評価視点の主要因として表3中のNo.1～3に示す3つが考えられた。この3つの要因と解析に用いた44篇のシナリオとの対応を検討した。結果、要因1には8篇、要因2には12篇、要因3には14篇のシナリオが対応しており、KeyGraph手法により計34篇のシナリオを3つの要因に集約することができた。残り10篇のシナリオについては、内容に応じたタグ付けを行い、タグによる集約を行った。その結果を表3中のNo.4、5に示す。以上より、KeyGraph手法並びにタグ付けを併用することで44篇のシナリオから5つの技量評価視点の主要因を抽出することができた。

表2 シナリオマップ中のノードとリンクの凡例

名称	凡例	説明
高頻度語	●	シナリオ中の出現頻度が高い語
ハブ	○	出現頻度は低いが、他の複数の語と共起度が高い語
キーアイテム	■	他の語との共起関係が特に強い語
リンク	----	共起度が高い語を結ぶ

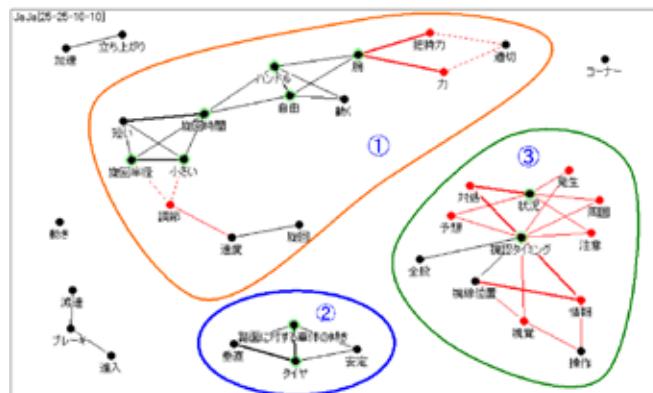


図2 Key Graph手法による熟練者シナリオマップ

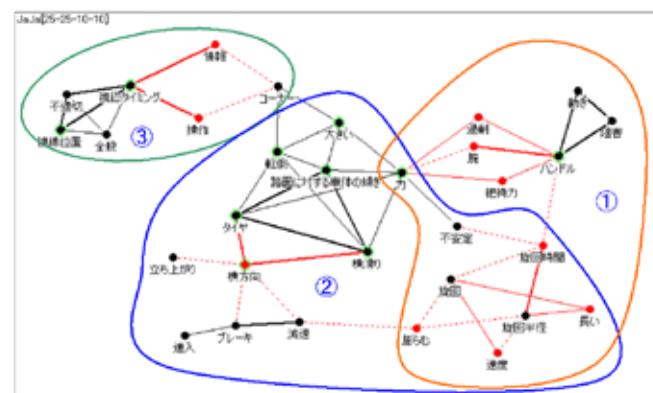


図3 KeyGraph手法による非熟練者シナリオマップ

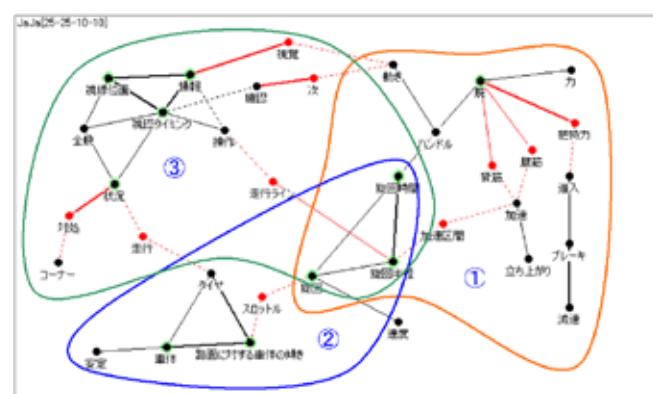


図4 KeyGraph手法による総合シナリオマップ



## 3 技量評価視点の定量化

## 3-1. 計測概要

表3に示す5つの技量評価視点の主要因を計測可能なライダーの操縦行動、車両挙動から検証するために、ライダーの腕の筋活動、頭部運動、並びに各種操作、車両挙動を同期計測するシステムを構築した。構築した計測システムの概要を図5に示す。図5に示した計測システムを用いて、操縦技量の異なる15名の被験者を対象に、トライカーナコース走行における計測を行った。被験者の操縦技量は14名の走行指導員による技量評価を基準とし、初級群・中級群・上級群に分類した。技量評価はトライカーナコースを「安全マージンを確保

表3 KeyGraph手法によるシナリオの集約結果

No	技量評価視点の主要因	
	要因名	詳細
1	ハンドル操舵の力加減	ハンドル操舵の力加減が、旋回時におけるハンドルの動きに影響し、旋回時間や旋回半径に影響を及ぼす。
2	車輌傾斜時のスロットル・ブレーキ操作	路面に対して車体が傾いている時の、スロットル操作・ブレーキ操作の仕方が、旋回時の旋回半径、旋回時間並びにスリップの危険性に影響を与える。
3	視認行動	視線位置、視認タイミングが、コーナー全体での情報の取得、操作に影響を及ぼし、旋回時の走行ライン、旋回に要する時間に影響を与える。
4	修正操作	ハンドル、スロットル、ブレーキの各操作の修正量が、旋回時の旋回半径、旋回時間に影響を及ぼす。
5	車輌傾斜量とフロントブレーキ操作の関係	コーナー進入、立ち上がり時の路面に対する車体の傾きの大きさと、それに応じたフロントブレーキの操作が、旋回時におけるハンドルの動きに影響し、旋回時間や旋回半径並びにスリップの危険性に影響を及ぼす。

した上で、できるだけ早く走行すること」と教示して走行した際の走行を対象として行った。14名の走行指導員が1(免許取りたて程度の技量)~10(走行指導員程度の技量)の10段階スケールを用いて技量評価を行った際の平均評価値を被験者の操縦技量と定義し、操縦技量の上位5名を上級群、中位5名を中級群、下位5名を初級群とした。各群における技量評価値の平均値は、上級群で8.5、中級群で5.2、初級群で2.5であった。計測はコース2周を1試行とし、各被験者とも3試行おこなった。走行時の教示は前述のとおりである。なお、走行前に計測対象の筋について、被験者が自発的に発揮できる最大筋活動量(最大随意筋収縮:MVC)を計測した。

表3に示す5つの要因それぞれについて、実測データを用いた検証を行い、その結果から操縦技量評価視点の定量化を行った。表3に示す要因はいずれもコーナーにおける旋回時の行動に関するものであるため、旋回区間に絞って検証を行った。なお、旋回区間は車体のヨーレート値が2秒以上連続して5deg/sec以上を記録した区間と定義した。

## 3-2-1. ハンドル操舵の力加減

1番目の要因から旋回時におけるライダーの腕の力みが操縦技量を表す指標となると考えられる。そこでライダーの力みを反映すると考えられる上腕の筋(上腕二頭筋、上腕三頭筋)、並びに肩の筋(三角筋)の活動量に着目して検証を行った。ここではライダーの筋活動量を10サンプル毎の筋電図電位

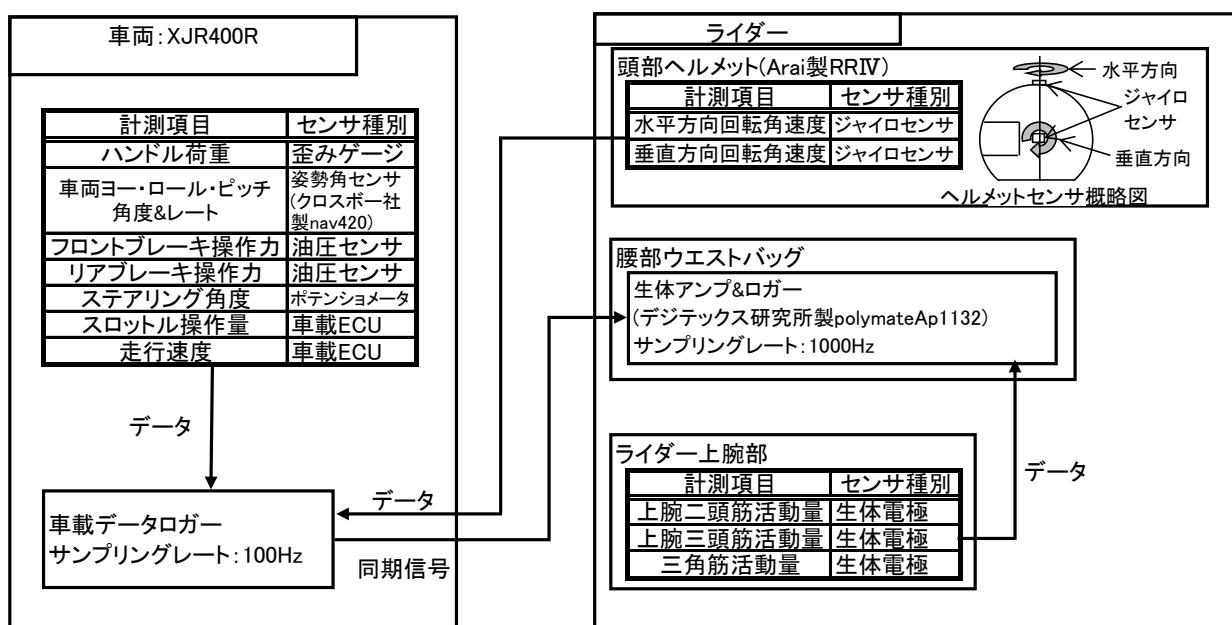


図5 計測システム概要

EMG(t)の実効値RMS{EMG(t)}と定義し、(1)式により求めた。<sup>[9]</sup>

$$RMS\{EMG(t)\} = \left( \frac{1}{10} \int_{t}^{t+10} EMG(t)^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

さらに、各ライダーの最大随意筋収縮時の筋活動量を(1)式により求め、筋活動量を最大随意筋収縮時の筋活動量で除して標準化した値(%MVC)<sup>[9]</sup>を算出した。

図6に、各群に属するライダーの旋回区間における%MVC値の最大値を示す。以降、図に示す値は、断りがない限り全3回の試行における各群の被験者の全カーブにおける平均値である。図から、上腕二頭筋では操縦技量が高いほど筋活動量が少ないことが分かる。また三角筋では上級群で筋活動量が少ないことが分かる。上腕二頭筋は屈筋であり、肘を曲げる際に働く。また、三角筋は外転筋であり、オートバイの操縦では肘を曲げた際に肩関節が外転することで働くと考えられる。上腕三頭筋は伸筋であり、肘を伸ばす際に働く。これらのことから初級者はハンドルを手前側に引き込む動きをしており、そのため、オートバイの操縦において肘を曲げる際に活動する上腕二頭筋、三角筋の活動量が大きくなつたと考えられる。よって操縦技量の違いは旋回区間における上腕二頭筋並びに三角筋活動量に表れると考えることができる。

次に、ライダーがハンドルを把持することで生じるハンドルへの荷重の大きさとライダーの上腕の筋活動量との関係に着目した。ここでは、ハンドル荷重のデータに対して各筋活動量データを0–500ms進めた際の相互相関関数を導出し、その最大値を求めた。その結果、上腕二頭筋活動量とハンドル荷重の相互相関関数にライダーのスキルに応じて特徴的な傾向が見られた。各群のライダーの上腕二頭筋活動量とハンドル荷重の相互相関関数の最大値を図7に示す。図に示す値は各群に含まれるライダーの全試行中における最大値の平均値である。図より、初級群で他の群より上腕二頭筋活動量とハンドル荷重の相関関係が弱い傾向にあることが分かる。前述したライダーの筋活動量とあわせて考えると、初級者は旋回区間において大きな力を発揮しているが、その力はハンドルに効率的に伝わっておらず、無駄な力みをしていると考えられる。このような状態では、ハンドルにかかる荷重が減少し、前輪への荷重も小さくなるため、旋回時に前輪から荷重が抜けて車両の旋回性が低下しやすくなると考えられる。上級者は、上肢の筋で発揮した力を効率よくハンドルへ伝えていると解釈できる。そのため、前輪への荷重も十分にかかり旋回時に十分なグリップ力を保った状態での安定した旋回が可能であると考えられる。以上より、上腕二頭筋活動量、三角筋活

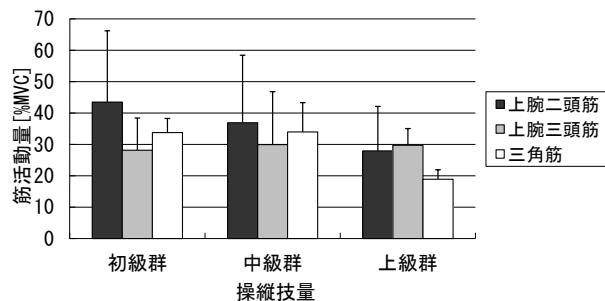


図6 操縦技量と最大筋活動量の関係

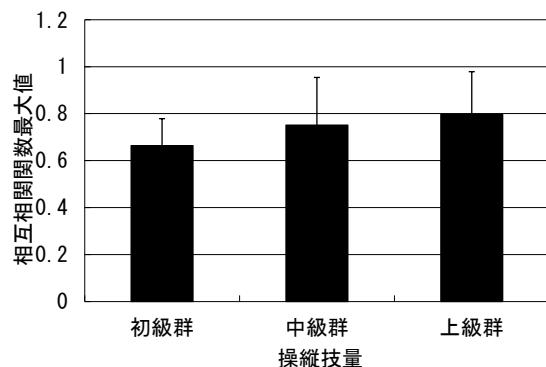


図7 操縦技量と上腕二頭筋活動量・ハンドル荷重の相互相関関数最大値との関係

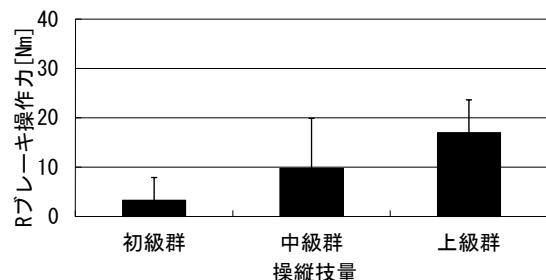


図8 操縦技量とスロットル開度10%未満時のリアブレーキ操作力の関係

動量、ハンドル荷重と上腕二頭筋活動量の関係は操縦技量に応じて特徴的な値を示していることから、操縦技量を表す指標として有望であるといえる。

### 3-2-2. 車両傾斜時のスロットル・ブレーキ操作

2番目の要因から旋回時、つまり路面に対して車体が傾いている際のスロットル、ブレーキ操作量の関係が操縦技量を表す指標になると考えられる。そこで、車体ロール中におけるスロットル操作量およびブレーキ操作力の関係について検証した。図8に旋回時におけるスロットル開度10%未満時のリ

アブレーキの平均操作力を示す。図より、ライダーの技量が高いほど、スロットル開度が小さい時にリアブレーキを強く操作していることが分かる。これは、スロットルの開け始めに発生する急な駆動力の立ち上がりを抑制することで、車両の安定性を高めるための操作であると考えられる。初級群のライダーはリアブレーキ入力が小さく、駆動力のコントロールをあまり行っていないことが分かる。そのため、スロットルの開け始めに急に駆動力が立ち上った際にスリップなどの不安定な挙動に陥りやすいと考えられる。以上より、スロットル操作とアブレーキ操作の関係は、操縦技量に応じて特徴的な値を示していることから操縦技量を表す指標として有望であるといえる。

### 3-2-3. 視認行動

3番目の要因から旋回時における視線位置、視認タイミングなど、進行方向の確認動作の違いが操縦技量を表す指標となると考えられる。そこで、ライダーが針路を確認するための頭部運動に着目して検証を行った。図9に旋回時における初級群・上級群ライダーの頭部の水平方向回転角速度、並びに垂直方向回転角速度の時系列データの一例を示す。図9より、例に挙げた上級者は水平方向の頭部運動をすばやく、大きく行い、進もうとする先の情報を早いタイミングで得ていることが分かる。反対に初級者は水平方向の頭部運動が小さく、情報の取得が十分に行えていないことが分かる。垂直方向に着目すると、初級者には大きく急峻なピークが複数見られることから、垂直方向に頭が揺れており視野が安定していないことが分かる。反対に上級者は垂直方向回転角速度の値は小さく、初級者に見られるような垂直方向の頭部の揺れが少ないことが分かる。このことから、上級群では旋回中における水平方向の頭部回転量が大きく、初級群では垂直方向の頭部回転量が多くなると考えられる。そこで、計測された各ライダーの頭部回転角速度を積分し、水平方向および垂直方向の頭部回転量を求めた。図10に各群における頭部回転量を示す。図より、水平方向において上級・中級群で初級群と比べ旋回中の頭部回転量が大きく、先述の考察と矛盾のない結果が得られているといえる。しかし、垂直方向の頭部回転量を見てみると、群間では技量に応じて明確な特徴が得られていない。これは、垂直方向の頭部回転量の中に、進路確認における挙動と、頭部の不安定な挙動の両方の成分が含まれており、不安定挙動の成分が取り出せないためであると考えられる。そこで、進路確認のため行われていると考えられる水平方向の頭部回転運動で基準化した垂直方向頭部回転量を求めた。ここでは、垂直方向頭部回転量を水平方向頭部回転量で除し

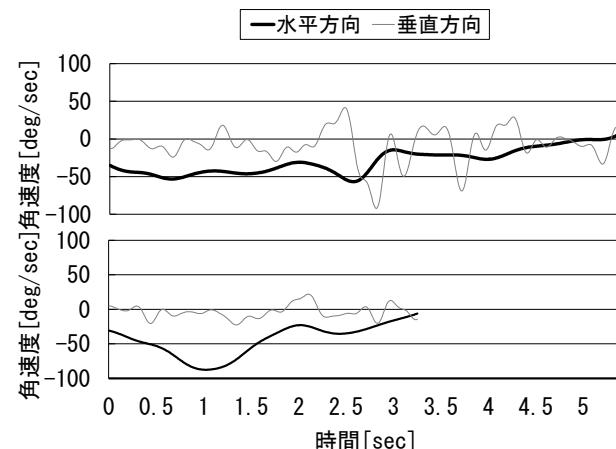


図9 ライダーの頭部回転角速度時系列データの一例  
(上段：初級者、下段：上級者)

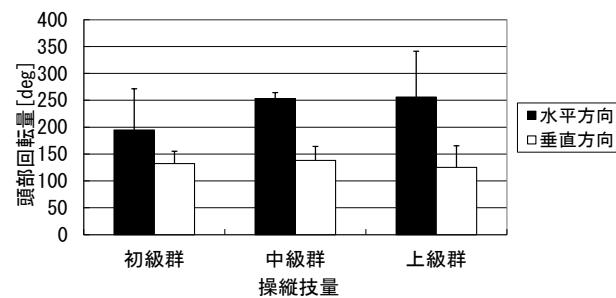


図10 操縦技量と頭部回転量の関係

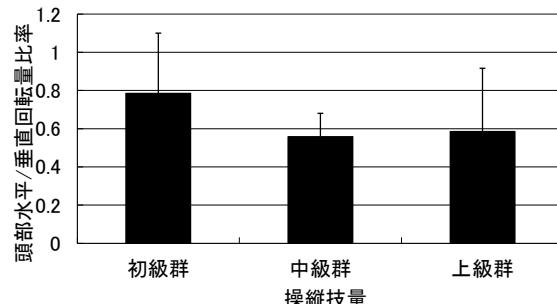


図11 操縦技量と頭部水平 / 垂直回転量比率回転量の関係

た頭部垂直／水平回転量比率を算出した。図11に各群における頭部垂直／水平回転量比率の平均値を示す。図より、初級群でその値が大きく、初級者は進路確認のための頭部運動が少ないにもかかわらず、垂直方向の頭部運動が多く、視野が安定していないと解釈できる。以上より、頭部の水平方向回転量、並びに頭部垂直／水平回転量比率は、操縦技量に応じて特徴的な値を示していることから操縦技量を表す指標として有望であるといえる。

## 3-2-4. 修正操作

4番目の要因から旋回時におけるハンドル、スロットル、ブレーキの修正操作が操縦技量を表す指標となると考えられる。そこで、旋回時のライダーのステアリング操作並びにスロットル操作の修正量に着目して検証を行った。リアブレーキ操作については3-2-2にて述べたとおり、初級者は旋回時における操作をほとんど行っておらず修正操作自体が発生しないため、修正操作に操縦技量に応じた特徴は見られないと考えられる。フロントブレーキ操作については3-2-5にて述べる。

四輪車の操舵の修正に関する先行研究では、ステアリング操作はその周波数特性により道路形状成分、予測操作成分、修正操作成分に分けられ、高周波数帯域に修正操作成分が存在するとされている<sup>[10]</sup>。そこで本研究でもステアリング操作に周波数閾値を設定し、高周波数帯域の修正操作成分に着目した。ただし、2輪車の操向角は車体のロール運動、ピッチ運動にも影響を受け、ステアリング角度のみでは決まらない<sup>[11]</sup>。そこで、車両の操向角の変化を表すヨーレートに着目し、その修正成分についても検討した。修正成分は、ハイパスフィルタ(修正Bartlett Hamming windowを適用した線形位相FIRフィルタ)をステアリング角度データおよびヨーレートデータに適用することで抽出することとした。ここで、ステアリング角度ならびにヨーレートに前述のハイパスフィルタを適用した値の旋回時における積分値を、フィルタを適用せずに求めた旋回時における積分値で除したものを修正成分と定義する。前節で述べた指導員へのインタビュー調査の結果、上級者はほど修正操作が少ないと考えられることから、修正成分の上級群と初級群の差が最大となるよう、周波数閾値を設定した。図12に各群のステアリング角度修正成分およびヨーレート修正成分を示す。図より、技量が低いほどステアリング角度、ヨーレートともに修正成分が多いことが分かり、技量に応じた修正操作の特徴を修正成分指標により表現できていると考えられる。

次に、旋回時におけるライダーのスロットル操作の修正操作量について検討した。ここでは、ライダーがスロットルを閉じる方向に操作した量を修正操作量と定義する。図13に各ライダーの旋回時におけるスロットル修正操作量を示す。図から、初級者はスロットルの修正操作が多い、もしくは大きいことが分かる。自動二輪車の駆動力のコントロールはスロットル操作を介して行われる。旋回中にスロットル操作の修正が発生すると、車両の挙動に乱れが生じて車両の挙動が不安定になり、修正操作が連鎖すると考えられる。このことは、初級者ではステアリング並びにヨーレートの修正成分が大きな値を示していることからも推察される。以上より、ステアリング角度、

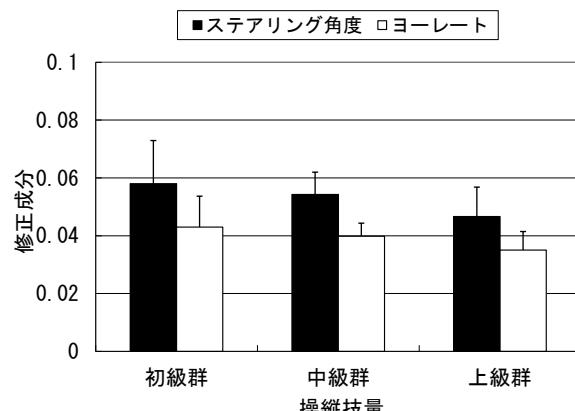


図 12 操縦技量とステアリング角度・ヨーレート修正成分の関係

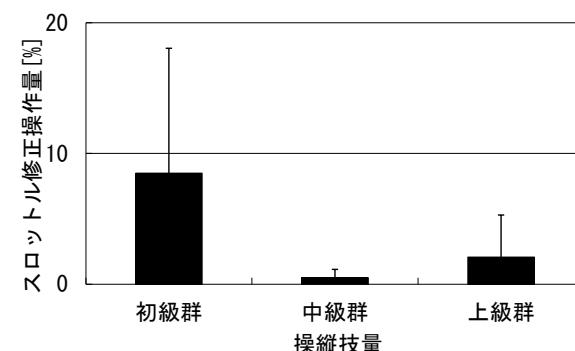


図 13 操縦技量とスロットル修正操作量の関係

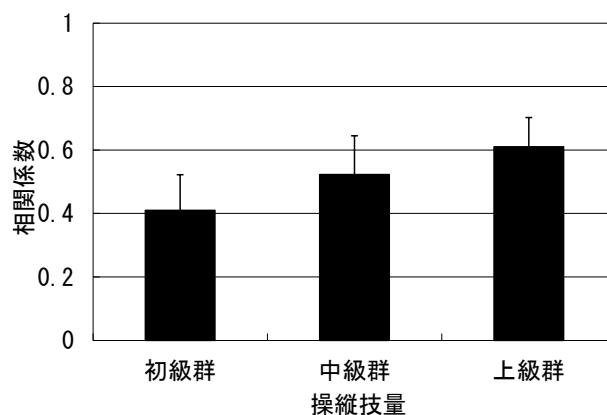


図 14 操縦技量と車体ロール角度・フロントブレーキ操作力の相関係数の関係

ヨーレートの修正成分およびスロットル修正量は操縦技量に応じて特徴的な値を示していることから操縦技量を表す指標として有望であるといえる。



## 3-2-5. 車体傾斜量とフロントブレーキ操作量の関係

5番目の要因から旋回時において、車体傾斜量とフロントブレーキ操作の関係が操縦技量を表す指標になると考えられる。そこで、旋回時におけるライダーのフロントブレーキの操作力と車体ロール角度に着目して検証を行った。図14に各群のコーナー進入時におけるフロントブレーキ操作力と車体ロール角度の相関係数を示す。ここでは、コーナー進入時を旋回区間に入つてから車体ヨーレートが最大となる時点までの区間と定義した。図より、操縦技量が高いほど相関が強いことが分かる。のことから、上級者は車両のロール運動に合わせて、フロントブレーキのリリースを行っていると考えられる。つまり、上級者はコーナー進入時に車体のロール角度が深くなるにつれて徐々にフロントブレーキをリリースしている。そうすることでハンドルのロックを防ぎ、また前輪から荷重を逃がさず、車体の旋回性を向上させているものと考えられる。反対に初級者はフロントブレーキの急激なリリース、車体ロール角度が大きい時のフロントブレーキ入力などの操作や、ブレーキのかけ直しなどの修正操作を行っていると考えられ、旋回時における車体の安定性、旋回性を損なう要因になっていると考えられる。以上より、コーナー進入時におけるフロントブレーキと車体ロール角度の相関関係は操縦技量に応じて特徴的な値を示していることから操縦技量を表す指標として有望であるといえる。

## 3-3. 操縦技量評価指標

3-2において操縦技量評価視点の主要因を実測データを用いて検証した結果、10の操縦技量評価指標が得られた。

得られた評価指標と5つの主要因との関係について表4に示す。以下では、これらの操縦技量評価指標を用いて操縦技量に応じたライダーの評価、分類手法について検討する。

## 4

操縦技量評価指標を用いた  
ライダーの分類・評価

## 4-1. 操縦技量評価指標の合成

前章にて抽出した10の操縦技量評価指標には相互に相関関係があるものも含まれていると考えられる。また、10次元での分類は次元数が多いため解釈が難しくなる。そこで、ライダー15名分のカーブ毎の各操縦技量評価指標の値を用いて主成分分析を行い、次元の圧縮を試みた。分析では固有値が1以上となる合成指標を選択し、バリマックス法による座標軸の回転を行った。分析の結果、10のスキル判定指標は3つの合成指標に要約され、その累積寄与率は58.46%であった。表

表4 操縦技量評価指標と技量評価視点要因との関係

操縦技量評価指標	技量評価視点要因No
上腕二頭筋活動量	1
三角筋活動量	1
ハンドル荷重と上腕二頭筋活動量の関係	1
スロットル操作とリアブレーキ操作の関係	2
水平方向頭部回転量	3
頭部垂直／水平回転量比率	3
ステアリング角度修正成分	4
車体ヨーレート修正成分	4
スロットル修正操作量	4
フロントブレーキ操作と車体ロール角度の関係	5

表5 合成指標と操縦技量評価指標の相関関係

操縦技量評価指標	合成指標 (解釈結果)		
	合成指標1 (修正操作)	合成指標2 (積極的操作)	合成指標3 (針路確認動作)
車体ヨーレート修正成分	0.829	0.122	0.356
	0.808	0.074	0.429
	0.652	-0.403	-0.281
	0.559	-0.171	-0.074
	-0.090	0.714	-0.073
	-0.063	0.646	-0.116
	-0.063	0.558	-0.318
	-0.030	0.236	-0.856
	0.069	-0.096	0.854
	0.221	-0.325	0.499

5に主成分分析の結果得られた合成指標と合成指標の元となった操縦技量評価指標の相関係数を示す。

ここで、合成指標それぞれに対して意味づけを行う。表5より合成指標1は、「車体ヨーレート修正成分」、「ステアリング角度修正成分」指標との相関が強く、「修正操作」にかかる指標であると解釈できる。この指標と「上腕二頭筋活動量」、「三角筋活動量」の相関も認められることから、上腕の筋活動量は「修正操作」と関連していると考えられる。合成指標2は、「ハンドル荷重と上腕二頭筋活動量の関係」指標との相関が強く、「スロットル操作とリアブレーキ操作の関係」、「フロントブレーキ操作と車体ロール角度の関係」との相関も認められる。これらの操縦技量評価指標は、積極的に車体に対して操作入力をして車両の挙動をコントロールしようとする際に高い値を示すと考えられる。よって、合成指標2を「積極的操作」の指標であると解釈する。合成指標3は、ライダーが進路確認を行う際の頭部運動の指標である「水平方向頭部回転量」および「頭部垂直／水平回転量比率」指標との相関関係が強く、その他の指標との相関関係は弱い。よって、合成指標3を進路確認動作の指標であると解釈する。

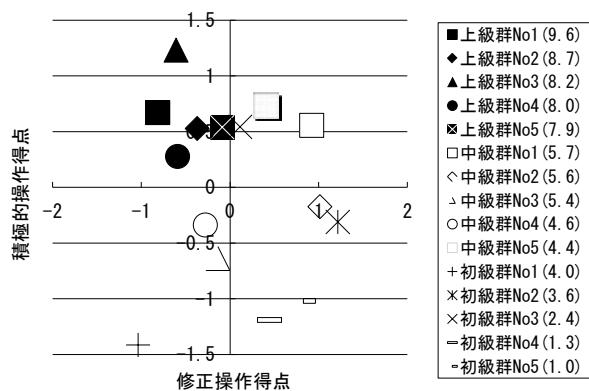


図 15 操縦技量と修正操作得点・積極的操作得点の関係

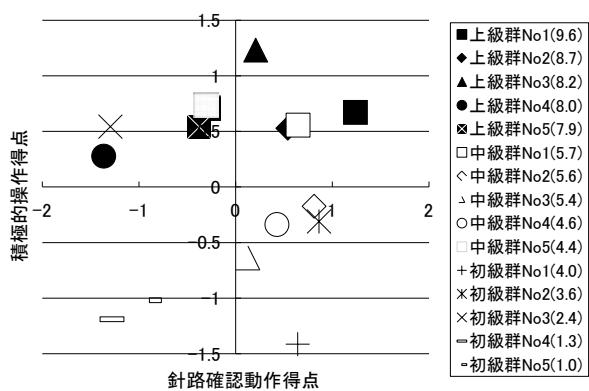


図 16 操縦技量と針路確認動作得点・積極的操作得点の関係

#### 4-2. 合成指標によるライダーの分類

主成分分析の結果から得られた合成指標を利用してライダーの特徴を分類する。修正操作指標を横軸、積極的操作指標を縦軸にとり、各ライダーのカーブ毎の得点の平均値をプロットしたものを図15に、進路確認動作指標を横軸、積極的操作指標を縦軸にとり、各ライダーのカーブ毎の得点の平均値をプロットしたものを図16に示す。図中のデータは、指標毎に全データの平均が0、標準偏差が1となるように標準化したものである。また、凡例の括弧中の数字は指導員による技量評価得点の平均値を表している。修正操作得点は高いほど操縦時の修正が多く、積極的操作得点は高いほど車両をコントロールするために積極的な操縦を行っていると解釈できる。また進路確認動作得点は高いほど進路確認動作を大きく行っており、視野の安定性も高いと解釈できる。図15、16より、上級者群の中でも特に指導員による評価が高い図中No.1、2のライダーは積極的に操作入力を行い車両を積極的にコントロールしつつ、修正操作が少ない安定した走行を行っていると解釈できる。また、進路確認のための頭部運動も視野の

安定性を損なわない形で十分に行えていると解釈できる。反対に指導員による評価の低い初級群No.4、5のライダーは進路確認を的確に行っていないために修正操作が多くなり、車両の旋回性を引き出すような積極的操縦を行っていると解釈できる。その他のライダーの特徴はさまざまであり、たとえば中級群No.1のライダーは旋回性を引き出すために車両を積極的にコントロールしようとしているものの、うまくいかず修正操作が多くなっていると解釈できる。また、初級群No.3の被験者は積極的な操作入力をやっているものの、修正操作が多く不安定であり、かつ進路確認がおろそかになっている危険な状態であると解釈できる。さらに、初級群No.1の被験者については、修正操作は少ないが、積極的な操作入力も極端に少なく、ほとんど操作入力をやらない非常に消極的な乗り方をしていると解釈できる。このように、3つの合成指標の値は、技量の高低に応じた値を示すことから、操縦技量の評価に活用可能であると考えられる。またこれらの合成指標を用いることで、技量の高低のみならず、ライダーによる操縦の特徴を定量的に把握、評価することができる。評価結果をライダーにフィードバックすることで、ライダーは自身の技量とその特徴を知ることができると考えられる。さらに、ライダー自身が評点を向上するために試行錯誤を繰り返すことで技量向上の促進効果も期待できると考えられる。

## 5 まとめと課題

本稿では、自動二輪車ライダーに定量的な操縦技量評価を与えることで適正な自己評価を助け、リスクテイキング傾向を抑制することを目的として、自動二輪車ライダーの操縦技量の定量評価の可能性を検討した。その中で、自動二輪車における走行指導員による操縦技量評価の主要因をインタビュー調査により明らかにした。さらに、技量評価の主要因を走行中に計測可能なライダーの操縦行動、車両挙動から検証することで、ライダーの操縦技量を修正操作、積極的操縦、進路確認動作の3つの評価軸を用いて評価する手法を提案した。そして、提案手法によりライダーの技量の高低のみならず、ライダーによる操縦の特徴を定量的に把握、評価できる可能性を示した。以上のことから、旋回走行中のライダーの操縦技量を操縦行動、車両挙動から定量評価する可能性を示すことができたといえる。ただし、これらの結果は本研究において設定した基礎的な走行課題においてのみ言えることである。今後、本研究にて得られた知見をより多くの走行環境に展開するとともに、被験者を増やし、再現性、一般性の検証を行

う必要がある。また、本報告における定量化手法ではライダーの生体情報の計測を必要としている。生体情報の計測はライダーに負荷を与えるため、生体情報を用いない定量化手法についても検討していく。

## 6 参考文献

- [1]財団法人交通事故総合分析センター:二輪車事故の特徴分析による事故・死傷者数の低減研究;(2009)
- [2]松浦:運転技能の自己評価に見られる過大評価傾向;心理學論評、Vol.42、No.4、pp.419-437(1999)
- [3]中井、臼井:運転技能の自己評価がリスクテイキングに及ぼす影響;交通心理学研究、Vol.23、No.1、pp.20-28(2007)
- [4]ユーザビリティハンドブック編集委員会:ユーザビリティハンドブック;共立出版、第4部(2007)
- [5]黒須:マイクロシナリオ手法;NIME研究報告、Vol.17(2006)
- [6]大澤:チャンス発見のデータ分析;東京電機大学出版局、第4章(2006)
- [7] ISO9241-210:Ergonomics of human-system interaction -Part 210: Human-centred design for interactive systems
- [8] Daimoto, H, et al:Application of Micro-Scenario Method (MSM) to User Research for the Motorcycle's Informatization, Lecture Notes in Computer, 4550, 49-57, Heidelberg, Springer (2007)
- [9]米国保健福祉省公衆衛生局疾病予防センター:表面筋電図の人間工学応用(瀬尾・小木 監訳);(財)労働科学研究所出版部、第4章、第5章(2004)
- [10]磯村他:ライバのハンドル操作におけるヒューマンファクタ;自動車技術会論文集、Vol.27、No.1、pp.122-126(1996)
- [11]自動車技術ハンドブック編集委員会:自動車技術ハンドブック 1 基礎理論編;社団法人自動車技術会、7章12節(2004)

### ■著者



**森島 圭祐**  
Keisuke Morishima  
技術本部  
研究開発統括部  
イノベーション研究部



**大本 浩司**  
Hiroshi Daimoto  
技術本部  
研究開発統括部  
イノベーション研究部



# 人を検出するステレオ画像認識システム

## A Stereo Vision System for Human Detection

### 技術論文

吉田 瞳 山崎 章弘

#### 要旨

本稿では、小型車両への画像認識技術応用を目指し試作した、ステレオビジョンをベースとするシステムについて報告する。本システムは、ステレオ法により距離情報を取得することで障害物候補を抽出し、続いて学習により構築した識別器を用いて、それが人かどうかの識別を行う。条件分岐が比較的少なく並列化しやすいステレオマッチングまでの処理を Field-Programmable Gate Array(FPGA) に、またそれ以降の処理を CPU に、それぞれ配することで、秒間 15 フレームのスループットを実現した。

#### Abstract

This paper describes a prototype stereo vision-based system for human detection developed with the objective of applying image recognition technology to small vehicles. This system utilizes distance information obtained by the stereo method to detect possible obstacles and then employs a machine-learned classifier to determine if the obstacle candidate is a human being or not. By allocating processing up to the stereo matching stage, with its parallel computational efficiency due to a relatively low degree of conditional branching, to a Field-Programmable Gate Array (FPGA) and the subsequent processing to the CPU, the prototype system yields a throughput of 15 frames per second.

## 1 はじめに

車両のロボット化において、前方障害物あるいは走行可能な領域など、周囲環境の認識は重要な技術であり、さまざまな取り組みが行われている。本稿では、電磁誘導ゴルフカーやバギー車ベースUnmanned Ground Vehicle(UGV)などを含む小型車両へ画像認識技術を応用することを目指し開発したシステムについて述べる。ここではその例のひとつとして、電磁誘導ゴルフカーのための障害物検出を挙げる。



(a) 電磁誘導ゴルフカー (b) UGV  
図 1 小型車両の例

電磁誘導ゴルフカーは、地中に埋設された誘導線に沿って操舵制御することで自動走行を行う。このため、通常静止物である建物や立ち木などが誘導走行上の障害となることはない。一方で、プレイヤをはじめとする“人”は、自ら移動し誘導コース上に立ち入る可能性がある。これを検出する際に、単に前方の物体を検知するのみのシステムを用いると、カーブ外側の本来支障のない静止物や、勾配変化の大きい走路における前方の地面を検出してしまう場合があるため、画像による

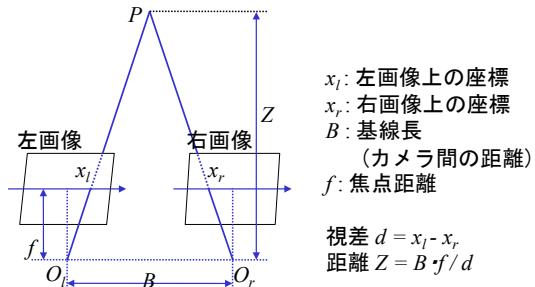


図 2 ステレオビジョンによる距離算出

人検出が要望される。

ステレオビジョンは、通常左右2台のカメラ画像から同一の対象を撮像し、その投影位置の違いから図2に示す三角測量の原理により、対象までの距離を測定するものである。測距手段としては他にもレーダなど能動型のセンサがあるが、画像認識処理により、上述した人検出をはじめとする対象物の認識が可能という利点がある。

## 2 システムハードウェア

本システムでは、ステレオ法により距離情報を取得することで障害物候補の抽出を行い、続いてそれが人かどうかの識別を行う。試作したステレオ画像認識システムのハードウェアを図3に示す。

ステレオカメラは撮像素子にモノクロCMOSを用い、グローバルシャッターにより左右同期キャプチャが可能である。また



(a) ステレオカメラ (b) 画像処理ボード  
図3 ステレオ画像認識システムのハードウェア

有効画素数はVGA( $640 \times 480$ )である。出力インターフェースにはLVDSとUSBとを備え、後段装置の構成に柔軟に対応する。

画像処理ボードは左右2枚の画像を入力とし、FPGA(Xilinx社製Spartan-6)にて分岐の少ない前処理、具体的にはレクティフィケーション、エッジ検出、ステレオマッチングなどを、またその後段ではCPU(ルネサス社製SH4A)にて低信頼視差の除去、障害物候補の抽出、人かどうかの識別などを行う。処理の内容詳細については後述する。FPGAとCPUは並列に動作させることで、スループットを向上させることができる。

### 3 処理内容

本システムにおける処理の概要を、図4に示す。

#### 3-1. ステレオマッチング

ステレオカメラから取り込まれる左右カメラ画像は、各々レクティフィケーションとエッジ検出とを経て、ステレオマッチングに入力される。

レクティフィケーションとは、左右カメラ画像を図2に示したような理想的な状態に近づけるよう変換するものである。レクティフィケーションに先立ってはキャリブレーションが必要となる。キャリブレーションにおいては、カメラの内部パラメータとして焦点距離のばらつき、レンズ歪み、投影面の傾き、また外部パラメータとして取り付け位置、姿勢のばらつきなどを推定し、変換マップを生成する。オンラインの処理ではこのマップを用い、左右カメラを平行等位とみなせるよう、両画像のエピポーラ線の高さを水平に揃えている。なおエピポーラ線とは、一方のカメラと注目点とがなす直線の、もう一方のカメラへの投影である。これにより、ステレオマッチングにおける探索を水平方向のみに限定し、高速に処理することができる。

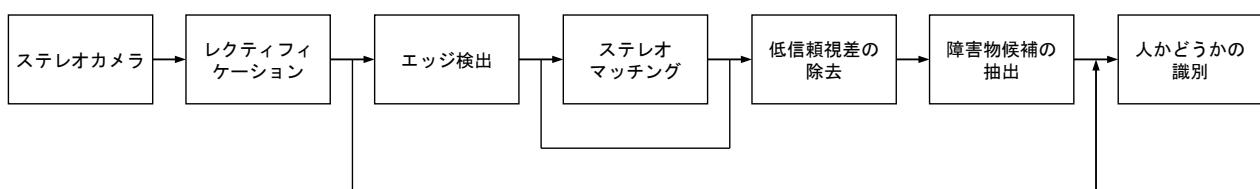


図4 処理の概要

ステレオマッチングはエッジ画像に対するブロックマッチングを用いる。ブロックマッチングは左右の対応点を求めるために、その周辺を含むブロック同士で類似度合いを評価するものである。また視差画像の生成は、左画像基準、右画像基準、それについて行う。両者に差異がある画素、あるいはエッジ強度が低い画素については、視差の信頼度は低いものとして除去する。

#### 3-2. 障害物候補の抽出

障害物候補の抽出においては、まず車両前方に検出対象空間を設定し、かかる空間内にてある程度の数を有する点群クラスタを抽出する。ステレオマッチングにおいては画角内のあらゆる撮像対象が2.5Dデータに変換されるが、その中には地面や無限遠点など、およそ検出対象とはならないものも多いため、これらについてはあらかじめ除外しておく。

#### 3-3. 人の識別

抽出された障害物候補が人かどうかを識別するには、レクティフィケーション後の可視光画像に対する人検出処理を用いる。可視光画像の見えによる(appearance-based)人検出という課題に対しては、これまでさまざまな手法が提案されている<sup>[1][2]</sup>。

特に低レベルな特徴の抽出においては、ここではその代表例のひとつであるHistograms of Oriented Gradients(HOG)

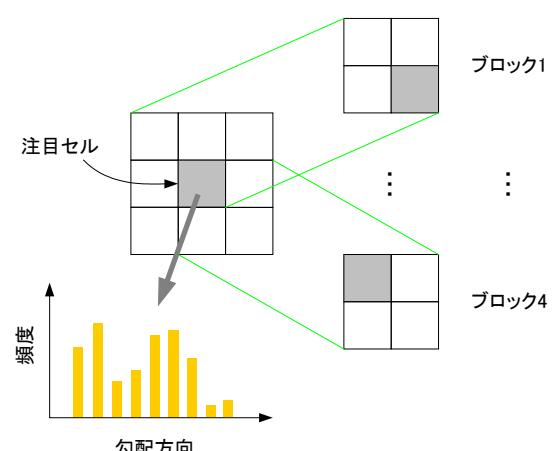


図5 HOGにおけるセルとブロック



## アルゴリズム 1 SODA-Boosting

入力:

学習サンプル  $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ ここで  $y_i = -1, 1$  はそれぞれ陰性と陽性をあらわすラベル

1. 初期化 :

 $y_i = -1, 1$  に対するそれぞれのウェイト

$$w_{1,i} = \frac{1}{2n^-}, \frac{1}{2n^+}$$

ここで  $n^-, n^+$  はそれぞれ陰性サンプルと陽性サンプルの総数2. For  $t = 1, \dots, T$  :

(a) ウェイトを正規化:  $w_{t,i} \leftarrow \frac{w_{t,i}}{\sum_{j=1}^n w_{t,j}}$

(b) FLD 特徴による弱識別器  $f_{FLD}(x)$  及びそのエラーレイト  $\epsilon_{FLD}$  を計算(c) MRC+特徴による弱識別器  $f_{MRC+}(x)$  及びそのエラーレイト  $\epsilon_{MRC+}$  を計算(d) MRC-特徴による弱識別器  $f_{MRC-}(x)$  及びそのエラーレイト  $\epsilon_{MRC-}$  を計算(e) 最小エラーレイト  $\epsilon_t$  の弱識別器 $f_t(x) \in \{f_{FLD}, f_{MRC+}, f_{MRC-}\}$  を選択

(f) ウェイトを更新:

$$w_{t+1,i} \leftarrow w_{t,i} \exp[-\alpha_t y_i f_t(x_i)]$$

ただし  $\alpha_t = \frac{1}{2} \ln \frac{1-\epsilon_t}{\epsilon_t}$

出力:

強識別器  $F(x) = \text{sign} \left( \sum_{t=1}^T \alpha_t f_t(x) \right)$

を用いる。HOGは所定の領域(セル)内輝度の勾配方向ヒストグラムを複数の異なる局所領域(ブロック)内にて正規化することで、照明環境や対象の形状、姿勢、向きなどの変動に対しても、比較的頑健に対象形状の特徴を捉えることができる。図5にブロックサイズ2×2セル、勾配方向の分割数9としたときのセルとブロックの正規化概念図を示す。

また、上記特徴を効果的に用いて対象を識別するには、学習による識別器の構築が有効である。ブースティングによる学習では、比較的単純な特徴を識別する弱識別器を複数個それぞれの重要度にあわせて重みをつけて組み合わせることにより、より強い識別器を構築する。ここではSODA-Boosting<sup>[3]</sup>を用いる。SODA-Boostingにおいては、フィッシャーの線形判別(FLD)あるいはMaximal Rejection Classifier(MRC)による射影変換を弱識別器に用いる。FLDは、クラス内変動に対するクラス間変動の比を最大にするような変換を求めるものであり、両クラスは均等に扱われる。一方MRCは、図6に示すように、対象とする“Target”クラスがその他の広範な“Clutter”クラスに取り囲まれているような分布を想定したものである。SODA-Boostingにおいては、2クラスのうちひとつを“Target”とするMRC-positive特徴と、逆に“Clutter”とするMRC-negative特徴をそれぞれ用いる。今回のように対象を検出する問題においても、実際、MRC-negativeはMRC-positiveと遜色ない割合で選択される。

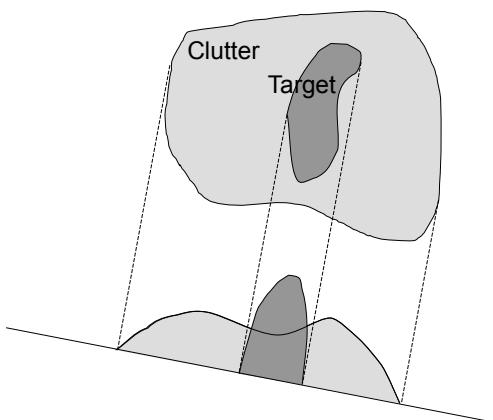


図6 ターゲットイメージと MRC

なお、カメラから上記障害物候補までの距離を利用して識別器の処理ウィンドウサイズを限定することで、処理量の削減が可能である。HOGを用いた対象物体の検出において、画像内のどの位置にどのような大きさで対象が写るかを限定できない場合にはIntegral Histogramが処理の高速化に有効であるが、ここではステレオマッチングにより得られた距離から処理ウィンドウサイズを限定するため、特に用いない。

## 4 実験結果

### 4-1. 人検出単体でのプリテスト

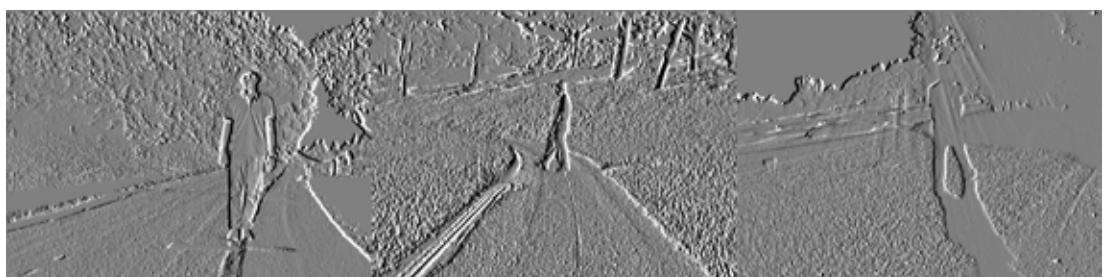
先述したハードウェアへの実装に先立ち、人検出器としてのプリテストを行った。用いた画像データは実際のゴルフコースにおいて、カメラを車両に搭載し走行しながら撮影したもので、学習サンプル、評価サンプルには重複のないそれぞれ1万枚以上の画像を抽出して用いた。HOGの構成は、最小セルサイズを $16 \times 16$ ピクセル、ブロックサイズを $2 \times 2$ セル、勾配方向の分割数を9、検出器の処理ウィンドウサイズを $4 \times 8$ セ

ルとした。これら設定については、検出性能と処理時間とのバランスの良いところを事前実験から選択した。検出性能の評価には誤検出の少なさ(Precision)と未検出の少なさ(Recall)を考慮する必要があり、ここではその調和平均であるF値を用いた。結果、F値は約0.96であり、VGA画像1枚の全探索(約7,500ウィンドウ)に要する処理時間は、Intel社製Core2 Quad 3.0GHzを搭載したPCによる実行で、約90msであった。

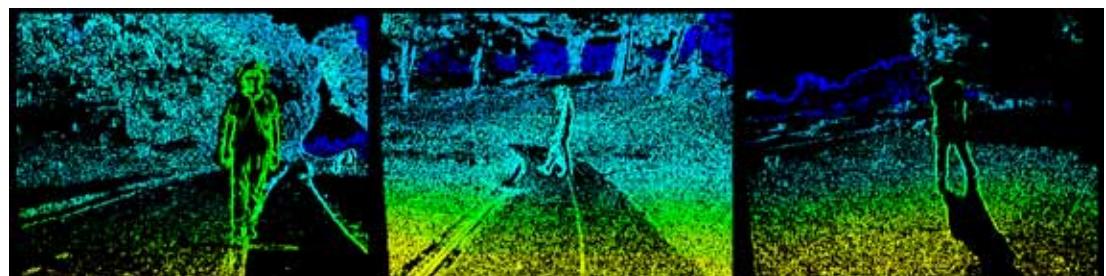
ここで用いられた検出器の処理ウィンドウサイズは、 $4 \times 8$ セルと先行事例<sup>[1]</sup>のパラメータと比して少ないが、セル1つあたりのカバー範囲を相対的に大きくすることで、ラスタスキャ



(a) レクティファイ画像



(b) エッジ画像



(c) 視差画像



(d) 人検出結果表示

図7 画像処理例

ン時の位置及びスケールのステップを大きくすることが可能となり、誤検出の抑制と処理速度の向上に寄与することができる。

#### 4-2. 統合テスト

図4の処理をシステムとして統合したテストを行った。図7に本システムによる各処理結果について示す。順にレクティファイ画像、エッジ画像、視差画像、人検出結果表示であり、いずれも左カメラ画像を元にしている。視差画像は暖色が近方、寒色が遠方を表している。黒い領域は視差信頼度が低く除去した部分である。人検出結果表示においては、視認やすいよう人検出結果枠内をハイライト表示している。検出結果枠下の数字は人までの距離を表している。

図8には、ステレオ法により障害物候補として抽出された対象における人検出のPrecision-Recallを示す。F値は約0.95であった。

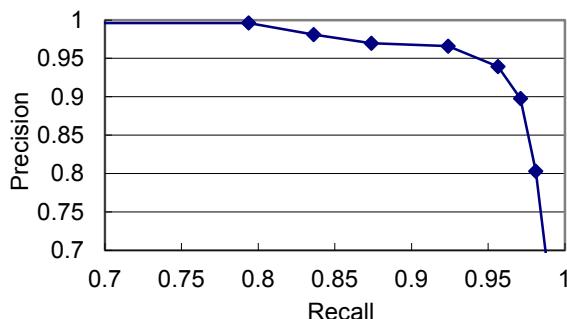


図8 人かどうかの識別についての Precision-Recall

このように自然な環境中に人物が写っている状況でシステムを動作させ処理速度を計測した結果、スループットは秒間15フレームとなった。各処理の所要時間を図9に示す。相対的にCPU側の処理に時間がかかるており、FPGA側では小さくないウェイトが生じている。CPU側の処理量をさらに削減することで両者を均衡させることが、当面の今後の課題である。

#### 5 まとめ

小型車両への画像認識技術応用を目指して試作したステレオ画像認識システムについて紹介した。本システムは、条件分岐の少ない前処理、具体的にはレクティファイケーション、エッジ検出、ステレオマッチングなどをFPGAにて行い、それ以降の処理、つまり低信頼視差の除去、障害物候補の抽出、人かどうかの識別などをCPUにて行う構成とした。人かどうかの識別にはHOGとSODA-Boostingとを組み合わせ、検出性能と処理時間とのバランスを図った。ステレオ法により障害物候補として抽出された対象における人検出で、約0.95のF値を得た。FPGAとCPUとは並列に動作させることで、秒間15フレームのスループットを実現した。今後はCPU側の処理量をさらに削減するとともに、距離画像から人の識別のための特徴量を抽出していくことを検討する。

#### 6 おわりに

本研究を進めるにあたり有益な助言をいただいた中部大学の藤吉弘亘教授に、感謝の意を表する。

また実験データの取得に協力いただいた葛城ゴルフ俱楽部に、感謝の意を表する。

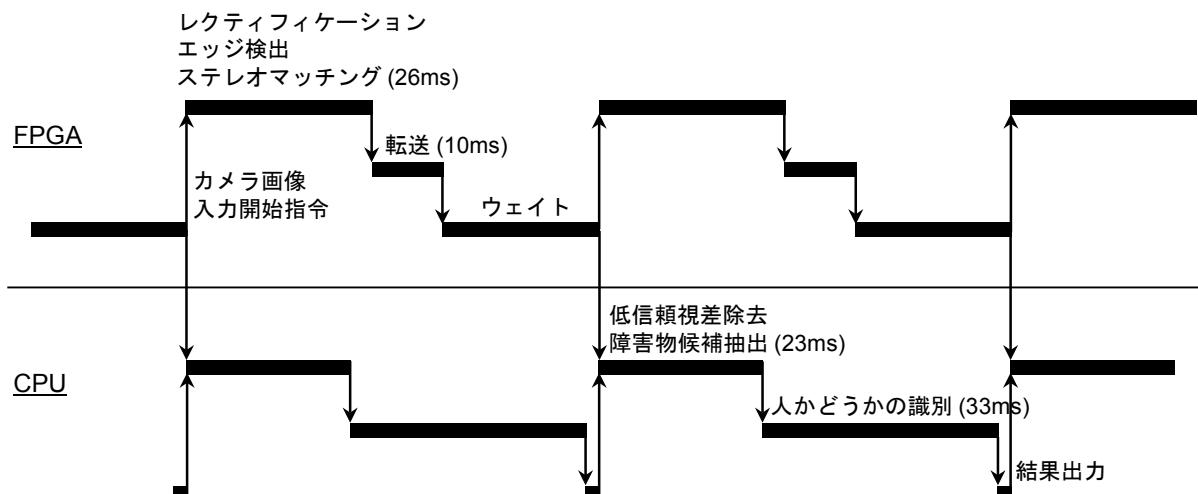


図9 各処理の所用時間

## 7 参考文献

- [1] N. Dalal and B. Triggs. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, vol.1, pp.886–893, 2005.
- [2] 松島千佳, 山内悠嗣, 山下隆義, 藤吉弘亘. Relational Binarized HOG特微量とReal AdaBoostによるバイナリ選択を用いた物体検出. 第13回画像の認識・理解シンポジウム, 2010.
- [3] X. Xu and T. S. Huang. SODA-Boosting and Its Application to Gender Recognition. *IEEE Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures*, 2007.

### ■著者



**吉田 瞳**  
Makoto Yoshida  
技術本部  
研究開発統括部  
イノベーション研究部

**山崎 章弘**  
Akihiro Yamazaki  
技術本部  
研究開発統括部  
イノベーション研究部



# 技術論文

## Influence of Injection and Flame Propagation on Combustion in Motorcycle Engine – Investigation by Visualization Technique –

Miki Yumoto Kazuhiro Goto Shouichi Kato Minoru Iida

当論文は、SAE2011-32-0566 / JSASE20119566 として、札幌にて行われたSETC2011(Small Engine Technology Conference)にて発表され、The Best Paper賞を得たものです。

Copyright © 2011 SAE Japan and Copyright © 2011 SAE International

### 要旨

二輪車のポート噴射SIエンジンにて、燃焼と混合気形成との相関を調査すべく、燃料噴霧・液膜や初期火炎の伝播挙動について可視化観察した。同可視化観察には、ボアスコープ方式を採用した。混合気形成の影響を調査するため、噴射系のパラメータとして、噴射方向・噴射タイミング・燃料噴霧粒径を変更した。その結果、低負荷での燃焼安定性は、混合気の不均一性に大きく影響されることが分かった。これは、大粒径の燃料噴霧が燃焼室へ直接流入すること、あるいは吸気管内の混合気が不均一であることにより引き起こされていた。燃料噴霧の燃焼室直接流入による輝炎発生は、低負荷・全負荷の両条件で見られた。液膜による過渡応答の問題を最低限に減らし全開で混合気均一性を保つつつ、低負荷での燃焼安定性を保つためには、微粒化インジェクターにて、吸気行程に燃料噴霧が燃焼室内へ直接流入するタイミングで噴射する手法が有効であると考えられる。

### Abstract

This paper reports visualization of behavior of spray, wall film, and initial flame propagation in an SI engine with port fuel injection system for motorcycle in order to directly investigate their influences on combustion and relations among them. Borescopes were used to visualize the flame propagation in the combustion chamber and wall film in the intake port. Various injection systems and injection parameters were tested: injection direction, timing, and size of droplets to investigate the effect of mixture formation. It is concluded that combustion stability under low load condition is greatly influenced by mixture inhomogeneity in the combustion chamber whose evidence is the luminous emission. It is caused by direct induction of considerable amount of liquid fuel with large size of droplets into combustion chamber or too inhomogeneous mixture in the intake port. Luminous emission in the flame was also seen under wide open throttle condition due to direct introduction of wall film into combustion chamber. Finally, great potential of highly atomized spray to keep combustion stability under low load condition and homogeneity under high load condition without defect of transient behavior due to wall film has been shown with injection timing of IVO.

### 1

### INTRODUCTION

Reduction of fossil fuel consumption is necessary with regards to global warming and energy security. Motorcycle has great potential to play an important role for these demands due to its light weight. Reduction of environmental impact is also an important factor as well as the fuel efficiency. Mixture formation is one of the key issues for both aspects. Port fuel injection system is getting popular due to better control ability of fuel supply than by carburetor that is still used widely due to the benefit of cost and simplicity. Port fuel injection system is widely used for automotive application in

many years. Compared to automobile, motorcycle has severe limitations about cost and space. Demand for specific power is higher instead of less stringent emission regulation. Considering these differences, it is important to establish appropriate guide for motorcycle applications with regard to injector layout and injector specification to satisfy regulation for environment without deterioration of advantages.

One of the most important issues is generation of wall film. It is enhanced by shorter distance between injection hole and wall against it, shorter duration to evaporate due to higher engine speed, and lower evaporation



rate by higher pressure in the intake system due to smaller volume downstream of throttle. This may cause combustion instability under stoichiometric operation, in conjunction with longer valve overlap due to high specific power demand. Limitation by the cost makes it difficult to add devices to enhance combustion stability, such as variable valve timing system and tumble generation valve, which are widely used for automotive application. Large amount of wall film is also an important issue with regard to transient behavior. It may spoil quick response of motorcycle, which is one of the most attractive features of motorcycles.

Dealing with these issues, many research activities have been reported in the past. Enhancement of combustion with rather simple devices has been reported [1-4]. More fundamental phenomena such as wall film behavior inside the intake port was explored and reported by using simple test rigs [5-8]. The influence of port fuel injection on combustion in a small displacement engine was analyzed by computational fluid dynamics (CFD) [9-10] with performance test. Investigation by measurement is necessary to support CFD simulation. There are lots of papers about flame propagation [for example, 11-12] if we search for it not within the range of motorcycle application. It is rare, however, to find a paper to investigate the relation between mixture formation and flame propagation, especially in a small engine, directly by visualization method. Optical engine with transparent parts is traditional system to observe flame behavior in the combustion chamber, while the limitation of operating condition, especially engine speed, is very severe to apply this under realistic condition of motorcycle operation. Borescopes have the ability to operate under relatively high engine speed only with small modification of the engine.

This paper reports visualization results of spray, wall film, and initial flame propagation in order to directly investigate their influences on combustion and relation among them. Combustion stability under low load condition is within our scope. Luminous flame emission, which is an index of mixture property, is also investigated under low load and wide open throttle condition.

Moreover, possibility of highly atomized spray to improve both combustion stability and transient behavior is also discussed.

## 2

# EXPERIMENTAL APPARATUS

## ENGINE CONFIGURATION

This study was conducted in a water-cooled 4-cycle single-cylinder engine based on motorcycle application. The main specifications of the test engine are listed in Table 1. These are the same as in the previous report from our group [9].

Table 1: Engine specification

Cylinder Bore	73.0 mm
Stroke	59.6 mm
Displacement Volume	249.4 cm <sup>3</sup>
Compression Ratio	9.7
Numbers of Valves	Intake 2, Exhaust 2

## INJECTION SYSTEM

Injection systems shown in Table 2 and Figure 1 were tested in this research. These are also the same as in the previous report from our group [9]. SMD of the injector was measured at 50 mm below the injection hole by LDSA 1500A (Laser Diffraction Sizing Analyzer) from TOHNICHI COMPUTER APPLICATIONS. System 1 is a typical layout of motorcycle to represent that an injector is installed far upstream and aims at wall. System 2 is another typical layout to represent that an injector aims at both intake valves. The injector in System 3 is the same as in System 2, but aims at one side of intake port. System 4 is a system to see how an injector targeting the wall with small SMD behaves and affects to combustion.

Table 2 Specification of injection system

Injection System No.	Target Area	Spray Type	Injection Angle [deg]	Spray Angle [deg]	Injection Pressure [MPa]	Initial SMD [μm]
1	Upstream Wall	1-Jet		5	0.3	120
2	Dual Intake Valve faces	2-Jet	18.5	5	0.3	130
3	Single Intake	1-Jet		5	0.3	120
4	Upstream Wall	Hollow Cone		45	7.0	30

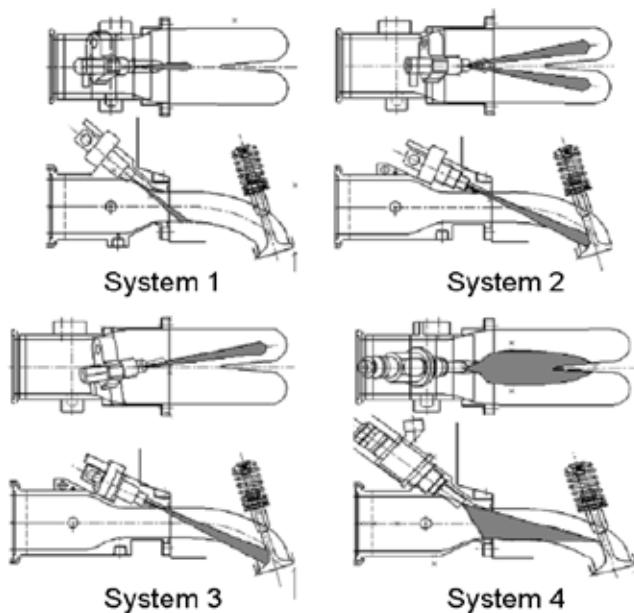


Figure 1 Schematic view of injection system.

Promotion of evaporation by fuel droplets impingement on upstream wall and big amount of wall film is expected in System 1. In System 2, aiming at intake valve, smaller amount of wall film and inhomogeneous mixture distribution is expected. In System 3, asymmetric and extreme inhomogeneity of mixture is expected. Better balance between homogeneity and amount of wall film is expected in System 4.

## MEASUREMENT TECHNIQUES

The pressure in the combustion chamber was measured with a KISTLER non-cooled combustion chamber pressure sensor. Combustion analysis system DS-228 (ONO SOKKI) was used to analyze the combustion process. Coefficient of variation (CoV) of net mean effective pressure (NMEP) and combustion duration was calculated from the data of 500 consecutive cycles. However, cycles with less than 100 kPa of NMEP were considered misfires and were eliminated from the parent population of combustion duration evaluation.

Two types of borescope, one is for flame observation in combustion chamber, the other is for observation of spray and wall film in intake port, were equipped to the test engine.

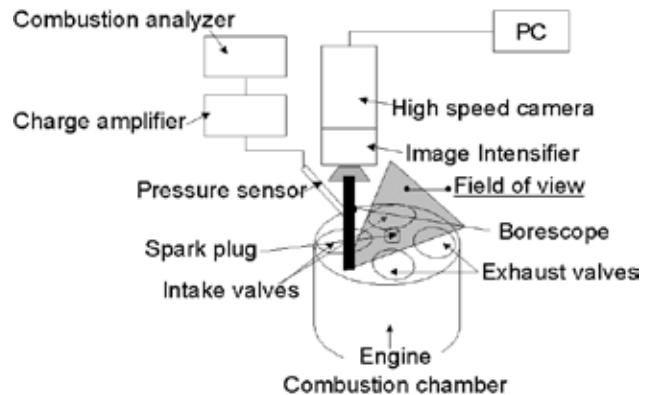


Figure 2 Pattern diagram of setting for observation in combustion chamber.

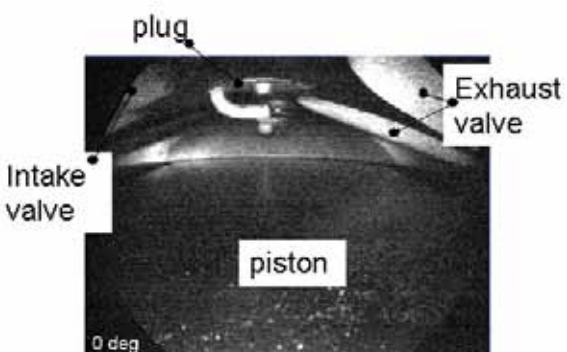


Figure 3 Actual field of view of combustion chamber.

## Visualization configuration of flame

Shown in Figure 2 is the layout of the borescope assembled on the engine. Area of view of this system is shown in Figure 3. All images of flame in this paper were taken with the same direction as this. An air-cooled borescope (SMETec) has 70 degree-view angle and 70 degree-view direction. Only visible light can be transmitted through this scope. A monochrome camera with C-MOS image sensor (Photron: FASTCAM-MAX) was used to record consecutive flame images at 20000fps without filter. An image intensifier (Hamamatsu photonics: C9548-03) was used to intensify weak emission of the initial flame. The image intensity was controlled according to the luminosity. A lens (Nikon: 50 mm, f=1.2), which transmits only visible light, was equipped.

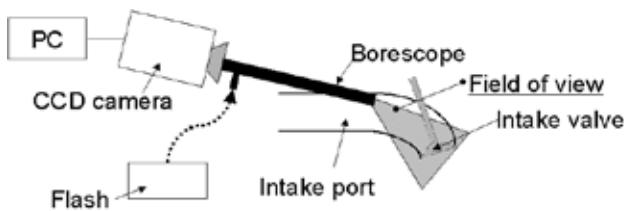


Figure 4 Pattern diagram of setting for observation in intake port.

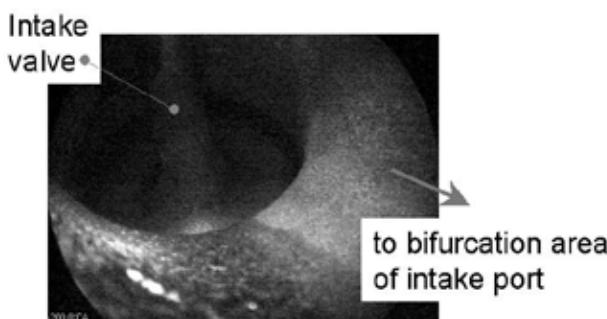


Figure 5 Actual field of view for intake port.

Table 3: Experimental condition

Injection System No.	1	2	3	4
Engine Speed [rpm]	4000			
Ignition timing		MBT		
IMEP [kPa]	400/450, 1200			
Throttle Angle [deg]	4.7, 76			
AFR	14.5			
Coolant Temperature [°C]	80			
Start of Injection BTDC [deg]	at IVC	240	150	
	at IVO	390	300	
	at IVO-40	430	340	

#### Visualization configuration of wall film

Shown in Figure 4 is the layout of borescope on the intake port. A non-air-cooled borescope has 67 degree-view angle and 30 degree-view direction. Frame rate was limited by frequency of flash, about 15 Hz, to illuminate inside the intake port. Area of view of this system is shown in Figure 5. All images in the intake port near the valve in this paper were taken with the same direction as this.

#### Measurement of fuel concentration in the intake port

Fast Flame Ionization Detector (Fast-FID, CAMBUSTION: Fast-FID HFR400) was used to detect concentration

of hydrocarbon in the intake port. The probe for measurement was equipped for two zones, nearby intake valve and bifurcation of the intake port. Cycle-averaged data were used in the investigation.

## EXPERIMENTAL CONDITIONS

Experimental conditions, shown in Table 3, are under partial and wide open throttle range at 4000 rpm. Intake air quantity was controlled by the throttle valve installed between the air box and the intake port. In this paper, injection timing is called as the timing when fuel droplets reach valve area. For example, "injection timing of IVC" means that spray reaches intake valve at timing of intake valve close (IVC) and so on. The ignition timing was MBT for the respective operation condition.

## 3 RESULTS

In this section, results of measurement are described in the order by going upstream from the combustion chamber to injector: pressure in the combustion chamber, flame image, spray and wall film image, and fuel concentration in the intake port.

## COMBUSTION PROPERTY AND EXHAUST POLLUTANTS

In this section, the result of combustion analysis based on the pressure in the combustion chamber is described under low load condition with various injection systems and injection timing.

CoV of NMEP shown in is very low and shows small difference by injection system with injection timing of IVC. Combustion stability of System 3 is the most sensitive to injection timing, followed by System 2. In terms of injection timing, condition of IVO+40 results in the worst combustion stability.

Shown in Figure 7 and Figure 8 are the results of MFB 10-90 % and MFB 0-10 %, respectively. MFB 10-90 % shows clear dependence on injection timing similar to CoV of NMEP. MFB 0-10 % does not show clear dependence on injection timing nor injection system.

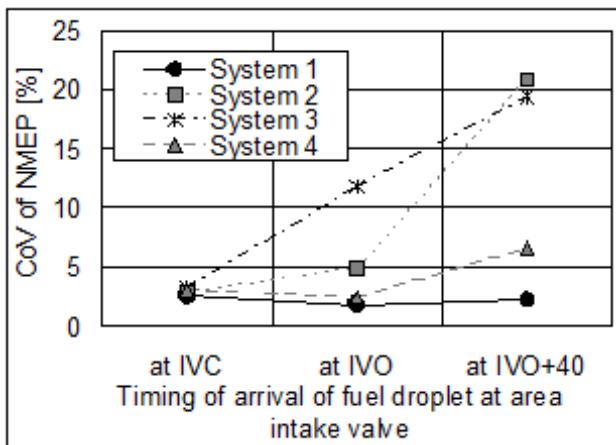


Figure 6 Influence of injection system and timing on combustion stability under low load condition.

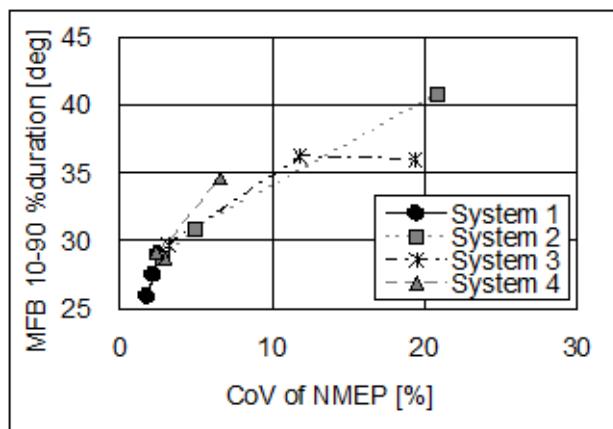


Figure 9 Relation between MFB 10-90 % duration and CoV of NMEP under low load condition.

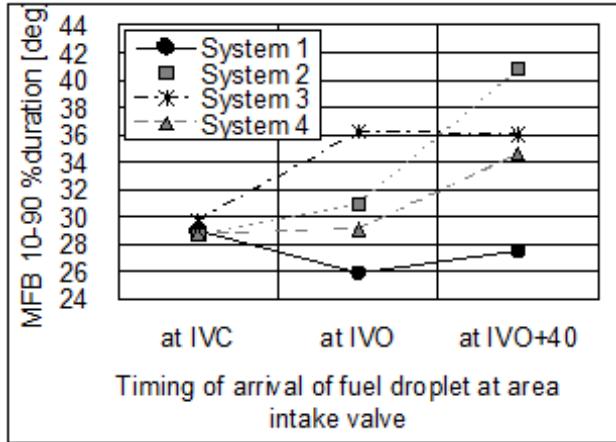


Figure 7 Influence of injection system and timing on MFB 10-90 % duration under low load condition.

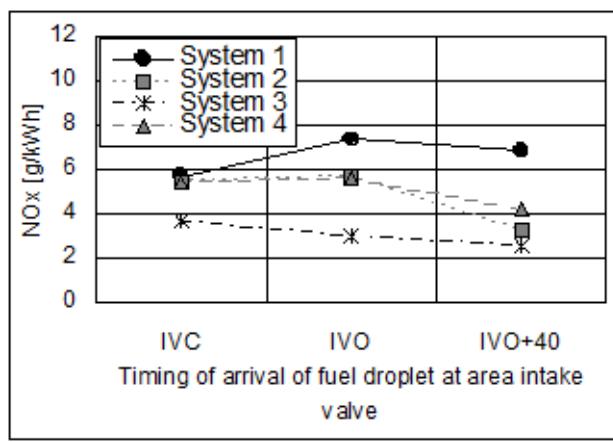


Figure 10 Specific emission of NOx.

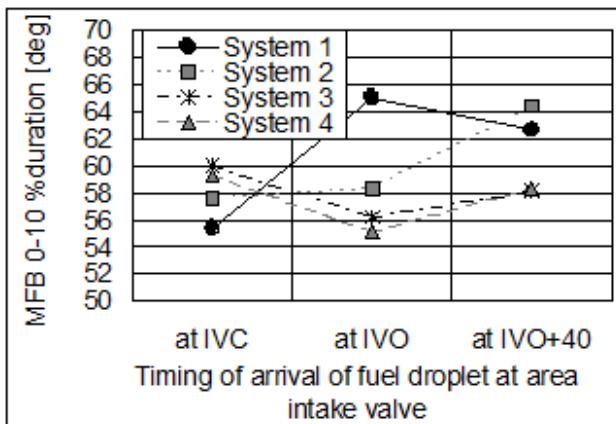


Figure 8 Influence of injection system and timing on MFB 0-10 % duration under low load condition.

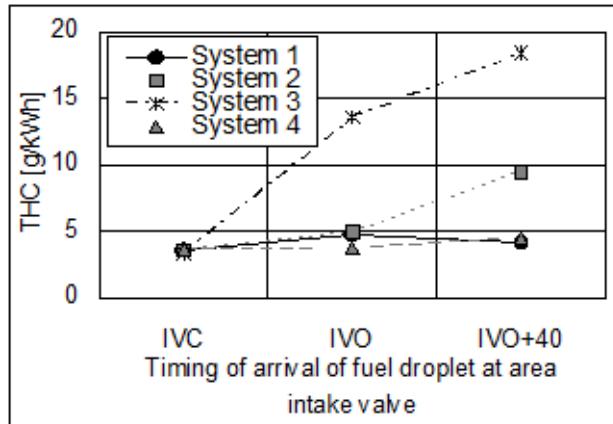


Figure 11 Specific emission of total hydrocarbon.

Figure 9 shows the relation between CoV of NMEP and combustion duration (MFB 10-90 %). MFB10-90 % duration is longer when combustion stability is worse.

Specific emission of NOx and total hydrocarbon is shown in Figure 10 and Figure 11. Specific emission of NOx is low in System 3 and System 2 with injection timing of IVO+40.

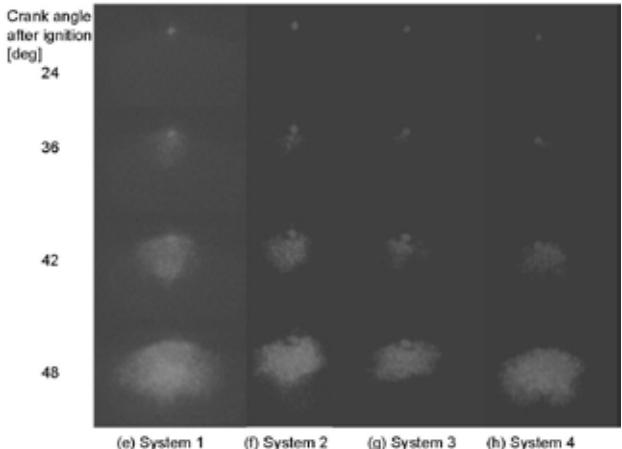
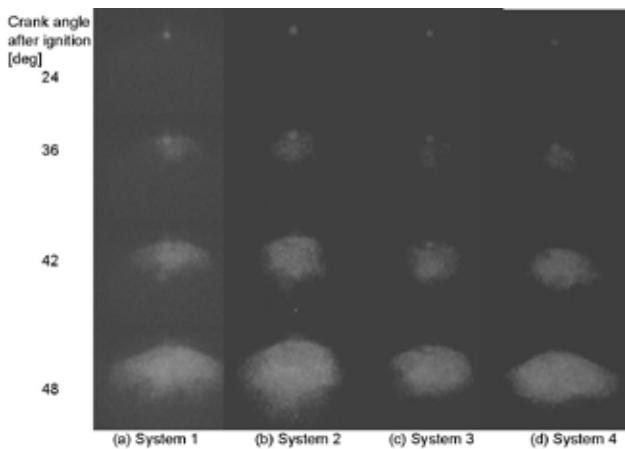


Figure 12 Images of initial flame propagation with injection timing of IVC. Peak pressure: (a)-(d); 2 MPa, (e)-(h); 1.6-1.8 MPa.

Specific emission of total hydrocarbon is large in System 3 and System 2 with injection timing of IVO+40. These are related with long combustion duration and large CoV of NMEP.

## FLAME PROPAGATION IMAGE

### Effect of injection system with IVC injection under low load condition

Shown in Figure 12 are images of flame propagation in all systems with injection timing of IVC. Figure 12 (a)-(d) are the images extracted from a cycle with the cycle-averaged peak pressure of 2 MPa, whereas Figure 12 (e)-(h) are from the cycle with the peak pressure of cycle average minus standard deviation among 500 observed cycles.

Compared among lines of (a)-(d), the flame images show small difference by injection system, whereas big in comparison among lines of (e)-(h). System 2, 3 and 4 show smaller flame at 36 degree after ignition than System 1. This means influence of injection system is not so big under this condition as far as peak pressure is the same. Peak pressure has strong relation with initial flame propagation. This conducts extension of MFB 0-10 % duration in System 2, 3 and 4 as shown in Figure 8.

### Effect of injection timing with spray targeting wall under low load condition

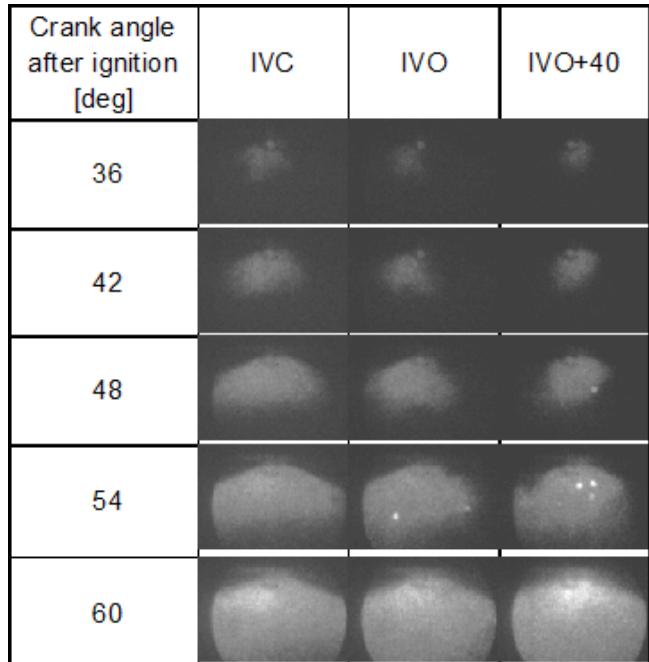


Figure 13 Flame propagation with different injection timings in System 1.

Here we try to see the effect of injection timing on flame image in System 1 and 4 where Cov of NMEP is not sensitive to the injection timing. Shown in Figure 13 are typical images of flames in System 1 with different injection timings. These figures were extracted from the cycle with the cycle-averaged peak pressure among 500 observed cycles.

Small number of luminous emissions is observed with injection timing of IVO and IVO+40 in Figure 13. These emissions can be seen in almost all cycles with these injection timings. Here we define this word "luminous emission" as localized more luminous area than

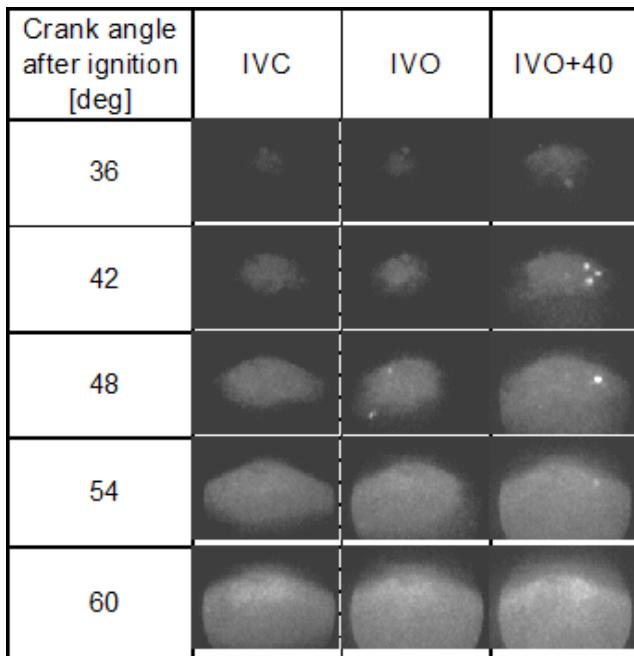


Figure 14 Flame propagation with different injection timings in System 4.

background flame with weak brightness. There is no luminous emission with injection timing of IVC.

Shown in Figure 14 are typical images of flames in System 4 at different injection timings. These figures are the images extracted from a cycle with the cycle-averaged peak pressure of 2 MPa among 500 observed cycles. Small number of luminous emissions is observed at IVO, IVO+40 in Figure 14. These emissions can be seen in almost all cycles with injection timing of IVO and IVO+40. There is no luminous emission at IVC. These results in System 4 are coincident with those of System 1.

#### Effect of injection timing with spray targeting valve under low load condition

Here we try to see the effect of injection timing on flame image in System 2 where Cov of NMEP is sensitive to the injection timing. Shown in Figure 15 are images of flame at different injection timing in System 2. Flame size is the smallest with injection timing of IVO+40 in the images at 33.6 degCA after ignition timing. Luminous emissions are observed with injection timing of IVO and IVO+40, but not IVC. Luminous emissions are observed under spark plug and exhaust side. Number of luminous emissions for

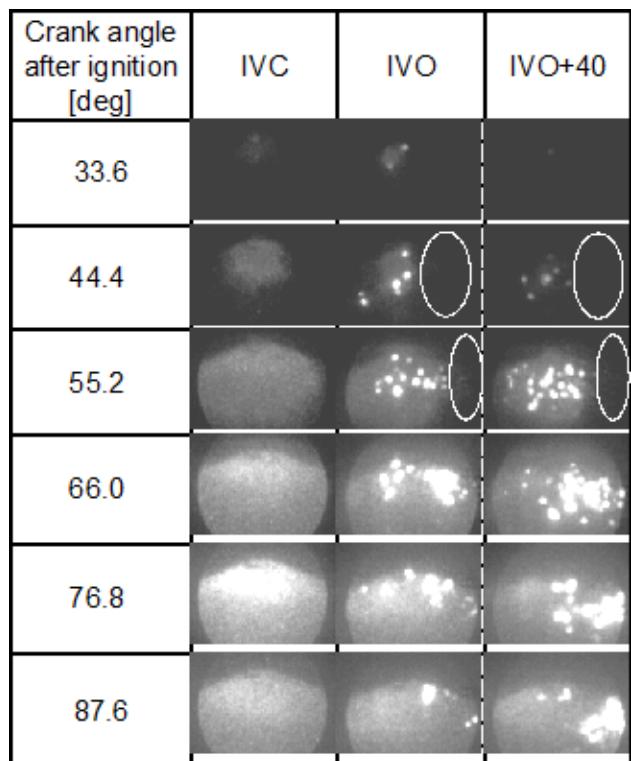


Figure 15 Flame propagation with different injection timing in System 2. Flame propagation is suppressed in the circles.

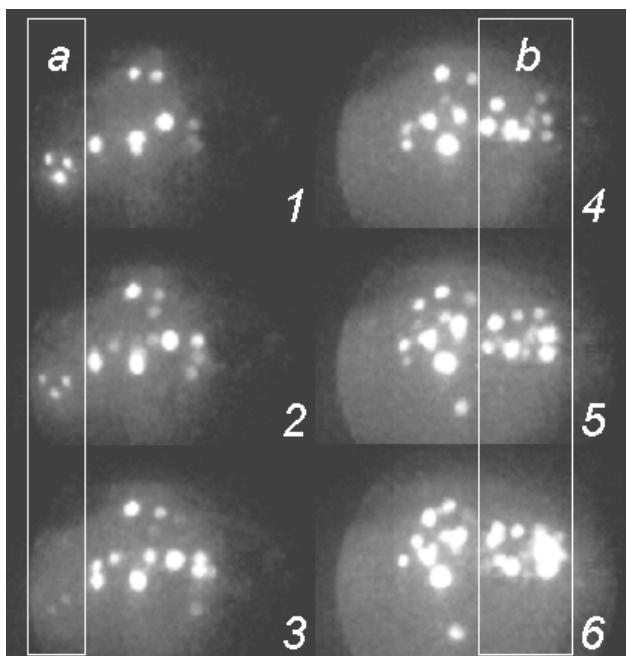


Figure 16 Luminous emissions at injection timing of IVO in System 2, captured at every 2.4 degree after 48 degrees of ignition timing. a; Luminous emission disappears, b; Luminous emission enlarges.

IVO and IVO+40 condition is greatly larger than that of System 1 and 4.

Luminous emissions can be classified into two types. One is small and disappears relatively quickly. The other stays for a long time and has various sizes. Shown in Figure 16 is an example of series of flame images with injection timing of IVO, captured at every 2.4 degree from 48 degrees after ignition timing. Focusing on square "a" in Figure 16, smaller luminous emissions disappear finally, though other emissions stay longer. The emissions in square "b" grow larger, and even connect each other in this series. Let us notice that this does not necessarily mean physical coalescence due to the property of the borescope, very deep depth of field.

As to the relationship with flame propagation, emissions quickly disappeared seem to have no influence on flame propagation, considering the thin emission in the image, which represents flame propagation, passes without any interference with them. On the other hand, large block of emissions shows behavior related more to flame propagation. The initial flame propagation is more distorted and tends to be suppressed on the exhaust side with injection timing of IVO and IVO+40 as shown in the circles in Figure 15. After the flame passes, large block of luminous emissions are frequently found in the region.

## Luminous emission under wide open throttle condition

Here we try to see the flame under high load condition. Combustion images are shown in Figure 17 in all injection systems with injection timing of IVC. Firstly, let us notice that the flame propagation depends on injection system and timing much less under high load condition than low load. Therefore, we will focus on the luminous emission.

Small luminous emissions are observed among all systems. These luminous emissions are observed in most of cycles in all tested injection systems with all injection timing. The size of the luminous emissions is similar to that seen under low load condition. Figure 18 shows the comparison of the flame image with injection timing of IVO+40. The number of the luminous points is smaller in System 4 than System 2.

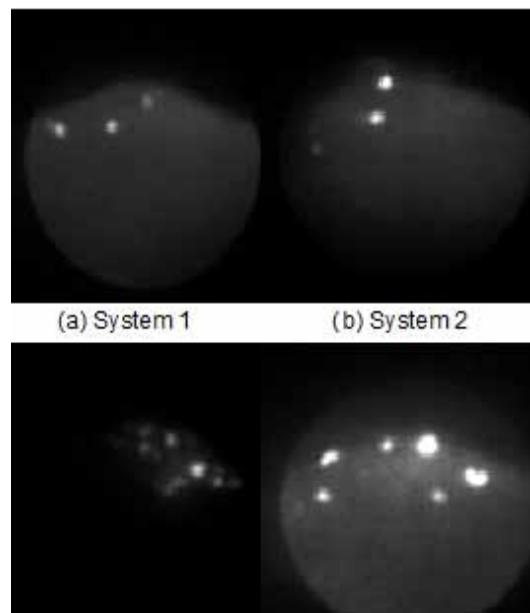


Figure 17 Images of flame at 32.4 deg aTDC under wide open throttle with injection timing of IVC.

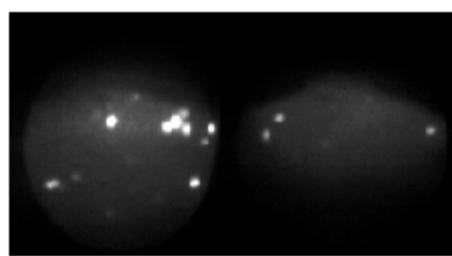


Figure 18 Images of flame at 32.4 deg aTDC under

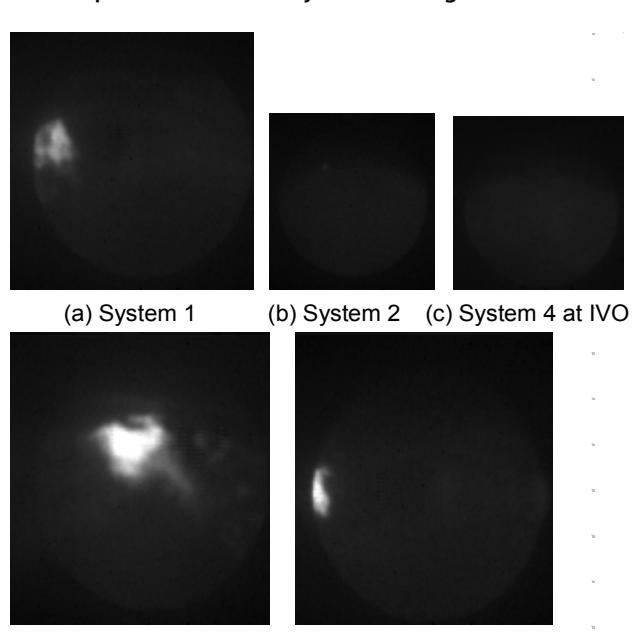


Figure 19 Flame images at 100.8 deg aTDC under wide open loop conditions of FIM5 (a)-(c) and FIM6 (d)-(e).



Next, shown in Figure 19 are images in combustion chamber in all injection systems with injection timing of IVC, extracted at 100.8 deg aTDC. The bulky luminous emissions are still observed after heat release. This is found usually with injection timing of IVC. This is never found with injection timing of IVO (Figure 19 (c)), except in System 3 in which it is observed with all injection timings at all cycles. It is rarely observed in System 2, once every ten cycle. They are observed at intake (left) side at System 1 and 4 at IVC timing (Figure 19 (a), (e)), and center at System 3. The luminous emission area in System 3 is bigger than in other injection systems.

## DROPLET BEHAVIOR AND MIXTURE DISTRIBUTION IN INTAKE PORT

### Effect of injection system with IVC injection under low load condition

Behavior of fuel droplets is investigated in this paragraph using the visualization of intake port. Shown in Figure 20 is comparison of droplets near intake valve in different injection systems with the same injection timing of IVC. The field of view of these images is same in Figure 5. The timing extracting an image from the movie is when droplets start to be observed inside field of view. It was at IVC in System 2, whereas 40 CA after IVC in System 1 and 4, 15 CA after IVC in System 3.

Fuel droplets can be seen as white spots in the image. Difference between the images is due to the injection system, considering that the amount of injected fuel is almost the same among all specifications except System 3, which has twice as other cases.

Firstly, the size of fuel droplets is big in System 2 and System 3, while very small in System 4. Secondly, the number of the fuel droplets is the biggest in System 3, bigger in System 2. These facts can easily be explained by the layout of injection and SMD. Injection target area of System 2 and 3 allow fuel droplets to reach directly toward the area near the intake valve. In System 3, all fuel is supplied into one side of the intake port. Fewer and smaller droplets found in System 1 support an assumption that the most part of the spray sticks on the

wall as wall film, and the number of the droplets, made by rebound or splash of the spray at the wall, is small. Considering still much fewer and smaller droplets in System 4, enhancement of evaporation and suppression of rebound or splash of the spray are caused by smaller SMD.

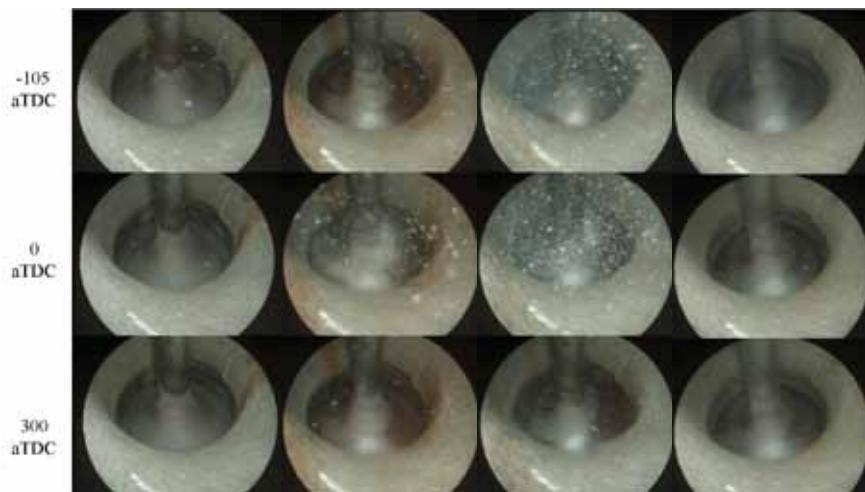
Shown in Figure 21 is behavior of droplets near the intake valve in all injection systems with injection timing of IVC. It is seen that these droplets finally disappear before IVO among all systems under this condition.

Shown in Figure 22 is comparison of droplets near bifurcation of the intake port in all injection systems with the same injection timing of IVC. The first timing extracting the image from the movie is when droplets start hitting on the wall or when droplets start to be seen inside frame. Other two images are after 20 degrees from the previous.

Impingement of the spray is observed at the lower right area in Figure 22 (a) and (j). According to Figure 22, the size of droplets in System 4 is the smallest out of all systems. The second smallest is in System 1. This infers that mixture in System 4 near zone of bifurcation is richer than that of System 1, considering smaller droplets tends to evaporate more easily.

### Effect of injection system with IVO injection under low load condition

Behavior of fuel droplets is compared with IVO injection in which condition CoV of NMEP shows significant difference by injection system. Shown in Figure 23 are images in all systems during intake valve open when droplets arrive near valve. As can be seen in this figure, many fuel droplets flow into the combustion chamber directly. The number of droplets near intake valve is in a row, System 3, System 2, System 1 and System 4. Droplets in System 1 and System 4 are much smaller than in System 2.



(a) System1 (b) System 2 (c) System 3 (d) System 4

Figure 21 Behavior of droplets near intake valve, IMEP; 400 kPa, injection timing of IVC.

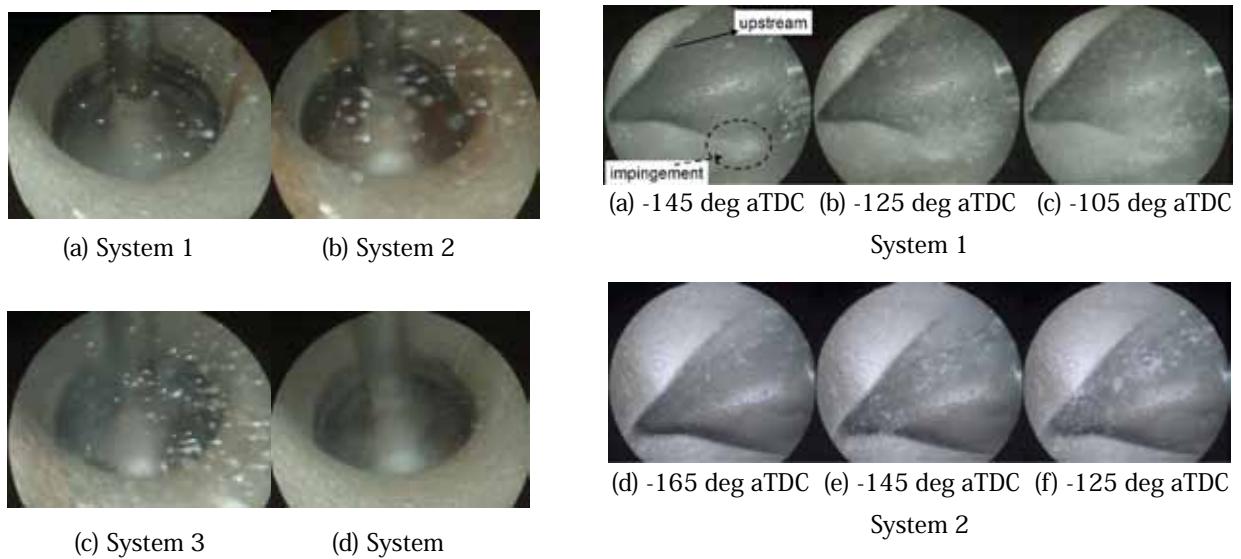


Figure 20 Spray arrival at intake valve, IMEP= 400 kPa, injection timing at IVC. Timing extracted is (a) and (d): 40 deg after IVC, (b): at IVC, (c): at 15deg. after IVC.

#### Fuel droplets under wide open throttle condition

This paragraph describes the behavior of fuel droplets among systems under wide open throttle condition and compares with the results under low load condition.

Shown in Figure 24 is the comparison of images inside the intake port just before intake valve open with injection timing of IVC in all injection systems. Many fuel droplets stay even just before intake valve open with all injection systems. This is different from the result under low load in which fuel droplets almost evaporate fully at

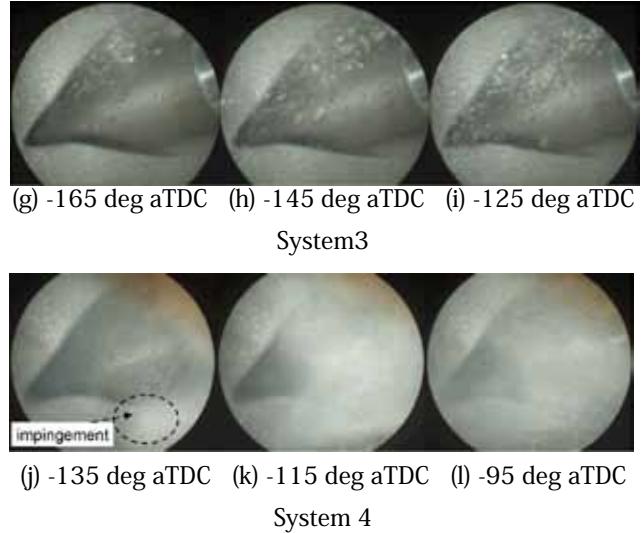
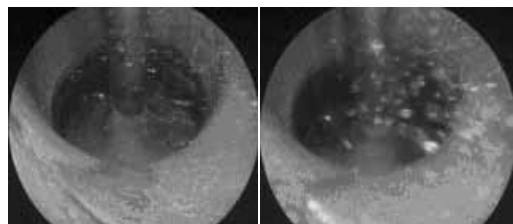
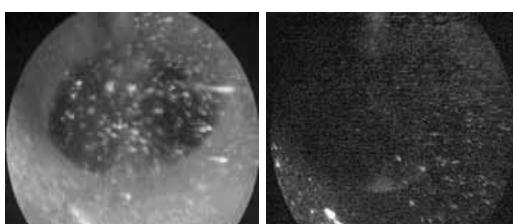


Figure 22 Spray behavior near bifurcation area in the intake port. IMEP; 400 kPa, injection timing of IVC.



(a) System 1

(b) System 2



(c) System 3

(d) System

**Figure 23** Droplet behavior with injection timing of IVO, IMEP; 400 kPa

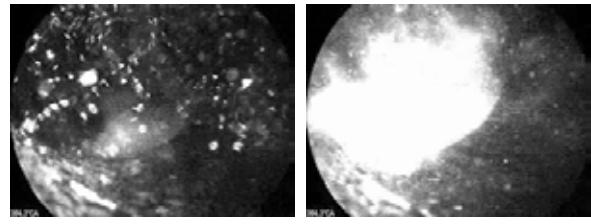
the same timing with the same injection timing of IVC. This is because more amount of fuel is injected under wide open throttle condition than low load. The size of fuel droplets in System 4 is smaller than that of System 1 as expected. In System 2 and 3, the bright white area is seen instead of small particles in the other cases. This can be regarded as many droplets stayed near the valve. The bright area is larger in System 3 than in System 2, because the amount of fuel in System 3 is larger. These droplets hang over near valve till valve open with all injection timings in all injection systems.

#### Wall film under wide open throttle condition

This paragraph describes the behavior of wall film under wide open throttle.

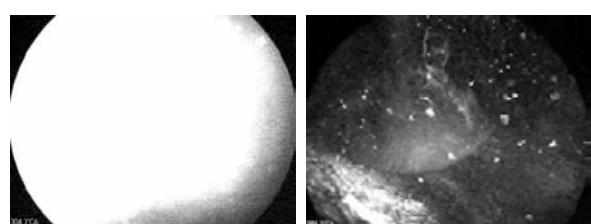
Figure 25 shows development of the wall film at every ten cycle after start of injection at a fixed crank angle. Certain amount of wall film exists with all injection systems, while it is rarely seen under low load. This wall film finally flows directly into combustion chamber in all systems.

The wall film is found usually at lower side of the intake port. In System 3, however, it is found also on the intake valve. Shown in Figure 26 are images in System



(a) System 1

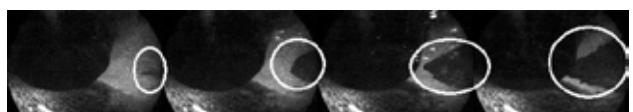
(b) System 2



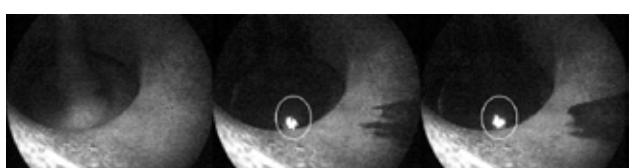
(c) System 3

(d) System

**Figure 24** Spray images of view inside intake port at timing just before intake valve open with injection timing of IVC.



**Figure 25** Wall film developments under wide open throttle at every 10 cycle with injection timing of IVO in System 2.



**Figure 26** Wall film at intake valve under wide open throttle at every 2 cycle in System 3 at IVC. Circle: Flush light is visible in these images because of large wall film.

3 including the intake valve. The fact that a part of the valve circled in the figure shines confirms existence of wall film on the intake valve. This corresponds to the spray image in Figure 24 (c): intake port is fulfilled with spray in this case. On the other hand, wall film on the intake valve cannot be seen in System 2 as clearly as System 3 even with the same injection direction. It is because the amount of fuel supplied one side port in System 2 is the half of System 3. The wall film on the valve appeared only two cycles after injection starts both in System 3. It takes more cycles, and part of the intake valve is kept dry in System 1 and 4.

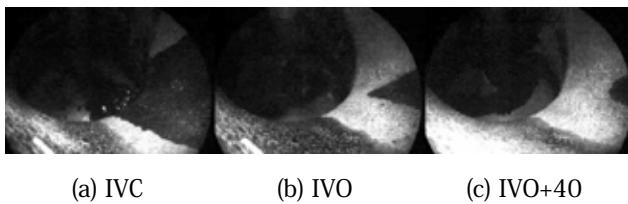


Figure 27 Effect of injection timing on wall film in System 4.

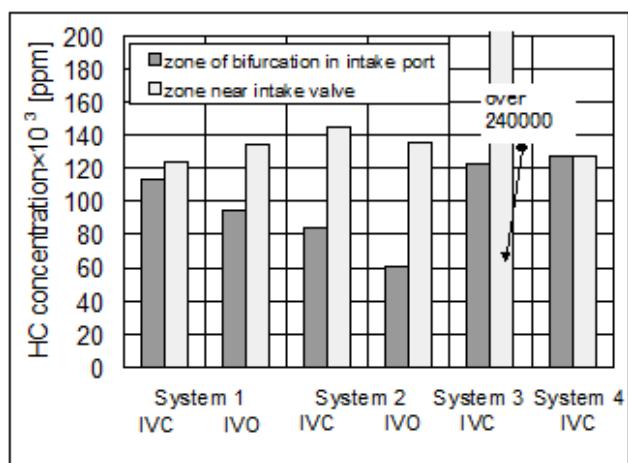


Figure 28 Hydrocarbon concentration, IMEP; 400 kPa.

With regards to wall film amount, it is difficult to estimate only by the images under steady operation. An index, instead, how fast the wall film moves, is used to evaluate the amount quantitatively. We define the number of cycles as the index between the cycle when the wall film on the lower side of intake port first appears inside view and the cycle when it finally reaches the valve.

The result is that the index is the same in System 1 and 4 with IVC, while it is eight times smaller than that of System 2 with IVC, and is three times smaller than that of System 3 with IVC. It is inferred that amount of wall film is the same level in System 1 and 4, while less in System 3, and much less in System 2. This is reasonable result considering the injection direction, while somewhat surprising that System 4, injection with smaller SMD, shows almost the same behavior as System 1. This indicates importance of the injection target even with small SMD.

The effect of injection timing is shown in Figure 27. These images show development of wall film at the

different crank angle at the same cycle after start of injection in System 4. Images are extracted at different crank angle for each injection timing in order to show the image without spray. The area of wall film corresponds to amount of wall film. The wall film at lower wall is large in a row according to IVC, IVO, IVO+40. This order was common for all tested systems.

Summarizing these facts, wall films under wide open throttle condition existed with all tested injection systems. The amount of wall films along lower wall was large with injection direction to the wall and injection timing of IVC. The amount of wall films on intake valve was the largest in System 3.

#### Fuel concentration distribution in the intake port under low load condition

The distribution of mixture inside intake port is investigated under low load condition in this paragraph.

Shown in Figure 28 is hydrocarbon concentration at two zones, which is near the intake valve and near the bifurcation in the intake port, close to the injection target area of System 1 and 4. Hydrocarbon concentration near intake valve is too high (above 240 000 ppm) to measure in System 3.

Hydrocarbon concentration near intake valve is higher than the other zone except System 4. The difference between two zones is the biggest in System 2. This is well related to the fact that more and larger droplets is seen in System 2, as shown in Figure 20 Spray arrival at intake valve, IMEP= 400 kPa, injection timing at IVC. Timing extracted is (a) and (d): 40 deg after IVC, (b): at IVC, (c): at 15deg. after IVC.20 and Figure 23. System 1 and 4, however, show only small difference between two zones. Hydrocarbon concentration at bifurcation in System 4 is higher than that of System 1 in Figure 28. These results are brought from better-atomized droplets as shown in Figure 22 (j)-(l).



## 4

## DISCUSSION

**EFFECT OF INJECTION TIMING ON COMBUSTION STABILITY UNDER LOW LOAD CONDITION**

In this section, we are trying to explain how the combustion stability under low load condition is determined based on the results shown in the previous section. Generally, combustion stability is related to conditions such as instability of flame kernel growth, inhomogeneous mixture by poor mixing or incomplete evaporation, residual gas fraction and its distribution, and flow field in the cylinder. Among them, effect of residual gas and flow field can be excluded in this study, because influence of spray on it is small.

CoV of NMEP under low load condition was:

- very low and little affected by injection system with injection timing of IVC.
- sensitive to injection timing with injection targeting valve.
- high with long MFB10-90 % duration, but less related to MFB 0-10 duration.
- related with low specific emission of NOx and large specific emission of total hydrocarbon.

Firstly, let us see the relation between the flame size with constant period after ignition and CoV of NMEP. Injection with timing of IVC gives almost same CoV of NMEP regardless of injection system, and the flame shows only small difference by injection system. Even though the flame is influenced by pressure, COV of NMEP is almost same in injection system with spray targeting wall. On the other hand, in injection system with spray targeting valve, the difference of the flame is much larger than in spray targeting wall: conditions with injection timing of IVO and IVO+40 shows slow expansion of flame followed by luminous emission, and COV of NMEP is higher than

the case with injection timing of IVC.

As for injection timing, luminous emission in the flame with injection timing of IVO+40 tend to continue longest, and that of IVO is the next, and that of IVC does not continue long. Considering that the large block of emissions which survives long seems to suppress flame propagation, these facts result in a good explanation of combustion instability of this condition.

Secondly, let us see the relation between the spray image in the intake port and the facts discussed above. Injection with timing of IVO and IVO+40 targeting one side of the intake port and timing of IVO+40 targeting both ports shows higher CoV of NMEP than 10%. Many large droplets have been seen at the timing of arrival at intake valve open and even at the timing of full lift of the intake valve in these conditions. These results imply that direct induction of large droplets into combustion chamber relates to combustion instability. Large droplets are hardly ever seen under other conditions when CoV of NMEP is below 10 %, however, injection with timing of IVO with spray targeting both ports shows large droplets near valves in spite of below 10 % of CoV of NMEP. This means combustion instability is not necessarily caused by direct introduction of large droplets into the combustion chamber.

Difference of mixture distribution in the intake port is well related to the droplet behavior. For example, plenty of fuel droplets reach area near the intake valve with spray targeting valve, and mixture near intake valve is richer than at upstream. This can cause the greatest inhomogeneity of mixture in the intake port. With spray targeting wall, smaller and fewer droplets near the intake valve has been seen and mixture near the intake valve is leaner than with spray targeting valve.

Combustion stability is worse when difference of hydrocarbon concentration between zone near intake valve and zone of bifurcation in the intake port is large, in case with spray targeting both valves at IVO timing.



Combining all these results together, derived conclusion is that one of the most important reasons of combustion instability is inhomogeneous mixture. This conclusion is also supported by CFD results that very rich region which cause luminous emission has been found at the exhaust side in the combustion chamber with spray targeting valves with injection timing of IVO [9]. Direct induction of larger droplets into combustion chamber is one of the important reasons to make mixture inhomogeneous. But other factors, such as mixture homogeneity in the intake port, must be considered.

Large CoV of NMEP because of inhomogeneous mixture based on injection timing and injection systems makes specific emission of total hydrocarbon high. For instance, these conditions are under at IVO and IVO+40 injection timings in System 3 and at IVO+40 in System 2. In the same way, long combustion duration (MFB 10-90 %) makes specific emission of NOx low.

Let us notice that the homogeneity of the mixture in the combustion chamber depends on not only the distribution in the intake port and direct induction of the droplets, but also gas velocity and turbulent field in the combustion chamber. CFD analysis gives quantitative information combining all of the factors above, as far as the physical models included in the code work well enough. Diagnostics may not give us quantitative information, while overall phenomena can be grasped with less supposition than in CFD. In short, both of them are necessary for efficient development of modern IC engines.

## LUMINOUS EMISSION UNDER WIDE OPEN THROTTLE CONDITION

This section indicates the relation between luminous emission in combustion chamber and fuel droplets and wall film in intake port under wide open throttle condition.

As for influence on injection systems, no bulky luminous emission exists with spray targeting both valves, when wall film is smaller. On the other hand, in case with

plenty of wall film at lower wall of intake port with spray targeting wall, bulky luminous emissions have been found below intake valve. And in case with plenty of wall film on the intake valve with spray targeting one side of the intake port, bulky luminous emissions have been found around center of cylinder.

As for influence on injection timing, bulky luminous emissions have been found in all injection systems except with spray targeting valve, in case with plenty of wall films at lower wall of intake port with IVC. They have not been found below intake valve with other injection timings, and the wall film is small in these cases. In case with plenty of wall film on the intake valve, they have been found only with spray targeting one side of the intake port. They have been found with all injection timings in this injection system.

Considering these relations, we can conclude bulky luminous emissions found under wide open throttle condition occurred in very rich region made by direct induction of wall film into combustion chamber. The fact that they survived after heat release in some cases implies that the wall film makes not only transient behavior slow, but also the efficiency low. Therefore, the generation of wall film must be minimized from both point of view.

## POSSIBILITY OF WELL ATOMIZED INJECTOR

Finally, we would like to discuss possibility of highly atomized spray to improve both combustion stability and transient behavior within our results. Starting from the wall film generation, injection timing is very important: judging from the occurrence of luminous emission in the flame under wide open throttle, injection timing of IVC must be prevented. With injection timing of IVO, the number of the luminous points in flame images is smaller with smaller SMD. This indicates advantage of injection with small SMD: more homogeneous mixture has been formed even with direct induction into combustion chamber. The combustion stability with injection timing of IVO was kept as the same level as with injection timing of IVC under low load. Combining these results, we can



conclude this system has great potential to improve combustion stability and fuel efficiency by operating engine under stoichiometry without sacrifice of transient behavior. Let us reconfirm that the injection direction is not optimized in our test: injection target is the wall. We think there must be better layout of injector, as well as the properties of the injector itself, such as spray angle. More extensive work to prove it is necessary to realize it into market.

## 5

## SUMMARY AND CONCLUSIONS

Relation of mixture formation to combustion in spark ignition engine for motorcycle has been investigated by visualization of initial flame, wall film, fuel droplets and fuel distribution in the intake port. We have obtained conclusions as below:

- Combustion stability and combustion duration under low load condition are greatly influenced by mixture inhomogeneity in the combustion chamber.
- Mixture inhomogeneity makes high specific emission of total hydrocarbon and low specific emission of NOx.
- Mixture inhomogeneity is due to direct induction of considerable amount of liquid fuel with large size into combustion chamber and mixture inhomogeneity in the intake port.
- Combustion stability under low load condition is not influenced even with direct induction of fuel droplets into combustion chamber if they are not too many and well atomized, such as the case of System 1 and 4 with injection timing of IVO and IVO+40.
- A large quantity of fuel droplets inducted directly into combustion chamber cause luminous emission during combustion.
- Wall film is generated on the intake port wall under

wide open throttle condition. Injection timing of IVC results in the largest in all tested injection systems.

- Wall film flowing directly into combustion chamber under wide open throttle causes bulky luminous emission in the flame. The area it is found depends on injection direction as below:
  - Below intake valve with spray targeting wall.
  - Around center of cylinder with spray targeting one side valve.
- Spray with small SMD of  $30 \mu\text{m}$  has shown great potential to attain both good combustion stability under low load and good response due to small wall film with injection timing IVO.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would deeply thank Tsuneo Hayashi, Yoshihito Ito, Hideki Ooishi and all colleagues who contributed to this research.

## REFERENCES

- [1] Wataru Ishii, et al., "Application of Air-Fuel Mixture Injection to Lean-Burn Engines for Small Motorcycles", SAE 2004-32-0052 (2004).
- [2] Yoshitaka Nagai, Katsumi Suzuki, Takanori Tamura, Wataru Ishii, Hiroyuki Tsuzuku, "Improving the Fuel Consumption of Small Motorcycle Engine with YMJET-FI", SAE2009-32-0049 / JSME20097049.
- [3] Kazuo Fujihara, Yamato Nakamizo, Mitsuru Kojima, and Teruhide Yamanishi, "Development of an NOx Reduction System Using Exhaust Valve Controls in Small Engines for Motorcycles", SAE2009-32-0043 / JSME20097043.
- [4] Satoshi IJIMA, Ryo KUBOTA, and Kazunori KIKUCHI, "Development of Technologies for Improving Fuel Economy of Small Motorcycle Engines", 2009-32-0083/20097083
- [5] G.Wang, C. Arcoumanis, M. Iida and Y. Motoyama, "Characterisation of the Wall Fuel Film Development in a



Simulated Engine Intake Port", The Seventh International Conference on Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems (2008), pp.461-467.

[6] M. Iida, K. Yoshikawa and H. Tanaka, G. Wang, C. Arcoumanis, "Fuel Film Behavior Analysis Using Simulated Intake Port", SAE International Journal of Engines March 2010 vol. 2 No.2, pp. 756-763.

[7] Y. Moriyoshi and M. Iida, "Analysis of Port Injected Fuel Spray Under Cross Wind Using 2-D Measurement Techniques", SAE International Journal of Fuel and Lubricants December 2010 vol. 3 No.2, pp.1081-1092.

[8] Toshiro Kiura, Timothy A. Shedd and Benjamin C. Blaser, "Investigation of Spray Evaporation and Numerical Model Applied for Fuel-injection Small Engines", SAE Paper 2008-32-0064 (2008)

[9] S. Kato, T. Hayashida and M. Iida, "The Influence of Port Injection on Combustion of a Small Displacement Engine for Motorcycle", SAE2007-32-0009, 2007.

[10] G. M. Bianchi, F. Brusiani, L. Postrioti, C. N. Grimaldi, M. Marcacci, and L. Carmignani, "CFD Analysis of Injection Timing and Injector Geometry Influences on Mixture Preparation at Idle in a PFI Motorcycle Engine", SAE paper 2007-24-0041

[11] H. Ma, S. marshal, R. Stevens and R. Stone, "Full-bore crank-angle resolved imaging of combustion in four-stroke gasoline direct injection engine", JAUTO542 IMEchE 2007 vol. 221, pp1305-1320.

[12] K. Han, A. Velji and U. Spicher, "A New Approach for Three-Dimensional High-Speed Combustion Diagnostics in Internal Combustion Engines", SAE2006-01-3315.

MFB: Mass Friction Burned

SMD: Sauter Mean Diameter



湯本 美樹

Miki Yumoto

技術本部

研究開発統括部

パワートレイン研究部



後藤 一廣

Kazuhiro Goto

技術本部

研究開発統括部

パワートレイン研究部



加藤 昇一

Shouichi Kato

技術本部

研究開発統括部

パワートレイン研究部



飯田 実

Minoru Iida

技術本部

研究開発統括部

パワートレイン研究部

## ABBREVIATIONS

AFR: Air Fuel Ratio

CA: Crank Angle

CFD: Computational fluid dynamics

CoV: Coefficient of Variation

FID: Flame Ionization Detector

IMEP: Indicated Mean Effective Pressure

IVC: Intake Valve Close

IVO: Intake Valve Open

NMEP: Net Mean Effective Pressure

NOx: Nitrogen Oxide

MBT: Minimum spark advance for Best Torque



# 技術論文

## チタンとステンレスの異材接合工法研究と生産への導入

Research for a dissimilar-material fastening method for joining titanium and stainless steel and its deployment in manufacturing

中島智之 新間敬也 塩野由紀



図1 弊社オートバイ、チタンマフラー

### 要旨

近年、自動車業界では、メカニカルクリンチ工法が研究活用されている。今回、弊社ではオートバイマフラーの軽量化とコストダウンの両立を狙い、チタンとステンレスの異材接合に取り組んだ。

本開発では、実験、解析を通して、加工の基本的性質を把握し、バラツキ影響を吸収する工程能力の高い工程設計を導入した。また、評価方法は、独自の開発により信頼性を高めている。

その結果、現在1万台以上を生産し、加工不良0を継続している。また、コストは、マフラーパーテーション部品の37%を低減している。

### Abstract

In the automotive industry in recent years, considerable research has been done on the mechanical fastening method known as clinching and its application in the manufacturing process. Here, we report on a dissimilar-material clinching method for joining titanium and stainless steel developed and implemented by Yamaha Motor to reduce both the weight and cost of motorcycle mufflers.

In this development project, testing and analysis led to a solid understanding of the basic properties of the clinching process and we implemented a process design with a high capacity to absorb the effects of material deviations. We also developed an exclusive method for evaluating the quality of the mechanical clinch that has increased reliability. As a result, this process has been used to manufacture more than 10,000 units to date with a process defect rate of zero. Furthermore, this method has reduced the cost of muffler partition parts by 37%.

### 1 はじめに

近年、自動車業界では、軽量化と剛性を両立させるために、アルミと鉄の異材接合が求められ、メカニカルクリンチ工法が研究活用されている。一方で、弊社ではオートバイマフラーの軽量化とコストダウンの両立に取り組んでいる。オートバイマフラーには、消音、排ガス浄化、エンジン性能はもとより軽量化やデザイン性が求められている。特にスーパースポーツモデル

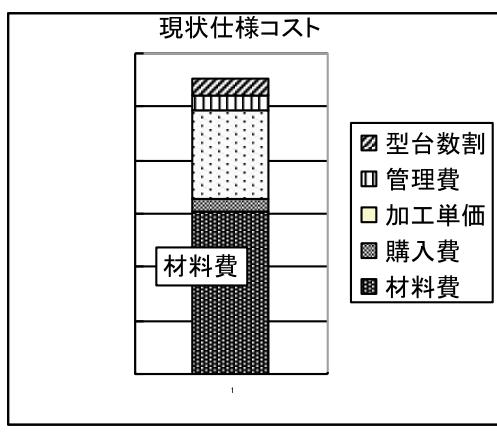
の場合、軽量化のためマフラーの構成部品にチタン材(密度が鉄の2/3)が多く使用されている(図1)。しかしチタン材は高額で、SUS304に比べ7倍にも相当する。軽量化とコストの両立の観点から、チタン材を適所に使用するのが理想であるが、異種金属の組合せでは溶接できないため、それに代わる接合工法が求められる。そこで、本開発ではメカニカルクリンチ工法について研究し、知見の少ないチタンとステンレスの異材接合条件を作りこんだ。また、工程能力の高い生産工程の設



定と、信頼性を高めた独自の評価方法開発で生産導入し、マフラー部品の37%のコストダウンを達成したので報告する。

## 2 従来の問題点

弊社のハイグレードモデルでは、チタンが多用され、マフラー原価の50%以上を材料費が占めている(図2)。モデルチェンジに当たり、軽量化とコストのバランスを見直し、部分的にステンレスに材料置換する検討を実施した。



材料費50%以上  
図2 マフラーコスト

従来のチタンマフラーは、プレス成形した部品をTIG溶接、スポット溶接、リベット等で接合している。チタンとステンレスの異材接合の場合、TIG溶接やスポット溶接では、接合部に脆い金属間化合物ができるため接合されず、リベットでは貫通穴が開くために気密性が問題になる。そのため新たな接合工法の開発が必要になった。

## 3 異材接合工法の検討

### 3-1. 新しい工法の開発(メカニカルクリンチの検討)

メカニカルクリンチ工法とは、まず2枚の板を重ね合わせて型の上に置き、それをポンチで板鍛造のように押潰してカシメ接合する工法である(図3-1、図3-2)。これは一般的にALや鉄のような軟らかく、延性のある材料に用いられる工法で、4輪のALポンネット、ALパネル、家電のパネル等に用いられる工法である。今回のチタンでの適用例は、ツールメーカーでも殆ど知見が乏しく、また、マフラーのように高熱が直接かかる部品への適用も知見が無いため、基礎条件の調査から進めた。

### 3-2. 対象部品の選定

対象部品の選定に当たっては、マイナーチェンジに織込んで



図3-1 メカニカルクリンチ



図3-2 メカニカルクリンチ断面

で、短期間に少ない型投資で、大きなコストダウン効果が得られる部品を狙った。

マフラー内部には消音、断熱のためにグラスウールを巻いたパンチング板の内筒がある。これをマフラー本体に固定するプレート部品は、要求強度が低く短期間の開発に適している(図4)。また、このプレート部品は、2本出しマフラーの前後端に2枚使うため、

1部品の型投資で、4箇所の材料置換(チタンからステンレス)が可能となり、大きなコストダウン効果が得られる。これらの理由から、このプレートを材料置換の対象部品とした。

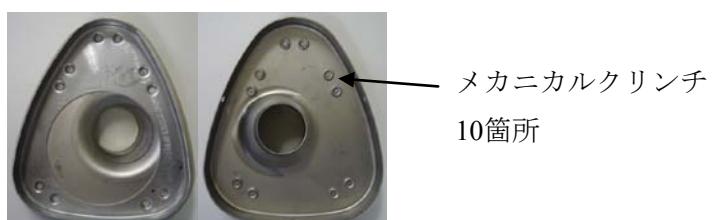


図4 プレートアセンブリ

## 4 製品成立性の確認

### 4-1. 製品としての成立性

異材を接合する本工法がマフラーとして成立するためには、熱膨張による影響と電食の懸念について把握し、適切な対応が必要となる。そこで、それぞれの課題について調査を行った。

## 4-1-1. 熱膨張に対して

500°Cにもなるマフラー内部では熱膨張の差が問題になる。そこで、熱膨張差を抑制するためには、置換する材質は、熱膨張係数がチタンに近い材料を選定するのが望ましい。塑性加工上では、加工性が良いのはオーステナイト系ステンレスのSUS304だが、熱膨張差を考慮し、フェライト系ステンレスのSUS436Lを選定した(図5)。

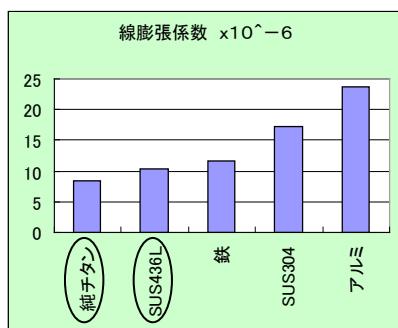


図5 熱膨張係数

さらに、熱膨張のわずかに大きいSUS436Lを内側にして、加熱されるとカシメが締まる方向に設定した。この状態で実際にヒートサイクル試験(500°Cに急加熱、常温まで急冷却を200サイクル繰返し負荷の後、引張試験)を行い、加熱後に接合強度の低下が無いことおよび接合の必要強度を満たしていることが確認できた(図6)。

## 4-1-2. 凝縮水による電食に対して

マフラー内では排気ガスが冷却されて凝縮水が発生する。これが内部に滞留し、異材接合部分が浸かると、電食発生の懸念があり、確認が必要である。ステンレス、チタンはともに不働態膜があるため電食されないはずであるが、実際にテストを行い調査した。500°Cで10時間加熱後に、72時間の塩水噴霧試験を行い、接合面を観察し、電食が無いことが確認できた(図7)。さらに引張試験を行い、強度変化を調査し、必要強度を満たしていることを確認した(図8)。熱膨張影響と電食のテ

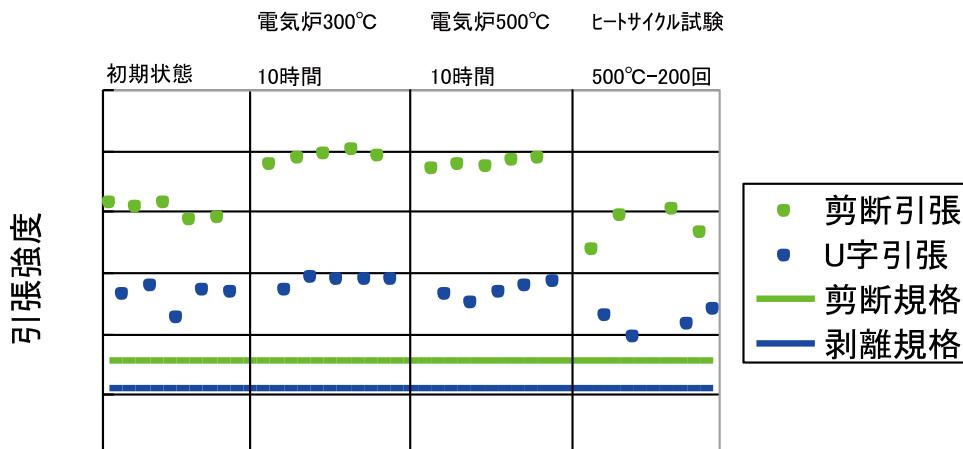
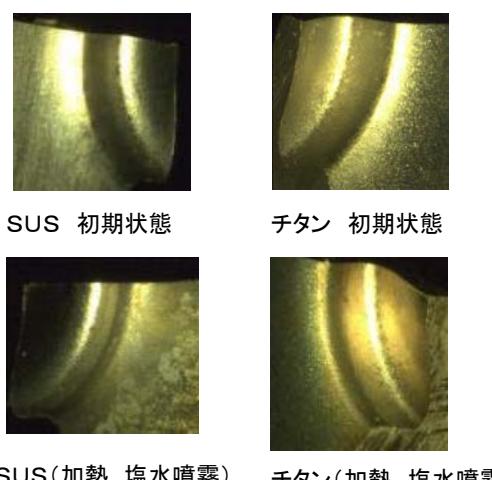


図6 ヒートサイクル試験後の引張強度測定



SUS(加熱、塩水噴霧) チタン(加熱、塩水噴霧)

図7 加熱、塩水噴霧試験結果

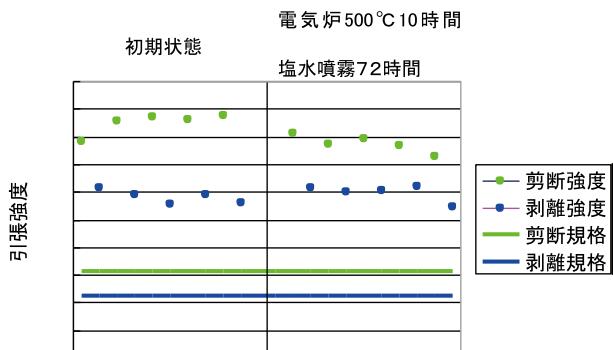


図8 加熱、塩水噴霧後、引張試験結果

ストの結果、マフラーとして使用できることが分かった。

## 5 工法の研究

### 5-1. 基本的なメカニズムの調査

メカニカルクリンチの良品条件を設定するためにまず基本的なメカニズムを調査した。重なった板は型の中に絞られて、やがて底突きして斜め下の溝に外板の肉が流れて行く。中央の板厚が圧縮されると、横に広がり張出を形成する(図9)。

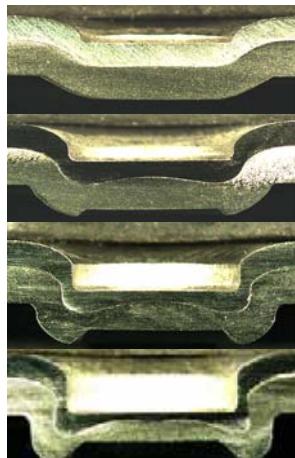


図9 加工の過程

張出が形成される部分をシミュレーション解析すると、ポンチ型に押し潰された肉が斜め下の溝に向かって流れていることが分かる(図10)。

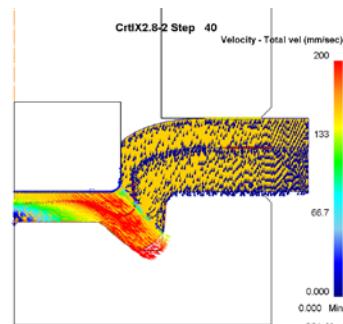


図10 材料流れの解析

#### 5-1-1. 強度の規格設定

従来のスポット溶接強度を基準に、製品の接合部でそれ以上の強度を保証する必要がある。また接合強度は、板を垂直方向に剥がす力①「剥離強度」と板を水平方向に剪断する力②「剪断強度」の2方向の強度で判定する(図11)。材料のオーバーハング量が③「張出」で剥離の荷重を受ける。縦壁の厚さが④「ネック厚さ」で剪断の荷重を受ける。押し潰された中央の板厚を⑤「コントロールX」と呼ぶ。

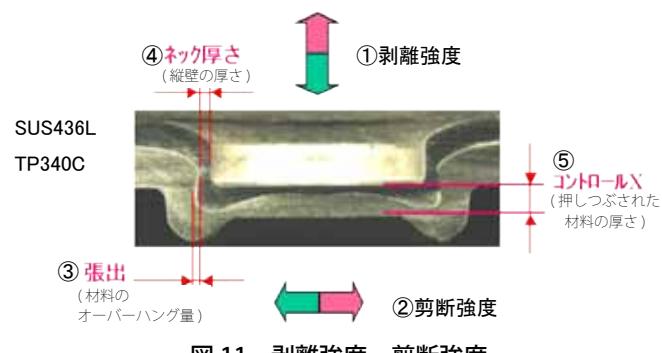


図11 剥離強度、剪断強度

#### 5-1-2. 剥離強度

メカニカルクリンチの①～⑤の関係を数値で確認した。中央の板厚を押し潰していくと、ある所から張出が形成され始め、リニアに成長する。この時、剥離強度は張出にはほぼ比例して上昇し、やがて頭打ちする(図12)。

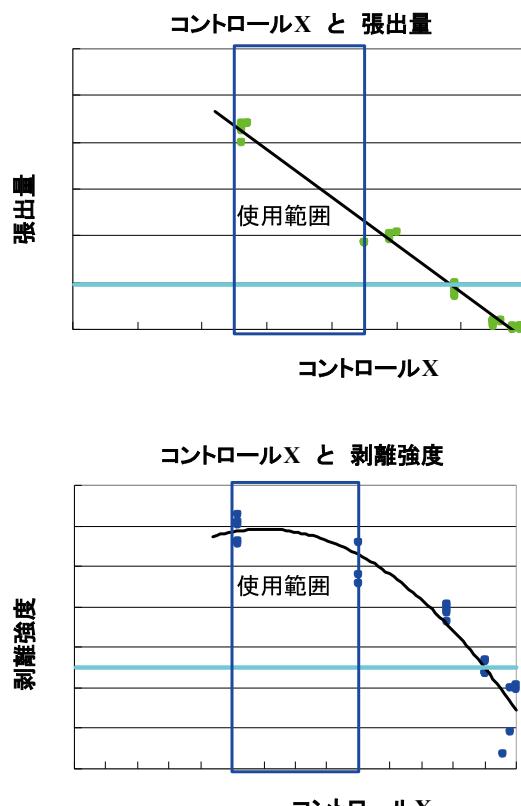


図12 コントロールXと張出、及び剥離強度の相関

#### 5-1-3. 剪断強度

中央の板厚の押し潰しに関係無く、ネック厚さはほぼ一定になり、剪断強度はネック厚さと関係し、同様にその間一定になる。このような基礎データが取れた(図13)。

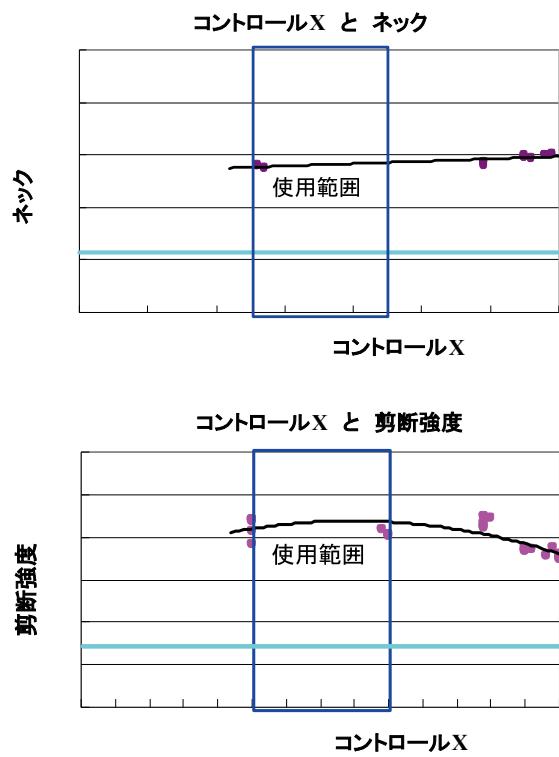


図 13 コントロール X とネック厚さ、剪断強度

## 5-2. 生産工程の設定

実際の生産では、材料、設備、金型、人など各項目でバラツキがあるが、その中で強度に影響する3点と、工程能力に影響する1点について調査した。

### 5-2-1. ①素材板厚バラツキの影響

素材の板厚は±5%の公差でメーカーから納入される。板厚を潰して接合する工法のため、板厚のバラツキは、接合強度に大きく影響すると推察できるが、メーカーにチタンのデータが無く、公差内でバラついた状態を自ら解析した。その結果、張出に影響が出る事が確認できた(図14)。

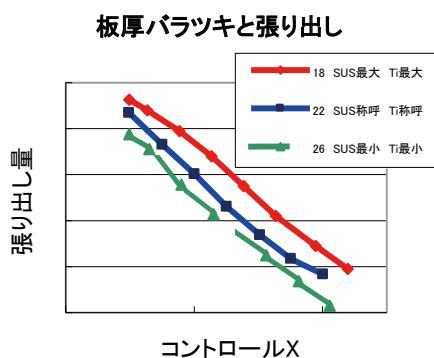


図 14 板厚バラツキと張り出しの相関解析

### 5-2-2. ②合わせ面内の油の影響

素材と金型の間には、油が必要な工法であることは知られているが、素材間にその油が入った場合の影響は不明であった。作業手順や作業環境から、素材間に油が入る事は充分考えられる。解析の結果、その影響は想定していた以上に、張出に大きく影響する事が分かった(図15)。

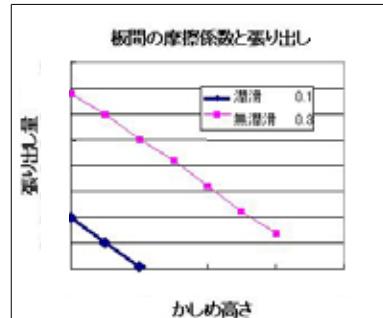


図 15 コントロール X とネック厚さ、剪断強度

### 5-2-3. ③ポンチ、ダイ磨耗の影響

また数多く生産する中では、ポンチ、ダイの磨耗で先端形状が変わり、張出が変化することも考えられる。チタンとステンレスの接合では知見が無いため、その耐久性が不明であり、型償却費の観点からも調査が必要である。

### 5-2-4. ④測定バラツキの影響

メカニカルクリンチの剥離強度の根拠となる断面形状の測定方法を検討した。従来は、加工部分を切断し、電子カメラ画面上で境界部を目視でクリックし、寸法を拾っていたため、測定誤差が0.05mm程度あった(図16-1)。またメカニカルクリ



図 16-1 目視でクリックする測定

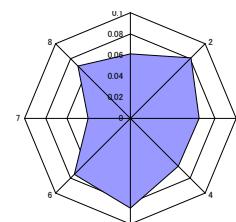


図 16-2 位相で異なる張出



ンチの張出量は360°の全周で均一では無く、切断面毎にバラツキを持っている(図16-2)。

ALや鉄のように軟らかく押し潰し量が多く取れる素材では、張出量が充分大きく測定誤差の影響は小さい。チタンとステンレスでは押し潰し量が少なく張出量が小さいため、測定誤差の影響が無視できず、対策する必要がある。

### 5-2-5. 一般的な生産工程

調査したバラツキの影響を考慮すると、以下の生産工程となる(図17)。



図 17 一般的な生産工程

全数板厚測定と全数脱脂拭き取り工程は、①板厚バラツキと②油付着影響を対策するために存在する。しかしこの2工程によりコストダウン効果が大幅に打ち消される。また、③ポンチ、ダイ磨耗の影響が有ると、予備のポンチ、ダイを持たねばならず、予備型費が発生する。これらのコスト要因を削減するために、工程能力を向上させる施策を検討した。

## 6 生産への導入

### 6-1. 工程削減: 工程能力向上への取り組み

メカニカルクリンチは基礎条件テストの通り、押せば押すほど剥離強度が高くなり、やがて頭打ちして安定する。しかし、ポンチにかかる加圧力が大きくなり破損する危険がある。ポンチの応力解析を行うと、先端内部とスミRに応力が集中していることが分かる(図18)。

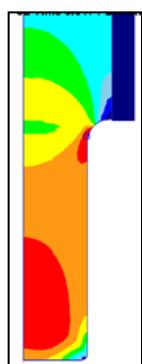


図 18 ポンチ先端の応力解析

そこでポンチが破損しない範囲で高荷重の領域を狙い、剥離強度の工程能力を高めるようにする。充分な張出を出させて強度の余裕を上げ、上記のバラツキを吸収するために、ポンチストロークと、ポンチ荷重の相関を解析した(図19)。

中央の板厚を押し潰すとポンチ荷重が上昇していく。溝に充满すると急に荷重が上昇して金型破損危険領域になるので、この前までが使用可能領域である。

メーカーの一般的なポンチ荷重の推奨値は70KNであるが、金型破損危険領域までには余裕があることが分かったため、そのまま鵜呑みにせず、点線枠の強度が高く安定する領域を使う事が可能であると考え、高負荷領域でのツール耐久性を実際にテストした。85KNの荷重で製品償却台数分の繰返し負荷試験を行い、ツールに破損、磨耗が無いことを確認できた(図20)。

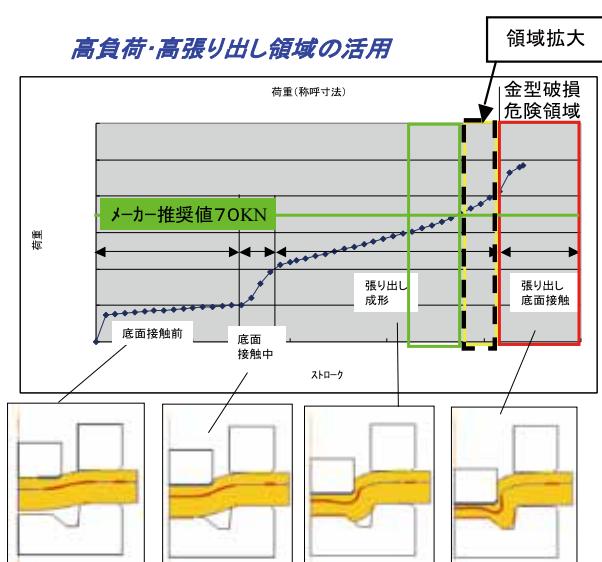


図 19 ストロークとポンチ荷重の関係解析



サーボパルサー85KN×償却台数分 破損、磨耗無し

図 20 負荷試験と結果

以上より高加重領域を使用することで工程能力が向上し、①板厚バラツキと②合わせ面油付着の影響による張出減少が吸収でき、全数板厚測定と全数拭き取り脱脂工程が不要になり、③破損磨耗の問題が無いことから予備型費も不要なこ

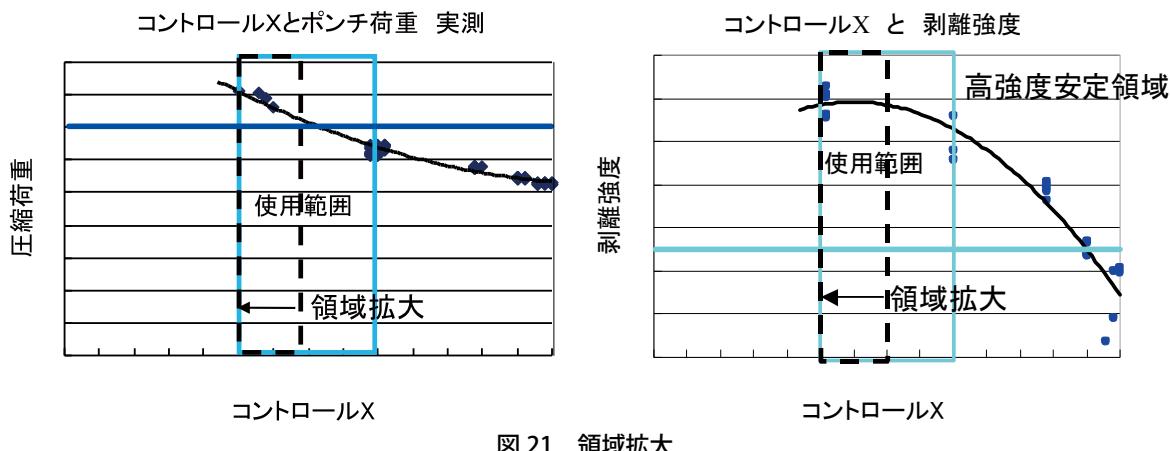


図 21 領域拡大

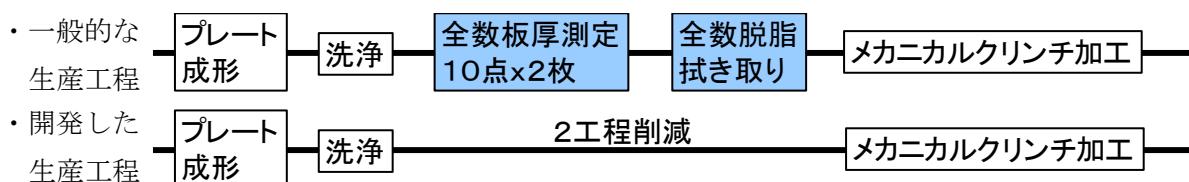


図 22 工程削減効果

とが分かった(図21)(図22)。

### 6-2-1. 接合品質評価方法、断面形状測定

④測定バラツキの影響を対策するため、高精度な測定方法としてCTでの断面測定を開発した。メカニカルクリンチ接合部の周囲をレーザーでくり抜き、専用治具に固定しCT撮影を行った後、境界部を自動測定する手順で行う。まず、CT測定で得られた3次元の内部形状データから、45°ずつの8断面を非切断で作成できるため、従来の2分割切断に比べ切断誤差が無く、データ量も4倍になる。また、開発した画像処理プログラムは目視ではなく、自動で境界線をピックおよび計測するため、測定誤差が少なく測定時間も短い(所要時間1/7)(図23-1)。

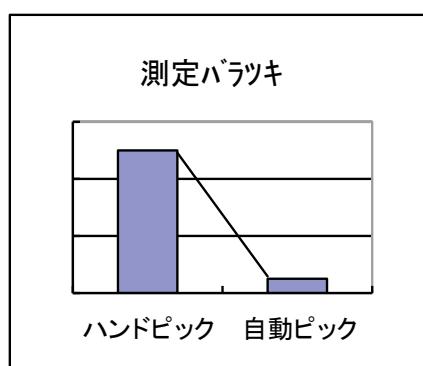


図 23-1 測定バラツキ

この自社開発した高精度な高速測定方式により、規格0.02 mm以上に対して約0.07 mmの張出を正確に判定できるようになった(図23-2)。

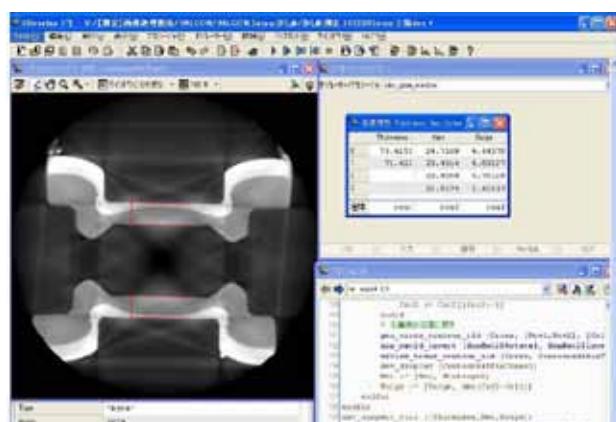


図 23-2 CT 画像処理、自動判定画面

開発時はCT断面測定で良品条件を設定し、工程能力を評価した。高い工程能力から生産はコントロールX管理で対応可能となった。しかしながら確認の意味を込めて試験片での破壊試験は併用している。破壊試験データは、今後の他部品展開に役立てたい。

### 6-2-2. 引張試験(接合部の剥離試験)

U字引張試験での測定バラツキを少なくするためには、試

試験片は専用治具、プレスを用いて正確に折曲げる必要がある。また、試験片が弾性変形領域Aで剥離する接合条件は強度バラツキが多く、塑性変形領域BになるまでコントロールXを追込み、接合強度を上げると接合強度が安定することも判明した(図24)。

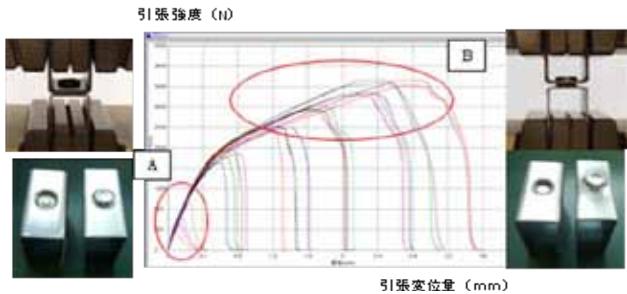


図 24 接合部の引張強度が安定する領域  
1 条件当たり  $n=4$



図 25 10 点同時打ち金型

### 6-3. 生産する設備及び型の仕様

設備投資抑制と生産性を考慮して、新たな専用装置の導入は行わず、既存のサーボプレスを使用し、従来のスポット溶接のように1点ずつではなく、ポンチを加工箇所分10点装着した金型を製作し、一度で加工できるようにした(図25)。

## 7 効果

以上を総合して生産移行確認のためN300打点の測定を行い、工程能力を最終確認した。コントロールX、張出は共に充分に高い工程能力をクリアした(図26)。

また、0次試作移行からの取り組みにもかかわらず、短期間に開発、生産移行でき、現在工程不良『0』で生産継続中である。コストダウン効果は、材料費の差額から型治具費用等を差し引いたものになり、予備ポンチ削減、10点同時加工の効果を含めて下記の結果となった(図27)。

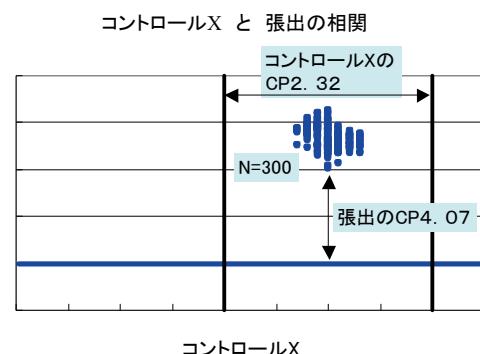


図 26 コントロールX と 張出の N300 分布

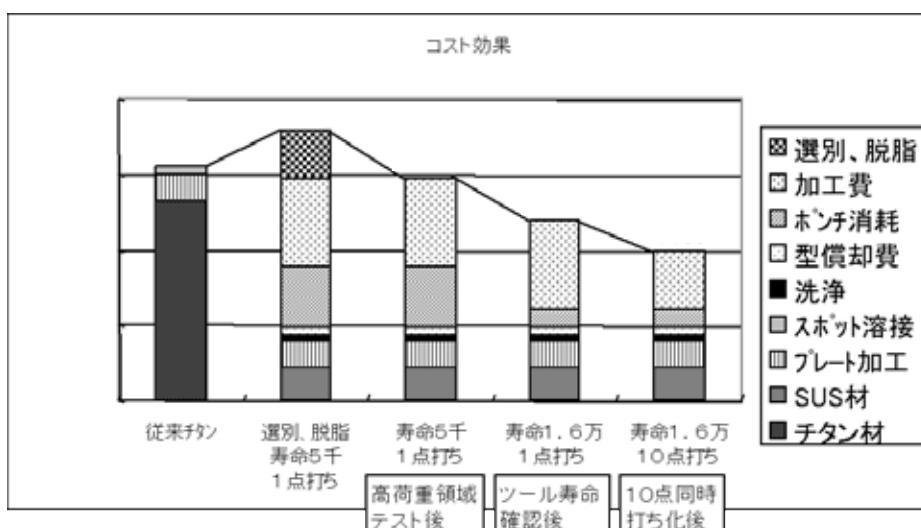


図 27 コスト効果



## 8 おわりに

メカニカルクリンチの基本的性質を把握し、生産課題をクリア、最適な評価方法を確立し、実際に生産へ導入できた。今後は素材置換えだけでなく、溶接困難なメッキ鋼板やアルミの接合改善、リベット接合箇所の軽量化とコストダウンを計画している。さらに、燃費要求からの軽量化のため、鉄とアルミの接合にも適用していきたい。

### ■著者



**中島 智之**  
Tomoyuki Nakajima  
技術本部  
生産技術統括部  
生産技術部



**新間 敬也**  
Yukiya Shinma  
技術本部  
生産技術統括部  
生産技術部



**塩野 由紀**  
Yuki Shiono  
技術本部  
生産技術統括部  
生産技術部



## ●編集後記

我々の生活を取り巻く工業製品は年々激しく変化している。四輪業界では、地球温暖化防止や環境問題への対応から、現在ハイブリッド車が国内販売台数の首位を争っている。携帯端末の変化は最たるもので、お客様のニーズを織り込み続けることで、今では小型高性能化した多機能・便利グッズとして多くの方に利用されている。弊社製品においても、各國・各ジャンルで必要とされている変化への対応は避けて通れない。お客様の幅広いニーズに応える製品開発の継続や、それら製品を支える技術の先進性維持は、メーカーとして非常に重要なファクターである。

本号では、幅広い事業分野を持つ弊社の特性を活かし、それぞれの事業視点から将来を見据えた製品開発と、そこに息づくシーズを紹介させていただいた。付加価値を生む技術、乗り物の利便性向上に新たな可能性を開くアイデア、そしてそれらを具現化した製品から弊社のモノ創りの姿勢を感じていただけた幸いである。

(小野 朋寛)

技報編集委員を担当して早6年、執筆者の協力に支えられ、これまでに12本のRV関連の記事を掲載することができた。ATVやスノーモービルといったRV商品に関しては、社外はもとより弊社社員の中にも比較的馴染みが薄い者が多く、技報を通じて少しでも興味を持ってもらえたという思いで記事を掲載している。

さて、日本ではさほど認知度の高くないRV商品だが、北米や欧州ではATVやスノーモービルが文化としてしっかりと根付いており、多くのお客様にご愛顧いただいている。アウトドア+モータースポーツの世界で、お客様に感動と心や暮らしの豊かさをお届けすることができるヤマハ発動機らしい商品だと自負している。実際に大の大人が泥まみれや雪まみれになって遊んでいる姿は実に楽しそうである。このようなRV商品の魅力を、技報読者の皆様にお伝えすることができれば幸いである。

(岡田 弘之)

ヤマハ発動機  
技報 第48号

印 刷

2012年11月30日

発 行

2012年12月1日

発 行 所

ヤマハ発動機株式会社 〒438-8501 静岡県磐田市新貝2500

発 行 人

木村 隆昭 水上 真行

編集委員長

技術本部 技術企画部

編集委員

ヤマハモーター・エレクトロニクス(株) 技術部

デザイン

村川 明穂

事 務 局

事業開発本部 スカイ事業推進部

印 刷 所

登澤 幸雄

お問い合わせ

ヤマハモーター・エンジニアリング(株) 経営企画部

ホーメーページ

吉本 幸広

事業開発本部 IM事業部 ロボットビジネス部

伊藤 英敬

MC事業本部 技術統括部 技術戦略部

岡田 弘之

事業開発本部 RV事業部 開発部

鈴木 正人

技術本部 研究開発統括部 イノベーション研究部

新田 孝史

(株)スタジオコバ

池田 厚司

人事総務統括部 法務・知財部

水野 康文

技術本部 技術企画部

久米 裕子

技術本部 技術企画部

(株)スタジオコバ 〒437-1196 静岡県袋井市松原2455-2

技術本部 技術企画部 (技報編集事務局) TEL 0538-32-1171

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

菅野 秀昭 ヤマハモーター・ハイドロリックシステム(株) 第1開発室

奥村 英之 マリン事業本部 ME事業部 開発統括部

田中 大二郎 AM事業部 AM第1技術部

濱田 忍 技術本部 生産技術統括部 生産技術部

小野 朋寛 事業開発本部 SPV事業部 第1開発部

馬塚 尚人 ヤマハモーター・パワープロダクツ(株) PP事業推進部 開発部

末森 勝 マリン事業本部 ボート事業部 舟艇製品開発部

井筒 剛司 人事総務統括部 法務・知財部

三宅 英典 人事総務統括部 広報宣伝部

猪森 由佳里 技術本部 技術企画部



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