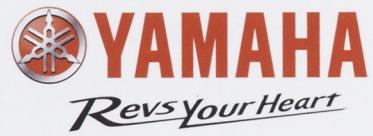


No.52
2016



YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW



ヤマハ発動機 技報

目 次

巻頭言

顧客基点の技術開発、そしてその先を見据えて	3
秀島 信也	

技術紹介

YZF-R1/R1M スライドコントロールシステムの開発	5
渡邊 博人 藤井 隆弘	
浸炭窒化熱処理技術による単気筒エンジンの高性能化	10
坪井 隆昌 大賀 浩次	
フィルム賦形予測による生産準備リードタイムの短縮	15
佐野 公大 大石 武司 大村 尚生 大城 竜伯	
船外機梱包強度の定量化	19
中村 行夫 岸部 友昭	
自律ビークルの知能化プラットフォーム開発 -ROS, Autoware の活用-	22
難波 直樹 藤井 北斗 張 炎甫 神谷 剛志	
二輪車用触媒の助触媒開発	26
赤穂 夏来 茂木 卓也 原田 久	

製品紹介

スポーツボート「SR320FB」	30
福山 美洋	
エレクトリックコミューター「E-Vino」の開発	35
藤田 博一 神田 栄作 宮崎 崇明 折茂 敏郎 室田 尚輝 陳 昱歲	
2017年モデル ROV YXZ1000R SS	40
鈴木 孝典 砂廣 一雄 田中 大輔 福嶋 健司	
2017モデル スノーモビル Sidewinder	44
鈴木 豪仁 Jim Vizanko Lauren Nasca 村嶌 篤 宮崎 政直 坂井 裕司 明石 将	
レクサス向け 8AR-FTS エンジン	49
川村 誠 前田 裕幸 杉山 文敏 古澤 隆志 佐々木 和敬 岡田 祐介	
水木 太喜 安藤 純介 佐藤 稔 國重 祐介 奥出 智重 菅原 徹 脇屋 努	
アセアン新型「M-SLAZ」の開発	60
Pisithsak Surawichai Rittanon Chongchatklang Ken Rungruang 小原 透	
MT-09TRP ポリス向け専用車両	65
永田 一 内門 玄	
ZTR 用 Vツインエンジン「MX825V-EFI」の開発	70
加治屋 晋一 津田 真矢	
船外機 F2/2.5B の開発	74
北島 和幸 宮崎 哲平 高野 達也	
大容量 32L の薬剤搭載を実現した産業用無人ヘリコプター FAZER R	78
木戸 徹 大西 慎太郎 平城 大典 木下 勝之 林 隼之	

技術論文

ダイカストリヤームへの適用に向けた Al-Si-Mg 系合金の熱処理特性の検討	83
奥田 裕也 進藤 孝明 鈴木 貴晴 栗田 洋敬	
浸炭処理を施した実体部品の昇温脱離法を用いた水素吸蔵量測定による耐遅れ破壊性評価の検討	89
井上 陽一 太田 敏也	
リチウム電池内のイオンの動きを捕らえる	95
新井 寿一 中東 里英	
Development of data logger for motorcycles	100
松尾 匡史 森岡 剛 渡辺 仁	
Analysis of Mixture Formation Process in a PFI Motorcycle Engine	108
森吉 泰生 増山 達也 後藤 久司 飯田 実	

CONTENTS

Foreword

Customer-Centric Technological Development and Looking to the Future Beyond	3
Nobuya Hideshima	

New Technologies

YZF-R1/R1M Slide Control System development	5
Hiroto Watanabe Takahiro Fujii	
Improvement of Single Cylinder Engines using Carbonitriding Technology	10
Takamasa Tsuboi Hirotsugu Ooga	
Film Stamping Simulation for Reduced Production Lead Times	15
Masahiro Sano Takeshi Oishi Naoki Oomura Tatsunori Ohshiro	
Quantification of Outboard Motor Packaging Strength	19
Yukio Nakamura Tomoaki Kishibe	
Intelligent Platform Development for Autonomous Vehicles- Utilization of ROS and Autoware	22
Naoki Namba Hokuto Fujii Zhang Yanfu Tsuyoshi Kamiya	
Co-catalyst Material Development of Three Way Catalyst in Motorcycles	26
Natsuki Ako Takuya Motegi Hisashi Harada	

New Products

Sports Boat SR320FB	30
Yoshihiro Fukuyama	
Development of the electric commuter model "E-Vino"	35
Hirokazu Fujita Eisaku Kanda Takaaki Miyazaki Toshiro Orimo Naoki Murota Chen-Yuwei	
YXZ1000R SS 2017 Model ROV	40
Takanori Suzuki Kazuo Sunahiro Daisuke Tanaka Kenji Fukushima	
2017 model Snowmobile Sidewinder	44
Takehito Suzuki Jim Vizanko Lauren Nasca Atsushi Murashima Masanao Miyazaki Yuji Sakai Masaru Akashi	
8AR-FTS Engine for LEXUS	49
Makoto Kawamura Hiroyuki Maeda Fumitoshi Sugiyama Takashi Furusawa Kazuhiro Sasaki Yusuke Okada Taiki Mizuki Junsuke Ando Minoru Sato Yusuke Kunishige Tomoshige Okude Toru Sugawara Tsutomu Wakiya	
The development of Radical New Asian Bike M-SLAZ	60
Pisithsak Surawichai Rittanon Chongchatklang Ken Rungruang Toru Ohara	
MT-09TRP Dedicated Police Unit	65
Hajime Nagata Gen Uchikado	
Development of the MX825V-EFI V-Twin Engine for Zero Turn Radius Mowers	70
Shinichi Kajiya Shinya Tsuda	
Development of the F2/2.5B Outboard Motor	74
Kazuyuki Kitajima Teppei Miyazaki Tatsuya Takano	
FAZER R: Industrial-use unmanned helicopter with large 32L agricultural chemical payload	78
Toru Kido Shintaro Ohnishi Daisuke Hirajo Katsuyuki Kinoshita Toshiyuki Hayashi	

Technical Papers

Study of Heat-treatment Characteristics of Al-Si-Mg Alloy for Application in Rear Arms Made by High-pressure Die-casting Process	83
Yuya Okuda Takaaki Shindo Takaharu Suzuki Hirotaka Kurita	
Studies on linking characteristics of delayed fracture of carburized parts to hydrogen concentration measured by thermal-desorption analysis	89
Yoichi Inoue Toshiya Ota	
Watch the Dynamics of Lithium Ion Inside Lithium Ion Batteries	95
Juichi Arai Rie Nakahigashi	
Development of data logger for motorcycles	100
Masashi Matsuo Takeshi Morioka Hitoshi Watanabe	
Analysis of Mixture Formation Process in a PFI Motorcycle Engine	108
Yasuo Moriyoshi Tatsuya Kuboyama Hisashi Goto Minoru Iida	

秀島 信也

In my early days with the company, I was put in charge of projects at the Overseas Engineering Division, taking my first overseas business trip to work on production startup preparation. That factory was already manufacturing a competitor's products, and the project involved manufacturing Yamaha Motor products under the same roof. I took with me the specifications and quotations for the equipment, jigs, and tools etc. necessary for production startup, and when I made my explanations based on those materials, factory engineers complained that they were so expensive. I thought I had prepared well and my presentation would be received positively, but their response was a shock for me. They asked for an explanation of why everything was so expensive, pressed me to clarify the necessary functionality, and demanded that we choose items which could be manufactured and procured locally. I remember being very stressed by it all. I was made painfully aware of my weakness in not fully understanding the necessary functionality. In addition, I was embarrassed that I had not stood in the customer's shoes and understood what was real value and what was unnecessary. My proposal was lacking from the customer's perspective.

Even now, I can clearly remember the factory engineers' words. "If that's what you want, then Yamaha Motor products will lose competitiveness."

At the end of last year, we announced the Medium-term Management Plan, in which we clarified our management direction in the medium to long term, which is to aim to become "a unique company that continues to achieve dynamic milestones."

Among the four growth strategies across three business fields, what we must be specific about above all else is strengthening foundational technology. Given the limitations of corporate resources, it is necessary to advance product development in existing business more efficiently and apply the surplus generated to growth businesses to create momentum towards the efficient provision of popular products and services. The critical aspect is how to connect strengthened foundational technology to attractive products and services, and how quickly the value we create - which customers had not experienced - can be provided to customers before it is noticed. Therefore, it is important that we have the creativity and intellectual curiosity to create unknown value, which is not just to Yamaha but also to the industry. To that end, the continued proactive development of contact points with the market and opportunities for interaction with customers is essential. Even in technological development, while continuing to hone our marketing sense, it is important to understand the needs of the market, share our objectives first across the three departments of manufacturing, sales, and technology, and work together into the future.

I believe that we can create better products by promoting technological development in which our engineers themselves also experience excitement (revs) by imagining the moment of the expressions of surprise and happy smiles on our customers' faces. In this sense as well, I believe that in the future it will be important to look at our technological development from the perspective of how much we did or can innovatively increase the value provided to customers.

"The company growing" means "continually creating further demand". In other words, providing services for existing customers to keep choosing Yamaha products, as well as constantly working to help new customers also come and choose Yamaha. Supporting and continually contributing to this demand creation through technical capabilities is our role. Surpassing customer expectations at purchase even after purchase is at the core of the Yamaha brand, and we very much want to deliver products and services which surpass the expectations of all customers. Through the value we create with our technical capabilities, the feeling of Kando* will be experienced by individual customers and then shared with even more customers. This will further contribute to not only the growth of the company, but also the development of the industry.

Ultimately, I want Yamaha Motor products and services to play an indispensable role in society.

*Kando is a Japanese word for the simultaneous feelings of deep satisfaction and intense excitement that we experience when we encounter something of exceptional value.

入社早々の駆け出しの頃、海外技術部のプロジェクト担当になり、生産立ち上げ準備の仕事で初めて海外出張をした。その工場ではすでに競合他社の生産も行っており、同じ建屋内でヤマハ製品の生産を行うというプロジェクトであった。生産立ち上げに必要な設備、治具、工具等の仕様書・見積もりを携え、その資料をベースに説明をしていったが、それらの値段が高いと先方の技術者から散々クレームがついた。一通りの準備をして、納得して頂けるものと考えていた自分にとっては大変ショックだった。なぜそんなに高額なのか説明を求められ、さらには必要機能を明確にして、現地で製造・調達できるものを判断してくれと迫られ困ったことを覚えている。必要機能をしっかりと理解していない弱さを痛感した。加えてお客様側に立ち、何が本当の価値で何が不要なものなのか理解していないことを恥ずかしく感じた。お客様目線での提案が足りなかつたのだ。

先方の技術者の言葉を今でも覚えている。「そういうことではヤマハ製品の競争力は無くなるよ。」

昨年末に中期経営計画を発表し、「ひとまわり・ふたまわり大きな『個性的な会社』」を目指すべく中長期の経営方向感が明確になった。3つの事業領域を踏まえた4つの成長戦略の中で、とりわけ我々がしっかりと具体化しなければならないのが、「基盤技術の強化」である。限られた経営資源の中では、既存事業はより効率的に開発を進め、生み出した余力を成長事業に振り分け、売れる製品・サービスに効率良くつながる流れを創り出していく必要がある。重要なのは強化した基盤技術を魅力ある製品・サービスにどう繋げるかであり、お客様が経験したことがない価値をお客様が気づく前にどれだけ早く提供できるかである。そのためには我々自身にとってはもちろんのこと、業界にとっても未知の価値を創り出していく探究心・発想力が重要であり、市場との接点や顧客との交流の機会をもっと積極的に、継続的に作らなければならない。技術開発においてもマーケティングセンスを磨きながら市場ニーズを理解し、製・販・技が目標を共有して一緒に走っていくことが肝要である。

開発者自身も、お客様が驚く顔、喜ぶ笑顔を思い浮かべながら、その瞬間のためにワクワク(Rev)感を持って技術開発を進めることで、より良いものが出来ると信じる。そういった意味でも、今後は、我々の技術開発の指標として、お客様への提供価値をどのくらい革新的に向上できるか、できたかという視点で見ていくことも重要だと考える。

「会社が成長する」ということは、「需要を創り出し続けていく」ということと捉えている。つまり、すでにヤマハ製品を愛用いただいているお客様には引き続き選んでいただき、新しいお客様にもヤマハを選んでいただくということである。そうした需要創造を技術力で支え、継続的に貢献していくのが我々の役割である。是非とも、ヤマハブランドの根幹である、お客様が購入いただいた後にも、購入時の期待を超える価値を100%実感していただけるような製品・サービスの提供を実現していきたい。技術力で創り出す価値によって、我々の企業目的でもある「感動」が、多くのお客様の共感となって拡がり、その先には会社の成長だけでなく、業界の発展にも寄与できるものと考える。

そして、ヤマハ発動機の製品・サービスが社会的にもなくてはならない存在になることを実現したい。

■著者



秀島 信也
Nobuya Hideshima
取締役 常務執行役員

渡邊 博人 藤井 隆弘

Abstract

A slide control system (hereafter "SCS") has been developed and featured in the YZF-R1/R1M launched in 2015. To achieve unity between rider and machine from the perspective of pursuing the unique style of Yamaha, development focused on providing a control system which generally respects the rider's will and intervenes only when necessary. Moreover, when it does intervene, it does so with an unnoticeable and natural feeling. After all, the focus is the rider. This project aimed to develop a system that supports the rider's acceleration control, focusing mainly on the lateral slip behavior of the rear wheel causing the loss of balance when accelerating out of corners. ESC (Electronic Stability Control) has been already practicalized in four-wheeled vehicles (hereafter "automobiles"); however, in order to apply this to motorcycles there are two major development issues to face. The first is to detect the lateral slip. Lateral slips such as oversteer and understeer cannot be detected from the steering angle and the yaw rate of motorcycles, because, unlike automobiles, they behave three-dimensionally. The second is to control the lateral slip. Having only two wheels, motorcycles cannot control the brake force on four wheels and create a yaw moment, which automobiles can. This report discusses the how these issues were faced.

1 はじめに

2015年に発売されたYZF-R1/R1Mに搭載されたスライドコントロールシステム（以下、SCS）を開発した。

ヤマハらしさを極めるという視点でライダーとマシンの人機一体を実現するために、基本はライダーの意思を尊重しながら、本当に必要な場面でのみ介入し、かつ介入感を感じさせない自然なフィーリングの制御システムを提供することを心掛けた。あくまで主役はライダーである。

本プロジェクトでは、主にコーナー立ち上がり加速時における車両のバランスを崩すような後輪の横滑り挙動に着目し、ライダーの加速操作を支援するシステムの開発を目指した。

四輪自動車（以下、自動車）においてはすでに実用化されているESC（横滑り防止装置）があるが、これを二輪車に適応するための開発課題は大きく2つある。一つ目は横滑りを検出することである。

自動車と異なり3次元的な動きをする二輪車ではハンドル舵角とヨーレートからオーバーステア、アンダーステア等の横滑りを検出することはできない。

二つ目は横滑りを抑制することである。タイヤが前後2本しかない二輪車では自動車のように4輪のブレーキ力を制御してヨーモーメントを発生させることができない。

本稿では、これらの課題に対して取り組んだ内容を述べる。

2 SCS 概要

2-1. SCS コンセプト

二輪車の後輪タイヤと路面間にかかるタイヤ力をタイヤ摩擦円の概念で考える。右旋回のシチュエーションで考えるとタイヤと路面との間には駆動力による縦力と遠心力による横力の合力が加わっている（図1）。

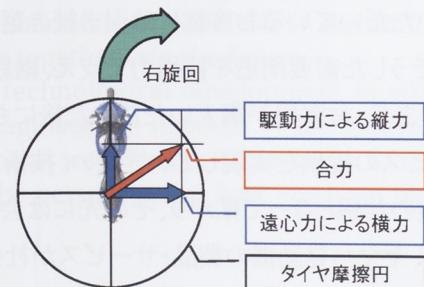


図1 タイヤ摩擦円とタイヤにかかる力の関係

この合力がタイヤ力の限界を示すタイヤ摩擦円を越えるとグリップが急激に低下し、縦滑りや横滑りが発生する。逆に言えば、縦滑りと横滑りの両方を検出できれば合力が摩擦円を超えたことが検出できる。縦滑りに関しては前輪と後輪の車輪速度差で検出可能である。横滑りについてはハンドル舵角から目標ヨーレートが求まらないため、後述するタイヤの横滑りの変化量である横滑り加速度の検出にて対応することとした。

次に、合力が摩擦円を超えたことを検出した時にそれを摩擦円内に抑えられるか検討した。右旋回の状態（図 1）からコーナー立ち上がり加速状態になると、アクセルを開けて駆動力が増加し、合力が摩擦円を超えた状態（図 2）となる。

この時、遠心力をコントロールすることは不可能だが、増加した駆動力を低下させることにより合力を摩擦円内に抑えることが可能となる（図 3）。

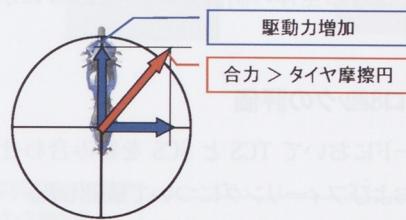


図2 タイヤ合力が摩擦円を超えた状態

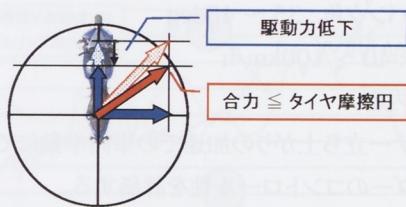


図3 タイヤ合力が摩擦円内に収まつた状態

以上のことから SCS は後輪の横滑り加速度を検出し、駆動力の低減によって横滑りを抑制するというコンセプトとした。

2-2. SCS システム構成

横滑り加速度の検出には 3 軸加速度センサと 3 軸ジャイロセンサおよび前後車輪速度が必要なため、3 軸加速度センサと 3 軸ジャイロセンサを搭載した Inertial Measurement Unit (以下、IMU) を用いた。前後車輪速度は EG 制御ユニットから CAN 経由で IMU に入力され、IMU 内で横滑り加速度を演算し、EG 制御ユニットに CAN 経由で出力される。

EG 制御ユニットはこの情報を受けて駆動力を抑制する。駆動力の抑制は制御時間が短いと想定されること、およびその応答性が重要であることから、点火時期を遅角させることで実現させた。

また、前述したように縦スリップの検出、および抑制が前提となるため、トラクションコントロールシステム（以下、TCS）と SCS を併用する構成とした。TCS は前輪と後輪の車輪速が EG 制御ユニットに入力され、電子スロットル（以下、YCC-T）と点火時期を操作する。システム構成を図 4 に示す。

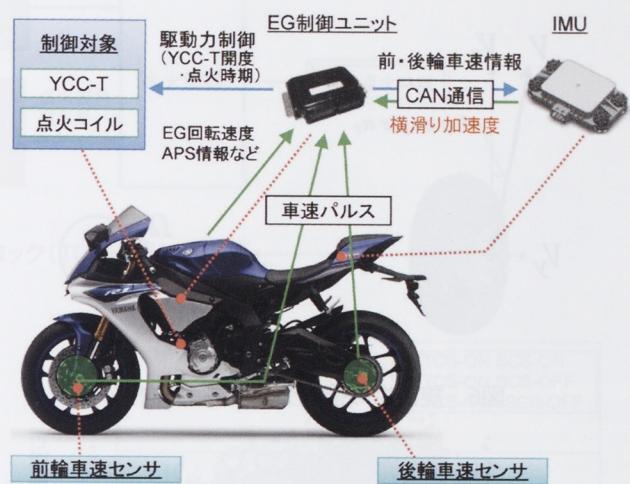


図4 システム構成

3 横滑り挙動の検出

3-1. 横滑り加速度の定義

ここでは後輪駆動に伴うスリップ増加に起因する車両横滑りに着目し、合力が摩擦円を超えたときに急激にスリップアングルが大きくなり、その変化量であるタイヤの横滑り加速度も急激に増加すると考え、横滑り加速度を検出することとした。検出する横滑り加速度は路面平面上で、かつ車体方向速度 V_x に対し垂直方向の速度 V_y の加速度 \dot{V}_y と定義した（図 5）。

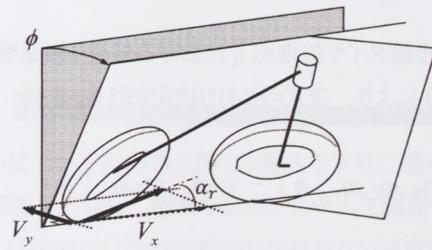


図5 横滑り方向の定義^[1]

3-2. 横滑り加速度の導出

後輪接地点の横滑り加速度 \dot{V}_y は、車体に固定された IMU にて検出された加速度、角速度信号、および車輪の回転速度から検出される車体速度信号を用いて導出する。

図6において後輪タイヤは点qにおいて接地し、旋回中心oの周りを速度 Ω_z で旋回している。このとき後輪タイヤはスリップ角 α_r 方向に速度Vにて進行している。また、車体方向の速度を V_x 、 V_x に対し路面平面状で垂直かつ旋回外向きの速度を V_y とする。

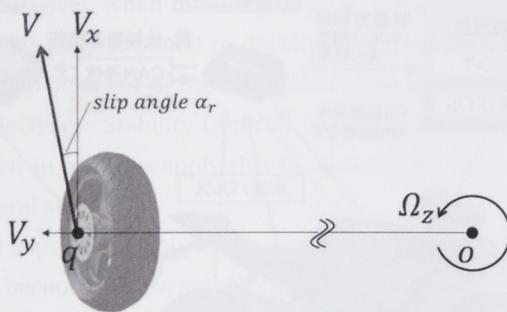


図6 旋回中の後輪タイヤ進行方向

このとき、後輪接地点の横滑り加速度 \dot{V}_y は、式(1)によつて算出できる。

$$\dot{V}_y = A_y - V_x \cdot \Omega_z \quad (1)$$

ただし、式(1)における右辺第1項である後輪タイヤの横加速度 A_y および、第2項である求心加速度成分 $V_x \cdot \Omega_z$ は直接観測することができない。そこで、後輪タイヤの横加速度は車体に固定されたIMUが検出する車体横方向加速度センサ値、ロールレートセンサ値、ヨーレートセンサ値、および車体バンク角より算出することとする。

さらに、求心加速度成分は、車体速度信号、ヨーレート、および車体バンク角より式(2)のとおり算出される。

$$V_x \cdot \Omega_z = v \cdot \omega_y \cdot \sec\phi \quad (2)$$

よつて、後輪タイヤ接地点qにおける横滑り加速度 \dot{V}_y は式(1)、(2)によつて、次式のとおり決定される。

$$\dot{V}_y = A_y (a_y, \omega_r, \omega_y, \phi) - v \cdot \omega_y \cdot \sec\phi \quad (3)$$

ω_r : ロールレートセンサ値

v : 車体速度信号

ω_y : ヨーレートセンサ値

a_y : 車体横方向加速度センサ値

\dot{V}_y : 横滑り加速度

A_y : 後輪接地点横方向加速度

ϕ : バンク角

Ω_z : ヨーリング速度

V_x : 車体方向速度

α_r : 後輪タイヤスリップ角

4 横滑り制御

4-1. 制御ロジック

横滑り加速度が作動閾値を超えたときに点火時期を遅角する(図7-②:SCS-on)。すると次に横滑りが回復し始め、終了閾値を下回りかつ、点火時期遅角量がゼロとなった時点で制御を終了させる(図7-③:SCS-off)。

なお、TCSとの並列動作となるため点火時期の遅角量についてはTCSとSCSの制御量を比較して大きい値を採用する。TCSとSCSの全体の制御ブロックを図8に示す。

4-2. 制御ロジックの評価

オンロードにおいてTCSとSCSを組み合わせて搭載した際の効果およびフィーリングについて確認した。

評価路面は下記のとおりである。

■評価コース

路面: アスファルトドライ路面

曲率: $R = 8.5 \sim 21$

最大バンク角: $35 \sim 45\text{deg}$

車速: $40 \sim 100\text{km/h}$

■評価内容

コーナー立ち上がりの加速での車両挙動にて制御性、ライダーのコントロール性を評価する。

図9に走行中の横滑り加速度波形を示す。

バンク角が深い状況において、ライダーがアクセルを開け増した際に横滑り加速度が上昇している(Ⓐ)。このタイミングでSCSが作動し点火時期を遅角する(Ⓑ)。するとスリップ率が低下し、横滑りが遅れなく低減されている(Ⓒ)ことが確認できた。

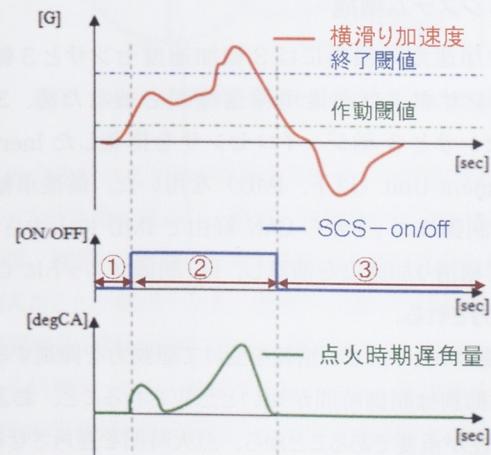


図7 SCS制御ロジック

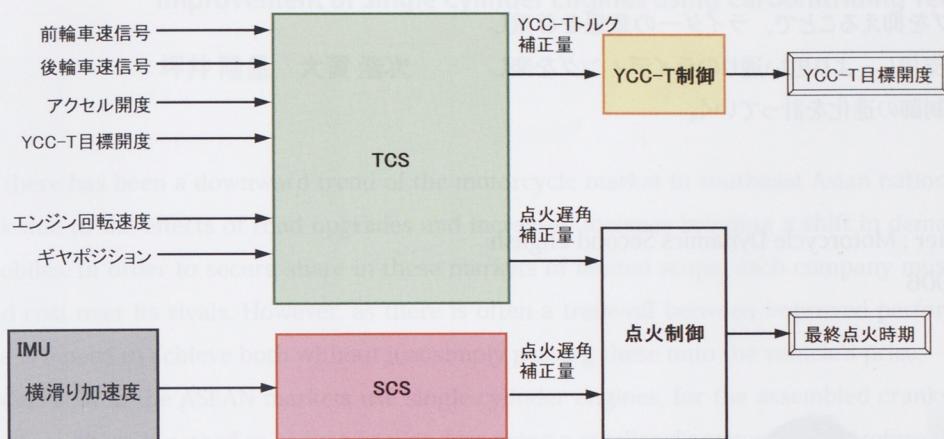


図8 全体制御ブロック(TCS+SCS)

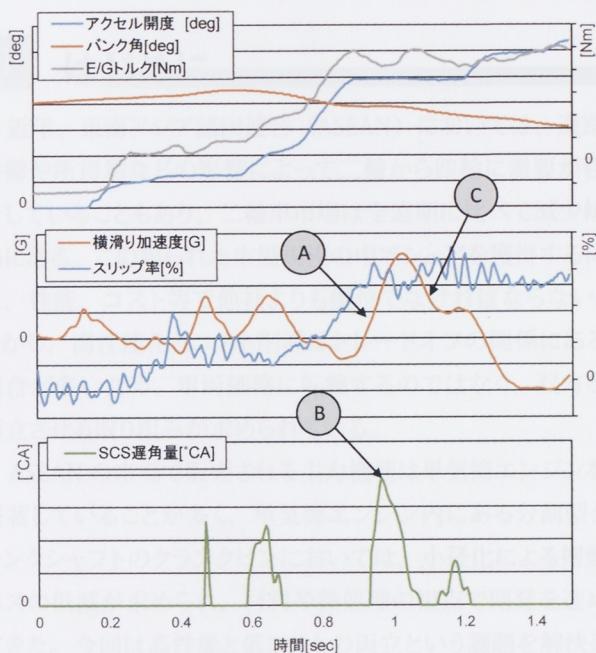


図9 横滑り加速度波形

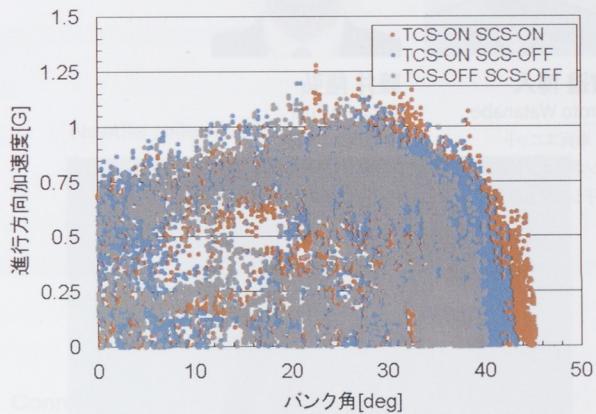


図10 進行方向加速度の比較

表1 アクセル開け始め～全開時間比較

TCS	SCS	平均時間[秒]	最小時間[秒]
OFF	OFF	3.205	3.205
ON	OFF	2.887	2.575
ON	ON	2.381	1.725

5 おわりに

図10は評価走行において、各制御パターンの組み合わせにおけるバンク角と進行方向加速度との関係を示す。ここではTCSとSCSを併用することで、深いバンク角から大きな進行方向加速度が得られていることが分かる。

これはバンク角と必要横力が比例関係であることから、摩擦円の限界付近までタイヤ力を利用できていることとなる。さらに評価ライダーからもパワー感の減少を抑えると同時に、加速操作性が向上しているとのコメントが得られた。

ライダーの加速操作性の指標としてコーナー脱出時のアクセル全開までの時間を比較すると、TCSとSCSを併用した場合が最も短くなっていることが確認できた（表1）。

今後はIMUのコスト低減によるスポーツモデル、ツアーモデル、スクーター等への展開を目指す。また、さらなる機能向上として、スリップアングルの検出による旋回性能の向上や制動力制御への応用を図りTCS、ABS、SCSによる

全方位のスリップを抑えることで、ライダーの意思を尊重しつつ運転操作を支援し、より思い通りのライディングを楽しめるようさらなる制御の進化を計っていく。

■参考文献

[1]Vittoe Cossalter : Motorcycle Dynamics Second English Edition, p.13, 2006

■著者



渡邊 博人
Hiroto Watanabe
PF 車両ユニット
コンポーネント統括部
電子システム開発部



藤井 隆弘
Takahiro Fujii
PF 車両ユニット
PF 車両開発統括部
先行開発部

浸炭窒化熱処理技術による 単気筒エンジンの高性能化

Improvement of Single Cylinder Engines using Carbonitriding Technology

坪井 隆昌 大賀 浩次

Abstract

In recent years, there has been a downward trend of the motorcycle market in southeast Asian nations (ASEAN) compared to its peak due to the effects of road upgrades and increased incomes bringing a shift in demand from motorcycles to automobiles. In order to secure share in these markets of limited scope, each company must be superior in performance and cost over its rivals. However, as there is often a trade-off between improved performance and cost reductions, there is a need to achieve both without just simply passing these onto the vehicle's price.

As the main models sold in the ASEAN markets use single-cylinder engines, for the assembled crankshaft crank pins used in these engines, there is a need to reduce friction loss using a smaller diameter, and therefore development has been progressed with a focus on materials and heat treatment. This report introduces carbonitriding, which helps to solve issues around achieving both high performance and reduced costs.

1 はじめに

近年、東南アジア諸国連合（ASEAN）においては、道路整備や所得増などの影響によって二輪から四輪に需要が移行していることもあり、二輪車市場は全盛期に比べて減少傾向にある。この限られた市場規模の中でシェアを獲得するには、性能、コスト等で他社よりも優位でなければならない。しかし、高性能化とコスト削減はトレードオフの関係にある場合が多いため、車両価格に転嫁するのではなく、双方を両立させる取り組みが求められている。

ASEAN の市場で販売される主力機種は単気筒エンジンを搭載していることが多く、単気筒エンジン内にある分割型クランクシャフトのクランクピンにおいては、小径化による摺動ロスの低減が求められ、材料や熱処理の視点で開発を進めてきた。今回は高性能と低コストの両立という課題を解決した浸炭窒化について紹介する。

2 開発の背景・狙い

二輪車のクランクシャフトには一体型と分割型の 2 種類が存在し、エンジンレイアウトや強度、コストによって選択される。一般的に低排気量モデルには分割型が採用されることが多い。分割型クランクシャフトは 5 つの部品で構成されており、カウンターウェイトを有する左右のクランクシャフト、クランクシャフトに圧入されるクランクピン、燃焼圧をクランク側に伝達するコネクティングロッドから成り立っており、コネクティングロッドの大端部はニードルベアリングを介してクランクピンと結合している。図 1 に分割型クランクシャフトを示すが、コネクティングロッドの大端部を見やすくするため、左側のクランクシャフトは外している。

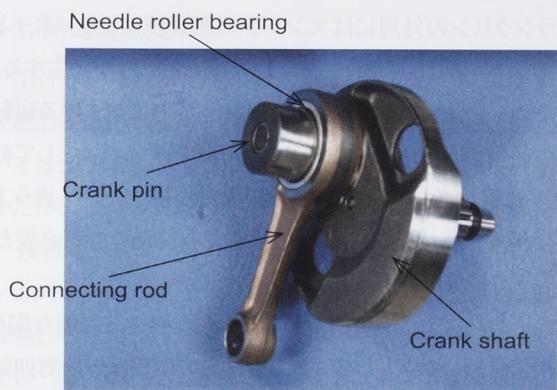


図1 分割型クランクシャフト

走行中のクランクピンには高い Hertz 応力が発生し、その値は 2.5 ~ 3.0GPa に達する。従来は Hertz 応力の値に合わせて一般的なガス浸炭（以下、通常浸炭という）と高濃度浸炭窒化^[1]の 2 種類を使い分けて生産していた。

高濃度浸炭窒化は高濃度浸炭処理後、焼入れせずに炉冷し、その後に浸炭窒化焼入れ焼戻しを実施している。高濃度浸炭窒化の特徴は、微細な炭化物の析出および浸炭窒化による焼戻し軟化抵抗の向上等である。高濃度浸炭窒化を採用することで通常浸炭よりも高強度化が可能となるが、処理時間や作業工数が増え、コストアップの要因となっていた（図 2）。そこで、今回は高濃度浸炭窒化の性能を維持したまま、コストダウンが達成できる熱処理条件を目指した。

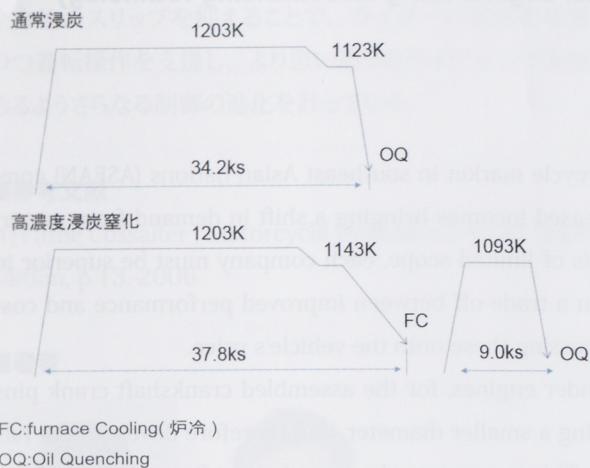


図2 処理条件比較

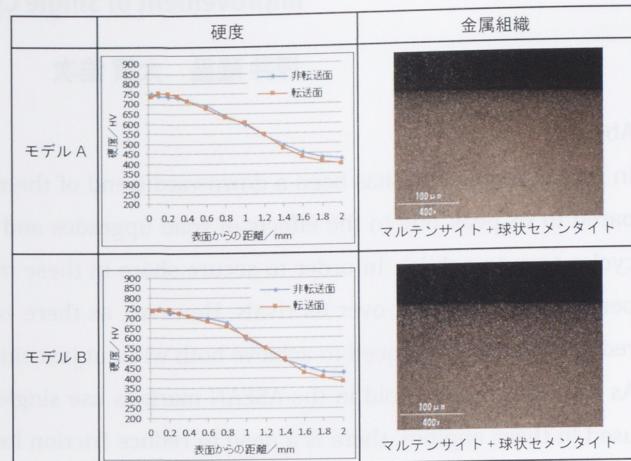


図3 硬度、金属組織測定結果

3 開発の取組み

3-1. 目標値の設定

クランクピングの外周にはエンジンの燃焼圧により、ニードルベアリングを介してクランクピングに Hertz 応力が発生する。そのため、クランクピングには高い Hertz 応力に耐え得る耐転動疲労特性が要求されており、これを評価する試験として転動疲労試験^[2]を採用している。高濃度浸炭窒化から違う工法に変更するためには、転動疲労寿命が同等となる必要がある。

また、コストは高濃度浸炭窒化よりも安価で、可能な限り通常浸炭に近いコストが望まれる。加えて理想は炉内雰囲気を監視し、制御するべきであるため、新たな管理方法を検討した。

3-2. 工法の選定

高濃度浸炭窒化においては微細炭化物の析出や浸炭窒化による焼戻し軟化抵抗の向上、残留オーステナイト増による圧痕周辺の盛り上がりの抑制が効果とされるが、今回想定しているエンジンのクランクピングに対して必要な効果を抽出するため、過去に高濃度浸炭窒化を採用したモデルの耐久試験終了品で再評価した。

一般的に歯車のケースでは歯車同士の接触部の温度が 573K 程度に上昇して製品を軟化させることがわかっている^[3]。クランクピングにおける硬度低下の有無を調査した。測定はニードルローラーの転送面と非転送面の硬度および転送面の金属組織を確認した。

硬度では表層から 0.05mm 位置で転送面と非転送面に差異は見られなかった。また、金属組織においても熱が加わった様子は見られなかった（図 3）。この結果から、今回想定

しているエンジンの使用環境において、クランクピングの焼戻し軟化抵抗の効果は過剰品質であると推定した。

焼戻し軟化抵抗の効果は、高濃度浸炭の炭化物と浸炭窒化による空素拡散から得られるが、今回は高濃度浸炭窒化の高濃度浸炭を廃止し、浸炭窒化の効果を最大限活用するため、条件の作り込みを実施した。

3-3. 浸炭窒化の管理項目

浸炭窒化は処理の前半で浸炭させ、処理の後半でアンモニアガスを添加して侵入拡散させる。アンモニアガスには高温状態だと熱分解しやすい特徴があるが、浸炭窒化で必要とされるのは未分解のアンモニアガスであるため、添加するアンモニアガスの量ではなく、未分解のアンモニアガスと製品表層の窒素濃度を管理する必要がある^[4]。加えて、窒素はオーステナイト安定化元素であるため、Ms 点を下げる効果があり、残留オーステナイトが発生しやすく、表層の硬度が低下する恐れがある。

また、製品に侵入できる炭素量と窒素量には飽和値があり、製品の窒素濃度を向上させた場合、炭素濃度が低下することになる^[5]ので、炭素濃度と窒素濃度の双方で最適となる条件を調整する必要がある。

今回は未分解のアンモニアガス濃度を測定する機器に赤外線分析計を使用し、製品表層の炭素濃度および窒素濃度は電子線マイクロアナライザ (EPMA) で測定することで、双方の結果を比較することとした。

3-4. 処理条件

処理条件はガス浸炭で使用しているHarrisの実験式を基に検討した（図4）。未分解のアンモニアガス濃度、表層の窒素濃度、転動疲労寿命を調査するため、図5に示す実験を実施した。

Harrisの実験式

$$D = K\sqrt{t}$$

$$t = t_C + t_D$$

$$t_C = t \left((C_2 - C_0) / (C_1 - C_0) \right)^2$$

D: 全硬化層深さ

K: 温度計数

t: 全浸炭時間

t_C : 浸炭時間

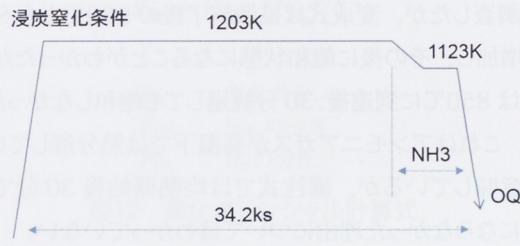
t_D : 拡散時間

C_0 : 素材炭素濃度

C_1 : 浸炭後炭素濃度

C_2 : 拡散後炭素濃度

図4 Harrisの実験式



条件	残留 NH ₃ 濃度 (粗い)
TRY1	500ppm
TRY2	750ppm
TRY3	1000ppm
TRY4	1500ppm

図5 浸炭窒化実験条件

3-5. 機能評価

機能評価ではボールオンディスク式の転動疲労試験を使用した。この装置は試験片とシャフトの間に3個のボールがスラスト力を受けながら転動する。試験片にフレーキングが発生すると、加速度センサーが振動を検知して停止する構造

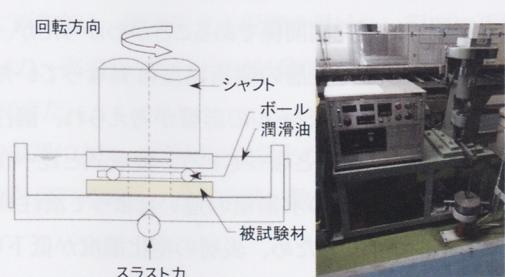


図6 転動疲労試験

となっている(図6、表1)。この装置を用いてワイブル分布にて整理し、通常浸炭、高濃度浸炭窒化、浸炭窒化を累積破損確率50% (L50) にて比較した。

表1 試験条件

印加応力 (Hertz応力)	Pmax = 5.3GPa
回転速度	1,800rpm (球は3個)
球	SUJ2 ϕ 9.5mm
潤滑油	Puresafty 10 (コスモ)
不純物	ガスアトマイズ法で作成した高速度鋼 直径 : 100-150 μ m 硬度 : 750HV 混入量 : 1g/L

4 結果と考察

4-1. 热処理品質

TRY1～4の結果を図7に示す。TRY1～3においては硬度および金属組織に異常は見られなかったが、TRY4においては表層の硬度低下が発生した。これは金属組織でも明らかだが、残留オーステナイトが多くなっていることがわかる。

残留オーステナイトをマルテンサイト化する手法として、ショットピーニングやサブゼロ処理があるが、今回は追加工程無しの工程設計を目指したため、TRY4の結果をNGと判定し、硬さが維持できるTRY3をアンモニアガスの上限と設定した。

4-2. 転動疲労試験

浸炭窒化のTRY4では、残留オーステナイトが多くなり、硬さが低下したためにNGと判断していたが、転動疲労寿命は長寿命であることがわかった(図8)。これは転動疲労試験片の表層が硬度低下したため、コンタミによる圧痕周辺の盛り上がりが低減され、ピッキングが発生しにくい環境であったと考えられる。

また、高濃度浸炭窒化と浸炭窒化のL50寿命はほぼ同等であることがわかった(図9)。さらに、浸炭窒化ではばらつきが低減できており、1回で処理が完結するためと推測している。

4-3. 炉内雰囲気の可視化

炉内に添加したアンモニアガスを可視化するため、赤外線分析計を使用し、未分解のアンモニアガス濃度の推移を

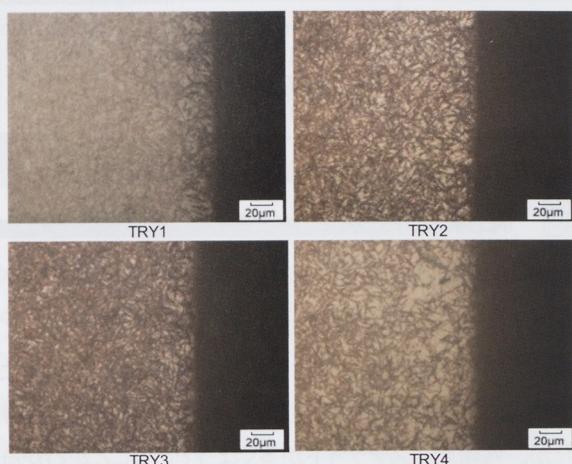
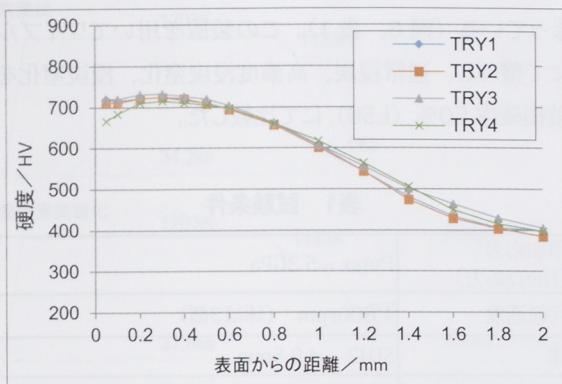
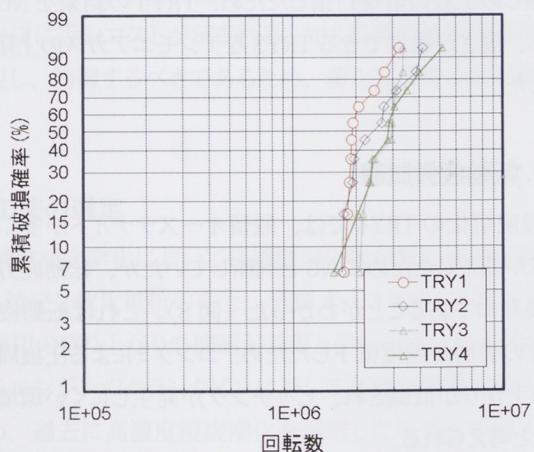


図7 浸炭窒化実験結果



	L10 寿命	L50 寿命
TRY1	1.63×10^6	2.18×10^6
TRY2	1.47×10^6	2.81×10^6
TRY3	2.08×10^6	2.80×10^6
TRY4	1.67×10^6	2.95×10^6

図8 ワイブル分布(実験結果)

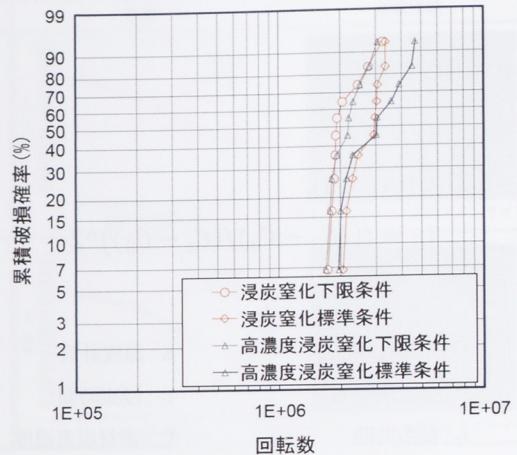


図9 ワイブル分布(工法比較)

調べた。キャリアガスの影響を確認するため、変成式と滴注式で調査したが、変成式は拡散終了後の 930°C から 850°C まで増加し、その後に飽和状態になることがわかったが、滴注式は 850°C に到達後、30 分経過しても飽和しなかった(図10)。これはアンモニアガスが高温下では熱分解していることを意味しているが、滴注式では均熱開始後30分で飽和状態にならなかった理由についてはわかっていない。

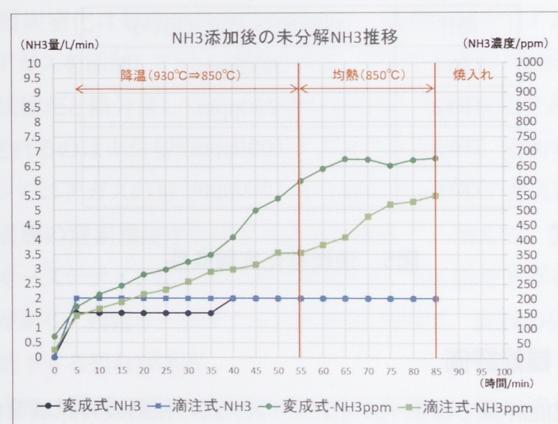


図10 アンモニア濃度の推移

また、製品表層の窒素濃度を調べたところ、アンモニア量と窒素濃度はほぼ比例関係であることがわかったが、ベースガスの仕様によって表層の窒素濃度は異なっていた(図11)。これは窒化ポテンシャルの影響が考えられ、滴注式には水素の割合が 66.7% となっており、変成式と比べて約2倍と高い(図12)。この水素量の違いによって滴注式は窒化ポテンシャルが下がるため、表層の窒化濃度が低下したと推測される。

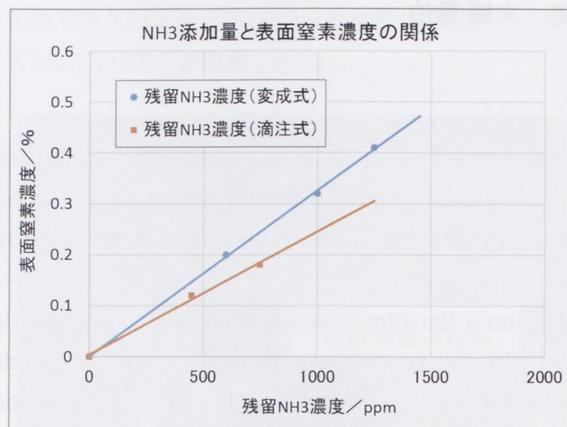
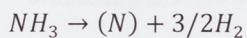


図11 添加NH₃と窒素濃度の関係



$$K_N = P_{NH_3} / P_{H_2}^{3/2}$$

K_N : 窒化ボテンシャル

P_{NH_3} : NH₃の分圧

P_{H_2} : H₂の分圧

図12 窒化ボテンシャル計算式

4-4. 生産性、コスト

高濃度浸炭窒化と浸炭窒化の処理時間と比較すると、約30%の処理時間短縮が可能となり、手扱い工数も削減できたことから目標とするコストダウン金額にも到達し、当社インドネシア拠点で生産を開始した。

また、高濃度浸炭窒化は限られた拠点のみで生産することができたが、浸炭窒化には設備の制約条件が少ないため、当社グループの全ての拠点で生産することができる。今後は様々な拠点で生産することで、さらなるコストダウンに貢献できると考える。

5 まとめ

浸炭窒化の条件出しを行った。管理項目である未分解のアンモニア濃度は、硬度低下の影響を受けない程度に添加することにより、高濃度浸炭窒化とほぼ同等の転動疲労強度を得ることができた。

この結果により、高濃度浸炭窒化の性能は維持したまま、処理時間を27%削減し、また作業工数も削減することができた。

6 おわりに

浸炭窒化は50年以前から普及した技術だが、ガス浸炭に対して耐ピッキング性を向上させるには非常に有効な工法であると考える。また、ショットピーニングやサブゼロ処理のような複合処理を組み合わせることによってさらに高強度化が期待できる。今後は今回の取り組みを皮切りに、複合熱処理の開発に注力し、低コストで高強度化できる工法開発を進めていきたい。

最後に本件の開発にあたり、多大なるご協力をいただきました山陽特殊製鋼株式会社の方々に対し、深く感謝申し上げます。

■参考文献

- [1]新野力也ら:高濃度浸炭窒化法による二輪車用クランクピニンの転動疲労特性改善(ヤマハ発動機技報No.36 2003)
- [2]久保田剛、山下恭幸:モーター サイクル用クランクピニンの転動疲労寿命評価(ヤマハ発動機技報 No.45 2009)
- [3]永濱睦久、岩崎克浩、安部聰:歯面強度に優れた浸炭窒化歯車用鋼(神戸製鋼技報 Vol.56 No.3 2006)
- [4]毛利信之、田口一彦:熱処理による浸炭鋼の耐摩耗性向上(NTN技報 No.76 2008)
- [5]大木力:過共折鋼の2相域での浸炭窒化処理に関する研究(三重大学 博士論文 2008)

■著者



坪井 隆昌

Takamasa Tsuboi

エンジンユニット

コンポーネント統括部

生産技術部



大賀 浩次

Hirotsugu Ooga

エンジンユニット

コンポーネント統括部

ユニット技術部

佐野公大 大石武司 大村尚生 大城竜伯

Abstract

The Insert-Graphic method involves film which is decorated and preformed being set in the mold and then injected. This method allows resin and film to be combined at once. Compared to conventional partial graphics, this method can obtain a seamless, highly scratch-resistant and large decorative area. It was used on the side cover of the 2014 YZ450F, and in-house production began (Figure 1).

In inserted graphics mold processing, the design shape is printed on a flat film which is then heated and molded through vacuum pressure after it softens (Figure 2). The problem with this process was that the printed design distorted. Therefore, correcting the printed shape takes repeated trial and error, and to get a good result takes a long time and significant cost.

In response to this problem, simulations were used to estimate design warping in the preforming process, which reduced distorting corrections, thereby reducing lead times. This report discusses this technology and its results.

1 はじめに

インサートグラフィック工法は加飾したフィルムを金型形状にプリフォーム（賦形）して射出成形することで樹脂と加飾フィルムが一体となった成形品が得られる工法である。従来の部分的なグラフィックと比較すると、段差がない、耐擦り傷の向上、加飾範囲の向上などの利点があげられることから、2014年のYZ450Fサイドカバーに採用され社内にて生産が開始された（図1）。



図1 YZ450Fサイドカバー

インサートグラフィック成形の賦形工程では、意匠形状をフラットなフィルムに印刷した状態からフィルムを加熱し、軟化後に真空圧空成形により賦形する（図2）。この工程において、印刷した意匠がゆがむ課題があった。そのため印刷形状の修正は試行錯誤を繰り返しながら決定しており、満足な意匠を得るまでに時間とコストが必要となっていた。

この課題に対し、賦形工程での意匠ゆがみをシミュレーションで予測することで、ゆがみ修正回数を減らし、リードタイムの短縮を達成した。本稿では、その技術と効果について紹介する。

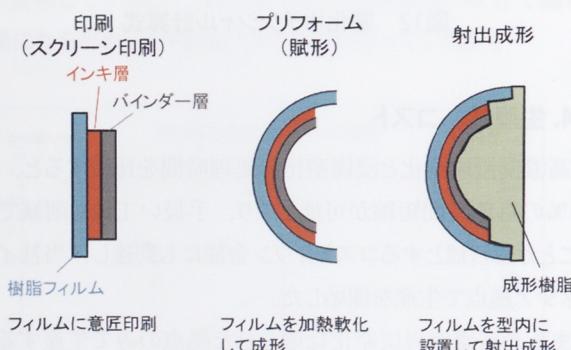


図2 インサートグラフィック工法

2 製造上の課題

インサートグラフィック工法は、大きく分けて賦形工程と射出成形工程に分かれる。通常インサートグラフィック工法が適用される部品の多くは比較的平坦で凹凸の少ない部品が多い。一方当社で採用したサイドカバーは、凹凸がある深い形状となっている。そのため平面のフィルムに印刷された意匠形状は、賦形と射出成形工程後にはゆがみと位置ズレを伴っていた。良品となる目標ラインを得るために、印刷版下データの補正は試行錯誤を繰り返して作り込みをする必要があった。インサートグラフィック工法を初採用した当初の初版と、最終的に修正を繰り返してOKとなった最終版の結果を示す（図3）。

初版では YZ450F の文字が成形品範囲を超えて大きく位置ズレしていることが確認できる。



a. 初版賦形後フィルム



b. 最終作り込み後フィルム

図3 フィルム修正前後の比較

3 ゆがみ予測技術の取り組み

3-1. ゆがみ発生工程の検証

工法の特徴上、意匠のゆがみが発生する可能性は大きく分けて 2 つ考えられた。1 つは賦形工程でフィルムが引き伸ばされることによるゆがみである。もう 1 つは射出成形工程におけるフィルムセットのばらつきおよび、金型形状に転写される際のフィルム変形によるものが考えられた。そこで賦形工程完了後の印刷パターン（アウトライン）を基準とした時の、射出成形工程後の意匠形状の変形量を調査した。

測定方法は、非接触形状測定機を用いて測定し、そこから得られるアウトラインカーブを $n=5$ で比較した。

その結果、成形工程でのアウトラインの変形量は目標ラインの公差内に収まっていることがわかった。このことにより問題となるゆがみは賦形工程が支配的であり、賦形工程におけるフィルムの伸びを予測することをターゲットとした。

3-2. ゆがみ補正技術について

ゆがみ予測技術の概要を簡単に説明する。フィルム賦形解析をすることで、フィルムの変形およびひずみ分布が求まっている。そこに目標とする意匠アウトラインを投影する。次に逆解析手法にて賦形後のフィルムを賦形前の 2D に展開を行うことで投影ラインが追従し、ゆがみ補正が見込まれた印刷形状を得ることができる（図 4）。

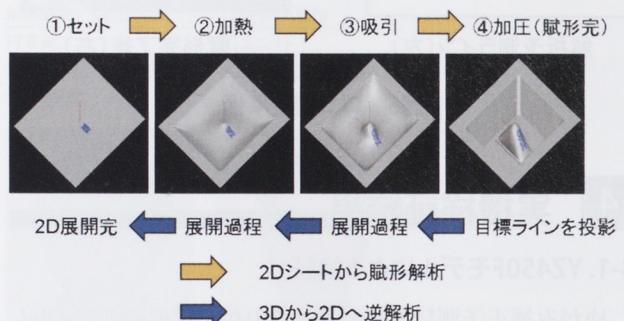


図4 2D展開方法の説明

また解析結果からは、ゆがみ予測のほかにもいくつかの賦形不良も予測可能となる。板厚減少率の結果からはフィルムの破れの危険性が予測できる。高低差の大きい形状やフィレット部では注意が必要となる（図 5）。また公称ひずみの結果からは、フィルムの過大変形による白化やインキのひび割れが予測できる（図 6）。



図5 フィルム破れ



図6 フィルム白化

3-3. 基礎実験による解析検証

ゆがみ予測を検証するため、伸びが大きく発生する山型を製作し検証することとした（図 7）。



図7 基礎実験型

解析に必要なフィルムの物性を取得し、その他の解析パラメータを合わせ込むことでフィルムのひずみ分布が実測と一致した。解析で予測したゆがみ補正ラインを2D印刷し、賦形した結果を示す（図8）。

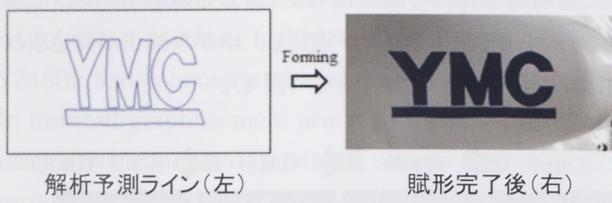


図8 口ゴ補正事例

4 実機検証結果

4-1. YZ450Fモデルによる検証

ゆがみ補正予測精度を決定するのが、賦形時のフィルムのひずみ量とその方向である。精度の検証として、実際のフィルムのひずみを計測し、解析結果と比較した（図9）。

ゆがみ予測技術を適用した初版アウトラインと目標ラインを比較した結果を図10に示す。また、補正技術ありとなしでの目標ラインとのズレ量を数値で比較した結果を表1に示す。

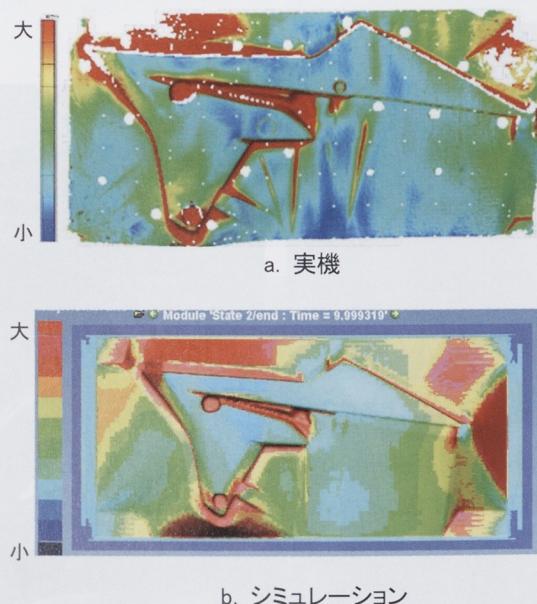


図9 フィルムひずみ比較

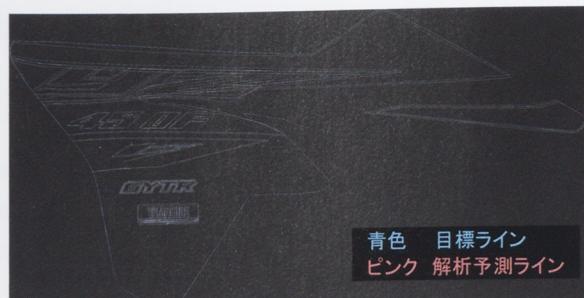


図10 シミュレーション予測と目標ライン

表1 目標ラインと実機の誤差量

評価部位	補正技術なし	補正技術あり
YZ	12mm	2mm
YAMALUBE	8mm	1.2mm
後端部	14.6mm	1.1mm

4-2. 量産適用状況

シミュレーションによる意匠補正技術の有効性が確認されたことから、YZのみならずWRにも賦形予測技術の適用が開始された。ゆがみ発生による印刷版修正回数は、インサートグラフィック工法を採用した当初の6回から大幅に削減することができた（図11）。

コンペモデルでは毎年カラーチェンジモデルが開発されることから、多くのモデルで適用されている（図12）。

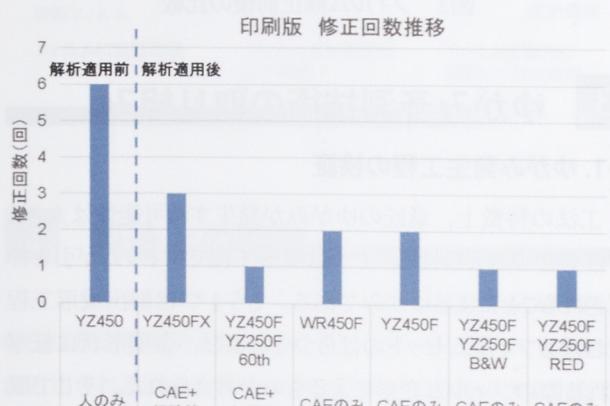


図11 印刷版修正回数推移

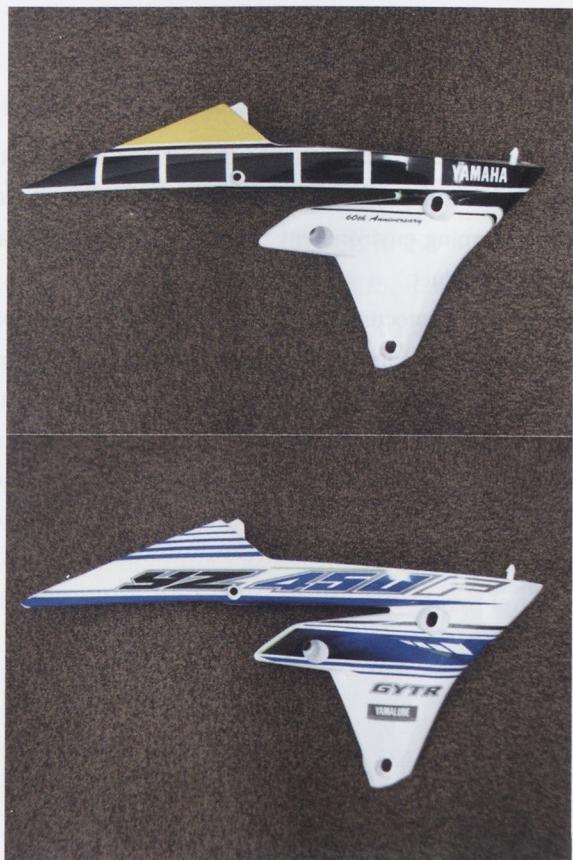


図12 インサートグラフィック適用部品事例

■著者



佐野 公大

Masahiro Sano

PF車両ユニット

コンポーネント統括部

生産技術部



大石 武司

Takeshi Oishi

EGユニット

コンポーネント統括部

材料技術部



大村 尚生

Naoki Oomura

PF車両ユニット

コンポーネント統括部

生産技術部



大城 竜伯

Tatsunori Ohshiro

PF車両ユニット

コンポーネント統括部

外装ユニット技術部

5 おわりに

賦形工程でフィルムが伸びされることによって生じる意匠のゆがみをコンピュータシミュレーションで予測できるようになり、以下の成果を上げることができた。

- ・意匠修正精度は 5% を達成
- ・意匠修正期間を 5 ヶ月（修正 5 回）から 2 ヶ月に短縮
- ・修正回数を 5 回から 1 回に短縮
- ・賦形伸び限界を事前に把握し、意匠要件の提示が可能

フィルム加飾技術は、魅力技術の向上に寄与できることから展開が期待されている。市場のトレンドに素早く対応することで、お客様のニーズに沿った商品が提案できる工法としてさらなる技術開発を進めていく所存である。

■参考文献

- [1] 新川真人：ゆがみを考慮したフィルムインサート成形プロセス時のフィルム印刷形状の予測手法、型技術者会議
2014

中村 行夫 岸部 友昭

Abstract

The main purpose of applying packaging to products is to provide protection. It is important to deliver products into the hands of customers having prevented damage during transportation. To this end, packaging specifications have been established which consider such factors as the shape of products and the shipping environment. The packaging of outboard motors is no exception, with individual specifications established for each product.

Specifications for outboard motor packaging take into account functions for protecting products from impacts, vibrations, and other external forces, and there are evaluation methods for verifying the respective functions. However, even in outboard motor packaging designed via this process, there are cases in which materials are damaged in the marketplace and protection of the product is lost. Although packaging specifications are reviewed and damage protection countermeasures are considered on such occasions, because the damage events and the logic for the countermeasures are not quantified, packaging specifications may become excessive.

Doubts then remain as to whether the specification of the countermeasures correspond to the root cause of the problem.

This report discusses initiatives which investigated the establishment of optimum packaging specifications by designing outboard motor packaging through quantification of its strength.

1 はじめに

製品を梱包する主目的は、保護性を持たせることにある。運搬中の製品損傷を防止して、お客様の手元に届けることが重要である。そのために、製品の形状・輸送環境などを考慮した梱包仕様が設定されている。船外機の梱包仕様も例外ではなく、製品別に個々の仕様が設定されている。

船外機の梱包仕様においては、耐衝撃・振動など外圧から製品を守る機能が考慮されており、それぞれの機能を確認する評価方法が存在する。しかし、このような過程で設計された船外機の梱包であっても、市場で資材が損傷して、製品の保護性が損なわれる場合がある。この時、梱包仕様を見直して損傷を防ぐ対策を検討するが、損傷事象と対策ロジックが定量的になっていないため、過剰な梱包仕様になる場合がある。これは、本質的な原因に見合った対策仕様になっているか疑問となって残る。

本稿では、船外機の梱包強度を定量化して設計することで、最適な梱包仕様設定を追及した取り組みを紹介する。

2 船外機梱包の仕様と破損

2-1. 船外機の梱包仕様

船外機の代表的な梱包仕様には、スチール枠を主体とした仕様と発泡スチロールを主体とした仕様が存在するが、当社では、スチール仕様を主体に製造している（図1）。



スチールケース仕様(4st:30~350ps, 2st:115~300ps)

図1 船外機梱包のスチール仕様



図2 製品と梱包資材の固定部位

製品と梱包資材の固定部位を図2に示す。船外機は舟艇に取り付けて使用するため、自立することができない。またパワーヘッドが上部に位置するため、横倒しの状態の重心バ

ランスが一方に偏る。加えて、舵切り旋回方向に首を振る力が自重で働く。これらのことから、船外機の梱包仕様は製品を固定することが第一に重要となる。

2-2. 梱包の破損

規定の梱包評価基準を合格した仕様であっても、市場で梱包資材が破損する場合がある。また、この時の破損が製品まで影響を及ぼす場合がある。図 3-1 および 3-2 に梱包仕様の変更が必要となった事例を示す。



図3-1 梱包資材破損による製品破損

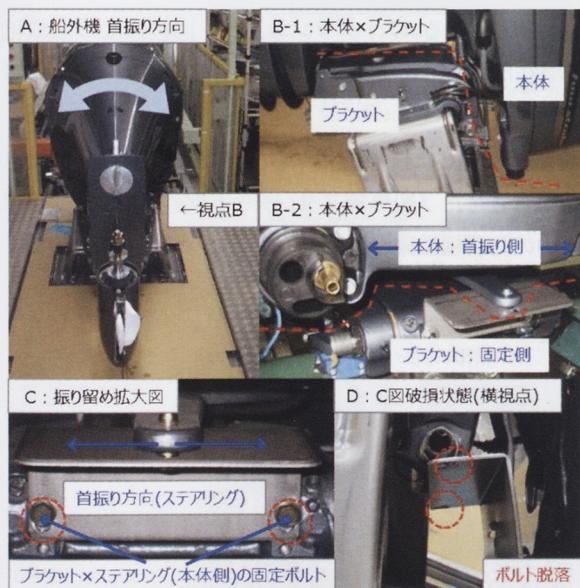


図3-2 船外機振り留め資材の破損

この事例は、スチール枠に樹脂カウリングが干渉して傷が付いている。干渉に至ったのは、船外機の舵切り方向の首振りを留めるボルトが緩み・脱落したことによる倒しになつたためである。梱包評価基準は市場の物流環境を考慮した設定しているが、明らかにイレギュラーではない荷扱いが原因で破損が生じている場合は、梱包仕様の見直し、対策が

必須となる。梱包仕様の対策を検討する際、破損が生じた原因を定量的に解明して、そのメカニズムと対策の根拠を導く必要があると考えた。

3 梱包強度の定量化

3-1. 梱包破損現象の再現

市場で発生した梱包資材破損の原因を解明するために、梱包強度を定量化した過程を説明する。



図4-1 加速度とトルクの測定箇所

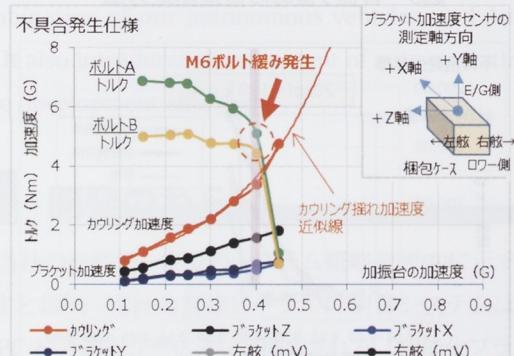


図4-2【不具合発生仕様】加速度とトルク変化の関係

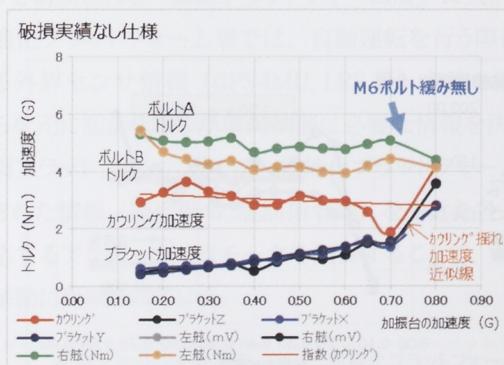


図4-3【破損実績なし仕様】加速度とトルク変化の関係

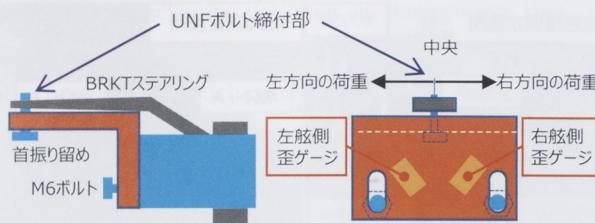
最初に、振動試験機を用いた事前評価を行った。この共振点評価から破損した梱包仕様の固有振動数は 5Hz ということがわかった。次に、共振周波数を固定してボルト緩みの再現を試みた（図 4-1）。図 4-2 に示すとおり、加振強度（加速度）を徐々に変化させる過程で、市場同様の首振り留めのボルト緩みが確認できた。

また、市場における破損実績のない梱包仕様で同様の評価を行ったが、ボルトの緩みは発生しなかった（図4-3）。

3-2. 加速度の変化に対する梱包資材荷重の変化

振動試験機による再現評価から、加振周波数5Hz・加振加速度0.4Gでボルト緩みが発生することが把握できた。その時、首振り留めに発生する荷重を測定した（図5）。

測定箇所略図



ゲージ貼付け部の歪より測定、UNFボルト部荷重を換算した。

図5 首振り留めの荷重測定方法

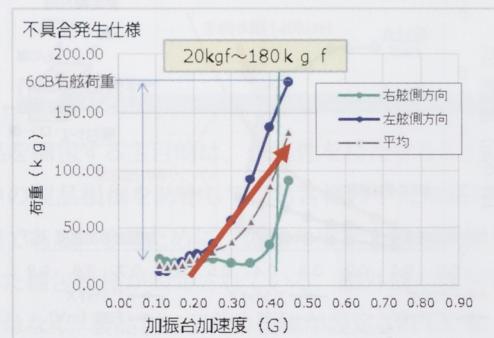


図6【不具合発生仕様】加速度と荷重変化の関係

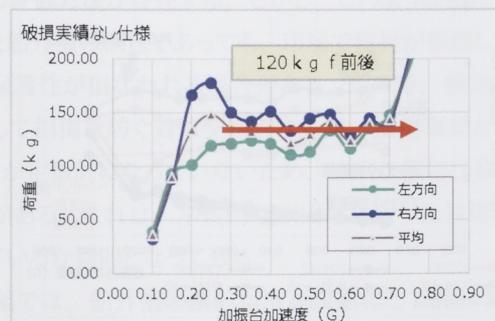


図7【破損実績なし仕様】加速度と荷重変化の関係

測定の結果、加速度と荷重は比例の関係があり、緩みが発生した加速度域まで上昇するにつれて荷重も上昇していることがわかった（図6）。

また、市場における破損実績のない梱包仕様で同様の試験を実施したが、加速度の上昇によって荷重が変化すること

はなかった（図7）。

この理由として、破損実績がない梱包仕様のプラケットが、問題のあった仕様に比べて柔軟性を持っていることから、振動による荷重を分散して、首振り留めボルトに荷重が集中しないメカニズムであることがわかった。以上により、ボルト緩みが発生する状態における梱包強度（加振周波数と荷重）の定量化を実現した。また、資材に柔軟性を持たせて荷重を分散させる考えを問題の梱包仕様に織り込むことで、最適な梱包仕様を設定することができるようになった。共振点評価においても、ボルト緩みがないことを確認した。

4 おわりに

市場の物流環境を全て定量化して、評価基準に展開することは極めて困難なことである。しかし、我々が設計した梱包仕様の強度を定量的に把握・データベース化することは重要である。なぜなら、市場で問題があった場合に確実な対策仕様を迅速に設定することができるとなり、過剰品質にならない最適な仕様設計により、梱包資材のコストアップを避けられるからである。

現在、船外機の梱包強度を定量化した案件は、ほんの一部に過ぎない。この活動を拡大することで、過剰品質箇所の仕様見直しによるコストダウンおよび、梱包強度の定量化による潜在的強度不足箇所の抽出・改善を実現したいと考える。

将来、蓄積した技術情報から、市場の物流環境と梱包強度を整合させた『船外機スタンダード梱包仕様』を確立し、世界中のお客様に確かな商品を届けていきたい。

■著者



中村 行夫

Yukio Nakamura

マリン事業本部

ME事業部

ME製造部



岸部 友昭

Tomoaki Kishibe

マリン事業本部

ME事業部

ME製造部

自律ビークルの知能化プラットフォーム開発 -ROS, Autoware の活用 -

Intelligent Platform Development for Autonomous Vehicles
- Utilization of ROS and Autoware -

難波直樹 藤井北斗 張炎甫 神谷剛志

Abstract

Yamaha Motor Co., Ltd. has for some time continued research into autonomous vehicles that can perform surveying and monitoring work outdoors, removing the need for human operation. This autonomous vehicle control systems consist of intelligent technology-based PCs including functionality for autonomous control of the vehicle, and multiple ECUs (Electronic Control Units) which take instructions from the PCs to control throttles and brakes etc. via actuator motors.

This research regarding autonomous vehicles has led to a range of intelligent technology developments, such as in route searching, recognition of the environment surrounding the vehicle, and self-positioning estimation capabilities. However, in terms of operational checks and evaluations of each type of elemental technology, with increasing requirements to suit each such as software development, longer development periods and increased development costs are an unavoidable issue. In this regard, in order to improve the speed of development for autonomous vehicles for research use, it is critical to construct software development systems that can work with a range of intelligent technologies.

This report introduces auto-operation achieved through a combination of our autonomous vehicles, and Autoware developed based on Robot Operating Systems (hereafter "ROS"). It also introduces development of auto-operating platforms using ROS, which have the objective of improving software development efficiency.

1 はじめに

ヤマハ発動機（以下、当社）ではこれまで、屋外で人の代わりに測量や監視などを行う自律ビークルの研究を進めてきた^{[1][2]}。当社の自律ビークルの制御システムは、車両の自律制御を行う機能を搭載した知能化PCと、PCからの指示でスロットルやブレーキなどをアクチュエータモータによって制御する複数のECU（Electronic Control Unit）から構成されている。

このような自律ビークルの研究において、知能化技術として開発すべきものは、経路探索や車両の周辺環境認識、自己位置推定等様々である。また各要素技術の動作確認や評価においても、それに応じたソフトウェア開発が必要になるなど、開発期間の長期化および開発コストの増加は避けられない問題である。そのため、研究用自律ビークルの開発速度向上のためには、様々な知能化技術に対応したソフトウェア開発体制の構築が重要となる。

本稿では、ソフトウェア開発効率の向上を目指して行ったRobot Operating System（以下、ROS）対応自動運転プラットフォームの開発について紹介する。また、同じくROSベースで開発された自動運転用ソフトウェアAutowareと当社の自律ビークルを組み合わせて実現した自動運転について紹介する。

2 開発のねらい

当社の自律ビークルのシステム概略を図1に示す。図に示すとおり、当社の自律ビークルの制御システムは、高性能PCや各種センサによって構成される「知能化プラットフォーム層」と、リアルタイム性や信頼性が高い組込みECUによって構成される「車両プラットフォーム層」に大別できる。知能化プラットフォーム層では、自動運転を行う際に必要となる外界センサ情報（GPS-IMU, LRF等）を取り込み、それらを元に知能化PCが車両制御に必要な情報を決定する。車両プラットフォーム層では、知能化プラットフォーム層で決定された情報（速度指令、旋回指令等）を受けた各ECUが、対応するアクチュエータモータを制御することで、実際の車両挙動に反映していく。

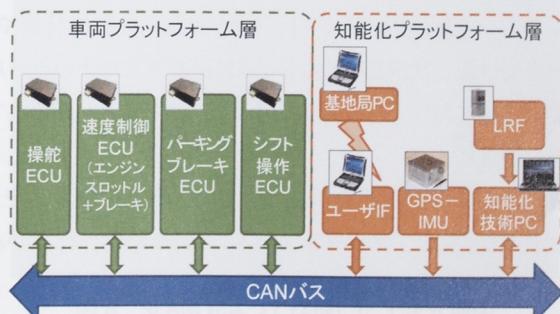


図1 自律ビークルのシステム概略

ここで知能化 PC が要求される機能は様々である。自動運転を行うために必要となる要素技術と、必要なセンサ情報の主な例を表 1 に示す。

表 1 知能化技術の主な例

知能化技術	必要なセンサ
自己位置推定	GPS, IMU, Camera, LiDAR
経路生成	GPS, Map
経路探索	Camera, LiDAR
経路追従	GPS, LiDAR
周辺環境認識（人、障害物）	Camera, LiDAR
地図生成	GPS, LiDAR, IMU

これらの機能の実現には、複数のセンサ情報を用いる必要がある。また、高度かつ安全性の高い自動運転を実現するためには、これらの各機能で得られた処理結果を統合して取り扱うことが重要となる。しかし、実際の開発過程においては、開発環境の違いや、各要素技術が別々のシステムとして稼動する、別々の PC 上で稼動している等、統合に際して大きな労力が必要となることも珍しくない。

そこで、開発効率の向上を進めるにあたって、ROS に対応した自動運転プラットフォームを構築することを目指した。

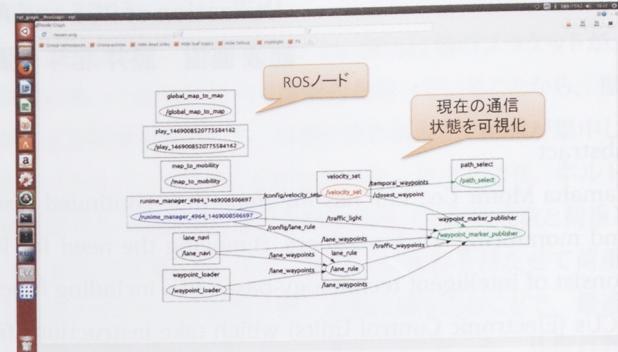
3 自動運転プラットフォームの開発

3-1. ROS の概要と特徴

ROS は、Robot 開発を目的として作られたオープンソースソフトウェアである。デバイス制御、プロセス間通信といった一般的なオペレーティングシステムに要求される機能が用意されている。当社を含め、自律ビークルは基本動作を各アクチュエータモータ制御によって行うことから、その特性上 ROS との親和性が高いことが知られている。

ROS の特徴は、研究開発におけるコードの再利用性が高い点にある。ROS は各プログラムを個別に設計、実行することが可能なため、共有や配布することが容易な構造となっている。様々な研究者が ROS 用ライブラリを提供・配布しており、それらを活用することでより開発効率を高めることが可能である。また、ノード（実行プログラム）の通信状態や、データ受け渡し状況をリアルタイムに確認するためのツールも提供されており、プログラム可読性も高いことが知られている（図 2）。

欠点としては、現状 Linux ベースのプラットフォームでしか動作しないこと、オープンソースであるため動作保証が必ずしも十分ではないことが挙げられる。



これらをふまえ、当社で開発する自動運転プラットフォームにおいても、ROS を用いることで開発効率の向上や、外部研究機関や大学等で開発されている最先端のリソース活用が見込まれることから、ROS 対応自動運転プラットフォームの構築に取り組んだ。

3-2. ROS対応自動運転プラットフォーム

図 3 に ROS 対応自動運転プラットフォームの概要を示す。当社の ROS 対応自動運転プラットフォームは、車両プラットフォームと知能化プラットフォームとによって構成されている。

車両プラットフォームとは、外部コントローラからの速度指令、旋回指令に従い走行する当社独自のバイワイヤ車両のことである。車両プラットフォームは、MBD（Model Base Design）対応の AUTOSAR 規格をベースにした独自開発 ECU を採用しており^[3]、ソフトウェア機能の追加やチューニングを容易に行うことができる。具体的には、リアルタイム OS として TOPPERS / ATK2^[4] を搭載しており、その上で Simulink^[5] によって開発した車両制御モデルが動作する。この ECU のさらなる機能拡張として、ECU の ROS ノード化を実現した。車両プラットフォームの ROS 対応機能の一覧を表 2 に示す。これらの機能によって、ROS の通信機能を介した車両制御が可能となり、開発期間短縮を図ることができた。また、車両プラットフォームと ROS との相互異常監視機



能を搭載した。これにより自動運転の信頼性向上に役立つと考えている。

知能化プラットフォームとは、運転に必要な認知・判断・操作を操縦者に代わって行う機能である。当社では、知能化プラットフォームとして、Autoware を採用した。Autoware について以下で詳細に説明する。

表 2 車両プラットフォーム ROS 対応機能一覧

機能名（用途）
ROS Topic 購読（速度指令などの受信）
ROS Topic 配信（車両状態量フィードバックなどの送信）
ROS 内部 Service 実行
ROS 外部 Service 実行
外部 ROS ノードと AUTOSAR OS 間の相互異常監視

4 知能化プラットフォーム

「Autoware」による自動運転

4-1. Autoware概要

Autoware は、名古屋大学、長崎大学、産業走行技術研究所らが研究開発向けに作成した自動運転システム用オープンソースソフトウェアである。ROS をベースに作成されており、各種外界認識センサとの接続や自動運転に必要な基本機能が実装されている。地図や走行経路等の事前情報を入力することで、主に公道上での自動運転を実現している。Autoware の基本機能の一覧を表 3 に示す。

表 3 Autoware の基本機能

車両動作	環境認識
3 次元自己位置推定	車両
3 次元地図生成	歩行者
経路生成・追従 (0-60km/h)	レーン情報
交差点右左折/一旦停止	交通標識・路上サイン
自動停止	信号
自動駐車	移動体追跡

Autoware の特徴は、自動運転に必要な認知・判断・操作といった各機能が、GUI 上の操作で簡単に実行できる点である。例えば前方歩行者検出を行いたい場合、PC にカメラを接続し、必要なタブをクリックするのみで歩行者検出を行うことができる。その他にも、自動運転を行うための各機能が実装されている（図 4）。

従来の自動運転ではこの認知・判断・操作といった各機能は、基本的に高性能 PC を使って行うことがほとんどであるが、Autoware は車載対応も進んでいる。具体的には、車載用 GPU 搭載 ECU である、Nvidia 社の Drive PX^[6] 上で

の動作対応が進んでいる。Drive PX では、車両から供給される数十 W 程度の電力供給で、自動運転に十分な計算パワーを得ることができる。

当社自動運転プラットフォームも、車載 ECU として Drive PX を採用することで、知能化プラットフォーム機能の車載化を実現している。



図 4 Autoware インターフェース例

4-2. Autowareによる自動運転

図 5 に、当社の自動運転プラットフォームを用いて自動運転を行った際のオペレーティング画面を示す。また、図 6 に走行時に使用した 3 次元地図を示す。まず、SLAM

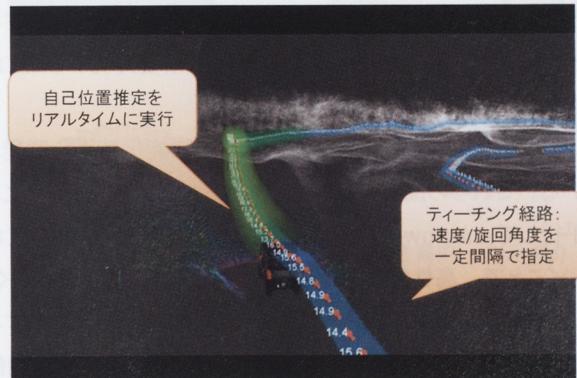


図 5 Autoware オペレーティング画面



図 6 SLAM によって作成した 3 次元地図

(Simultaneous Localization And Mapping) と呼ばれる手法で走行環境の 3 次元地図を作成する。また、その地図上における目標経路情報も合わせて作成する。この地図情報と、走行中に得られる LiDAR 情報をリアルタイムで照合することで、現在の車両位置を推定する。推定された自己位置と、経路情報から車両速度、操舵角を制御することで、自動運転を実現している。また、カメラと LiDAR の情報から、前方の障害物認識および障害物までの距離推定を同時に実行している。進路上に人や車両がある場合は、自動停止を行う。

当社で開発した ROS 対応自動運転プラットフォームを活用することで、わずかな期間でセッティング～自動運転可能な状態にもっていくことができ、自律ビーカルと Autoware の統合並びに実車両での自動運転を実現することができた。

5 おわりに

本稿では、ROS 対応自動運転プラットフォームの開発と、自動運転システム用オープンソースソフトウェアである Autoware を活用した自動運転について紹介した。

具体的には、自律ビーカル用ソフトウェア開発に ROS を導入、プラットフォーム化することで、外部研究機関や大学等で開発されている最先端の自適運転技術の社内取り込みが容易に行えるようになった。その一例として、ROS をベースとした自動運転用ソフトウェアである Autoware を利用することで、より短期間で実車両での自動運転を実現することができた。

現在 ROS をベースにした当社独自の知能化技術を開発している。これらの開発技術を用いて自動運転を実現することと平行して、Autoware を用いて自動運転の実績を積み重ねていくことで、高性能な自動運転の早期実現を目指していく。

将来的には ROS を通してシステム全体の状態を監視することができるよう、機能安全を考慮した ECU の監視機能の実装を視野に入れて開発を進めていきたい。

■謝辞

本開発にあたり多大なご協力をいただいた名古屋大学情報科学研究科情報システム学専攻の加藤真平先生、並びに株式会社永和システムマネジメント 組込み技術センターの高橋修氏、森崇氏、中垣内勇祐氏に厚く御礼申し上げます。

■参考文献

- [1]石山健二、神谷剛志:ロボットカーによる建設現場における無人測量、および経路追従制御のための位置・姿勢推定技

術;ヤマハ発動機技報 2008-12 No.44

[2]平松裕二、藤井北斗、神谷剛志、望月靖之、大沼和樹:無人車開発用環境シミュレータの開発;ヤマハ発動機技報 2013 No.49

[3]藤井北斗、神谷剛志:自律ビーカル用ECUソフトウェアの高速開発技術について;ヤマハ発動機技報 2014-12 No.50

[4]TOPPERS/ATK(Automotive Kernel)は、TOPPERSプロジェクトで公開している自動車制御用リアルタイムOSの総称TOPPERSは、TOPPERS プロジェクトの商標

[5]SimulinkはMathworks社の商標

[6]Drive PXはNvidia社の商標

■著者



難波直樹
Naoki Namba
技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部



藤井北斗
Hokuto Fujii
技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部



張炎甫
Zhang Yanfu
技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部



神谷剛志
Tsuyoshi Kamiya
技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部

赤穂 夏来 茂木 卓也 原田 久

Abstract

In recent years, there have been on-going demands to reduce the amount of harmful substances in the atmosphere from the viewpoints of atmospheric environmental protection and health hazard prevention. Consequently, high environmental performance demands are also made of motorcycles. In order to clean up the regulated substances in exhaust emissions, there is now an urgent need to improve the performance of three-way catalysts used in motorcycles. Emission regulations have become stricter even in the ASEAN region - where unit sales of motorcycles are concentrated - driving an increase in the usage level of three-way catalysts. However, this has led to the reduction of the amount of precious metals and rare earths used becoming a critical issue.

When three-way catalysts are exposed to exhaust emissions at high temperatures for extended periods, deterioration by heat of the catalyst material occurs. The cleaning performance of the catalyst is significantly decreased due to sintering of the precious metal and the co-catalyst due to this heat. It is important to prevent this sintering in order to reduce the amount of precious metals and rare earths used.

We have therefore developed a co-catalyst material for improved heat resistance, and started the mass-production of a new three-way catalyst.

1 はじめに

近年、大気環境保護や健康被害防止の観点から、大気中の有害物質の削減が求められている。そのため、二輪車においても、高い環境性能が求められており、排出ガス中の規制物質を浄化するための三元触媒の性能向上が急務になっている。二輪車の販売台数が集中しているアセアン地域においても、排出ガス規制が強化されたため、三元触媒の使用量が増大しており、貴金属やレアアース使用量の削減が重要な課題になっている。

三元触媒は高温の排出ガスに長期間さらされると、熱による触媒材料の劣化が生じる。熱による貴金属や助触媒のシンタリングが生じることにより、触媒の浄化性能が著しく低下する。貴金属やレアアースの使用量を削減するためには、このようなシンタリングを防止することが重要である。

そこで、耐熱性向上のための助触媒材料の開発を行い、三元触媒の量産を開始した。

2 助触媒開発の方策

二輪車用触媒の構造を図1に示す。メタルハニカムの箔の表面に浄化成分である触媒膜を塗布したものであり、触媒膜は Al_2O_3 や CeO_2 等のセラミックス系助触媒材料にPt・Rh・Pd等の貴金属を担持した粉末で構成される。排出ガス成分の浄化反応は貴金属の表面で起こるため、高い触媒活性を得て、長期にわたりその活性を發揮するには、貴金属

を微細化しその状態を保持する必要がある。つまり、シンタリングによる表面積低下を抑制する必要がある。

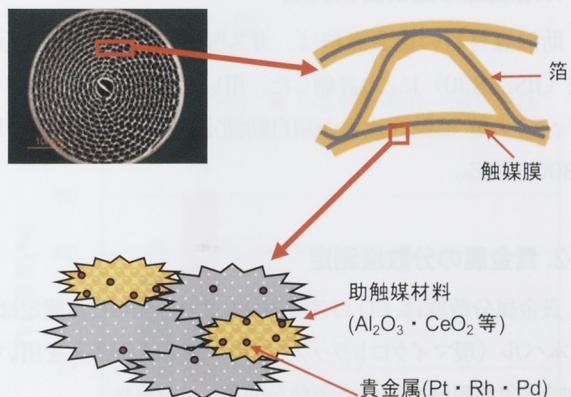


図1 三元触媒の構成

Nagaiら^[1]は、貴金属と助触媒の間の相互作用を強化することにより化学的に貴金属が動きにくくする方法でシンタリングの防止ができるることを報告している。一方、赤峰ら^[2]は、助触媒中に貴金属を埋め込むことにより、物理的に貴金属が動きにくくする方法でシンタリングの防止ができるこ

告している。また、助触媒材料のうち、 CeO_2 は酸素貯蔵能（Oxygen Storage Capacity、以下、OSCと略する）を担い、排出ガス浄化触媒には必要不可欠である。酸素貯蔵反応も浄化反応と同様に表面で起こるため、 CeO_2 のシンタリングによる表面積低下を抑制する必要がある。Matsumotoら^[3]は、

CeO_2 の耐熱性を向上させるには ZrO_2 や La_2O_3 を添加することが効果的であることを報告し、須田ら^[4] は、 CeO_2 と ZrO_2 の組成比によって OSC が変化することを報告している。

本報告では、貴金属のシントリシング防止と OSC の両立を目的として、 $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ を耐熱性の高い Al_2O_3 材料で包みこんだ助触媒材料を作製し、そのシントリシング特性と OSC 特性および排ガス浄化特性を評価した結果について述べる。

3 助触媒材料選定

はじめに、試験に用いる助触媒の化学組成を検討した。

まず、 CeO_2 と ZrO_2 の割合を変えたときの OSC の評価を行い、OSC が最大となる組成比を求めた。

次に、選定した組成比の $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ 固溶体を核として、熱劣化試験後の粒子の比表面積が $60\text{m}^2/\text{g}$ 以上になるように Al_2O_3 の添加量を決定した。

比較対象として、市販の $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ 固溶体を用いた。

4 試験方法

4-1. 助触媒の比表面積測定

助触媒材料の比表面積は、ガス吸着法による BET 一点法 (JISZ8830) により評価した。用いた装置はマイクロメリティックス製 流動式比表面積自動測定装置 フローソーブ II 2300 である。

4-2. 貵金属の分散度測定

貴金属分散度は、CO ガス吸着法により評価した。測定は、日本ベル (現マイクロトラック・ベル) 製 BELCAT-A を用い、触媒学会参考触媒部会の条件を準用して行った。

4-3. OSC評価

評価サンプルとして、径 30mm・長さ 30mm・セル数 300 セルのメタルハニカムに、触媒材料を塗布したものを用意し、評価は堀場製作所製 触媒評価装置で行った。リッチガス (CO 2%・N₂ 98%) と、リーンガス (O₂ 1%・N₂ 99%) を、流量 23.3L/min で 10s ずつ交互に流通させ、このときの、触媒に流入するガスと触媒から排出されるガスの酸素量の差を OSC とした。反応ガスは、堀場製作所製 自動車排ガス測定装置 MEXA7170H で測定した。

4-4. 実車評価

Euro3 規制対応の 125cc 強制空冷エンジンの車両を用

い、UDC モードで走行し、EU3 モード排出量を測定した。測定は、小野測器製シャシダイナモーター (37kW) によって行い、排出ガスは堀場製作所製自動車排ガス測定装置 MEXA-7200 で測定した。

4-5. 热劣化試験

熱劣化特性を評価するために、堀場製作所製 触媒高速寿命試験機を用いて、台上での熱劣化試験を行った。これは実車の排ガスを模擬したガスを触媒に流通させながら電気炉にて加熱する設備である。熱劣化試験は表 1 に示す 3 水準で行った。

表1 热劣化試験条件

水準	温度	時間	雰囲気 ^{*1}	
			リッチガス	リーンガス
1	800°C	1h	CO 5%, H ₂ O 20%, N ₂ 76%	CO 5%, O ₂ 7%, H ₂ O 20%, N ₂ 69%
			リッチガス	リーンガス
2	925°C	2h	CO 2%, H ₂ O 27%, N ₂ 71%	CO 2%, O ₂ 2%, H ₂ O 26%, N ₂ 26%
			リッチガス	リーンガス
3	925°C	5h	CO 2%, H ₂ O 27%, N ₂ 71%	CO 2%, O ₂ 2%, H ₂ O 26%, N ₂ 26%
			リッチガス	リーンガス

*1 リッチガス、リーンガスは 5 分ごとに切り替える

5 結果

5-1. 比表面積評価

まず、 Al_2O_3 、 $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2\text{-ZrO}_2$ の温度に対する比表面積の変化を調査した。熱劣化試験は空気中、電気炉加熱で行い、任意の温度で 2 時間保持した。図 2 に熱劣化試験温度ごとの比表面積を示す。高耐熱性の序列は Al_2O_3 、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2\text{-ZrO}_2$ 、 $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ の順であり、いずれの材料も比表面積は 800°C 付近で急激に低下した。また、比較対象の $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ は $30\text{m}^2/\text{g}$ まで低下することがわかった。

この結果を元に、表 1 で最も厳しい条件である水準 3 での熱劣化試験後の比表面積が $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ の 2 倍の $60\text{m}^2/\text{g}$ になるように、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2\text{-ZrO}_2$ 中の Al_2O_3 添加量の検討を行うこととした。

5-2. 材料選定

図 2 に示すように、 Al_2O_3 は $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ に対して耐熱性が高いが、OSC は有さない。一方、 $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ は OSC を有するが、 Al_2O_3 に対して耐熱性が低い。

排出ガス浄化触媒にとって、OSC は必要な機能であるため、まず、 Al_2O_3 含有割合を 50% に固定し、 CeO_2 と ZrO_2

の比を変えることにより、OSC が最大になる $\text{CeO}_2/\text{ZrO}_2$ 比を選定した。図 3 に、 CeO_2 と ZrO_2 の比を変えたときの、新品および表 1 に示す水準 3 で熱劣化試験後の 300°C における OSC の変化を示す。 $\text{CeO}_2 : \text{ZrO}_2$ 比が 50 : 50 のとき OSC は最大となり、須田ら^[4] の報告と傾向が一致していた。

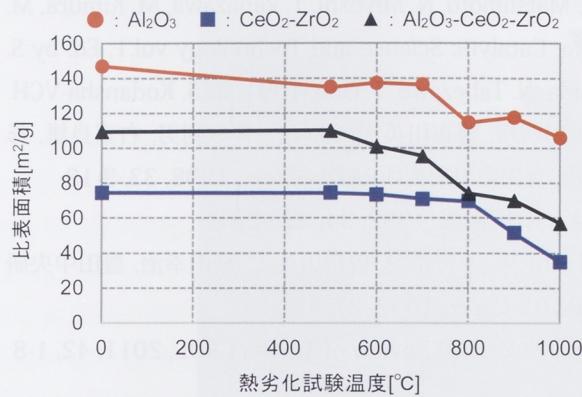


図2 热劣化試験温度上昇に伴う比表面積の変化

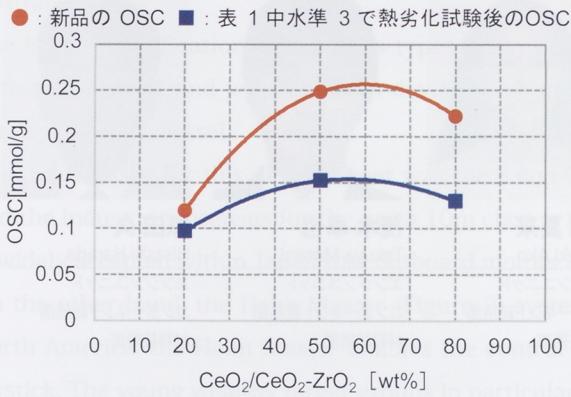


図3 CeO_2 濃度とOSCの関係

次に、 $\text{CeO}_2/\text{ZrO}_2$ 比を 50 : 50 に固定し、 Al_2O_3 と $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ の比を変え、表 1 に示す水準 3 での熱劣化試験後の比表面積値により組成を選定した。図 4 に Al_2O_3 添加量を変えたときの比表面積および OSC の変化を示す。 Al_2O_3 添加量が 45% 以上の範囲で比表面積が $60\text{m}^2/\text{g}$ 以上を保持できることがわかった。

以上の結果より、熱劣化試験後の比表面積が $60\text{m}^2/\text{g}$ 以上となる組成の中で、OSC が最大となる組成として、 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{CeO}_2 : \text{ZrO}_2 = 50 : 25 : 25$ の組成比を選定した。

さらに、材料の耐熱性を向上させるために^{[5][6]}、 Al_2O_3 に La_2O_3 、 $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ に La_2O_3 、 Nd_2O_3 を添加した。この材料と比較対象の $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ 材の評価を実施した。

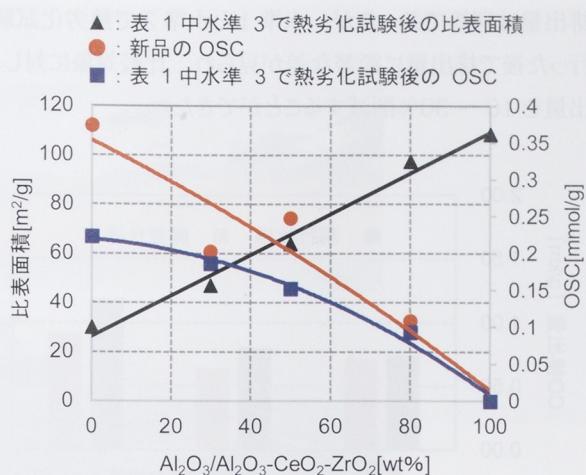


図4 Al_2O_3 添加量に対する比表面積およびOSCの変化

5-3. 金属分散度評価

評価サンプルは、ジニトロジアミン白金硝酸溶液を用い、含浸法にて、助触媒粉末に対し 0.6wt% 担持させて調整した。Pt 担持材料は、表 1 に示す水準 1 と水準 2 で劣化させた。図 5 に Pt 分散度の変化を示す。いずれの状態でも $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2\text{-ZrO}_2$ に担持した材料が、 $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ に担持した材料に対し、分散度が高かった。

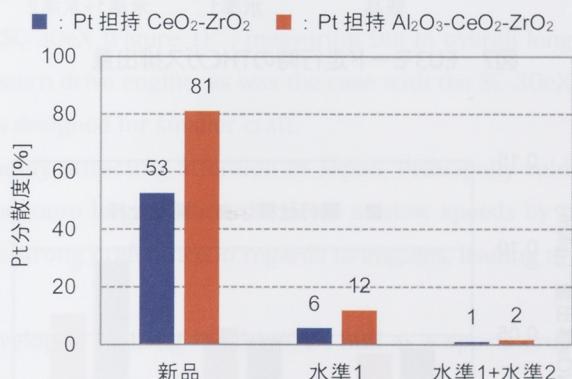


図5 Ptの分散度

5-4. 実車評価

開発した助触媒材料を用いて Pt・Rh 2成分系の触媒を調整し、実車評価を行った。Rh は ZrO_2 系酸化物に担持したほうが良好な活性が得られることが知られているため^[7]、今回は $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ に担持した材料を使用した。また、比較対象は現行仕様とし、貴金属担持量は比較対象に対し、Rh は同等、Pt は 40% 削減した量とした。

図 6～8 に、現行仕様および開発仕様の「新品」および「水準 1」、「水準 1 と水準 2」で熱劣化試験を行った触媒のモード走行時の CO、THC、NOx の排出量を示す。新品触媒

の排出量は同等であったが、水準1と水準2で熱劣化試験を行った後で排出量に顕著な差が見られ、比較対象に対し、排出量を10～30%削減することができた。

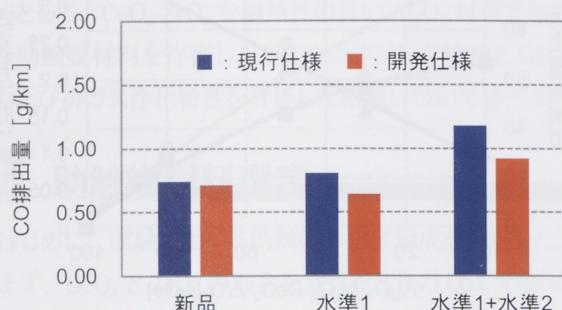


図6 モード走行時のCOガス排出量

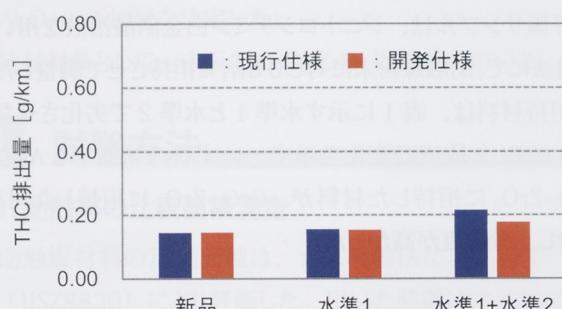


図7 EU3モード走行時のTHCガス排出量

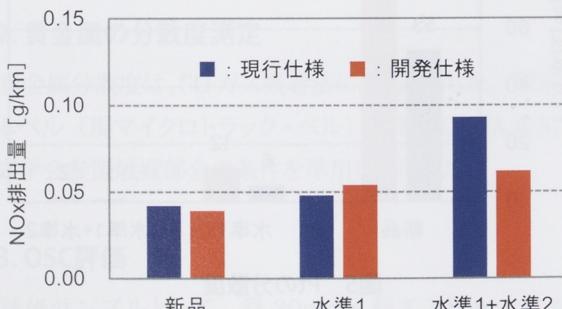


図8 EU3モード走行時のNOxガス排出量

■参考文献

- [1] Y. Nagai, T. Hirabayashi, K. Dohmae, N. Takagi, T. Minami, H. Shinjoh, S. Matsumoto, J. Catal., 2006, 242, 103-109
- [2] 赤峰真明, 岩国秀治, 國府田由紀, 住田弘祐, 重津雅彦, 高見明秀, マツダ技報, 2012, 30, 224-228
- [3] S. Matsumoto, N. Miyoshi, T. Kanazawa, M. Kimura, M. Ozawa, Catalytic Science and Technology vol.1, Ed. by S. Yoshida, N. Tabezawa, T. Ono, 1991, 335, Kodansha-VCH
- [4] 須田明彦, 曾布川英夫, 鈴木正, 神取利男, 右京良雄, 杉浦正治, 豊田中央研究所R&Dレビュー, 1998, 33, 3-12
- [5] 村木秀明, 触媒, 1992, 34, 225-231
- [6] 小澤正邦, 木村希夫, 曾布川英夫, 横田幸治, 豊田中央研究所R&Dレビュー, 1992, 27, 43-53
- [7] 新庄博文, R&D Review of Toyota CRDL, 2011, 42, 1-8

■著者



赤穂 夏来

Natsuki Ako

エンジンユニット
コンポーネント統括部
材料技術部

茂木 卓也

Takuya Motegi

エンジンユニット
コンポーネント統括部
材料技術部

原田 久

Hisashi Harada

エンジンユニット
コンポーネント統括部
材料技術部

6 おわりに

今回開発した、耐熱性を向上させた助触媒材料を用いた触媒は、現行仕様に対し耐久性能を向上させることができ、貴金属使用量を削減できる見込みを得た。本仕様の触媒はインドネシアにおいて量産を開始した。

排出ガス規制は今後も強化し続ける。触媒のさらなる性能向上を目指し、地球環境の保全および貴金属等の資源の枯渇防止に貢献したいと考える。

福山 美洋



Abstract

The broad classifications of engines types in typical pleasure craft include inboard engines, stern drive engines, outboard motors, and jet propulsion devices. The most appropriate propulsion system is determined based on the concept for each vessel.

The predecessor for this development was the Salon Cruiser "SC-30eX (Figure 1)" , measuring 9m in overall length, and the industry consensus for the up to 10m class is to use a stern drive engine, as was the case with the SC-30eX. It is widely accepted within Japan that outboard motors = engines designed for smaller craft.

On the other hand, the Helm Master (Figure 2) system is steadily attracting attention in Japan. Principally sold in North America, the Helm Master enables the control of two or more large outboard motors at slow speeds by one joystick. The young wealthy target groups in particular have no strong preference in regards to engines, leading to an increasing number of users who are not bound to past norms.

In order to create a new target market, the SR320FB was developed utilizing the SC-30eX hull as a sports cruiser featuring two outboard motors + the Helm Master system.

1 はじめに

一般的なプレジャーボートのエンジン種類は、「船内機」「船内外機」「船外機」「ジェット推進器」に大別され、その艇のコンセプトにより、どの推進器が最適かを判断して設定される。

本開発艇の前身は全長 9m のサロンクルーザー「SC-30eX (図 1)」であるが、業界常識としてこのクラスの 10m 未満は「船内外機」を搭載するというのが一般的であり、SC-30eX も同様である。また、「船外機=小型艇へ搭載するエンジン」というイメージが日本国内では定着している。

片や、北米を中心に展開している、大型船外機 2 機掛け以上を用いてジョイスティック 1 本で低速操船できる「ヘルムマスター」(図 2)の話題が日本国内でも高まるとともに、特にターゲット層の一つである若年富裕層などは、エンジンに対するこだわりが少なく、過去の常識に捉われない人も増加してきた。

そこで、新領域の需要層を獲得すべく、SC-30eX の艇体を活用し、船外機 2 機+ヘルムマスター搭載のスポーツクルーザーとして「SR320FB」の開発に着手した。



図1 SC-30eX



図2 ヘルムマスター

2 開発コンセプト

SC-30eX はラインナップとして継続されるため、その外観や船体構造、仕様の多くを共用する SR320FB では、推進器の特徴を活かして、SC-30eX との商品性の違いを明確にしなければ新しい顧客を獲得することができず、また自社競合してしまう恐れがある。そこで既存艇との差別化にも留意しつつ、3 つの項目を開発コンセプトに掲げた。

- 高出力船外機2 機掛けによる、クラストップの速力性能
- ヘルムマスターの能力が最大限に発揮できるエンジン
ブラケットの形状開発
- 船内外機艇とは異なる魅力を持った後部デッキレイアウツの実現

SC-30eX は、上質な室内空間や豪華な装備が特徴であるが、SR320FB では、室内で寛ぐことよりも操船することに楽しみを求める比較的アクティブな若い顧客層をターゲットとし、求めやすい価格設定として、装備も見直しを図った。これら2 艇の主要諸元と主要標準装備品の違いを表1 に示す。

3 開発の取り組み

3-1. 高出力船外機2 機掛けによる、クラストップの速力性能

ヘルムマスターは、ヤマハ船外機 165.5kw (225 馬力) × 2 以上の出力が対象の操船制御システムである。つまり最低でも 331kw (450 馬力) となり、高出力船外機を搭載できるスペックを持つハル（船底形状）であることが前提である。

SC-30eX は元々高速型のハルとして設計されており、今回の開発に最適な条件を備えている。SR320FB では、183.9kw (250 馬力) × 2 機掛けを選択し、最高速は 71.3km/h (38.5kt) に達し、SC-30eX との速力差は 6.9km/h (3.7kt) にもなった。これは速力的な優劣というよりも、ランニングコスト重視で高速力を必要としない嗜好のお客様はディーゼルエンジンの SC-30eX、波の穏やかな海面で爽快なスピードでの操船を楽しむなら SR320FB という選択肢ができたことになる。

なお、ランニングコスト比較では、ガソリンはディーゼルにかなわないものの、SR320FB では、構造内空間を最大限活用して燃料タンクを 800L に増量した（表1 参照）。最も燃費効率の良い速度域で走ったと仮定すれば、SC-30eX と同等の約 460km という航続距離を得ることができる。

表1 主要諸元・装備品

	SR320FB	SC-30eX
エンジン含む全長	10.49m	9.78m
全幅	3.20m	3.20m
完成重量	4,665kg	5,065kg
搭載エンジン	ヤマハ F250DE/FL250DE	VOLVO D3-220A×2
最大出力	183.9kW×2 (250ps×2)	162kW×2 (220ps×2)
燃料タンク容量	800 リットル	510 リットル
燃料種類	ガソリン	軽油
最高速力	71.3km/h (38.5kt)	64.4km/h (34.8kt)
以下主要装備品（一部を抜粋）		
パウバースドア	オプション	標準
温水器	設定なし	標準
トリムタブ	オプション	標準
トランサムゲート	設定なし	標準
ドア	標準	設定なし
サイドゲートドア	標準	設定なし
船尾折り畳み式ベンチシート	標準	設定なし
室内壁面 FRP 面隠しパッド使用量	SC-30eX に対し 約 30%削減	ほぼ全面
離着岸アシストシステム	ヘルムマスター	ジョイステイック スタンドライブ
メーカー希望小売価格 (沿海仕様)※	¥30,588,100	¥33,713,900

※ 2016 年 10 月 1 日現在

3-2. ヘルムマスターの能力が最大限に發揮できるエンジンブラケットの形状開発

本艇の開発で最も注力したのがエンジン搭載レイアウトと船尾形状の作り込みである。ただし、ハルはSC-30eXの型を共用するため、船体そのものの造形を変えることができない。そこで船外機を搭載するブラケットを新規設計し、そのブラケット水面下の形状を工夫することでの目標達成を企図した。

ヘルムマスターの能力を引き出す、というのは、言い換えると「操作者が意図した方向に船が正しく移動する」ということである。ヘルムマスターは、各々のエンジンが電子制御により独立操舵できるシステムであり、一例として図3のようにジョイスティックレバーを左に倒した場合、エンジンは右舷機が左に向いて前進、左舷機は右に向いて後進となり、艇の右舷へ向けて推力を発生させるため、船体は左側へ横移動できる、という仕組みである。図4にジョイスティックレバーの操作方向により、船体がどの方向に動くかを示す。

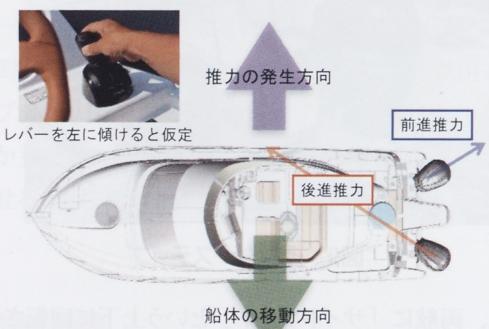


図3 ジョイスティック操作による船体の動き

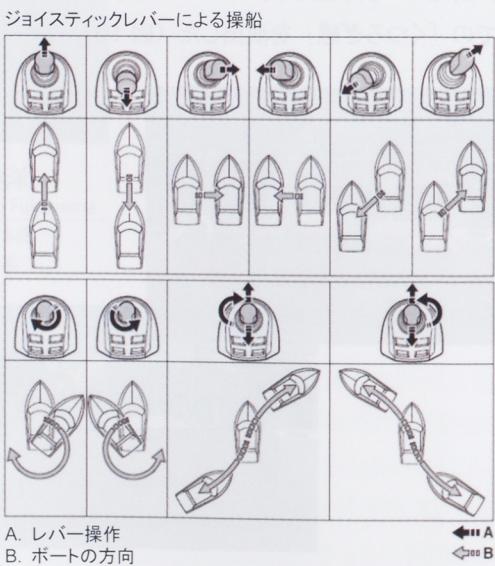


図4 ジョイスティックの操作と船体の移動方向

ここで重要なのは、「前進と後進の推力をバランスさせる」ということである。前進の推力に対し、後進推力というのは、その水流が船底側に流れるわけで、船尾形状や船底形状が水流を妨げる抵抗になりやすい。結果、左右エンジンの推力バランスが崩れる。図4を再び例に取って説明すると、赤矢印の後進推力が弱い場合、青矢印の右舷機の前進推力が勝ってしまい、レバーは左真横に倒しているのに、船体は左に移動しながらやや前進もする、という動きになってしまう。

そこで2007年に建造したSC-30の試作艇を用いて、金属製の船外機簡易ブラケットを試作し、ブラケット底部に金属板を張り付けながら後進推力の整流効果をプリテストしたのだが、単純な斜面形状にしただけでは充分な効果が得られず、その最適化に試行錯誤を繰り返した(図5)。



図5 上段:プリテスト初期 下段:プリテスト後期

また、このブラケット形状が、基本走行性能に影響を及ぼさないことも重要で、1日に何度もプリテスト艇を海上に下架してはヘルムマスターの性能および基本性能を確認し、上架しては船尾形状の修正工事という作業を繰り返した。最終的にプリテストでの目標値は達成され、実物形状を寸法計測して、図6のCAD図の最終造形が決定した。



図6 エンジンブラケット最終形状
(製品を反転して見た状態)

エンジンの配置も開発艇最適の搭載位置とした。通常船外機2機掛けの場合、エンジン同士のピッチ（エンジンの中央から中央までの距離）はおよそ700～900mm程度となる。これは2機の船外機をタイバーで連結し、一つの油圧シリンダーで2機を同時に動かすためだが、前述した通りヘルムマスターは各々独立した油圧シリンダーで操舵するためタイバーが無く、エンジンピッチを船体幅の許す限り自由な位置に設定できる。開発艇では、エンジン同士を1700mmというワイドピッチとすることで回転モーメントを高め、「その場回頭性能」を大幅に高めた（図7）。



図7 船外機ワイドピッチ化とその場回頭シーン

なお、本開発艇のテスト後半に設けたME（マリンエンジン）事業部のヘルムマスター開発者による試乗において、予想以上に操作性が向上したとの評価を得た。また、本試作艇のエンジンブラケットは造形精度が高まり、表面も平滑でプリテスト品よりもさらに推進力の整流効果が向上した。これにより逆に推進力がやや過剰気味となつたため、市販向けにさらに扱いやすさを追求し、セッティングを最適化した。こうした協業により、ヘルムマスターの能力を最大限に引き出すことができた。

3-3. 船内外機艇とは異なる魅力を持った後部デッキレイアウトの実現

「SC-30eX」に対して外観レイアウトが大きく変わったのが後部デッキ廻りである。特に機能要件に関してSC-30eXに対して大きく低下させないことと、新たな魅力を付加することを目標とした（図8）。



図8 SR320FBとSC-30eXの後部デッキ形状の違い

SC-30eXはエンジンが後部デッキ下に収まる船内外機艇であり、船尾形状がシンプルでトランサムステップからゲートドアを通って後部デッキにアクセスできる。対してSR320FBは船外機2機が船尾を占有しているため、全幅を有効に使ったトランサムステップは装備できない。

前述した船外機同士のワイドピッチ化の狙いはそこにもあり、船尾中央に残った空間に「センターステップ」を設けることで船尾からのアクセスや、海水浴など水面へのエントリー機能をリカバーした（図9）。



図9 センターステップ

また、両舷に「サイドゲート」という上下に回転させて開く扉を新設し、舷側からの乗り降りなどの利便性を高めるとともに、新たに「折り畳み式ベンチシート」を設定し、後部デッキでの「くつろぎ感」を演出した（図10）。



図10 折り畳み式ベンチシート

これらの仕様変更と、船外機2機が搭載されることにより、流麗な外観のSC-30eXに対し、よりメカニカル感あふれるアクティブな雰囲気が後部デッキ廻りに付与されることになった。

なお、船外機したことによる大きな魅力としてSC-30eXではエンジンルームであった空間がSR320FBでは「大容量フロア下ロッカー」となったことも付け加えておく。

4 おわりに

ボート操縦で最も緊張する場面が「着岸」である。そもそも離着岸デバイスというのは、「操船に不慣れな人でも安心して着岸などができる」という市場ニーズが出発点である。ヘルムマスターを代表とする操船デバイスは、現在多くのメーカーで採用され、大型ボートには「あたりまえ装備」となってきたが、コスト的な事情により、なかなか小型の商品には導入されず、大型艇の方が小型艇よりも離着岸操作が安心して行える、という逆転現象が起りつつある。

本来操船に不慣れな人が最初に乗るのは大型ボートではなく、一回り小さな商品となるわけだから、「操船デバイスは専門分野の部門に任せること」ではなく、今回のSR320FBのエンジンブレケット造形開発のように「艇体技術として何ができるのか」を常に考え、小型艇へも離着岸利便機能を導入、普及させることも考えていきたい。

■著者



福山 美洋
Yoshihiro Fukuyama
マリン事業本部
ボート事業部
艇体開発部

藤田 博一 神田 栄作 宮崎 崇明 折茂 敏郎 室田 尚輝 陳 昱歲



Abstract

Recently, there has been increasing interest in measures against global warming, such as through the COP21 (Framework Convention on Climate Change 21st Conference of the Parties to the United Nations) held in November 2015. Technological developments for reducing emissions and improving fuel consumption have now become more vigorous in the automotive industry.

Yamaha Motor Co., Ltd. has also developed electric commutes as the one of their measures for reducing exhaust emissions, and released many models into the market, such as the "Passol" in 2002, "EC-02" in 2005, and "EC-03" in 2009.

The newly developed "E-Vino" is an EV commuter which has been developed under the concept of user-friendliness, and is based on the Smart Power¹⁾ technological ideal that we have accumulated to date.

1) Smart Power: New power sources, primarily for electric vehicles, designed to create a new paradigm of mobility

1 はじめに

2015年11月にCOP21（気候変動枠組み条約第21回締約国会議）が開催されるなど、近年は地球温暖化対策への関心がさらに高まり、自動車産業においてもCO2排出削減／燃費向上の技術開発が高度化している。

ヤマハ発動機（以下、当社）もCO2排出量削減の一手法として、電動車（以下、EV）の開発を続けており、2002年に「Passol」、2005年に「EC-02」、2010年に「EC-03」と継続的にモデルを導入して市場への提案を続けてきた。

今回開発した「E-Vino」（以下、本モデル）は、当社がこれまでに蓄積してきたSP（スマートパワー）¹⁾技術思想をベースに、ユーザーの利便性向上を目指し、当社の掲げる「ひ

ろがるモビリティ」のひとつとして市場に導入したEVコミューターモデルである。

1) SP（スマートパワー）：電動車両を機軸とする新しいモビリティを追求した新原動力

2 開発のねらい

EVは、低騒音・低振動・スムーズなトルク特性という人に優しい特性を備えており、主に低速・近距離移動に適している。これらの特長を活かして、本モデルは「都会に住む女性層の近距離移動」をテーマに企画を開始した（図1）。

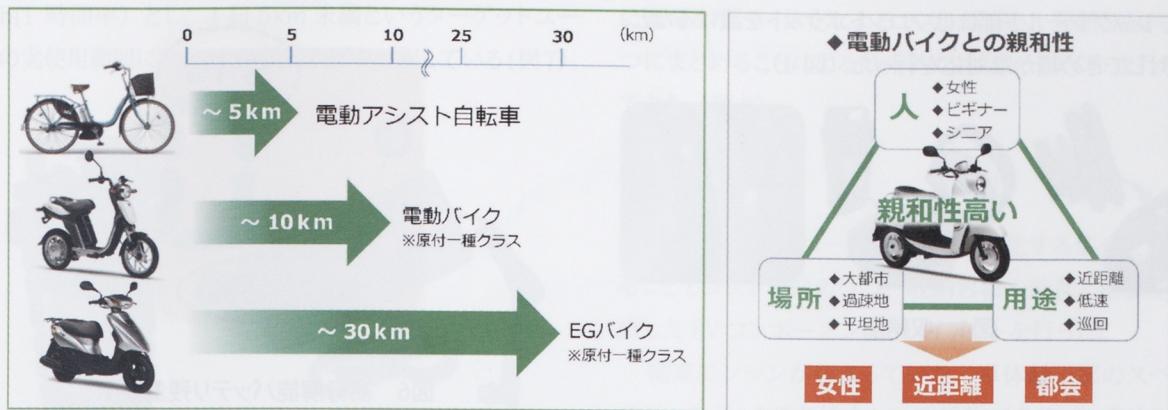


図1 企画テーマ

本モデルの開発にあたりユーザー調査を実施して、EV スクーターユーザーの使用実態と要望の把握を行った。

市場の主要な要望は以下のとおりである。

- ① 使いやすさ
簡単操作、簡単充電、収納
- ② 親しみやすさ
軽い、気軽に乗れるスタイリング、分かりやすい
- ③ 低価格
エンジン車と同等の価格

使用実態としては「過半数のユーザーが 1 日 5km 未満しか走行しない」ことも分かった。

以上のことを踏まえて本モデルは、ターゲットユーザーを「都会に住む女性」、商品コンセプトを「Useful & Friendly Clean Commuter」として、主に利便性向上に重点を置いた開発を行った（図2）。



図2 商品コンセプト

3 商品の特徴

商品コンセプトを具現化するにあたり、本モデルではエンジン車を EV 化する手法（以下、コンバート EV）を採用した。すでにユーザーに好評いただいているエンジン車をベースに活用できる当社の強みを活かしたコンバート EV は、低コストで高機能・高品質な商品を開発することができる有効な手法であり、今後拡大が見込まれる EV 分野において当社の EV 戦略として重要な役割を担う。

3-1. Useful

着脱式バッテリ

集合住宅等にお住まいのユーザーにも充電しやすいように着脱式バッテリを採用した。ハンドル形状も試行を重ねて、女性でも握りやすく手が痛くなりにくい形状とした（図3）。

手軽な屋内充電

出し切り状態から満充電まで時間を従来比 50% の 3 時間以内に短縮することにより、充電の利便性を高めた。AC プラグについては、市場からの要望が強かった二極を進め、一般的なコンセントからの充電を可能にして利便性を高めている（図3）。



図3 着脱式バッテリと屋内専用充電器

収納部

これまでの EV モデルのユーザーの不満の一つは、シート下にバッテリを搭載したことにより収納部が少ないと感じた。本モデルではベースモデルである Vino の車体を活かし、バッテリの後方部に容量 10 ℥ の収納を確保、長尺物が収められるシート下収納部を実現した。

この収納部にはオプションの予備バッテリを搭載可能であり、長い航続距離を希望のユーザーは、予備バッテリを使い航続距離を二倍にすることもできる。

また、レッグシールド部にはフロントポケットを設けるなど、収納に対してきめ細かな対応を行った（図4）。



図4 収納部

3-2. Friendly

Vino フォルム

これまでの「EV = 未来感のあるフォルム & カラーリング」というイメージをあえて採用せずに、車体は発売以来多くのユーザーに好評いただいている Vino フォルムをそのまま採用した。カラーリングも、街で映える元気な色として彩度の高いオレンジを採用し、先進的な EV イメージにとらわれない、女性にも親しみやすいデザインを採用した（図5）。



図5 フォルム、カラーリング

軽量

DC-DC コンバータと MCU の一体化、小型モータと軽量バッテリの採用によってベース車である Vino に対して 12kg の軽量化を行い 68kg の車体重量を達成し、取り回しの良さをさらに向上させた。

また、着脱式バッテリに関しては、女性でも持ちやすいことを第一優先事項として約 6kg に重量を抑えつつ、29km (30km/h 定地走行、55kg 乗員時) の航続距離を確保した。

分かりやすいメーター表示

ユーザーの残走行距離に対する不安を軽減するため、「10分割残量計」と「1% 単位のデジタル表示」の 2 つを組み合わせ、きめ細やかなバッテリ残量表示を開発した（図6）。

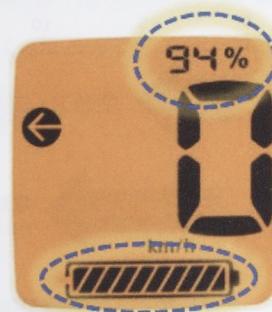


図6 高分解能バッテリ残量表示

3-3. 諸元

表 1 に仕様諸元を示す。

表1 諸元表

名称及型式	
モデル名	E ビーノ (E-Vino)
認定型式	ZAD-SY11J
登録型式	B861
車台打刻型式	SY11J
原動機打刻型式	Y809E
寸法及質量	
全長	1,675mm
全幅	660mm
全高	1,005mm
シート高	715mm
軸間距離	1,160mm
最低地上高	95mm
車両重量(バッテリ装着)	68kg
性能	
1 充電走行距離(定地)	29km(30km/h)
最小回転半径	1.8m
原動機	
原動機種類	交流同期電動機
定格出力	0.58kW
最高出力	1.2kW(1.6PS) / 3,760r/min
最大トルク	7.8N·m(0.80kgf·m) / 330r/min
電気装置	
バッテリ電圧/容量	50V, 10AH(10H)
動力用主電池種類、型式	リチウムイオン電池、ESB4-0
バッテリ充電電源	定電流・定電圧充電
充電時間	約 3 時間
動力伝達装置	
駆動方式	ギア
1 次減速比	9.400(47/15×39/13)
2 次減速比	---
クラッチ形式	---

4 コンポーネント概要

高エネルギー密度リチウムイオンバッテリ

「PAS」（当社製電動アシスト自転車）で実績のある民生セル（18650 型）の採用を前提にシステムを開発することでコストを抑え、限られたスペースの中で容量を確保しながら 84 本のセルを 6 並列 14 直列で接続し、出力電圧を 50V に設定した。取り出し可能容量は新品時で約

10Ah(1時間率)とし、1日5km未満というターゲットユーザーの実使用範囲にマッチした航続距離を確保している(図7)。



図7 リチウムイオンバッテリ、充電器

充電器

屋内専用充電器として対環境要件を絞り込むことによってコストを抑えつつ、強制空冷式を採用して、充電時間:最長3時間以内の目標性能を達成した。

また、バッテリと通信を行うことによって、充電器からは直接検知できないバッテリコンディションに対しても適切な制御を実施できるようにした。

ACプラグについては、回路の作り込みによって耐ノイズ性を向上させることによりアース端子を省略し、二極タイプとした(図7)。

パワーユニット

扁平形状のラジアルギャップ型交流同期モータを採用して、スイングアーム部にコンパクトにレイアウトした。モータと後輪軸間の減速機については、当社エンジン車部品を流用することで性能とコストを両立している(図8)。



図8 パワーユニット、モーターコントロールユニット

DC-DCコンバータ一体型モーターコントロールユニット

補機電源である12Vを50V電源から作り出すDC-DCコンバータを一体化したモーターコントロールユニットを新規

に開発した。一体化によるコスト低減と、発熱部品同士を一つにまとめることによる効率的な冷却レイアウトを行うことができた(図8)。

車体

Vinoの車体をベースとして、共通化する部分を最大化することでコストを抑えつつ、収納容積の確保と重量配分を考慮したEVコンポーネントのレイアウトを行った。

従来エンジンが収まっていた、車体最下部のスペースまでシートボックスを拡大し、重量物であるバッテリを前方に寄せて配置することにより前輪分布荷重を最適化し、良好な操安性を確保した。バッテリ後方には深さ450mmの収納スペースを確保することで長尺物も収納が可能となった(図9)。

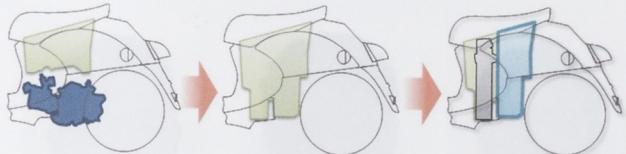


図9 車体(収納部)

デジタル液晶メーター

メーター筐体はVinoのデザインを踏襲して車両全体のデザインバランスを崩すことなく、表示部はデジタル液晶メーターにすることで、EVとして必要な機能を織り込んだ。

「表示切替、始動操作、モード切替」ができるメーターボタン機能については前モデルの「EC-03」を引き継ぎ、本モデルではバッテリ残量計の高分解能化によるメーター機能の進化を図った(図10)。



図10 デジタル液晶メーター

5 おわりに

以前にも増して電動車両が注目を浴びるようになった昨今、四輪車においてはすでに一定の市場が形成されている。今回製品化した「E-Vino」は、これまで培ってきたEVの技術に「使いやすさ」と「親しみやすさ」を加え、さらに価格をエンジン車並みに抑えることで、二輪車市場に電動二輪車としての新たな提案を示したモデルである。

近距離移動に特化し、すべてのユーザーに満足していただけの製品であるとは言えないが、今後も引き続きお客様の要望に応えられるように開発を続けて様々な提案をすることにより、電動二輪車の普及に努力していきたいと考える。

■著者



藤田 博一

Hirokazu Fujita

ピ-ケル&リュ-ジョン事業本部
SPV事業部
第2開発部

神田 栄作

Eisaku Kanda

ピ-ケル&リュ-ジョン事業本部
SPV事業部
第2開発部

宮崎 崇明

Takaaki Miyazaki

ピ-ケル&リュ-ジョン事業本部
SPV事業部
第2開発部

折茂 敏郎

Toshiro Orimo

ピ-ケル&リュ-ジョン事業本部
SPV事業部
第2開発部

室田 尚輝

Naoki Murota

ピ-ケル&リュ-ジョン事業本部
SPV事業部
第2開発部

陳 翱崴

Chen-Yuwei

YMRT[®]
研發本部
研發統括室

※YMRT:Yamaha Motor R&D Taiwan Co., Ltd.

製品紹介

2017年モデル ROV YXZ1000R SS YXZ1000R SS 2017 Model ROV

鈴木 孝典 砂廣一雄 田中 大輔 福嶋 健司



Abstract

Principally in North America, the ROV (Recreational Off-Highway Vehicle) market enjoys high demand with its wide range of uses from agricultural and dairy farming work to recreational uses such as hunting, as well as for sports and racing. Demand is expected to increase further in the future. To cover this wide range of uses, Yamaha developed and released the VIKING in 2013, followed by the VIKING VI in 2014, and the WOLVERINE and YXZ1000R in 2015.

Featuring a sequential manual 5-speed transmission, the YXZ1000R was developed with the purpose of building the image of being No. 1 in sports performance, and further strengthening the ROV platform. With its signature YCC-S (Yamaha Chip Controlled Shift) technology, it aims to appeal to a broad range of users within the sports arena. This report introduces the new pure sport YXZ1000R SS model.

1 はじめに

ROV (Recreational Off-Highway Vehicle) 市場は北米を中心に、農業・酪農などの業務から狩猟などのレクリエーション、そしてスポーツ、レースまで幅広い用途と高い需要があり、今後も伸張していくことが予想される。それらの広範な用途をカバーするために、2013年にVIKING、2014年にVIKING VI、2015年にWOLVERINE、YXZ1000Rを開発、市場導入してきた。

YXZ1000R（シーケンシャルマニュアル5速トランスミッション）は、スポーツ領域におけるパフォーマンスNO.1のイメージ構築とROVでの基盤をさらに強化するのが目的であるが、そのスポーツ領域を幅広いお客様に使っていただけるようにYCC-Sを搭載したニューモデルを開発した。そのニューピュアスポーツ「YXZ1000R SS」（以下、本モデル）をここに紹介する。

2 開発のねらい

YXZ1000RはクラッチのON/OFFのタイミングおよび同期の時間も自由に操れ、思い通りのエンジン特性を引き出すことができる。しかし、MT（マニュアルトランスミッション）車の経験の少ないお客様は、そのクラッチ操作とステアリングから手を離すシフト操作に神経を使い、車両全体で持っているYXZ1000Rの高いバランス点を十分には引き出せないことがある。

そこで、本モデルでは、幅広いお客様に快適にスポーツ走行を味わっていただけるよう以下を開発のねらいとした。

- ① MT車の経験が少ないお客様でも、熟練したドライバーがMT車で味わうピュアスポーツエキサイトメントを、操作性の向上によって同様に楽しむことができる。
→クラッチペダルレス、ハンドルを握ったまでの変速操作、電子式ドライブセレクトレバーの採用

②高回転からの発進を可能とし、ピュアスポーツ走行を実現する。

→ローンチシステムの搭載

③停車時の変速を補助し、MT車での煩雑な操作を削減する。

→オートダウンシフト機能の追加

またさらに快適性、自信をもって走行できる Podium® X2 2.5 サスペンションをスペシャルエディションモデルに搭載した。

3 開発の取り組み

3-1. 車体概要

ベースモデルの YXZ1000R の部品を最大限に共有しながら、パドルシフトやドライブセレクトレバー等の YCC-S システム構成部品のレイアウトを最適化した。新作部品は重量低減を図り、結果、車重は YXZ1000R 同等（スタンダードモデル比で +1kg 増）を達成した。

また YCC-S システムの追加のみならず、新機構ショックアブソーバ（スペシャルエディションモデルのみ）の採用等、さらなる魅力 UP コンテンツを充実させた。

3-1-1. パドルシフト

YCC-S システムを搭載した ROV において最適なインターフェイスとして、ヤマハ ROV では初のパドルシフトを採用した（図 1）。



図1 パドルシフト

ハンドルを握ったままでの変速操作を可能にし、容易で機敏な変速操作を実現した。パドルレバーは高級感のあるアルミダイカスト製とし、またストッパー面をラバータッチ化するなど、良好な操作フィーリングを実現した。防水スイッチの採用等、オフロード走行環境においても十分な信頼性・耐久性を確保した。

3-1-2. ドライブセレクトレバー

パドルシフトとは別に、前進 / 後進 / ニュートラルの切替装置として、センターコンソール上に新規ドライブセレクトレバーを最適配置した（図 2）。従来の機械式ではなく、ヤマハの ROV では初のバイ・ワイヤー機構を採用した。レバー動作方式は操作後もレバーが原点位置に戻るモーメンタリ式とし、滑らかで節度感のある良好な操作フィーリングを実現した。パドルシフト同様、防水スイッチの採用等によりオフロード走行環境においても十分な信頼性・耐久性を確保した。



図2 ドライブセレクトレバー

3-1-3. ショックアブソーバ

スペシャルエディションモデルにおいては、スポーツ ROV の市場において評価の高い FOX 社製の Podium® X2 2.5 を新規採用した（図 3）。

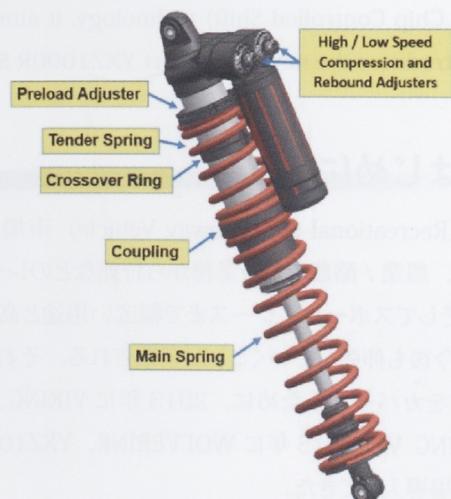
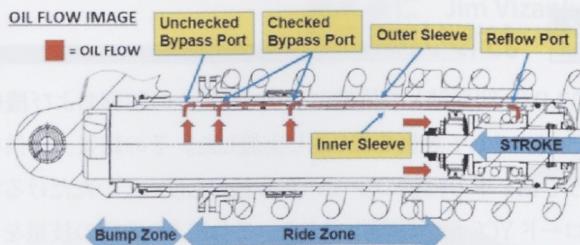


図3 Podium® X2 2.5

このPodium® X2 2.5は、YXZ1000R/YXZ1000R SS 用に専用設計されており、ダンパーはインナースリーブとアウタースリーブの間をオイルが流れる Internal bypass technology を搭載することで、ショックストロークに応じた減衰力の最適化が可能となった（図 4）。



- Position sensitive damping is achieved using an inner and outer sleeve as well as bleed valves drilled into inner sleeve.
- Ride Zone – Oil is allowed to bypass the main piston and flow through the bypass holes in the inner sleeve and returns underneath the piston through the reflow ports. = **Comfortable Ride**
- Bump Zone – When the piston passes the bypass holes then all oil is forced to pass only through the piston and adjusters increasing the damping. = **Firmness / Resist Bottoming**
- Rebound Stroke – Oil will flow through the reflow ports to the unchecked bypass holes. Before the piston passes unchecked bypass holes, oil is forced to flow through only the adjusters increasing the damping.

図4 Internal bypass technology

また調整機構としても下記の通り多彩で、幅広い走行シーンやユーザーの好みに対応したセッティングが可能となつた。

- I) プリロードアジャスター：セット荷重を変更可
- II) 減衰アジャスター：低速 / 高速、圧側 / 伸び側の調整可
- III) クロスオーバーリング：バネレート変曲点を変更可

3-2. YCC-S制御

3-2-1. 背景

2006年に世界初で2輪車に搭載し、開発を継続してきたYCC-S（ヤマハ電子制御シフト）は、煩雑なクラッチ操作からドライバーを解放し、安定した発進と素早く滑らかな変速ができ、運転に集中できるメリットがある。今回、その機能をそのままにROVのオフロード環境に対し、さらなる機能の追加と発展のため以下の2点に取り組んだ。

- ・YXZ1000R同等の発進加速性能の実現（ローンチシステムの搭載）
- ・オフロード環境に対する信頼性と機能の向上（発進制御 & 变速制御の改良）

3-2-2. ローンチシステム

YXZ1000Rの発進加速性能と同等とするため、高回転から瞬時にクラッチを繋いで、発進直後から高トルクを発揮するローンチシステムをROVでは世界で初めて搭載した（図5）。

前述するパドルシフトとブレーキを用い、簡単でシンプルな操作系を確立した。また様々なシチュエーションで、力強い発進加速が得られるよう、クラッチ制御を適合することで、



図5 ローンチ発進直後の様子

誰でもエキスパートドライバーのエキサイトメントな発進が体験可能となった。

3-2-3. 信頼性と機能向上

・発進制御

泥濘路での発進、障害物の乗り越し、急坂での降坂など多岐にわたるROV発進シチュエーションに対し、以下の通り制御を最適化している。

1つは、発進半クラッチ時にクラッチ発熱量の推定を行うことで、走行抵抗に応じて最適にクラッチの係合を行なう制御を追加した。これにより、ドライバーの技量によらない高い走破性と十分なクラッチ耐久性を確保している。

さらに、下り坂で停車中にブレーキを解除し惰行降坂を開始した際、自動的にクラッチが繋がりエンジンブレーキが作用する制御を追加した。これにより、MT車と同レベルの車両コントロール性も実現している。

・变速制御

走行時の变速は、パドルシフトを使って变速をする。YCC-Sシステムは、ドライバーからのパドル入力を受けると、エンジン点火、クラッチ、变速機構を、車両状態に応じて的確に制御する。結果として、加速中のみならず登坂中や減速中などでもシームレスな变速ができ、ハンドリングに集中しながらピュアスポーツのダイレクトフィーリングを味わうことができる。

また、停車中の前進・後進・ニュートラルの切替時は、クラッチの制御によって、確実・迅速でかつショックの少ない变速を実現した。

・オートダウンシフト

ベースモデルの YXZ1000R に対し、便利機能として、停車間際に 1 速まで自動で落とすオートダウンシフト機能を追加した。急ブレーキなどでギヤが 1 速まで落とせないときでも、発進中に 1 速まで確実に変速可能とすることで、利便性だけでなく、クラッチ耐久性も確保できる仕様とした。

3-3. エンジン/トランスマッision

3-3-1. YCC-Sシステム搭載に対するねらい

先行する YXZ1000R をベースとし、変速用アクチュエータ（クラッチ・シフト）の追加とシフトパターンなどの小変更で YCC-S を搭載した。YCC-S システムとしての効率的な組立 / 機能保証をねらい、国内トランスマッision組立工場内でシステムが完結する構成にした（図 6）。

これにより、各アクチュエータと制御に用いる MCU（モーターコントロールユニット）を含めたトランスマッision ASSY としてのシステム機能保証体系を確立した。

結果として、完成車の組立を行なう YMMC（Yamaha Motor Manufacturing Corporation）では、トランスマッision ASSY を車体搭載するのみで完結する工程となっている。

また、国内組立工場ではシステム組立・調整工程についても改善を実施し、生産性を向上させている。

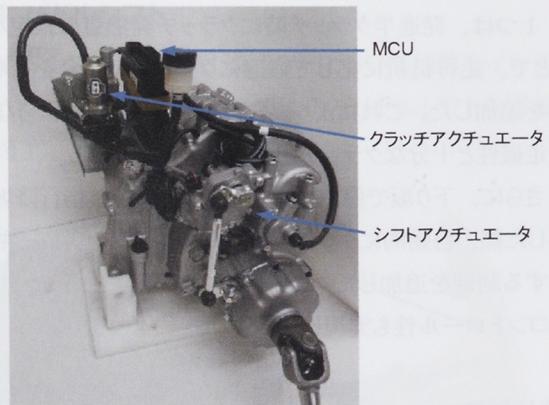


図6 トランスマッisionASSY 完成状態

3-3-2. アクチュエータ信頼性・コストダウン

既存のモーターサイクル用 YCC-S アクチュエータに対し、ROV での信頼性要求に応えながらコストダウンをねらい、新規設計とした。

ASSY メーカーと協働で機能・信頼性とコストの作り込みを行い、浸水 / 振動 / 高温雰囲気などの過酷な使用環境下でも高い信頼性を確保するとともに、既存アクチュエータ比 45% のコストダウンを達成した。

4 おわりに

YMMC 開発陣との協働により、YCC-S の制御および機構の改良、そして評価を繰り返し実施した。その結果、自信をもって MT 車の経験の少ないお客様にも使っていただけるオフロード YCC-S が具現化できた。これにより熟練の技量をもったお客様が感じるエキサイトメントをより多くのお客様にシェアできると確信している。そして「いつまでも乗り続けたくなる」だけでなく「乗り終わっても、明日も乗りたくなる」「自分の奥さん／友達も乗せたくなる」という思いを今後多くのお客様に味わっていただきたい。

本モデルは、「人が意思を込めてシフト操作する喜び」、「他車とは全く違うクイックでダイレクトなシフト操作感の驚きと楽しさ」、「エンジンとの一体感」を味わえる商品である。

今後も進化、ブランド構築していく YXZ に期待をして頂きたい。

■著者



鈴木 孝典（左から3番目）

Takanori Suzuki

ビークル＆ソリューション事業本部

RV事業部

開発部

砂廣 一雄（左端）

Kazuo Sunahiro

ビークル＆ソリューション事業本部

RV事業部

開発部

田中 大輔（左から2番目）

Daisuke Tanaka

ビークル＆ソリューション事業本部

RV開発部

開発部

福嶋 健司（右端）

Kenji Fukushima

PF車両ユニット

コンポーネント統括部

電子システム開発部

2017 モデル スノーモビル Sidewinder

2017 model Snowmobile Sidewinder

鈴木 豪仁 Jim Vizanko Lauren Nasca 村嶌 篤
宮崎政直 坂井 裕司 明石 将



Abstract

The number one request from the snowmobile market every year is always "give us more performance". Yamaha studied long and hard on how to deliver the ultimate performance Snowmobile that will carry the name tag "Fastest Production Snowmobile" at sea level and "King of the Hill" in the alpine. The development target was set and engineering was given the green light to develop this next level snowmobile. Yamaha has a very strong brand reputation for delivering fantastic engine packages, and the development team knew we had our work cut out to meet the high level of expectations. To achieve ultimate performance, the development team designed a turbocharged snowmobile that truly feels like a naturally aspirated engine fitted into the next generation chassis shared by our collaboration partner. The engine exceeds expectation by providing smooth linear power throughout the entire operating range. Throttle Response is crisp and instant and there is no off/on hesitation that is often seen in other turbo charged systems. Plain and simple this engine does not feel like your typical turbo charged snowmobile, as the engine pulls harder in all ranges. In true Yamaha fashion, the engine is altitude compensating making peak power not only at sea level, but all the way up to 10,000 ft. To truly appreciate this, one must experience the Sidewinders performance.

1 はじめに

スノーモビル（以下、SMB）の市場要望が、パフォーマンス向上であることは、いつの時代も変わっていない。当社は、平地では「最速」、高地では「山の王者」の名に相応しい究極の高性能 SMB を目指し、長年にわたり研究を重ねてきた。従来より、エンジン性能に対しては好評をいただいており、次世代 SMB の開発に向けてその期待に応えられるよう開発体制を整え、「究極のパフォーマンス」を目標に開発に取り組んだ。この目標達成に向け、開発チームは自然吸気エンジンのようなレスポンスを持つ SMB 用ターボエン

ジンを設計し、協業パートナーと開発した次世代シャーシに搭載した。新開発のエンジンは、全レンジを通して滑らかでリニアな出力特性を持ち、期待を上回る性能を実現している。また、スロットル反応は鋭く、他のターボエンジンにありがちなターボラグはほとんど無い。余分なものを排除したシンプルなエンジンは、既存のターボエンジンと異なり、走行コンディションを問わず強力なトルクを発揮する。当社は、平地のみならず、標高 3000m の高地でも最高馬力を維持するエンジンにこだわっている。これを真に感じるには、実際に「Sidewinder」のパフォーマンスを体験するしかない。

2 エンジン

下記の3要素により、「今までにないエキサイトメントの実現」と「今までにできなかった走行を可能にすること」をコンセプトに掲げ開発を行った。

・高出力

業界のスポーツカテゴリーで主流の2ストローク800ccエンジンをパワーウェイトレシオで凌駕する（図1）

・標高

SMBで一般的に使われる標高3000mでも高出力を維持する¹⁾

・スロットルレスポンス

スポーツ走行時課題となるターボラグを感じさせない高い応答性を達成する

1) 自然吸気エンジンの場合、空気密度低下により約3割エンジン出力が低下する

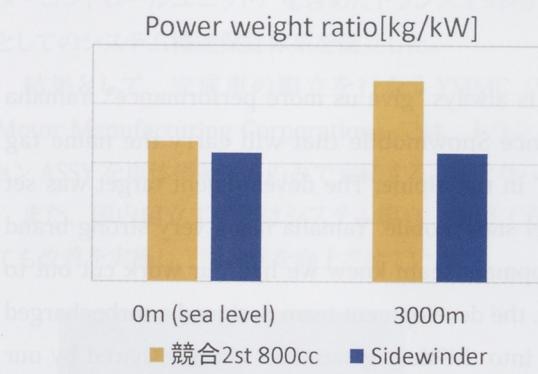


図1 パワーウェイトレシオ

2-1. エンジンレイアウト

既存のエンジン、シャーシを使い、過給エンジン化を達成するため、様々なレイアウトを検討した結果、ターボチャージャーをエンジンでなくフレームにマウントするユニークなレイアウトを採用した。これにより既存エンジンの多くの部品

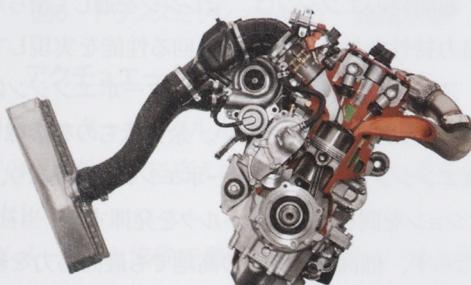


図2 エンジン外観

が流用可能となり、開発期間の短縮、少ない投資での新規モデルの開発を可能とした。また、本エンジンはSMB自然吸気／ROV／PWCの3事業4エンジンで多くの部品や開発工数を共用することにも取り組んでいる（図2、3）。

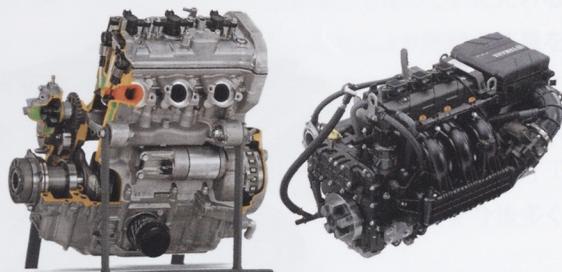


図3 ROV/PWC用 3事業協業エンジン

2-2. ターボチャージャー

標高3000mで高性能を発揮できるよう、高い圧力比まで対応できる大容量のターボチャージャーを採用した（図4）。これは同時に排気にかかる圧力を低減し、ノックングを抑制することにも寄与している。SMBで求められる応答性能を得るために、軸受けはボールベアリング仕様を採用した。この採用はギャップ走行時の大きな振動入力や、極低温の潤滑が厳しい条件下において高い信頼性を得ることにも寄与している。

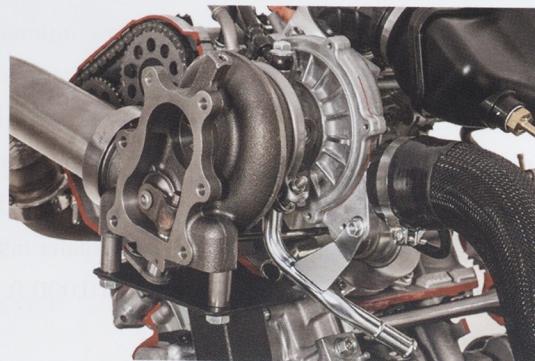


図4 ターボチャージャー

2-3. 3連独立スロットルボディー

ターボラグを感じさせないスロットルレスポンスを達成する手段のひとつとして、各気筒に独立したバルブを持つ3連独立スロットルボディーを採用した（図5）。ターボエンジンとしては例の少ない構造であり、過給化に伴い発生する気密性、抜け防止構造、燃料噴射適合面等の多くの課題に対して設計上の工夫や新しい制御ロジックを織り込むことで対応している。

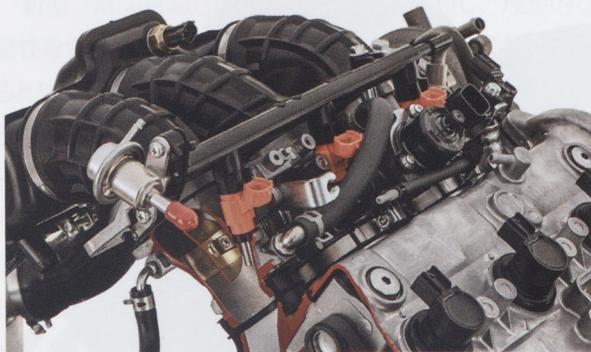


図5 スロットルボディー

2-4. エキゾーストマニフォールド

ターボ化に伴い排気ガス温度は900°Cを超えるため、排気系部品の信頼性と周辺部品への熱害は大きな課題となる。ベースモデルではステンレス製のパイプで構成しているマニフォールドを本モデルでは耐熱鋳鋼製に変更し、また排気管長を短くすることでターボの応答性を高めると同時に、熱源をコンパクトにまとめ、排気系全体の小型化・信頼性確保を可能とした（図6）。



図6 耐熱鋳鋼製エキゾーストマニフォールド



図7 ピストンクーラー

2-5. ピストンクーラー

専用のオイル通路を追加した新設計のピストンクーラーを採用した（図7）。過給化により大幅に発生熱量が増えているにもかかわらず、自然吸気のベースエンジンと同等以下のピストン温度に低減することで、ピストンおよび原動機の軽量化と信頼性確保を可能としている。

2-6. 過給圧制御

本モデルでは正圧式アクチュエータでウェストゲートバルブを作動させる一般的な過給圧制御システムを採用している。ソレノイドバルブをECUで制御することで、標高や運転状態に応じた最適な過給圧を得ることが可能となっている。制御ロジックは自動車で実績のあるものをベースに、SMBの使われ方に応じたカスタマイズをすることで、最大出力だけでなく高レスポンスと扱いやすさを実現している（図8）。

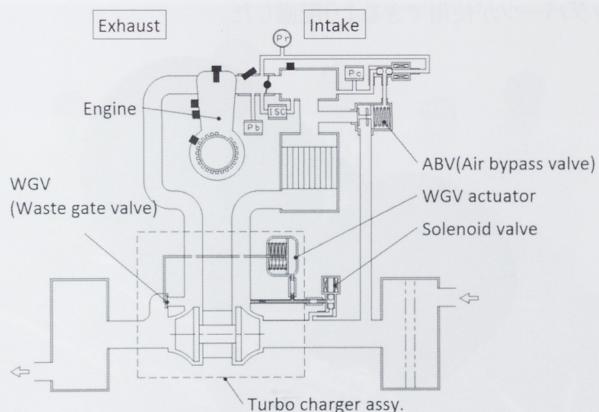


図8 システム模式図

2-7. K.C.S. (Knock Control System)

K.C.S.の採用は、燃焼室での異常燃焼を常時監視し、燃焼状態に応じて点火時期を最適に制御することで、使用する燃料に関わらずエンジン性能と信頼性を両立することを目的としている。過給機を搭載した本モデルは、ノック抑制のため、プレミアム燃料の使用を指定しているが、SMBの使用環境によってはプレミアム燃料を入手できないケースも想定される。本システムでは、従来のK.C.S.を改良し、ノックがある一定頻度で発生すると、燃料噴射の増量、および過給圧低減にてエンジンを保護する制御を導入した。これにより、オクタン値の低いレギュラー燃料でも緊急時の走行を可能としている。

3 CVT

高出力エンジンの性能を引き出しつつ信頼性も満足させるため、新規にベルト変速機システムを開発した(図9)。変速比幅は既存より10%拡大することで二次減速比をより低くし、高い駆動力を得つつベルトの負荷を減少させる設計とした。

シーブは高出力エンジンに対応した強度を確保し、またフィン形状の最適化により、従来品と同じ風損でありながらシーブの冷却を12%改善することで上記と合わせてベルトの信頼性に配慮した。

セカンダリークラッチのトルクカム摺動部にローラーを採用し、スロットル操作に対するレンポンスを向上させた。ウエイトは、ターボエンジンの特性に最適化された仕様で新規設計され、ターボラグを感じさせないスムーズで力強い走行を演出している。

ユーザーの利便性のため、ベルトの張り調整は、より簡単な構造を採用した。またシステム設計において、既存のチューニングパーツが使用できるよう配慮した。

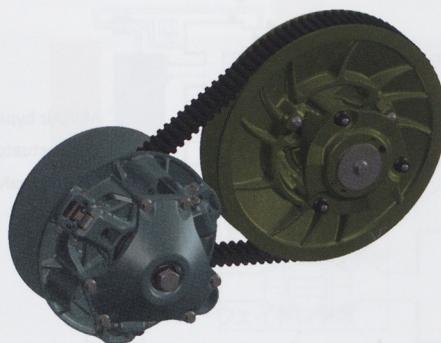


図9 CVT

4 デザイン

切り裂くような電光石火の走りを表現するシャープなスタイルがデザインコンセプトである。最大の特徴であるターボチャージャーをいかにスタイリングに盛り込むか、そしてヤマハモデルとしてのDNAを継承するかがデザイン上の大きな肝となった(図10)。

既存のSRViperと同じく、本モデルもサイドフードやペリーパンを相互商品供給先と共に用する。そのためシュラウドからウインドシールドといった専用外装パーツと合せて、グラフィック展開においてもヤマハらしい、ボディの特徴を生かしたダイナミックなものとなることを念頭に開発した(図11)。



図10 ターボを表現するツイスティフロー



図11 SRViperを継承する、襟のたたつVライン

5 Ski

The New Mountain ski from Yamaha provides the ideal floatation working in tune with the rest of the vehicle. The ski is lightweight both in design and in steering. The keel is balanced to provide the necessary feedback to the driver navigating the terrain while turning with ease and low impact. Yamaha designed the ski to be predictable and comfortable in all conditions. Turning is smooth and true. Darting down the trail is minimized by its wide keel. This keel makes trail riding a breeze as it is not prone to fall into other tracks laid down from other snowmobiles. Boondocking is effortless by the contour shape of the rear blade along with the location of the ski fore/aft on the spindle.

This new ski meets all the demands of the driver and brings high level of confidence both on and off the trail.

<和訳>

新型「Mountain」スキーは、車体と調和し、理想的な浮揚性を実現している。デザインと操舵性の両面で軽量化を図るとともに、ドライバーへの路面情報のフィードバックを確保しつつ、容易かつ、衝撃の少ない旋回性能を両立させるキール形状を作り込んだ。この結果、様々なコンディションで予測可能かつ快適なスキー形状となり、スムーズで正確な旋回が可能となっている。また、キールの幅を広くすることで、トレール走行時のスキーのブレも最小にしている。このキールにより、他の SMB の軌跡にはまり込んでしまう可能性を減らし、安定したトレール走行を可能としている。ブーンドッキングにおいても、リヤブレードの曲線形状とスピンドル位置の最適化により難なく走行できる。

この新開発スキーは、ドライバーの全要求を満たすとともに、オントレールでもオフトレールでも高い安心感をもたらしてくれる。

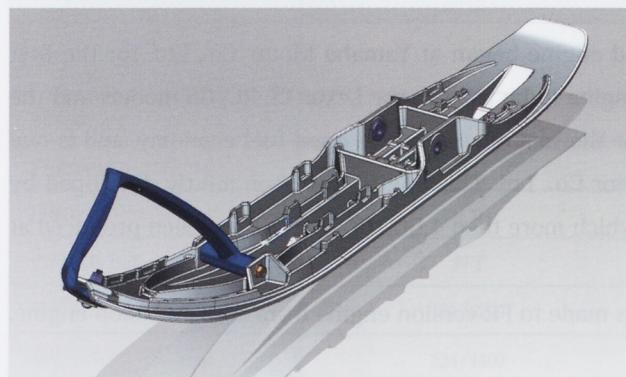


図12 Ski

6 おわりに

本モデルはメイン市場の北米拠点がシャーシ開発を担当し、日本はエンジン開発を担当するグローバルな体制で開発を行った。北米で評価するメリットをエンジン開発にも生かし、SMB に適したターボエンジンとは何かを考え、圧倒的なパワーとリニアなスロットルレスポンスの両立が実現できた。メディアのライディングイベントでは、期待通りの反響を頂くことができ、確かな手ごたえを感じている。これからも、お客様の期待を上回る商品を提供していきたい。

略語の解説

SMB : Snowmobile

ROV : Recreational Off-Highway Vehicle

PWC : Personal Water Craft

ECU : Engine Control Unit

CVT : Continuously Variable Transmission

■著者



鈴木 豪仁 (右から2人目)

Takehito Suzuki

Yamaha Motor Corporation,
U.S.A.

Minocqua R&D Center

Jim Vizanko (中央)

Yamaha Motor Corporation,
U.S.A.

Minocqua R&D Center

Lauren Nasca (左から1人目)

Yamaha Motor Corporation,
U.S.A.

Minocqua R&D Center



村嶋 篤 (右から1人目)

Atsushi Murashima

ピ-クル&リュ-ジョン事業本部

RV事業部

開発部

宮崎 政直 (左から2人目)

Masanao Miyazaki

ピ-クル&リュ-ジョン事業本部

RV事業部

開発部

坂井 裕司 (左から3人目)

Yuji Sakai

ピ-クル&リュ-ジョン事業本部

RV事業部

開発部

明石 将

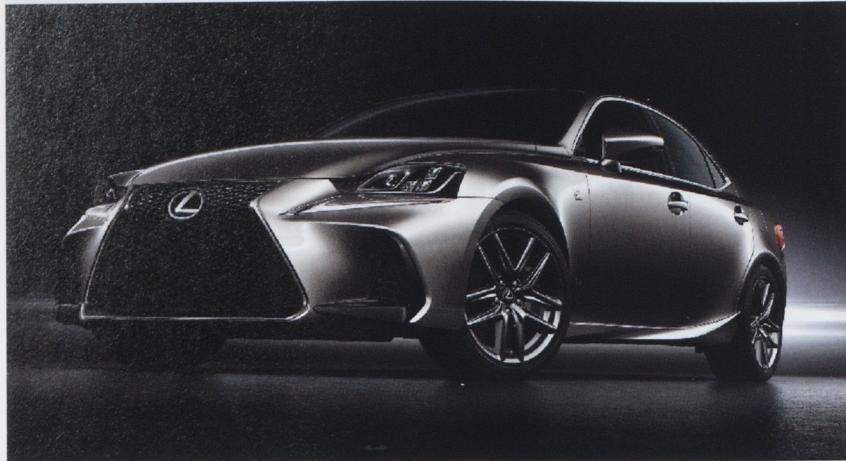
Masaru Akashi

GK Design

International, Inc.



川村 誠 前田 裕幸 杉山 文敏 古澤 隆志 佐々木 和敬 岡田 祐介
水木 太喜 安藤 純介 佐藤 稔 國重 祐介 奥出 智重 菅原 徹 脇屋 努



Abstract

In July, 2015, the production of an automotive turbocharged engine began at Yamaha Motor Co., Ltd. for the first time in 8 years (figure 1). It is a FR version of the 8AR-FTS engine to be used in the Lexus IS, RC, GS models and the Toyota Crown Athlete. This new engine has achieved superior thermal efficiency and good fuel economy, and is one of the latest downsized turbocharged engines by Toyota Motor Co., Ltd. This engine has been jointly developed by Toyota and Yamaha and will replace the 4GR-FSE engine, of which more than 1,000,000 units have been produced at Yamaha.

This report introduces the engine overview, the major changes made to FR version engine from the FF version engine, and its production technologies.

1 はじめに

2015年7月、ヤマハ発動機株式会社（以下、ヤマハ）で8年振りとなる自動車用ターボエンジンの生産が始まった（表1）。レクサスIS、RC、GSとトヨタクラウンアスリートに搭載されるFR版8AR-FTSエンジン（以下、8AR）である。高熱効率・低燃費を実現したこのエンジンは、トヨタ自動車株式会社（以下、トヨタ）の最新の過給ダウンサイ징エンジンの1つで、トヨタとヤマハが共同で開発した。またヤマハにとっては100万基以上の生産をしてきた4GR-FSEエンジンの置き換えエンジンとなる。

本稿ではエンジン概要と、先行したFF版エンジンからFR版エンジンへの主要変更点および製造技術について紹介する。

2 エンジン概要

表2にエンジン諸元を、図1にエンジン断面図、図2に性能曲線を示す。

このエンジンを開発するにあたって、次世代過給エンジンに相応しいパフォーマンスを備え、幅広いお客様に満足して頂けるように次のコンセプトを掲げた。

- ①「滑らかな加速G曲線」を実現する低速からの分厚いトルクとワイドトルクバンドおよび高応答性を備えたエンジン特性
- ②低燃費かつ低排出ガスによる高い環境性能
- ③V6エンジンから乗り換えても違和感のないNV（Noise, Vibration）
- ④NA（Natural Aspiration）エンジンと変わらないメンテナンス性
- ⑤FF、FRの両方のプラットフォームに搭載可能な構造
これらを実現するために表3に示す技術を開発・採用した。

表1 ヤマハの自動車用ターボエンジン生産の歴史

エンジン型式	配列 排気量	80	'85	'90	'95	'00	'05	'10	'15
3T-GT	直列4気筒 1,770cc			セリカ・カリーナ・コロナ					
1G-GTE	直列6気筒 1,988cc		マークII系						
			スープラ・ソアラ						
3S-GTE	直列4気筒 1,998cc		セリカ						
			MR2						
				カルディナ					
1JZ-GTE	直列6気筒 2,491cc		マークII・チェイサー クレスタ・ソアラ						マークII・マークIIブリッド・ヴェロッサ
			マークII限定車						
			スープラ			クラウン			
8AR-FTS	直列4気筒 1,998cc							IS・GS・RC・クラウン	IS

表2 エンジン諸元表

	3S-GTE	8AR-FTS	4GR-FSE
型式	→	直列4気筒 T/C	V型6気筒
排気量 (cc)	→	1998	2499
内径 (mm) × 行程 (mm)	→	86 × 86	83 × 77
圧縮比	9.0	10.0	12.0
燃料噴射方式	PFI	D-4S (DI + PFI)	D-4 (DI)
最高出力 (kW/rpm)	191/6200	180/5800	158/6400
最大トルク (Nm/rpm)	324/4400	350/1650~4400	260/3800
JC08モード燃費 (km/L)	10.6 (カルディナ) ※10・15モード燃費	13.2 (IS 200t)	11.6 (IS 250)

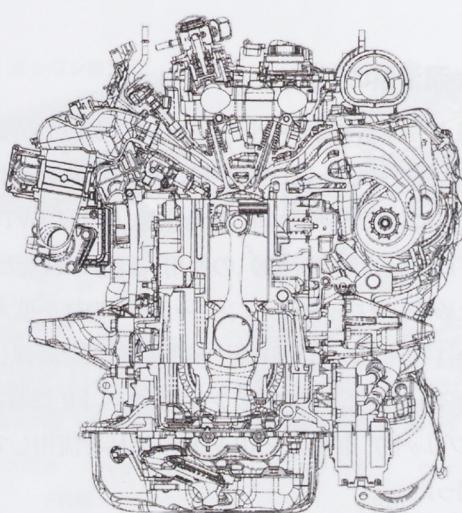


図1 エンジン断面図

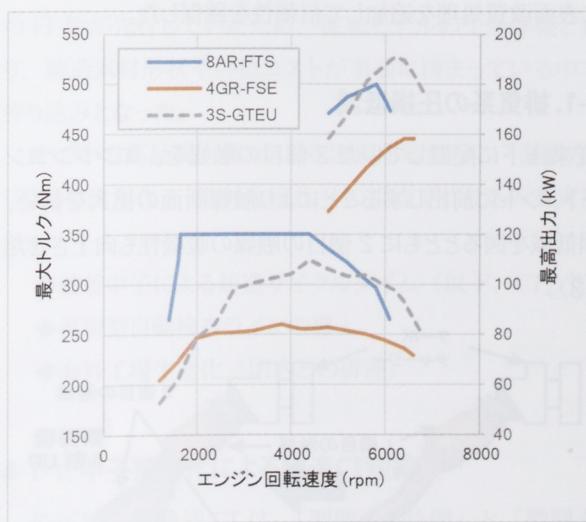


図2 エンジン性能曲線

表3 主要採用技術

部位・部品	出力	燃費	レスポンス	信頼性	搭載対応	採用技術、内容
シリンダーヘッド		○	○		○	・4-2集合エキゾーストマニフォールド一体 ・素材共用・加工違いによる搭載方法対応 ・高タングル吸気ポート
PCV系				○		・エゼクタを用いた過給域強制換気システムによるオイル劣化抑制
ピストン	○	○		○		・表面改質処理(スカート、ピンボス根元部) ・可変ON/OFF制御オイルジェットシステムによる冷却
吸気VVT		○	○			・中間ロック機構付センタースプール方式VVT(VVT-iW)
動弁系	○	○	○	○		・ロッカーアーム、リテーナ、バルブスプリングの小型軽量化 ・Na封入中空排気バルブ
冷却系	○	○		○		・シリンダーブロック用サーモスタットによる暖機促進システム
ターボチャージャ	○	○	○			・ツインスクロール式小型・高効率ターボチャージャ ・アクティブWGV(ウェストゲートバルブ)
インターフーラ	○		○			・エンジン直付けコンパクト水冷式インターフーラ ・低水温冷却回路 & 電動ポンプによる低吸気温化
燃料系	○	○				・ファンスプレー式直噴システム →高タングル筒内流動と合わせた高速燃焼システム(D-4ST) ・可変燃圧システム

※個々の採用技術詳細については参考文献[1]を参照のこと

3 FF版エンジンからの主要変更点

2014年6月にFF版8AR-FTSがトヨタ自動車九州株式会社(以下、トヨタ九州)にて先行して生産が開始された。この章ではFF版エンジンからFR版エンジンへの主要変更点について述べる。

3-1. 性能向上

セダン、クーペ車用として競合性を確保するために、FF版に対してFR版は+5kWの性能を向上させている。そのために以下に述べる手法を採用した。

性能向上により熱負荷が増える部品については、CAEや実機評価を行って信頼性を確認し、ピストンはピンボス根元部に表面改質処理を追加して信頼性を確保した。

3-1-1. 排気系の圧損低減

従来床下に配置していた2個目の触媒を、エンジンコンパートメントに前出しすることにより触媒断面の拡大を行い、圧損低減を図るとともに2個目の触媒の暖機性も向上させた(図3)。

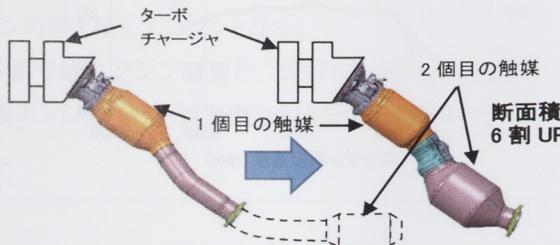


図3 2個目の触媒の前出し

3-1-2. 吸気系の圧損低減

ターボチャージャ上流の吸気系部品の2部品→1部品化や形状見直し、ターボチャージャ下流ではインターフーラ入口周辺を周辺部品との隙を確保しながらスムーズに繋ぐことにより吸気系の圧損低減を図った。

3-1-3. 最高出力回転の200rpm引き上げ

FF版では5600rpmで最高出力を出しているが、FR版ではターボチャージャの負担(回転数、温度)を上げずに吸入空気量を増やすために5800rpmに引き上げた。

3-2. 搭載対応

FF版→FR版にするための搭載対応点を述べる。

3-2-1. 潤滑系の対応

図4に示すようにオイルパンからヘッドに上がるまでの油路がFF版に対し長くなっている。VVTを始めとする各システム、部品に対しFF版と同じ適合定数(例えばVVT<Variable Valve Timing>制御定数)の使用、同等の機能と信頼性確保のために、ブロックのメインギャラリーの径を拡大して(最小径Φ12.5→Φ14)FF版と同等の油圧を確保した。またオイルストレーナ、2次バランサは同じくFR搭載されるHV(ハイブリッド)車用の2AR-FSEの部品を流用してコスト低減を図った。

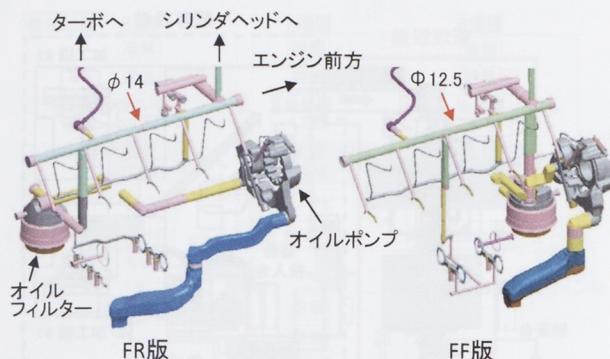


図4 FF版とFR版の油路比較

3-2-2. 水流れの対応

FF版、FR版車両におけるエンジン搭載方向、およびラジエータ位置に合わせて、エンジンの水アウトレットを配策上最適な配置（図5）とするため、FF版、FR版でヘッド内の水流れ方向を逆にした（図6）。シリンダヘッド鋳造素材はFF版、FR版共通としながら、加工違い・ヘッドガスケット水穴違いのみでこれを実現した。

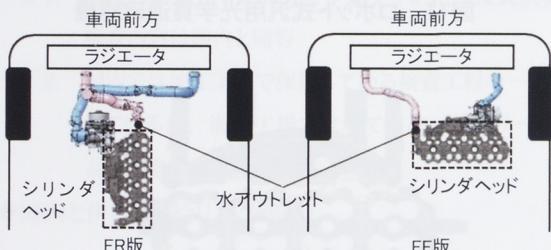


図5 車両搭載時のエンジン向き

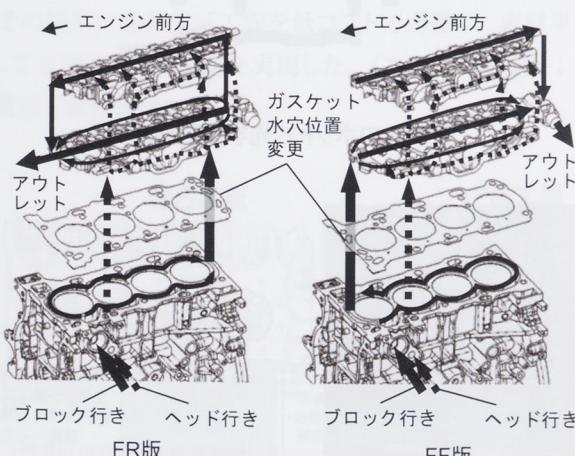


図6 エンジン内の水流れの違い

3-2-3. シリンダヘッド内のブローバイガス通路、オイル落とし通路の対応

エンジン搭載角度はFF版が12.5°または12.9°エンジン左側上がりに対して、FR版は1.9°エンジン前側上がりである（図7）。このためシリンダヘッドの上下貫通穴の役割を変更し、さらにFR版でシリンダヘッド内のオイルが溜まる最後端に加工でオイル落とし穴を追加してオイル戻りの改善を図った（図8）。

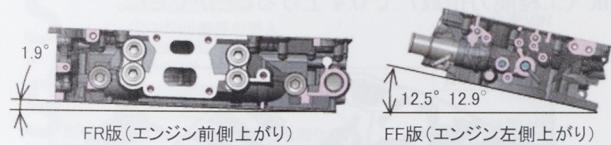


図7 エンジン搭載角度(車両左面視)

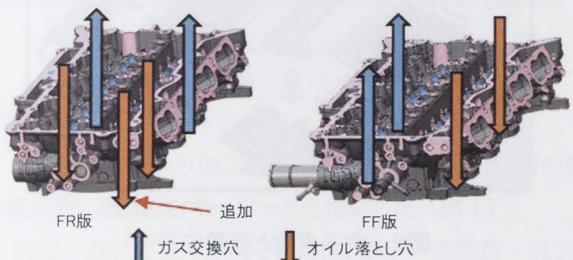


図8 シリンダヘッド内のブローバイガス交換通路、オイル落とし穴比較

4 製造技術について

8ARの生産にあたり、採用した製造技術について紹介する。

4-1. シリンダヘッド鋳造

FR版8ARはトヨタ九州と併産するモデルで、トヨタ九州のFF版が先行していたため、従来モデルの生産準備と異なり、鋳造素材形状や目標コストが事前に決まっている中での作り込みとなった。

その中で高品質、低成本を実現するために「金型方案」「設備の汎用化」「海外生産化」の視点で作り込みを実施した。

- ◆接着中子による鋳造サイクルタイム（以下、CT）短縮
- ◆汎用型自動検査ラインの導入
- ◆海外工場生産化（国内との併産）

4-1-1. 中子接着化による鋳造CT短縮

低压鋳造の鋳造CTは、「型閉まり時間」と「型開き時間」の2つに分類することができる。その中の「型開き時間」を短縮することは、CT短縮はもちろん、金型温度の安定化

にも繋がるため、鋳造品質向上にも寄与する。また今回はエキゾーストマニホールド一体ヘッドであるため、従来の(巾木)方案では、形状的に排気ポートの位置精度を出すことが非常に困難であることが予想された。そのため、今回は品質の向上(鋳造品質・寸法)と鋳造CT短縮を同時に達成するために、排気ポート周辺の4点の中子を1点に接着する巾木方案を採用した。※吸気ポートは4→3点とした(図9)。

その結果、4%の鋳造CT短縮と、排気ポート位置精度をCpk(工程能力指数)で0.4上げることができた。



図9 中子点数と接着中子

4-1-2. 汎用型 自動検査ラインの導入

8ARは、ウォータージャケット形状が複雑である。また、ポートの位置精度を出すことが難しい形状(排気ポート)／規格(吸気ポート)であるため、品質保証の観点から全数「ウォータージャケット貫通確認」と「ポート位置測定」を実施することを選択した。また、投資効率を高めるため、モデル視点(専用設備)ではなく、工場全体視点(汎用設備)で投資／工数の最適化を図ることにした。その具体的な施策は、以下の3点である(図10～13)。

- ◆既存設備の流用(Cost)
- ◆従来の手作業内容を自動化(Cost/Quality)
 - ※砂払い作業、ファイバー検査、搬送
- ◆汎用設備化による他モデルへの展開(Cost/Quality)
 - ※ロボット化、治具段取り仕様化による汎用化

その結果、高い品質保証工程を構築するとともに、8ARを含む3モデルにおいて検査作業工数を2人→1人とすることことができた(図14)。

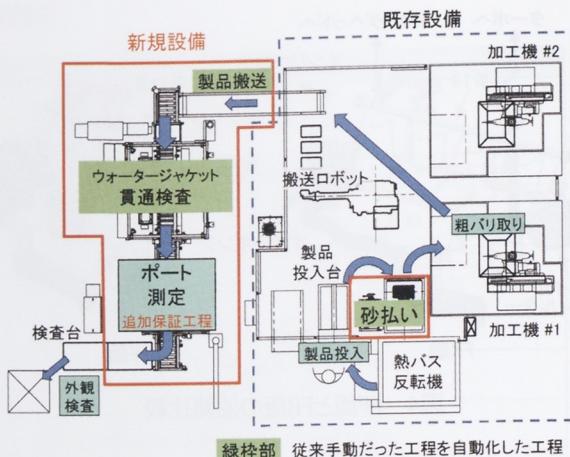


図10 汎用型 自動検査ライン

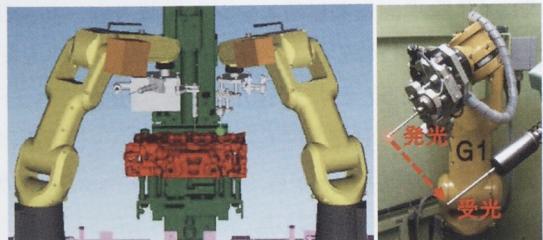


図11 ロボット式汎用光学貫通確認機

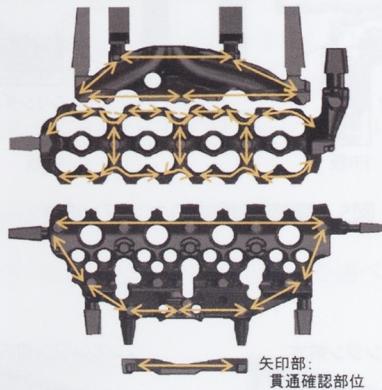


図12 ロボット式光学貫通確認部

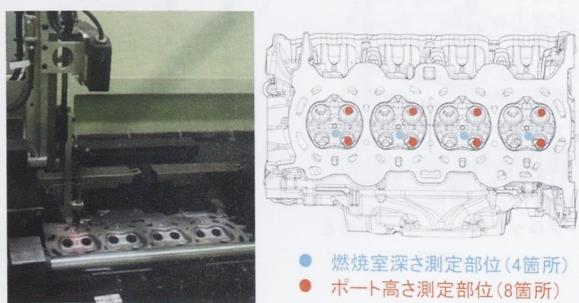


図13 自動ポート測定機

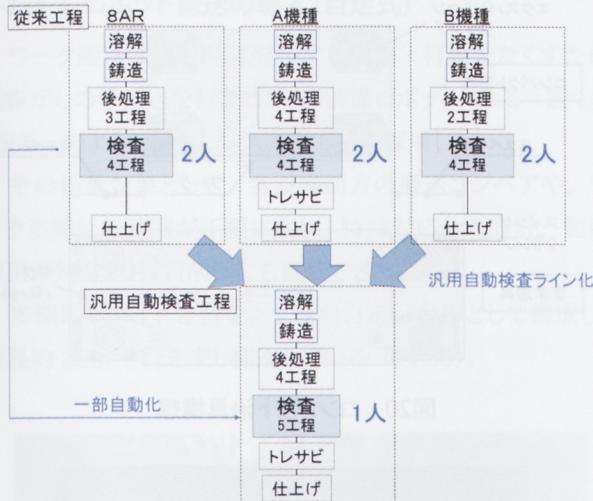


図14 設備導入前後の工程フローと工数変化

4-1-3. 海外工場生産化

コスト要求に応えるため、海外工場での生産を検討した。その際、設定した前提条件は以下の通りである。

- ◆コストダウンができる
- ◆低投資で国内と同等以上の品質保証工程が構築できる
 - ※ 1. 国内の自動ライン部分を手動ライン化（投資削減）；検査内容は国内と同等
 - ※ 2. 国内では加工工程で保証している検査工程を一部省略しているが、海外工場では全て実施（輸送リードタイムを考慮）（図 15）
- ◆国内と併産（供給リスク回避）

これらを実現できる工場として、自動車エンジン用のシリンドラヘッド製造経験がある YPMI (PT.Yamaha Motor Parts Manufacturing Indonesia) を対象工場として選定した。

その結果、品質保証工程を低コストで構築し、素材単価として 2 割のコスト低減を実現した。（コスト低減要因；人件費差、低投資化による）

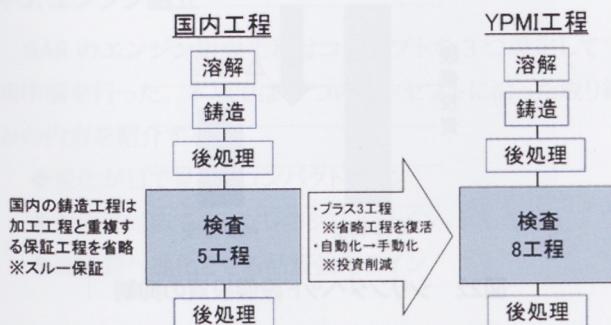
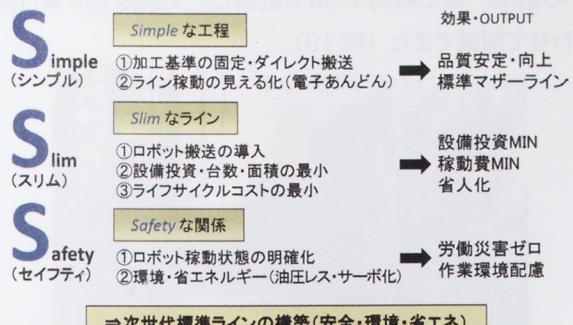


図15 国内とYPMIの工程比較

4-2. シリンダーブロック・ヘッド加工

4-2-1. コンセプト

8AR 加工ラインのコンセプトとして以下 3 つの「S」にこだわり、ヤマハ流の次世代標準ラインを構築した（図 16）。



YAMAHA'nize 3S Next Generation Line

図16 ブロック・ヘッドの加工コンセプト

4-2-2. ロードマップ

生産準備にあたり加工ロードマップを作り、新技術の整理と重点的に取り組むキーワードを選定した（図 17）。

最近の設計要望の主流である低コスト・低燃費・低フリクションから、高品質・低コストの両立を目指し加工技術トレンドを持ち寄り、様々な課題に挑戦した。



図17 加工ロードマップ

4-2-3. こだわり新技術

今回、特にこだわりを持って取り組んだ内容について、シリンドラブロック・シリンドラヘッドそれぞれの重点項目を紹介する。

4-2-3-1. 高能率加工（シリンドラブロック）

従来、ボア穴の鋳鉄スリーブ加工には、安価な超硬のインサートを使用し、高剛性の設備で加工を行なってきた。し

かし、設備投資を抑え低コストを実現するため、剛性の低い比較的安価な設備を選定し（図18）、高周速領域にて低トルク加工を行えるCBN（立方晶窒化ホウ素）材質のインサートを採用した。CBN特有の低韌性については、ツール振動を抑制する機構を追加し対応した。

その結果、加工時間を 56% 低減し、工程数・設備台数もあわせて削減できた（図 19）。

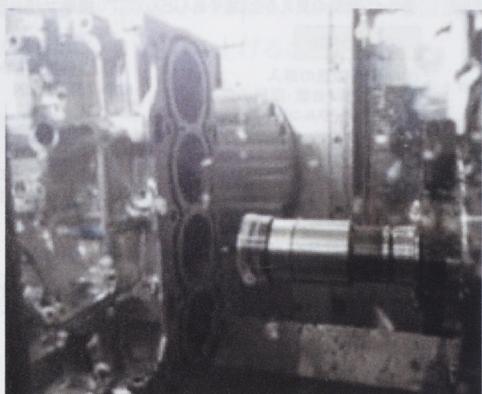


図18 ボア粗ボーリング加工

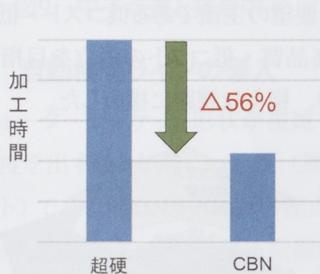


図19 シリンダブロックの加工時間の短縮

4-2-3-2. 設備スリム（シリンドヘッド）

8ARの4気筒（ワーク長さ500mm、重量15kg）サイズに使用する加工設備として、通常は#40番クラス（主軸ベアリング内径 ϕ 70～80mm）のマシニングセンタを選定しており、設備投資・設備サイズ共に大きくなっていた。

しかし、今回は単一機種の専用生産でもあることから、エクスパンションクランプを採用することにより、ベースプレートを小さくしてワーク治具重量を最小限に抑え、縦型 #30番マシニングセンタ（主軸ベアリング内径 ϕ 50～55mm）を使えるようにして、設備のダウンサイジングを実現させた（図 20、21）。

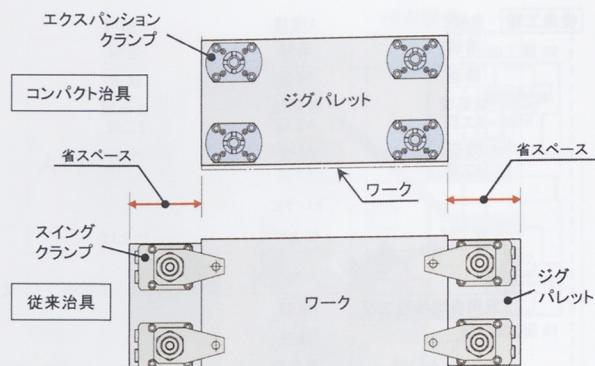


図20 コンパクト治具構想

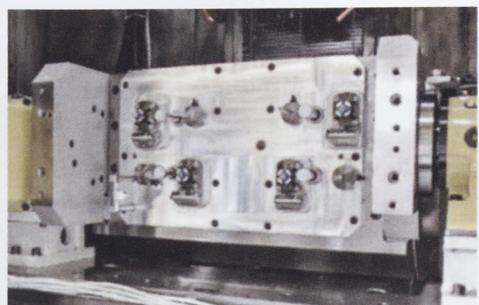


図21 シリンダヘッド用 エクスパンションクランプ治具

成果として、他ラインに対し設備投資を50%低減できた(図22)。2004年に立ち上げた4GRシリンドヘッド(片側3気筒)から採用しているが、4気筒での採用は今回が初めてである。

また、#30番マシニングセンタはツールマガジンが機内にあることから、主軸テーパー部への切り粉の噛み込み原因による、穴径の規格外れが慢性的に発生した。今回のラインには全設備に「ツール振れ検知機能」を取り付けることで、安定した品質を確保した。

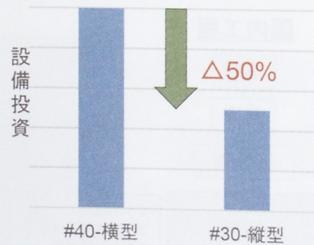


図22 シリンダヘッド設備投資の抑制

4-2-3-3. ロボット搬送の導入(自走式)

ワーク搬送・脱着時に発生する、傷・打痕をなくすため横転がしの手搬送を行なわず、多関節ロボットによる「置く」、「取る」のような転がしレス搬送方式を採用した。

その相乗効果として、各設備前方の搬送コンベアや、ワーク姿勢反転装置が不要になり、特殊対応分の設計、製作費用が無くなり投資削減にも貢献できた。

多関節ロボット 2 台を、1 台の自走行台車として構成し、全長約 25m を行き来し搬送している(図 23)。



図23 シリンダーブロック加工ライン 多関節ロボット搬送

4-2-3-4. 作業環境への配慮

部品圧入工程には全て電動サーボプレスを使用し、品質の向上を図るとともに、油圧レスを推進し低環境負荷・省エネルギーにも貢献し、騒音や振動の少ない快適な作業環境の配慮も行ってきた。

4-2-3-5. 指標比較

従来の乗用車单一機種専用ラインに比べ、ライン設備投資を 27%、設備台数 23%、ライン面積 12%、直接作業人員 43% の削減を達成した。(生産規模を同等として)

4-3. エンジン組立

8AR のエンジン組立工程はコンセプトを 3 つ設定して生産準備を行った。本項では 3 つのコンセプトに沿った取り組みの内容を紹介する。

- ◆変化が目で見えるコンパクトライン
- ◆変化に対応できるフレキシブルライン
- ◆高品質へ進化させる品質強化ライン

4-3-1. 変化が目で見えるコンパクトライン

8AR 組立ラインでは従来に比べ大幅なコンパクト化を実現させた。従来の組立ライン(4GR エンジン用)に対し、ライン長を 6 割に抑え、エンジン組立に必要な全組立工数に対するライン必要長さも 3 割削減させてコンパクト化を達成した(図 24)。

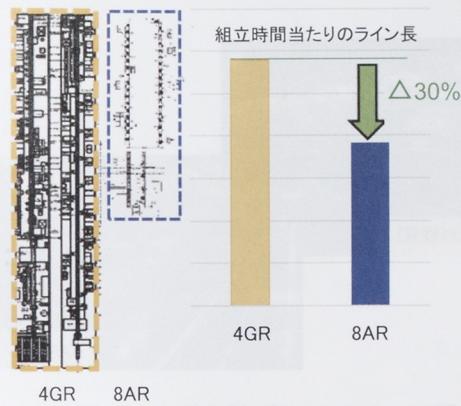


図24 組立ライン比較

また、従来の組立ラインでは、搬送コンベア周りに部品棚を配置する際、ライン横に棚が集中してライン外からの視界を阻害し、作業点が見えなくなることで、作業者に起きた現象を即時に確認できないという問題があった。8AR 組立ラインではその問題を解決するため 2 つのアイテムをあわせて採用した。

・キット供給

エンジン 1 台分の部品を段取り、作業点近くに供給する「キット供給」を採用し、ライン横の棚を最小限に抑えた(図 25)。これにより、部品取り出し距離を最短にし、本線内の値段作業を向上させた。また、供給箱返却ロスもあわせて削減し、サイクリックな作業が可能なラインを実現させた。

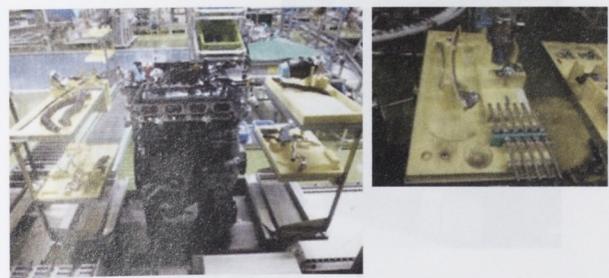


図25 8ARキット供給パレット

・低床コンベア

エンジン搬送コンベアは従来、上段を搬送、下段を空パレット返却とし、2 段構造を採用していた。しかし、搬送面が高

くなり作業点も高くなるため踏み台が必要になり、周囲からも作業点が見えにくいという問題を抱えていた。そこで、ライン配置をU字形に見直すことで空返却レーンを廃止するとともに、コンベア自体の構成部品も可能な限り低くレイアウトすることで低床コンベアを実現させた。これにより、踏み台も不要になり、外側からでも作業点が視認しやすいラインを実現した（図26）。



図26 8ARエンジン組立ラインサイド

4-3-2. 変化に対応できるフレキシブルライン

直近のエンジン組立ラインでは、機種専用に特化させて生産性向上および問題点の解消に取り組んできた。しかし、今後のモノ創りを見据えた多品種化や小規模での工程移動など変化に対応できるラインが必要となる。そこで今回、変化に対応できる施策を織り込んだ設備導入を進めた。

・天吊り型締付フレキシブル締付設備

一般的には設備を地面に設置するが、その場合は設備移動を伴う工程変更が容易にできなくなる。そのため工程編成に制約が残りロスを抱え続けるという課題があった。

8AR組立ラインでは天吊り型の設備を一部の工程に採用し

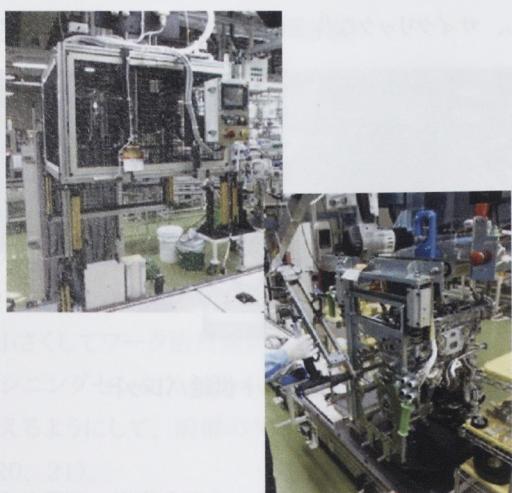


図27 天吊り型フレキシブル設備

てその問題点を解消した。設備を架台に吊り、滑車を採用することで移動を容易にし、また、設備内も製品形状に合わせて締付位置など作業点を自由に変更できる機能を持たせた締付軸（3軸）を採用することでフレキシブルな設備を導入した（図27）。

また天吊り型設備は、コンベア上を移動するエンジンと同期して移動しながら組付・締付も行うことができる。チェーンケース締付設備ではエンジンと設備が同期して移動し、さらに位置検知機能付きの締付機も採用し、対象ごとに締付プログラムを変更できるフレキシブル設備を導入した。

4-3-3. 高品質へ進化させる品質強化ライン

エンジン組立工程は部品点数が多く、精度の必要な組付が要求される場合も多い。しかし、各部品ともに公差があり、そのバラつきを全て解決できる工程作りは困難となる。8AR組立ラインでは、バラつきに対応する技術を織り込み、高品質な組付が可能な設備を導入した。

・画像補正機能付き液体ガスケット塗布設備

エンジンには液体ガスケットを部品合わせ面に塗布してシールする部位がある。その塗布は位置精度が重要で、部品のバラつきで少しのズレが発生してもオイル漏れに直結してしまう。

8AR組立ラインでは、構成部品のバラつきを含むエンジン位置を画像処理で認識して補正するロボット技術を社内IM（Intelligent Machinery）事業部と共同開発し、補正データに合わせて塗布位置に精度良く塗布できる液体ガスケット塗布装置を導入した（図28）。パレットや部品バラつきによって発生する個体差をも補正できるため、 $\pm 20 \mu\text{m}$ の軌跡精度で塗布が可能である。またこの設備では、液体ガスケットを塗布する直前に塗布ノズルの曲がり、製品との距離



図28 画像補正機能付き液体ガスケット塗布機

のズレの有無を確認する仕組みを持たせており、ロボットによる位置精度保証とあわせて全数良品が達成できる設備とした。

・組付同時検査設備・治工具

これまでのエンジン組立ラインでは組立と検査の工程を別々で持っていたため、設備・治工具が2倍、組立工数も2倍かかっていた。

8AR組立ラインでは、組付と検査を同一工程・同一治具で行う設備を開発し、工程集約させることでコストダウンを図る取り組みを実施した。コッタ・リテーナ組付設備では組立ツール内に検査構造を組み込み、工程の集約を行った(図29)。



図29 組付同時検査機能付き設備

4-4. 8AR生産ラインの製造技術

8AR生産ラインでは、新技術のみでなく、従来技術をさらに突き詰めて発展させ、先を見据えたモノ創りに向けた競争力に挑戦した生産準備を進めることができた。また、鋳造工程から加工・組立・出荷まで一貫して良品を作る工程を築くことができたと考えている。

今後はこの取り組みを基礎に、さらに幅を広げる技術力と競争力を得るために生産ラインを進化させ、お客様の信頼と期待にお応えできるモノ創りを実現していく。

5 おわりに

8ARは最新の技術を投入し、運転する楽しさと環境性能を両立させた次世代エンジンを実現した。また最新の製造技術を投入して品質を十分に確保しつつ製造コストの低減を図ることができた。

最後に、8ARの開発と製品化に携わったトヨタおよび社内外の多くの関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

■参考文献

- [1] 鈴木智明, 渡邊泉, 川合孝史, 米澤幸一: 新型2.0L直列4気筒ガソリン直噴過給ダウンサイズエンジン, 自動車技術会 学術講演会前刷集, No.94-14, P1~4 (2014年秋季大会)



■著者

川村 誠(写真①)

Makoto Kawamura

AM事業部
品質保証部

杉山 文敏(写真③)

Fumitoshi Sugiyama

AM事業部
AM第1技術部

佐々木 和敬(写真⑤)

Kazuhiro Sasaki

AM事業部
AM第1技術部

佐藤 稔(写真⑨)

Minoru Sato

エンジンユニット
コンポーネント統括部
ユニット技術部

脇屋 努(写真⑬)

Tsutomu Wakiya

トヨタ自動車株式会社
エンジン設計部

前田 裕幸(写真②)

Hiroyuki Maeda

AM事業部
AM第1技術部

古澤 隆志(写真④)

Takashi Furusawa

AM事業部
AM第1技術部

岡田 祐介(写真⑥)

Yusuke Okada

エンジンユニット
コンポーネント統括部
ユニット技術部

國重 祐介(写真⑩)

Yusuke Kunishige

エンジンユニット
コンポーネント統括部
ユニット技術部



水木 太喜(写真⑦)

Taiki Mizuki

YPMI

安藤 純介(写真⑧)

Junsuke Ando

エンジンユニット
コンポーネント統括部
ユニット技術部

菅原 徹(写真⑫)

Toru Sugawara

エンジンユニット
コンポーネント統括部
ユニット技術部

Pisithsak Surawichai Rittanon Chongchatklang Ken Rungruang 小原透



Abstract

Recently, the popularity of big bikes is increasing in the Asian region. Many general scooter and moped customers aspire to shift to a big bike, but pricing remains unreachable for young riders and a higher riding skill is required. The M-SLAZ was developed as a step-up model to answer these needs, helping the transition to big bikes, but with full features and at a reasonable price.

M-SLAZ was developed based on the platform of the Asian popular sports model YZF-R15 combining dynamic agility and controllability with a full-fledged appearance. Main features are 1) High-rigidity upside down front suspension which delivers excellent riding performance, 2) Upright riding position which brings an enjoyable feeling of being one with the bike, 3) Street Extreme exterior styling, and 4) Advanced LED Headlight which enables a compact frontal design.

1 はじめに

アセアン地域では近年ビッグバイクの人気が高まりつつあり、ビッグバイクにシフトしたいと考える一般スクーターおよびモペッドのカスタマーが多い。しかし、ビッグバイクは若者においては手の届かない価格であり、高い操縦スキルが必要とされる。M-SLAZは、ビッグバイクにシフトする前のステップアップモデルとして、本格的な外観と機能を兼ね備えながらも、「扱いやすさ」と「お求めやすい価格で提供すること」を狙いとして開発された。

エンジンとシャーシは、アジア地域で人気を博すスポーツモデル「YZF-R15」からプラットフォーム展開し、力強さが凝縮された躍動的な新スタイルと機敏性に優れた操縦性を兼ね備えている。主な特徴は、1) 高い走行性能を実現

する高剛性の倒立式フロントサスペンション、2) 車両との一体感を楽しめるアップライトなライディングポジション、3) “Street Extreme”をイメージした外観デザイン、4) 先進的でミニマムなフロント周りを演出するLEDヘッドライトなどである（図1）。



図1 M-SLAZ外観



図2 フィーチャーマップ

2 開発の狙い

M-SLAZ は、ライダーに操る悦びを感じてもらうことを目標に設定し、“Just Size Ultimate Fashion Street Extreme”をコンセプトに開発した。タイの交通環境とトレンドに呼応し、エクストリーム感覚で市街地走行を満喫するための機能を斬新なマッシブボディに調和させることを狙った。

パワーユニットとシャーシは実績のある「YZF-R15」を受け継ぎながら、ボディデザインは一新することとした。そして、LED 灯火類、倒立式フロントフォーク、コンパクトな燃料タンク、アルミ製リヤアーム、ワイドタイヤなどを織り込み、総合的なバランスを整えることを目指した。

3 開発の取り組み

図2にフィーチャーマップを示す。

3-1. デザイン

デザインは、市街地走行に適したライディングポジションと、レースとは一線を画したパフォーマンス表現をテーマとした。造形は、①マスフォワード、②マッシブ、③コンパクトの3方向からアプローチした。

3-1-1.「マスフォワード」へのアプローチ

「マスフォワード」を表現するパートとして、新開発した前後に短いタンクとそれに付随する縦基調のエアスクープ、そして、前後に短いリヤテールデザインを採用した。

タンク天面は YZF-R15 比で 45mm 高く、全体をフロント寄

りに配置することでマスの集中による力強さと軽快な印象を与えた。これは、ライダーの上半身がスマートな姿勢に映ることともにフリースタイル的シルエットをこのモデルに与えている。また薄いフロントマスクは、エクストリーム感を漂わせる。

3-1-2.「マッシブ」へのアプローチ

力を溜め込んだ筋肉質で緊張感のある張りを感じさせるコンパクトなボディーカバーと、力強い印象を与えるインナーチューブ径 37mm の倒立式フロントフォークで表現している。

3-1-3.「コンパクト」へのアプローチ

扱いやすくちょうど良いコンパクトさを印象付けるのに貢献するのが、ヘッドライトからテールライトにかけて前後の長さを極限まで短くしたボディである。

ステアリング軸とヘッドライトレンズ先端間は YZF-R15 比で約半分以下の 250mm とした。テールライト後端位置は、リヤアクスルのほぼ真上に位置し、ショートテールデザインとすることで凝縮感を印象づけた。さらにその印象を強調するために、薄い LED ヘッドライトとコンパクトな LED テールライト、ネガポジ反転液晶の薄型デジタルメーターを採用した。

3-2. エンジン

“Just Size Ultimate Fashion Street Extreme”のコンセプトを支えるエンジンは、YZF-R15 と同じく 150cc の水冷 4ストローク SOHC 単気筒 4バルブ・FI である（図3）。ボア・

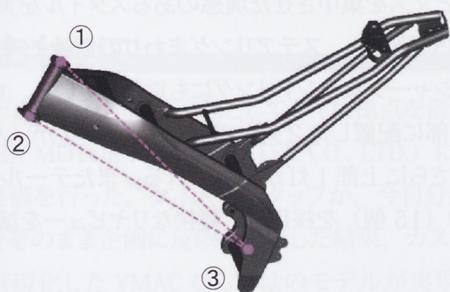
ストロークは、 $57 \times 58.7\text{mm}$ とし、10.4:1 という高圧縮比とコンパクト燃焼室から、最高出力は 12.0kW/8,500r/min、最大トルクは 14.3N.m/7,500r/min を引き出している。小型ラジエターの採用と走行風を放熱に利用するボディまわりの設計により、安定した冷却性の確保と軽量コンパクト化を可能とした。またバランサーを内蔵しており、振動の少ない乗り心地に貢献している。



図3 エンジン

3-3. 車体

前後ショートデザインとライディングポジションは、マスの集中化を可能とした。さらに、ライダーからの意思伝達を容易するために各部を高剛性化している。

図4 デルタボックスフレーム¹⁾

1)デルタボックスフレーム: ヘッドパイプ①上部と②下部、そして③ビボット点を結ぶカタチが3角であることから名づけたヤマハ独自の呼び方。1980年代から世界GPロードレースで培った技術。

3-3-1. 機敏な走りを支えるデルタボックスフレーム¹⁾(図4)

フレームは高強度、高剛性のスチール製を採用した。コンセプトに基づき剛性バランスを整えており、機敏な走行性を支えている。エンジンのフレームへの懸架はヘッド側1点、ケース部2点のリジット式とし、エンジン自体を車体の剛性部材として活用することで、優れた剛性バランスを実現した。

3-3-2. マッシブスタイルを印象づける倒立式フロントフォーク

フロントフォーク(図5)は、37mm径インナーチューブの倒立式で機敏な走行性を支え、同時に外観上マッシブ感を印象づける。バネ下重量低減の効果に加え、上・下ブラケット類の剛性最適化などのバランス調整により、クイックなハンドリングと高いフロント接地感の両立を実現した。またフォークオフセット値を45mmにするなどフロント回りの各ディメンション調整を行い、車体とのマッチングを図った。ストロークは130mmである。



図5 倒立式フロントフォーク

3-3-3. 専用設計のアルミ製リヤアーム

高剛性のフレーム、フロントフォークとのバランスを考慮し、本モデル専用のアルミダイカスト製リヤアームを採用した(図6)。独自のダイキャスト技術を投入し、左右分割組立構造を採用することで各部の肉厚最適化を図り、優れた操縦性を実現した。なお、リヤアームについては別稿の技術論文「ダイカストリヤアームへの適用に向けたAl-Si-Mg系合金の熱処理特性の検討」を参照されたい。

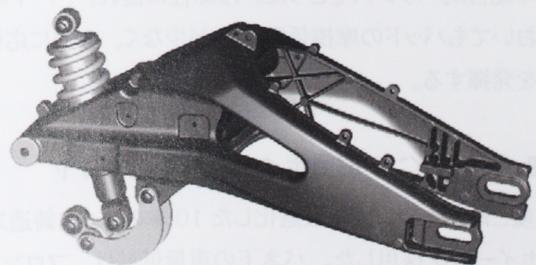


図6 アルミ製リヤアーム

3-3-4. リンク式モノクロスサスペンション

リヤサスペンションは、リンク式モノクロスサスペンションを採用し、クイックな乗り心地と底付きしにくい優れたクッション性を両立させた。リンク式とは、リヤアームとクッションユニット間にリンク構造を組み込み、レバー比の変化を発生させる仕組みである。ショックアブソーバーの全伸付近ではレバー比が大きいため柔らかく、ダンパーもソフトに働く。ストロークするに従い徐々にレバー比が小さくなり、バネレートが強くなる。よって最圧付近ではバネは強く働き、ダンパーがハードに機能する。アルミ製リヤアームとのバランスで、エクストリームな走りを支える。

3-3-5. ボディ中央配置のインナータンク

マスの集中による軽快なハンドリングを実現するため、タンクは車両中央にレイアウトした。この燃料タンクは、樹脂製のカバーで左右、天面が覆われ、エクストリーム感を外観からも印象づけるポイントである。

3-3-6. 街中のファンライドを支えるアップライトなライディングポジション

街中のファンライドを可能とするライディングポジションを設定した。フロント寄りとした乗車位置とアップライトなバーハンドルとのコンビネーションで、フロントの接地感を得ながら機敏な操縦感を楽しめる。

3-3-7. 入力に応じた効力を発揮する前後ディスクブレーキ

前後にディスクブレーキを採用し、優れたストッピングパワーを発揮する。フロントは2ポットキャリパーである。ディスクやパッド特性などの「摩擦系」と、レバー比、キャリパー剛性、マスターシリンダー、レバー形状などの「入力伝達系」の総合的バランスをとった。冷却性に優れ、ハードな使用においてもパッドの摩擦係数変化が少なく、入力に応じた効力を発揮する。

3-3-8. 前後17インチ軽量ホイール&ワイドタイヤ

強度と剛性バランスを最適化した10本のアルミ鋳造スポーツホイールを採用した。バネ下の重量低減は、フロントまわりのジャイロモーメントを低減させ、軽快な走行性に貢献している。

タイヤは、モデルコンセプトに合わせたプロフィールを専用に開発した。倒立式サスペンションを含む車体のバランス

とマッチさせており、機敏な走行性に寄与している。サイズは前110/70-17、後130/70-17である。

3-3-9. 空力特性・冷却性に優れ、泥はね抑止を図るアンダーカウル

走行風を積極的にシリンダー、ヘッド方向へ導くフィンを設けたアンダーカウル（図7）を採用した。これにより空力特性と泥はね抑止効果を向上させた。



図7 アンダーカウル

3-3-10. LEDヘッドライトなど、最新の電装系搭載

明るく省電力消費、かつ薄型コンパクトなLEDヘッドライト（図8）を可能な限り低くレイアウトし、特徴的なフェイスデザインとマスを集中させた塊感のあるスタイルを実現した。軽量・薄型設計は、ステアリングまわりの慣性モーメントを低減してシャープなハンドリングにも貢献している。ロービーム時は下部に配置した2灯とポジションランプが、ハイビーム時にはさらに上部1灯が追加される。またテールライトも薄型LED（15個）を採用し、軽快なリヤビューを演出した。



図8 LEDヘッドライト

3-3-11. 薄型でコンパクトなフル液晶デジタルメーター

小型のフル液晶デジタルメーター（図9）を採用した。左側にエンジン回転数をバー表示し、右側は速度計のレイアウトとした。回転数のバー表示は加速フィーリングを演出する。また、ヘッドライトと同じく軽量・コンパクトであることから、フロントまわりの慣性モーメントが低減でき、軽快なハンドリングにも貢献している。なお、照度は3段階で調整が可能である。



図9 デジタルメーター

3-3-12. その他車体関連の特徴

- ・コーナリング性能を高める深いバンク角（静止状態では50度）
- ・段差乗り越えに十分な地上高（最低地上高 164 mm）

4 おわりに

本モデルは、タイ向け商品としてタイに拠点を置くYMAC (YAMAHA MOTOR ASIAN CENTER CO., LTD.) にて企画、設計、評価を行った。タイ人のスタッフが、今自分達が欲しい商品をそのまま企画に反映し開発した結果、カスタマーの要望を具現化したYMACならではのモデルが実現できた。我々は、タイ国内の開発だけではなく、日本国内における開発モデルについても市場の要望を技術視点に置き換え、開発することができるよう情報発信を続ける。

なお、「M-SLAZ」は2015年12月よりタイ国内を先頭に販売を開始し、2016年1月「XABRE」(インドネシア)、9月「TFX150」(フィリピン)、10月「TFX150」(ベトナム)として販売を開始している。現在、開発の狙い通り、デザインやライディングの楽しさなどに対して高い評価を得ている。

■著者



Pisithsak Surawichai

YMAC R&D
Design Engineering Division

Rittanon Chongchatklang

YMAC R&D
Testing Engineering Division

Ken Rungruang

THAI YAMAHA MOTOR
Product Planning Division

小原 透

Toru Ohara
YMAC R&D
Design Engineering Division

MT-09TRP ポリス向け専用車両

MT-09TRP Dedicated Police Unit

永田一 内門玄



Abstract

Based on the MT-09, this model has been exclusively designed for use by police forces.

With the main target as police organizations in France, this model has excellent maneuverability and sufficient acceleration performance for operation in urban areas. Increased demand for 1,000cc class models has also been achieved by keeping the introduction cost down. While Yamaha Motor has supplied the TDM900A in this class for many years, a new traction control requirement was added for upcoming bidding processes, and launching a new model with higher performance and functionality than competitors became necessary.

Differing from conventional types, this model is used in a range of special applications. Building on understanding the required functions, considerable effort was necessary to achieve riding stability in response to increased weight and a parts layout for greater space efficiency in order to successfully add police-specific equipment while still utilizing the features of this light and compact base model.

This report introduces the development of this police unit as follows.

1 はじめに

本モデルは MT-09 TRACER をベースとしたポリス専用車両である。

メインターゲットのフランス警察機関では、市街地の運用で必要十分な動力性能と取り回しの良さを持ち、導入価格も安価に抑えられるという理由から 1,000cc クラスモデルの需要が高まっている。

当社はそのクラスに TDM900A を長く導入してきたが、次期入札要件としてトラクションコントロールの装着が必要となることに加え、入札競合他社に対し性能・機能を高めたニューモデルを投入する必要があった。

一般車両とは異なり特殊な用途で使用されるモデルであ

り、要求機能の把握と、軽量・コンパクトなベースモデルの特長を生かしながらポリス専用装備を追加するには、スペース効率を高めた部品レイアウトや、重量増加に対する走行安定性の作り込みなどいくつかの工夫が必要であった。

以下にポリス車両の開発について紹介する。

2 要求機能について

フランスを含め、警察機関で使用するモーターサイクルの要求事項については、各機関が発行する要求仕様書に性能・装備・仕様が規定されている。

仕様書から読み取れない要求機能を具体化するため、欧州で警察機関への車両納入を行っている拠点関係者に対



図1 MT-09 TRACER からの変更点

し、ユーザーの使用実態や車両運用管理に関するヒアリングを綿密に行なった。さらに過去のポリスモデル開発で得たノウハウを生かし、精度を高めた。

調査の結果、得られた本モデルの要求機能は以下の通りである。

- ①交通量の多い市街地での取り締まり走行を支援する高い機動性
- ②8時間前後の長時間乗車、天候・気温変化に対する快適性
- ③極低速のパレード走行から最高速度域までカバーする走行安定性
- ④緊急走行時におけるパトロールスイッチの高い操作性
- ⑤運行管理者が個々のライダーの走行実態を把握できる機能の追加（フランスのみ）

でも快適なライディングポジション

- ・スクリーン・ハンドルガードによるウインドプロテクション機能

そこに専用装備として以下の装備を追加・変更した。

- ・無線機ボックス・サイレン・フラッシングライト等の通信・警告装置と、それらを駆動するサブバッテリの追加
- ・車体保護のためのエンジンガード・ガードサドルバックの追加
- ・重量増加に対する走行安定性確保のためのリヤアーム変更
- ・さらなる快適性向上のためにクッション性を高めたコンフォートシート・ハイスクリーン・グリップウォーマーの追加
- ・ドライビングモニターによる運行管理機能の追加

ベースモデルに対する変更点を図1に示す。

3 ベースモデルの特徴と変更点

ベースモデルに選定したMT-09 TRACERは、入札要件であるABSとトラクションコントロールを有し、さらに前述した機動性・快適性に合致した以下の特長を持っている。

- ・スロットル操作に対し、リニアなトルク出力特性を持つエンジン
- ・軽量・コンパクトな車体による軽快なハンドリング
- ・アップライトによる警ら走行に適した広い視界と長時間乗車

4 開発課題と対応

ここではベースモデルに対し、要求機能を達成するために採用した技術について紹介する。

4-1. 機動性を考慮した部品レイアウト・強度設計

市街地の取り締まり走行では、車両間や狭路でのすり抜け性を良くするため、エンジンガードの全幅は極力狭くする必要がある。

サイレンを囲うようにパイプワークを行うと全幅が広くなってしまうため、本モデルでは、エンジンガード・ハンドルバー・ガードサドルバックの接地点で構成される平面内にサイレンを配置することで、保護機能の確保と全幅要件への対応を両立させた。

エンジンガードおよびガードサドルバックは、転倒時の荷重入力によるフレーム側の破損を防止するため、強度解析により車体が保護できる強度を有しつつ、フレーム側へのダメージを防ぐよう配慮した。

エンジンガード部の全幅はTDM900Aの600mmに対し、650mmと一気箇多いながらも50mmの増加に抑えた(図2)。



図2 全幅を抑えたガード、サイレンのレイアウト

無線機ボックスの下にサブバッテリを配置することで、シート全長の範囲で追加部品を収め、重量物のオーバーハングを抑えている。

背反としてボックス部分の地上高が高くなり、乗降の際に足を引っ掛けやすくなるが、サブバッテリをタイヤクリアランスが必要量取れる位置までリヤフェンダーの下に突出させた配置とすることで、重量物のレイアウトを最適化しながら全高の低減を実現した(図3)。

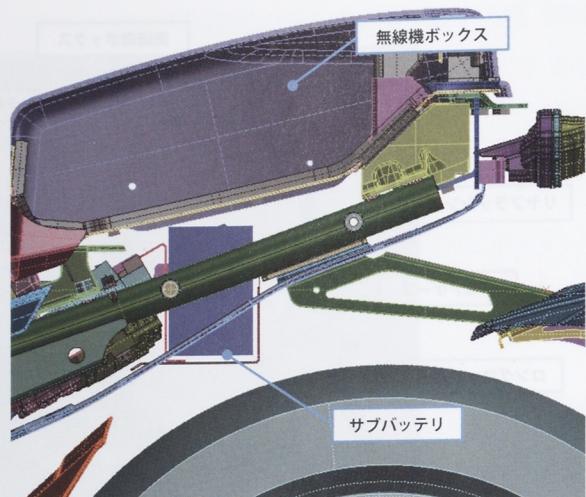


図3 無線機ボックス廻りのレイアウト

4-2. 重量増加に対する走行安定性の作り込み

ポリス車専用追加装備による重量増加に対し、走行安定性への影響を予測して開発初期で実走検証を行った。

ベースモデルの軽快性が寄与し、操縦性は目標を達成したが、高速走行時の安定性を確保するために改良を行った。

机上検証にて直進安定性解析シミュレーションによるパラメータ変更での傾向予測を行い、実機では前後重量バランスの調整を主体とした複数のテスト仕様を作成し、徹底した走り込みを行った。

検証結果から、ホイルベースの延長と剛性を上げた専用リヤアームを採用し、フレーム側の変更を必要としない範囲で目標を達成した(図4)。



図4 専用リヤアーム

4-3. ポリスユース機能向上のための細部対応

ポリスユース特有の使用方法への対応と、ユーザーが集中して警務に取り組めるよう、細部にわたり設計に配慮した。

4-3-1. ドライビングモニターの追加

フランス警察機関での運行管理の課題に対し、ドライビングモニターを企画・開発した。

車載するハードユニットで ECU の信号を中継し、速度やブレーキ・フラッシングライトの使用など車両の各種走行データと、内蔵の GPS による位置・時刻情報を時系列で SD カードに記録することができる。

記録したデータを専用のアプリケーションをインストールしたパソコン上で表示させ、警らルートの履歴表示や事故の際の状況分析など、運行実態の記録・管理ができるシステムで、本モデルや FJR1300P-A ポリスで装着が可能である。

システムの概要図を以下に示す（図 5）。

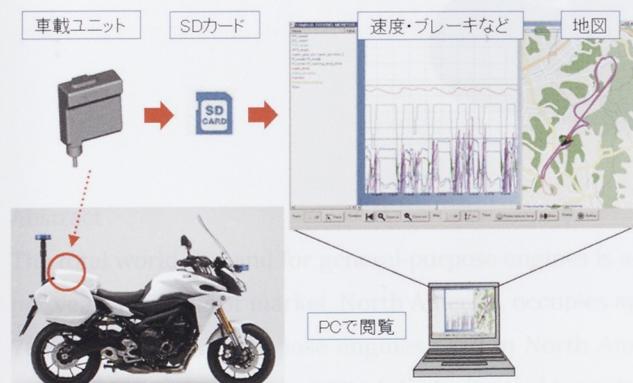


図5 ドライビングモニターシステム概要

4-3-2. パトロールスイッチの配置

緊急走行時に車両を追尾しながらサイレンやフラッシングライトを操作するパトロールスイッチの配置は、親指でブレインドタッチが可能な場所に設け、従来のスイッチは使用頻度に応じたレイアウトに見直した（図 6）。



図6 パトロールスイッチ配置

4-3-3. 隊列走行への配慮

後続車への泥はねを軽減するため、ベースモデルのマッドガードを下側へ延長する部品を追加した。これによる強度上の課題を、ブラケットの補強、フレームへの締結構造の見直しを行することで解決した（図 7）。



図7 延長したマッドガード

4-3-4. フラッシングライトの被視認性

ベースモデルの高輝度 LED ヘッドライトにより、夜間の視界が向上した反面、近接するフロントフラッシングライトの被視認性が低下する点に対し、遠距離からの被視認性評価でフラッシングライトの適正位置を検討し、視界の向上と高い被視認性を両立させた（図 8）。



図8 フロントフラッシングライト配置

5 市場への導入と評価

本モデルはすでに TDM900A の代替モデルとしてフランス国家警察への導入が始まっている。

導入前のテスト走行（図 9）の視察と、テスターへのヒアリングを現地へ赴き実施した。このヒアリングでは、ベ

スモデルのハンドリングを専用装備の追加で損なうことなく、軽快で扱いやすいとの高評価を頂いた。また、開発で注力した安定性についても、低速から高速域まで全域に渡って良好であるとのコメントを頂くことができた。



図9 テスト走行の様子(フランス警察)

ベースモデルの特長を生かし、要求機能を実現できたことをコメントから実感でき、開発の達成感とともに次期入札に向けた手ごたえを感じている。

■著者



永田 一
Hajime Nagata

ヤマハモーターエンジニアリング(株)
MC開発統括部
設計部



内門 玄
Gen Uchikado

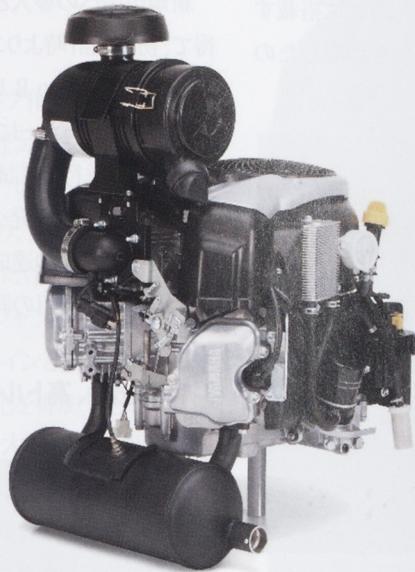
ヤマハモーターエンジニアリング(株)
企画統括部
事業推進部

6 おわりに

紹介してきたとおり、ポリス専用車両は一般車両が交錯する市街路を、長時間の乗車や時に緊迫した状況で、高い走行技能訓練を受けたユーザーが満足する性能を発揮できなければ車両として受け入れられない。よってその開発は、ベースモデルに単に専用装備を装着するだけではなく、先に述べた多様な工夫と技術、細かな設計の気配りによって成立している。開発部門としては、ベースモデルの仕様に対し、限られた開発領域で目標達成をさせるため、苦労を強いられる場面もあるが、達成した時のやりがいも高いものがある。

今もなお緊張が続く欧州の治安状況下で、ユーザーである警察官の活動を助けるパートナーとして本モデルが活躍することを期待し、本紹介を終える。

加治屋 晋一 津田 真矢



Abstract

The total world demand for general-purpose engines is approx. 28 million units (four-stroke engines from 50-1,000cc) per year. The biggest market, North America, occupies approx. 12 million units per year, over 40% of world demand. 70% of the general-purpose engines used in North America are of the vertical configuration (vertical output shaft types), with the remaining 30% of the horizontal type. Approx. 70% of this entire market is for lawn mowing purposes such as walk-behind rotary mowers and lawn tractors.

Low-priced compact engines are used widely in walk-behind rotary mowers as they are mainly used for domestic purposes and are therefore cost driven. On the other hand, in lawn tractors, there is demand for high-reliability, high-performance and high-quality large-capacity engines for use in lawn mowing machinery known as Zero Turn Radius Mowers (ZTR), which are used mainly in commercial lawn mowing. In contrast to the many Chinese-manufactured engines used in walk-behind rotary mowers, the ZTR market is mainly occupied by Japanese and American manufacturers.

Yamaha Motor currently has a line-up of single-cylinder horizontal engines from 80-400cc. This report introduces the development of Yamaha's first fuel-injected Vertical V-Twin Engine designed for use in commercial ZTR, which aims to expand market share in the largest market, North America.

1 はじめに

汎用エンジンの世界総需要は年間約2800万台（4サイクル50～1000cc）であり、その中でも最大の市場は北米で年間約1200万台（全世界総需要の40%以上）となっている。

北米で消費される汎用エンジンの70%がバーチカル（出力軸垂直取り出し）エンジン、30%がホリゾンタル（出力軸水平取り出し）エンジンで、用途はWALK-BEHIND ROTARY MOWERS（手押しタイプ芝刈り機）、LAWN TRACTOR（乗用芝刈り機）といった芝草市場に関係する

商品が約70%を占めている。

WALK-BEHIND ROTARY MOWERSは家庭用でコスト重視のモデルが多いことから、低価格な小型エンジンが搭載されている。もう一方のLAWN TRACTORで、特に芝刈業者向けのZERO TURN RADIUS MOWER（以下、ZTR）とよばれる芝刈り機は、大型エンジンが搭載され、高品質、高性能、高信頼性が要求される。WALK-BEHIND ROTARY MOWERSでは中国製エンジンが多数存在するのに対して、この領域は日系および米系メーカー製エンジンが占めている。

ヤマハは現在、80～400cc の単気筒ホリゾンタルエンジンをラインナップしているが、最大市場である北米でのマーケットシェアを拡大するため、芝刈業者向け ZTR に搭載するヤマハ初の FI バーチカル V-Twin エンジンを開発したので紹介する。



図1 Zero Turn Radius Mower (ZTR)

2 開発のねらい

ZTR に搭載されるエンジンは専用エンジンではなく、最終顧客のエンジン指名や選択が可能なように、同じ車体で 2 社以上のエンジンを設定するのが一般的である。後発で市場参入するためには新規開発の ZTR への採用か、もしくはヤマハの強みを訴求した上で、既存他社エンジンからの載せ換えで採用される必要がある。

このような状況において他社製からエンジンの載せ替えを可能するために、以下の項目を開発の狙いとした。互換性のあるエンジンサイズ、ZTR 用として必要な装備を設定することはもちろんのこと、クラストップレベルのパフォーマンスを持つエンジンを開発することで、よりインパクトのある製品を目指した。

1. 負荷に負けない高出力、高トルク
2. 低燃費化
3. メンテナンス性向上
4. 互換可能なサイズ
5. ZTR 専用装備
6. バリエーション展開

また、本エンジンは、2015 年から適用される新カリфорニア排ガス規制に対応できるよう、排気量を規制上限となる 824cm³ とし、排ガス規制に適合させながら高出力・高トルク化、低燃費化の実現を目指した。

3

開発の取り組み

新規市場への参入ということで、数社の ZTR メーカーの協力を得て、初期設計時よりエンジン要求項目の織り込みを積極的に行なった。また、B to B ビジネスであるため、販売先を獲得するには通常搭載メーカーにて約 1 年の評価が必要となるところ、エンジン開発と並行して試作エンジンによる ZTR 実機搭載評価を実施することで、開発へのフィードバックおよび生産立上げと同時の販売先確保の達成を目指した。

主要な開発項目の詳細を以下に示す。

3-1. 高出力、高トルク

ZTR に対する最大の要求は、芝刈性能であるため、必然的にエンジンには高出力が求められる。本エンジンは以下の取り組みにより、吸気効率、燃焼効率の向上を図り、一般的な汎用エンジンがグロス排気量比出力で 22~26kW/L に対し、30kW/L とクラス最高レベルの出力を達成した。

3-1-1. バルブシステム採用

当クラスの汎用エンジンでは吸気 1弁、排気 1弁の 2バルブ仕様が一般的であるが、充填効率の向上を狙うために、吸気 2弁、排気 1弁の 3バルブを採用した。吸気の 2弁化によりバルブ開口面積を拡大し、流量係数が従来比で 15% 向上した。

3-1-2. 高タンブルポート

汎用エンジンはコスト優先であり、シリンダヘッドはポートも含めダイカストで製造しているため、ポート形状の自由度が制限される。そこで、流体解析とモックによる流体測定により、ポート形状の最適化を行い、制限内での最大限のタンブル流を追求した。結果、吸気流量を確保しつつ、タンブル比を従来比 40% 以上向上し、燃料効率の改善を図ることができた。

3-1-3. 低フリクション化

クランク軸、カム軸へのベアリング（ボール、メタル）の採用、ピストンリング低張力化等摺動部品の見直しにより、低フリクション化を図った。（同クラスの ZTR 用エンジンはボールベアリング不採用）

3-2. 低燃費

燃料供給に燃料噴射システムを採用することで、燃料噴射量の最適化を図り、US 排ガス規制への適合と高出力化の両立を実

現した。また、低フリクション化により、自社単気筒キャブモデル比で燃料消費率△25%を達成した。

3-3. 互換可能なサイズ

本エンジンは、前項にあるように3バルブ化によりエンジンサイズは拡大する傾向にある。そこで、他社エンジンとの互換性を確保するため、一般的なバンク角度 90° のエンジンに対して、75°の狭角バンク角を採用した。これにより、全幅を抑えることができ、他社エンジンと同等サイズを実現した(図2)。

また、あわせて30°オフセットクランクシャフトを採用することで、バランサーを設定することなく90°Vツインと同等の振動レベルを達成し、さらにクランクケースの肥大化を抑制できている。



図2 エンジン搭載状態

3-4. メンテナンス性向上

メンテナンスを頻繁に実施する芝刈業者に対し、メンテナンス性向上を図った。

・一面メンテナンスハッチ

ファンケース内への芝の侵入を防ぐグラススクリーンや、グラススクリーンを通過してファンケース内部に侵入した芝をエアプロウにて清掃する際に、ボルトを数箇所外すだけで作業可能な状態になるよう、大型の一面メンテナンスハッチを標準装備した(図3)。また、グラススクリーン上に堆積した芝を外部に排出できるよう、側面に排出孔(図4)を設けている。

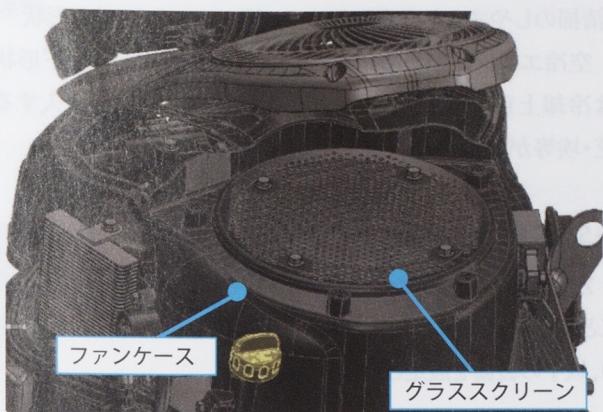


図3 メンテナンスハッチ

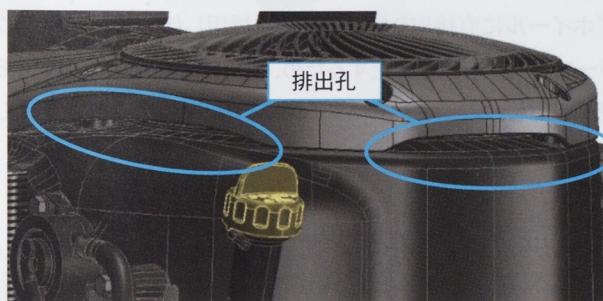


図4 排出孔

・オイルフィルタ縦向き設置

車体搭載状態では、エンジンはバンパーに囲まれており、上からの作業に制限されるため、オイルフィルタを縦向きに設置し、上からアクセスできる構造とした(図5)。

また、フィルタ下部にオイル受けを設定することで、エンジンブロックにオイルが付着しにくく、オイルの拭き取り作業が容易になった。

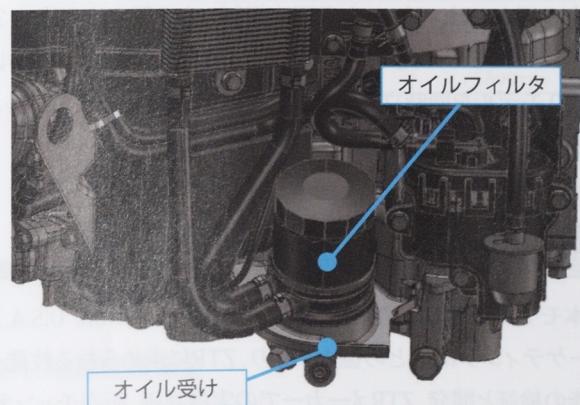


図5 オイルフィルタ配置

- 清掃のしやすさを考慮したシリンドラフィン・シュラウド形状
空冷エンジンのため、シリンドラフィンおよびシュラウド形状は冷却上重要な部位となるが、冷却風とあわせて流入する芝・埃等が堆積しにくく、清掃しやすい形状とした。

3-5. ZTR専用装備

ZTRへの搭載にあたり、業界における標準装備品を設定することは必須となる。そこで、市場調査と他社エンジンの研究により、以下の装備を設定した。

・グラススクリーン

刈った細かい芝がエンジンのファンケース内に入り込まないような多数孔の開いた円盤であり、他社同様、回転物であるフライホイールに直接取り付ける構造を採用した。また、グラススクリーン上への堆積を防止するため、グラススクリーン中心部分を凸形状とし、メンテナンスハッチ側部の排出孔より外部へ排出しやすい形状とした。

・ヘビーデューティエアフィルター

使用環境が芝、ダストが多い環境であるため、二重エレメントを用いたヘビーデューティエアフィルターを採用した。

界最大の芝草業界の展示会であるUS GIEショーにてヤマハと搭載メーカー2社合同で展示・発表することができた。

ヤマハとしては初参入市場ではあるが、他社エンジンを上回るパフォーマンスを発揮することで、市場に受け入れられると確信している。今後、北米市場でのマーケットシェア拡大のためにはラインアップを拡充する必要があるが、その第一歩として本エンジンが評価され、バリエーションモデルと共に多くのZTRへ搭載されることを期待している。

■著者



加治屋 晋一

Shinichi Kajiyama

ヤマハモーターパワー

プロダクツ株式会社

PP事業推進部



津田 真矢

Shinya Tsuda

ヤマハモーターパワー

プロダクツ株式会社

PP事業推進部

3-6. バリエーション展開

ZTRメーカーがラインナップしている車種は一社でも多数あり、刈刃（ブレード）サイズ、車体サイズ、エンジン搭載状態、用途等により様々である。これらのモデルに対応するエンジンバリエーションが必要となるため、初期段階より基本構造の共通化構想をもって開発を進めた。これにより、バリエーションモデルの設定を最低限の開発工数で進めることができ、開発期間を短縮することができる。

本モデルでは、スロットル開度規制による最大出力違い3モデル×バッテリー充電用チャージコイルの容量違い3モデルの計9モデルを同時立ち上げし、今後はキャブレターモデル、ホリゾンタル化も視野に入れている。

4 おわりに

本モデルはYMUS(Yamaha Motor Corporation, U.S.A.)マーケティング部門との協力により、ZTRに求められる性能・機能の検証と開発、ZTRメーカーでの実機評価、販売チャンネルの開拓を並行して進めることができた。これにより、2016年6月の生産開始時点で搭載メーカーを獲得でき、10月には世

北島 和幸 宮崎 哲平 高野 達也



Abstract

The F2/2.5A was the first generation in the small-compact outboard motor category to be launched into the market during the transition from 2-stroke to 4-stroke models in 2002, and they have enjoyed a wide user base across the world. However, after over 10 years since its original release, its competitiveness has declined compared to products available from competitors. Timed to coincide with the manufacturing shift from MBK in France to TYM in Thailand is a complete revamp for the F2B (2 hp) and the F2.5B (2.5 hp) compact outboard motors, which improves environmental friendliness, has product competitiveness, and profitability.

1 はじめに

船外機小型カテゴリーにおいて 2002 年に 2 ストロークに置き換わる 4 ストロークモデル第 1 世代として市場に導入し、世界中の幅広いユーザー層に受け入れられてきた F2/2.5A であるが、発売から 10 年以上経過し競合他社製品に対する商品競争力が低下してきた。今回小型船外機をフランス MBK 社からタイ TYM 社へ製造移管するタイミングに合わせ、環境対応、商品競争力強化、採算性向上を図るべく F2B (2 馬力) /F2.5B (2.5 馬力) へのモデルチェンジ開発を行った。表 1 に主要諸元を示す。

表1 主要諸元

	F2B	F2.5B
エンジン形式	4 ストローク 単気筒 OHV2 バルブ	
排気量	72cm ³	
ボア×ストローク	54.0mm × 31.5mm	
プロペラ軸出力	1.5kW (2.0PS) /5500rpm	1.8kW (2.5PS) /5500rpm
減速比	2.08	
全高	1028mm (S)、1155mm (L)	
全長	625mm	
全幅	363mm	
乾燥質量	17kg (S) 18kg (L)	

2 開発の狙い

開発の狙いとして以下を掲げた。

- (1) 地球環境保全
- (2) 使い勝手の追求
- (3) 採算性の向上

2-1. 地球環境保全

EPA (米国環境保護庁) 2 次規制、CARB (カリフォルニア大気資源局) 3 スターおよび欧州 EU2 の各排ガス規制をクリアし、地球環境保全への貢献を目指した。

2-2. 使い勝手の追求

小型船外機は大型船外機と異なりユーザー自らが船外機を運搬し、また実際にエンジンに触れることで操作、操船するため、今回は運搬性を徹底的に向上させると同時に各操作部位の位置、形状の見直しを図ることとした。さらにユーザーフレンドリー、コンパクトさをアピールする新世代カウリングデザインを新たに採用した。

2-3. 採算性の向上

フランス MBK 社からタイ TYM 社への製造移管にあわせ、各主要部品に対しても現地調達部品を拡大採用することで現地調達比率を向上させ、採算性の向上を目指した。

3 技術的特徴

3-1. エンジンレイアウト

従来モデルでも採用していたシンプルかつ市場で実績のある単気筒 OHV (Over Head Valve) 形式を継続採用することで信頼性を確保し、排気量についても重量、サイズの最適なバランスをとり 72cm^3 と従来と同等とした（図 1）。また今回カウリングサイズのコンパクト化を追求すべく従来モデルでも採用していたオフセットシリンダー（オフセット量 10mm）に加え、船外機前後方向に対しシリンダー軸線が斜め配置となる傾斜シリンダーを採用した（図 2）。

3-2. 燃焼効率の向上

今回新たにキャブレターとヘッドシリンダーの間にインテークマニホールドを追加し（図 3）、キャブレターからの混合気霧化の促進および吸気抵抗の低減を実現した。また燃焼室についても吸排気バルブ傘径の変更、点火プラグの細径化およびピストン天面形状の変更により最適化を図った（図 4）。さらにウォータージャケット内にゴム製スペーサーを船外機としては初めて設置（図 5）することで、ウォータージャケット内の水の流れをコントロールすると同時に、筒内温度を最適化および安定化させ、様々な運転条件下においても高効率な燃焼状態維持を達成した。

これらの施策により、使用回転数全域で高効率燃焼を実現し、環境規制値を大幅に下回る排気ガスのクリーン化を達成した。

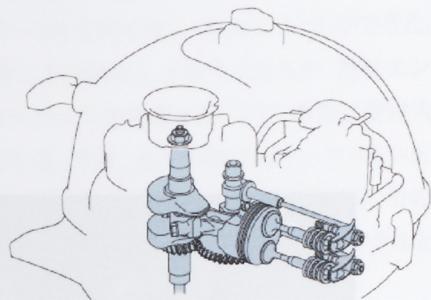


図1 単気筒OHV 72cm^3 エンジン

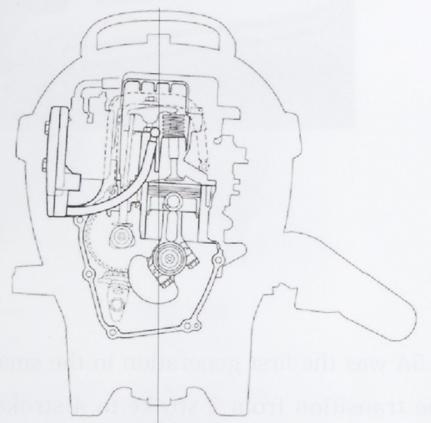


図2 傾斜シリンダー

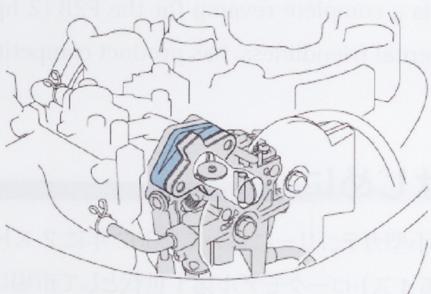


図3 インテークマニホールドの追加

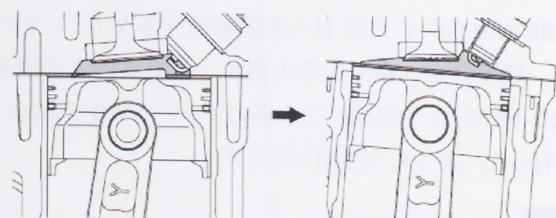


図4 燃焼室形状の最適化

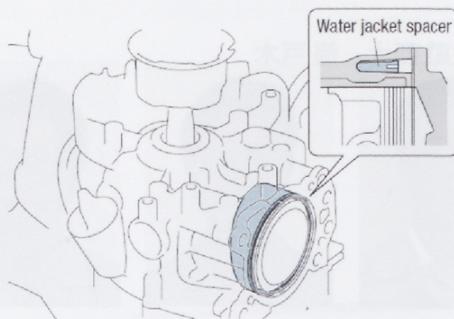


図5 ウォータージャケットスペーサー図

3-3. 横倒し時3方向置きの実現

船外機の横置きには、より多くの方向で燃料、オイルがエンジン外に漏れないことが要求される。従来モデルは2方向のみ横倒しが可能であったが、今回3方向置きを実現すべくクランクケースやヘッドシリンダー内の形状最適化によるエンジンオイル油面コントロール、およびオイルリターンホースの新規追加を行った(図6)。

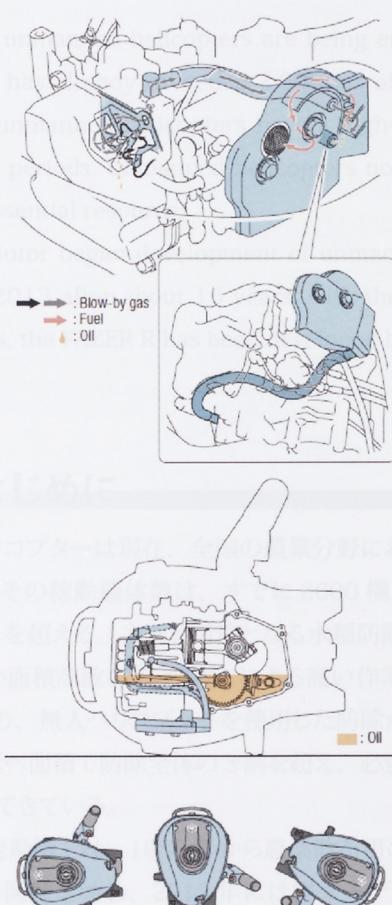


図6 横倒し時3方向置きの実現

3-4. 各操作部の位置、形状の最適化

ユーザーによる運搬時の持ち手となるリヤキャリングハンドルについては持ち手部を太く、かつ握った際に痛みのない形状とするのはもちろん、船外機全体の重心位置を考慮し、桟橋や船上での運搬においても楽に持ち運びできる位置を選定した。シフトレバー、チョークノブ、スターターノブの主要各操作部位についても初めて使用するユーザーでも一目でわかる位置を選定し、不安定な船上でも確実に操作できる形状を追求した(図7、8)。



図7 大型リヤキャリングハンドル

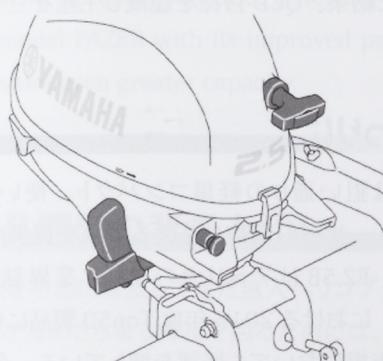


図8 大型シフトレバー、チョークノブ、スターターノブ

3-5. メンテナンス性の向上

ユーザーが比較的頻繁に行う日常点検項目としてエンジンオイルレベルの確認があるが、従来モデルではトップカウル内のオイルレベル確認窓からの油面高さ目視確認のみであったが、陸上や船上を問わず確実かつ簡単に油量確認ができるよう、新たにオイルレベルゲージを設置した（図9）。

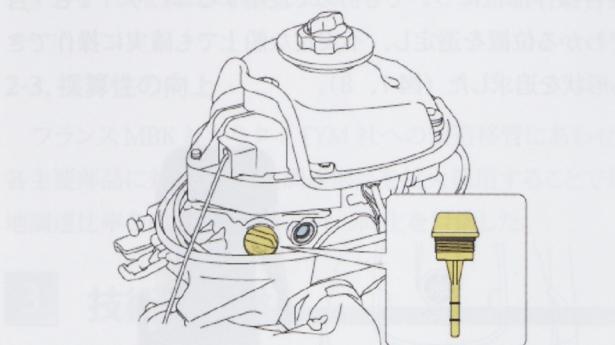


図9 オイルレベルゲージの追加

■著者



北島 和幸
Kazuyuki Kitajima
ME事業部
開発統括部
技術企画部



宮崎 哲平
Teppei Miyazaki
ME事業部
開発統括部
技術企画部



高野 達也
Tatsuya Takano
ME事業部
開発統括部
CAE実験部

3-6. アジア、アセアン地域からの現地調達促進

今回、タイ TYM 社にて製造するにあたり、タイ国内に限らず広くアジア、アセアン地域を対象に主要構成部品についても手配先を新たに選定した。また、ME（マリンエンジン）事業部内外の各部門横通しの連携活動によって品質の作り込みを行った結果、QCD目標を達成し生産を立ち上げることができた。

4 おわりに

F2/2.5B は狙い通りの軽量コンパクト、使い勝手向上を達成し、ユーザーの期待に応える製品を提供できたと自負している。F2.5B はアメリカのマリン業界誌「Boating Industry 誌」における 2016 年度 Top50 製品にも選ばれる等、実際の市場においても好評を博している。今後もユーザーニーズを的確に把握し選び続けられる製品を提供していきたい。最後に今回の開発、製造にあたり多大なサポートを頂いた社内外の関係者各位に深く感謝致します。

これらの開発により、技術開発の実力と技術力を確立し、競争力強化を大幅に下すことが達成されたと考えています。

大容量 32L の薬剤搭載を実現した 産業用無人ヘリコプター FAZER R

FAZER R: Industrial-use unmanned helicopter with large 32L agricultural chemical payload

木戸 徹 大西 慎太郎 平城 大典 木下 勝之 林 隼之



Abstract

Currently, unmanned helicopters are being employed nationwide in the agricultural sector. The number of units in operation, has already exceeded 2,600 (as of January 2015). Within its main purpose of use - pest control in rice paddies - unmanned helicopters have a high-work efficiency advantage through being able to spray large areas in short time periods. Unmanned helicopters now covered over 30% of the total pest-controlled surface areas, making them an essential resource.

Yamaha Motor began development of unmanned helicopters for pesticide spraying in 1983, renewing the original model in 2013 after about 16 years, with the release of the current model FAZER with its improved payload. After three years, the FAZER R has been developed based on the FAZER to feature even greater capacity.

1 はじめに

無人ヘリコプターは現在、全国の農業分野において活躍している。その稼動機体数は、すでに 2600 機（2015 年 1 月時点）を超える。主たる用途となる水稻防除では、短時間で広い面積を散布できることによる高い作業効率を利点としており、無人ヘリコプターを使用した防除が占める割合は今や延べ面積で防除全体の 3 割を超え、必要不可欠な存在となってきている。

ヤマハ発動機では、1983 年から農薬散布用の無人ヘリコプターの開発を始め、2013 年には従来モデルを約 16 年振りに一新し、ペイロード性能を向上させた現行モデル FAZER をリリースした。3 年目を迎えた今年、FAZER をベースに変更を加え、さらに性能を向上させたモデル FAZER R を開発した。

2 商品開発の背景と狙い

水稻防除を中心に普及してきた無人ヘリコプターであるが、有用性を高めさらなる普及を図るために、他作物への展開を含め防除以外の用途へも広げていくことが須要である。そのためには、機体の運搬性といった機体重量やサイズに起因する取り扱い性は落とさず、積載可能な荷物の重量であるペイロード能力をさらに向上していく必要がある。一方、法規制面では 2014 年 4 月、日本における無人機製造業の実態を踏まえ、農林水産業の競争力強化を目的に航空機製造事業法施行令が改正され、最大離陸重量（ペイロードを含む離陸総重量）の規制が 100kg 未満から 150kg 未満へと緩和された。ペイロード面においてすでに規制上限であった FAZER のさらなる高性能化への道が開いた形となった。

これらの背景から、FAZER R の開発主眼をペイロード性能の向上に置き、薬剤の搭載量を現行 FAZER の最大 24kg から同 32kg へ増加させることを目標とした。具体的な手法として、エンジン出力の向上と、テールロータの空力効率向上により達成を狙った。同時に、70kg 弱の機体において搭載薬剤重量が 32kg ~ 0kg まで変化しても操縦性を損なわない制御アルゴリズムの実現や、機体に装着し農薬を散布するための散布装置の薬剤用タンクを片側 12L (両側で 24L) から同 16L (同 32L) へと大型化し、商品性に直結する散布機能性能の向上も目指した。

3 開発の取り組み

表 1 に主要諸元を示す。

3-1. エンジン高出力化

高出力化の実現のため、以下の変更を施した。

①圧縮比の見直し (高圧縮比)

従来のピストン型素材を共用することでコストを抑えつつピストン加工形状を変更し、圧縮比を約 6 % 高めた。

②吸排気カムプロフィール変更

吸気／排気カムプロフィールの見直しを行い、吸排気効率を向上させた。またハイリフト化による面圧増加に対しては、カムシャフトに表面処理を追加し、初期なじみ性を向上することで信頼性を確保した。

③排気抵抗の低減

排気マフラー径の最適化を行い、消音性を確保しつつ、排気抵抗を減らした。

点火タイミング、燃料噴射量などの FI 適合値を合わせて最適化することで出力 20.6kW (旧モデル比 7.8% 増) を実現した。高ペイロード (高負荷) 時にも対応できるようにしながらも、搭載重量が少ない低負荷 (スロットル低開度) 時でも、急激な出力変化を抑えるようなセッティングとした。また、エンジン出力全域にわたりスムーズなパワーフィーリングが得られるようスロットルコントローラのセッティングを見直すことにより、従来モデルに比べパワフルな操縦感を実現した。

さらに、増加したエンジン出力に対応するため、動力伝達系である遠心クラッチ、メインランスマッision 各種ギヤ、軸受けも合わせて強化し信頼性を確保した。エンジン、伝達系での重量増は 115g に抑えた。

表1 主要諸元

機種	FAZER R (新モデル)	FAZER (現行モデル)
項目	諸元値	
寸法	全長・全幅・全高	3,665mm・770mm・1078mm
・重量	メインロータ径	3,115mm
重量	テールロータ径	550mm
原動機	取扱重量*	71kg 70kg
・	原動機種類	4 サイクル・水平対向 2 気筒
・	総排気量	390cc
・	最高出力	20.6kw 以上/6,000rpm 19.1kw 以上/6,000rpm
・	燃料種類	レギュラーガソリン
性能他	燃料容量	5.8L 5.0L
	積載重量	32kg/標高約 300m・30°C (24kg/標高約 1,000m・30°C) 24kg/標高約 1,000m・30°C
	フレーム方式	Quint-Trapezoid CF Frame
	テール駆動方式	CF shaft drive + VR-Damper
	制御方式	YACS II
	使用電波	73.22/73.23/73.24/ 73.26/73.27/73.28/ 73.29/73.30/73.31/ 73.32 MHz 73.26/73.27/73.28/ 73.29/73.30/73.31/ 73.32 MHz

*オイル・燃料満タンの機体に散布装置本体 (散布タンクは含まず) を取り付けた状態での重量

3-2. テールロータ翼型による空力損失の低減

ペイロード性能の向上を実現させるため、機体側ではテールロータ部での空力損失の低減、つまりテールロータから推力を得る為に必要なエネルギーの消費量をより小さくすることを目指した。このため、FAZER R では翼型としてキャンバーを持つ非対称翼形状を採用した。図 1 に機体寸法とテールロータ組み付け位置を、図 2 にテールロータの仕様をそれぞれ示す。

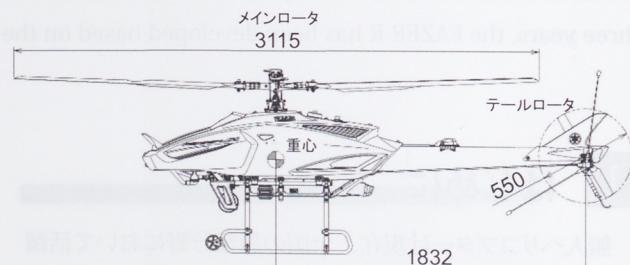


図1 機体寸法とテールロータ組み付け位置

仕様	翼型	形状
FAZER	対称翼	207 50 55 11 挿下げ 0deg
FAZER R	非対称翼	207 50 55 11 挿下げ 0deg

図2 テールロータ仕様

図3は、各翼型形状におけるテールロータピッチ角と推力の計測結果を示したものである。従来機 FAZER の対称翼型に対して FAZER R の非対称翼型では、同じ推力をより小さなピッチ角にて得ることができている。図4は、翼型形状変更によるエネルギー損失の計測結果を示したものである。横軸がロータ推力、縦軸がその推力を出すために消費するエネルギー量である。従来機 FAZER の対称翼型に対して FAZER R の非対称翼型では、ホバリング時に必要なテールロータ推力（黄点線）において、消費エネルギー量として約 4kW 削減することができた。削減したエネルギーは、揚力や機体運動のために使用できることとなる。テールロータの空力特性の向上と前述のエンジン出力増を合わせた効果により、標高約 300m までの 32L 薬剤搭載による運用を実現した。

3-3. 電装システム

3-3-1. 姿勢基準システムYARS

(YAMAHA Attitude Reference System)

姿勢基準システム (YARS) を一新した (図5)。ジャイロと加速度計からなるコントロールユニットはセンサーの搭載を冗長化しており、万一に一部のセンサーに異常が発生した場合でも処理を継続できる仕様としたことで、信頼性を高めた。ケースは慣性モーメントの調整機能を備えており、誤差要因となる機体振動の影響を抑えるように重量バランスを作り込み、200g 以上の軽量化とを両立させた。姿勢角の演算には拡張カルマンフィルタを採用し、温度や湿度といった環境変化に対する精度を向上させている。

3-3-2. 飛行制御

飛行制御では積載重量の変動に対するロバスト性を考慮した設計を行った。機体重量 70kg 弱に対し、薬剤の積載重量が最大 32kg となり、薬剤散布後の空状態と比較して飛行中に 30% 前後の重量変動が発生する。重量変動は機体慣性モーメントの変動となり姿勢制御に大きな影響を与える。本モデルでは、制御入力において不安定要因となる二次遅れ要素の影響を小さくすることにより、重量に対する制御の感度を落とすことに成功し、全重量域でより均一な操縦性を実現した。

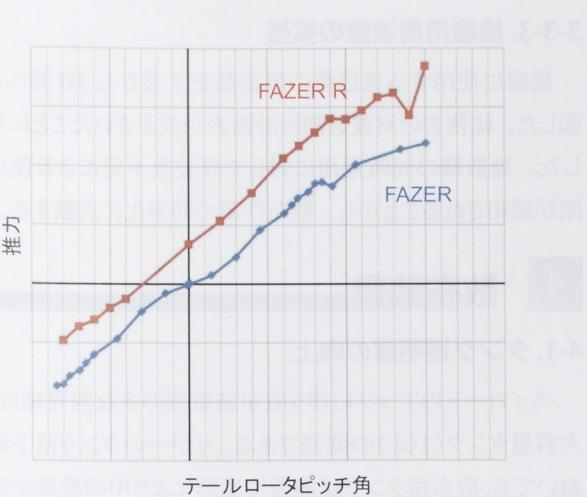


図3 テールロータピッチ角と推力特性

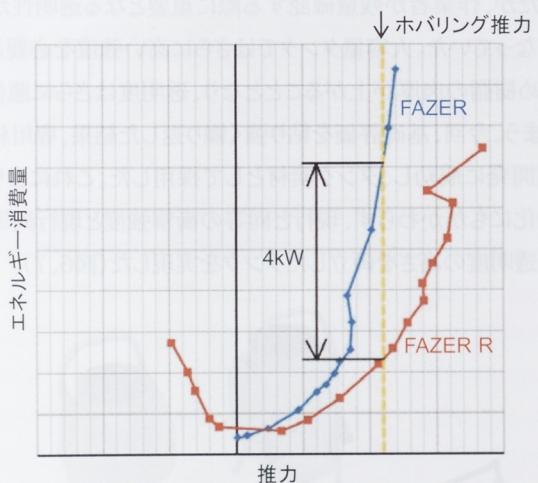


図4 テールロータ推力と消費エネルギー



図5 新YARS(写真中央)搭載図

3-3-3. 操縦用周波数の拡張

操縦に使用する送信機の周波数を 7 波から 10 波へと拡張した。総務省の周波数割当計画表が改正されたことに対応した。複数機の同時運用に対して周波数不足による使用制限が緩和されることから、散布作業の効率化に貢献する。

4 散布装置

4-1. タンク透明度の向上

ペイロードのアップに伴う散布装置側の主な開発項目は、大容量タンク(16L)の開発である。万が一のタンク落下時においても、散布用タンクは破裂や変形により中の農薬が外部へ流出しない強度設計が必須となる。現行の12Lタンクは衝撃強度の高いポリエチレンを採用し高強度と軽量化を両立させたが、作業者が残量確認する際に重要な透明性が犠牲になっていた。大容量タンクではさらに高い強度を必要とするため樹脂の肉厚が上がることとなり、透明度はさらに悪化してしまう。今回、基礎評価を粘り強く繰り返した結果、専用材の新規開発に成功し、タンク素材として採用した。これにより大容量化にもかかわらず、現行と同等の衝撃強度と現行同等以上の透明度の高さを両立したタンクを実現した(図6、7)。



図6 散布機システムと16Lタンク



図7 タンク透明性比較 現行(左:12L)と新(右:16L)

4-2. メンテナンス性の向上

現行タンクは内部構造物が多いため、分解メンテナンスが困難であることや、タンク内に露出したボルトが洗浄作業性を落とすことが課題となっていた。新タンクでは、インサート成形によりタンク内で露出する金属部品を排除し(図8)、またタンク下部のバルブシステムを現行の挟み込み式からネジ式へ変更することで、組み立てをタンク外部からすべて行うことが可能になった(図9)。これらにより、洗浄性およびメンテナンス性の大幅な改善につながると考えている。

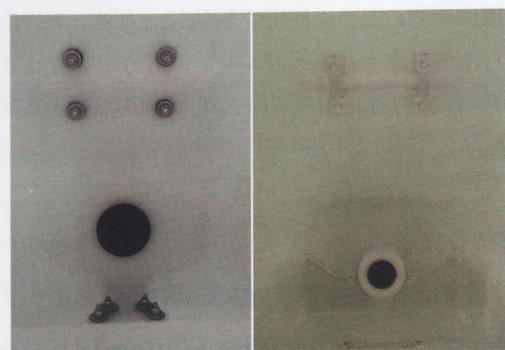


図8 タンク内部 現行(左)、新(右)

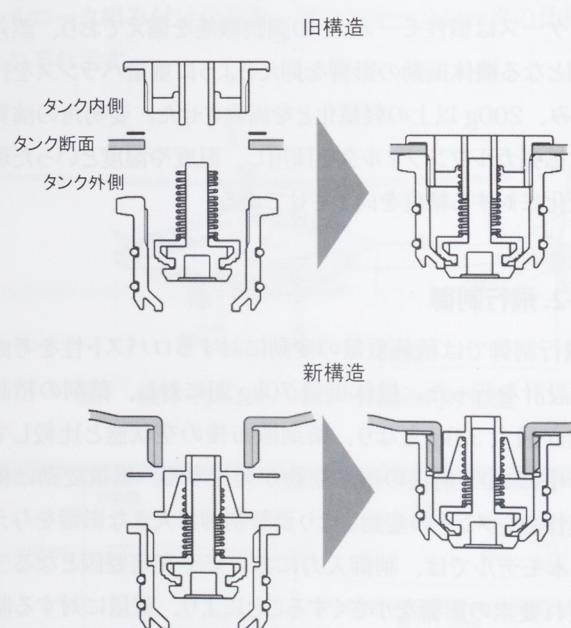


図9 バルブ構造

5 おわりに

今回開発した FAZER R は、無人航空機（通称ドローン）の農業向け産業用無人ヘリコプターとしてハイエンドと位置づけるモデルである。ペイロード性能を高めることによって 32L の薬剤を搭載可能とした。また、余裕のあるペイロード性能により、従来の 24L 搭載における使用ではより軽快な飛行を実現した。さらに、燃料タンク容量の増加による連続飛行時間の伸張や薬剤タンクの残量視認性向上等によって魅力的な商品に仕上がったと自負する。本モデルではこのペイロード性能を活かし、従来の防除だけでなく他用途への拡大やグローバル市場も視野に展開していく予定である。

今後も社会に認められ貢献し続けられるように、ヤマハ発動機製品であれば間違いないといわれる製品作りを進めていきたい。

■著者



木戸 徹
Toru Kido
ピーチル&ソリューション事業本部
UMS事業推進部
開発部



大西 慎太郎
Shintaro Ohnishi
ピーチ＆ソリューション事業本部
UMS事業推進部
開発部



平城 大典
Daisuke Hirajo
ピーカル&ソリューション事業本部
UMS事業推進部
開発部



木下 勝之
Katsuyuki Kinoshita
ピーグル&ソリューション事業本部
UMS事業推進部
開発部



林 隼之
Toshiyuki Hayashi
ピーコル&リューション事業本部
UMS事業推進部
開発部

ダイカストリヤームへの適用に向けた Al-Si-Mg 系合金の熱処理特性の検討

Study of Heat-treatment Characteristics of Al-Si-Mg Alloy for Application in
Rear Arms Made by High-pressure Die-casting Process

奥田 裕也 進藤 孝明 鈴木 貴晴 栗田 洋敬

要旨

汎用合金と簡便なプロセスの組合せで高強度なリヤームを実現することを目的とし、ADC3 系合金を用いたダイカストリヤームの T5 热処理による高強度化を検討した。検討する上で、二段時効による負の効果の発現を防ぎ、強度が安定して向上する熱処理条件を設定することが必要不可欠である。本研究では、複雑な時効硬化特性を有する Al-Si-Mg 系合金を用いて、リヤームが生産可能な熱処理条件を明らかにするために、T5 热処理後の硬さに及ぼす材料組成の影響、水冷条件の影響、時効条件の影響を調査した。

本研究により、Mg の含有量は時効硬化による硬さ上昇に影響があり、0.32 から 0.37wt% の場合、時効温度 473K では 7.2ks でピーク時効硬さ 88.7HRF を示した。483K では 3.6ks でピーク時効を迎える最も高い 90.6HRF を示した。Cu の含有量と水冷時の水温は硬さに影響を及ぼさなかった。これらの特性は平衡状態における Mg_2Si 量の計算結果から正の効果の発現が示唆された。

本研究で得られた知見に基づき開発されたリヤームは、2015 年タイで発売した M-SLAZ に代表される ASEAN 向けスポーツモデルに採用された。

Abstract

Aiming to deliver a high-strength rear arm for motorcycles made through the combination of simple processing and a standard alloy, research into the optimization of T5 heat treatment was carried out to improve the strength of the rear arm made of JIS-ADC3 series alloy using a high-pressure die-casting process. For the research, it was essential to prevent the negative effects of two-step aging and to determine the heat treatment conditions which enable stable improvement in the strength of the rear arm. In this study, the effects of material composition, water-cooling conditions, and aging conditions on the hardness of T5 heat-treated Al-Si-Mg alloy, which shows complicated precipitation characteristics during the age-hardening process, were researched to clarify the heat treatment conditions enabling the manufacturing of rear arms.

Through the study, the following results were obtained. Mg has an important role in improving the age-hardening characteristics of Al-Si-Mg series alloy. In the case of 0.32 – 0.37 wt% Mg, a peak hardness of 88.7HRF was obtained at 473K × 7.2ks. By increasing the aging temperature, the peak hardness increased, with the ultimate hardness of 90.6HRF obtained at 483K × 3.6ks. On the other hand, the Cu content and cooling water temperature have no significant effect on age hardening characteristics. The results of calculations of Mg_2Si content in the age-hardened alloy suggested that positive age hardening effects had emerged for this characteristic.

Based on the results obtained in this study, the developed rear arm has been employed in sports models for ASEAN countries as represented by the M-SLAZ launched in Thailand in 2015.

1 はじめに

モーターサイクル車体用構造部材には強度、じん性の観点より Al-Si-Mg 系鉄物が広く用いられている^{[1][2]}。特に操縦安定性の観点から軽さが求められる骨格部品においては AC4CH アルミニウム合金に T6 热処理を行って高強度化し、使用してきた^[3]。

しかし近年、生産性向上と軽量化要求の高まりから、薄

肉軽量構造が可能で、生産性の高いダイカスト鉄造法のモーターサイクル車体構造部材への適用ニーズが高まり、CF (Controlled Filling) ダイカスト法^[4]が開発された。この技術は、A365 新塊合金を用いて材料特性の安定化を図りつつ、真空ダイカスト技術、高品質溶湯処理技術、金型温度調節技術を統合することにより、鉄物中に含まれるガス量を 3cc 以下に低減することで T6 热処理を可能にしている。

CF ダイカスト法は大型スポーツモデルのリヤアーム、メインフレーム等で実用化されている。

一方、主として ASEAN 等で生産される中小型モデルの車体構造部品を考えたとき、T6 热処理まで可能な従来の CF ダイカスト法では特殊な設備が必要になり管理が複雑になる。また製造エネルギーの大きな新塊を使用する必要があるため、生産量の多い海外製造拠点での適用には制限がある。

そこで汎用合金と簡便なプロセスの組合せで高強度リヤアームを実現することができる方法として、ADC3 系合金を用いたダイカストリヤアームの T5 热処理による高強度化を検討することとした。

ADC3 系合金は Al-Si-Mg 系のダイカスト合金であり、キャストホイールには比較的古くから採用されている^[5]。一般的にはダイカスト鋳造後、ADC3 系合金に T5 热処理を行うと機械的性質が向上することが認められている。Al-Si-Mg 系合金に熱処理を行う場合、自然時効のみではほとんど硬化しないため、多くの場合、自然時効と人工時効の組合せで時効処理が行われ、二段時効と呼ばれている。Al-Si-Mg 系合金の場合、複雑な二段時効挙動が知られており、処理条件によっては二段時効後の硬さが人工時効のみに対し低下する「負の効果」があることが知られている。その原理については種々の議論がされているものの明確な説が定まっていない^{[6] [7] [8] [9]}のが現状である。

T5 热処理を施した ADC3 系合金製ダイカストリヤアームを検討する上で、負の効果の発現を防ぎ、强度向上が可能な熱処理条件を設定することは必要不可欠である。そこで本研究では、複雑な時効硬化特性を有する Al-Si-Mg 系合金を用いて、リヤアームが生産可能な熱処理条件を明らかにするために、T5 热処理後の硬さに及ぼす材料組成の影響、水冷条件の影響、時効条件の影響を調査し、適正な熱処理条件の検討を行った。

なお、本研究で得られた結果に基づき開発されたリヤアームは、2015 年タイで発売した M-SLAZ (図 1) に代表される ASEAN 向けスポーツモデルに採用されている^[10]。

表1 供試材合金組成 (wt%)

	Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Sn	Pb	Ti	Al
A	8.9	0.22	0.12								
B	8.9	0.22	0.23								
C	9.0	0.32	0.14								
D	9.0	0.31	0.23								
E	8.8	0.37	0.14								
F	9.0	0.36	0.23								
G	8.8	0.34	0.18								
H	8.9	0.38	0.14								



図1 M-SLAZ (2016年タイ仕様)

2 試験方法

2-1. 人工時効挙動に及ぼす材料組成と時効温度の影響

2-1-1. 合金組成

本試験に用いた供試材合金組成を表 1 に示す。Si の含有量を固定し、Mg および Cu の含有量を変化させた。Al-Si-Mg 系合金において、Mg は時効硬化特性に大きな影響を及ぼす代表組成であり、Mg₂Si を形成して熱処理後の強度を上げるといわれている。Cu は再生塊の使用を前提とした場合、混入は避けられない。また、Al-Cu-Mg-Si 系化合物が析出し^[6] Mg₂Si 量が減ることが報告されており、許容量を設定する必要がある。そこで Si の含有量を固定し、Mg の含有量を 3 水準 (0.22、0.31 ~ 0.32、0.36 ~ 0.37 wt%)、および Cu の含有量を 2 水準 (0.12 ~ 0.14、0.23wt%) に変化させた A から F に示す 6 種類の溶湯を準備した。

2-1-2. 鋳造条件および供試材形状

材料組成の影響を調査するために、表 1 に示す 6 組成 (A ~ F) について 473K における時効硬化特性を調べた。

それぞれの溶湯を用いて二輪車用車体部品をダイカスト鋳造した。主な鋳造条件を表2に示す。ダイカスト鋳造直後、293～318Kで水中に浸漬して冷却し、人工時効を行う前に室温で1800ks自然時効させた。その間に、ダイカスト素材の肉厚約5mmの肉厚中心部より長さ64mm幅8mm厚さ3mmの板を切り出して供試材とした。その後、#1200のエメリーペーパーで表面を研磨した。

表2 鋳造条件

溶湯温度	973±5K
型温	473～533K
鋳込重量	5000g
充填時間	90msec
鋳造圧力	60MPa

2-1-3. 人工時効および硬さ測定

切り出した供試材は各々473Kにて人工時効処理を行い、硬さを測定した。硬さは、各々1.8、3.6、7.2、14.4、28.8、86.4ksの人工時効後にミツトヨ製ロックウェル硬さ計HR-522を用い、Fスケールにて測定した。鋳造の影響を考慮し、各々3点測定し最高硬さを求めた。時効時間には加熱時間も含んでいる。

次に、最も高い硬さを示した組成Fを用いて時効温度を変化させることにより時効硬化特性の変化を調査することとし、温度は上述の473Kに483、453Kの2水準を追加し、3水準にて比較した。

2-2. 二段時効後の硬さに及ぼす自然時効の影響

2-2-1. 合金組成

二段時効後の硬さに及ぼす自然時効の影響を調査するにあたり、表1に示す組成C、D、E、Fの中間組成である組成Gの溶湯を準備した。

2-2-2. 鋳造条件および供試材形状

板厚を3種類(10、5、3mm)に変化させた形状の鋳型を準備し、表3に示す条件でダイカスト鋳造を実施し、供試材とした(図2)。

表3 鋳造条件

溶湯温度	973±5K
型温	473～533K
鋳込重量	3250g
充填時間	30msec
鋳造圧力	45MPa

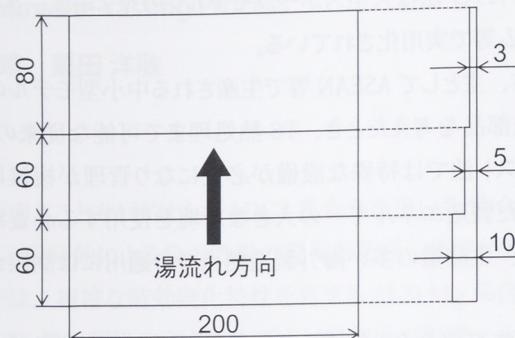


図2 供試材形状

2-2-3. 热処理および硬さ、電気伝導率測定

ダイカスト鋳造後、取り出した供試材を直ちに水冷した。自然時効温度は303Kの室温として、水槽から取り出し直後から自然時効を開始した。時効時間の最小水準は1.8ksから3.6、7.2、10.8、21.6、86.4ksの6水準に変化させた。次いで、463K、3.6ksにて人工時効を行った。

硬さはミツトヨ製ロックウェル硬さ計HR-522を用いFスケールにて測定した。電気伝導率は日本フェルスター製シグマテストを用い、渦電流により室温で測定した。いずれも板厚10、5、3mmの中央部の鋳肌面で行った。

2-3. 水冷直前の供試材温度と冷却水温の影響

2-3-1. 合金組成

水冷直前の供試材温度と冷却水温が熱処理後の硬さに及ぼす影響を調査するにあたり、表1に示す組成Hの溶湯を準備した。

2-3-2. 鋳造条件および供試材形状

開発目的であるリヤームと同等の重量、形状を有する二輪車用車体部品を、表4の条件でダイカスト鋳造した。高さ300mm幅140mm長さ620mmの部品の基本板厚2.5mmの部分から120mm角の板を切り出し、供試材とした。

表4 鋳造条件

溶湯温度	973±5K
型温	473～533K
鋳込重量	5000g
充填時間	80msec
鋳造圧力	54MPa

2-3-3. 热処理および硬さ測定

本試験においては、水冷直前の供試材温度および冷却水

温の影響を簡便に調査するため、ダイカスト铸造後 303K 以下の室温まで放冷し、次いで強制循環式恒温器を使い 793K で、0.6ks 保持した。その後、狙いの供試材温度まで放冷し、20L の水中に浸漬して冷却した。その際に、供試材温度は 593、643、693、743、773K の 5 水準、水温は 278、326、371K の 3 水準とした。また、水冷の際に供試材にはシース熱電対を取り付け、温度の測定を行った。水冷後は、室温にて 86.4ks の自然時効を行い、次いで 473K、3.6ks の人工時効を行った。

硬さはミツトヨ製ロックウェル硬さ計 HR-522 を用い F スケールにて測定した。測定箇所は供試材のゲートから約 10mm 離れた铸造肌面で、# 800 のエメリー紙で研磨を行った後、5 箇所測定を行い、平均値を算出した。

3 試験結果

3-1. 人工時効挙動に及ぼす材料組成と時効温度の影響

図 3 に結果を示す。横軸が人工時効時間、縦軸が人工時効後の室温でのロックウェル硬さである。いずれも 7.2ks 付近に最大値を有している。Cu の含有量がほぼ同等である組成 A、C、E を比較すると、組成 C、E はほぼ同等の硬さを示している。

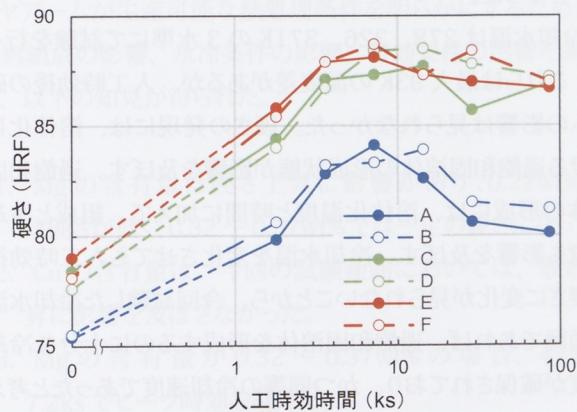


図3 人工時効挙動に及ぼす材料組成の影響

一方、組成 A は C、E に対し時効時間によらず、4 から 6 ポイント程度低い硬さを示している。組成 A、C、E に対し Cu の含有量の多い組成 B、E、F においても同様の傾向が認められる。これは Mg の含有量をある一定以上に管理すれば、必要な硬さが得られることを示している。また、Mg の含有量が同じ組成 A と B、C と D、E と F の比較においては、それぞれ Cu の含有量によらずほぼ同等の硬さを示している。本試験の成分範囲においては、使用上含有不可避免となる Cu の含有量が強度に影響を及ぼさないことが示されており、再

生塊の使用が可能であるといえる。

続いて、最も高い硬さを示した組成 F の供試材を用いて、時効温度を 3 水準変化させた際の時効硬化特性を調査した。図 4 に組成 F の供試材における各人工時効温度での時効曲線を示す。483K においては 3.6ks 後に、473K においては 7.2ks 後にピーク硬さが発現した。453K においては 86.4ks 後が最も硬さが高く、右肩上がりのグラフとなっており、86.4ks までの間で硬さのピークは見られなかった。

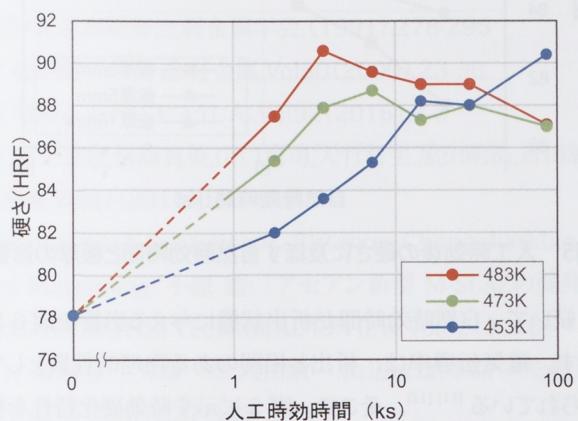


図4 人工時効挙動に及ぼす時効温度の影響

これらの結果から、ダイカスト铸造を行い、ダイカスト铸造直後 293 ~ 318K の水中に浸漬して冷却し、Mg の含有量を 0.36 ~ 0.37wt% に調整した溶湯を用い 483K で人工時効を行うことにより、3.6ks でピーク硬さ 90.6HRF を得られることが分かった。

3-2. 自然時効の影響

生産活動においては、铸造後のせき折り工程や熱処理前の搬送が必要になり、必ずしも铸造直後に人工時効を開始できるわけではない。また、自然時効時間を管理する場合、生産リードタイムに関わるため、熱処理条件を決定する上で、自然時効が人工時効後の硬さに及ぼす影響を把握することは重要である。そのため 3 種類の板厚 (10、5、3mm) を有する供試材を用い、自然時効が人工時効後の硬さに及ぼす影響を調べた。結果を図 5 に示す。横軸に自然時効時間、縦軸に 463K にて 3.6ks 人工時効を行った後のロックウェル硬さを示す。板厚ごとの硬さ変化に着目すると、板厚 3mm と 5mm は自然時効時間が長くなるとともに硬さが上昇しているのに対し、板厚 10mm は自然時効時間 1.8ks では他の板厚に比べて最も大きな硬さの値を示しているものの、その後 86.4ks までは硬さが変わらなかった。その結果、自然

時効時間 1.8ks では板厚 10mm が最も硬さが高く、10.8ks で 3 水準の板厚がいずれも同等の硬さになり、86.4ks では 3mm が最も硬さが高くなることが分かった。

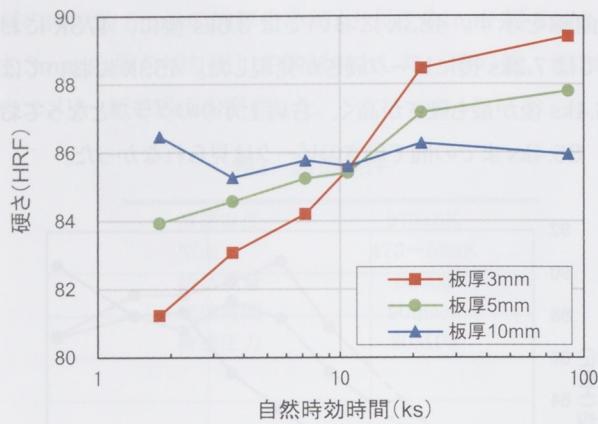


図5 人工時効後の硬さに及ぼす自然時効時間と板厚の影響

続いて、自然時効時間が析出状態に与える影響を図6に示す。電気伝導率は、析出と相関のある物理的性質として知られている^{[11][12]}。そこで、図5に示す時効硬化特性を検証するために、硬さ測定後の供試材を用いて電気伝導率測定を行った。固溶度が高いほど電気伝導率は低くなり、固溶度が低下すると高い値を示す。板厚が薄いほど水冷直後の電気伝導率が低くなっていることから、板厚の低下に伴い冷却速度が速くなり十分な溶体化ができているものと推察される。硬さと同様に板厚 3mm と 5mm の場合、自然時効時間が長くなるとともに電気伝導率が上昇しているのに対し、板厚 10mm は自然時効時間 1.8ks から 86.4ks まで大きな変化は見られない。板厚 10mm は自然時効時間 1.8ks から 86.4ks まで人工時効後の析出状態に顕著な差がないと考えられる。

これらの結果から、本研究で検討した条件においては板厚が薄いほど、また自然時効時間は長いほど人工時効後の硬さが向上することが分かった。二段時効後の硬さにおける正負の効果については、合金中に存在する Mg_2Si 量が 1wt% 以上であると負の効果が発現するといわれている^[6]。そこで、CalPhad 法による汎用の金属合金物性値計算ソフトウェア JMatPro を用いて本成分の平衡状態における Mg_2Si 量を計算した。その結果、620K で析出量は最大値 0.48wt% となることが分かった。本成分では析出する Mg_2Si の量は 1wt% 未満であること、板厚 3mm と 5mm において自然時効時間の増加とともに硬さが上昇していることから、負の効果は発現していないと考えられる。

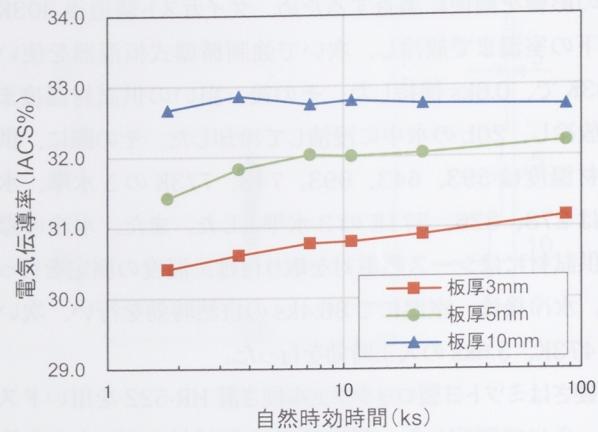


図6 電気伝導率に及ぼす自然時効時間と板厚の影響

3-3. 水冷直前の供試材温度と冷却水温の影響

ダイカスト工程中の T5 热処理の水冷は、射出が完了し、型開き後に供試材を取出し、直後に冷却水中に浸漬する。この時、水冷直前の供試材温度は時効処理後の硬さに影響を及ぼすといわれている。そのため本試験は、水冷直前の供試材温度を変化させ、所定の熱処理を行った際の硬さを調査した。図7に結果を示す。横軸に水冷直前の供試材温度、縦軸に人工時効後のロックウェル硬さを示す。いずれも水冷直前の供試材温度の上昇に伴い硬さが増加していることが分かった。

冷却水温は 278、326、371K の 3 水準にて試験を行った。これらは最大 93K の温度差があるが、人工時効後の硬さへの影響は見られなかった。硬さの発現には、溶体化における過飽和固溶体の形成状態が影響を及ぼす。過飽和固溶体の形成には、溶体化温度と時間に加えて、組成と冷却速度も影響を及ぼす。冷却水温を変化させても人工時効後の硬さに変化が見られないことから、今回試験した冷却水温の範囲であれば、過飽和固溶体を形成するのに十分な冷却速度が確保されており、かつ同等の冷却速度であったと考えられる。そのため、水冷時には厳密な温度管理をすることなく、硬さの確保が可能であることが分かった。

過飽和固溶体の考察のため、前述のように JMatPro にて各温度の平衡状態における Mg_2Si 量を計算した。結果を図7中に重ねて示す。 Mg_2Si は Al-Si-Mg 系合金の時効硬化において、人工時効の過程で組織中に微細に分散析出することで強度を増加させる。平衡状態においては 780K より低温側で Mg_2Si の析出が始まり、温度低下とともに析出量は増加する。前述の通り 620K で最大値となり、その後減少に転じる。水冷直前の供試材温度が低い場合に硬さが低い理由は、水冷開始までの放冷されている間に Mg_2Si が析出し、

人工時効によって析出する Mg_2Si が減少したためと考えられる。供試材温度が高い場合に硬さが高い理由としては、水冷開始までに析出する Mg_2Si が少なく、人工時効で析出すべき Mg_2Si が十分確保されていたためと考えられる。

以上の考察から、高い硬さを得るために水冷直前の供試材温度は高いほうが良いことが分かった

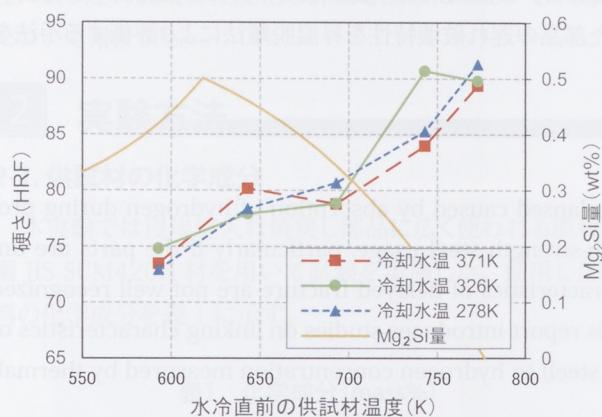


図7 硬さに及ぼす水冷直前の供試材温度と冷却水温の影響

4 おわりに

複雑な時効硬化特性を有する Al-Si-Mg 系合金を用いて、リヤアームが生産可能な熱処理条件を明らかにするために、材料組成の影響、水冷条件の影響、時効条件の影響を調査し、以下の知見が得られた。

1. Mg の含有量は硬さ上昇に影響があり、0.22wt%では硬さが低く、0.32～0.37wt%では一定の硬さになった。
2. Cu の含有量は、今回の試験範囲においては、硬さ上昇に影響を及ぼさなかった。
3. Mg の含有量が 0.32～0.37wt% の場合、473K、7.2ks でピーク時効を迎えた。
4. 時効温度 483K の場合、時効の進行が早くなり、3.6ks でピーク時効を迎え、硬さは 90HRF 以上となり最も高い値を示した。
5. 二段時効の影響を調べた結果、自然時効時間の増加に伴い人工時効後の硬さは増加し、 Mg_2Si 量の計算結果から正の効果の発現が示唆された。
6. 水冷時の水温は、278K から 371K の範囲では硬さに影響を及ぼさなかった。

■参考文献

- [1] 山縣裕: 鋳造工学, Vol76 (2004), 967-971
- [2] 山田徹: 軽金属, Vol41 (1991), 67-74
- [3] 橋内透, 山縣裕, 小池俊勝: 軽金属, Vol56 (2006), 233-239
- [4] 橋内透, 山縣裕, 小池俊勝: YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW, Vol35 (2003), 159-163
- [5] 鈴木宗男: 軽金属, Vol28 (1978), 41-53
- [6] アルミニウムの組織と性質, 編集 40周年記念事業実行委員会・記念出版部会, 軽金属学会, (1991), 278-295
- [7] 松田健二, 池野進: 軽金属, Vol50 (2000), 23-36
- [8] 菊池正夫: NSST つうしん, Vol92 (2016), 2-3
- [9] 井上達也, 後藤真英, 山口篤司, 大竹哲生, 黒田明浩, 吉田誠: 軽金属, Vol61 (2011), 507-512
- [10] Pisithsak Surawichai, Rittanon Chongchatklang, Ken Rungruang, 小原透: 「アセアン新型 M-SLAZ の開発」 YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW, Vol52 (2016)
- [11] 柴田喜三, 大塚一郎, 穴田敞一, 山辺成雄, 草開一夫: 軽金属, Vol26 (1976), 327-335
- [12] 小松伸也: 軽金属, Vol60 (2010), 511-529

■著者



奥田 裕也
 Yuya Okuda
 エンジニアユニット
 コンポーネント統括部
 材料技術部



進藤 孝明
 Takaaki Shindo
 エンジニアユニット
 コンポーネント統括部
 材料技術部



鈴木 貴晴
 Takaharu Suzuki
 エンジニアユニット
 コンポーネント統括部
 材料技術部



栗田 洋敬
 Hirotaka Kurita
 エンジニアユニット
 コンポーネント統括部
 材料技術部

浸炭処理を施した実体部品の昇温脱離法を用いた水素吸蔵量測定による耐遅れ破壊性評価の検討

Studies on linking characteristics of delayed fracture of carburized parts to hydrogen concentration measured by thermal-desorption analysis

井上 陽一 太田 敏也

要旨

遅れ破壊とは部品に負荷を与えてからある時間経過後に微量の水素により生ずる脆性破壊であり、高強度な鋼を用いる場合最も留意すべき重要な特性である。しかし、実際に部品を扱う設計者、製造技術者に遅れ破壊の特性と危険性が十分認識されているとは言えない。そこで、本稿では合金鋼に浸炭処理した部品の遅れ破壊特性を昇温脱離法により評価する手法を検討したので紹介する。

Abstract

Delayed fracture is a brittle fracture occurring after time has elapsed caused by absorption of hydrogen during processing of parts. This is the most critical characteristic in high-strength steel usage, particularly if the parts are undergoing tensional forces. However, the risk involved and characteristics of delayed fracture are not well recognized in practice by part designers and manufacturing engineers. This report introduces studies on linking characteristics of delayed fracture of carburized parts (made with high-strength steel) to hydrogen concentration measured by thermal-desorption analysis.

1 はじめに

輸送機器のエンジンを構成する各種部品には破壊の起点となる表面の硬さを確保しつつ、内部の韌性の確保が可能な表面改質技術が広く適用されている。鋼の表面改質技術として代表的な浸炭焼入れ焼戻し、高周波焼入れ焼戻し処理は、鋼のマルテンサイト変態を利用した強化法である。鋼のマルテンサイトは、鋼の強化機構である固溶強化、転位強化、結晶粒微細化強化、析出強化により、高い強度を持つ¹⁾。図1に当社モーターサイクルのトランスマッisionを示す。

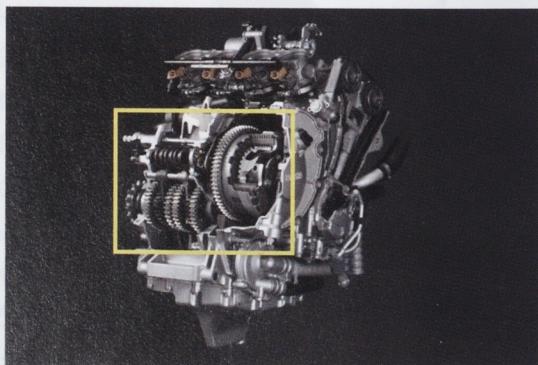


図1 モーターサイクルのトランスマッision

当社ではさまざまなエンジン部品に浸炭処理が施されている。たとえば、モーターサイクルではクラッチシャフトからの回転力を、クラッチを介して伝えるメインシャフトやそれに組み付けられる各種ミッションギア、またスプロケットを介して後輪を回転させるドライブシャフトなどに浸炭処理が用いら

れている。

一方、高強度化された鉄鋼材料では使用中に起こる遅れ破壊の問題が存在している。遅れ破壊は、製造工程で侵入した水素や環境中から侵入した材料中の水素により、応力負荷状態で、ある時間経過後に割れが発生する現象である²⁾。材料中の水素は、転位、空孔、粒界、析出物等の欠陥にトラップされていることが知られている(以下、トラップサイト)³⁾。浸炭焼入れ焼戻しや高周波焼入れ焼戻しを施した材料は、非表面改質材料と異なり、強度や組織状態に勾配が存在するため、組織の一部分を評価するのみでは、実体部品の設計指針となる評価が困難である。

前出のメインシャフト(図2)では先端部分にクラッチ部品が締結されるため、従来はネジ部の遅れ破壊防止のため部分的に浸炭硬化を防ぐ目的で防炭処理を行っていた。

しかし、防炭処理は防炭剤の塗布と乾燥に工数と時間を要し、また防炭剤が浸炭炉壁へ付着し炉の交換サイクルを早めてしまう弊害があった。そこで近年防炭処理に代わる工法として部分的に高周波加熱により焼戻す方法が広く使われるようになってきている。しかし、防炭処理したものと浸炭処理したものとでは炭素量、組織が



図2 メインシャフト

異なるため遅れ破壊特性を統一して評価するのが困難であった。

そこで著者らは、表面改質材の遅れ破壊特性の評価を行うために、浸炭処理を行った材料の焼戻し条件を変化させた後、水素チャージを行い、昇温脱離法⁴⁾を用いて水素放出曲線の比較を行うことで、実体部品に用いられる表面改質処理による遅れ破壊特性変化の評価を試みたので、その内容について報告する。

2 実験方法

2-1. 供試材の化学成分

本実験では浸炭焼入れ焼戻し部品に広く使われる肌焼き鋼 JIS SCM420H 材を用いて試験を実施した。使用した材料の化学成分を表 1 に示す。

表1 化学成分 (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.21	0.17	0.77	0.012	0.021	1.12	0.16

2-2. 試験片作製方法

供試材は $\phi 35$ の丸棒を図 3 に示す試験片形状に削り出し、表 2 に示す 5 仕様の条件で熱処理したテストピースを準備した。浸炭処理はすべて図 4 の熱処理条件にて行った。

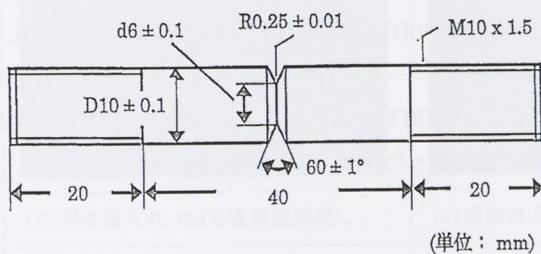


図3 試験片形状

表2 热処理条件

(A)	浸炭焼入れ + 200°C × 1.5hr 炉焼戻し
(B)	防炭後浸炭焼入れ + 200°C × 1.5hr 炉焼戻し
(C)	浸炭焼入れ + 200°C × 1.5hr 炉焼戻し + 620°C × 1.5hr 炉焼戻し
(D)	浸炭焼入れ + 200°C × 1.5hr 炉焼戻し + 400°C × 5sec 高周波焼戻し
(E)	浸炭焼入れ + 200°C × 1.5hr 炉焼戻し + 700°C × 5sec 高周波焼戻し

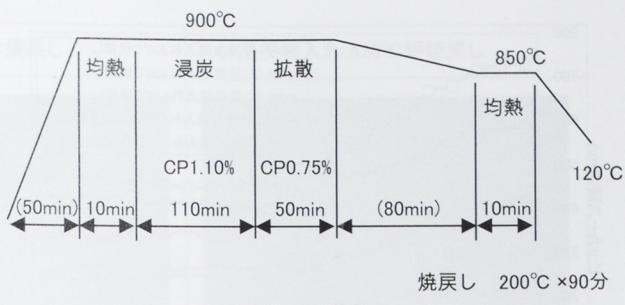


図4 浸炭条件

2-3. 試験片組織と硬さ

作製した試験片各 5 仕様について切欠き底断面を鏡面研磨後ナイタル腐食し、光学顕微鏡および電子顕微鏡 (SEM) にて観察した。また、試験片の切欠き底からの断面硬さ分布をマイクロビッカース硬度計にて測定した。

2-4. 浸漬試験

作製した試験片の各 5 仕様について遅れ破壊特性を確認するため浸漬試験を行った。各試験片はアセトン中にて脱脂後、試験溶液に浸漬した。試験溶液は 20% チオシアノ酸アンモニウム水溶液 (5L)、試験温度は室温、試験期間は 3 日間とした。試験終了後は水洗、乾燥し、水素の散逸を防止するため、直ちに低温冷凍庫 (-70°C) 中にて分析直前まで保管した。水素の分析は水冷マイクロカッターを用いて、測定部位から分析サンプル (切欠きを中心幅 10mm) を採取し、切断面を湿式研磨しアセトンにて脱脂後、アルバッケ製 ST-200P 特型測定装置を用い 100°C / hr の昇温速度にて室温から 600°C の温度範囲で水素放出曲線の分析を実施した。

3 実験結果

3-1. 試験片の硬さ分布

各試験片の硬さ分布を図 5 に示す。表面硬さは試験片 (A) の浸炭品が高く、(B) の防炭品、(C) の 620°C 炉焼戻し品、(E) の高周波 700°C 戻し品の表面硬さは同等レベルとなっていた。これは (C) の 620°C 炉焼戻し品および (E) の高周波 700°C 戻し品の表面硬さが (B) の防炭品と同等となるように熱処理条件を設定したためである。(D) の高周波 400°C 戻し品は (A) の浸炭品と (B) の防炭品、(C) の 620°C 炉焼戻し品、(E) の高周波 700°C 戻し品の中間に近い表面硬さであった。(A)、(C)、(D)、(E) の浸炭処理品は表面から内部に向かい硬さが低下しており、(B) の防炭品は一定の硬度分布となっていた。

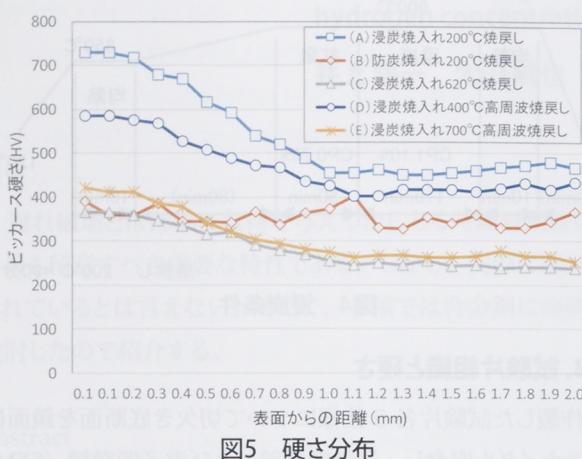


図5 硬さ分布

3-2. 試験片のミクロ組織

各試験片のミクロ組織を図6に示す。各熱処理条件の表層組織の特徴として、(A)の浸炭品は浸炭焼入れ焼戻し組織としては標準的な焼戻しマルテンサイト組織+残留オーステナイト組織である。(B)の防炭品は網状フェライトを含んだ不完全焼入れ組織となっている。(C)の620°C炉戻し品は微細パーライト組織となっている。(D)の400°C高周波戻し品、(E)の700°C高周波戻し品の焼戻し組織は、焼戻しマルテンサイト+若干の残留オーステナイトが見える。光学顕微鏡で確認したミクロ組織では2つの組織に顕著な差は見られない。

3-3. 試験片の電子顕微鏡観察

各熱処理組織の差を比較するため電子顕微鏡で観察を行った。各試験片の電子顕微鏡写真を図7に示す。(A)の浸炭品はマルテンサイト+オーステナイト組織となっており、(B)の防炭品は網状フェライトを含んだ不完全焼入れ組織となっている。(C)の620°C炉戻し品は、フェライト+微細パーライト組織となっている。(D)の400°C高周波戻し品は、微細なマルテンサイト粒界と微細な炭化物が見える。(E)の700°C高周波戻し品はマルテンサイト粒界が不明瞭となり一部に針状の粒界が見える。(D)の400°C高周波戻し品と比較して全体的に炭化物の凝集が見られる。

3-4. 水素放出曲線

本調査で用いた昇温脱離法は、試料から放出される水素を測定し、得られた水素放出曲線により材料中の水素トラップサイトの種類や量の解析を行う方法である。遅れ破壊に影響する水素は、室温で材料中を拡散、離脱可能であることから「拡散性水素」と呼ばれており、水素放出曲線の250°C

ないし350°Cまでの量を拡散性水素量としている場合が多い⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

拡散性水素の放出量は水素をトラップする材料中の欠陥の量に応じて増減するため、拡散性水素放出量は、遅れ破壊特性を表していると言える。また放出水素量を材料の損傷評価の指標とする試みも行われている⁸⁾。

各試料の水素放出曲線の比較を図8に示す。特徴的なのは(A)の浸炭品、(D)の400°C高周波戻し品に100°C付近と200°C付近の2つのピークが存在している点である。同様に(B)の防炭品にも小さなピークが存在している。またいずれの試料にも、100°C付近のピークが存在している。過去SCM420鋼、SCM435鋼で行われた同様の昇温条件の水素放出曲線の解析⁹⁾¹⁰⁾では、今回観察された100°Cと200°C付近の2つのピークが分離して存在している例は見当たらず、2つのピークが分離して存在するのは浸炭処理による特徴と考えられる。

2つのピークと熱処理条件の関係に注目するため170°Cまでの水素放出量と170°Cから250°Cまでの水素放出量に分けて考察を行う。170°Cまでの放出水素量は(A)の浸炭品と(D)の400°C高周波戻し品で多く、(B)の防炭品は、170°Cまでの放出水素量は全ての試料の中で一番少ない。(C)の620°C炉戻し品と(E)の700°C高周波戻し品はおよそこれらの中間の値であった。

170°C～250°Cの第2ピークにおける放出水素量は、焼戻し温度に比例して減少しており、(A)の浸炭品に対し(D)の400°C高周波戻し品は約半分に減少、(C)の620°C炉戻し品と(E)の700°C高周波戻し品の放出量は、ほとんど確認されなかった。一方、(B)の防炭品にはピークが存在しており、(D)の400°C高周波戻し品と(C)の620°C炉戻し品の中間の値であった。

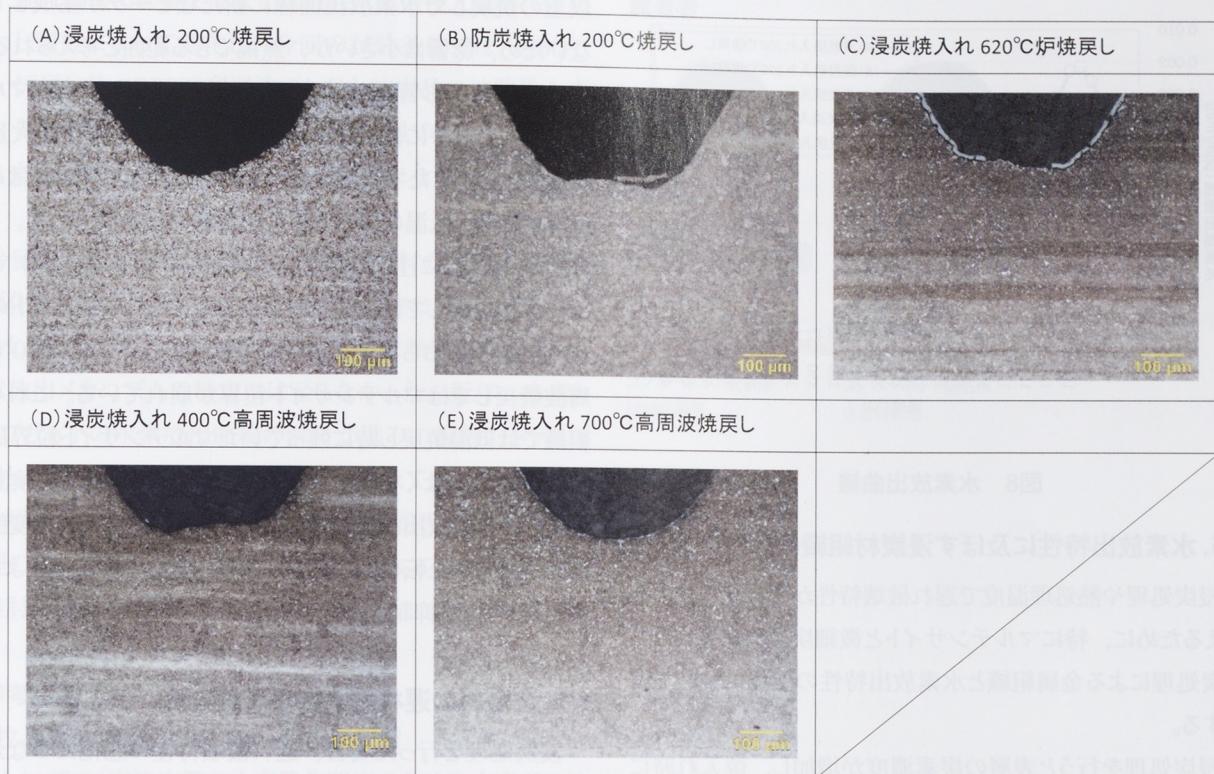


図6 ミクロ組織比較

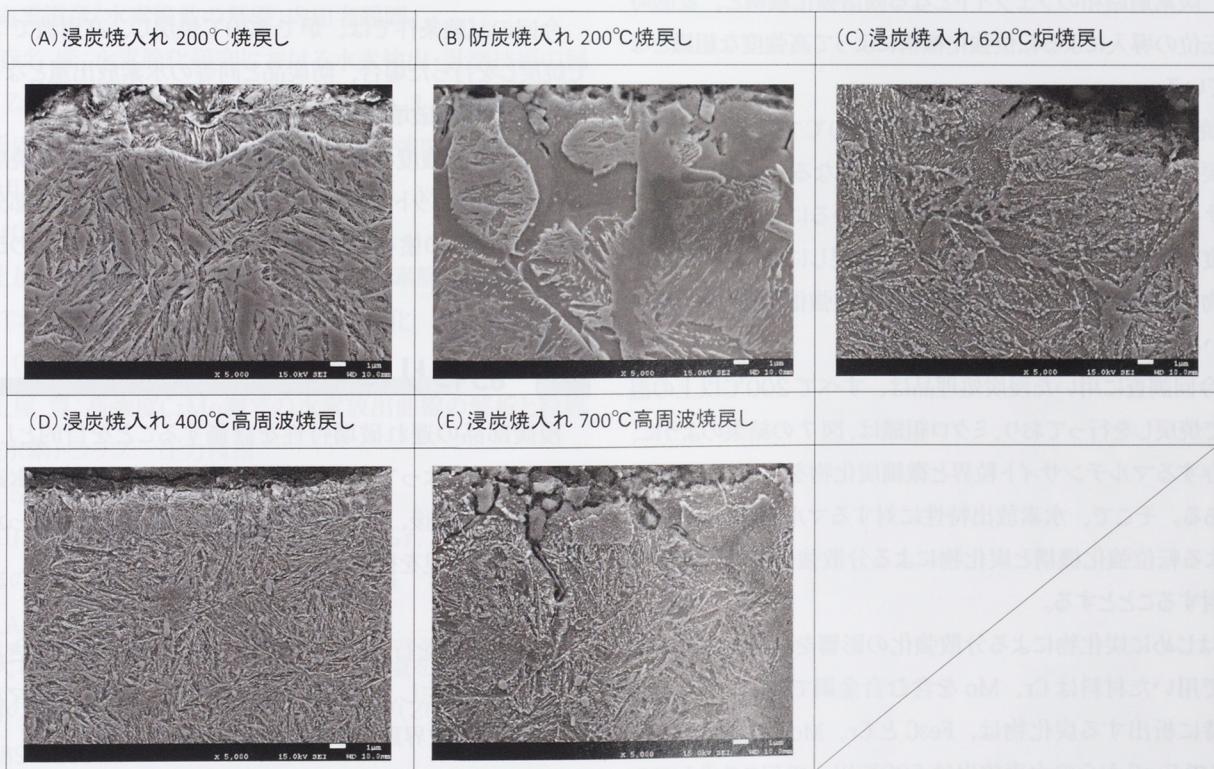


図7 電子顕微鏡写真

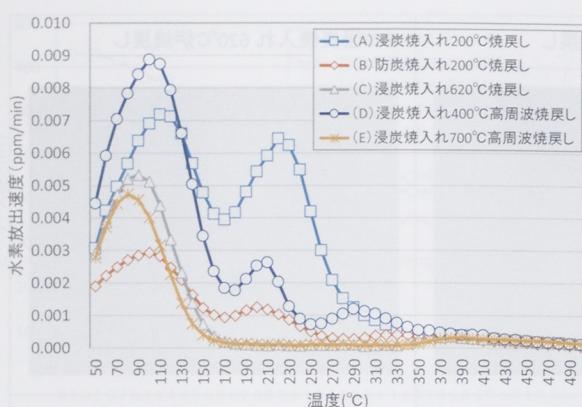


図8 水素放出曲線

3-5. 水素放出特性に及ぼす浸炭材組織の影響

浸炭処理や熱処理温度で遅れ破壊特性が変化する要因を考えるために、特にマルテンサイトと微細炭化物に着目して浸炭処理による金属組織と水素放出特性の関係について検討する。

浸炭処理を行うと表層の炭素濃度が増加し、焼入れ時にマルテンサイトへ変態する。焼入れままのマルテンサイトは、オーステナイト組織中に固溶した炭素が、急冷により拡散せず、炭素過飽和のフェライトとなる固溶強化機構と、変態時の転位の導入による転位強化機構によって高強度な組織となっている。

焼入れままのマルテンサイトを、200°Cで焼戻した場合、焼戻しマルテンサイトといわれる組織となる。焼戻しマルテンサイトは、炭素の固溶量が減少しているにもかかわらず高強度な組織を保っている。これは、焼戻しによって微細な炭化物の析出が起こることで発生する分散強化機構と考えられている。

今回調査に用いた浸炭処理品は、すべて200°C以上の温度で焼戻しを行っており、ミクロ組織は、図7の結果のように、残存するマルテンサイト粒界と微細炭化物を基本とした構造である。そこで、水素放出特性に対するマルテンサイト構造による転位強化機構と炭化物による分散強化機構の影響を検討することとする。

はじめに炭化物による分散強化の影響を検討する。本調査で用いた材料はCr、Moを含む合金鋼であるため、焼戻し時に析出する炭化物は、Fe₃CとCr、Mo炭化物である。ここでFe₃Cからの水素放出は500°C以上で起こる³⁾と言わされており、今回の水素放出曲線範囲では現れない。CrやMo炭化物についても500°C以上の焼戻しで析出するため、焼戻しにより水素放出量が低下する現象とは一致せず、500°C

以上の焼戻しで水素放出曲線に新たなピークが生成していないため、影響は小さいか、無視できる範囲と考えられる。

次に転位の影響について考察を行う。上述のようにマルテンサイト変態時には、結晶構造の変化に伴う転位が大量に導入される。またマルテンサイトの焼戻し時に再結晶は起こらないため、低温の焼戻しでは結晶粒界は維持される。ここで図7の組織に注目すると、(A) 200°C焼戻し、(D) 400°C高周波焼戻しでは焼入れ時に生成したマルテンサイトの形状は消失しておらず、(C) 620°C炉焼戻し、(E) 700°C高周波焼戻しではマルテンサイト粒界が崩れている。これらの組織では低温焼戻し時に残っていたマルテンサイト粒界周辺の転位量も少なくなっていると考えられる。これらの検討結果から、水素放出曲線の第2ピークはマルテンサイト変態に伴い導入された転位が影響しており、転位の安定化により水素のトラップが抑制されたと考えられる。

3-6. 浸炭材の遅れ破壊特性改善方法

浸炭処理を行った場合、遅れ破壊特性の悪化につながる水素放出量の増加が認められた。そのため、静的な一定荷重が負荷されるような部位に浸炭強化を行った材料を用いる場合は、遅れ破壊特性を改善させる処理が必要である。

今回の試験条件では、炉で620°C焼戻し、高周波で700°C焼戻しを行った場合、防炭品と同等の水素放出量となったことから、遅れ破壊特性も改善されたと考えられる。

ただし、高強度を要求される部品に対して全体を焼戻す場合はそのメリットを生かせないため、高周波による部分焼戻しや防炭剤の塗布による浸炭抑制が遅れ破壊特性の改善に効果的である。

4 おわりに

浸炭部品の遅れ破壊特性を評価することを目的として、熱処理条件によって金属組織を変化させた試験片に水素チャージを行った後、水素の昇温脱離法による分析を行った結果、以下の知見を得た。

1. 浸炭処理を行った材料では、昇温脱離曲線に大きなピークが発生し、それはマルテンサイト変態によるマルテンサイト粒界周辺の転位によると推定した。
2. 高温焼戻しを行うとマルテンサイト粒界が崩れ周辺の転位が安定化し、遅れ破壊特性が改善された。

3. 遅れ破壊に影響を及ぼす拡散性水素の侵入量は、焼戻し温度によって変化し、今回の試験条件では、620°C 焼戻し品、700°C 高周波焼戻し品と防炭品の拡散性水素量とがほぼ同等となり、浸炭材を高温で焼戻すことで遅れ破壊特性が改善することが明らかになった。

今回の調査の結果、浸炭焼入れ焼戻し材の遅れ破壊特性の悪化は、マルテンサイト粒界周辺の転位の増加と考えられた。しかしながら、今回の検討においては熱処理条件ごとの水素放出メカニズムの特定には至らなかった。近年、水素トラップサイトの水素放出曲線の解析が進み、複数のトラップサイトを考慮したシミュレーションも行われている。今後はこれら解析手法も検討の視野に入れ、浸炭処理等の表面改質処理の遅れ破壊への影響について、メカニズム解明に向けた検討を進めていく。

■著者



井上 陽一

Yoichi Inoue

エンジンユニット
コンポーネント統括部
材料技術部

太田 敏也

Toshiya Ota

エンジンユニット
コンポーネント統括部
生産技術部

■参考文献

- [1] 牧 正志:鉄鋼の組織制御 内田老鶴圃
- [2] 秋山 英二:高強度鋼の水素脆化研究のための水素ガス放出測定 Journal of the Vacuum Society of Japan Vol. 57 (2014)No. 6 p. 207-213
- [3] 南雲道彦「水素脆性の基礎」内田老鶴圃
- [4] 春名 匠:水素脆化研究における水素検出・計測技術の展開 Zairyo-to-Kankyo Vol. 63(2014)No. 3 p. 76-83
- [5] 千田ら:定荷重・SSRT・CSRT法による高強度鋼の丸棒試験片を用いた水素脆化評価の比較 鉄と鋼 vol.100(2014) NO.10
- [6] 土屋 豊:高強度マルテンサイト鋼の水素脆化評価試験 CSRTおよびSSRTでの水素存在状態の変化 圧力技術 Vol. 52 (2014)No. 6 p. 315-322
- [7] 土屋 豊:高強度CrMo鋼での水素放出曲線の解析と粒界での水素トラップ 圧力技術 Vol. 51(2013)No. 5 p. 261-268
- [8] 山下ら:水素昇温離脱分析によるGr.122鋼溶接継手部のクリープ損傷評価 材料Vol.65 No.4,pp300-305,Apr.2016
- [9] 大村ら:大気および高圧水素ガス環境を模擬した低合金鋼の水素チャージ 鉄と鋼 Vol.100(2014)NO.10 p1289-1297
- [10] 種々の試験方法による焼戻しマルテンサイト鋼板の水素脆化特性 鉄と鋼 Vol.100(2014)NO.10 P1306-1314

新井 寿一 中東 里英

要旨

リチウムイオン電池 (Lithium Ion Battery: LIB) は電動アシスト自転車 (PAS)、電動スクーター (e-Vino) や電動車いす (JW) 等に利用が広がっている。電動化製品において重要なエネルギー源である LIB の本質動作を理解することは製品の性能向上に繋がるものと考えられる。LIB は金属の缶やラミネートフィルムに包まれているので中の様子を観察することはできない。そこで、我々は近代医療でも広く活用されている核磁気共鳴法 (NMR: Nuclear Magnetic Resonance) により LIB を壊すことなく、動作する状態のままで観察する方法を検討した。その結果、NMR 装置とセル (実験用の LIB) の工夫により、LIB 内部のリチウムイオンの動きを観測することができるようになった。この手法により LIB の 1. 過充電過程での反応、2. サイクル試験時の変化等を解析したので、本稿ではその内容に関して紹介する^[1-3]。

Abstract

Lithium ion batteries (LIBs) are widely used in electric powered vehicles such as PAS (pedal assisted bicycle), e-Vino (electric scooter) and JW (electric wheel chair). LIBs are essential component in these products and determine their performances as well. While, the insufficient understanding of LIB's nature prevents the full usage of LIB's performance, because we cannot see LIB's reaction directly due to the sealing case. We can use LIB's full potential performance if we can measure the LIB's reaction directly and understand it well. For this purpose, we developed in situ nuclear magnetic resonance (NMR) method and analyzed the overcharge reaction and capacity fade in cycle life. This paper reviews our recent study based in three publications^[1-3].

1 はじめに

リチウムイオン電池 (Lithium Ion Battery: LIB) は高いエネルギー密度を有し、電源として小型軽量化が可能なことから携帯用電気機器の電源として広く普及しており、電動車両の電源としての利用も活発になっている。ヤマハ発動機は電動アシスト自転車、電動スクーター、電動車いすの製品 (図 1) を通じて車両電動化をけん引している。

電動アシスト自転車



電動車いす

12.8Ah
リチウムイオン
バッテリリチウムイオン
バッテリ

図1 LIBを搭載した「電動」製品の例

これらの製品の性能を向上していくためには LIB セルの性能評価と動作限界の把握が不可欠であり、電池の評価技術を蓄積してきた。

しかし、電池は電気化学の反応容器であり、その性能や挙動は電極内や電極界面の反応で支配されている。そこで、電池の本質反応を把握し、その性能を使い切るためには電池反応の解析が必要になっている。本稿では、LIB の動作中の内部反応を直接評価する方法の開発とそれを用いた電池反応の解析結果の一部を紹介する。

2 リチウムイオン電池

2-1. 動作原理

図 2 に LIB の動作原理を示す。LIB は正極に仕込まれたリチウム (以下、Li) が電圧印加により正極から負極に移動することで充電される (図 2(a))。また、放電時には逆方向の反応により Li イオンが負極から正極に戻る (図 2(b))。このように LIB では化学反応を伴わないので充放電がなされるので、原理的にはサイクル劣化の少ない電池であるとされている。また、大半の LIB は 3V から 4.2V の動作電圧範囲で使用される。

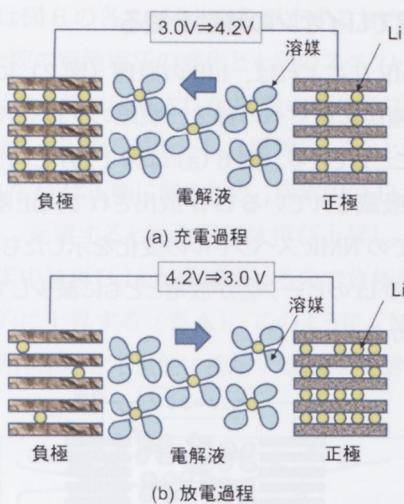


図2 LIBの動作原理

この上限電圧の制約は電解液 (Liイオンを溶解した溶液、Liイオン移動のための通り道) の電気分解や正極材料の結晶崩壊を防ぐために設定されている。

2-2. LIBの課題

全ての電池についていえることだが、上記のような安定動作範囲を超えた操作は電池の劣化や信頼性の低下を招く。しかし、電池動作にあまりにもたくさんの制約を設けてしまうと本来の性能を有効に活用できなくなってしまう。LIBの場合は、安定動作範囲を逸脱すると副反応としてLiイオンが負極炭素に入らずに電極表面に析出して、活性なLi金属(通常、デンドライドLiと称される)を生成し、これが性能低下などの原因の一つになっている。また、繰り返しの充放電をおこなうサイクル利用では、電池の容量低下が起こる。

劣化電池の解体分析は広く行われているが、劣化した電池の状態を維持したまでの解析例はほとんどない。本研究ではこれらの課題にNMR法により迫った。

3 研究の内容

3-1. NMRとは

最近、医療にもMRI(核磁気共鳴画像法: Magnetic Resonance Imaging)というNMR(核磁気共鳴: Nuclear Magnetic Resonance)法を応用した診察装置が利用されるようになった。MRIは人が磁場の中に入っている体の中の状態を計測、診断してもらう装置である。NMR法も原理的には同じで、LIBの中の状態を見ようとするものである。ただし、MRIは体内にたくさん存在する水素原子を見ているのに対して、本研究ではLIBの可動イオンであるLi原子を直接見る

ことにした。

LIBのNMR測定には一つ大きな問題があった。それは、LIBにはその構成材料として多くの金属部材が使われていることである。金属が存在すると外部磁場を遮蔽してしまい十分なNMR信号が得られない。そこで、NMR検出コイルを図3に示すように扁平にすることでNMR信号の検出感度を高めた。



図3 電池NMR用扁平巻き検出コイル

さらに、できるだけ市販のLIBに近い電極構成、部材構成のままで検出コイルに挿入可能な最大限の大きさ、かつシールなど余分な部分を極力少なくした実験用セル(図4)を設計、作製した。

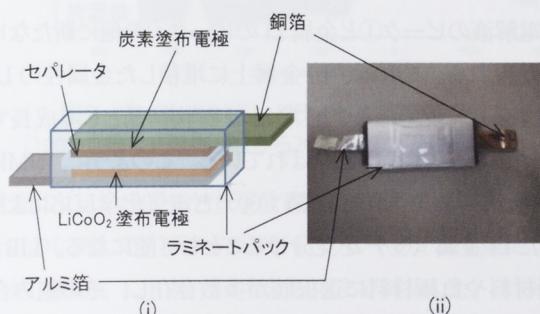


図4 NMR測定用LIBの構造(i)と外観写真(ii)

上記2つの工夫により、構成部材に一般のLIBと同じものを用い、正極、負極、セパレータ、電解液から構成される実験セル(LIB)でのNMR測定が可能になった。このような市販電池と同様の構成の実験セルでNMR計測が可能なのは現状では我々の技術だけである。

3-2. LIBのNMRスペクトル

実際のLIBのNMRスペクトルは図5に示すとおりである。横軸はLi核の存在状態によって変化する量で、単位はppmである(Li核の磁場に対する変化があまりにも小さいので100万倍に拡大して示しているため)。縦軸はLi核の存在に比例して変わるスペクトルの強度を示す。このように、

NMRスペクトルはLiがどんな存在状態(化学結合状態)で、どれくらい存在するかの情報を与えてくれる。

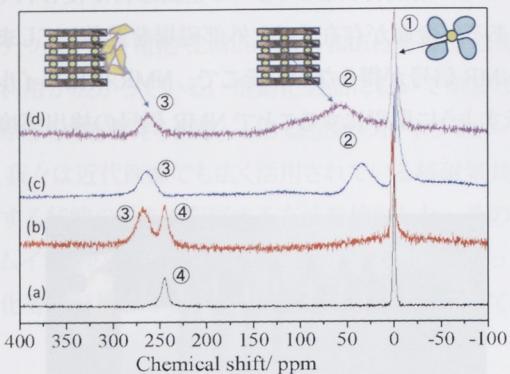


図5 LIBのNMRスペクトル

図5はLIBで典型的に存在するLiの化学種に対するスペクトルをまとめて示している。図5の(a)は、Li箔と電解液をラミネートに封入したサンプルのNMRスペクトルである。このサンプルでは電解液中のLiイオンのピーカーは0 ppm付近(ピーカー①)に、金属Liのピーカーは245 ppm付近(ピーカー④)に観測される。図5の(b)は正極にコバルト酸リチウム(LiCoO₂)、負極にLi箔を用いたNMRセルの充放電後のスペクトルである。この場合はピーカーが3本になり、電解液のピーカー①と金属Liのピーカー④の他に新たにピーカー③が現れる。これは、Li金属上に堆積した金属性のLiに起因するピーカーである。通常Liは樹状結晶として成長するので、デンドライドLiと呼ばれている。このように、NMRではLi金属(加工されたLi箔；④)と電気化学反応により堆積したLi金属(③)を見分けることも可能になる。LIBは、正極材料や負極材料に選択肢が多数存在し、その組み合わせにより多種類のLIBが存在する。ここでは正極にLiCoO₂を用い、負極材料を変えた場合の変化を確認した。図5(c)は負極に黒鉛を用いたLIBのNMRスペクトルで、図5(d)は負極にハードカーボン(結晶性の低い炭素材料)を採用した場合のNMRスペクトルである。これらのスペクトルでは30～70 ppm付近にLiイオンが炭素結晶の間に入り込んだ状態のNMRピーカー(②)が新たに観測される。黒鉛は結晶性が高いので比較的シャープなNMRピーカーが観測されるが、結晶性の低いハードカーボンではLiの入り込む場所が分散しているのでNMRピーカーもブロードなものになっている。このようにNMRによればLIBを破壊することなく、材料の違いによるLiの吸蔵状態が異なることが分かり、逆に、スペクトルから使っている材料を推定することもできる。

3-3. 充放電でLiイオンの移動を観る

さて、NMR法によれば、LIBの原理(図2)に示したLiイオンの負極炭素材料への挿入、脱離のプロセスを定量的に計測することもできる。図6(a)は図1(a)と同じ放電(炭素結晶中に吸蔵されているLiが放出されて、正極に戻っていく)過程でのNMRスペクトルの変化を示したものである。炭素材料中のLiのピーカー②が放電とともに減少していく様子が明瞭に分かる。

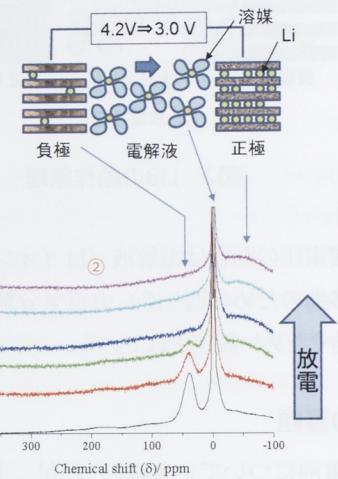


図6(a) 放電過程でのNMRスペクトルの変化

図6(b)は逆に充電(正極から炭素結晶中にLiを挿入していく)過程でのNMRスペクトルの変化を示している。

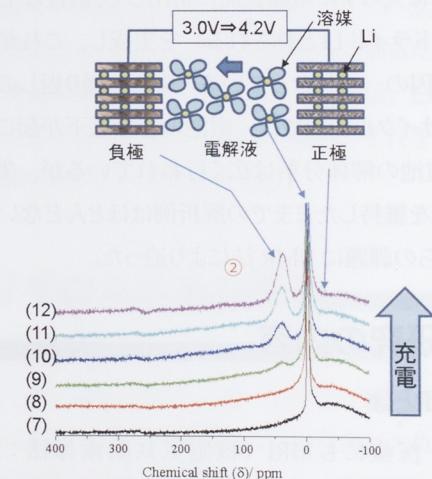


図6(b) 充電過程でのNMRスペクトルの変化

今度は放電とは逆に炭素材料中のLiのピーカー②が充電とともに増加していく変化がきれいに計測されている。このように、NMR法によればLIBの動作原理を直接イオンの動きとして定量的に捕らえることが可能になる。

図7には図6の各スペクトルを測定するためにLIBを充放電させた際の電池電圧の変化と上記のスペクトル解析から得られた炭素負極に吸収されたLi量の変化をプロットした。LIBは放電により電圧が低下し(黒線)、このとき負極炭素に蓄えられたLiは正極に戻るため、炭素中のLi量は低下する(黒●)。充電すると電池電圧は再び上昇し(青線)、この際は炭素中に再びLiが吸収されるので負極炭素中のLi量は可逆的に上昇する(青▲)。このように、NMRを用いてLIBの動作原理を定量的に検証することができた。

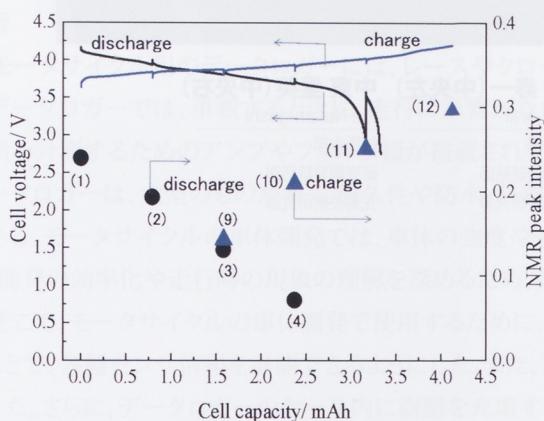


図7 LIBの充放電過程での電池電圧の変化と炭素負極に吸収されたLi量の変化

3-4. 過充電時のデンドライドLiを捕らえる

次に、NMR法を利用してリチウムイオンLIBに特有の反応を解析した。LIBではその原理から充放電時のLiの移動量を設計値の範囲内に留めておく必要がある。この範囲を超えるとLiが負極の炭素に収まりきらなくなるので故障の原因になる。そのため、LIBでは動作電圧の範囲が電池の種類ごとに規定されている。この規定の電圧を超えて充電されることを過充電という。本研究ではNMR法を用いてこの過充電過程の電池内の反応を解析した。

図8にLIBを満充電の状態からさらに充電して過充電の状態にしていった際のNMRスペクトルの変化を示す。

先ず、満充電状態のスペクトル(i)では炭素に吸収されたLiのピーク②だけが見られる。この電池をさらに満充電よりも20%ずつ多く充電していった際のNMRスペクトルが(ii)から(vi)になる。図5で紹介したデンドライドLiに相当するピーク③が20%過剰に充電したところから充電量が増えるに従って成長していく様子が明確に確認できた。

次に、満充電から100%過剰に充電したLIBに生じたデンドライドLiがその後どうなるのかを追跡した。図9は充電直後から20分ごとに測定したNMRスペクトルを奥側から手前に順に並べて示したものである。

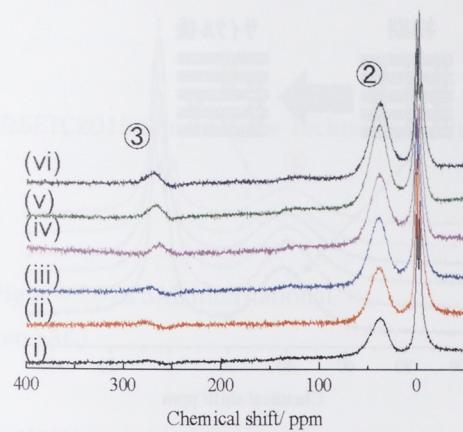


図8 LIBを過充電した際のNMRスペクトルの変化
(i)満充電、(ii)20%過剰に充電、(iii)40%過剰に充電、
(iv)60%過剰に充電、(v)80%過剰に充電

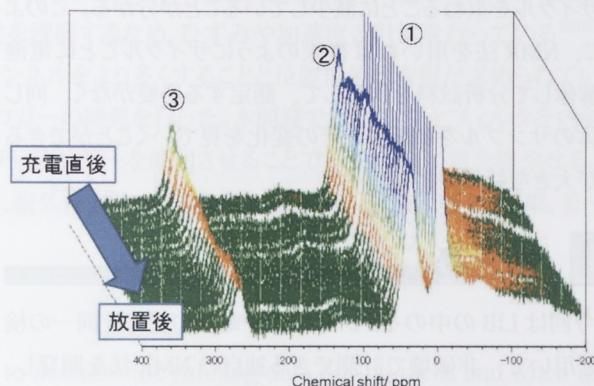


図9 生成したLiデンドライドの経時変化
(100%過剰に充電後(奥)から20分ごとにNMRを測定)

炭素中のLiのピーク②が放置後12h経ても変化が見られないのに対して、デンドライドLiのピーク③は生成直後から減少し始めて12h後では半分程度まで減少した。このことから、デンドライドLiは極めて活性で、不安定なものであることが分かる。

3-5. サイクルするとLiが炭素に入らなくなる

LIBは原理的には繰り返しの充放電による劣化は少ないと言われている。しかし、実際には充放電の際に副反応が起こり、電池の容量は徐々に低下していく。

すなわち、充電時の副反応によって本来炭素中の挿入されるべきLiが減ってしまい、供給した電気量よりも少なくしか充電されていないことになる。このことは電池をサイクル中に、非破壊のNMR法により炭素中に吸収されたLiのピーク②の強度を追跡することで確かめられる。

図10はLIBを室温で繰り返し充放電した際のNMRスペクトルをサイクル前から(1)100サイクルごとに600サイク

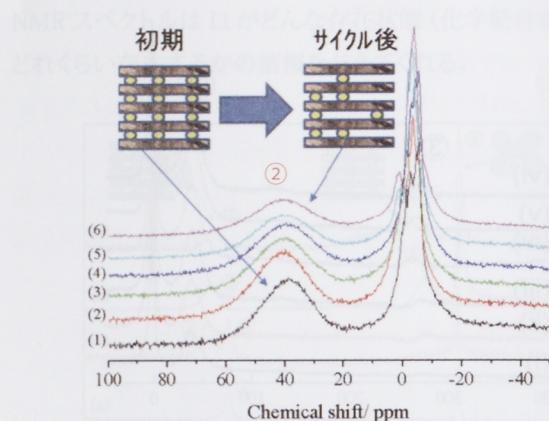


図10 サイクル劣化過程での充電時のLiの吸蔵状態の変化
(1):初期、および(2)~(6):100サイクルごとのNMRスペクトル

ル(2)~(6)まで追跡したものである。

炭素中にに入ったLiの量(すなわち、有効に充電された量)はサイクルを重ねるごとに減少していることが分かる。このように、NMR法を用いれば従来のようにサイクルごとに電池を解体して分析試料を作製して、測定する必要がなく、同じ検体のサンプルを継続してその変化を見していくことができる点が大きな特長である。

■著者



新井 寿一(中央左) 中東 里英(中央右)

Juichi Arai

Rie Nakahigashi

技術本部

技術本部

研究開発統括部

研究開発統括部

先進技術研究部

先進技術研究部

4 まとめ

今回はLIB中のイオンの動きや電池の反応を同一の検体を用いて、非破壊で計測できる独自のNMR法を開発し、過充電やサイクルでの変化を解析した。今後は本手法を用いてLIBの動作の限界条件を明らかにし、電池を有効に使いきる条件を明確にしていきたい。

■参考文献

- [1] K. Gotoh, M. Izuka, J. Arai, Y. Okada, T. Sugiyama, K. Takeda, and H. Ishida, Carbon, 79, 380 (2014).
- [2] J. Arai, Y. Okada, T. Sugiyama, M. Izuka, K. Gotoh, and K. Takeda, J. Electrochem. Soc., 162, A952 (2015).
- [3] J. Arai, R. Nakahigashi, and T. Sugiyama, J. Electrochem. Soc., 163, A1064 (2016).

Masashi Matsuo Takeshi Morioka Hitoshi Watanabe

当論文は、SAE2015-32-0828 / JSAE20159828として、大阪で行われたSETC2015(Small Engine Technology Conference)にて発表されたものです。

DOI: 10.4271 / 2015-32-0828

Reprinted with permission Copyright © 2015 SAE Japan and Copyright © 2015 SAE International
(Further use or distribution is not permitted without permission from SAE.)

要旨

モータサイクル用のデータロガーには、レースやクローズドコースでの走行データの計測を行うためのものがある^[1]。これらのデータロガーでは、車載するときに、走行に影響がないように小型、軽量、最適化がされている。そのため、ひずみ式のセンサ類を計測するためのアンプやフィルタ類が搭載されていない物がほとんどである。また、アンプやフィルタが内蔵されているデータロガーは、大型のものが多く、耐久性や防水、防塵性といった観点で二輪車の走行時には、使用できないものがほとんどである。モータサイクルの車体開発では、車体の強度や運動特性を理解するため、ひずみや加速度の計測を行っている^{[2][3]}。また、開発の効率化や走行時の現象の理解を深めるため、計測チャンネルをより多くすることと位置情報の取得が求められている。

そこで、モータサイクルの車体開発で使用するために、データロガーの開発を行った。本開発では、アンプとフィルタを内蔵することで、各種センサ情報を計測できるようにした。また、複数のデータロガーを同期させることで、チャンネル数を増やせるようにした。さらに、データロガーのケース内に樹脂を充填することで、耐久性や防水、防塵性を向上することができた。結果、モータサイクルの車体開発に最適なデータロガーが開発された。

Abstract

The data loggers that are used on motorcycles are intended to measure the running data during races and when driving on closed courses^[1]. These data loggers are small in size, lightweight, and optimized for mounting on motorcycles so that they do not affect the vehicle dynamics. Consequently, almost all of these data loggers are not equipped with the amplifiers and filters necessary for taking measurements from strain sensors. Most of the data loggers that have amplifiers and filters built into them are large in size and cannot be used on a motorcycle while it is being driven because of their poor durability, poor water resistance, and poor dust resistance. However, it is necessary to carry out strain and acceleration measurements when developing a new motorcycle body so that the body strength and motion characteristics can be understood^{[2][3]}. Furthermore, the ability to increase the number of measurement channels and acquire position information is also being demanded to improve the efficiency of development and deepen our understanding of the phenomena that occur during driving.

Consequently, a new data logger was developed for use during the development of new motorcycle bodies. In the data logger that was developed, both amplifiers and filters are built in and it is able to measure the information coming from each of the various sensors. The number of channels was also increased by synchronizing multiple data loggers. In addition, the durability, water resistance, and dust resistance of the data logger were all improved by injecting resin inside the data logger case. As a result, the most suitable data logger for use during the development of new motorcycle bodies was developed.

1 INTRODUCTION

Running tests are carried out when a new motorcycle is being developed to evaluate the strength and perfor-

mance of the motorcycle's body. The measurement data that is collected is mostly analog signals (acceleration, strain, and voltage, etc.) and digital signals (engine

speed and tire speed, etc.). In many cases, GPS data is also collected at the same time as these measurements in order to obtain position data. This is done for the purpose of reproducing the tests and understanding the test conditions.

When these running tests are carried out in the rain or on rough roads (Figure 1), there are cases where vibrations and water infiltration cause the components on the substrate to peel off and the data loggers to malfunction (Figure 2). If the data loggers malfunction, it becomes necessary to suspend or postpone the running tests. This is why it is so desirable to limit these malfunctions as much as possible and have data loggers that can be used for long periods of time. In comparison to an automobile, there are not many places where equipment can be mounted on a motorcycle, so it is also desirable for the data loggers to be small in size.

There is great demand to make the motorcycle body development process even more efficient and the number of different measurement items is also growing more and more diverse. This means that, depending on the running test that is being carried out, it is also desirable to expand the number of measurement channels so that multiple items can be evaluated at the same time.

In recent years it has become necessary to output the physical values that are calculated from the various sensor values. These sensor values include the internal information from a controller, such as the engine control unit (ECU), and also the values from GPS sensors that use inertial sensors to correct the position data. In this case it is also desirable to measure the CAN communication information^[4].

Consequently, a data logger for use on motorcycles was developed at our company in order to satisfy these various demands.

2 REQUIRED ITEMS

The following were determined to be the required items for a motorcycle-mounted data logger that would make it possible to efficiently collect data during the development of a new motorcycle body.



Figure 1: Rough Road Running Test

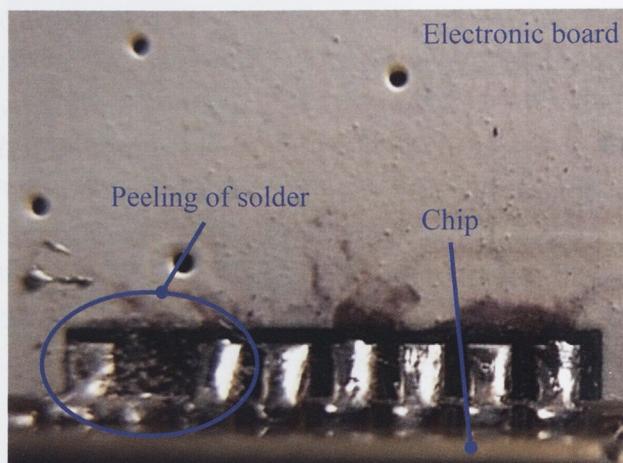
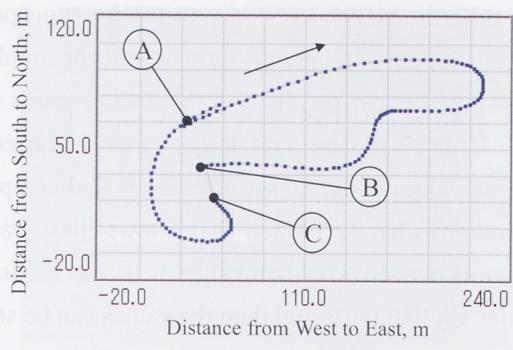


Figure 2: Component Damage Caused by Vibrations

2-1. GPS position data acquisition function

GPS data to acquire position data are measured in order to reproduce the tests and to understand the test conditions. Figure 3 and 4 show example GPS data which were measured at different mount position of the GPS antenna. In the Figure 3 the GPS antenna was installed in the front cowl. In the Figure 4, the GPS antenna was installed on the front fender. In the Figure 3 and 4, A, B and C show the measuring points. The GPS status data in the Figure 3 were 0 between B and C. When the GPS status data were 0, the GPS data weren't acquired. On the other hand, the all GPS status data in the Figure 4 were 1. When the GPS status data were 1, the GPS data were acquired. In this way, GPS data cannot be acquired due to mount position of antennas. Therefore it is necessary to keep flexibility at the mount position of antennas in order to receive GPS data.



(a) GPS Locus Data

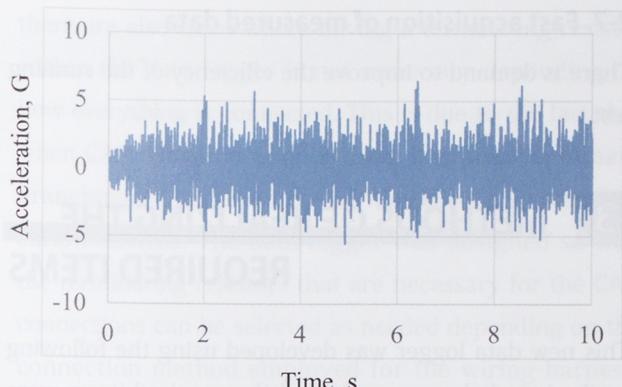
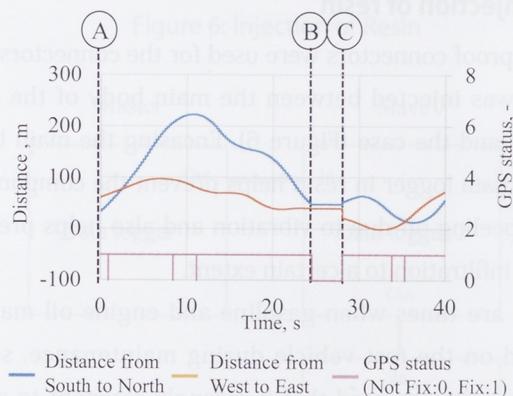
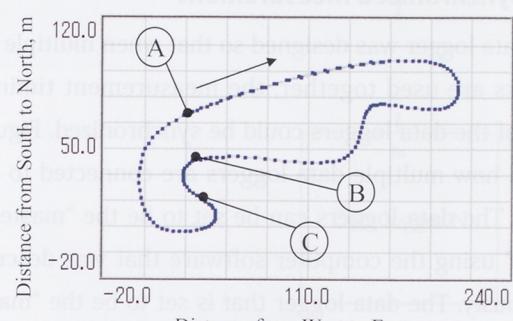


Figure 5: Acceleration under Seat

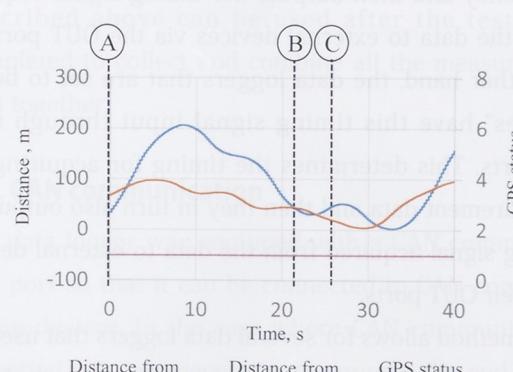


(b) Time History Data

Figure 3: GPS Data (GPS Antenna in the Front Cowl)



(a) GPS Locus Data



(b) Time History Data

Figure 4: GPS Data (GPS Antenna on the Front Fender)

2-2. Strain and acceleration measurement function

Strain and acceleration data is measured in order to understand the body strength and motion characteristics. Some amplifiers and signal filters for strain and acceleration measurements should be equipped.

2-3. Small in size and lightweight

It is desirable for the data logger to be small in size because there are not many places where equipment can be mounted on a motorcycle. In addition, it is desirable to be lightweight because it does not affect the vehicle dynamics.

2-4. Improved dust resistance, water resistance, and vibration resistance

It is desirable for the data logger to have water resistance and dust resistance because the running tests are also carried out in a rainy day. Figure 5 shows example acceleration under seat in the rough road running test. It is desirable for the data logger to have vibration resistance to limit malfunction in the rough road running test.

2-5. Expanded number of measurement channels

It is desirable for the data logger to have a lot of measurement channels because there is great demand to make the running test even more efficient.

2-6. CAN communication function

It is desirable for the data logger to measure the body motion and internal information of ECU simultaneously, for the analysis of ECU operations.

2-7. Fast acquisition of measured data

There is demand to improve the efficiency of the running test.

3 METHODS OF REALIZING THE REQUIRED ITEMS

This new data logger was developed using the following methods to help ensure that all the required items were realized.

3-1. Connection to GPS receivers

The data logger was designed to be able to connect to a RS-232C-compliant, commercially-available GPS receiver via its serial port. The data logger and GPS receiver are separate components that can be connected through a wiring harness so that it is possible to mount the GPS receiver in a different location than where the data logger is mounted. This in turn improved the freedom to determine where to mount the GPS antenna and so the antenna could be mounted in a location with good reception sensitivity.

The format of the information output by GPS receivers is often the same, but it can be different depending on the model of receiver. This means that the digits of the output values and communication speed are different. Therefore, the data logger was designed to be able to automatically detect these differences internally and measure them depending on the model of GPS receiver that it is connected to. As a result, the number of possible GPS receivers that this data logger can be connected to was increased.

3-2. Integration of the amplifier and low-pass filter

An amplifier and low-pass filter are both equipped on the main body of the data logger. This enables the data logger to be connected directly to strain sensors and acceleration sensors and to take measurements from them. An integrated design such as this also means that fewer wiring harnesses can be used to connect the data logger and sensors in comparison to data loggers that have separate amplifiers and filters.

On the other hand, it is necessary to set the appropriate values for the gain and cutoff frequency of the amplifier and low-pass filter depending on the measurement conditions. Therefore, the data logger was designed so that these values could be set afterwards and computer software was also developed that allows these values to be set as needed. The data logger is connected to the computer via USB ports and then the values can be set.

3-3. Injection of resin

Waterproof connectors were used for the connectors and resin was injected between the main body of the data logger and the case (Figure 6). Encasing the main body of the data logger in resin helps prevent the components from peeling off due to vibration and also helps prevent water infiltration to a certain extent.

There are times when gasoline and engine oil may be spilled on the test vehicle during maintenance, so an epoxy resin was used that is strongly resistant to gasoline and various types of oil.

3-4. Synchronized measurement

The data logger was designed so that when multiple data loggers are used together, the measurement timing of each of the data loggers could be synchronized. Figure 7 shows how multiple data loggers are connected to each other. The data loggers can be set to be the "master" or "slave" using the computer software that was described previously. The data logger that is set to be the "master" acquires the measurement data at the set sampling frequency and then outputs the timing signal acquired from the data to external devices via the OUT port. On the other hand, the data loggers that are set to be the "slaves" have this timing signal input through their IN ports. This determines the timing for acquiring the measurement data and then they in turn also output the timing signal acquired from the data to external devices via their OUT ports.

This method allows for several data loggers that used the measurement data to be connected. This means that in the case where you wish to combine all the measurement data into a single data set, a computer and the software

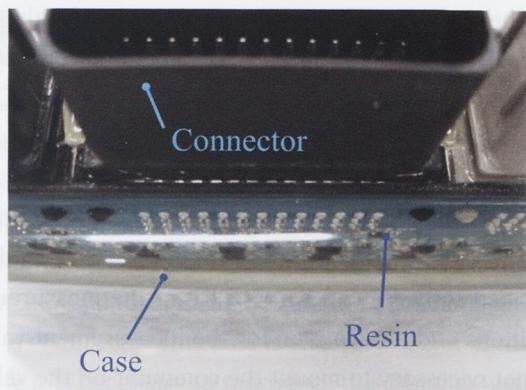


Figure 6: Injection of Resin

Master Slave

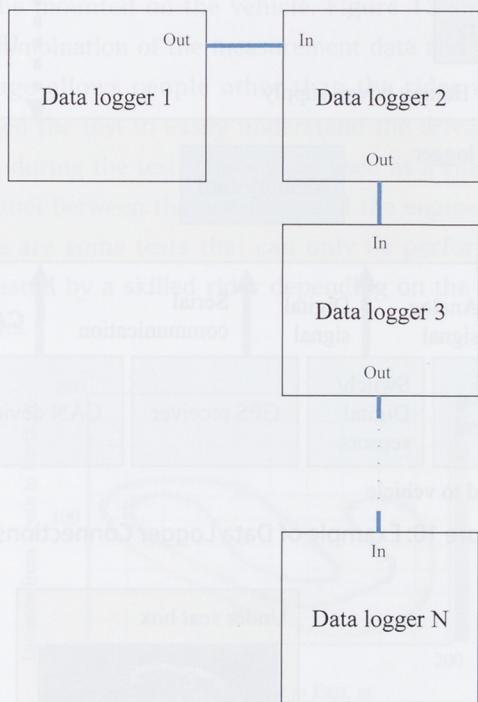


Figure 7: Synchronization of Data Loggers

described above can be used after the testing is completed to collect and combine all the measurement data together.

3-5. CAN communication

The data logger was equipped with a CAN communication port so that it can be connected to CAN communication devices. In the case where CAN communication is carried out, it is necessary to connect the end of the communication cable to a terminating resistor (120Ω) in order to prevent reflection of the signal. However,

there are also cases where having a terminating resistor within the data logger is not necessary depending on how everything is connected. This is due to the fact that when CAN communication is used, it is possible to have branching and connections to multiple CAN communication devices. The data logger was designed so that the terminating resistors that are necessary for the CAN connections can be selected as needed depending on the connection method employed for the wiring harness. Figure 8 shows a portion of a circuit diagram for a CAN signal. The line marked "CAN1-L" is the LOW line for CAN communication and the line marked "CAN1-H" is the HIGH line. In this case, if "CAN1-T" is connected to "CAN1-L", a terminating resistor can be inserted.

3-6. Reducing the time necessary to acquire measurement data

The data logger was also designed so that the measurement data can be acquired using a computer via USB communication. The storage format for the measurement data was set to be binary, so in comparison to the text format, the volume is smaller and it is easier to transfer. However, data that is in this binary format cannot be read by spreadsheet software, such as Excel, so additional software that can read this binary data and convert it into text format was prepared separately. Furthermore, the data logger was also designed so that the measurement data could be stored on memory cards and this makes it very easy to move the data around by simply inserting and removing these cards. In the case where the measurement data is being checked and the test is being repeated continuously, the ability to reduce the amount of time needed to acquire the measurement data should lead to more efficient testing.

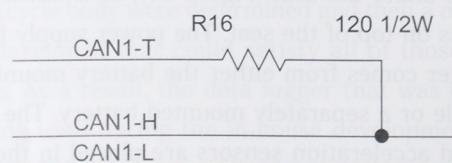


Figure 8: Terminal Connection of CAN Communication

4 SPECIFICATIONS OF DATA LOGGER

Figure 9 shows the external appearance of the data logger that was developed. The following lists the specifications of this data logger.

- Size: 97×33×178 mm (not including connectors)
- Mass: 700 g
- Sampling frequency: 1- 20 kHz
- Analog input: 12 channels
- Digital input: 6 channels (including switch input)
- Serial communication: 2 channels
- CAN communication: 2 channels
- Low-pass cutoff frequency: 10-10kHz
- Power supply: DC 7-18V, max 1.5A
- Water-resistance: JIS D 0203 R2 (not including USB connector and memory card slot)
- Vibration-resistance: confirmed by running test in house



Figure 9: External Appearance of Data Logger

5 EXAMPLES OF DATA LOGGER USAGE

Figure 10 shows an example of how the data logger is connected during a running test. During these tests the data logger is either placed in the carrier box, the storage space under the seat (Figure 11), or is anchored in place as is on top of the seat. The power supply for the data logger comes from either the battery mounted on the vehicle or a separately mounted battery. The strain gages and acceleration sensors are placed in the locations where measurements are desired. The GPS receiver is placed in a location with good reception sensitivity, where neither the rider nor the vehicle itself will interfere

with the reception. The operational switches for the data logger are placed under the handle bars or some other location where the rider can operate them easily. These operational switches allow the rider to begin and end the measurements, adjust the balance of the strain gages, and perform marking while riding the vehicle. A computer can be connected to the data logger via USB and the dedicated software can be used to set the measurement conditions and also to monitor the measurement values. It is not necessary to mount the computer on the vehicle when taking these measurements.

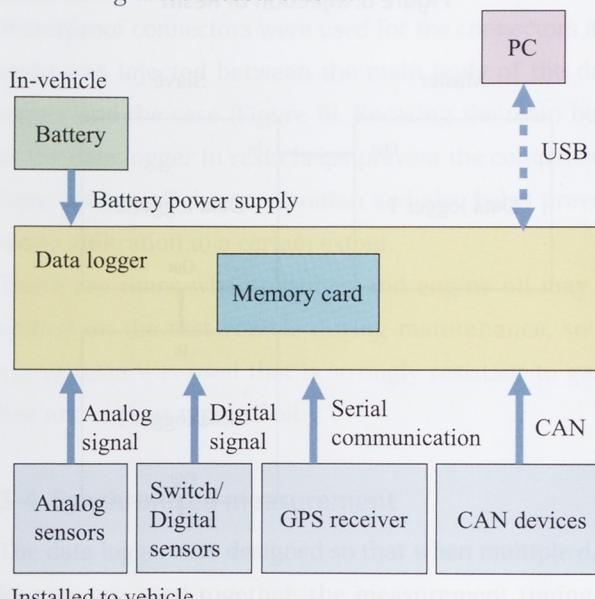


Figure 10: Example of Data Logger Connections

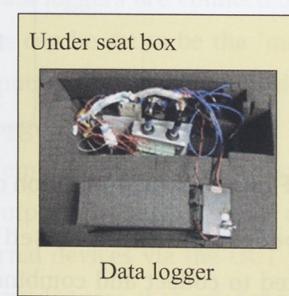


Figure 11: Example of Data Logger Mounting

6 EXAMPLES OF MEASUREMENT DATA

Figure 12 shows an example of the GPS data that was measured. The GPS data acquired during the running test includes the GPS trajectory and also a color-coded record of the vehicle's velocity. This measurement data clearly shows where the vehicle was running and at what speed. It can be used to confirm the running conditions after the test is completed. This data is also very useful in the case where it is necessary to reproduce this running test. In recent years it has also become much easier to record video at the same time as the measurements are being taken thanks to the development of video cameras that can be mounted on the vehicle. Figure 13 shows how the combination of the measurement data and the video footage allows people other than the rider who performed the test to easily understand the driving conditions during the test. This can be used as a communication tool between the test rider and the engineers since there are some tests that can only be performed and evaluated by a skilled rider depending on the test conditions.

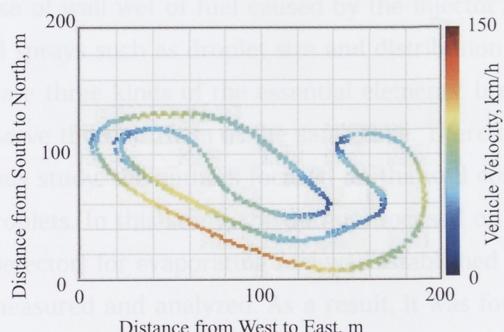


Figure 12: GPS Data



Figure 13: Driving Video and Measurement Data

7 FUTURE CHALLENGES

The new data logger that was developed has been used for the in-house development of new motorcycle bodies. The performance of the tests themselves and the data analysis that is carried out after the measurement data is acquired have all become more efficient as a result of using a common data logger for these running tests within the company.

On the other hand, there have also been cases where it was difficult to use this new data logger during the development of smaller model motorcycles and competition models due to the size and weight of the data logger. For example, there were cases where sufficient space to mount the data logger on the vehicle could not be ensured and other cases where the presence of the data logger had an effect on the movement of the vehicle. Consequently, there are demands to further reduce the size and weight, as well as to improve the mounting capability of the data logger.

There are also some portions of the data logger that have poor vibration resistance and water resistance due to the USB connector and ability to insert and remove memory cards. Improvements that will address these issues are also required.

Not only is there a need to improve the performance of the data logger's hardware, there is also a need to make the software that is used to adjust the settings easier to use. In addition, there is a strong desire to develop new software tools that will make the testing work even more efficient, such as analysis tools and tools that will automatically generate test and data reports.

8 CONCLUSION

A GPS data logger for use on motorcycles was developed. The required items that would make it possible to efficiently collect data during the development of a new motorcycle body were determined and then a data logger was developed that could satisfy all of those requirements. As a result, the data logger that was developed is being used during the in-house development of new motorcycle bodies.

In the future, a new version of this data logger will be developed that is even smaller in size, lighter in weight, and is easier to mount on a wide variety of different

models of motorcycles. In addition, the performance of the data logger's hardware will be improved and the software that is used to adjust the settings will be made easier to use. New software tools will also be developed, such as analysis tools and tools that will automatically generate test and data reports.

REFERENCES

- [1] Nakayama, Y. (2010). Data Measurements during the All-Japan Motocross Races. Motor Ring No. 30, Society of Automotive Engineers of Japan
- [2] Fujii, S. (2012). Measuring the Handling and Stability of Two-wheeled Vehicles. Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, 115, p.333
- [3] Fukazawa, K., Kageyama, I., Kuriyagawa, Y., Umino, N., Yamada, K., Watanabe, A., Ishii, H., Sato, S., Tezuka, Y., Watanabe, H., Uda, M., Matsunami, T., Tomiuga, T., Hirasawa, J. Study on evaluation method for two-wheeled vehicle handling. Proceedings of the 2013 JSAE Spring Convention, No. 16-13, p.31-34
- [4] Fukuro, H. (2008). A Trend about a Measurement Technology for In-Car Embedded Control System by using a CAN-bus Communication. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, Vol. 70, No. 6, p.20-25

TO: 2013 JSAE Spring Convention

■著者



松尾 匡史
Masashi Matsuo



森岡 剛
Takeshi Morioka
技術本部
研究開発統括部
基盤技術研究部



渡辺 仁
Hitoshi Watanabe
技術本部
研究開発統括部
実験企画部

Analysis of Mixture Formation Process in a PFI Motorcycle Engine

Yasuo Moriyoshi Tatsuya Kuboyama Hisashi Goto Minoru Iida

当論文は、千葉大学との共同研究成果について報じたものであり、大阪にて行われたSETC2015(Small Engine Technology Conference)で、SAE 2015-32-0767 / JSAE 20159767として発表され、Best Paper Awardを得たものです。

Reprinted with permission Copyright © 2015 SAE Japan and Copyright © 2015 SAE International
(Further use or distribution is not permitted without permission from SAE.)

要旨

吸気管内燃料噴射システムを備える二輪車では、レイアウトの制約などによっては噴射した燃料の一部が管内壁面に付着し、レスポンスの低下等の問題を生じる場合がある。このため燃料液滴径や空間濃度分布といった噴霧の特性を理解することが重要となる。ポート内の噴霧形成を考慮する際、燃料液滴の分裂、蒸発、壁面衝突という3つの事象が不可欠となる。しかしそれらを同時に観測することは難しいため、著者らは個々の事象に分けて研究を行なってきた。これまでには液滴の分裂と壁面衝突について着目した計測を行っており、今回は液滴の蒸発に着目した。FID(Flame Ionization Detector)を用いた蒸発燃料の直接サンプル法を確立し、簡易ポート内の空間濃度分布を計測、解析した。結果、ポート内の空気流速が速くなるほど液滴がせん断力で分裂、微粒化することにより蒸発量が増加し、また流動の仕方や燃料の蒸留特性によっても容易に燃料蒸発が影響を受けることが分かった。

Abstract

PFI (Port Fuel Injection) gasoline engines for motorcycles have some problems such as slow transient response because of wall wet of fuel caused by the injector's layout. Hence, it is important to understand the characteristics of fuel sprays such as droplet size and distribution of fuel concentration. Considering the spray formation in a port, there are three kinds of the essential elements: breakup, evaporation and wall impingement. However, it is difficult to observe three of them at the same time. Therefore, the authors have made research step by step. In the authors' previous study, the authors focused on the wall collision, droplet sizes, droplet speeds and the space distribution of the droplets. In this study, the authors focused on evaporation. A direct sampling method using FID (Flame Ionization Detector) for evaporating fuel was established and the concentration distribution of evaporating fuel in the port was measured and analyzed. As a result, it was found that higher velocity in the port increases fuel concentration with enhanced atomization and that evaporating fuel is easier to be affected by the flow and fuel distillation characteristics.

1 INTRODUCTION

The fuel supply system of a gasoline engine for motorcycles is almost the port fuel injection system to meet the stringent regulation of exhaust gas emissions. This system is basically the same as of a passenger car, but due to the space restriction, the injected fuel does not necessary impinge on the intake valve as the injector is located at an upstream position. This difference may cause worse characteristics such as slow vaporization, slow time response and also fuel attachment on the

intake pipe wall while it does good characteristics such as high degree of freedom in injector installation. The worse characteristics may be recovered by optimizing the injector settings. For this process, numerical simulations are useful, but the accuracy is not well evaluated and also detailed experimental study has been scarcely made^[1, 2].

In the authors' previous study^[3], the spray characteristics injected upstream the intake valves were investigated by using a transparent duct to allow optical access. An improved ILIDS (Interferometric Laser

Imaging for Droplet Sizing) method^[4] that can measure the velocity and diameter of spherical droplets on a plane, PDA (Phase Doppler Analysis) method that can measure the velocity and diameter of a spherical droplet in a small measurement volume and also laser tomography on a plane were applied. Experiments with changing conditions such as flow speed and injection direction were carried out using these techniques. As a result, the effects of injection direction, ambient flow speed and wall roughness on the fuel-air mixture formation process were examined, considering the three conditions of cold start, light to medium load operation and high load operation.

In this study, the effect of evaporation is carefully examined. A technique to measure only the evaporated fuel (in gas phase) concentration was proposed. As the experimental parameters, fuel, flow velocity, gas temperature and measurement locations were changed. The variations of evaporated fuel concentration were examined and also used for the evaluation of spray model in a commercial code.

2 EXPERIMENTAL APPARATUS

2-1. MEASUREMENT DEVICES

Figure 1 shows the schematic of experimental apparatus. An acrylic passage with a square cross-section of 20 x 20 mm was used. To make a cross-flow to spray inside the passage, an electric blower was installed with a laminar flow meter. The exit of the passage was connected to a vacuum pump to adjust the pressure in the passage. A port fuel injector with four holes, spray angle of 5 degrees and volume flow rate of 145 cc/min was employed using n-heptane or i-pentane as a fuel and injection pressure was set at 0.3 MPa as a standard condition. The injection direction was set at 30 degrees to the flow axis as shown in Fig. 1. Heaters were installed in the upstream to control the inlet gas temperature.

Figure 2 shows a gas sampling device of designed for only evaporated gaseous mixture. At the tip, a flange is attached to make a flow separation, removing liquid film

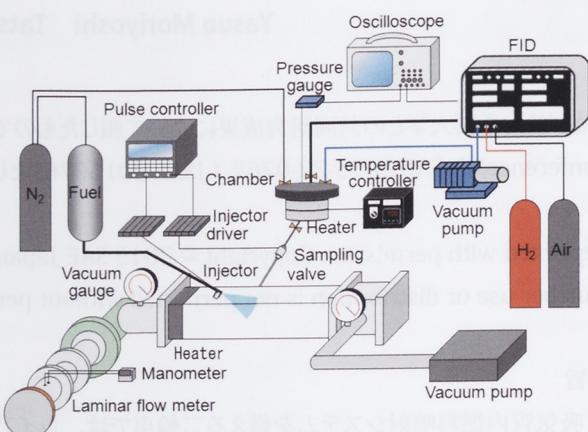


Fig.1 Experimental setup

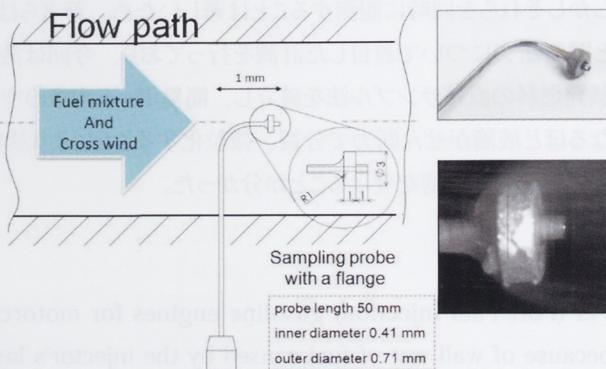


Fig.2 Gas sampling probe

or droplets into the probe. By taking high-speed video, it was confirmed that no liquid film or droplet was sucked into the probe. The inner diameter of probe is 0.41 mm. To avoid the condensation of fuel inside the probe, the probe was heated with rubber heaters.

The amount of sampled gas was controlled using a DI (Direct Injection) injector as shown in Fig. 3. The sampled gas was stored in a chamber of 1.93L. An electric fan was attached to the chamber to make homogeneous gas

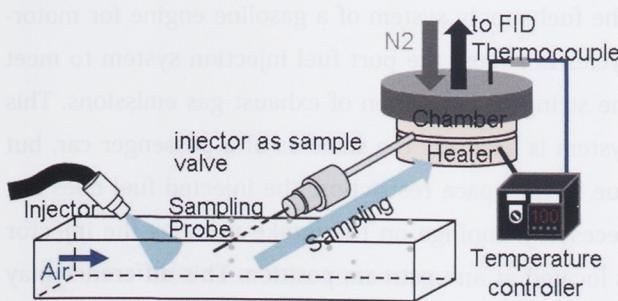


Fig.3 Schematics of gas sampling system

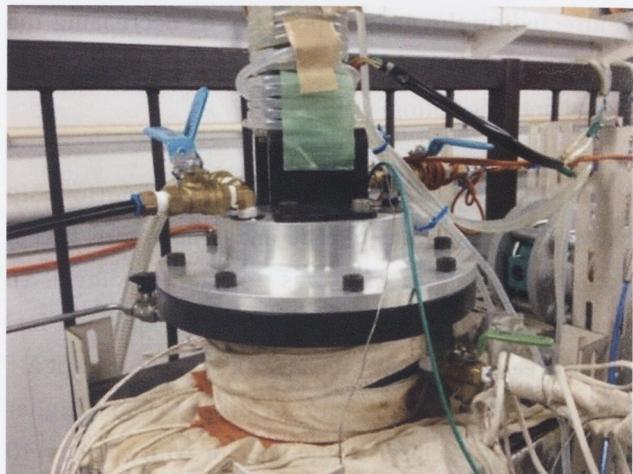


Fig.4 Picture of the sampled gas chamber

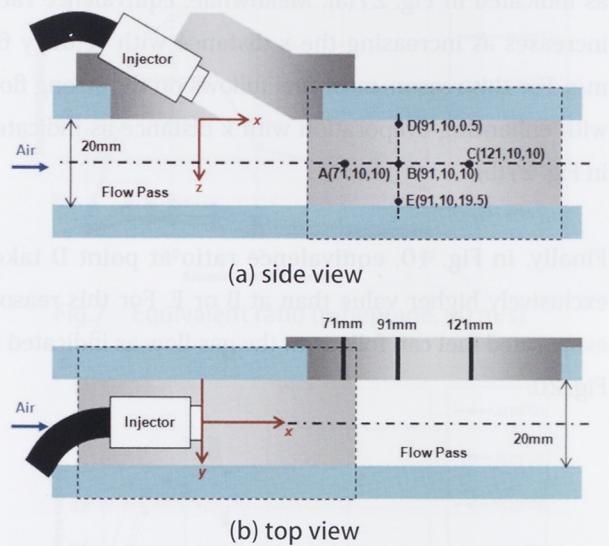


Fig.5 Measured points of gas sampling

inside. Also, the chamber was heated at over the boiling point of a fuel. Pressure sensor and thermocouples were installed to the chamber. The picture of the sampled gas chamber is indicated in Fig. 4.

Figure 5 shows the measured points of gas sampling. Points A~C are on the center-line of the passage while D, B, E are points on a vertical line.

2-2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

The evaporated mixture's concentration was measured by the following procedure; (1) evacuate the chamber, (2) start injections of fuel from PFI injector and gas sampling, (3) charge N₂ into the chamber to measure the mixture concentration using a FID.

Table 1: Experimental conditions

Fuel (Boiling temperature [C])	i-pentane (28) n-heptane (98)
Cross wind velocity [m/s]	40, 60
Temperature of flow path [C]	25, 60, 90
Fuel pressure [MPa]	0.3
Injector	4-holes for PFI
Injection/Sampling frequency [Hz]	2
Injection duration [ms]	15
Sampling duration [ms]	3.3
Sample start time (ASOI) [ms]	0, 5, 7.5, 10, 15, 20, 40

Table 1 indicates experimental conditions. Two kinds of fuel with different boiling points were used.

3 EXPERIMENTAL RESULTS

3-1. SPATIAL DISTRIBUTION

Figures 6~11 show the temporal changes of local equivalence ratio with varying flow velocity, gas temperature or fuel. Figures 6, 8, 9 and 11 indicate that a richer mixture was found at closer position to the injector. A direct photograph of spray with n-heptane, velocity 60 m/s and gas temperature of 25 C at 7.5 ms after start of injection (ASOI) is shown at Fig. 12(a). The picture indicates liquid fuel in white and the area of liquid expands and the intensity becomes weak in the downstream because the injected fuel diffuses in the passage. As a result, the richer mixture was found at closer positions to the injector.

Comparing Figs. 7 and 10, the local equivalence ratio takes the maximum at point E in Fig. 7 while at point D in Fig. 10. Figures 12(b) and 12(c) indicate the direct pictures using n-heptane and i-pentane, respectively with flow velocity of 40 m/s and gas temperature at 60 C at 7.5 ms after start of injection. Figures 7 and 13 are results of n-heptane where the ambient gas temperature is under the boiling point of the fuel 98 C. When the gas temperature is less than the boiling point of fuel, much liquid fuel remains in the passage that are difficult to be affected by the ambient flow. Figure 12(b) also indicates

that the injected fuel is not carried on by the flow, but impinges on the wall and flow along the lower wall. This causes fuel-enrichment near the lower wall.

Meanwhile, when i-pentane was used, most fuel is evaporated as its boiling point is 28 C. Figure 12(c) indicates less white area compared to Fig. 12(b) due to evaporation. As a result, much evaporated fuel are easy to follow the flow near the upper wall and the equivalence ratio at point D increased. This result means that an evaporated fuel concentration strongly depends on the evaporation characteristics of fuel.

3-2. EFFECT OF FLOW VELOCITY

Figures 13~15 show the effect of gas velocity. The larger the gas velocity is, the larger the local equivalence ratio is. Figure 16 indicates that most of injected fuel does not follow on the flow but impinges onto the bottom wall while Fig. 17 does that fuel spray follows on the flow and that more homogeneity of mixture was achieved. The reasons were found why the equivalence ratio increases with larger gas velocity; fuel atomization effect and fuel evaporation on the fuel path where fuel is carried on.

Here, let us consider the effect of fuel atomization. When fuel is injected into a field with high flow velocity, atomization of fuel is enhanced. The generated small droplets are easy to evaporate. When the fuel keeps liquid phase long, the path of gas and that of liquid fuel are different. Thereby, fuel enrichment near the bottom wall was found. However, when evaporation is enhanced, the paths of gas and fuel are similar to each other. As a result, more homogeneous mixture can be prepared.

3-3. EFFECT OF GAS TEMPERATURE

Figures 18, 19 and 21 show experimental results. Higher gas temperature causes higher equivalence ratio. The direct pictures with different gas temperatures of 25, 60, 90 C with n-heptane, with velocity 40 m/s at 7.5 ms ASOI are shown in Figs. 22, 23 and 24, respectively. Comparing these pictures, higher temperature causes less white area due to enhanced evaporation. The spray angle

is affected by the gas temperature as decreasing the liquid fuel component brings about the less impingement of fuel onto the bottom wall.

Meanwhile, Fig. 21 indicates that the relationship between local equivalence ratio and temperature. Except point A, the relationship was not clearly shown. To examine this, observing Figs. 25 and 26, no liquid fuel (white area) was found at the measured points except A. Moreover, equivalence ratio at point C takes higher value than at B, closer to the injector with velocity 40 m/s. For this reason, most of fuel impinges and bounds as indicated in Fig. 27(a). Meanwhile, equivalence ratio increases as increasing the x distance with velocity 60 m/s. For this reason, most fuel follows on the strong flow with enhancing evaporation with x distance as indicated in Fig. 27(b).

Finally, in Fig. 10, equivalence ratio at point D takes exclusively higher value than at B or E. For this reason, evaporated fuel can follow on the gas flow as indicated in Fig. 20.

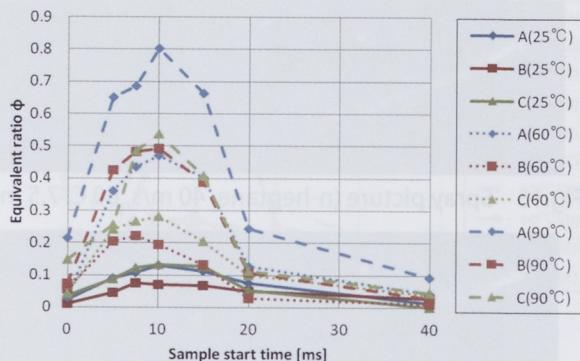


Fig.6 Equivalent ratio (n-heptane, 40 m/s)

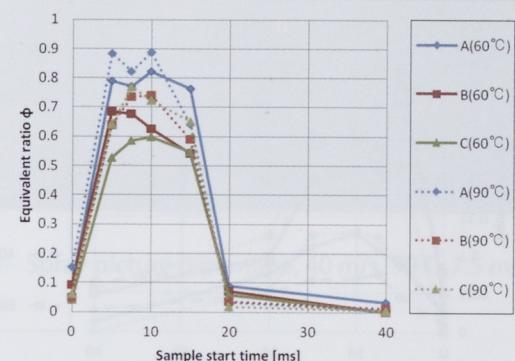


Fig.9 Equivalent ratio (i-pentane, 40 m/s)

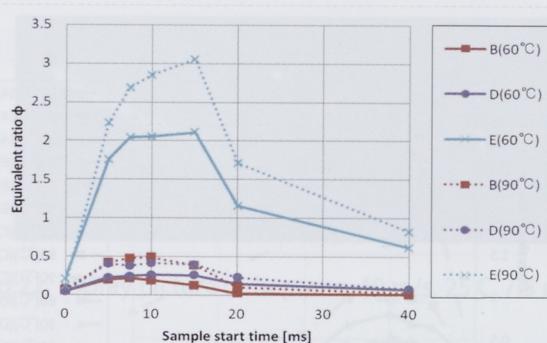


Fig.7 Equivalent ratio (n-heptane, 40 m/s)

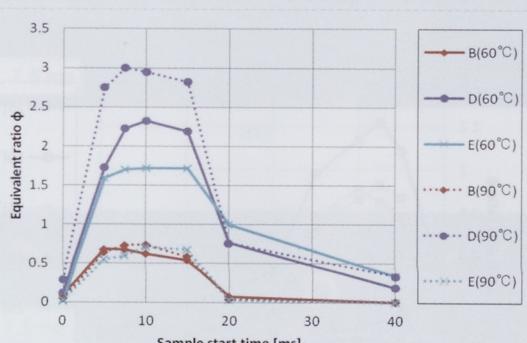


Fig.10 Equivalent ratio (i-pentane, 40 m/s)

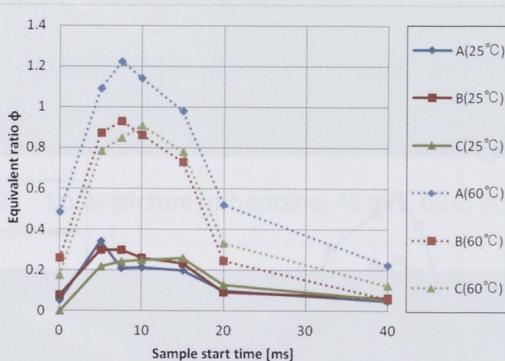


Fig.8 Equivalent ratio (n-heptane, 60 m/s)

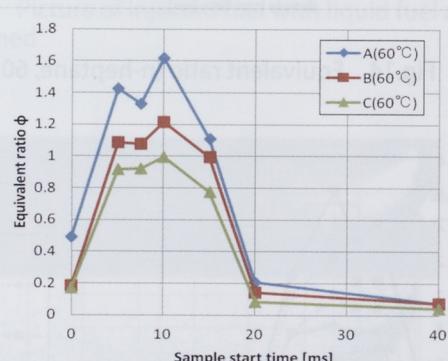


Fig.11 Equivalent ratio (i-pentane, 60 m/s)



(a): n-heptane, 60 m/s, 25 C, 7.5 ms



(b): n-heptane, 40 m/s, 60 C, 7.5 ms



(c): i-pentane, 40 m/s, 60 C, 7.5 ms

Fig.12 Pictures of spray

than the injected fuel to not carried on by the air.

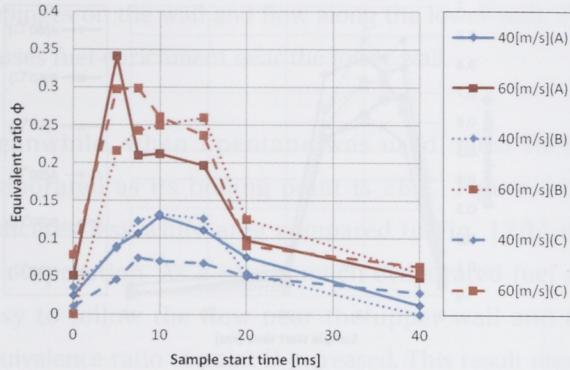


Fig.13 Equivalent ratio (n-heptane, 25 C)



Fig.16 Spray picture (n-heptane, 40 m/s, 60 C, 7.5 ms)



Fig.17 Spray picture (n-heptane, 60 m/s, 60 C, 7.5 ms)

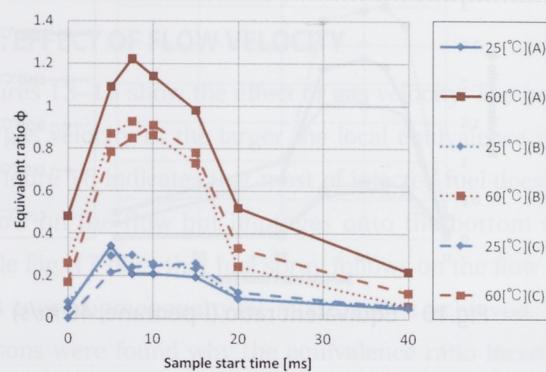


Fig.14 Equivalent ratio (n-heptane, 60 C)

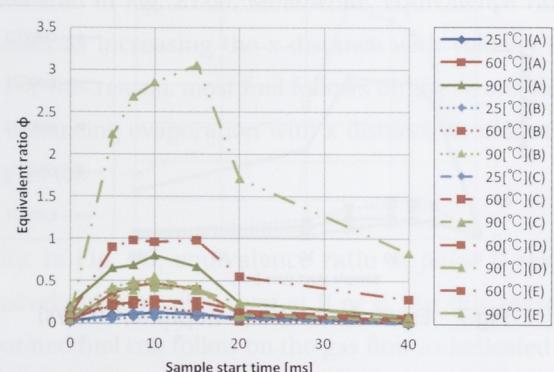


Fig.18 Equivalent ratio (n-heptane, 40 m/s)

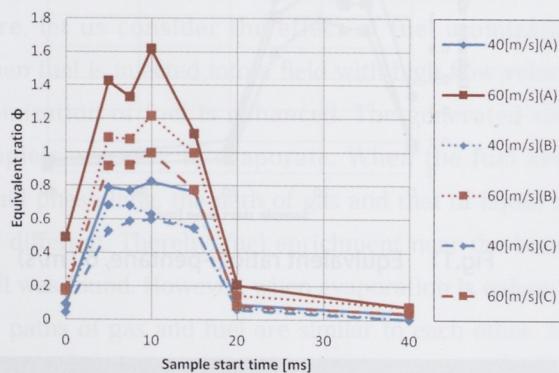


Fig.15 Equivalent ratio (i-pentane, 60 C)

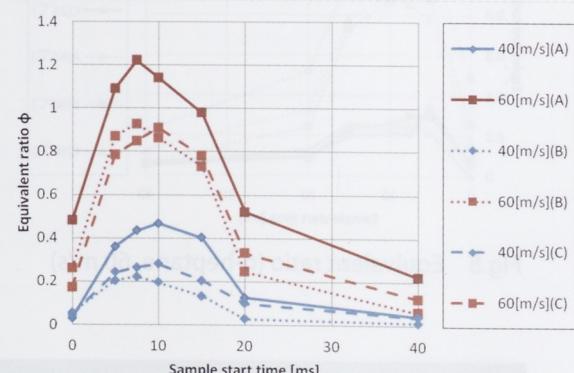


Fig.19 Equivalent ratio (n-heptane, 60 m/s)

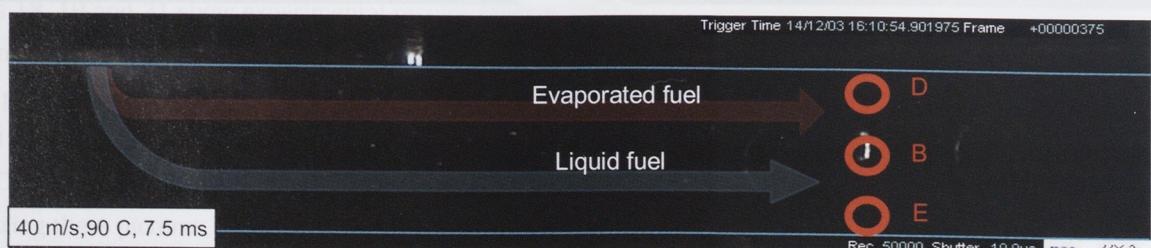


Fig.20 Passages of evaporated fuel and liquid fuel

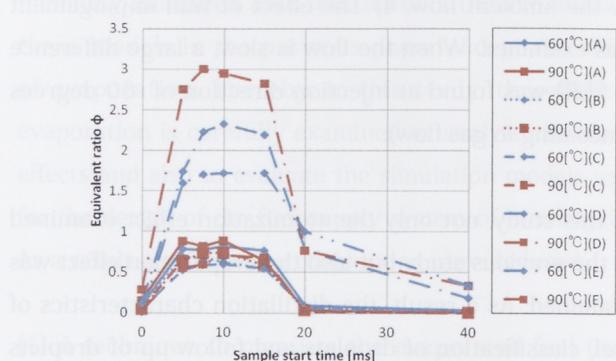


Fig.21 Equivalent ratio (i-pentane, 40 m/s)



Fig.22 Spray picture (n-heptane, 40 m/s, 25 C, 7.5 ms)



Fig.23 Spray picture (n-heptane, 40 m/s, 60 C, 7.5 ms)



Fig.24 Spray picture (n-heptane, 40 m/s, 90 C, 7.5 ms)



Fig.25 Spray picture (n-heptane, 40 m/s, 90 C, 7.5 ms)



Fig.26 Spray picture (i-pentane, 40 m/s, 90 C, 7.5 ms)

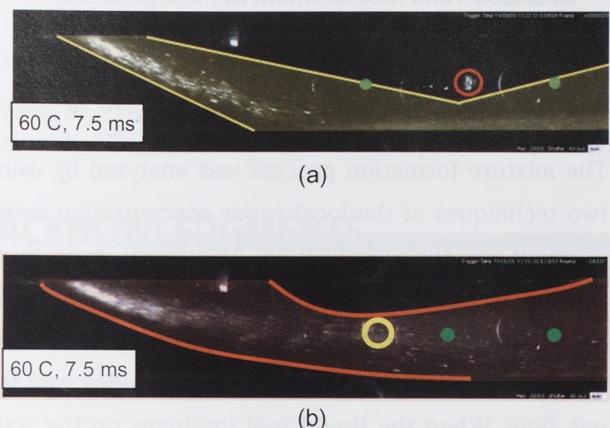


Fig.27 Picture of injected fuel with liquid fuel area presumed

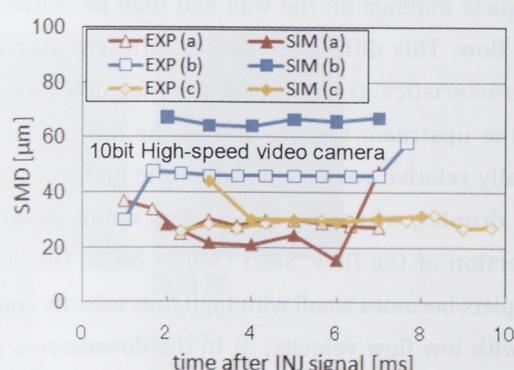
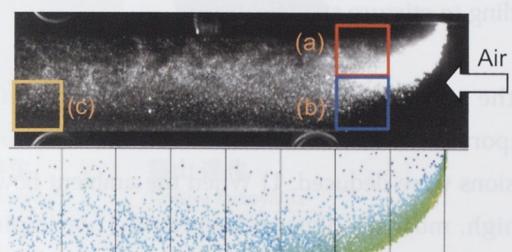


Fig.28 Comparison of SMD between calculation and measurement at three areas

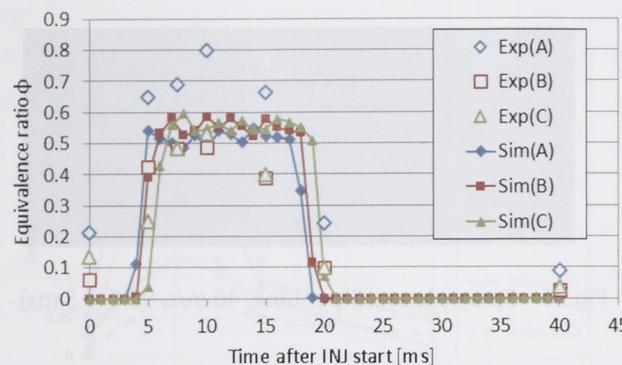


Fig.29 Comparison of equivalence ratio between calculation and measurement at three positions (n-heptane, 40 m/s, 90 C)

3-4. DISCUSSION

The mixture formation process was analyzed by using two techniques of the local vapor concentration measurement and the visualization. As a result, main three factors were found: the boiling point of fuel, the wall impingement of fuel and the cross-flow. As the evaporation is enhanced, the fuel easily follows on the gas flow. When the liquid fuel impinges on the wall, some scatters in droplets and some flows along the wall, leading to local rich mixture. The cross-flow may curve the spray and cause classification of size of droplets, leading to mixture stratification.

In the authors' previous study ^[2] where the effect of evaporation was not accounted for, the following conclusions were deduced; 1) When the ambient flow speed is high, most droplets of a spray do not impinge on the wall, but when the flow speed is low, some or most droplets impinge on the wall and then be convected by the flow. This difference causes different atomization characteristics at the intake port far downstream, 2) In the upstream region, due to the difference of the locally relative velocity between the ambient flow and the droplet, when the injection is made to the same direction of the flow, SMD (Sauter Mean Diameter) of droplets becomes small with high flow velocity compared to with low flow velocity, 3) In the downstream region, the droplet size shows smaller value when the flow velocity is low. This is probably due to that the effect of wall impingement is more dominant than of breakup

by the ambient flow, 4) The effect of wall impingement was examined. When the flow is slow, a large difference in SMD was found at injection direction of -60 degrees (oncoming to gas flow).

In this study, not only the atomization effect examined in the previous study but also the evaporation effect was examined. As a result, the distillation characteristics of fuel, classification of droplets and follow-up of droplets to gas flow were found to enhance making homogeneous mixture.

4 EVALUATION OF SPRAY MODEL

4-1. MODELING OF SPRAY

Numerical simulations were carried out using RICARDO VECTIS code ^[5]. Figure 28 shows the comparison of SMD of droplets between calculation and measurement. The injection angle is 90 degrees to the flow using n-heptane and the wind velocity is 72 m/s in room temperature and pressure. In both areas (a) and (c), a good agreement was found. In area (b), calculated result indicated larger value due to the wall impinging model that is formulated on the basis of empirical study and mass, momentum and energy conservation constraints ^[6]. In this calculation, employing the revised drag force model of droplets that accounts for the vertical and horizontal distortion of droplet ^[7] caused better predictions.

In Fig. 29, the comparison of local equivalence ratio is shown. The calculation results indicate good agreements to each other at different positions except at point A. The employed simulation models in VECTIS were found fine to use as a design and analysis tool.

5 CONCLUSIONS

In order to prepare a controlled fuel-air mixture for motorcycle gasoline engines, the numerical simulation is widely used for its design. As the mixture formation process is complicated, spray models such as breakup, drag force, evaporation and wall impingement are quite important to make accurate predictions. However, these models have not been evaluated with exper-

imentally measured data. The authors tried to evaluate these models in the previous paper except the effect of evaporation. Thereby, in this study, the effect of evaporation is carefully examined to analyze the above effects and also to evaluate the simulation models used for the design of the fuel supply system of motorcycles. As a result, the following conclusions were deduced.

- (1) A technique to measure the evaporated fuel (only gas phase) concentration was originally proposed. The accuracy of this method was confirmed by using different fuels with different boiling point.
- (2) A fuel spray is diffused along its passage getting to a homogeneous mixture. The effects of fuel distillation characteristics, injection angle and wall impingement must be accounted for to make quantitative predictions.
- (3) The larger the gas velocity is, the larger the evaporated fuel concentration becomes. Also, the enhancement in atomization and evaporation will enable the mixture control by controlling the gas motion. Meanwhile, the higher the gas temperature is, the higher the evaporated fuel concentration takes.
- (4) Evaluation of spray models employed in a simulation code was carried out. As a result, the predictability of a commercial code was found good and appropriate for a design and analysis tool.

REFERENCES

- [1] C. Arcoumanis, D.S. Whitelaw, J.H. Whitelaw, "Gasoline Injection Against Surfaces and Films", Atomization and Sprays, Vol.7 (1977) 437.
- [2] M. Yumoto, K. Goto, S. Kato, M. Iida, "Influence of Injection and Flame Propagation on Combustion in Motorcycle Engine -Investigation by Visualization Technique", SAE Paper No. 2011-32-0566 (2011)
- [3] Y. Moriyoshi, M. Iida, "Analysis of Port Injected Fuel Spray Under Cross Wind Using 2-D Measurement Techniques", SAE Paper No. 2010-32-0064 (2010)

[4] K. Kawaguchi, K. Maeda, X. Hu, Y. Moriyoshi, "Application of Improved Interferometric Laser Imaging Droplet Sizing (ILIDS) System to Hollow-Cone Spray", (2001) Proc. of COMODIA, 646.

[5] <http://www.ricardo.com/en-GB/Whatwedo/Software/Products/VECTIS/>

[6] C. Bai, A.D. Gosman, "Development of Methodology for Spray Impingement Simulation", SAE Paper No. 950283 (1995)

[7] M. Takagi, Y. Moriyoshi, "Modelling of a Hollow-Cone Spray at Different Ambient Pressures", International Journal of Engine Research, vol.5, no.1 pp.39-52. (2004)

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Mr. Takuya Sato, Mr. Hikaru Hirayanagi, and Mr. Yuta Uchiyama, Chiba Univ. for their experimental work.

■著者



森吉 泰生

Yasuo Moriyoshi

千葉大学大学院

工学研究科

人工システム科学専攻 教授



窪山 達也

Tatsuya Kuboyama

千葉大学大学院

工学研究科

人工システム科学専攻 准教授



後藤 久司

Hisashi Goto

技術本部

研究開発統括部

基盤技術研究部



飯田 実

Minoru Iida

技術本部

研究開発統括部

基盤技術研究部

ヤマハ発動機 技報企画委員会

委員長	海野 敏夫	技術本部 技術企画統括部 技術管理部
委員	荒木 治	ヤマハモーター・エンジニアリング(株) 事業推進部
	今井 浩久	ビークル&ソリューション事業本部 UMS事業推進部 開発部
	岡田 弘之	ビークル&ソリューション事業本部 RV事業部 開発部
	小野 朋寛	ビークル&ソリューション事業本部 SPV事業部 第1開発部
	北川 欣哉	マリン事業本部 ボート事業部 製造部
	木村 隆	ヤマハモーター・ハイドロリックシステム(株) 第2開発室
	近藤 巧	PF車両ユニット 技術統括部 企画推進部
	田中 大二郎	AM事業部 AM第1技術部
	佐藤 貴之	マリン事業本部 ME事業部 開発統括部 技術企画部
	土居 航介	エンジンユニット エンジンコンポーネント統括部 材料技術部
	深田 優正	デザイン本部 コーポレートデザイン部
	長森 基樹	ビークル&ソリューション事業本部 IM事業部 ロボットビジネス部
	松井 太憲	ヤマハモーター・エレクトロニクス(株) 第2技術部
	宮田 彰一郎	ヤマハモーター・パワー・プロダクツ(株) GC事業推進部 開発部
	村松 恒行	技術本部 研究開発統括部 先進技術研究部
編集事務局	池田 厚司	人事総務本部 法務・知財部
	望月 範久	人事総務本部 法務・知財部
	三宅 英典	企画・財務本部 コーポレートコミュニケーション部
	中村 淳	デザイン本部 コーポレートデザイン部
	村松 恒行	技術本部 研究開発統括部 先進技術研究部
	神野 裕文	技術本部 技術企画統括部 技術管理部
	久米 裕子	技術本部 技術企画統括部 技術管理部

【編集後記】 こうして皆様のお手元に技報52号をお届けすることができました。

今回私は初めて技報の作成に携わりましたが、各部門の原稿は材料から商品紹介まで幅広く、改めてヤマハ発動機の持つ製品の多様性に気づきました。

皆様には、この冊子をお手にとられた理由がそれぞれあります。掲載記事の何編かが、皆さんのが今後の豊かな生活や、技術開発の一助になれば編集者の1人として幸いに思います。(編集事務局)

ヤマハ発動機 技報 第52号

YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW 2016 No.52

印 刷 2016年11月30日

発 行 2016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

デザイン (株)スタジオコバ (監修: デザイン本部コーポレートデザイン部)

印 刷 所 (株)スタジオコバ

〒437-1196 静岡県袋井市松原2455-2

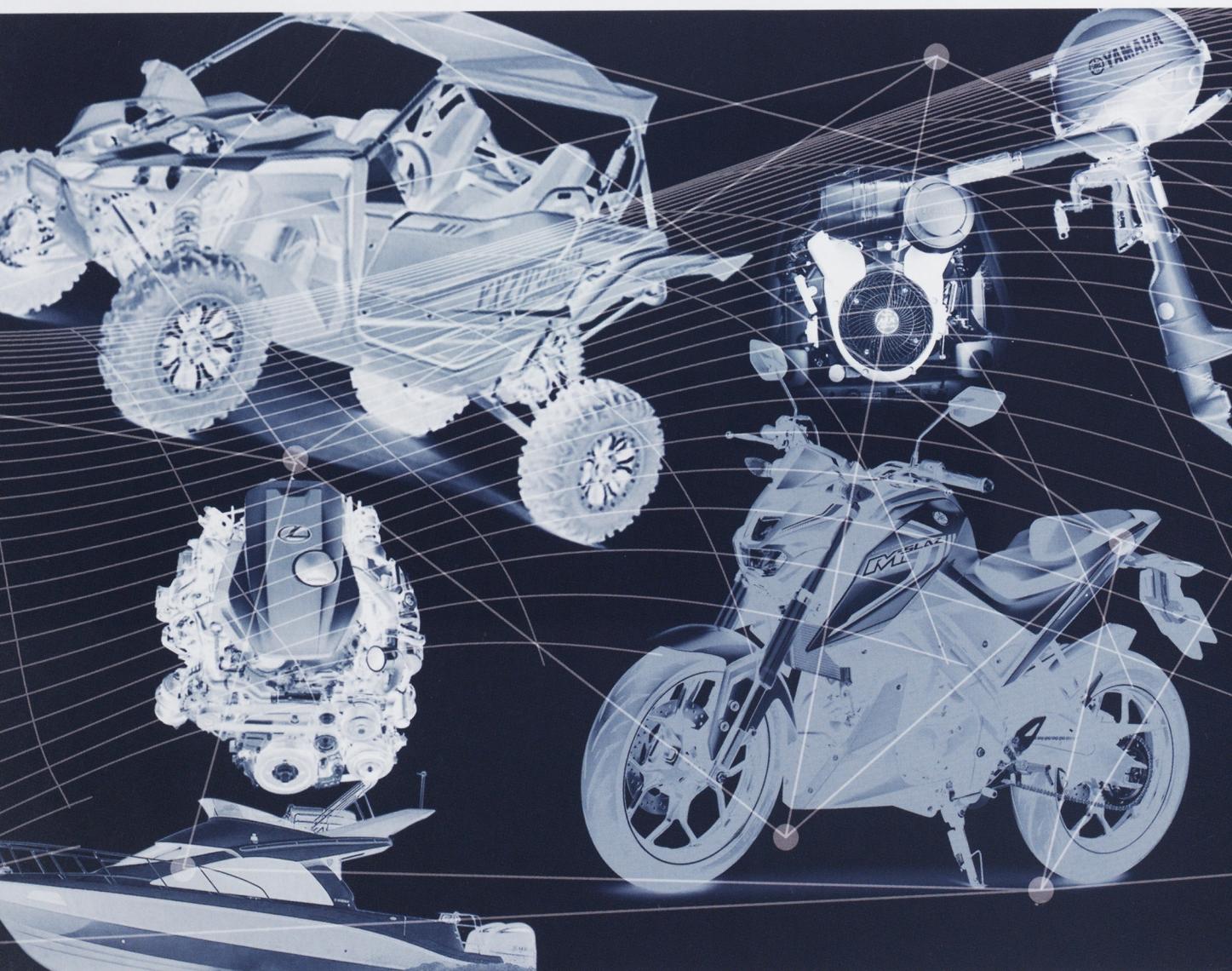
お問い合わせ 技報編集事務局 TEL 0538-32-1171

(技術本部 技術企画統括部 技術管理部)

ホームページ <https://global.yamaha-motor.com/jp/profile/technical/>

※無断転載を禁じます。

※落丁本・乱丁本は、小社技報編集事務局
宛てにお送りください。お取替えいたします。



YAMAHA

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