



YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW

ヤマハ発動機 技報

No.50
2014

目 次

巻頭言

「発」「悦・信」「魅」+「結」	3
柳 弘之	

技術紹介

TRICITY の開発	5
高野 和久	
船外機用機能プロペラの開発 ~ SDS(SHIFT DAMPENER SYSTEM) ~	9
恒川 弘之 湯川 俊介 黒木 陽平	
産業用搬送装置 リニアコンベアモジュール LCM100 の紹介	14
高木 克幸	
自律ビークル用 ECU ソフトウェアの短期開発技術について	18
藤井 北斗 神谷 剛志	
水系電極スラリーを用いたリチウムイオン二次電池セルの開発	23
近藤 光央 大西 範幸	
冷間鍛造用コンパクト閉塞ダイセットの開発	27
北郷 博成 鈴木 幸人	

製品紹介

Nozza Grande	31
岡本 直紀 村上 豊 藤原 祐	
2015 年型スーパースポーツ YZF-R1	35
安永 稔之 平野 啓典 矢野 真介 都丸 雄吾 佐川 勇輝 渡邊 隆志 藤原 英樹	
「TRICITY」のデザイン開発	43
野口 浩穂 水谷 玄	
XT250P 災害対策用オフロード白バイ	47
市川 真弓 鈴木 通之	
フィッシングボート DFR, DFR-FB	51
馬上 隆之	
ヤマハらしさを追求した 2015 年 VX / VXR	55
佐藤 英吉 木野本 直樹 藤野 健一 森江 厚志 山本 尚志 吉田 竜也	
船外機用 PTT (F115 用) プラットフォームモデル	61
浦野 真樹	
PAS PW ユニットの開発	65
島田 慎也	
2015 モデル ROV VIKING VI	70
鈴木 孝典 林 智之 長尾 訓成	
OT91 電動無人小型艇の紹介	74
青木 啓高	
電動式乗用ホースレイヤー	77
原田 雄三 吉野 靖彦	

技術論文

小型船外機エンジン アルミ部品コストダウンへの取組み～理論値に基づいた高品質・高能率切削加工～	80
中井 典子 坂本 祐輔	
Predictive Simulation of PFI Engine Combustion and Emission	88
後藤 久司 森川 健志 山本 峰生 飯田 実	
Reduced-order Modeling of Intake Air Dynamics in Single-cylinder Four-stroke Engine	97
赤間 俊一 村山 恭規 追田 茂穂	

CONTENTS

Foreword

Concepts, Pleasure & Trust, Appeal + Ties	3
Hiroyuki Yanagi	

New Technologies

The Development of TRICITY	5
Kazuhisa Takano	
SDS (Shift Dampener System) Outboard Propeller Development	9
Hiroyuki Tsunekawa Shunsuke Yukawa Youhei Kuroki	
Linear Conveyor Module LCM100 -Industrial Conveyor Device.....	14
Katsuyuki Takagi	
Rapid Software Development for Autonomous Vehicle ECUs.....	18
Hokuto Fujii Tsuyoshi Kamiya	
Development of Lithium-ion Secondary Battery Cell using Water-based Electrode Slurry	23
Mitsuo Kondo Noriyuki Ohnishi	
Development of Compact Enclosed Die Set	27
Hironari Hongo Yukihito Suzuki	

New Products

Nozza Grande.....	31
Naoki Okamoto Yutaka Murakami Yuu Fujiwara	
2015 YZF-R1 Supersport Motorcycle	35
Toshiyuki Yasunaga Akinori Hirano Shinsuke Yano Yuugo Tomaru Yuuki Sagawa Takashi Watanabe Hideki Fujiwara	
TRICITY Design Development.....	43
Hirotoshi Noguchi Gen Mizutani	
Off-road Police Motorcycle for Disaster Response – XT250P	47
Mayumi Ichikawa Michiyuki Suzuki	
Fishing Boat DFR, DFR-FB	51
Takayuki Moue	
The 2015 VX/VXR in pursuit of true Yamaha-ness	55
Hideyoshi Satou Naoki Kinomoto Kenichi Fujino Atsushi Morie Hisashi Yamamoto Tatsuya Yoshida	
PTT Platform Model for Outboard Motors (F115).....	61
Masaki Urano	
PAS PW Unit Development	65
Shinya Shimada	
2015 model ROV VIKING VI	70
Takanori Suzuki Tomoyuki Hayashi Tokinari Nagao	
OT91 Unmanned Compact Electric Boat	74
Hirotaka Aoki	
Electric Hose Layer	77
Yuzo Harata Yasuhiko Yoshino	

Technical Papers

Small Outboard Motors: Aluminum Parts Cost Cutting Initiatives -High Quality, Highly Efficient Cutting Processes Based on Theoretical Values-.....	80
Noriko Nakai Yusuke Sakamoto	
Predictive Simulation of PFI Engine Combustion and Emission	88
Hisashi Goto Takeshi Morikawa Mineo Yamamoto Minoru Iida	
Reduced-order Modeling of Intake Air Dynamics in Single-cylinder Four-stroke Engine	97
Shun-ichi Akama Yasunori Murayama Shigeho Sakoda	

柳 弘之

Yamaha Motor continues to launch new models onto global markets through its planning, development, and production. We estimate that 60% of the 250 models incorporated into the 2013-2015 Medium-term plan will be released by the end of 2014.

As each model speaks directly to the market and the customer with its *unique style of YAMAHA*, I feel that our intent is starting to be conveyed well. In terms of marketing, we are not just repeating what we have done in the past. We are now seeing systems that reflect the utmost of our ideals by implementing models that portray the very essence of "working diligently to levels above and beyond everyone's expectations."

I can really feel our company slogan *Revs Your Heart* gaining momentum throughout our markets.

Products are the ultimate medium for brand expression. The engineering excellence in our products comes from continually perfecting and maximizing the *unique style of YAMAHA* through the process of planning, development, production, and sales. Remaining faithful to this concept represents the effort we put in to keeping ahead of other manufacturers. What the *unique style of YAMAHA* really means is engineering excellence based on our many ideals, concepts, and the thorough implementation of them.

Over the last two-years we have been inwardly and outwardly promoting our 3 + 1 *YAMAHA uniqueness* to the customer as well as inside Yamaha Motor itself.

The first of these is *Innovative Concepts*. Through the continued improvement of Yamaha Motor's power source, chassis and hull platforms, and the optimum control technology used in them, we have been offering original product concepts (innovation) based on new combinations of these elements. We will therefore continue to create value through new innovation while researching observations of the market and the customer both now and into the future.

The second is *Superior Technology*. We at Yamaha Motor continue to endeavor to realize concepts that work to exceed customer expectations by further perfecting our core technical capabilities of namely, highly functional, low weight, low fuel consumption and compactness. We also aim to entwine sensitivity and theory into our technology. Our challenge both now and into the future, is to aim at higher targets in order to maximize customer pleasure and trust through focusing on the trustworthiness of our core technologies.

The third is *Design*. Since its founding, Yamaha Motor has worked to gain high customer satisfaction from global markets through placing importance on design character, offering cutting-edge coloring, attention to detail, and innovative creativity. Both now and into the future, through attractive images, shapes, and coloring, we will work at honing our refined dynamism in order to further brighten up our brand.

The fourth is *Ties*. Our efforts continue to create a strong bond with the customer through perseverance both in the regions and locales. Our work at Yamaha Motor is to continue to provide the customer with a lifelong service that brings excitement and the ultimate experience to them starting from before purchase, at point of sale, and comprehensive after sales service.

Simplifying these four ideals into expressions, we can use the words Concepts, Pleasure & Trust, Appeal + Ties. These expressions using characters from the Japanese language provide deep and beautiful meaning to the reader. They also directly relate to the effort that is put into all of our products.

This concept of the *unique style of YAMAHA* becomes evident when portrayed by these expressions and represents the passion that we have for our work.

今、世界市場で、私達が企画・開発・生産したニューモデルが続々と投入されています。2013－2015年の中期計画に織り込んだ250モデルの60%が、2014年末迄に投入される見込みです。

個々のモデルが、市場・お客様に「これがヤマハらしさです」と語りかける素晴らしい商品になっていて、私達の思いが伝わり始めています。マーケティングも、過去の繰り返しではなく、そこまでやる・そんなことまでやるという気概あるモデル導入により、思いを最大限に響かせようとする工夫が見られます。私自身、いろいろな現場でRev Your Heartを実感しています。

商品は、ブランドを表現する究極的な媒体です。それを企画・開発・生産・販売する仕事の過程で、「らしさ」を磨き・極めることがモノ創りです。「らしさ」とは、勝ちたい(負けたくない)ことです。それが何なのかを、語り抜き・考え方抜き、そしてやり抜くことが眞のモノ創りだと考えています。

2年間、「3+1のヤマハらしさ」について、社内・外で囁き叫んできました。

1つ目は、独創性。ヤマハは、パワーソース、車体・艇体、それらの最適制御技術を進化させながら、新しい組み合せを発想すること(イノベーション)によって、独創的な商品提案をしてきました。今後も、市場・お客様を観察研究しながら、新しい発想による価値を生み出して発信します。

2つ目は、技術。今、私達は、お客様の期待を超えたといいう「思い」を、高性能・軽量・低燃費・コンパクト等のコア技術を磨いた「モノ」で具現化しようとしています。また、論理と感性を紡ぐ技術を目指しています。今後も、お客様の悦び・信赖感を最大限に得られるようなコア技術を見定め、高い目標に向かって挑戦します。

3つ目は、デザイン。ヤマハは、創業以来、独創的な造形をつくる・細部にこだわる・斬新なカラーリングを提案するという、デザインの個性を大事にして、世界市場で高い評価を得てきました。今後も、魅力あるイメージ・造形・カラーリング(S・EX・Y)により、「洗練された躍動感(Refine Dynamism)」を磨き、ブランドを輝かせます。

4つ目は、お客様とのつながり。今、私達は、現地・現場に固執したお客様との強い絆づくりを目指しています。ヤマハとの出会い、ヤマハを買う前・買う瞬間・買った後の各場面で、思いを伝えて心躍る・最高の感動体験をしてもらい、生涯にわたって関わってもらえるような仕事をします。

この4つの「らしさ」を簡潔な表現にすると、「発」「悦・信」「魅」+「結」という漢字になりました。漢字というのは、それ自体に深遠な意味を持つ、素晴らしい文字だと実感しています。この5つの文字の意味合いを、私達の技術・商品そして仕事に、具体的に置き換えていきます。置き換えた時、「ヤマハらしさ」がもっと際立ってわかりやすくなり、私達の情熱がそこに集中していくと考えています。

■著者



柳 弘之
Hiroyuki Yanagi
代表取締役社長

高野 和久

Abstract

Compact two-wheel automatic commuters are becoming popular in cities throughout Europe, Japan and the ASEAN region owing to the fuss-free nature of the versatile personal vehicles.

Recent years have seen growth in awareness of the need for compact vehicles in cities prone to traffic congestion around the world. In addition, interest in compact personal commuters has also reached new levels due to economic and environmental reasons. This has set the stage for an influx of interest from 4-wheel users, generating movement toward creation of an entirely new category.

TRICITY, Yamaha Motor's first LMW (Leaning Multi Wheel), proposes the kind of new-value concept required to create our long-term vision, a "personal mobility frontier". We developed this product for global roll out to Europe, Japan and the ASEAN region from the outset.

In this report, we introduce the technological themes behind the development of our first Leaning Multi Wheel.

1 はじめに

小型の2輪オートマティックコミュータは、その手軽さから欧州や日本、アセアン地域の都市部で機動性のあるパーソナルビークルとして普及している。

近年、交通渋滞の激しい各国の都市部で、小型ビークルの有用性が広く認知されるようになって、経済的な理由や環境問題からも、小型のパーソナルコミュータの支持は一層拡がる傾向にある。そのような中、4輪車ユーザの関心層も流入し、新たなカテゴリを形成しようとする動きがある。

TRICITYは、当社が長期ビジョンで掲げる「パーソナルモビリティのフロンティア」創出のための新しい価値を提案するヤマハLMW(リーニング・マルチ・ホイール)の第1弾である。なお、本製品は当初より欧州や日本、アセアン地域へのグローバル展開を想定して開発を進めた。

本稿では、当社にとって初となるリーニング・マルチ・ホイール開発の技術的トピックスを紹介する。

2 開発の狙い

TRICITYの開発コンセプトは『ニュースタンダード シティコミュータ』であり、世界中の方々に通勤・通学等、日々の足として快適に、楽しく使ってもらえることを目指した。特に路面の変化に追従する左右独立した前2輪機構を採用することで、人間の感性に合った自然な車両挙動やふらつきが少ないハンドル操作など、乗って気持ち良い操縦性の実現に重点を置いた。同時に、乗ってみたいと思わせるエレガントでスマートな外観も両立させるべく開発に取り組んだ。

図1にフィーチャーマップを示し、以下にその特徴を説明する。

3 製品の特徴

3-1. LMW(リーニング・マルチ・ホイール) 機構

先行開発部門と共に様々な種類の前2輪機構を試作し、評価した結果、リーニング角に関わらずトレッド変位が少なく、前2輪の自然なリーニング挙動を実現できる平行四辺形リンク機構と自然な車体挙動を維持しやすい片持テレスコピックサスペンションを組合せたLMW機構を採用した(図2、3)。本機構は、従来のスクータと比較しても遜色ないサイズに抑え、充分なバンク角と舵角を確保するのに最適な組合せを実現できたため、当社独自の技術として技術商標登録した。

フリクションを抑えたLMW機構は、最適化されたジオメトリによって優れた直進性と小回りの利く軽快なハンドリングを両立し、TRICITYの安定感を備えた快適で楽しい乗り味を作り出している。

3-2. 重心位置の設定

スクータリンク仕様エンジンとLMW機構の組合せにより、優れた車両重心位置を設定することができた。

図4に示すような50%:50%の前後分布質量と適切な重心高設定は、リーンする乗り物にとって自然な荷重移動が可能となり、扱いやすい操縦性と優れた安定性の基礎を司りながら前後タイヤの性能も上手く使える仕様となっている。



図1 フィーチャーマップ



図2 LMW機構



図4 適切な重心位置

3-3. ブレーキ

ディスクブレーキは、左右前輪にφ 220ディスク、後輪にφ 230ディスクの計3枚を搭載した。これは、125ccクラスとしてはトップクラスのスペックであり、独自の前後連動ブレーキ(UBS)とグリップ性能に優れた前後タイヤによって、扱いやすい優れた制動特性を実現した。

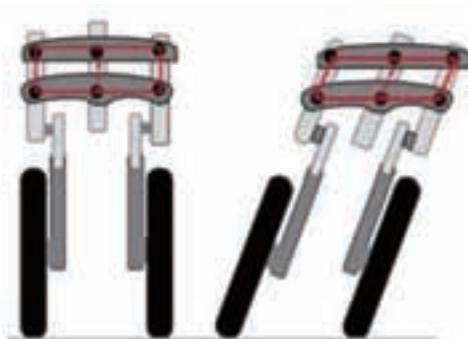


図3 平行四辺形リンクの挙動

3-4. 前後サスペンション

前方サスペンションは左右独立式片持ちテレスコピック仕様であり、充分な剛性と強度を備えている。さらに、操舵トルクを伝えるため左右別々に配したφ 33x2のインナチューブはスライドメタルを介しAL製アウタチューブと連結させた。基本的に成熟したこれらの技術を組合せることで、現地生産

に配慮しながらも優れた作動性と耐久性を確保した。

前後のサスペンションスプリングはダブルレートスプリングを採用せず、シングルレートで構成した。これによってTRICITYにとって適切なバネ上固有振動数と減衰特性とすることができた。

後方サスペンションは2本のコンベンショナルショックに新型ロングバンプラバーを組合せ、ストローク感ある快適な乗り心地を実現した。新型バンプラバーには耐加水分解バージョンであり、柔らかい特性ながら耐久性に優れた素材を用いた専用設計品を採用した。

3-5. デザイン

特徴ある前2輪ながら、誰もが親しみやすく、そして乗った人が格好良く見えることを熟慮したボディラインとした（図5）。個性を演出するエレガントなLEDポジションランプと明るいヘッドライト（図6）に加え、手に馴染む大型AL製グラブバー等、デザインと機能を両立したエクステリアを各部に備えており、所有してからの満足度が高くなるように設計した。

なお、詳細については別稿の「TRICITYのデザイン開発」を参照されたい。



図5 ボディラインの特徴



図6 ポジションランプのデザイン

4 品質への取り組み

当社にとって初めてのタイ生産グローバルモデルであるため、専用のスキームを設定し品質管理を行うこととした。TYM（タイヤマハモーター）の高い品質レベルを活かしつつ、新たな前2輪機構の品質管理を加えたり、LMW 機構部においては構成部品の精度を担保し、組立における調整を無くしたりすることで、高品質を確保した。

また各国での販売店やユーザの負担を考慮した結果、専用の特殊工具を設定せず、従来のスクータ用工具があれば保守できる仕様を実現した。

5 アクセサリについて

TRICITYは専用アクセサリ準備のため、当初より部品部門と連携しながら開発を進めてきた。コミュニタに相応しい便利装備の数々を、発売と同時期に展開できるよう戦略的に取組み、特にハイスク린とトップケースは装着も容易な一体感ある装備を実現した（図7）。

また、ライダープロテクションと空力特性についてもCFD解析を駆使しながら作り込み、純正アクセサリならではの優れた性能を確保した（図8）。



図7 純正アクセサリ装着車



図8 CFD解析によるハイスクリーン開発

6 今後の展開

当社が掲げる『ひろがるモビリティ』の第1弾として発表されたTRICITYは、今後も独自のLMW機構を踏襲しつつ市場要求を速やかに反映させ、バリエーション展開していくたい。

7 おわりに

本来優れたオートバイは、人間の感性に合う快適な乗り物である。TRICITYはその良さを継承しつつ、特徴的な外観とともにプラスαを備えた実力派モデルである。

乗り手の予想を裏切らないリニアな乗り味は、正にヤマハハンドリングでありベテラン・初心者問わず、様々な方々に楽しく快適に乗ってもらえると確信している。

■著者



高野 和久
Kazuhisa Takano
PF車両ユニット
PF車両開発統括部
LMW開発部

船外機用機能プロペラの開発 ～ SDS (SHIFT DAMPENER SYSTEM) ～

SDS (Shift Dampener System) Outboard Propeller Development

恒川 弘之 湯川 俊介 黒木 陽平



Abstract

In recent years, although Yamaha Motor Co. Ltd., has gained traction continuing with a line of larger outboard motors mainly in the North American market, other companies have followed suit which has created significant competition. In this environment, we released the world's largest outboard motor ahead of the competition in 2007, the F350A(V8 5330 cm³) configured with an upsized lower unit accompanied by a larger propeller. The F350A provided a significant increase in inertia mass with components such as the propeller boss (cylindrical section) and blades which were the largest available for any outboard motor. However with the increase in size, there was also a loud shift-shock sound on engagement which was virtually incomparable to any other outboard available. This led to a steady rise in complaints from the market soon after production began and we had to take urgent action to deal with the problem. To deal with this issue, it was considered that any major changes to the engine or lower unit would be problematic as the model was already on sale, so it was decided to take the course of developing a propeller that could be directly exchanged in the market. In this report, we will introduce the SDS (Shift Dampener System), developed for decreasing excessive shift shock sound levels.

1 はじめに

近年、北米を中心とした市場ではヤマハ発動機（以下、当社）がけん引する形で船外機の大型化が進んできたが、他社もこの動きに追従し、競争が激しくなってきていた。

そのような中、2007年に当社が他社に先駆けて、世界最大馬力となる船外機F350A（V8 5330 cm³）を市場に投入した。F350Aは、プロペラのボス（筒部）や翼も船外機としては最大のものとなり、慣性マスが増大した。その結果、シフトイン時の衝撃音（シフトショック）も今までの船外機とは比べ物にならない程の大きさとなり、生産立ち上げ後に市場からコンプレイン（不満の声）が上がったため、早急な対応が求められた。

対応に関しては、既に販売しているモデルであり、市場対応を考えるとエンジン、ロワーユニットの大幅な改良によ

る対策は困難と考え、市場で交換可能なプロペラで対応する方向で開発を進めた。本稿では、シフトショック衝撃音低減のために開発した SDS (Shift Dampener System) について紹介する。

2 SDSプロペラ開発目標

本プロペラの開発は、前述のように市場投入後のモデルに対する対応であり、他の部品への影響が無く、市場にて容易に交換できることを条件として、プロペラのみで効果を出せる仕様を目指し開発を進めた。また、F350Aは現在もヤマハ船外機のフラッグシップモデルであり、外洋での使用も考慮し、信頼性の確保が求められた。本開発の主目的は市

場コンプレイン対応であるが、この機会に既存のプロペラが抱えている課題に関しては対応できる新たなプロペラ開発と考え、以下の要件を満たすことを目標に開発を進めた。

- 市場で容易に対応（交換）が可能
- パーツの増加が無い単純な構造（信頼性の確保）
- シフトショック低減▲ 10dB 達成
- 従来プロペラの課題対応（プロペラスリップ、ダンパ芯ズレ、ダンパ圧入荷重）

3 開発の考え方および狙い

シフトショック音の対策としてはECUによる遅角制御にて既に一定の低減効果が他機種にて認められ市場導入されていたが、遅角制御だけではF350Aの目標とするレベルには達していなかった。また、ドッグクラッチ部分をコーンクラッチに変更する等のアイデアも検討されたが、改良範囲が広がり、市場対応が難しいこと、また開発日程がかかることから採用が見送られた。そのため、他の手法を用いた大幅なレベルアップが必要とされていた。

ドッグクラッチ構造で、シフト時の衝撃音が大きくなる理由は、シンクロ機構を持たないため、ドッグクラッチの爪とギヤの爪が直接金属接触し、衝撃音を発することにある（図1）。

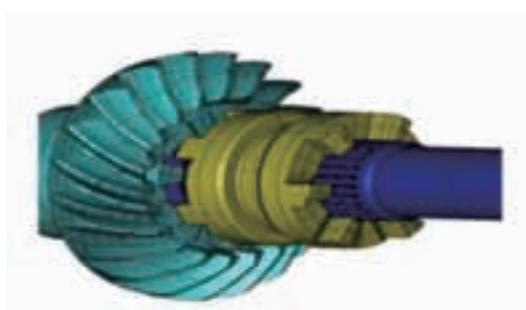


図1 ドッグクラッチ構造

この現象は、エンジン回転数、パワー・ヘッド側慣性マス、プロペラ回転数、プロペラ慣性マスが大きく影響するため、これらのエネルギーを下げる手法もあるが、改良範囲が広範囲となり、市場対応は困難と考えられた。

そこで、出力伝達系で唯一ダンパ機能を有しているプロペラの内部構造、およびダンパ形状を変更することで、プロペラでの対応が可能ではないかと考え、ダンパ構造改良の検討を始めた。つまり、現状では非常にばね定数が高い特性（特性A）を、ばね定数を下げるることにより減衰効果を高め（特性B）、シフト時の衝撃を緩和させるという考え方である（図2）。

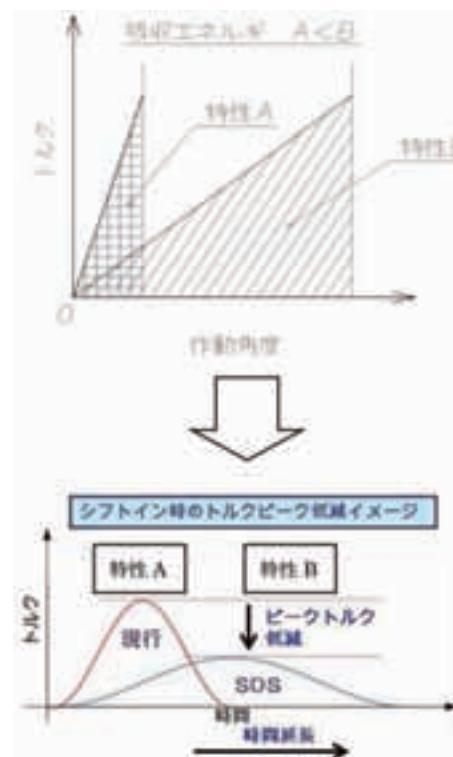


図2 トルク特性イメージ

本開発ではプロペラ内部構造（ゴムダンパ）の形状、硬度を以下のように変更、試作仕様を設定し開発を進めた。

1) シフトショック

ダンパの硬度変更+圧入代を低減し、ダンパ組み付け時のばね定数を下げることでシフトイン時にダンパが大きく振れるようにする。それによって回転エネルギーを吸収し、衝撃音の低減を狙う。

2) ダンパ芯ズレ

ダンパおよびプロペラ内筒にテーパ角度を付け、圧入して芯が出る構造とすることで、既存プロペラでの圧入時の芯ズレを軽減し、アンバランスによる振動の抑制を狙う。

3) プロペラスリップ

プロペラ内のダンパがスリップしても爪（ストップ）を付加し、プロペラ内筒の切り欠きで推進力を受ける構造とし、ダンパスリップとその結果としてのプロペラスリップを回避する。

4) ダンパ圧入荷重

上記、1) 2) により、ダンパ圧入荷重を低減する。

4 SDS構造と効果

開発要件を満足する仕様を検討し、試作品の製作、評価を行った。その結果を以下に示す。

4-1. シフトショック低減構造（ダンパゴム形状、硬度変更）

プロペラダンパは、ゴム硬度を現行 $70^{\circ}\Rightarrow 65^{\circ}$ に柔らかくし、さらにゴムの容量を約 $2/3$ として圧入荷重を軽減した。ダンパ圧入後の実硬度を大幅に低減することで、ダンパの振れによる減衰効果を引き出した。

F350A 船外機での従来プロペラと SDS プロペラでのシフトショック騒音測定結果を図 3 に示す。



図3 騒音レベル比較

比較のため、目標とした他社製の 300ps 船外機のデータも併せて示している。SDS のような機構を持たないにも関わらず、他社プロペラの騒音レベルが低い理由は、プロペラ／エンジン慣性マスの差と考えられる。他社プロペラに比べ、大径で慣性マスの大きい当社のプロペラであっても、SDS の付加により、目標レベルのシフトショック音低減効果を得ることができた。(F シフトで 8.9dB、R シフトで 11.5 dB の低減。特に R 側が頻度高く重要。)

4-2. ダンパ、プロペラ内筒構造（テーパ構造）

ダンパ側面およびプロペラ内筒をテーパ形状とすることで、圧入時の芯ズレを防止した。また、ダンパにスリットを設け内筒のスプラインと勘合させることにより、低い圧入代でもスリップしにくい構造とした。圧入時の荷重も大幅に軽減 ($4 \sim 5\text{ton} \Rightarrow$ 約 0.4ton) させ、圧入作業を容易にすることが可能となった(図 4)。



図4 プロペラダンパ (従来ダンパ、SDSダンパ比較)

4-3. スペーサ、内筒

スペーサには爪を設け、高トルク負荷時には内筒と接触することによりトルクをプロペラに伝え、ダンパのスリップを防止させるようにした。さらに、爪追加によりダンパの変位を規制することで、ゴム部の切れを防止するよう耐久性のアップも図った(図 5)。また、組み付け時の位相を合わせるため、誤組立防止は必須であり、爪形状を非対称とした。



図5 プロペラスペーサ

5 試作評価で表面化した課題への対応

シフトショック音低減効果は目標を達成できたが、機能系評価も満足する必要がある。その評価の1つである高回転シフト評価で衝撃的なトルクが付加された際に、駆動系部品にクラックが発生する問題が生じた。高回転シフト評価は、エンジンが高回転状態からシフトインする試験であり、プロペラシャフトに非常に高い衝撃的なトルクが発生する。従来のダンパ構造では圧入されたダンパがスリップすることにより衝撃を緩和していたが、SDSダンパはスリップさせずにストップと内筒との金属接触により作動角度を規制する構造となっているため、作動角度に対するトルクが従来構造より高くなることが原因と考えられた(図6)。

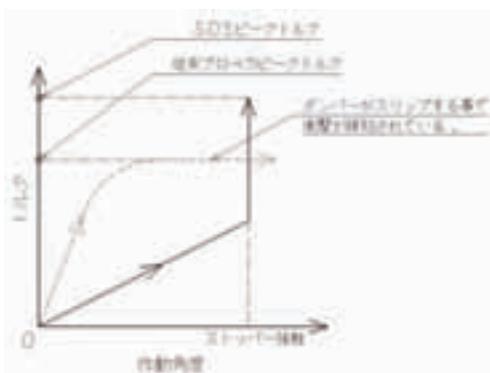


図6 衝撃時のトルク特性イメージ

そこで、ある一定の作動角度(α)からトルク特性を変化させ、スペーサのストップに当たる角度(β)までに吸収するエネルギーを稼ぎ、ピクトルクを低減させる手法を取り入れた(図7)。

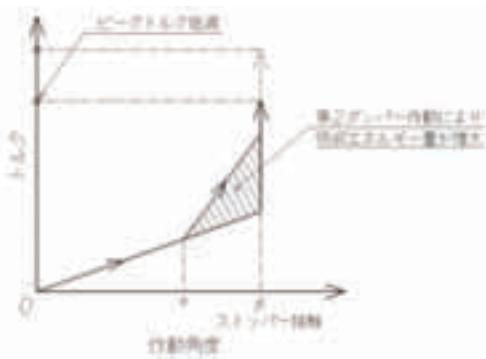


図7 トルク特性イメージ

具体的な手段としては、ダンパを1つ追加することで対応した(第2ダンパ)。メインとなる第1ダンパがある一定角度以上作動した際に第2ダンパも作動を始め、エネルギーをさらに吸収させ、金属同士の接触をソフトランディングさせる構造とした。第2ダンパには圧入代が無いことと、高い衝撃エネルギーを受けることを考慮し、第1ダンパよりも高い硬度のゴムを採用した。F350A用SDSでは第1ダンパ=65°、第2ダンパ=75°としている(図8)。本改良により高回転シフト評価も満足することができた。

このようにダンパの組み合わせ(ばね定数)を変えることで、様々な要求特性に対応できることもSDSの特徴のひとつである。

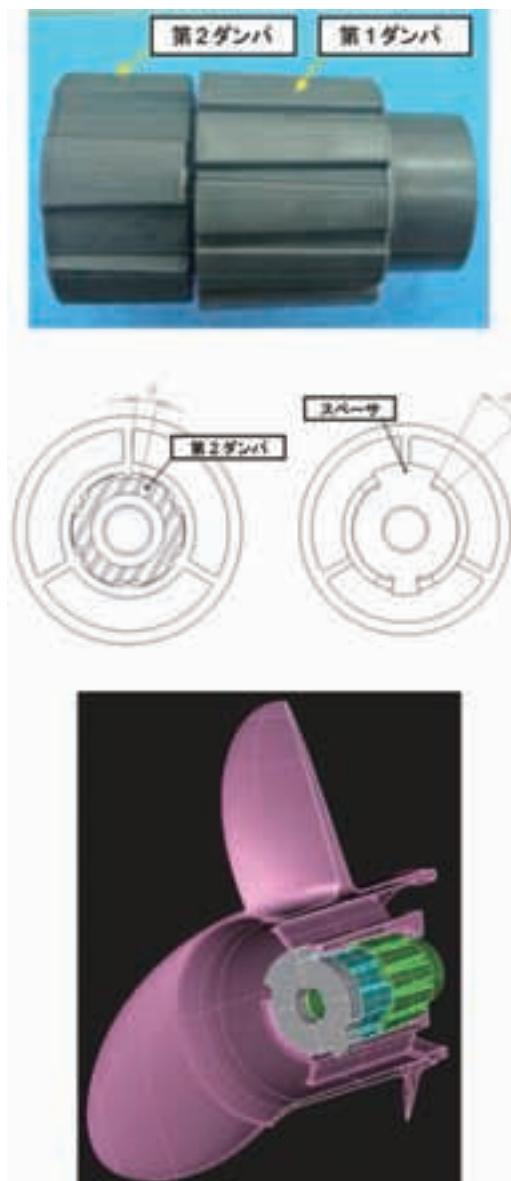


図8 第2ダンパ追加

6 おわりに

本プロペラでは、ヤマハ独自の技術開発により（特許出願済み）目標であったシフトショック低減（10dB）を達成するとともに、既存プロペラが抱えていた課題も解決することができた。さらに、パーツ点数を従来プロペラに対し増やすこと無く、信頼性面、コスト面でも目標をクリアできた。

SDS は F350、F300 用として市場導入がされており、本構造が起因の市場コンプレインの発生はなく、また、シフトショック低減効果に関しても市場より好評を得ている。

さらに、本構造はシフトショック吸収だけで無く、中大型船外機で抱えている、ラトル音（ドッククラッチの爪と、ギヤの爪がエンジン回転変動、プロペラトルク変動の位相により低速で干渉し、異音を発生する現象）にも対応可能な技術であるため、現在では中型機種にも同様の手法で考案されたプロペラが生産されている（図9）。

■著者



恒川 弘之
Hiroyuki Tsunekawa
ME事業部
開発統括部
CAE実験部



湯川 俊介
Shunsuke Yukawa
ME事業部
開発統括部
CAE実験部



黒木 陽平
Youhei Kuroki
YMUS
(Yamaha Motor Corporation, USA)



図9 中型アルミプロペラへの展開例

これまでプロペラは、推進力の発生以外の機能を持たなかつたが、SDS の開発により、機能を有するプロペラという新たな開発の方向性が生まれた。今後も SDS に次ぐ機能プロペラの開発を目指し、他社との差別化、優位性の拡大を狙うとともに、お客様の要望に応えられる製品開発を進める所存である。

産業用搬送装置 リニアコンベアモジュール LCM100 の紹介

Linear Conveyor Module LCM100 -Industrial Conveyor Device

高木 克幸



Abstract

The Yamaha Motor Co., Ltd. IM Business Unit (hereafter, The Company), started manufacturing robots for industrial use following the development of its SCARA Robot “CAME” designed for in-house motorcycle manufacturing facilities in 1979. From there, including SCARA, came the development of a range of robots with single-axes, cartesian coordinate, and parallel links as the company continued to roll-out production machinery in order to assist its factories in their automation.

In terms of Monozukuri (craftsmanship), these robots are generally used in auto-assembly lines within the factories to produce products where there are repetitive movements in product manufacturing i.e. “parts supply,” “fitting parts onto products,” and the “conveyance to the next process.” Within these areas, there are many conveyor belt uses where there is a “conveyance to the next process,” or where “conveyance” or “conveyance within a process” is required.

The linear conveyor module has been developed in order to offer flexible operation from its linear motor and module structure in order for a new type of conveyance between processes at considerable speeds, and by utilizing a diverse range of movements via its servo control. In this chapter we find out the background to the linear conveyor module and its features.

1 はじめに

ヤマハ発動機IM事業部（以下、当社）では、1979年にモーターサイクルの社内設備向けとして開発したスカラロボット“CAME”をきっかけに産業用ロボット事業が始まった。その後、スカラ以外にも単軸、直交、パラレルリンクなど各種のロボットを開発し、工場の自動化を支援する産業用機械メーカーとしての発展を続けている。

ものづくりにおいて、工場内の自動組立てラインで製品を生産する場合、一般的には「部品を供給し」、「その部品を製品に組付け」、「次の工程に運ぶ」という動作を繰返すこと

で製品は組立てられていく。このうちの「次の工程に運ぶ」ことは、「搬送」、あるいは「工程間搬送」と呼ばれ、ベルトコンベア、ローラーコンベアが多く用いられている。

リニアコンベアモジュールは、モジュール構造による運用の柔軟性、リニアモータによる圧倒的な搬送速度、サーボ制御による多彩な動作をもって、工程間搬送に新しい提案を行なうべく開発された。本稿では、リニアコンベアモジュールの開発の背景と特徴を紹介する。

2 開発の背景

当社の産業用ロボット事業のお客様は、ものづくりを行う工場の生産技術者であり、また、生産設備を製造する設備メーカーの方々である。お客様は、生産性の向上、多品種少量生産への対応、短縮される新製品の投入サイクルへの対応など、常に多くの課題を抱えており、当社はそのニーズに対応すべく製品開発を行っている。

工程間搬送においては、生産性を向上するために搬送速度向上への要求が高まり、当社はこれに応えるため2004年にリニアモータを採用したリニア単軸ロボットを開発した。

一方で、様々な業界での新製品投入サイクルの短縮により、それらを生産する設備の改造、入れ替えも頻繁に発生するようになり、より柔軟で汎用性のある搬送装置への要求も高まっていた。このようなお客様の声を受け、リニアコンベアモジュールを開発した。

めなどの作業が産業用ロボットや各種の自動機械によって行われる(図2)。組立てラインの最後尾まで移動したスライダはラインから排出された後、別ルートを経由して組立てラインの先頭から再び投入されて循環する。



図1 リニアコンベアモジュール外観

3 製品の概要

リニアコンベアモジュールは、組立てラインで生産される製品を載せる「スライダ」、そのスライダをレールで案内し、リニアモータで動かす「モジュール」、またこのモジュールのリニアモータを制御する「コントローラ」で構成される(図1)。

自動組立てラインではこのモジュールを必要な数だけ連結し、工程の数にあわせてスライダを配置する。スライダは製品を乗せて各工程にて順次停止し、部品の組付け、ねじ締

4 特徴

4-1. モジュール構造

ベルトコンベア、単軸ロボットなどの搬送装置は、一般的には購入する前にその長さを決定し、導入後はその長さを変更することは容易ではない。その一方で製品を生産する組立てラインは、作る製品や工程の変更に伴い全長が変わることは珍しくない。本製品では推進力の発生、スライダの位

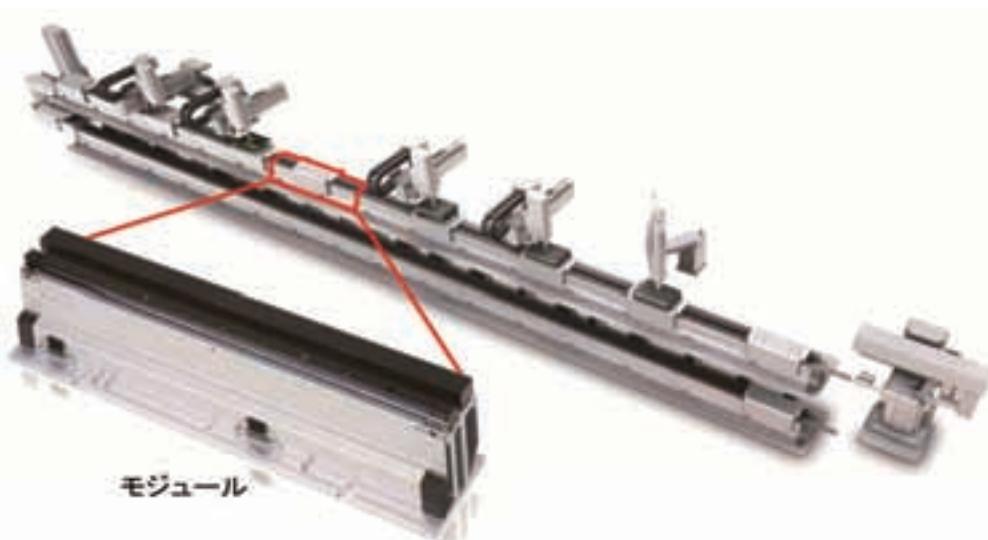


図2 自動組立てラインの例

置の検出などを担う各機能部を一定の長さに揃え、それを等間隔に配置可能とするハードウェア構成と制御方式を開発することで、モジュール構造を実現した。これにより、組立てラインの全長をモジュール単位で自由に変更することができる（図 3）。



図3 モジュール単位でのライン長の変更

加えて、位置検出システムを新規に開発したこと、様々な組み立てラインのレイアウトに対応が可能となった。つまり、ラインの端まで流れたスライダがいったんモジュールを離れてリターンユニットや循環機構で搬送され、次のラインのモジュールに再び挿入されても続けて制御ができるため、分岐や合流などはもちろん、往復動作や循環動作も組み合わせた自由なライン設計ができるようになった（図 4）。

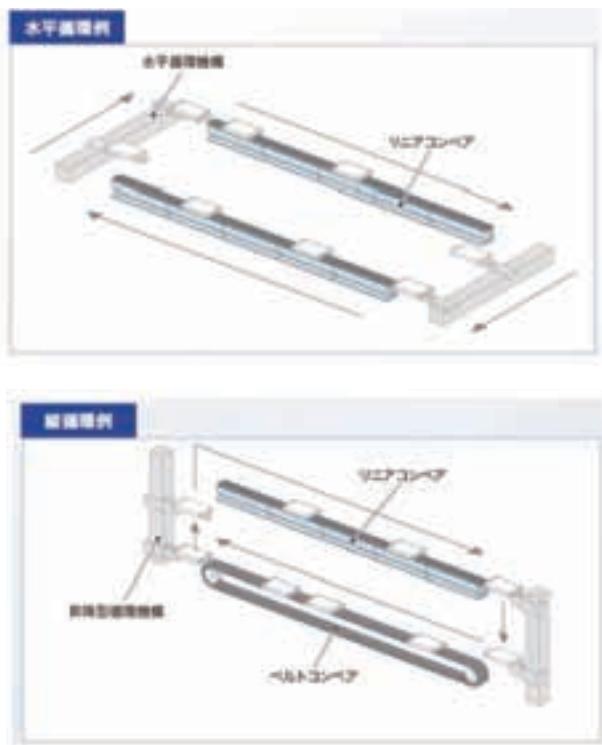


図4 様々なレイアウト

4-2. リニアモータ

リニアコンベアモジュールでは、ムービングマグネット方式と呼ばれるリニアモータを採用している。これは、移動側であるスライダに永久磁石が内蔵され、固定側であるモジュールに電磁石を配置する構造となっている（図 5）。このメリットとして、スライダ側には電力を供給する必要がないため、ケーブルが不要となる点が挙げられる。

また自社開発のリニアモータは、最大速度 3m/sec、最大加速度 1G を実現しており、工程間の搬送速度を大幅に向上した。特に高い生産性を要求する組立てラインでは、工程間搬送時間は 0.1sec 単位での短縮が要求される場合もあり、リニアコンベアモジュールの搬送速度は圧倒的なメリットとなっている。



図5 リニアモータの構成

4-3. ダイレクト駆動

リニアコンベアモジュールは、当社の産業用ロボットの制御技術を用いており、モジュール上の各スライダはサーボ制御により個別に直接駆動されている。このダイレクト駆動により以下のメリットがもたらされる。

(1) 停止位置の数値制御

スライダの停止位置は、ロボットと同様に数値で指定可能となっている。生産する品種の変更、あるいは工程変更の際は、スライダの停止位置はティーチングペンダントと呼ばれる携帯型制御機器、あるいは組立てライン全体を制御する機器により容易に変更できる。また、複数スライダ間の個体差を補正する位置補正機能により、同一の停止位置に対して全てのスライダが 100 μm の幅の相互差で停止可能となっている。

(2) なめらかな加減速

スライダはリニアモータにより加速度／減速度を制御されて動作するため、特に機械的にスライダを止める方式と比べて停止時のショックが小さい。このため、製品に固定される前の不安定な部品のズレを防止しつつ高速に搬送することができる（図 6）。



図6 なめらかな減速停止

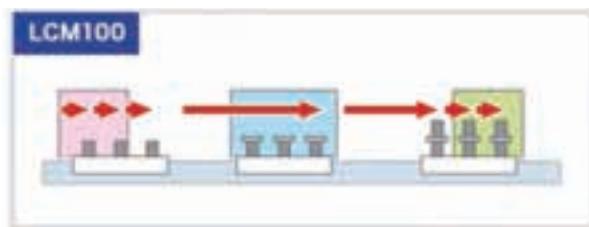


図8 ピッチ送りと長距離搬送の混在

(3) 移動方向・距離を個別に指定

スライダの移動方向、移動距離は個別に設定可能なため、製品に応じてその都度移動距離を変更することや、特定の工程を往復することで組立て用自動機械を共通化することができる（図7）。さらに、1台のスライダに複数個の製品を載せることで、組立て時間に応じてピッチ送り、長距離搬送を織り交ぜることも可能である（図8）。

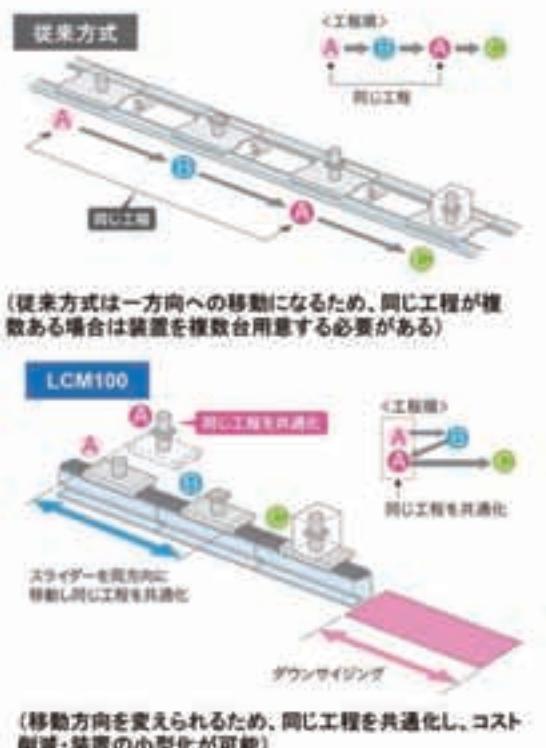


図7 自在な動作の活用例

5 おわりに

本製品は「工程間搬送をより速く、より自由に」というお客様の声に対して、当社のロボット技術を基盤に多くの課題への挑戦を経て開発した新しいコンセプトの製品である。今後も開発を継続してより多くのお客様のニーズに対応するとともに、これまでにない活用方法を提案することでのづくりの発展に寄与していきたい。

■著者



高木 克幸

Katsuyuki Takagi
事業開発本部
IM事業部
ロボットビジネス部

自律ビークル用 ECU ソフトウェアの 短期開発技術について

Rapid Software Development for Autonomous Vehicle ECUs

藤井 北斗 神谷 剛志

Abstract

Yamaha Motor has been conducting research on autonomous vehicles that carry out outdoor surveying and monitoring work in place of humans (Yamaha Motor Technical Review, 2008-12 No.44, pg. 49, 2013 No.49, pg. 39). This autonomous vehicle control system comprises of an autonomous control PC that carries out host control (i.e. autonomous controls), and multiple ECUs (Electronic Control Unit) that control components such as throttle, brake and actuator based on the instruction given by the PC (see figure 1).

In autonomous vehicles research, many hours are spent on building and evaluating ECU software. For this reason, reducing the ECU software development time would be key to improving the development speed of autonomous vehicles.

This report introduces fast and efficient development technology of ECU software for the purpose of reducing the development time of autonomous vehicles.

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]。当社自律ビークルの制御システムは、自律制御など上位の制御を行う自律制御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（図1）。

このような自律ビークルの研究において、ECU用ソフトウェアの実装や評価に必要な工数は決して少なくない。このことは開発期間の長期化を招き、開発コストを増大させるため、ソフトウェア開発速度の改善が切望されていた。

そこで、自律ビークル用ECUをプラットフォーム化することで、ソフトウェアの開発期間短縮を実現した。本稿ではその開発技術について紹介する。

2 開発のねらい

図1に示すように、自律ビークルはアクチュエータを駆動させるための専用ECUを複数備えている。自律ビークルの開発速度向上を目的に、これらECUのソフトウェア開発期間を短縮したいという要望があった。

自律ビークルのECU開発は、①制御モデルの設計⇒②シミュレーションを用いた机上評価⇒③制御モデルのプログラミングおよびインテグレーション⇒④プログラムの実機評価といった流れで開発されるが、手作業で行っていたプログラミング作業に特に時間がかかっていた。このECUプログラミング作業を自動化することで、ソフトウェアの開発期間を劇的に短くできると考えた。

そこで、制御技術者が設計した制御モデルから市販の自動プログラム生成ツール(ACG: Auto Code Generator)によって生成された制御アプリを実行可能な自律ビークル用「ECUプラットフォーム」と、ECUプラットフォームと制御アプリとを自動

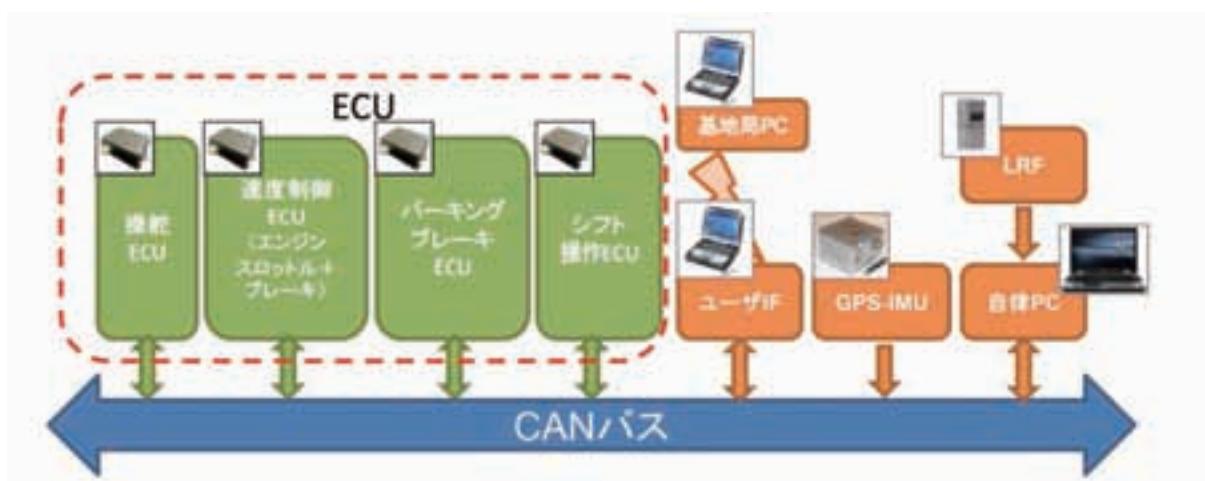


図1 自律ビークルのシステムの例

インテグレーション可能な自律ビークル用「統合開発環境」を独自に開発し活用することで、ECUソフトウェア短期開発の実現を目指した。

ECUプラットフォームと、その統合開発環境からなる短期開発技術について以下で詳細に説明する。

3 ECUプラットフォーム

ECUプラットフォームは、自律ビークルのアクチュエータ制御アプリを動作させるための実行環境であり、「ハードウェアプラットフォーム」と「ソフトウェアプラットフォーム」とによって構成される。

3-1. ハードウェアプラットフォーム

ハードウェアプラットフォーム（以下、HPF）の外観を図2に、詳細な仕様を表1に示す。

図2に示すHPFは、当社自律ビークル用に開発したオリジナルのECUである。具体的には表1に示すように、本HPFはルネサス社製SH-7047マイコンや、CAN通信やデジタル入出力などの自律ビークルでよく利用される入出力機能や、自律ビークルのアクチュエータモータを駆動するためのパワーデバイス回路などを備えた自律ビークルの車両制御に適したECUである。



図2 ハードウェアプラットフォームの外観

表1 ハードウェアプラットフォーム仕様

マイコン性能	
マイコン	SH7047(49.152MHz)
RAM	12KB
ROM	256KB
OS	TOPPERS F4(μTron4.0基盤)
周辺機能	
マイコン監視機能 (ウォッチドッグ)	○
E-Stop(外部非常停止機能)	○
デジタル入力	8ch
デジタル出力	8ch
シリアル	1ch
ADCコンバータ	8ch
パルス幅計測	2ch
温度センサ	2ch
CAN	1ch
モータードライバ基盤対応表	
Type1(60A仕様)	○
Type2(30A×2ch仕様)	○
Type3(30A×1ch仕様)	○
備考	アクチュエータの種類に合わせて、モータードライバ基盤を選択して使う。
開発環境	
ヤマハオリジナル	○
MBD開発環境	○
C/C++(gcc)	○
その他	
動作電圧	12V
ケースサイズ (ドライブ基盤含む)	135×105×40 mm

3-2. ソフトウェアプラットフォーム

ソフトウェアプラットフォーム（以下SPF）の構造を図3に示す。

図3に示すように、本SPFは「システムサービス層」、「デバイスドライバ層」、制御アプリケーションとソフトウェアプラットフォームを接続するための「インターフェース層」とによって構成されており、欧州で標準化されたAUTOSAR規格を参考にしつつ研究対象である自律ビークルに最適化した当社独自の構造であることを特徴としている。

制御アプリは、永和システムマネジメント製AUTOSAR RTEジェネレータ^[3]によって自動生成されたインターフェース層を介して、システムサービス層のOS時間管理機能やデバイスドライバ層のハードウェア機能を利用できるようになっている。

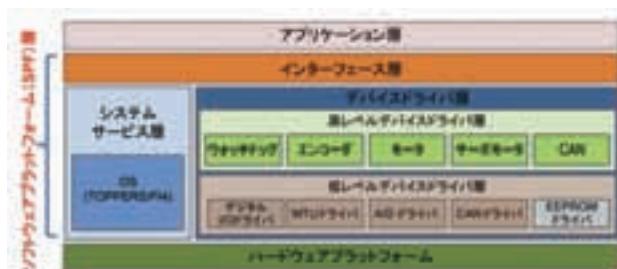


図3 ECUプラットフォームの構造

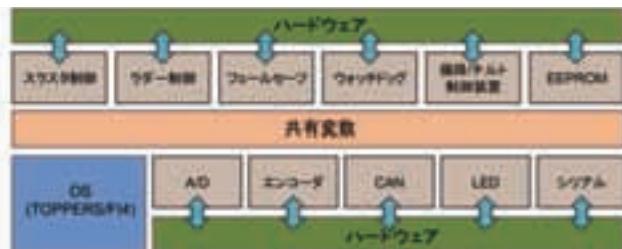


図4 従来のECUソフトウェアの構造

具体的には、過去の自律ビークル用に開発したECUプログラムの構造（図4）を再設計し、利用頻度の高い機能をデバイスドライバ化することで自律ビークルに適したSPFとなっている。また、デバイスドライバと同様にOSも過去のECUで動作実績のあるTOPPERS FI4カーネルを採用している。このように、本SPFは過去のECUソフトウェアを再設計した構成であるため、メモリサイズ、処理負荷などが従来のソフトウェアと同等となっている。このため、開発当初から安定したパフォーマンスで使うことができる信頼性の高いプラットフォームとなっている。

4 統合開発環境

本統合開発環境は、MathWorks社の制御モデル設計・検証ツールMatlab/Simulinkを独自に拡張したものであり、図5に示すように「ECUソフトウェアのモデリング」や「ECUソフトウェアのシミュレーション」や「ACGによる制御アプリの生成およびECUプラットフォームへの自動インテグレーション」などの処理が実行可能である。

本開発環境を用いることで、従来特に時間がかかった制御モデルに基づく制御アプリのプログラミングやインテグレーション作業が自動化される。その結果、ECUアプリケーションの開発時間を従来よりも劇的に短縮することが可能となった。

本開発環境の機能の詳細を以下に説明する。

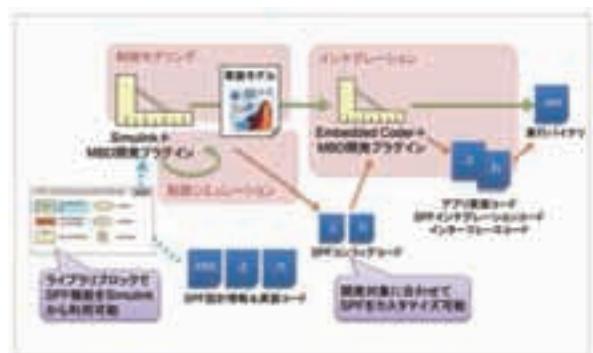


図5 統合開発環境による作業の流れ

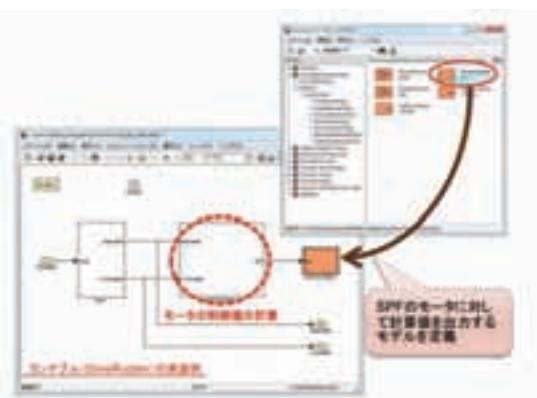
4-1. ECUソフトウェアのモデリング

統合開発環境は、ECUソフトウェアの設計（モデリング）機能を備えている。このモデリング機能は、Simulinkが備える制御モデルのモデリング機能を以下のように独自に拡張することで、SPFの機能を利用できる制御アプリの設計が可能となっている。

具体的には、①ソフトウェアの動作スケジューリング、②ECUプラットフォームによって提供される入出力機能（アクチュエータモータ、CAN通信など）を制御モデルから利用するための拡張ブロックライブラリを追加した（図6(a)参照）。この周辺機器入出力用の制御ブロックをアプリケーション処理のブロック線図上に配置するだけで、制御モデルはECU実装時にECUプラットフォームの機能が利用可能となる（図6(b)参照）。



(a) SPFブロックライブラリ



(b) SPFブロックライブラリの使い方

図6 モデリング機能

4-2. ECU ソフトウェアのシミュレーション

この統合開発環境は、シミュレーション機能 (SILS: Software in the Loop Simulation) も備えており、実 ECU への実装を行う以前にシミュレーションによる机上での動作確認を行うことができる。具体的には、モデル上に配置されたモード切り替えブロックをクリックすることで、モデリングモードと SILS モードの切り替えができる。SILS モード時には、SPF 用ライブラリブロックが SILS 検証用プラントモデルとの接続端子に自動的に置き換わる（図 7）。Simulink で開発した自律ビークルのプラントモデルやテストデータをこの外部接続端子に接続することで、机上で ECU ソフトウェアの動作確認やチューニングが Simulink 上で可能となる。

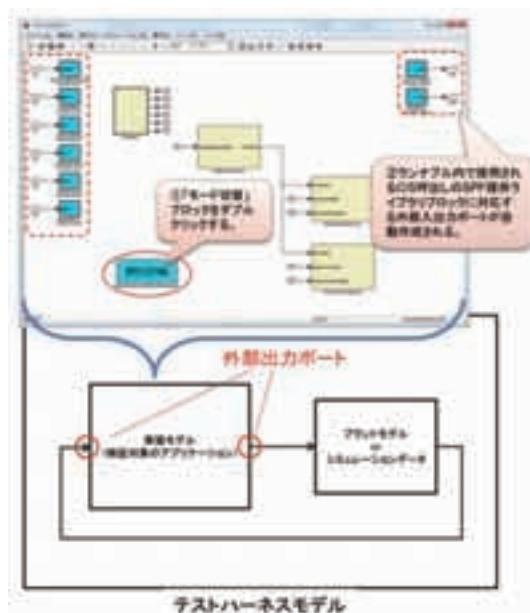
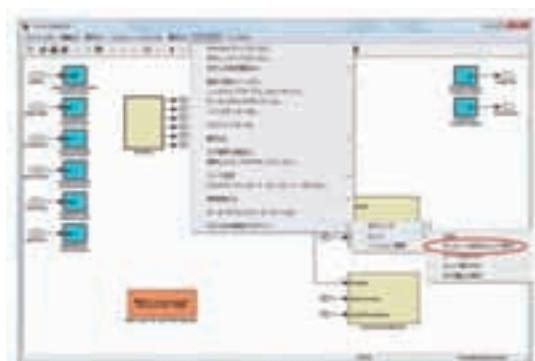


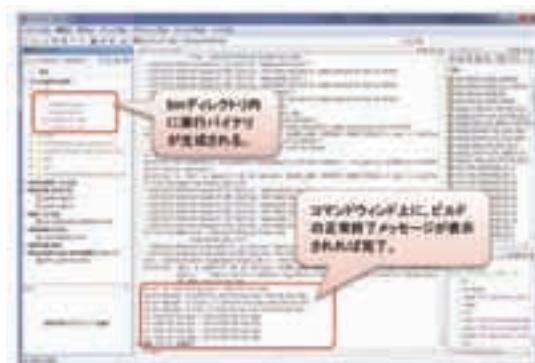
図7 SILSシミュレーション機能

スコードが自動的に生成される。その結果、相互に接続された ECU ソフトウェアとなり、最終的に実行バイナリファイルが生成される。この実行バイナリが ECU に転送されることで、直ちにソフトウェアの実機動作検証が可能となる。

この自動インテグレーション機能により、従来時間がかかった人の手によるプログラミング作業が不要となり、ECU ソフトウェアの短期開発ができるようになった。



(a) ビルドメニュー



(b) ビルド実行画面

4-3. ECU 実装（自動インテグレーション）

この統合開発環境は、自動インテグレーション機能も備えている。図 8 (a) に示すメニューからビルドを実行すると、図 8 (b) に示すように Simulink が備える ACG 機能と自動インテグレーション機能によって、制御モデルから ECU ソフトウェアの実行バイナリを生成するためのビルド処理が開始され、ただちに ECU での実機動作検証が可能となる。

具体的には、まず Simulink 上でモデリングされたアプリケーションは、Simulink が備える自動コード生成機能によって C 言語に変換される。変換された制御モデルと ECU のソフトウェアプラットフォームは、開発環境によって接続関係を解析された後、互いを接続するためのインターフェー

5 おわりに

本稿では、研究用自律ビークルの開発速度向上を目的とした ECU ソフトウェアの短期開発技術を紹介した。

具体的には、自律ビークル専用 ECU への制御モデルの自動インテグレーション技術によってソフトウェアの実装期間が大きく短縮されている。また、実 ECU 評価前にシミュレーション技術によって事前の机上評価を行うことで、実 ECU を使ったソフトウェアの評価期間も短縮されている。

今後の課題ではあるが、ハードウェアの故障など異常に対応できるソフトウェアの開発も求められる。例えば、ISO26262

などの機能安全規格に対応した OS を実装することで貢献できるのではと考えている。

■謝辞

本 ECU ソフトウェアの短期開発技術の共同開発において多大なご協力をいただいた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] 株式会社永和システムマネジメント ホームページ 「AUTOSAR RTE」<http://www.esm.co.jp/service/service/etec_service/artec_rte.html> (アクセス日 2014/11/12)

■著者



藤井 北斗

Hokuto Fujii

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

水系電極スラリーを用いたリチウムイオン 二次電池セルの開発

Development of Lithium-ion Secondary Battery Cell using Water-based Electrode Slurry

近藤光央 大西範幸

Abstract

In recent years, electrification has been implemented in a wide range of vehicles due to aspects such as reducing the environmental impact and energy-related issues of the future. In the midst of this phenomenon, lithium-ion secondary batteries have been gaining attention thanks to their compact size and lighter weight.

Figure 1 shows the principle of a lithium-ion battery where lithium cobalt oxide (LiCoO_2) is used as the positive electrode, and graphite (C) as the negative electrode. Lithium-ion batteries can charge and discharge when lithium ions move between cathode and anode.

Currently, the mainstream method is to use organic solvent for the cathode slurry (= coating) of lithium-ion secondary batteries, where polyvinylidene difluoride (hereinafter PVdF) is used as the binder to bond the materials, and N-Methyl-2-pyrrolidone (hereinafter NMP) is used as the solvent. With the anode, on the other hand, it is standard to use styrene-butadiene rubber (hereinafter SBR) – which is a water-based dispersion type binder – and to use water slurry as the solvent. The industrial use of NMP has been restricted in a variety of ways, and there is thus a need for a cathode manufacturing process that has less environmental impact. At Yamaha Motor we devised a method where the water-based dispersion type binder and water (hereinafter water-based slurry) are used as the binder-solvent for the cathode slurry instead of PVdF-NMP. As a result, we have achieved a lithium-ion secondary battery cell with ultra-low heat generation not seen previously, that has low environmental impact during the manufacturing process.

1 はじめに

近年、環境負荷の低減、将来のエネルギー問題等を背景として、様々な車両で電動化が進んでおり、使用するバッテリには小型・軽量なことから、リチウムイオン二次電池が注目されている。

図1に正極活物質としてコバルト酸リチウム (LiCoO_2)、負極活物質としてグラファイト (C) を用いたリチウムイオン電池の原理図を示す。リチウムイオン電池は、正極と負極の間をリチウムイオンが移動することで充電と放電を行うことができる。

現在、リチウムイオン二次電池の正極スラリー (=塗工液) は、有機溶媒を用いるものが主流となっており、材料を結着させるバインダとしてポリフッ化ビニリデン（以下、PVdF）、溶媒としてN-メチル-2-ピロリドン（以下、NMP）が用いられる。一方、負極については水系分散型バインダであるステレン-ブタジエンゴム（以下、SBR）、および溶媒として水を用いたスラリーが主流となっている。そのような中で、NMPの工業的な利用はさまざまな形で制限されてきているため、環境負荷の少ない正極製造工程が求められている。当社では正極スラリーのバインダ・溶媒として、従来の PVdF-NMP 系ではなく水系分散型バインダと水（以下、水系スラリー）を用いる手法を検討した。その結果、従来にない超低発熱という特性を持つ、製造上の環境負荷が少ないリチウムイオン二次電池セルを実現させた。

2 開発のねらい

新規にリチウムイオン二次電池セルを開発するにあたり、下記3点を目標とした。達成手段として、水系スラリーを用いた電極の仕様検討を行った。

- ① 製造時の環境負荷を小さくする
- ② 製造コストを削減する
- ③ 従来方式 (PVdF-NMP系スラリー) と比較し同等以上の性能を確保する。

3 水系スラリーを用いた正極の特徴

3-1. 環境負荷の低減

正極スラリーの溶媒として通常用いられるNMPの排出濃度は、表1のように管理されている^[1]。法規制上のVOC排出濃度は80ppm以下であるが、最も厳しい日本産業衛生学会の勧告値では1ppm以下となっている。また、NMPには生殖毒性の報告があるため、排出規制がさらに厳しくなることが予想される。

以上のことから環境負荷の少ない正極製造方法として、スラリーの溶媒にNMPではなく水を用いる検討を行った。

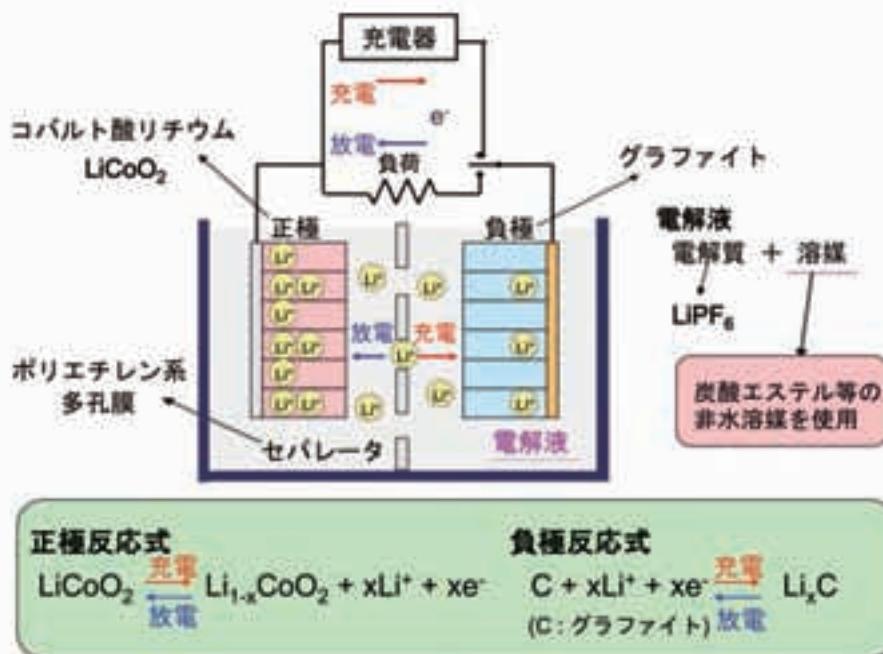


図1 リチウムイオン電池の原理図

表1 溶剤の許容濃度・VOC排出基準値等の比較^[1]

物質名	原生分類者 許容濃度		日本建築衛生学会 勧告値 mg/m³	ACGIH TLV ppm	VOC排出基準 ppm
	ppm	ppm			
N-メタル-2-ピロリドン (NMP)		1	4		80
塩化メタレン	50	50	170	50	400
トリクロロエチレン	25	25	135	10	200
トリメチルベンゼン	25	25	120	25	44
キヘキサン	40	40	140	50	66

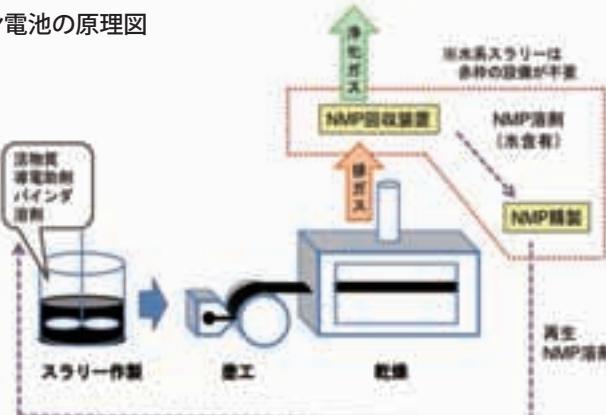


図2 電極製造工程の概略図

3-2. 製造コストの削減

電動車両原価において電池のコストが大きな割合を占めるため、電池のコストダウンが重要である。電極製造工程において製造上必須である溶媒にNMPを用いる場合、塗工～乾燥時に気化したNMPガスの回収装置、回収したNMPの精製が必要となる(図2)。その一方で、溶媒に水を用いた場合は、NMP回収装置の設備投資費やランニングコスト、回収したNMPの精製費が不要となることに加えて、非防爆仕様の電極製造設備となり、設備投資費が大幅に抑えられる。

このことからケースバイケースではあるが、電極製造時の溶媒を水にすることで10%以上のセル製造コストの削減が見込める。

3-3. 水系スラリー電極製造上の課題

従来のPVdF-NMP系スラリーを用いた正極と比較し、水系スラリーを用いた正極は電池の充放電性能、耐久性に優れるという報告がある^{[2][3]}。環境面、性能面、コスト面で優れるとされる水系スラリーが正極において普及しない理由として、電極製造工程での技術難易度が高いことが考えられる。電極は、活性物質、導電助剤、バインダ、溶媒からなるスラリーを塗工・乾燥することで形成されており、含有される導電助剤には、比表面積の大きい無定形炭素が用いられる。これらの炭素材料は、一般的に疎水性を持つため水中への均一な分散が難しく、製膜の難易度を高くする一因となっている。一方、PVdF-NMP系スラリーは、疎水性同士という意味で技術的難易度が低いものの、VOC規制など環境衛生上の問題がある。

4 水系スラリーでの正極作製結果

当社では、水系スラリーにマッチするよう電極製造工程を最適化した。図3に水系スラリー、図4にPVdF-NMP系スラリーを用いた正極のSEM像を示す。水系スラリーでも従来のPVdF-NMP系スラリーと同等以上の材料の分散状態が得られることが確認できた。

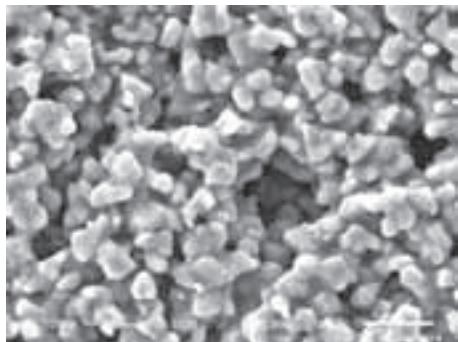


図3 水系スラリーを用いた正極のSEM像

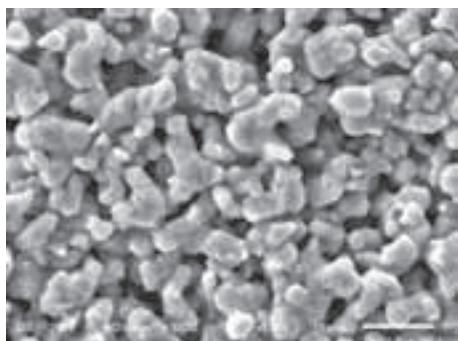


図4 PVdF-NMP系スラリーを用いた正極のSEM像

次に上記電極について実用に近い評価を実施するため、数Ah級のラミネートセルを作製し、評価を行った。

5 電池特性の評価結果

水系スラリーを用いた正極とPVdF-NMP系スラリーを用いた正極の電池特性を比較するため、正極活物質と導電助剤は同一で、バインダと溶剤のみが異なる正極を作製した。これらの正極を用いてラミネートセルを作製し、充放電特性評価を行った。なお、負極やその他部材は同一のものを用いた。

図5に25°C環境、図6に0°C環境での放電特性を示す。従来方式の正極にPVdF-NMP系スラリーを用いたセルよりも、赤線で示す水系スラリーを用いたセルの方が高い放電特性を示した。特に0°C環境での放電特性には大きな差が見られ、水系スラリーの優位性が確認できた。

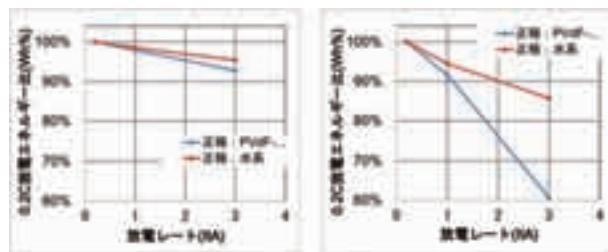


図5 25°C環境での放電特性の比較

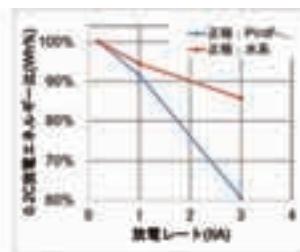


図6 0°C環境での放電特性の比較

図7に45°C環境3ItA放電での特性を示す。従来方式の正極にPVdF-NMP系スラリーを用いたセルでは、放電終了時に $\Delta T=6^{\circ}\text{C}$ の温度上昇となった。一方、水系スラリーを用いたセルの温度上昇は $\Delta T=3^{\circ}\text{C}$ となった。水系スラリーを用いる方が、温度上昇の小さい優れたセルであることが確認できた。

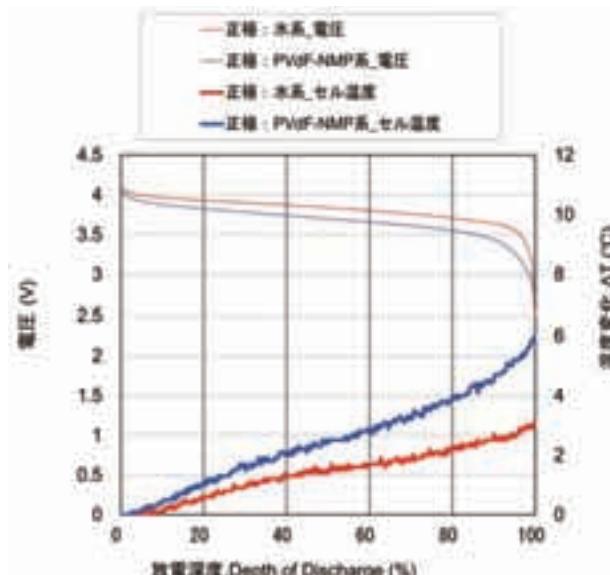


図7 45°C環境 3ItA放電特性の比較

この結果より、正極にPVdF-NMP系スラリーを用いたセルと比較すると、水系スラリーを用いたセルの抵抗は約1/2であり、非常に抵抗が低くなったことがわかる。また、ジュールの法則から、発生する熱エネルギーは下式で計算できる。

$$\text{発熱量 } Q[\text{J}] = \text{抵抗 } R[\Omega] \times \text{電流 } I[\text{A}] \times \text{電流 } I[\text{A}] \times \text{時間 } t[\text{sec}]$$

評価した2種類のセルの電流容量[Ah]と評価した電流値[A]は同じである。つまり、上式における電流Iと時間tは等しく、抵抗Rがセルによって異なっている。正極に水系スラリーを用いたセルは、抵抗Rが従来方式の約1/2であるから発熱量Qも約1/2と見積もられる。従って、図7に示した評価結果を裏付ける計算結果が得られた。

また、図8に45°C環境での充放電サイクル試験の結果

を示す。正極に水系スラリーを用いたセルは高い容量維持率を示し、耐久性能は従来の PVdF-NMP 系スラリーを用いたセルと同等以上であることが確認できた。

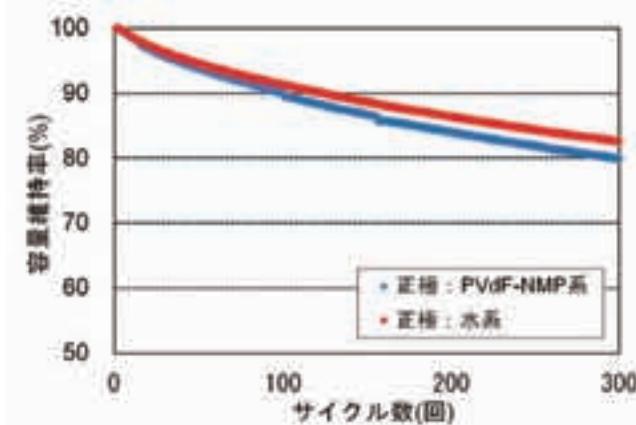


図8 45°C環境 充放電サイクル特性の比較
(充電1ltA-放電1ltA)

[4] 近藤光央, 大西範幸, 高木栄好, 中村仁, 第 53 回電池討論会予稿集, 3C02(2012)

[5] 大西範幸, 近藤光央, 高木栄好, 張勍, 中村仁, 第 54 回電池討論会予稿集, 1B20(2013)

■著者



近藤 光央

Mitsuo Kondo

技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部



大西 範幸

Noriyuki Ohnishi

技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部

6 おわりに

今回、正極スラリーのバインダ - 溶媒として従来の PVdF-NMP 系ではなく、水系スラリーを用いる手法を検討した。その結果、正極・負極とも水系スラリーを用いた製造上の環境負荷が少ないリチウムイオン二次電池セルを開発できた。また、充放電特性も従来技術と同等以上の特性が得られたことに加えて、従来技術にはない超低発熱という優れた特性が得られた。

電池パックを車載する場合、搭載スペースに制約があることから小型・軽量なことが望まれるが、発熱量が大きいセルを用いた場合は、電池パックの内部に複雑な冷却機構が必要になるため、電池パックが大型化し体積・重量面で不利になる。一方、今回開発した超低発熱セルを電池パックに用いると、冷却機構を簡素化できる可能性が高く、電池パックが小型・軽量になることに加え、冷却機構に関する部品点数を削減できるため低コスト化にも貢献できると考えられる。

今後も高性能かつ低製造コストを実現するセルの研究を続け、環境・性能面において、多くのお客様に喜んでいただける商品の開発に繋げていきたいと考えている。

■参考文献

- [1] クロロカーボン衛生協会通信, 第 4 号 (2008)
- [2] 巨勢丈祐, 関満, 岩谷真男, 第 52 回電池討論会予稿集, 2E22(2011)
- [3] 鈴木智統, 安部英俊, 江黒高志, 金村聖志, 獨古薰, 斎藤光正, 第 50 回電池討論会予稿集, 2B20(2009)

北郷 博成 鈴木 幸人

Abstract

In recent years, motorcycle and automotive engines are becoming more compact and high performance due to downsizing in order to improve fuel efficiency and respond to environmental concerns. For this reason, iron forging components must be made more lightweight and compact while being stronger. In addition, its material cost must be reduced by creating forging mold technology that are as close to the completed component as possible (hereinafter near net shape).

Yamaha Motor Engineering Co., Ltd. is carrying out development of a die set mold which compensates for the process accuracy of a forging mold while retaining the metal mold by utilizing a sheet metal press molding technology. In this instance, we have developed a compact die set where near net shape components for motorcycles can be forged using standard press machines. This enabled the expansion of the manufacturing process globally whilst controlling equipment investment.

1 はじめに

近年、燃費向上や環境への配慮からモーターサイクルや自動車用エンジンでダウンサイジング化に伴う小型軽量化と高機能化が進められている。そのため、エンジン部品を構成する鉄物鍛造部品に関しても、完成品に近い素材形状（以下、ニアネットシェイプ）により材料費を低減しつつ軽量コンパクトかつ高強度化することが求められている。そして、そのニーズを具現化するための鍛造金型技術の向上も必要不可欠となっている。

ヤマハモーターエンジニアリング（株）（以下、当社）では、板金プレス技術をベースとした金型技術を活用して、鍛造金型についても成形金型を保持しながら加工精度を補完するダイセット金型の開発を行っている。

今回、モーターサイクルで使用されるニアネットシェイプ鍛造品を標準的なプレス機で鍛造加工できるコンパクトなダイセットを開発した。その結果、設備投資を抑制したグローバルな工法展開が可能となった。

2 開発の狙い

製品形状に近い複雑な鍛造部品を成形するには、金型を閉じた状態で材料を分流して充填させる閉塞機構と材料が上側に延びる動きを制御する背圧機構が必要となる。そのため、従来のダイセットでは高さが 1000 mmにも達してしまい（図 1）、充分なダイセット取り付け高さ（以下、ダイハイド）をもつ特殊なプレス機が必要となっていた。

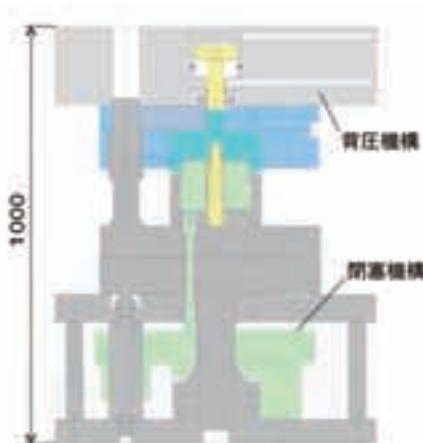


図1 鍛造用閉塞ダイセット

そこで、現行のダイセットに対し、基本性能は保持しつつ標準的なプレス機のダイハイドに納まるようダイセットを含めた全体のダウンサイジング化（現行比▲40%）に取り組んだ（図 2）。

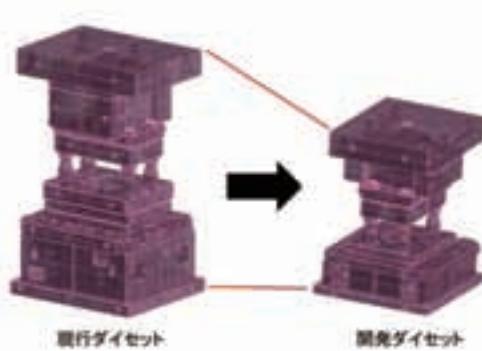


図2 ダイセットのダウンサイジング化

3 開発の取組み

ダイセットの大幅なコンパクト化のため、開発を3つのユニットに分けて実施した。

3-1. 上部背圧ユニット部

上部ユニットは、プレス機の荷重を伝える上部スライド部とピストンを内蔵し鍛造成形時にプレス荷重とは別の荷重を与える油圧式背圧部で構成される。

従来と同等のピストンストロークと荷重を要求されるため、油圧シール部とピストン受圧部を一つの構造にすることでコンパクト化を実現した（図3）。

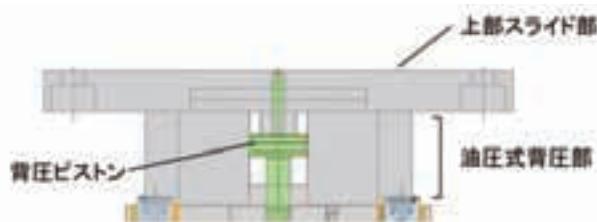


図3 上部背圧ユニット

3-2. サブダイセット部

成形金型をセットし、段取り交換を行なうためのサブダイセット部は、4本のガイド支柱で案内された上下プレートで構成されている。

従来は、軸部品のような長い部品も成形できるように上下型の空間を広めに設定していたが、歯車系の部品専用として高さを抑えるとともに、上下プレートを一体化し薄肉化することによりコンパクト化を実現した（図4）。

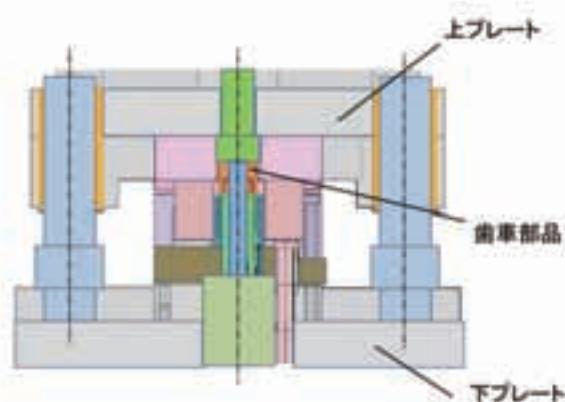


図4 サブダイセット部

3-3. 下部閉塞ユニット部

上下型を閉じるための閉塞力を与える機構は、下部ユニット内に複数配置されたガスクッションと閉塞力を伝える閉塞プレートにて構成されている（図5）。その中でもガスクッションのレイアウトは、本開発の重要な項目であり、コンパクトにするための大きな課題となった。

本ダイセットでは、目標のサイズに収めるため、プレート内にガスクッションを埋め込む構造とした。また、プレスベッド面を保護しているボルスタプレートを取り外し、閉塞ユニット部と一体化することで全体の高さを抑えるとともに、懸念されるプレスベッド面への負荷を現行ダイセットと同等レベルになるように内部に取り付ける金型の形状を見直した。

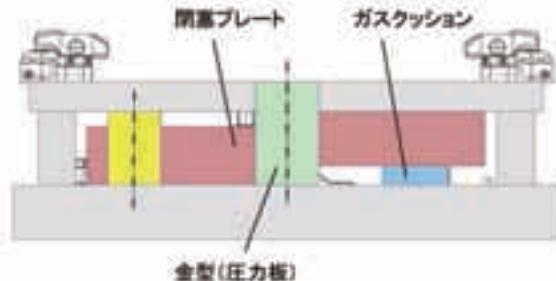


図5 下部閉塞ユニット部

以上の3つのユニットの開発によって、当初狙っていた現行比▲40%のコンパクト化を達成することができた。

4 開発のポイント

4-1. コンパクト化に伴う強度検証

当社では、板金プレス金型設計にて培った金型の強度設計プロセスをベースに、鍛造ダイセットの設計も行っている。

本ダイセット開発においては、開発の初期段階からコンパクト化に伴う各部の強度解析を実施し、現行ダイセットとの比較検証を行いながら、解析結果の妥当性を検証してきた（図6）。

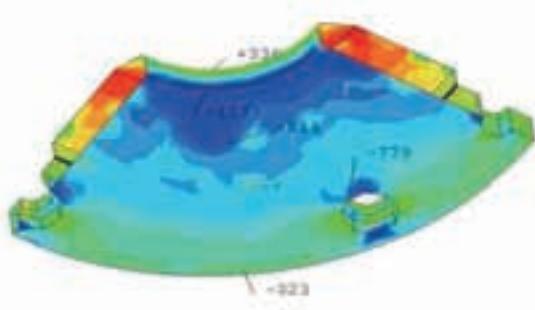


図6 プレート強度解析

4-2. 閉塞プレートの剛性アップ対策

鍛造金型の寿命において、曲げによる引張り応力の軽減対策は重要なポイントである。基本的には、全ての部分を圧縮応力場に置くのが良いが、金型構造上どうしても曲げがかかってしまう型構造となる場合がある。

本ダイセットにおいては、閉塞力を伝える閉塞プレートのコンパクト化に伴い、薄肉で複雑な型構造になったため、閉塞プレートに大きな曲げが発生し、それによる引張り応力が問題となつた。

対策として、上部ダイセット、サブダイセットの各プレートを $1/10\text{mm}$ 単位で薄肉化することで閉塞プレートを増肉化し剛性アップを図るとともに、荷重を受けるガスケットの位置を型構造の許す限り中心側に配置（図7）することで、曲げ剛性を向上させた。また、プレートの材料に関しても、材質・熱処理等を見直し強度アップを図った。

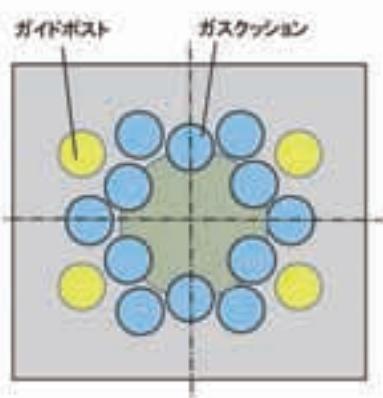


図7 ガスクッション配置図

4-3. コンパクトダイセットの耐久評価

本ダイセットの開発においては、実際のプレス機を用いた10,000個の鍛造加工により、品質および耐久性の評価を実施した。

耐久評価にあたっては、各部の変位および応力をモニタリング（図8）しながら定量値化を図るとともに、机上解析値との比較検証を行つた。従来のダイセット寿命は、100万ショット以上で設定されており、1万ショットの耐久評価では保証できない面があるが、解析値と実測の値を組み合わせることで1万ショットでの耐久評価にて型寿命保証ができるプロセスを構築することができた。

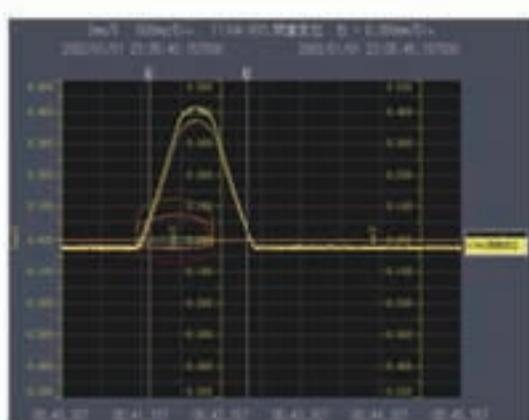


図8 耐久評価でのモニタリング

4-4. 段取り性およびメンテナンス性

鍛造加工は生産効率の良い加工法であるため、無価値時間となる段取り性については重要な開発項目となる。本ダイセットでは、上部ユニットと下部ユニットをそれぞれプレス機本体に常時固定し、サブダイセット部を機種ごとに交換する外段取り方式をとつた。コンパクト化に伴い、重量を現行比約30%削減することで、型交換時の取り扱い性を向上させるとともに、成形金型交換時の作業者の負担を減らす効果も得られた。

メンテナンス性については、従来のダイセットが外部配管方式であるのに対し、プレート内部配管構造にすることでメンテナンスフリーとなっており、油やガス漏れ等のトラブルを解消することができている。

5 今後の展開

今回開発したグローバル標準機用コンパクト閉塞ダイセット（図9）は、2014年3月にベトナムの拠点へ導入し、現地生産機種のコストダウンおよび技術力向上に寄与している。今後は量産の中で改良を加えながら、ニアネットシェイプ鍛造技術とともに各海外拠点に展開していく予定である。

また、今回得られた経験を基にダイセットに新たなる機能を追加し、新しい付加価値を低コストで生み出す金型システムの開発を進めていく。

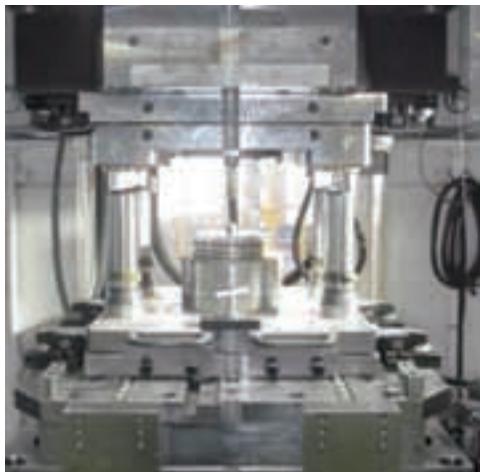


図9 コンパクト閉塞ダイセット外観

6 おわりに

本ダイセットの開発は、これまで鍛造領域では耐久性の観点から避けられてきたダウンサイジング化に取り組む大きな挑戦となった。従来のダイセットに設定された設計上の安全率をギリギリまで見直す作業は、耐久評価も含め困難を極めたが、板金プレス金型技術で培った経験も取り入れながら当初の狙い通りのコンパクトなダイセットに仕上がった。

今後、ヤマハ発動機の新たな海外展開に合わせ、設備投資を抑制した生産工法の展開がますます重要となってくる。当社は、従来形の設備・金型のコストダウンだけではなく、新たな付加価値を創り出し、製品のコストと魅力を両方得られる生産技術を本開発で培った経験を活かしながら迅速に提供していく所存である。

■著者



北郷 博成
Hironari Hongo

ヤマハモーター
エンジニアリング株式会社
生産技術部

鈴木 幸人
Yukihito Suzuki

ヤマハモーター
エンジニアリング株式会社
生産技術部



Abstract

The market demand for motorcycles in Vietnam reached approximately 2,800,000 units 2013, with the scooters (including AT commuters) becoming around 40% of the market or 1,100,000 units. Yamaha Motor has gained traction in the scooter market in Vietnam with such models as the 102cc Cuxi, 113cc Nozza, and the 125cc Luvias.

To allow even further traction in Vietnam, we now have a new model that combines the development of a next generation engine, the air cooled four stroke 125cc FI CVT engine, that blends excellent ride-ability, fuel economy and environmental performance, with a body equipped with front/rear 12 inch wheels and an attractive, sophisticated design.

1 はじめに

ベトナム二輪市場は、2013年には約280万台の需要があり、この中でスクータ（ATコミュータを含む）市場は約4割にあたる110万台規模で推移している。当社は、このベトナムスクータ市場に、102ccのCuxi、113ccのNozza、125ccのLuvias等を投入し市場を牽引してきた。

本モデルは、優れた走行性能、燃費性能、環境性能を調和させる次世代エンジンとして開発された空冷4ストローク125cc・FIのCVTエンジンを、前後12インチホイールの洗練された造形美に優れたボディに搭載したベトナムスクータ市場の新たな牽引役となるモデルである。

2 開発の背景・狙い

急速な経済成長を背景に多様化する若い女性のニーズに応えるべく、22~28歳の働く女性をメインターゲットに設定し、都会にマッチしたファッショナブルな外観と“扱い易さ”、“機能”を併せもった都市型スクータとして、下記3項目を本モデルの主な狙いとして開発した。

- ① 新世代エンジンの採用による低燃費と良好な加速性能
- ② 街中で十分な存在感を伝えるデザイン・車格と、扱い易さ・快適性の最適なバランス
- ③ 日常用途でかゆいところに手が届く便利な親切設計

3 技術の解説

3-1. エンジン関連課題

新世代低燃費エンジンは技術本部の先行開発成果を引き継いで開発を進めたが、商品化においては以下の課題に取り組んだ。

- ・出力・燃費のバランスに優れた燃焼効率改善、ロス馬力低減、駆動系のセッティング
- ・低いアイドリングと常用回転の低さによる静肅性と低振動

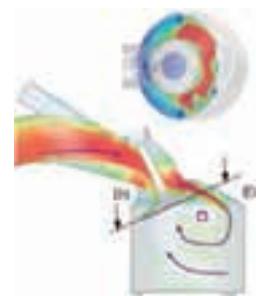


図2 吸気流速シミュレーション

3-1-1. 高効率エンジン

燃料を効率的に動力に変換するために、①低ロス化、②高圧縮比 ($\epsilon = 11$) 採用、③燃焼速度の最適化の3項目を実施した。

① 低ロス化

オフセットクランクの採用、ピストンリング低張力化、強制空冷ファンの効率アップ、カム軸 BRG の追加等を行うことで、ポンピングロスを除いた機械ロスにおいて当社従来機種比▲18%を達成した(図1)。

② 高圧縮比化

$\epsilon = 11$ とし、従来モデル $\epsilon = 9.3$ に対して熱効率を向上させた。ただし、空冷エンジンでの圧縮比向上は、冷却性能の向上とセットで採用する必要があった。その内容は後述する。

③ 燃焼速度の最適化

ポート径を性能確保に必要な最小限まで絞り、吸気流速を上げた上で、大径バルブを採用してタンブル流を強め、燃焼速度を向上させた。また、燃焼室形状についても、シミュレーション(図2)と実機試験を併用することで最適な燃焼速度となる形状を実現した。

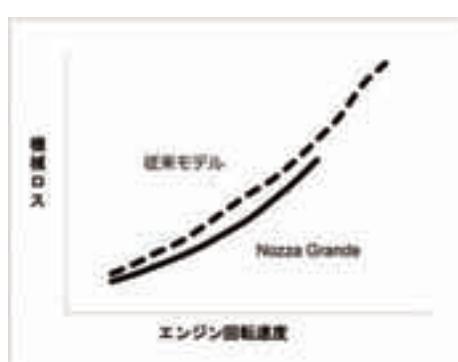


図1 機械ロス比較

3-1-2. 低回転領域の使用

燃費を向上させる手法として、常用エンジン回転速度領域の低回転化は、CVTの伝達効率の向上とメカニカルロスの低減の面から、有効な手段である一方で、爆発間隔が広がることによる低速時における体感振動の悪化が問題となるため、本モデルでは燃費と体感振動を両立させるべく、常用エンジンの回転速度域を最適化した。低回転化を実現するため、以下の2項目を実施した。

① 出力特性の低回転化

常用エンジンの回転速度域を低回転化しても、十分な走行性能を得るために、従来モデルに対して出力ピーク回転数を 1000min^{-1} 低い 6500min^{-1} とする一方、最大軸トルクは $9.7\text{N}\cdot\text{m}$ と高く設定した(図3)。

② CVT セッティング

低い常用エンジンの回転速度域で効率が最大となるよう、CVTを最適化した。また、クラッチサイズを従来モデルに対して大きく設定し、低回転化による負荷増大に対応した。

なお、低回転化により、燃費の向上だけでなく、エンジンの回転慣性力による振動の低減、排気音および機械雑音の低下も併せて実現し、次世代と呼ぶに相応しい品質感の高い乗り味を得ることができた。

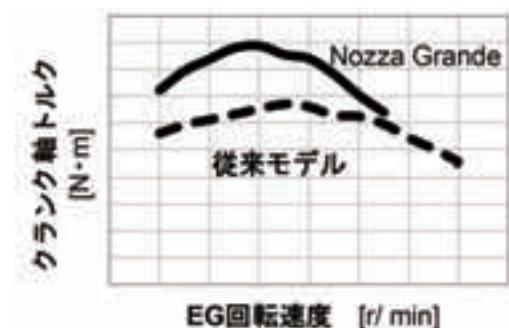


図3 EG回転速度 - クランク軸トルク

3-1-3. 冷却性の向上

高圧縮比を採用するためには、発生熱量の増大に起因する機能信頼性の確保やノッキング対策として、十分に冷却を行う必要がある。このため本モデルでは、熱・空気流れシミュレーション（図 4）や先進铸造技術の活用等によって、

1. 送風ファンの形状見直しによる効率アップ
2. 冷却風通路形状最適化による送風ロスの低減
3. ヘッドシリンダ、ボディシリンダのフィン薄肉化による放熱面積の増大を実現

を行うことで、ロス馬力が少なく効率の良い強制空冷システムを得ることができた。

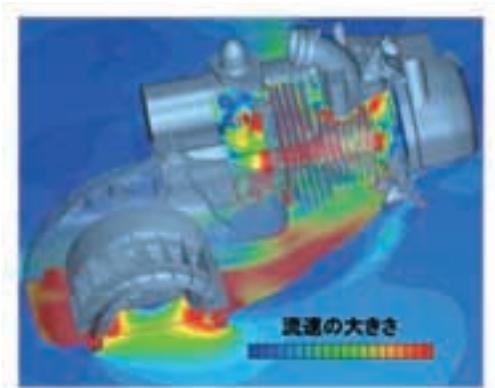


図 4 冷却空気流れシミュレーション

3-2. 車体関連課題

車体開発では以下の課題に取り組んだ。

- ・ 新設計フレームレイアウトにより、ルーミーな乗車空間と大容量のシート下トランクの確保
- ・ クラス最軽量の装備重量と高剛性フレームにより、軽快で快適な乗り心地と優れた取回し
- ・ BOX 内 LED 照明、ボタン式オープナ等のフィーチャーによる日常用途での優れた利便性

3-2-1. 剛性バランスに優れた軽量フレーム（図 5）

フレーム形状は左右非対称とし、右側シートレールに重量当たりの断面性能に優れる 54 mm 大径パイプを採用することで、軽量で剛性バランスに優れたフレームとすることができた。

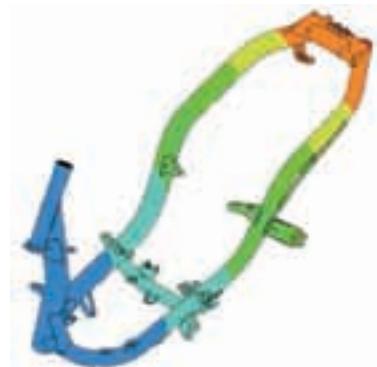


図 5 フレーム形状

3-2-2. 軽快なハンドリングを支えるディメンション設定

軸間距離は直進性を考慮し 1,280 mm に、トレール値は小回りでの軽快さを考慮し 74 mm とした。部品は全てグラム単位で検証や詰めを行って軽量化し、99kg（装備重量）という軽いボディを実現した。

3-2-3. 乗り心地を支える前後サスペンションとシート

シートについて、太もものあたる部分の形状を最適化して足つき性を向上させるとともに、シート前後長を 640 mm に設定して優れたタンデム居住性を確保した。このシートと余裕のストロークを備えるフロントサスペンション / リアサスペンションとで軽快なハンドリングと快適な乗り心地を実現した。

3-2-4. 新コンパウンド 110mm 幅 12 インチタイヤ

前後タイヤに新開発のコンパウンドを採用し、駆動ロス（転がり抵抗）を抑える低燃費化と良好なグリップ性、耐摩耗性を両立させた。

3-2-5. その他の親切設計

- ・ プッシュオープン式タンデムフットレスト（図 6）
収納時の車幅を抑えつつ、展開時のフットレスト天面スペースの面積を確保するため、ヒンジ角度を斜めに設けてガルウイング風な動きとなるよう設定することで、快適な押し歩き性とタンデム居住性を確保した。
- ・ LED 照明付の大容量シート下トランク（図 7）
シート下トランクは、ジェット型とハーフ型のヘルメットが同時収納可能な 27 ℥ 大容量とし、暗い場所での荷物チェックへ配慮した LED 照明を装備した。

- LED ポジションランプ、LED テールライト（図 8）
ポジションランプとテールライトには LED を採用し、内部に導光パーツを配置することで、被視認性と高級感を演出したデザインとを両立した。
- デジタルメータ（図 9）
見やすい白色 LED 照明のアナログ式速度計と、走行距離表示、燃費計や時刻表示を備える LCD メータを装備した。



図9 アナログ-デジタル併用メータ



図6 タンデムフットレスト



図7 LED照明付シート下トランク



図8 導光パーツ採用テールライト

4 おわりに

本モデルは 2014 年 8 月よりベトナムで生産を開始し、9 月からはタイでも生産を開始した。現在両国の多くのお客様にお使いいただき、洗練されたデザインと低燃費、日常用途での快適な使い勝手により当初の狙い通りの好評を得ている。今後もスクータ市場を牽引し続けるモデルとなるよう、お客様の声を真摯に聴き、さらなる熟成を進めていく。

■著者



岡本 直紀
Naoki Okamoto
MC事業本部
PF車両ユニット
PF車両開発統括部



村上 豊
Yutaka Murakami
MC事業本部
PFエンジンユニット
PFエンジン開発統括部



藤原 祐
Yuu Fujiwara
MC事業本部
PF車両ユニット
PF車両開発統括部



YZF-R1

YZF-R1M

Abstract

It was 1998 when the first YZF-R1 was released. Powered by a high-output engine housed in a compact frame, it was developed based on the concept of being “the fastest on secondary roads.” 17 years on, the 2015 YZF-R1 has been completely refreshed. This eighth-generation model will take on the circuits – it will become a “vehicle to dominate the competition.”

1 はじめに

コンパクトな車両にハイパワーエンジンを搭載し「セカンドリーロード最速」をコンセプトとした初代 YZF-R1 が誕生したのは 1998 年である。あれから 17 年、3 度目のフルモデルチェンジを受けた 2015 年型 YZF-R1（以下、本モデル）は、主戦場をサーキットとし「競争で勝つための車」として完全に刷新された。

2 開発のねらい

最高出力クラス No.1、クラス最軽量ボディを根幹とし、ハードブレーキングを伴うコーナの進入で、ライバルよりも前に出られる特性とハンドリングの自由度を持ち合わせ、コーナの脱出においてライバルよりも早いタイミングでスロットルを開けることができる車両を目指した。

基本的な作り込みは従来どおりヤマハテストコースで実施したが、パフォーマンスの成熟度確認はスポーツランド SUGO を主としたサーキットで実施した。

3 開発の取り組み

3-1. デザイン

本モデルは、新たに設定されたヤマハデザインフィロソフィ「Art & Alive」のもと、次世代 R シリーズを牽引するデザインを目指した。デザインコンセプトを、「The Speed Racer」とし、スピードを形で表現することを徹底的に追及した。その中で重要視した点は①コーナリングで速そうに見える。②一目で Wow! と言われる新規性。③顔とテールでヤマハの独自性を表現する。の 3 点である。

デザイン開発工程の中では、デザインディレクタとデザイナーとの事前議論をはじめ、いくつものアイデア展開を行い、世界中の関係者との議論に加え、新たな試みとして CG やムービーを使った定性・定量的な調査手法によるデザイン検証の実施等、今までの取り組みとは違う手法を多く取り入れ、ヤマハが伝えたいメッセージを最も表現したデザインを作り上げた。

モノづくり工程においては、3D イメージモデルを製作することにより、デザインで達成すべき目標をより明確にプロジェクトメンバーと共有した結果、イメージモデルと見た目の印象がほぼ同等の量産車両を作り上げることができた。

また、デザインと性能を両立させるために早期から設計・

実験等の開発部門と密に連携をとった。その結果、側面投影面積最小シルエット(ミニマムカウル・コンパクトシェイプ)や空力に優れたレイヤ構造サイドパネル、YZR-M1を想起させるフェイス周り(ヒデウンアイヘッドライトやエアインテーク)、コーナリング出口で支えが効き、トラクションを得やすい幅の広いシート等マシンの性能を向上させる技術や今までに無いデザインを具現化することができた。

次にカラーリングであるが、ヤマハレーシングイメージを象徴するブルー仕様においては、レーシングブルーとシルバーとのコンビネーションを採用し新世代感を打ち出した。ハイテク感を表現するブラック仕様では新表現として、赤のアルマイティディスクブレーキやリムグラフィック等を採用した。また、ヤマハらしいインパクトを狙ったレッド／ホワイト仕様も用意した。

さらにYZF-R1M(以下、M仕様)では日本から発信する技術の象徴として、カーボン素地を大胆に見せる手法やアルミ素地を活かした仕上げのタンクおよびスイングアームに加え、新色の金属調シルバーを採用するなど従来のプロダクションには無い技術にチャレンジした。

なお、今回のプロジェクトをきっかけにRシリーズ総ての口ゴを刷新した。

3-2. エンジン

サーフィットでの“競争で勝つ”ため、現行モデルに対して大幅な出力向上と軽量化を狙ったクロスプレーン型クランクシャフト搭載水冷4ストローク直列4気筒エンジン(CP4)を新作した(図1)。モトGPを主とするレーシングマシンのノウハウを取り入れ、先行開発による最新技術を取り込んだ。



図1 エンジン外観

3-2-1. 出力向上

最高出力回転数アップと図示平均有効圧力(IMEP)の増加、および後述するロス馬力低減により出力向上を図った。最高出力回転数は現行モデルに対し $1,000\text{min}^{-1}$ 引き上げた。IMEP増加の具体的施策として、圧縮比を現行の12.7から13.0とし、吸気バルブ径を $\phi 31$ から $\phi 33$ とした。さらに吸気ポートのバルブシート内側に斜め加工を施し、吸入空気量の確保と筒内流動の強化を両立した。また、筒内流動の強化に加え燃焼室形状の見直しにより燃焼を改善した。バルブレイアウトおよび平均ピストンスピードを考慮し、ボア $\phi 79$ 、ストローク50.9mmとした。バルブタイミングおよび吸気の等価管長の最適化による慣性過給の活用、排気圧力の低減等の施策を織り込み、最高出力はクラスNo.1の147.1kWを達成した。

3-2-2. ロス馬力低減

クランクシャフトのジャーナル軸受けからのオイルリーク量を減らし攪拌ロスを低減するため、大端給油方式にセンター給油方式を採用した。また、オイルパンを深底化し油面を下げることで、ピストン往復運動によるポンピングロスと回転物接触による攪拌ロスを同時に低減した。ピストンリング張力低減等のメカニカルロス低減策と併せ、現行モデル比でロス馬力を16%低減した(図2)。

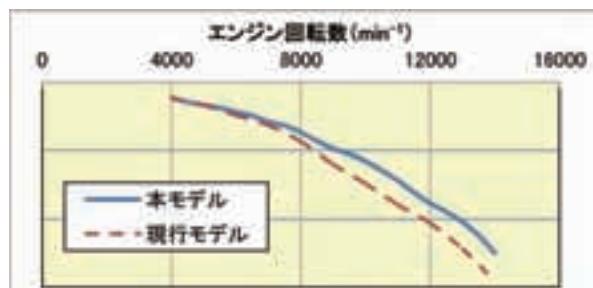


図2 ロス馬力比較

3-2-3. FSチタンコンロッド

軽量化と高回転化に対応するため、FS(Fracture Splitting)チタンコンロッドを採用した(図3)。強度と生産性を両立するため、 $\alpha - \beta$ チタン合金を採用し世界初となるFS化を実現した。小端内径はCrN処理を施すことで、ブッシュレスとしている。チタン化により現行モデルの鋼製に対し4本で270gの軽量化を実現した。コンロッドの軽量化によりクランクシャフトの軽量化も可能となる。慣性モーメントの変更を含め、現行モデルに対しクランクシャフト単体で1,006gの軽量化を実現した。



図3 FSチタンコンロッド

3-2-4. 動弁系

必要なバルブリフトを確保した上で高回転化するためには動弁系の等価質量低減が不可欠である。フィンガーロックカーボン構造を採用することで従来のリフター式構造に対して等価質量を約20%低減した。高回転における信頼性確保のため、ロッカーアームには優れた耐摩耗性を持つDLCコーティングを施した。

3-2-5. 軽量＆コンパクト

軽量かつコンパクトなエンジンとするため、バランサーシャフトやカムチェーン、補器類等、全体レイアウトを見直した。現行モデルに対してボアを1mm拡大したが、エンジン全幅は34mm短縮した。

前述のクランクシャフトのような鉄部品の軽量化はエンジン全体の軽量化の常套手段である。トランスミッションは総てのギヤにショットピーニング処理を施すことで強度を確保しつつ、歯幅を減少させた。また凹ドックを有するギヤは従来の袋型ドックから貫通ドックとすることで軽量化した。カムシャフトは内外径を見直し薄肉化することで、必要な剛性を確保しつつ軽量化を実現した。

アルミ大物部品であるクランクケースは、過去の実績を踏襲した各部の肉厚設定を止め、基本肉厚で設計・解析し、強度が不足している部分の肉厚を増すという手法を実践することで軽量化を実現した。

さらに材料置換では、例えばオイルパンをアルミニウムからマグネシウムに、カバーの締付けボルトを鉄からアルミニウムに、冷却水配管を樹脂およびアルミニウムにした。

これらの施策を織り込むことで、現行モデルに対しエンジン本体で9%の軽量化を実現した(表1)。

表1 主な軽量化アイテムと一台あたりの質量

(g)

部品	現行モデル	本モデル	質量差
コンロッド	1352	1082	-270
クランクシャフト	8943	7937	-1006
バランサーシャフト	1570	1368	-202
ヘッズリンダ	7894	7272	-622
カムシャフト	2167	1827	-340
ピストン	742	708	-34
クラッチ	4884	4203	-681
トランスミッション	6178	5724	-454
クランクケース	12530	11545	-985
オイルパン	846	488	-358
カバー締付ボルト	293	113	-180
冷却水配管	1219	657	-562

3-3. シャシ

ターゲットシーンの軸足をサーキットへシフトし、“競争で勝つ”ため、以下のコンセプトを掲げた。

「車両との格闘を減らし、その分コーナやライバルに集中できる環境を創出する。」

このコンセプトを達成するため、車体は以下の思想で設計した。

- ・コンパクトな車両としての運動性能向上
- ・高速ブレーキ安定性とハンドリング軽快性の両立を達成できる剛性バランスの取れた基本骨格の実現
- ・大幅な軽量化によるワンランク上の操縦応答性の実現とライン自由度の確保・サーキット走行を想定した空力特性の向上
- ・絶対効力よりもコントロール性を重視したブレーキシステムの採用

3-3-1. 諸元

コンパクトな車体の実現のために不可欠なホイールベースは、様々な部品レイアウトの工夫により従来比-10mmとなる1,405mmとした。部品の機能統合等による部品削減や1点1点の部品仕様精査により完成車装備質量は199kgと、ABSを新規採用しながら従来モデルに対し車両トータルとして7kgの軽量化を達成した。

3-3-2. 骨格

レース車の剛性値をベンチマークに、しかし、ただ悪戯に剛性値をあげるのではなく本車両の諸元に合わせて剛性のバランス取りを行った(図4)。机上の数値(デジタル)とライダの感性(アナログ)の高精度なレベル合わせにより、目指す操安性を具現化した。



図4 フレーム

3-3-3. マグネシウムホイール

「バネ下の軽量化」は運動性能向上の基本となるが、本モデルではブレーキディスク大型化による質量増への解決策という観点を含め、マグネシウムホイール(図5)を採用した。それにより、従来モデルに対しフロント単品で530gの軽量化と4%の慣性モーメントを低減し、運動性能向上に寄与している。また、リア単品では340gの軽量化と、11%の慣性モーメント低減を実現した。



図5 マグネシウムホイール

3-3-4. アルミニウム燃料タンク

車体軽量化部品の要としてアルミニウム燃料タンク(図6)を採用することで、スチール比(現行モデル比)で1.6kgの軽量化を実現した。本タンクは、高精度にプレス成型されたアル

ミ板をCMT(Cold Metal Transfer)溶接法により接合している。M仕様については、このアルミの素材感を最大限引き出すため、ひとつずつバフ職人による手仕上げを行った後、クリヤ塗装を施している。



図6 アルミニウム燃料タンク

3-3-5. サスペンション

開発の初期段階からサプライヤであるKYB社にチームの一員として加わっていただき、質量を含めた高い目標に取り組んでいただいた。

フロントフォークは、嵌合方式の変更等による軽量化およびピストン大径化等による性能向上を行った。剛性バランスや大径フロントアクスルとの相乗効果で、良好な減衰感とフロント接地感を実現した。

リアサスペンションは、ボトムリンク式サスペンションを採用した。mm単位で選定したピボット位置やリンクレバー比とのバランスで、良好なリア接地感確保と駆動力伝達に貢献する設計とした。

M仕様にはサーキットにおいてさらなる戦闘力を与えるべく、OHLINS社製電子制御サスペンションを前後に採用した。

3-3-6. ブレーキシステム

本モデルではサーキットでの使用という観点で、単に絶対的な制動力を追い求めるのではなく、「コントロール性」に着目した。ハードブレーキングを繰り返すような熱付加の高い状態においても安定したコントロール性を確保するため、従来モデルに対しフロントブレーキはφ320ヘディスクを大型化し、ホースのステンレス化、マスター・シリンダ部のレバー比変更に加え、適切な摩擦材のパッド選定を行った。

3-3-7. カーボン外装

M仕様における軽量化と外観商品性向上を目的とし、一部の外装部品にカーボンを採用した。軽量化の効果は約300gである。仕上げをクリヤ塗装としカーボン目を見せることで、リアルカーボンならではの凄みと高級感を表現した。

3-3-8. 空力性能向上

側面におけるカウル面積を従来モデルに対し小型化しながら、現行比で8%の空気抵抗低減を実現した。

スクリーンは、CFD解析および実モデルを用いた風洞での作り込みにより、サーキットでの超高速域においてライダが受ける走行風の影響を、最小限に抑える形状とした。

3-4. 電装全般

軽量化(=低電力)、第一印象(=光のデザイン)、自然体(=デジタルによるアナログ表現)をキーワードとし、主要コンポーネント部品を新規設計した。システム全体の消費電力は従来比で約20%低減した。

3-4-1. 灯火器

ヘッドライトに世界初のアウターレンズ無しモノフォーカス式LEDヘッドライトを採用した。消灯時はヘッドライトの存在を感じさせず、点灯時にはレンズ全体が面発光する。消費電力は従来比で約25%まで低減した。

ポジションライトは内部に2本の導光体を採用することで、どの角度から見ても力強い均一な発光を可能にするとともに、一目で本モデルと判る、独創的な顔周りを実現した(図7)。



図7 灯火器

3-4-2. メータ

当社二輪車初のフルカラーTFT液晶(4.2inch)メータ(図8)を採用した。トップレンズと液晶面の間に透明樹脂を挿入するオプティカルボンディング技術を用いることによってレンズの反射光を従来比で約30%まで低減し、太陽光下でも優れた視認性を確保した。

デジタル表示は、最小単位のドット分解能で動作させることで、タコメータや加速度・ブレーキ圧表示において自然な動きを実現した。これによりライダが車両状況を連続した動きとして認識することを可能とした。

画面背景は「ホワイト」または「ブラック」が選択可能であり、メータに内蔵された照度センサにより自動での切替が可能である。また輝度に関しても照度センサによる自動調光機能を有する。表示モードは、公道走行を主眼とした「Street」画面と、レースやサーキット走行を主眼とした「Track」画面を持ち、ユーザは走行状況に合わせた表示を選ぶことができる。

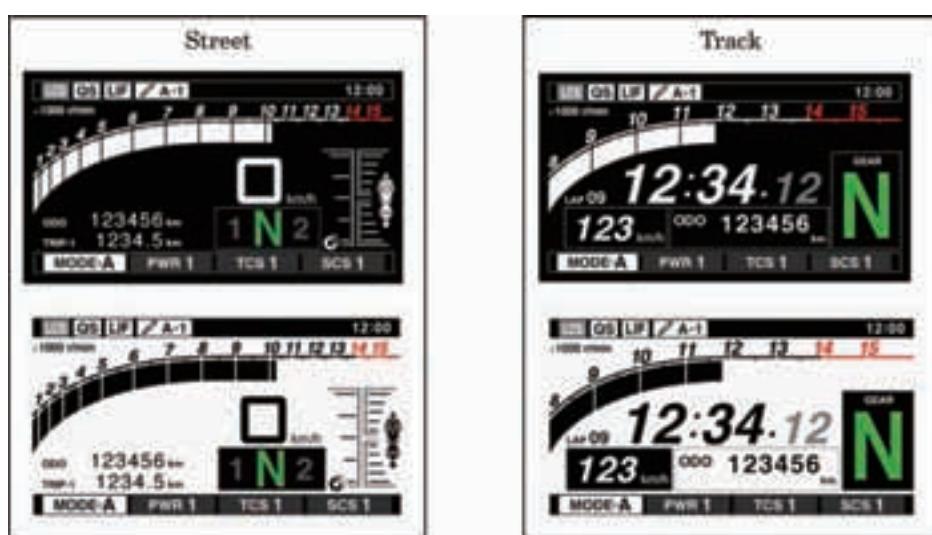


図8 メータ表示

3-4-3. ハンドルスイッチ

右ハンドルスイッチにホイール式スイッチを新規採用した。操作方法はマウスと同様、回転による「選択」とプッシュによる「決定」である。多機能を有する本モデルの設定を従来のようなプッシュ式スイッチで操作する場合、ライダがスイッチを押す回数が増加し、セッティングに時間を要する。回転操作による「選択」の方式を採用することで、ライダの操作負荷を飛躍的に軽減した。なお、スイッチボックスに収められたホイール式スイッチは当社二輪初採用である。

3-4-4. CCU

車両走行データを記録する機能を持つCCU(Communication Control Unit)を当社として初めて採用した。CCUは、エンジン回転速度やスロットル開度、バンク角およびGPS情報等のデータを記録することが可能であり、そのデータは無線通信でタブレット端末へ転送することができる。記録したデータは専用のアプリケーションで解析することで、ライダが自身のライディングを確認できるばかりではなく、ラップごとの比較や他のライダのデータとの比較も可能である。

3-5. 車両制御

「High tech armed Pure sport」をコンセプトとする本モデルはそのコンセプトどおり、147.1kWという高出力を意のままにコントロールするための装備が必須であった。新規開発の6軸姿勢センサ(IMU)を搭載し、車両姿勢に相応する制御を行うことで、ライダがマシンコントロールに必要とする労力を低減し、車両性能を容易に引き出しつつ“ライバルとの競争”に集中できるようにした。

3-5-1. IMU

市販二輪車では世界初となる6軸の「IMU」(Inertial Measurement Unit)(図9)を搭載した。IMUは、走行中の車両の「ピッチ」「ロール」「ヨー」各方向の動きを検出するジャイロセンサ(角速度センサ)、「前後」「上下」「左右」の各方向の加速度を検出するGセンサ(加速度センサ)から構成される。各センサ信号および、車速センサ信号をもとに、32bit浮動小数点演算機能搭載のCPUにより8ms(1秒間に125回)の高速演算を行う。また当社独自の二輪車運動モデルに基づいたセンサハイブリッド推定技術により、高精度なバンク角検出に加え、市販二輪車では初である後輪の横滑りの検出を可能とした。



図9 IMU

3-5-2. ABS／UBS

運動性能の高いスーパースポーツに対応したABS(Antilock Brake System)を搭載した。従来の車輪速度情報だけでなく、ブレーキ圧力センサの情報を用いることでABS作動時の車両姿勢を安定させ、後輪の浮きを緩和させる。

また、通常ブレーキ時に、前後輪のブレーキ力配分を調整するUBS(Unified Brake System)を搭載した。ブレーキレバーを操作すると、前輪に加えて後輪にも自動的に制動力を発生させ、ブレーキ時の車両姿勢を安定させる。コーナリングの際には、IMUから得られる車両姿勢情報からバンク角を推定し、前後の制動力配分を適切に調整することで、車両のコントロール性を確保する。

3-5-3. TCS

加速時に後輪タイヤの駆動力を効率よく引き出すTCS(Traction Control System)を搭載した。従来モデルと同様の前後輪の車速差の検出に加えて、IMUで推定したバンク角の情報から、走行状況に応じてTCS介入度を最適に補正する制御を追加した。バンク角が深くなるのに伴いTCS介入度が増える。TCSはOFFを含め10モードを持つ。

3-5-4. SCS

IMUで推定されるリヤタイヤの横滑り情報をエンジン出力に反映するSCS(Slide Control System)を搭載した。SCSは、駆動力を最適に補正することで車両の挙動を安定させ、ライディングへの集中を支援する。また、TCSの機能をサポートし、より滑らかな走行性に貢献する。SCSはOFFを含め4モードを持つ。

3-5-5. LIF

発進および加速時の穏やかな車体挙動をもたらすLIF(Lift Control System)を搭載した。IMUの車両姿勢情報等から加速時の前輪リフト傾向を推定し、最適なエンジン出力に補正することで、ライダの運転操作を支援する。LIFはOFFを含め4モードを持つ。

3-5-6. LCS

レース時のグリッドスタートにおける俊敏なスタートダッシュを支援するLCS(Launch Control System)を搭載した。LCSをONに設定すれば、アクセル全開でもエンジン回転出力は1万回転程度以下に抑えられ、TCS、LIFとの連動効果によりエンジン出力を最適にする。ライダはアクセルを全開のままでスタートできるため、クラッチミート操作と車体コントロールに集中することができ、スタート時の操作負荷軽減に貢献する。LCSはOFFを含め3モードを持つ。

3-5-7. QSS

シフトアップ時、クラッチ操作やアクセルを戻すことなくペダル操作のみで素早い変速を可能とするQSS(Quick Shift System)を搭載した。加速時のシフトアップ操作におけるライダの操作負荷を軽減する。走行中の車両状態(エンジン回転数、スロットル開度、ギヤポジション)に応じエンジン出力をコントロールすることで、サーキットから一般路までの幅広い走行条件下において迅速かつスムーズな変速を実現した。QSSはOFFを含め3モードを持つ。

3-5-8. ERS

走行中の様々なシーンにおいて、自動でそれぞれ最適なサスペンションセッティングに制御するERS(Electronic Racing Suspension)をM仕様に搭載した。ERSは様々なセンサ情報(車速、ブレーキ液圧、バンク角、加速度)から走行シーン(ブレーキング、旋回、加速、高速走行)を判定する。前後サスペンションの圧倒、伸側の減衰力を制御し、様々なシーンに適した特性(ノーズダイブ抑制、コーナへの進入し易さ、グリップ感や安定性向上等)に変化させる。モードはサーキット走行用に2つ、公道走行用に1つの計3モードがあり、サーキット走行用の2モードには微調整機能を備える。さらにそれぞれのモードで任意のサスペンションセッティングに固定して走行できるマニュアルモードを持つ。

3-5-9. YRC

前述した各種制御レベルを記憶するYRC(YAMAHA Ride Control)を採用した。MODE-A～Dの4モードを持ち、各制御のレベルを走行シチュエーションやライダ好みにより任意に変更して保存することが可能である(図10)。また、YRCモードを変えることで、全車両制御モードのレベルを瞬時に変更することが可能である。



図10 モードセレクト画面

4 おわりに

YZF-R1はヤマハ発動機に脈々と受け継がれる「チャレンジ精神」を体現するモデルであり、その時代における最新技術の集合体である。最新技術を量産車として昇華させるという高さすら想像できないハードルに、果敢にも挑戦した社内外のチャレンジャーたちによってYZF-R1は創り出される。そのポテンシャルはお客様の期待を超え、最高の瞬間を提供できるものと確信している。

“Revs your Heart”



■執筆者（写真最前列）

安永 稔之（右から2番目）

Toshiyuki Yasunaga

デザイン本部

製品デザイン部

平野 啓典（右端）

Akinori Hirano

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

SP開発部

矢野 真介（左から2番目）

Shinsuke Yano

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

SP開発部

都丸 雄吾（右から3番目）

Yuugo Tomaru

エンジンユニット

エンジン開発統括部

第2エンジン開発部

佐川 勇輝

Yuuki Sagawa

エンジンユニット

エンジン開発統括部

第2エンジン開発部

渡邊 隆志（左から3番目）

Takashi 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

藤原 英樹（左端）

Hideki Fujiwara

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

SP開発部

野口 浩穎 水谷 玄



Abstract

The TRICITY is a 125cc city commuter with automatic transmission, featuring a double front wheel configuration. The model was developed to create a new commuter market, and is one of a group of products realizing Yamaha Motor's long-term vision of the "Personal Mobility Frontier." The design intended for a "stylish and popular shape" to visually represent the nimbleness and sporty ride of TRICITY. By combining easy handling and stability with functionality and performance the aim is to deliver a new type of fun.

1 はじめに

「TRICITY」は、フロント2輪構造を特徴とする125ccのオートマチックシティコミュータである。当社の長期ビジョンに掲げる「パーソナルモビリティのフロンティア」を具現化する製品群の一つとして、新たなコミュータ市場の創造を目指して開発を行った。新しい楽しさを感じさせる軽快かつスポーティな走りや、扱いやすさと安定感を感じさせる各種の機能・性能に加え、それらを視覚的に伝える「お洒落で皆に好かれるカタチ」を目指したデザイン開発を行った。

題が山積されている。

スクータをはじめとするコンパクトな二輪車は、小回りと機敏な走行性、さらに経済的かつ手軽であるという理由から近年その有用性が再認識されているが、小型コミュータのさらなる普及は都市交通の課題解消に向けたソリューションの一つになると考えられている。近年では、スマートで効率的な移動を求める四輪車ユーザの二輪車市場への流入も顕在化するなど、小型コミュータを核とした「ひろがるモビリティの世界」に一層の期待が集まっている。こうした背景の中、当社初のLMW（リーニング・マルチ・ホイール）機構を備えた「TRICITY」は、グローバル展開のニューモデルであり、既存の二輪車ユーザだけでなく、初めての人にとっても親しみやすく扱いやすい《ニュースタンダードシティコミュータ》を目指して開発を行った。以下に製品の主な特徴を示す。

2 開発の狙い／製品の特徴

日本をはじめ、欧州や東南アジア各国の都市部では、激しい交通渋滞が慢性化している。また、ガソリン価格の高騰や駐車場不足など、世界の都市交通には多くの社会的な課

- 二輪車と同様の「シンプルかつ容易な運転操作」
- 軽快でスポーティなハンドリングと安定感の両立による「新しい楽しさ」
- さまざまな状況に対応する「快適な乗り心地」
- シティコミュータとしての「高いユーティリティ性」
- パワフルで経済的な「水冷 125cc YM-JET F.I. エンジン」
- フロント2輪の特徴を生かした先進的かつ親しみやすい「個性的なデザイン」

洒落で皆に好かれるカタチ】である。次世代のスタンダードシティコミュータとして、すべての人々にスマートな移動具を感じていただけるデザインを目指した。具体的には、二輪車所有�験のないノンユーザーには「身近なエレガント」を感じていただけるよう、また四輪ユーザーには「新しいモダン」を感じていただけるよう、エレガントとモダンを融合させたデザインの実現に取り組んだ(図1)。

3 デザインコンセプト

当社は、デザインをモノ創りの重要な柱として位置づけ、2013年にデザインフィロソフィ“Refined Dynamism”を発表した。また、このデザインフィロソフィを具現化していくために、“Awakening Passion(心を一瞬でわしづかみにする独創性)”、“Lasting Integrity(本質が時を超えて信頼に繋がる)”、“Elegance in Motion(しなやかで軽快な美しい動き)”、“Brilliant Beacon(人々と共に暮らしを輝かせる)”という4つのデザインビジョンを設けている。「TRICITY」のデザイン開発も、このデザインフィロソフィ、そしてデザインビジョンを基点に進められた。

「TRICITY」のデザインコンセプトは、【SMART FOR ALL お



図1 ファイナルレンダリング



図2 滑らかな一筆描きを連想させるボディライン

4 デザインの特徴

エレガントかつモダンなデザインを実現するために、「TRICITY」にはいくつかの特徴的なデザインメソッドを用いている。主なポイントは、以下のとおりである。

4-1. 流麗なボディライン

「エレガント&モダン」を端的に表現したのが、滑らかな一筆描きの筆運びを連想させる流麗なサイドのボディライン(図2)である。また、フロントカウルからレッグシールド、フットボード、そしてリアカウルにかけて流れるラインは、カラーリングによるコントラストで美しさをより強調した。さらに、躍動感を持たせることでフロント2輪のダイナミックな動きを際立たせる一方、乗る人を美しく見せ、見る人は落ち着いた軽快感を与えるデザインを目指した。

4-2. 独創的でインパクトのあるフロントフェンダ

フロントフェンダをフロントカウルから独立させ、左右それぞれ外側にボリュームを持たせると同時に内側に向けて絞り込むような造形でフロント2輪の特徴を強調した。さらに最大幅にレイアウトしたウィンカと、LEDポジションランプを備えたフロントマスクの相乗効果により、フロントまわりにモダンな印象を持たせている(図3)。

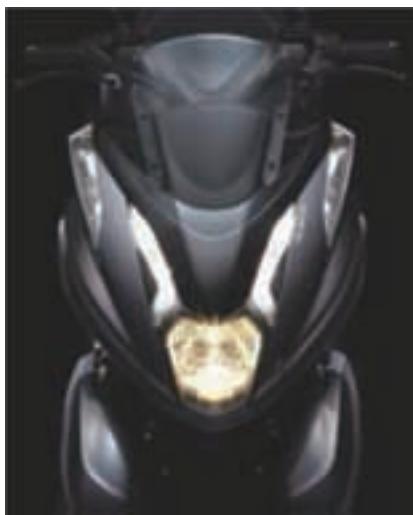


図3 モダンな印象のフロントまわり

4-3. 上品なキャストホイール

ホイールには新デザインのキャストホイールを採用した(図4)。V字型スポーク3組で構成した6本スポークは滑らかな面構成とし、軽快感と落ち着いた雰囲気を両立させた。さらに、

「リボンの結い」を思わせるスポーク面の流れで洗練されたやさしい印象を持たせた。



図4 新デザインのキャストホイール

4-4. ライダをやさしく迎えるインナーパネル

レッグシールドの内側(インナーパネルの中央)には、上質な質感を持ったX型の着色樹脂パーツをレイアウトした(図5)。この視覚的な効果によって、扱いやすそうな軽快なボリューム感とライダをやさしく包み込むような安心感を両立している。また、ライダが常に目にするメーターパネルはLCDの1枚パネルを採用した。スイッチを入れるとまずすべての表示が点灯し、次に各表示を一つずつ点灯させることで、走り出すまでのごく短い時間にもライダにワクワクした高揚感を提供する演出を織り込んだ(図6)。



図5 ライダを包み込む空間



図6 高揚感を高めるメータパネル

かっこよく乗っていただきたい」という思いを込めてデザインした、足を揃えて乗ることができるフラットなフットボードはその代表的な一例である。このように、「TRICITY」はまったく新しい機構を持ったシティコミュータであり、新たなお客様に提案するモデルであったことから、私たちデザイナも常にワクワクしながらデザインワークに取り組むことができた。

■著者



野口 浩穎
Hirotoshi Noguchi
デザイン本部
製品デザイン部



水谷 玄
Gen Mizutani
デザイン本部
製品デザイン部

4-5. 女性が乗り降りしやすいフットボード

シート下の大容量収納スペースなどシティコミュータとしての基本機能を高めながら、女性が乗り降りしやすいフラットなフットボードをはじめ、幅広いユーザ層を想定した仕様や機能を細部に織り込んだ。

5 カラーリング

「TRICITY」は、まったく新しい構成と骨格をカバーパネルの色構成を活かして表現することにした。具体的には、ホイールと同色（シルバー）のアンダーカバーを黒車と赤車に採用することで、後ろの1輪とあわせて安定感のある3角形のシャーシで構成されていることを強調した。

ラインナップにはシンプルかつ先進性を感じる「白（ブルーイッシュホワイトカクテル1）」と、高級感のある「黒（ブラックメタリックX）」に加え、メタリック処理による金属感とマット仕上げによる重厚な質感を併せ持つ「赤（マットディープレッドメタリック3）」を設定した。一般的に「赤」などビビットな色は若いお客様をイメージさせる傾向にあるが、この色はあらゆる年齢層の方に高級感を感じていただけると考える。「TRICITY」はグローバル展開のモデルであり、各国ごとに異なるライフスタイルや街の景色の違いにも配慮した。たとえば黄色みがかるヨーロッパの夕暮れや、青味が強くなる日本の街並といった点も考慮しながら適切なカラーリングを施した。

6 おわりに

「TRICITY」は、「見て、使って、乗って楽しい」新しいコミュータである。その楽しさをより多くの人に伝えるための工夫を造形の中にもふんだんに織り込んだ。「TRICITY」が提供する新しい楽しさを体験していただくためには、まず乗っていただくことが大前提である。そのため、親しみやすさを表現することで乗りものとしての敷居を下げることにも注力した。「女性に

市川 真弓 鈴木 通之



Abstract

Yamaha Motor Engineering Co., Ltd. (hereinafter The Company) has been carrying out product planning and development of special equipment vehicles (hereinafter special vehicles), such as police motorcycles, training vehicles, and firefighting motorcycles.

Fire-related equipment such as firefighting motorcycles are utilized within Japan, and police motorcycles are mainly utilized overseas. Through these products, The Company has been providing an assuring and comfortable environment to people across the globe.

Special vehicles differ from general-purpose vehicles as the needs vary from customer to customer. Even when discussing police motorcycles, the required specifications may differ depending on the context. The key to planning, designing and developing special vehicles is to understand the requests and needs of customers based on their specifications along with market information, to develop a plan that matches the customer's purpose and usage, and realize this plan to create the final product.

This report will introduce XT250, an off-road police motorcycle for disaster response, while discussing the key points for developing special vehicles.

1 はじめに

ヤマハモーターエンジニアリング株式会社（以下、当社）は、白バイや教習車、消防活動二輪車（以下、赤バイ）といった特別装備車両（以下、特装車両）の商品企画および開発を行っている。

赤バイなどの消防関連機器は日本国内、白バイは主に海外の国々に導入されており、当社はこれらの製品を通じて世界の人びとに安心で快適な環境を提供してきた。

特装車両は一般向け車両とは異なり、顧客によってニ

ズも様々で、同じ白バイでも案件ごとに要求仕様が異なる場合もある。仕様書に落とし込まれた顧客の要望・ニーズを咀嚼して、これまでに蓄積した市場情報と照らし合わせながら、製品の導入目的・使用用途にマッチした商品を企画し、最終的な製品として具現化していくことが特装車両の企画・設計開発のポイントといえる。

本稿では、特装車両開発のポイントを交えながら、XT250P 災害対策用オフロード白バイを紹介する。

2 企画概要

2-1. 企画背景

東日本大震災の発生以降、様々な方面で災害対策の方針、内容が見直された。警視庁でも発災時の交通対策について見直しが行われた。

大規模災害が発生した場合、東京都の指定 7 路線および環状七号線の内側は交通規制の対象となり、交通機動隊が災害時の道路交通状況把握と規制対応に当たることとなっているが、震災等で生じた路面の損壊や障害物により、大型白バイでは活動が制限されることが懸念される。発災直後の状況において迅速な活動を行うために、走破性・機動性の高いオフロード車で対応しようというのが、今回の災害対策用オフロード白バイ導入の目的である。

2-2. 製品概要

前述の導入目的に適うよう、消防用赤バイのベース車としても実績のある XT250 に、緊急車両指定用装備品と無線機搭載の構造を付加し、国内初のオフロードタイプ白バイとして 2014 年 3 月に、本製品 10 台を警視庁に納入した(図 1)。



図1 警視庁導入車両
(警視庁広報課より)

オフロード白バイに求められる要件として、本モデルは以下の特徴を備えている。

2-2-1. デュアルパーザス

- 災害後の活動を考慮し、オン/オフを問わないタイヤを装備し、未舗装道路や路面状況の悪い道路でも機動性を發揮できる。
- 270mmの最低地上高により、縁石乗り越しや階段走行だけでなく、一部損壊した道路などでもある程度の走行が可能である。

2-2-2. 小排気量

- 最小回転半径が 1.9 m と小さく(大型白バイは 3 m 前後)小回りが利き、高い機動性を発揮できる。
- 250cc エンジン搭載で燃費も良く、災害時のガソリン供給事情が悪い環境下での活躍が期待される。

2-2-3. 軽量

- 艤装状態の重量も 152kg(大型白バイは 300kg 超)と軽量で、悪路でのトラブル対応(ぬかるみ脱出等)も行いやすく行動範囲も広い。
- ヘリでの車両輸送にも適しており山間部被災地域調査活動などにも運用が可能である。

3 開発の狙い

本モデルの商品コンセプトは、大震災等の有事の際に走破性を生かし、道路交通情報収集や規制活動に速やかに対応できる白バイである。したがって、地震や津波などによる道路損壊や落下物等がある状況において、障害物の回避、狭所や行き止まりでの転回、降車しての押し引きが容易で、悪路の走破性が非常に高いことが求められる。また、国内広域警察無線の搭載と緊急車両指定装置を装備できる仕様でなければならない。そこで、本モデルは既に緊急車両として実績のある赤バイ仕様をベースとし、軽装備・低価格を念頭に開発に取り組んだ。

図2にフィーチャーマップを示し、その開発概要を以下に説明する。

4 開発概要

4-1. 主要装備

- 無線機取り付け装置
- 警察無線機収納ボックスが取り付けできるリアキャリアを設置する。無線機アンテナ取り付け用ステーも織り込む。
- 警察無線は機密機器であるため、盗難防止構造をキャリア自身の取り付けに織り込む。
- 赤色警光灯
- 緊急車両指定装置の一つとして赤色警光灯を装備する。
- 軽量、小電力の LED 点滅灯を採用する。
- アンプ式サイレン
- 緊急車両指定装置の一つとして、サイレンとスピーカーを装備する。



図2 フィーチャーマップ

- 4) 警光灯 / サイレン用スイッチ
- 緊急車両指定装置の操作スイッチを織り込んだ専用ハンドルスイッチを装備する。
- 5) サイドバッグ
- 鍵付きサイドバッグを装備する。
- 6) バックアップ電源装置
 - メインバッテリの過放電に備え、エンジン始動用サブバッテリを右サイドバッグ内に設置する。
 - サイドバッグ内の荷物積載にも配慮し、サブバッテリを覆う仕切り板を設定する。
- 7) 前方補助灯
 - 障害物の多い被災道路、加えて停電状況下の夜間活動での視認性をより高めるため、前方補助灯を標準装備する。
- 8) エンジンガード
 - 厳しい使用環境により車体下回りダメージのリスクは高くなると想定し、エンジンガードを標準装備する。

いような取り付けブラケット構造を採用し盗難防止構造を成立させた。

既存のXT250特装車リアキャリアに対しては一部構成部品の変更のみで仕様共通とし、多種少量生産についても考慮した。



図3 リアキャリア

4-2. 新規開発アイテム

4-2-1. リアキャリア (図3)

オフロード白バイ乗員は普段大型白バイに乗っている隊員から選抜され、災害時には無線等の装備をオフロード白バイに移設して運用する。そのためリアキャリアへの無線機収納ボックス取り付けは容易に、かつリアキャリア自体の取り付けは第三者が容易に外すことができる構造であってはならない。

ところが、ボックスの取り付け部はボックス内部に在り、鍵付きフタにより保護されているのに対し、リアキャリア取り付け部は外部に露出しており無防備となる。そこで、ボックスを取り付けることでリアキャリア取り付け部への工具が届かなくな

4-2-2. 赤色警光灯

・ LED化

従来、既存のXT250特装車や大型白バイの警光灯は回転式タイプであるが、四輪緊急車両で採用が進んでいるLED点滅灯を採用した。LED灯は指向性が強く、車両の姿勢によっては視認しづらくなる懸念があり、本モデルではヘッドライト横に前方向き2個、サイレン取り付けステー上に側方向き各1個設置することで視認性を満足する仕様を成立させた(図4)。

・ 耐振性のクリア

今回採用したLED灯は本来四輪車向けに開発された製品

であるため耐振性保証値が低いものであったが、車体とステー取り付け部のラバーマウントおよびステーと LED 灯取り付け部のラバーマウント構造をコンパクトにまとめることで耐振性をクリアした。

4-2-3. 前方補助灯

発災時には、道路の損壊や落下物等が障害物となる上に、停電状況下の夜間活動ではさらにリスクが生じる。そのため車両の主要装備として灯火器の性能向上は要望の高いもののひとつであった。

本モデルでは前方補助灯として LED フォグランプを採用し、前方視認性を広範囲に確保できる仕様とした（図 4）。これは既存の XT250 用アクセサリ部品からの流用であるが、サイレン等の特装車装備の影響により取り付け位置を独自レイアウトとしたため強度、耐振性、保安基準との整合性について見直しを行った結果、最終的には本モデルの専用部品となっている。

フォグランプ装備により最大で左右各 10m 幅まで照射範囲が拡大されている。



図4 警光灯 & フォグランプ

である。実際に災害が発生するそのときまで「備え」が十分であったのかどうか検証することはできない。

製品の使用される環境や方法について、想像力を働かせながら必要な機能、装備を決めていくことは難しい。しかしながら、これまで蓄積してきた特装車両に関する市場情報や設計ノウハウを活用することで、「備え」の最適解を導き出し提案していくことがエンジニアリング会社としての当社の使命と捉える。

今回の赤バイ、白バイと引き続き、災害時の情報収集活動を行う車両など、優れた基本性能を持つ XT250 をベースとする特装車両のバリエーション展開によって、人々の安全に寄与する製品を継続して企画、開発していきたい。

■著者



鈴木 通之

Michiyuki Suzuki

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

事業推進部

市川 真弓

Mayumi Ichikawa

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

事業推進部

5 おわりに

1995 年の阪神・淡路大震災以降、その走破性と機動力から、オフロード二輪車を災害時に活用できないかという社会からの期待が高まってきた。当社ではこのようなニーズを早くからキャッチし、赤バイの開発を開始し 1997 年から市場に導入してきた。今回、東日本大震災を受けて導入の検討がなされた警視庁の災害対策用オフロード白バイを、当社の技術で具現化し、製品化したものである。

震災・災害に対する備えは各方面で見直しがされているが、予測困難な事象への対策という性質上、どのような備えをしておくべきか、明確な答えを用意するのは難しいというのが現実

馬上 隆之

Abstract

Yamaha Motor Co. Ltd commenced sale of the SR-X and YF-24 in 2011, promoting the functionality and design of the square bow in fishing boats. The positive feedback we have received from customers makes us confident that we have provided new value.

On the other hand, our lineup of fishing boats that are over 35 feet are derived from utility boats, and differ in capacity, functionality and exterior appearance (Figure 1).

For this reason, we developed a 36-foot boat as a top-of-the-range fishing boat model with square bow.

1 はじめに

ヤマハ発動機株式会社（以下、当社）では2011年にSR-X,YF-24の発売を開始し、フィッシングボートにおけるスクエアバウの機能と外観とを提案してきた。お客様からはご好評をいただき、新しい価値を提供できたと確信した。

一方、35フィート以上のフィッシングボートのラインナップは、漁船から派生したモデルであり、性能、機能、外観はプレジャーボートとは異なるものであった（図1）。そこで、スクエアバウを有するフィッシングボートの最上位機種として36フィートのボート開発を行った。



図2 DFR / DFR-EX



図1 漁船から派生したモデル



図3 DFR-FB

2 製品概要

2-1. 開発の狙い

フィッシングボートの最上位機種として、最新の艇体と先進システムとを高次元のレベルで融合させることを目標として掲げた。また、異なるフィッシングシーンに対応すべく、ハードトップ仕様のDFR（図2）、オプションの一部をパッケージしたDFR-EX、フライングブリッジを有するDFR-FB（図3）の3仕様を設定した。開発にあたっては、ハル（船体）、デッキ、エンジン等を共通とすることで、開発効率の最大化を図った。

2-2. 主要諸元

主要諸元を表1に示す。燃料タンクは650リットルと大容量で、燃焼効率の良いエンジン、最新の艇体とのマッチングにより、当社の同カテゴリーのラインナップ上、最長の航続距離を実現した。

表1 諸元表

	DFR	DFR-EX	DFR-FB
全長	11.07m		
全幅	3.20m		
全深さ	2.01m		
搭載機関	VOLVO D9-500		
機関出力	368kW (500ps)		
発電量	1.5kW(アイドル回転数)		
	2.6kW(MAX回転数)		
FOT容量	650L		
FWT容量	56L		
艇体質量	3,703kg	3,867kg	4,189kg
完成質量	4,968kg	5,132kg	5,586kg
定員	12名		
航行区域	沿海		

2-3. 最新の艇体

① 釣りスペースの充実

スクエアバウの採用により、広いパウデッキを有し、キャスティング、ジギングなど様々なスタイルのフィッシングを快適に行なうことができるようになった。キャビン横の通路幅を310mm確保することで、釣具を持っての移動を容易にするとともに、一つのフィッシングスペースとしての使用も可能とした（図4）。



図4 パウデッキ、サイド通路での釣りシーン

航海計器の進化により、GPSや魚群探知機といった装備は航行の安全性や釣果へ大きく影響するようになった。そのため、キャビン操船席前のダッシュボードは複数の航海計器のモニタが設置できる形状を採用した（図5）。



図5 ダッシュボード艤装例

② 風流れ抑止性能の向上

Wave-Thruster-Blade（以下 W.T.B.）（図6）を採用することで、航走中の波さばき性（凌波性向上）と風流れ抑止性能を向上させた。



図6 ハル（船底）

風流れは二つの側面を持ち、一つは風に流されて船首が風下の方向へ向くことであり、もう一つは風に流されて船が移動することである。フィッシングボートにおいて、風流れを抑止する性能は重要な要素である。なぜなら、船が風下を向きやすく長い距離を流されてしまうと、狙ったポイントへエサ等を届けることが難しくなるからである。本開発艇ではW.T.B.の採用により、船首を風下に向きにくくし、流される距離を少なくした。同クラスの艇と一定時間後の船の向き、位置を比較したものを見ると（図7）、W.T.B.の効果が確認できる。



図7 風流れ抑止性能比較

③ 乗り心地の向上

船首部は航走時に波が当たる箇所である。そのため、W.T.B.の船首部形状と船底の勾配とを波に対して鋭角にすることで、航走時に波が当たる際の衝撃を和らげた。

また、スクエアバウを活かし、ワイドなフレア形状とした。バウへと伸びるストライプも幅を広くし、航走時発生するスプレー（水しぶき）を船の外側へと導いた（図8）。すなわち、ワイドフレアと幅広なストライプとによって航走時のスプレーは船の外側に導かれ、アフトデッキの乗船者にスプレーがかかりにくくすることで快適性を向上させた。

さらに、チャイン（船底と船側外板とが交わる部分）幅も広げることで静止時の安定性を得ることができた。

この結果、航走時の衝撃低減やスプレーのかかりにくさ、静止時の安定性など船に乗った際の心地よさをトータルで向上することができた。



図8 ハル（船首）

2-4. 先進システム

① 新トローリングシステムの提案

フィッシングボートにおいて、低速域での速度調整は極めて重要である。速度調整操作が容易になると、えさやルアーを

狙ったポイントへ届けられるようになり、釣果につながるためである。また、操船者も船の操作に手を煩わされず、釣りに集中することができるようになる。

速度調整にあたっては主に二つの方法がある。一つはクラッチをスリップさせ、プロペラの回転数を落とす手法である。この手法ではスリップ率に限界があり、超低速にしようとする際は手動でシフトイン、アウトの操作が必要である。二つ目はシフトイン、アウトを自動で間欠的に行う手法である。当社のフィッシングサポートリモコンシステムはこの手法を採用している。ただし、この手法は今回のような高出力エンジンではシフトショック（シフトイン時の衝撃）が大きいというデメリットがある。

そこで、二つの手法を融合し、一つのレバーを倒していくことで、スリップからスリップかつ自動間欠シフト操作へと制御が変わるシステムを構築した。このシステムにより、簡易な操作で0から5ノットの超低速度域を自由に調整できるようになり（図9）、高出力エンジンでありながらシフトショックを抑制することを可能にした。

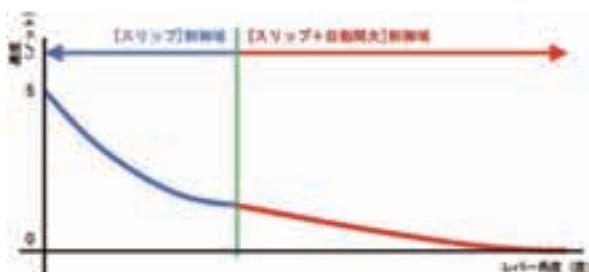


図9 速度域と制御域

② 大容量電源システムの確立

昨今、釣り艦装品の電気化が進み、室内での電化製品の使用要望も高まり、電源の容量UPが望まれている。発電機を搭載する方法もあるが、スペース、コスト、重量の面でデメリットがあった。そのため、エンジンにオルタネータを2つ搭載し、発電能力を高める（従来艇の2倍）とともに、各バッテリへの適切な充電システムを構築した。これにより、エンジン稼働中に使用できる電気容量がUPし、さまざまなシーンに対応できるようになった。また、発電機を搭載するより、スペース、コスト、重量を抑えることができた。

以上のように、最新艇体と先進システムとを融合し、釣りのための機能の充実を図った。

2-5. 室内レイアウト

- 室内のレイアウトは使用されるシーンを想定し、各仕様によって異なるレイアウトになっている。
- ・DFR：極力簡素化し、ユーザのカスタマイズを考慮した(図10)。
 - ・DFR-EX：同乗者のシートやテーブルを設置し、多人数での釣行シーンを考慮した(図11)。
 - ・DFR-FB：DFR-EXのレイアウトに木工品を使用し、室内でゆったりとくつろぐシーンを想定した(図12)。



図 10 DFR 室内



図 11 DFR-EX 室内



図 12 DFR-FB 室内

3 おわりに

本艇は、フィッシングボートのフラッグシップモデルとして開発された。お客様には最新の艇体と先進のシステムを備えたDFRで大物を釣り上げていただければ、開発者にとってこれ以上の喜びは無い。

■著者



馬上 隆之

Takayuki Moue

マリン事業本部

ポート事業部

開発部

佐藤 英吉 木野本 直樹 藤野 健一 森江 厚志 山本 尚志 吉田 竜也



Abstract

Personal Water Craft (hereafter PWC) are now essential summer leisure products. In this edition we introduce the full model makeover of the very popular VX and VXR, which were upgraded in order to suit customer needs for greater convenience and more comfort from a new design.

Sold since 2005, the VX is available at an affordable price and is easy to ride for first time users with its capacity and functionality. This model has been developed to suit a variety of situations where customers spend time together around the water as a family, and can appreciate its comfort and convenience. While the VXR utilizes many of the same parts as the VX, it has achieved a top-class performance in the industry. The performance is optimized for comfortable high-speeds in single riding situations.

The design includes additional chrome ornaments on its sides, along with featuring key lines from front to back. The new RiDE system (see later for details) that uses electronic control for a more intuitive neutral and forward/reverse operation has been implemented, replacing the mechanically-operated shift mechanism for forward and reverse movement used to date.

This publication introduces everything about the new 2015 VX and VXR models.

1 はじめに

Personal Water Craft（以下、PWC）は、夏のレジャーに欠かせない商品となってきた。今回、「新しいデザインでより快適により便利に」というお客様のニーズに合わせて大ヒットしたVXとVXRのフルモデルチェンジを実施した。

VXはファーストタイムバイヤ（初めてPWCを購入されるお客様）でも扱いやすい性能や機能を備え、求めやすい価格で2005年より販売しているモデルである。今回もお客様が家族と一緒に水辺で過ごす様々なシーンを想定して、快適さと便利さを体感いただけるよう開発を行った。また、VXRはVXと部品を共用し、手軽でありながら業界トップクラスの

性能を有したモデルである。1人で乗船しているお客様が水辺を高速で爽快に滑走するシーンを想定して性能の作り込みを行った。

デザインは側面にクロムオーナメントを追加し、前後に広がるキーラインを特徴的に配置した。また、これまでメカ操作による前後進のシフト機構であったが、直感的にニュートラルや後進操作ができる電子制御を用いたRiDEシステム（詳細後述）を導入した。

この全てが新しい2015年モデルのVXとVXRを本稿で紹介する。

2 開発のねらい

① 新しいデザイン＝外装部品一新

実地調査の結果から特徴とするポイントを決め、お客様の好みにピタリとはまるようにした。

② より快適に＝快適性向上

主に操船者、同乗者が体感できる以下に示す快適性の向上を狙った。

- 静止安定性・凌波性
- 操船者、同乗者の乗船姿勢の快適性
- 操船者、同乗者の体が直接触る部品の機能

③ より便利に＝RiDE搭載

電子制御によりスムーズかつ直感的に前進／後進／ニュートラル／シフトチェンジできることを狙った。

ムバイヤとアグレッシブライドを楽しむお客様の琴線に触れるVXRという方向性が異なる2モデルをハッチ、ミラー、メータのみの違いで差別化するという前提でスタートした。最終商品に「ブレ」が生じないよう企画、営業、技術、デザイン各部門のメンバーで構成されたワーキンググループでコンセプト立案から一体となって活動推進した。

VXは2005年デビューの初代VXから数えて3代目となり、従来のVXからスタイリングを大きく変えたいという意図があった。一方のVXRはハッチのV字クロムオーナメントが象徴的な印象を与えており、これを活かしながらよりアグレッシブにしたいという意図があった(図2)。

そのため、スケッチから2つのモデルを常に平行で考える必要があった。効率良く作業を進めるために、2次元のスケッチから3次元データにする作業は、デザインを委託した(株)GK京都とデジタルデザイナが今まで以上の密な協業で行った。結果として、スケールモデル(実際のサイズより小さいモデル)のベースとなるデータが短期間で完成した。

3 デザイン

図1にフィーチャーマップを、表1に主要諸元を示す。

ファーストタイムバイヤにアピールするVX、ファーストタイ



図1 フィーチャーマップ

表1 主要諸元表

	主要諸元		注記
	VX	VXR	
全長 m	3.35	3.35	Ride-nings テープ付
全幅 m	1.22	1.22	
全高 m	1.19	1.19	
乾燥重量 kg	331	348	VXはクルーザー モデルの値VXR はVXRの値
定員 名	3	3	
燃料タンク 容量 L	70	70	
総排気量 cc	1052	1812	
ジェット ポンプ	Φ135mm 軸流ポンプ ステンレス3翼 インペラ	Φ155mm 軸流ポンプ ステンレス3翼 インペラ トリム機構付	



図2 VXとVXRのハッチによる差別化



図3 レンダリング実施例

また、早い開発ステージから3次元データを活用してレンダリングすることで商品イメージを関係者間で常時共有でき(図3)、想いを「ブレ」無くスムーズに形にできたことがプロジェクトの成功に繋がった。

4 バリエーション

VX系にはクルーザー、デラックス、スタンダード(モデル名称はVX)の3バリエーションを設定し(図4)、全てのバリエーションにRIDE(詳細後述)を搭載した。なお、クルーザー、デラックスには水中からPWCへ再乗船する時に便利なリマウントステップ、曳きもの遊びに有効なクルーズスイッチ、停泊中に機能をロックできるセキュリティリモコンも装備した(図5)。



図4 バリエーション例



図5 便利な装備類

VXR系にはVXRとシート違いのVXSの2仕様を設定した。両仕様とも航走中にPWCの姿勢を調整できるトリム機構を備えることで、利便性を向上させた。

5 艇体

新VXは、想定顧客であるファーストタイムバイヤがより高い快適性を得ることを目的とした。具体的には、水中からPWCへの再乗船等で重要な「静止安定性」や波間でも安定して旋回できる「凌波性向上」を追求した。その結果、全幅は従来モデルよりも50mm大きい1220mmとした。特に凌波性向上の追求では、要求される性能の違うVXとVXRに同

じハル形状（図6）を使うことが前提であったため、両モデルで満足できる性能を得るために数回にも及ぶ試行錯誤を必要とした。



図6 ハル特徴

また、エルゴノミクスの観点からファミリーライド時の快適性向上を目的に設計し、フォームモデルを作り検証した。試作艇評価では同乗者用グリップの向上も含め（図7）、高い快適性が確認できた。



図7 同乗者用グリップ

強度開発では、従来の静的なFEM解析に加え動解析（図8）にも取り組んだ。蓄積した加速度データを解析に活用し、外装部品の形状や取り付け方法の最適化を行った。解析による保持強度向上の効果は、試作評価においても確認することができた。加えて1ヶ月以上の開発リードタイムの短縮と金型修正費用の削減も実現できた。



図8 動解析例

6 エンジン

図9にVXとVXRのエンジン外観を示す。

VXには、1100cc直列4気筒4ストローク自然吸気エンジンを搭載している。VXは世界各国においてレンタル用商品として使用されているため、運転時間が長い場合が多い。2005年に本エンジンの初代版が搭載されてから、現場でどのような事象が実際に起きたかを緻密に調査した。レンタル店を営んでいるお客様のヤマハPWCに対する耐久性やメンテナンス性向上への期待の声は、貴重な意見となって地道な改善に活かされている。



図9 VX エンジンと VXR エンジン

VXRにはコンパクトな1800cc直列4気筒の4ストローク自然吸気エンジンを搭載することで、高出力を実現し、アグレッシブライドを楽しむお客様に十分満足いただける商品性を生み出した。

7 ジェットポンプ

信頼性の高い従来のVXとVXRのジェットポンプをベースに、さらなるポンプ性能・信頼性・メンテナンス性の向上を目的として開発を行った。ポンプ性能の向上策として、新VXではスクリーンインテーク、新VXRでは加えてインペラも新規設計した（図10）。その結果、いずれも速力と加速性能の目標値を達成することができた。特に、スクリーンインテークはダクトフイン形状を数パターン試作することで、両モデルの性能を満足できる形状を実現させた。

さらに、水入りに対する信頼性の向上を目的として各防水構造を改良した。メンテナンス性に関しては、冷却水取り入れ部品を一体化することで交換・組み付け性を向上させた。



図10 スクリーンインテークとダクトフィン形状

8 RiDE(Reverse with Intuitive Deceleration Electronics)

RiDEは15年モデルのFXシリーズ、新VX、新VXRに搭載された操船（シフト&トリム）システムである（図11、12）。RiDEレバーやトリムスイッチ操作による電子制御システムであり、直感的で、シンプルに操作でき、かつ安定感・安心感を操船者に提供する画期的なシステムである。



図11 RiDEシステム



図12 RiDE近景

まず、前進の速力調整はこれまで通り右ハンドルのスロットルレバー操作で行う。今回、それに加えて左ハンドルのRiDEレバーで、
①後進の速力調整
②その場停船（ニュートラル）
③前進の速力調整（=減速）
ができるようになった（図13）。

例えば、桟橋への着桟（PWCを桟橋へ着けること）操作は、スロットルレバーで前進しながら桟橋へ近づき、桟橋手前でRiDEレバーで行き足（PWCが慣性で動き続けること）を止めることができる。また、その場に停船したい場合は握ったRiDEレバーを放すだけでニュートラルに入る。なお、後進したい場合には希望の後進力に合わせRiDEレバーの引き量を調整すればよい。本機能の搭載によって、直感的な操作を可能としつつ、ハンドルから手を離さず操作できるため安定感も向上させた。また、減速に関しても全開直進中や旋回中において常に安定したPWCの挙動を提供する。



図13 RiDE図解

トリム機構とは、上下にジェット噴流角度を切り替えて水面状況や希望する航走スタイルによってPWCの姿勢を調整できる装置である（図14）。本モデルでは、従来の手動切り替えから電子制御による切り替えとしたことで、ボタンのみで直感的に操作できるようになった。

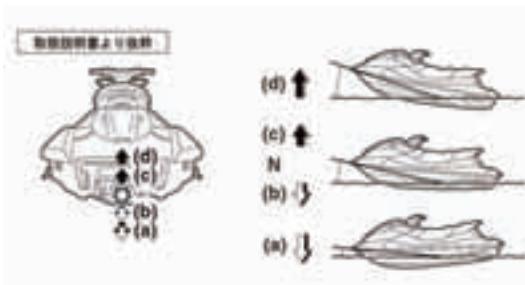


図14 トリム機構

9 おわりに

本モデルは、当社の米国子会社である YMMC (Yamaha Motor Manufacturing Corporation) との共同開発として進められた。外部環境が激しく変化する中、日米双方のエンジニアが知恵を絞り、これまでの常識を一旦取り去り新しい考えで取り組んだ。お客様との会話や市場調査を通じてその新しい考えに自信を持ち、方向性を固め、実現に向けて全員で邁進した。

特に新システムの RiDE は斬新でヤマハ発動機の掲げる「Revs Your Heart」が具現化できており、ぜひ実際に乗って体感してもらいたい。

「新しいデザインでより快適により便利に」なった新 VX と新 VXR が世界のお客様にとって夏の思い出の大きな一コマになってくれることを期待するとともに、確信している。

■著者



当社開発スタッフ



YMMC 開発スタッフ

木野本 直樹 (後列左端)

Naoki Kinomoto

マリン事業本部

WV事業部

開発部

藤野 健一 (後列右端)

Kenichi Fujino

マリン事業本部

WV事業部

開発部

佐藤 英吉 (後列右端)

Hideyoshi Satou

マリン事業本部

WV事業部

開発部

森江 厚志 (後列左から2番目)

Atsushi Morie

マリン事業本部

WV事業部

開発部

山本 尚志 (後列左から3番目)

Hisashi Yamamoto

株式会社GK京都

吉田 竜也 (後列左から4番目)

Tatsuya Yoshida

マリン事業本部

WV事業部

開発部

浦野 真樹

Abstract

Yamaha Motor Hydraulic System Co., Ltd. (hereafter YHSJ) supplies electro-hydraulic cylinder parts such as those used in the power tilt of outboard motors, as well as hydraulic products such as shock absorbers for two- and four-wheelers to companies including Yamaha Motor Co., Ltd., Öhlins Racing AB, and others.

Fitted on more than an 80% of Yamaha Motor outboards, YHSJ's power tilt line up is designed to meet cost and function requirements, such as the POWER TILT (PT) which provides basic tilt functionality for small outboard motors (for raising the outboard above the waterline), the POWER TILT & TRIM (PTT) focusing on trim functionality for medium-sized outboard motors (for propeller drive angle adjustment), and the three cylinder PTT unit for large outboard motors (Figure 1).

In recent years we have worked on customer acquisition, putting energy into one aspect of business strategy: further business growth. To achieve this, we have cut production costs dramatically by introducing a single cylinder (Figure 2) PTT unit for an 115hp outboard motor, where three cylinders were previously required to satisfy performance requirements. This unit is the first step in our platform strategy, a concept that will also be introduced here.

1 はじめに

ヤマハモーターハイドロリックシステム株式会社（以下、当社）は、船外機用パワーチルトに代表される電動油圧シリンダ製品や4輪・2輪のショックアブソーバなどの油圧製品をヤマハ発動機（株）やオーリンズレーシングAB、その他の客先へ提供している。

当社のパワーチルトのラインナップは、船外機の必要性能およびコストとのマッチングから、小型船外機向けにはチルト機能（船外機を水面から上げる）のみのPOWER TILT (PT)、中型船外機向けにはトリム機能（プロペラ推進角調整）を重視した1本シリンダのPOWER TILT & TRIM(PTT)、大型船外機向けには3本シリンダのPTTとしており（図1）、ヤマハ発動機製船外機への装着率は80%を超えるシェアくなっている。

このような背景から近年、事業戦略の一環としてさらなる事業拡大に注力し、新しい顧客獲得を進めてきた。そのため

めに今回、従来は3本シリンダPTTの領域だった115馬力の船外機向けに大幅な製造原価低減を実現しながら、1本シリンダのPTTで性能を満足させるモデルを開発したので紹介する（図2）。なお、本モデルはプラットフォーム戦略の第一弾モデルであり、その考えについても紹介する。

2 開発の狙い

1本シリンダのPTT開発において、目標とする性能の実現と原価低減を両立するために、以下の2点を狙いとした。

- ・従来の3本シリンダタイプの性能・機能を維持したうえでの部品点数の削減と軽量化
- ・POWER TILTとしてのプラットフォーム戦略に基づくPTT各ユニットのモジュール展開と部品レベルの見直し

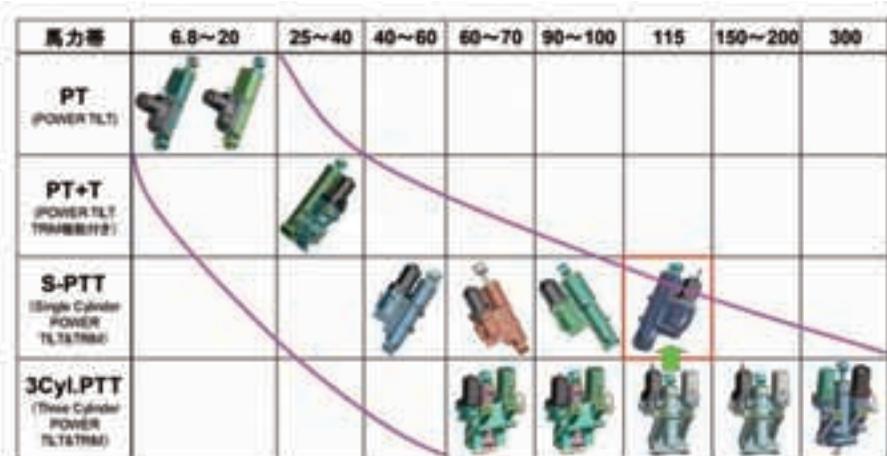


図1 船外機馬力帯とパワーチルトレイアウト



図 2 PTT シリンダタイプ

3 開発内容

3-1. 1本化の実現

3本シリンダから1本シリンダにする際の最大の障害としてはアクチュエータのパワー不足による推力不足が考えられた。これについては当社の油圧ポンプが高精度であることから高圧時のリークが少なく必要な油圧・油量を確保でき、従来設計 + α で十分に対応することができた。

また、PTTは船外機が流木等の水面障害物に衝突した際、衝撃を内部油圧機構により緩衝させる機能を担っている。従来この部分に関しては、2段両方のシリンダに緩衝機能を装備していたのに対し、本 PTTではチルト機能側のシリンダのみの緩衝機能で衝撃を吸収できるようにしたことで、部品点数を大きく削減することができた。前述の油圧発生部であるポンプは高圧を安定して吐出するために従来は弾



図 3 ポンプ改良概要図

性係数の高い鉄系焼結のポンプケースが使用されていたが、加工技術・設備技術・解析技術の向上により弾性係数の低いアルミ材での高圧吐出を可能とした。アルミ材にすることで焼結材ゆえの複雑な構造にする必要がなくなり、形状を単純化でき、部品点数削減・軽量化・コストダウンを実現させた(図3)。加えて、締め付けボルト位置の最適化によりポンプケースの内部高圧時の変形量を減らすことで安定した高圧油圧の吐出を可能とした(図4)。

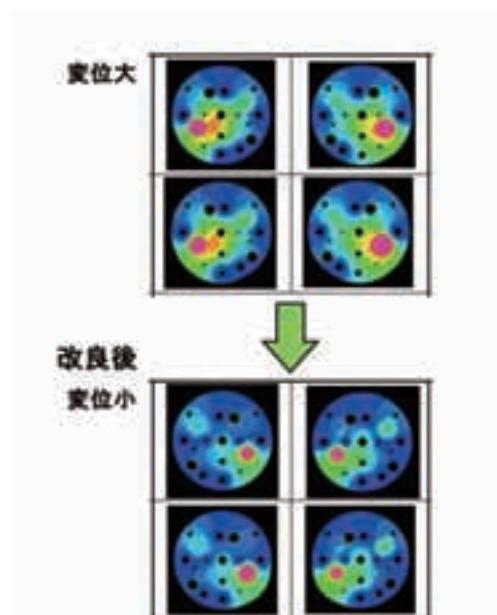


図 4 自己発生油圧によるポンプケース変位量

3-2. プラットフォーム戦略

本開発では、モータ、ポンプ、ピストンロッドの3モジュールとシリンダを軸にした構成を標準とし、部品の共通化を進めることで工数削減とコストダウンを狙った(図5)。

まず、ポンプについては5機種展開を狙った性能を有し、バルブ圧力セッティングによって使い分けるものとした。次に、モータは4機種展開を狙った性能を有したものとし、使用域が低電流から高電流まで機能を満足できるような巻き線仕様・ブレーカ仕様の作り込みを実施した。ピストンロッドモジュールは、価格と生産量からコスト的に最も有利なものをベースとし、必要機能に絞って最適化した。さらに、シリンダは従来機種の加工要素を踏襲しつつ刃具・治具を共通化した上で、新しい機能を満足できるよう工夫したものとした。

このように3つのモジュールおよびシリンダをそれぞれ従来の半数の種類にすることで、工数削減とコストダウンを実現した。



図5 PTT3モジュール+1

3-3. 開発結果

- #### ・機能部品展開による価値分析（図 6.7）

機能へのコスト割付を関係者との協業で実施確認し、機能の割りにコストが掛かっている部分については、機能削減

を前提に裏目の検討と確認評価を実施した上で部品点数削減・軽量化を行い、コスト削減に繋げることができた。

- ・理論値生産・新規工法の採用による製造原価低減

当社社内加工で最も大物であるシリンドラについては理論値に基づいた工程分割・設備台数設定と配置・設計初期段階からのVA案の多数採用により加工費▲12%を実現した。

・海外調達や部品供給メーカとのVE活動によるコスト削減

海外訪問による作り込みにより新規海外調達部品(焼結2部品)の採用と数度に渡るメーカーとのVE活動実施による購入品約▲8%を達成した。

・活動全体として

上記の結果、必要機能を落とすことなく製造原価35%削減を達成するとともに、軽量化についても12%削減を実現した(図8)。

「機能」—「機能部品」への展開

図 6 機能部品展開 (抜粋)

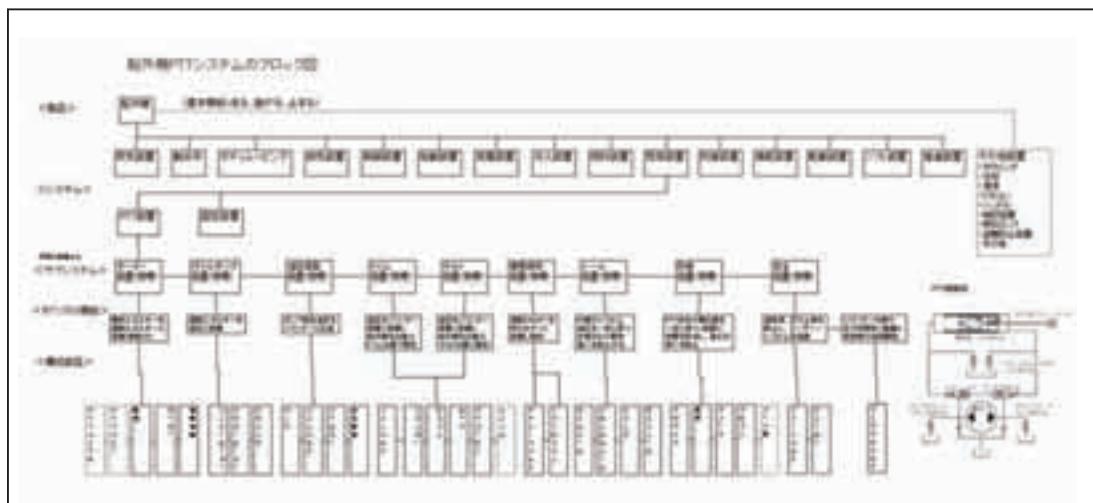


図 7 機能システムブロック図展開

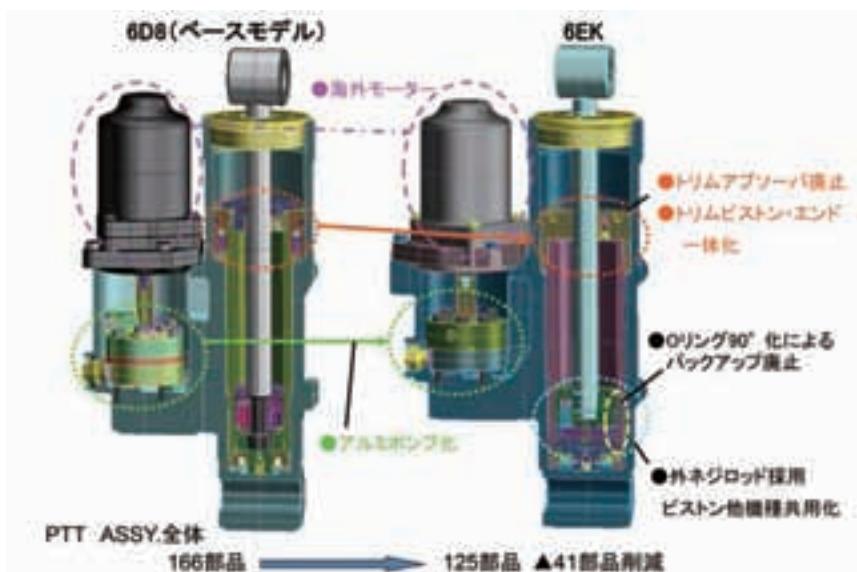


図 8 内部構造変更内容



図 9 2014 年原価革新賞楯

4 おわりに

ヤマハ発動機の船外機部門の協力を得て、同馬力帯で従来の3本シリンダタイプのPTTからシングル複筒タイプへの変更が可能となり、機能とコストのバランスが取れた製品をお客様に届けることができるようになった。また、ヤマハ発動機の取引先の中で、原価低減に対して大きく貢献した会社に贈られる2014年グローバル原価革新賞を受賞することができた（図9）。これは、ヤマハ発動機と一体となり、効率の良い開発ができた結果であると考える。

今回の活動実績およびさらなるチャレンジをもって、次期プラットフォームプロジェクトに取り組み、ヤマハグループの一員として収益性と品質の向上に貢献していきたい。

■著者



浦野 真樹
Masaki Urano
ヤマハモーターハイドロ
リックシステム株式会社
第2開発室

島田 慎也

Abstract

Since its development and sales began as a world first in 1993, the PAS electrically power assisted bicycle has continued to evolve based on its original development concept of "giving top priority to human sensibilities".

By generating new demand, such as models that can take two infant passengers at one time, the domestic electrically power assisted bicycle market has broadened. The European markets have also followed an upward trend over the last few years reaching a scale of over 850,000 units in 2012 as shown in figure 1.

This paper looks at the development of the high-capacity, compact and light-weight OEM drive unit designed to meet the regulations and culture of European markets that differ to Japan (Figure 2).

1 はじめに

1993 年に世界で初めて電動アシスト自転車 PAS を開発・発売して以来、“人間感覚を最優先する”開発当初の理念を受け継ぎながら、年々商品の熟成を重ねてきた。

国内の電動アシスト自転車市場は幼児 2 人同乗仕様など新需要の創出も合わせ年々拡大している。同様に欧州市場もここ数年増加の一途を辿っており 2012 年度は図 1 に示すように 85 万台を超える規模となっている。

今回、日本と異なる自転車文化や法規のもとに進化している欧州市場にマッチする小型・軽量で高性能な OEM 用ドライブユニットを開発したので紹介する（図 2）。

2 開発のねらい

欧州市場での自転車の価値の高さ、デザイン、法規や乗り方の嗜好など歴史やインフラの違いから来る自転車文化が国内市場とは異なることを念頭に、以下 3 点を開発の狙いとした。

- ・車両 デザインとのマッチングに優れること
- ・小型・軽量、高出力
- ・欧州嗜好と規格に合わせたアシスト制御

3 開発概要

3-1. 車両デザインへのマッチング

取引先の欧州メーカがフレームジオメトリとバッテリ搭載位置の自由度を重視し、かつリアセンタ（クランク軸と後車軸の距離）が短いデザインを求めるところから、国内向けモデルで採用しているチェーン合力タイプを諦め、構造的に複雑なクランク合力タイプとした。これによりクランク軸の前方にモータ、減速機構をレイアウトし、リアセンタ

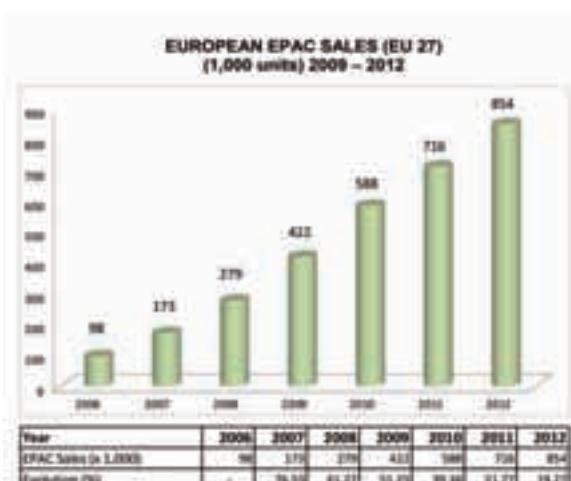


図1 欧州市場における電動アシスト自転車の伸張
(出展 Industry & Market Profile [COLIBI COLIPED])



図2 PWユニット外観

を短縮するデザインが可能になった。またテンショナ機構が不要になり、車両搭載状態での最低地上高をスプロケット下端まで上げることができ、さらにはモータスプロケットを介さないので、外装変速への対応が容易になるなど搭載車両のデザイン自由度を上げることができた。

クランク合力とチェーン合力の方式の違いを図 3 に示す。

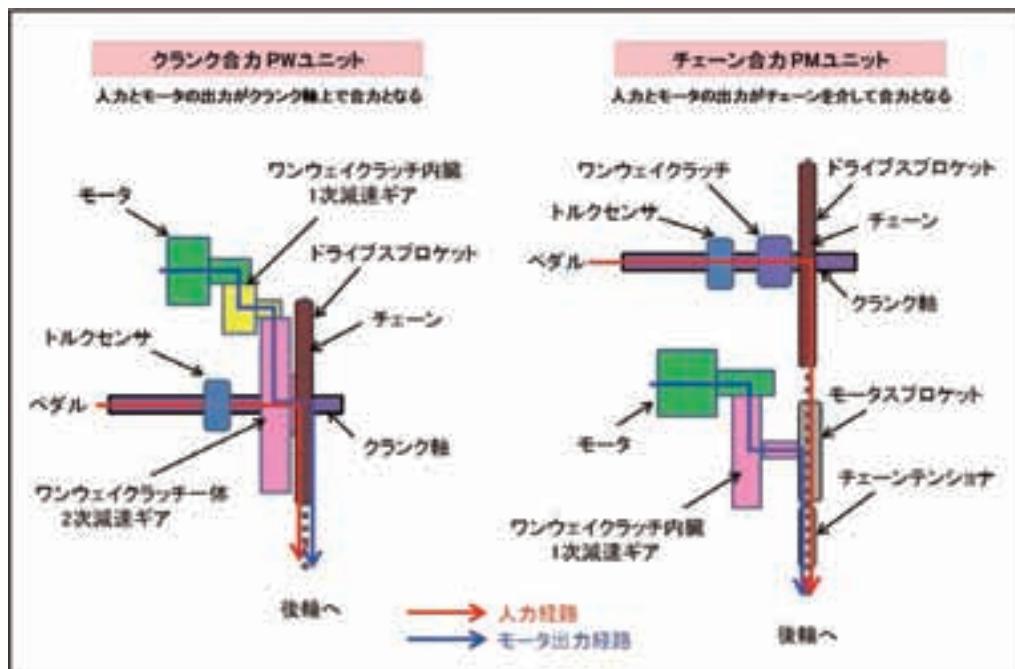


図3 クランク合力とチェーン合力

デザイン自由度に対する配慮はドライブユニット本体に加え、アシスト制御を行う上で車速を読み取るスピードセンサの構造や配置にも及んだ。

後述する法規の違いにより、国内仕様は車速とアシスト比の関係が規定されているため、法規のガイドラインに沿ってアシスト力を最大限に提供すべく細かな制御を行っている。

そのため、センサ部は多極マグネットを用いた多パルス仕様として、フロント（一部のモデルはリア）ハブ周りのスポークに円盤状のマグネットを装着する構造となっている（図4）。

一方欧州ではスポークパターンのデザイン性やディスクブレーキ等のバリエーション対応およびフロントフォーク周りのワイヤリング簡素化の要望があり、構造がシンプルで一般的な1パルスタイプのセンサとした（図5）。

日欧両市場におけるシティ向けデザインの電動アシスト自転車を図6～9に示す。図6,7は日本市場でPMユニットを搭載したモデルである。また、図8,9は欧州市場でPWユニットを搭載したモデルである。



図4 国内向けスピードセンサ

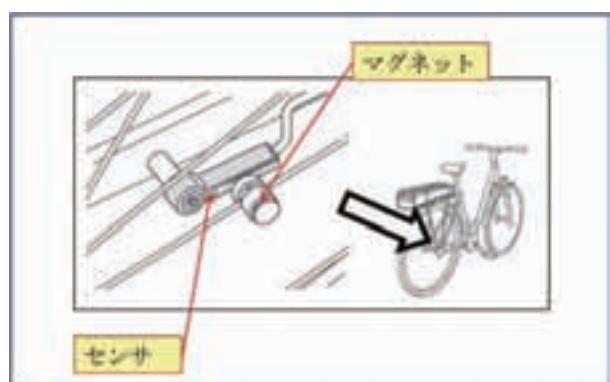


図5 1パルスタイプスピードセンサ



図6 YAMAHA PAS ナチュラ



図7 YAMAHA PAS CITY-S5

図8 Batavus社 Stream
(Batavus社HPより)図9 Giant社 Prime E+2
(Giant社HPより)

3-2. 小型軽量化設計

3-2-1. 駆動系およびケース

小型化するためモータとギア類を最も凝縮して配置できる諸元を見出して、それを実現するための部品仕様を決めていく手法をとった。さらに従来アルミハウジングの形状でグリス飛散を防止していた部分の樹脂化や、ハウジングの合面の幅縮小など組立工程も従来と変わる点が多く、製造部門との協議を重ねて小型軽量化にトライした。図 10 に PW ユニットの外観図を示す。

3-2-2. コントローラ

欧州市場で主流となっている 36V 駆動を採用するとともに、EMC 指令対応や市場での使われ方の違いを考慮して、コントローラは欧州専用の新規開発となった。

駆動系設計とレイアウト検討を重ね、モータパワーを供給するインバータ部分の放熱方式に新構造を採用した。ハウジングを構成するアルミ筐体へインバータ部分の発熱を直接的に伝熱できるようにすることで伝熱経路を短縮させた結果、放熱性能は大幅に向上了。

さらに基板の包絡容積¹⁾ のミニマム化を狙い、異型基板

を採用し従来のレイアウトでは分割されていた基板の一体化を行うと共に、各素子の小型化、電解コンデンサの横置き配置、EMC 対応のフェライトコアレス設計などを織込むことで、従来基板比 20% 以上のコンパクト化を実現した（図 11）。

1) そのものの輪郭で決まる体積

3-2-3. モータ

アシストパワーの源となるモータは、小型化と後述する欧州の高速巡航嗜好に対応するため、36V 電源の採用と合わせ、高いクランク軸回転数までアシストされるフィーリングを演出できる高回転・高出力型を新作することにした。

モータ電磁気設計の最適化のために、スロット数ポール数の見直しを行い、最終的に 12 スロット 14 ポールを選択した（図 12）。結果としてトルク密度²⁾ を従来市場品に対し 10 ~ 20% 上げることができ、希土類の使用量を増やすことなく小型化を達成した。また、フル充電から所定の電圧までは電池電圧が低下しても最大回転数が変化しない巡航性重視のキャラクタとした。モータの諸元を表 1 に示す。

2) 最大トルクを体積で除したもの

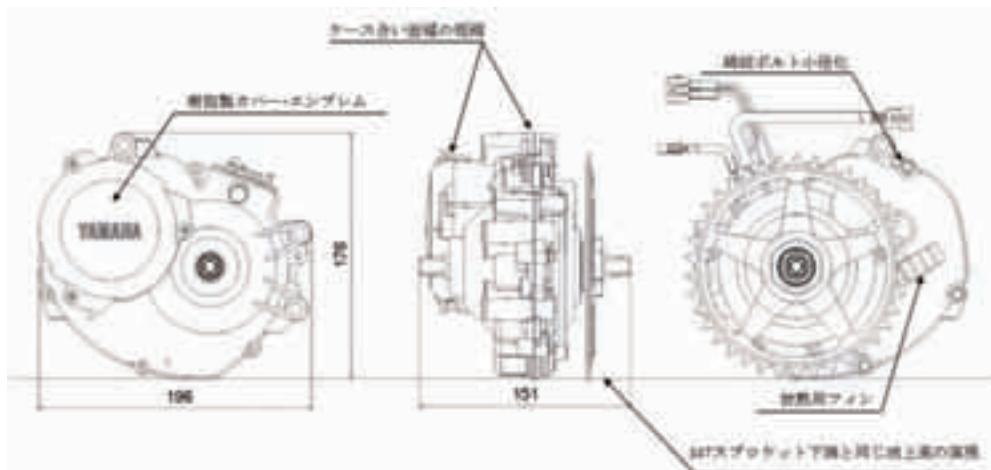


図10 PWユニット外観図

表1 PWモータ諸元

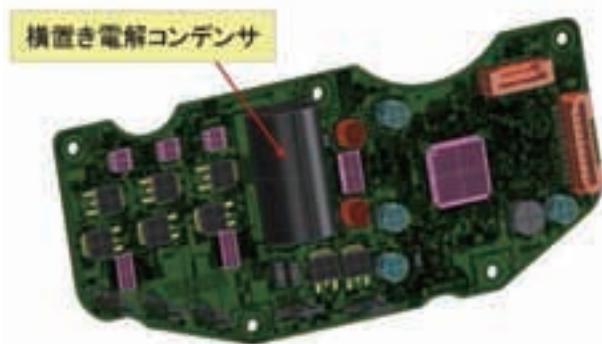


図11 異型コントローラ基板

		PW (ヨーロッパ) PM		
電源仕様	電池電圧	V	36	24
構造	スロット数	—	12	18
	ピール数	—	14	12
	リード構造	—	SPM	SPM
	接線仕様	—	ブルタ結線	ブルタ結線
重量 サイズ	ステータ	mm	φ22	φ101.8
	電動	g	360	1,223



図12 12スロット14ポールのモータ部

3-3. 欧州の法規、嗜好にあわせたアシスト制御

アシスト自転車の法規は日本市場、欧州市場それぞれにあり、表2に示す違いがある。

スピードセンサの仕様で述べたように、日本の法規では車速とアシスト比が細かく規定されている。その中で当社の製品は変速段数に応じて最適なアシストを提供することが市場での好評を得ている一因となっている。一方欧州の法規では車速に関しては25km/h以上でアシストしないことのみ規定されている。

また、国内、欧州の市場調査や取引先とのジョイントワークを繰り返す中で、法規を含む自転車文化の違いに加え、期待されるアシストのフィーリングの違いが次々と顕在化してきた。

そこで3-1で述べた車速センサ構造の簡易化要望対応と合わせ、長年培ってきた国内仕様の延長上ではない、欧州専用のアシスト制御を開発することにした。

今回開発した欧州アシスト制御の特徴を国内アシストと対比して表3に示す。

表2 日欧の法規の主な違い

	EN15194 欧州	JIS D 9115 日本
アシスト比制限	なし。 (無いでいればOK)	あり。比例的にアシスト (阻力:アシスト比1:2)
ペダル停止後出力	2m走行以内に停止	短時間でも自走しない
車速制限	滑らかに減速させ。 25km/h以上でアシストトルク0	0から10km/hまでは アシスト比5% 10~24km/hで直線的に減速させ。 24km/h以上でアシストトルク0

表3 日欧アシスト制御の特徴

	発進からの 加速・坂道	10km/h程度の 中低速域巡航	20km/h+の 高速域巡航	特徴
国内アシスト				人の踏力をアシストで増強する感じ。 ピークトルクが大きくメリハリの利いたアシスト 発進、坂道でのアシスト重視
欧洲アシスト				人の踏力とアシストの織成す一体感 ピークトルク重視ではなく連続感重視のアシスト 高いクランク回転でもアシストがついてくる

3-4. まとめ

多くの新企画を織込んだ PW ユニットは狙ったデザイン性、アシストフィーリング、軽量高出力を達成することができた。ユニットとしての重量および性能（トルク）は以下のとおりである。

重量	3,500g (スプロケット除く)
最大ピーカトルク	80Nm
連続最大トルク	70Nm

本ユニットは 2013 年の東京モーターショーに参考出展した YPJ-01 (イプシロン プロジェクト ゼロワン) に搭載され、そのサイズやデザイン性は高い評価を受けている。

4 おわりに

今回紹介したドライブユニットは、結果的に国内向けては一線を画すものとなった。

その中でプロジェクトメンバーは、電動アシスト自転車市場が成長していく過程で、文化や法規の違いからお客様の使い方が市場ごとに多様化し様々なニーズとなり、また時代に応じ変化していくことを実感することができた。また、新規構造の実現に向けて製造部門との協議を行いながら自転車業界の短い時間軸の中で生産立上げができたことは、若いプロジェクトメンバーの自信になったと思う。次世代に向けて本モデル開発の経験を活かし、数多い市場要求からのイン

プットを魅力品質に創り上げ、さらに顧客満足度の高い商品の開発を行っていきたい。

最後に、本モデルの開発に際して OEM 取引先様からのサジェスチョンと多大な協力を戴きました。この場を借りて改めて御礼申し上げます。

■著者



島田 慎也

Shinya Shimada

事業開発本部

SPV事業部

第1開発部

鈴木 孝典 林智之 長尾訓成



Abstract

The North American ROV (Recreational Off-Highway Vehicle) market has a demand in the scale of 200,000 units per year, and is expected to grow further in the future. They are used in a variety of scenes, from commercial purposes such as farming, to recreational fields such as hunting. In order to cover this expansive range, we have developed and launched VIKING last year (2013).

In recent years, there is an increasing need for wanting more passenger capacity, both in farming use (to transfer people) and in recreational use such as hunting. In addition, in recreational use, there is an increasing need for traveling more comfortably and enjoyably. To respond to these needs, we have developed a six-seater VIKING VI to provide more passenger capacity than VIKING (2014 model) while optimizing drivability, comfort and practicality. This report introduces the development of VIKING VI.

1 はじめに

北米の ROV (Recreational Off-Highway Vehicle) 市場は現在、年 20 万台規模の需要があり、今後も伸長していくことが予想される。その用途は農業 / 酪農などの業務から狩猟などのレクレーションまで多岐に渡っている。それら広範な用途をカバーするために、昨年（2013 年）VIKING を開発、市場導入した。

ところで、近年農業／酪農では「多人数」の人の移動に、狩猟などのレクレーションでは、家族や仲間との「多人数」乗車に加えて、「快適に」「楽しく」移動したいというニーズが高まってきた。そこで、VIKING (2014 年モデル) より多人数が乗車可能で、走行性や居住性および実用性などを最適化した 6 人乗りモデル「VIKING VI」(以下、本モデル)を開発したので、ここに紹介する。

2 開発のねらい

市場で要求されている「多人数」乗車のニーズに対応するために、下記 3 項目を主要なねらいとした。

- 1) 快適性：6 人が快適に乗車できる居住性、ホールド性と視認性の確保
- 2) エンジン特性：極低速域から高速域まで優れたパワー特性と加速感の実現
- 3) 利便性：充実したユーティリティを装備したインテリア

3 製品の特徴

3-1. エンジン概要

本モデルのエンジンは、昨年先陣を切って販売された VIKING に搭載されている水冷 4 ストローク SOHC4 バルブ

単気筒エンジンをベースに、より高負荷に耐えるべく、駆動系を中心に以下のモディファイを行った。

- ・ 湿式遠心クラッチのライニング材や潤滑経路の見直しによる信頼性の高い CVT の実現
- ・ CVT 変速比の拡大 (Low/Top 比 4.1%UP) による低速からの十分な駆動力と最高速確保との両立
- ・ シフト軸受部への無潤滑すべり軸受けの配置によるシフト操作荷重の低減 (最大△ 33.3%)
- ・ エンジンとフロントディファレンシャルギヤケースを繋ぐプロペラシャフトの分割数を増やし、フロア下のプロペラシャフト径の拡大を抑えることによる VIKING と同じシートポジションの実現

3-2. 車体概要

いち早く本モデルを市場へ導入するため、3人乗り VIKING をベースとしながら、車体を延長することで2列目の座席を新設し、6人が快適に乗車できる居住性を確保した。

ROV プラットフォーム構想の下、フレームは VIKING と同じ3モジュール（前方部・中央部・後方部）構成とし（図1）、同じ溶接ラインで対応できる構成とした。

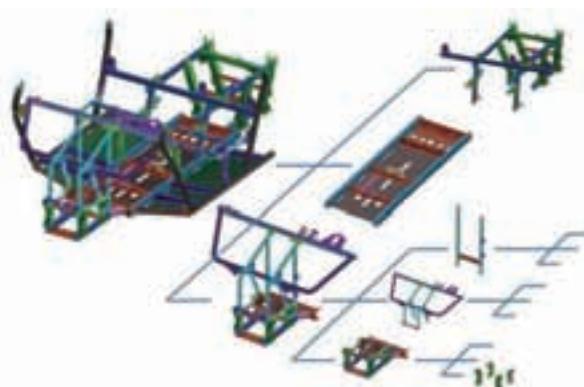


図1 フレームのモジュール構造

燃料系・操舵系・制動系等の機能コンポーネント部品は、開発期間および投資抑制も考慮し基本的には共用する一方、乗り心地やハンドリングを構成するサスペンション、タイヤやステアリングの特性は、細部までチューニングすることで6人乗り ROV としての商品力を確保した。

3-2-1. 車体サイズ・レイアウト

車体サイズは、全幅も全高もほぼ VIKING と同じとし、居住性と実用性、走破性を6人乗り ROV としてバランスの良い車両サイズとした。

原動機と補機類（エアクリーナおよび排気系）も VIKING と同レイアウトとしつつ2列目座席の居住性を確保するため、ホイールベースは全長に合わせ 800mm 延長した（図2）。

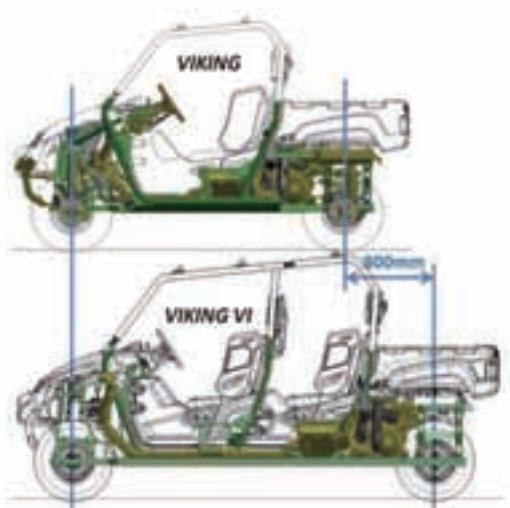


図2 VIKING と VIKING VI の比較

外装意匠部品は VIKING と共に用いられ、新作が必要であった2列目座席周辺の意匠部品についても、共用する部品の外観イメージを合わせることで、VIKING シリーズとして相応しい意匠とした。

実用面でもリヤカーゴベッドの積載量や、2インチヒッチレシーバーの牽引量は VIKING と同じとし、実用性の高さも継承した。

3-2-2. キャビンレイアウト

座席はインパネ部とシート、フロアボードを含め VIKING を踏襲しながらも、1列目座席のヘッドレスト形状を見直すとともに、今回新設した2列目シートの取付高さを調整することで、2列目乗員の視認性を確保した。フットスペース・ニースペースについても、快適に乗車できる居住性を確保した（図3）。

ユーティリティ面では、2列目用としてカップホルダは4個、DC アウトレットは1箇所追加しそれぞれ VIKING の倍の数を装備（図4）するとともに、1列目のシート下に収納部を設置（図5）することで利便性も追求した。



図3 新設した2列目座席



図4 2列目のユーティリティ装備



図5 1列目シート下の収納部

また、全席3点式シートベルト、握りやすいパッセンジャーグラブバー、走行中の姿勢保持を支援するフロアボード形状やショルダーボルスターなど、VIKINGで開発した快適にオフロード走行を支援する機能、および実用性を向上させるウォークスルー機能は本モデルにも織り込まれている。

3-2-3. 走行性能

VIKINGに対し大型化した車両と、荷重（乗員数）レンジの拡大に合わせ、サスペンションとステアリングの仕様適合を実施した。

サスペンションは、ダンパーおよびロッドサイズをVIKINGと同じしながらバネ特性と減衰特性を見直すことで、1名乗車からフル積載時までの荷重レンジの広さに対応した。特に低速時の快適性を考慮し、サスペンションの他、タイヤの内部構造のチューニングも施した。最低地上高は290mmとし、多人数乗りROVとして十分な悪路走破性を確保している。

ハンドリングについても、荷重レンジの幅を考慮し、電動パワーステアリングを装備しない車両においても、適度な操舵力とハンドル応答性をバランスさせるために、ステアリングギア比、タイヤ剛性および空気圧の相互関係を調整することで最適化を図った。

結果、ワークユースだけでなく、トレール等でのライディングにおいても、多人数でも楽しむことができる特性を有する車両を提供できた。

4 おわりに

YMMC(Yamaha Motor Manufacturing Corporation)開発陣との協働によりUS市場調査、現地テストを行い、またVIKINGの開発の経験/ノウハウなどを使い、常にお客様視点での開発を進めることで、ヤマハROVの存在感を拡大できるモデルとなった。また冒頭に記載した主要な開発のねらいを達成しながらも、魅力的な価格で市場へ提供できたことは、幅広いお客様に受け入れて頂けると確信している。引き続き市場変化に対応した進化を重ねることで、お客様の期待を超える商品となるよう開発を継続していく。

今後の新製品および改良モデルに期待して頂きたい。

■著者



当社開発担当者

鈴木 孝典(右端)

Takanori Suzuki

事業開発本部

RV事業部

開発部

林 智之(右から2番目)

Tomoyuki Hayashi

事業開発本部

RV事業部

開発部

長尾 訓成(左から2番目)

Tokinari Nagao

事業開発本部

RV事業部

開発部



YMMC Product Development一同

Todd Booth(右端)

YMMC (Yamaha Motor Manufacturing Corporation)

PD (Product Development)

<Message from YMMC-PD>

Following the plan to release one new ROV each year for the next five years, YMC and YMMC partnered to release the second ROV, Viking VI. On June 5, 2014, Viking VI was introduced with great acceptance at Austin Texas Dealer Meeting in the heart of the Multi-passenger ROV market.

More than simply extending the 3-person Viking by 800mm and adding additional seating, Viking VI required considerable development to ensure comfort, functionality and terrainability. At the dealer meeting demo drive event, all drivers and passengers remarked that although the vehicle is large, it is just as maneuverable in tight conditions as Viking and comfort and confidence is very good no matter what seating position a person is in. YMC and YMMC are true partners in Yamaha's five-year ROV plan. With each new ROV release, anticipation grows for the release of exciting future ROVs.

青木 啓高



Abstract

In recent years, unmanned vehicles such as multicopters have been utilized in a wide range of industries. Yamaha Motor Co., Ltd. ranks amongst companies active in developing an unmanned vehicle business, focusing primarily on industrial-use unmanned helicopters for crop dusting. As a part of efforts in this field, Yamaha Motor has developed the OT91 unmanned electric boat, a compact craft optimized for remote or automated navigation on calm waters. This unmanned boat will be utilized primarily for monitoring and observation/surveying as a means of verifying operations for new business creation. In addition, it also serves as a platform for research and development of vessel control. This report gives an outline of the OT91 unmanned electric boat and introduces examples of its use.

1 はじめに

近年、マルチコプタをはじめ、無人機が様々な業種で活用されている。ヤマハ発動機（以下、当社）でも、農薬散布の産業用無人ヘリコプタを中心に無人機による事業を展開している。その中で、OT91 電動無人小型艇は平水面の環境下で、遠隔操縦および自動航行が可能な小型艇として開発された。その主な用途は、無人艇による監視や観測・測量等、新規事業を創出するための運用検証である。加えて、船舶制御の研究開発用プラットフォームも兼ねている。

本稿では、OT91 電動無人小型艇の概要とその活用事例を紹介する。

として、「運用検証時の利便性向上」と「制御開発の効率化」をキーワードに開発を行った。詳細は次節を参照のこと。

3 システム概要と主な特徴

システム構成は、主にOT91電動無人小型艇本体と自律航行の経路設定等を行う地上局、遠隔で操船するための送信機で構成されている。現在、地上局と船体の通信には無線LANを中心に使用している。また、様々な運用検証への対応を考慮して、船体内的制御にCAN通信(Control Area Network)を採用することで、装置の変更や追加に柔軟性を持たせた。OT91電動無人小型艇の主要諸元を表1に、配置図を図1に示す。

システム概略図は、後述の深浅測量で使用する装置も含め、参考資料[1]に記載されており、本稿では割愛する。

2 開発のねらい

運用時の省力化を基本として開発されており、必須人員は周辺の安全監視者と装置取扱者の2名としている。重点項目

表1 主要諸元

全長	2.85 m (防舷材を含まず)
全幅	0.98 m
主機	モータ : 200 W×2
バウスラスター	モータ : 80 W
減速比	3.5
バッテリ	リチュームイオン×4
軽荷排水量	170 kg 島
巡航速度	約1.03 m/s (2 knot) 島
航続時間	約3時間 島
航続距離	約20000m 島

※搭載する装置によって変動する。

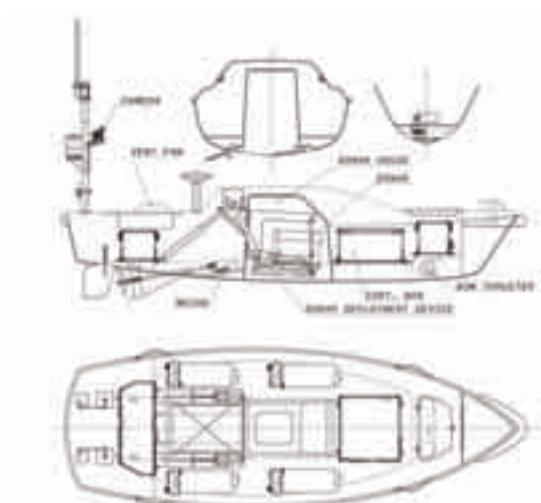


図1 OT91 電動無人小型艇の配置図

3-1. 多目的な観測機材への対応

船内は、カメラや観測機材の設置空間を最大限に確保した(図2)。機種は限定されるが、測量に用いられるナローマルチビーム(以下、NMB)を船体中央部に搭載可能とした。また、計測装置の操作をPCで行う場合、無線LANの通信範囲内であれば、船体に搭載したPCを地上から操作することも可能である。(ただし、搭載するPCの設定変更が必要)



図2 船内レイアウト

3-2. 遠隔操船機能

遠地での送信機による操作は、非常に視認性が悪くなるが、通信範囲内であれば、地上局に送信されるマストカメラの画像を、遠隔操作のサポートに活用できる(図3)。ただし、通信遅れの発生や前方視界も限定されるので、十分な注意が必要である。



図3 無線 LAN 通信によるマストカメラ画像

3-3. 運搬性の向上

船体のサイズは、ワゴン車で運搬できる大きさに設計した。これは運送者の負荷低減や検証現場での駐車場の確保等に寄与しており、運用の利便性を向上している(図4、図5)。



図4 車両搭載前



図5 車両搭載後

3-4. 制御設計の効率化

OT91 電動無人小型艇のコントローラは、設計後に運動モデルを用いたリアルタイムシミュレートにより機上で動作確認が可能である。このリアルタイムシミュレーションは、船体の運動制御を行うための情報が全て CAN 通信で出力されており、船体に搭載する ECU 等を接続することで動作確認やデバッグ作業を行える。これにより、実機試験前に確認ができるため、作業効率を大幅に向上することができた。

3-5. 制御の実機確認

ECU 開発用ラピッドプロトタイピングの採用により、短期間での実機検証を実現させた。また、無線 LAN の通信範囲内であれば、遠隔操作により船を水上に浮かべた状態で制御プログラムの変更が可能である。これは複数の試験を行う場合、船体を係留、もしくは陸に揚げることなく制御プログラムの変更が行えるため、試験時間の短縮が図れた。ただし、制御プログラムを変更している間は、安全上、遠隔操縦で小型艇を操船する必要がある。



図 7 深浅測量の運用検証②

5 おわりに

本稿では、OT91 無人電動小型艇の特徴と深浅測量による運用検証について紹介した。紹介した事例以外に、役務運用や貸与等でも運用検証を行っている。

このように、用途の模索、拡大を行うことで事業化の可能性を探る必要がある。今後は獲得した技術や知見を当社の既存事業にも展開すべきと考えている。

■謝辞

深浅測量の運用検証において、中日本航空株式会社、および、株式会社フジヤマ、株式会社ジェノバの皆様にご協力いただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

■参考文献

- [1] 神谷光顕, 城下獎, 今井浩久, 鵜飼尚弘, 自動マルチビーム測深システムによる水中3次元データの取得, 第36回測量調査技術発表会要旨集, (2014)

■著者

青木 啓高

Hirotaka Aoki

事業開発本部

UMS事業推進部

開発部



図 6 深浅測量の運用検証①

原田 雄三 吉野 靖彦



E050型（コンパクト型）



E052型（大容量型）

Abstract

Yamaha Motor Engineering Co., Ltd. have been developing and selling products for fire services since the sales in 1985 of an electric hose layer (a piece of equipment that lays fire hose from a fire truck to the site of fire), designed to be fitted onto fire trucks. Some of the products we have launched include the manual hose car, firefighting motorcycle (called 'red motorcycle' in Japan), and a lightweight portable bifocal floodlight.

The electric hose layer introduced in this report is the only electric hose layer produced in Japan that allows the operator to drive the vehicle while standing, and it is praised for its ability to allow firefighters to focus on extinguishing fires by reducing the burden placed on the firefighters themselves.

Since the release of the first version in 1992, we have been making slight modifications while retaining its basic specifications. However, we have been given a request in recent years from fire service representatives to provide a more powerful version. In addition, we have also considered requests we received from interviews being carried out since 2010 to modify controllability for the latest update. This report will introduce the overview of the update and its features.

1 はじめに

ヤマハモーターエンジニアリング株式会社（以下、当社）では、1985年に消防自動車へ搭載する電動式ホースレイヤー（消防自動車から火災現場まで消防ホースを延長する消防用資機材）の販売を始めとして今日まで、手引きホースカートや消防活動二輪車（通称：赤バイ）、軽量二焦点型可搬式投光器などの消防機関向け製品の開発・販売をしてきた。

今回紹介する電動式乗用ホースレイヤー（以下ホースレイヤー）は、立ち乗りで乗用運転できる電動式では国内唯一の製品であり、消防隊員の負担を軽減して消火活動に専念できるとの高い評価を得ている。

1992年に初号機を発売して以来、基本スペックはそのままで小改良を重ねてきた。しかし、近年になって消防関係者から「もっと力強く走れないか」との要請を受けた。さらに、2010年から実施してきたヒヤリング結果から浮かび上がった

た操作性の改善要望も考慮してモデルチェンジを行った。本稿では、その概要と特徴を紹介する。

2 ホースレイヤーとは？

消火活動の中で、火災現場まで消防用ホースを延長していくことは、非常に重労働である。消防隊員は耐火服を着て消防用ホースを担ぐか、ホースカートを手押しして現場に駆けつけなければならない。

そこで、隊員の負担を軽減させる目的で乗用のホースレイヤーを開発した。乗用にすることで平地のみならず、登り坂でも簡単に消防用ホースを配置できるようになった。

ホースレイヤーは消防車の備品であり、消防車の後部に搭載される（図1）。



図1 搭載状態

消防車に搭載されている時は縮小されており、使用時にロックレバーを操作して伸長させ、乗車して火災現場に向かう(図2)。



縮小時（搭載状態）

伸張時（乗車状態）

図2 使用時における形態

3 改良のポイント

現行のホースレイヤーに対し、「より力強く・より扱い易く」という視点から、以下の重要開発項目を設定した。

3-1. 走行性能向上

従来モデルでも10度の坂を登るだけの能力は備えていたが、平地に比べて速度の低下が大きい。そこで今回開発した車両は、モータの出力を従来モデルの1.65倍($1\text{kW} \Rightarrow 1.65\text{kW}$)にすることで、登坂時の走行速度を向上させた(図3)。

またそれに併せてギヤ比を最適化することで平地での最高速を規格で決められている10km/h以下になるように設定した。



図3 登坂性能向上図解

3-2. 取扱性向上

取扱性についてのお客様へのヒヤリング結果から要望をまとめ、従来モデルに対して以下の改善を行った。

- ① ギヤセレクトレバー操作方法変更（操作性向上）
- ② 上カゴ固定用フック形状変更（操作性向上）
- ③ バッテリ固定方法簡素化（作業性向上）
- ④ ヘッドライト位置変更（視認性向上）

表1に「E050/E052 ホースレイヤー」の仕様諸元を示す。

表1 仕様諸元

車種		E050 (コンパクト型)	E052 (大容量型)
車両寸法 (mm)	全長	縮小時 910	縮小時 1120
	伸張時	1370	1645
	全幅	990	1120
軸距離 (mm)	全高	1075	1090
	縮小時	470	550
輪距離 (mm)	伸張時	830	975
	前	810	920
	後	810	910
	最低地上高 (mm)	165	160
装備重量 (kg)		163	189
最大積載量 (kg)		120	150
乗車定員 (人)		1	←
最高速度 (km/h)		9.5(高速)/5.0(低速)	←
登坂能力 (度)		10	←
制動距離 (m)		3以下	←
最小回転半径 (mm)		1.9	2.3
安定度 (度)	左	35	←
	右	35	←
使用温度範囲 (°C)		-5 ~ 40	←
原動機	モータ型式	直流永久磁石式	←
	定格出力(kW)	1.65	←
バッテリ	型式	HP24-12	←
	種類	密閉式鉛蓄電池	←
	容量	12V 24Ah(20時間率)	←

4 商品化に向けて

4-1. 新型コントローラの開発

従来モデルのコントローラは立ち乗り式のゴルフカー用を流用し、プログラムを変更することで対応していたが、近年電子部品の廃盤が相次ぎ、製造に限界が見えてきた。

そこで本モデルには、最低 10 年は調達が可能な部品を採用した新型コントローラを開発した。さらに、フェイルセーフ機能を搭載することで高負荷時にコントローラが破損しない配慮もした。

4-2. コンパクト型車両の商品力向上

従来は、大容量型モデルだけが 2 速仕様で、コンパクト型は単速のため走行性能は下限レベルだった。そこで、新型より登坂を要求される地域への拡販を目指すため、大容量型と同様の 2 速仕様を採用した。これにより、図 3 で示す通り性能の向上を実現した。

4-3. 規格への適合

本モデルは、日本消防検定協会により規格化されている「電動式ホースレイヤーの安全基準」に則って開発された。また、日本消防検定協会の立会いによる型式適合評価で実施する内容についても実機評価項目に織込み、基準以上の性能があることを確認している。

4-4. 販売台数の拡大

坂道走行時の動力性能向上を図ったり、コンパクト型車両を 2 速化したりするなど、競合する伴走型ホースカーとの優位性を向上させたことで、より多くのお客様にご満足いただけ、拡販にも繋がると確信している。

またホースレイヤーを導入してから 10 年以上経過している地域や未導入の地域に対しては、デモ車による試乗を行うことで、従来モデルとの違いを実感してもらうとともに、本モデルの性能を広く知ってもらうための活動を実施していく。

ルチェンジすることで、お客様の期待を反映できたと考えている。

今後も高齢化が進んでいくであろう消防署員の一助になる商品開発を続けることで、社会に貢献していきたい。

■著者



原田 雄三
Yuzo Harata
ヤマハモーター
エンジニアリング株式会社
事業推進部



吉野 靖彦
Yasuhiko Yoshino
ヤマハモーター
エンジニアリング株式会社
事業推進部

5 おわりに

消防関連商品は年間の需要数が限られる。また、緊急時の操作方法に影響を及ぼすため、頻繁な仕様変更は敬遠されることから長寿命のモデルが多い。そのような中でホースレイヤーは従来のスタイリングを引き継ぎつつ、20年ぶりのモ

小型船外機エンジン アルミ部品コストダウンへの取組み ～理論値に基づいた高品質・高能率切削加工～

Small Outboard Motors: Aluminum Parts Cost Cutting Initiatives
- High Quality, Highly Efficient Cutting Processes Based on Theoretical Values -

中井 典子 坂本 祐輔

当論文は、日本プラントメンテナンス協会（JIPM）の2014年度TPM優秀論文賞を受賞した内容に基づくものです。

要旨

近年、BRICS諸国の急成長によるマリンレジャーの多角化や、北米を中心とした環境対応、アジア・アフリカを中心とした根強い2ストロークエンジン要望など、顧客ニーズが多様化している。当社の船外機事業もこれに対して多彩な商品群を持つことで幅広いお客様にご支持をいただいてきた。一方、製造側にはこの多種多用な商品の製造に迅速に対応できる高い加工技術に加え、近年は国際競争力（特にコスト競争力）が求められている。

今回の取組み対象であるシリンダーライナ部は高温にさらされながらピストンと摺動する重要部位である。通常この加工には主軸剛性の高いボーリング専用機を用いるが、これは高額な上に汎用性も乏しい。そこで、今回の取組みでは「設備・刃具等の道具の選定方法」、「切削条件などパラメータ設定方法」に安定限界理論を用いることにより、安価な汎用機で高精度・高能率切削を可能にした。

Abstract

Recent years have seen diversification in customer needs including diversifying marine leisure activities (driven by rapid growth in BRICS economies), environmental compliance (primarily in North America), and strong 2-stroke engine demand in Asia and Africa. Yamaha Motor's outboard products are popular with a wide range of customers thanks to our varied product range that caters to these diverse needs. From a manufacturing perspective however, diversity had led to demand for high-level processing technology capable of prompt and flexible response to manufacturing requirements for varied and versatile products, and in recent years, demand for international competitiveness (particularly cost competitiveness) as well.

The cylinder liner part at the focus of this initiative is a critical part that is exposed to high temperatures as it slides with the pistons. In general, dedicated boring machinery with high shaft rigidity is used for this process, but this is expensive and lacks versatility. With this initiative, we have realized high precision and highly efficient cutting with a versatile low-cost machine, by applying stable limit theory to "tool selection methods for equipment/cutting tools etc." and "parameter setting methods such as cutting conditions."

1 はじめに

当社の船外機事業は 1960 年の P-7 販売開始から 50 周年を迎え、様々な使われ方をするお客様からご支持をいただき、高いシェアを得ている。商品も 2 ~ 350 馬力、環境対応の 4 ストロークエンジンと根強い人気の 2 ストロークエンジンがラインナップされ、多くの商品群を誇る。近年、この多種多用な商品の製造に迅速に対応（少量生産）しつつ、国際的なコスト競争力を高めることが製造側に求められてきている。

ヤマハ熊本プロダクツ（YKP）は熊本県八代市に工場を持ち、中・小型の船外機の素形加工から塗装・SMC（sheet

molding compound）・組立てまでを行える一貫工場である。中・小型の船外機はアジア・アフリカ市場での需要が高く、競合他社は 15 年ほど前から人件費の安いアジアでの生産をスタートさせている。しかしアジア諸国の賃金はこの 10 年間で約 2 倍になっており、海外生産のメリットが徐々に減少しつつある（図 1）^[1]。特にコストにおける設備費のウエイトが高い機械加工分野では、設備寿命までに海外生産による効果を出し切れない場合もあり、必ずしも「海外生産が有利である」とはいえない状況になっている。

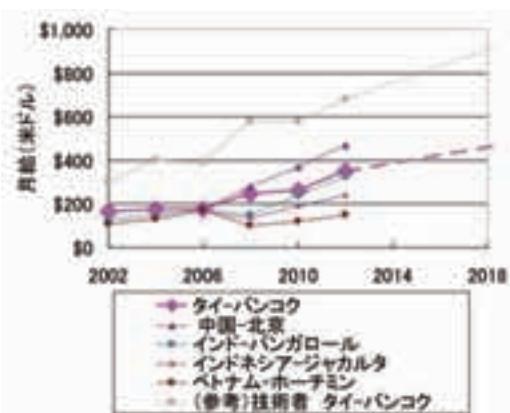


図1 アジア諸国の10年間の賃金変化（一般工）

この外部環境の変化を踏まえ、コスト競争力に直結する機械加工設備費に着目し、安定限界理論をシリンダライナ（図2）のボーリング加工に適用することによって「製品の品質向上と設備のダウンサイ징を両立」した事例を紹介する。

図2 船外機外観とシリンダライナ^[2]

2 シリンダライナ加工設備概要

2-1. 改善対象ラインの概要

今回の取組み対象である船外機エンジンはクランクケースとシリンダボディが一体のシリンダブロックを採用しており、アルミ製のシリンダブロックに鋳鉄のシリンダライナを圧入した後に、ボーリング加工、ホーニング加工を施している。YKPのクランクケース加工ラインは電子部品の少ない機械式の単能機が多く、確固とした保全技術を持っていれば海外で新たに設備投資をしてラインを作るよりも故障しにくく安価に生産できるラインといえる。しかし、今回改善を行ったラインは導入から二十数年が経過し老朽化している設備があり、設備故障によるライン停止や精度不良による手直しコストの増大が問題となっていた。

2-2. 対象設備の概要

今回はシリンダライナを加工しているスリーブボーリング専用機（1987年製造）を対象に改善を行った。本設備は別の工程で加工したヘッド面ノックを基準としてスリーブボーリングの荒・仕上げ加工を同時に行っている。シリンダライナ部はピストン（リング）との摺動箇所であり、耐摩耗性の高い鋳鉄ライナ材を高い円筒度と位置精度で加工しなければならず、「高負荷かつ高精度加工」が要求される工程である。この設備の特徴を以下に記す（図3、4）。

- 剛性が高い
- 2軸同時加工が可能（高速加工）
- 計測、補正が自動化されている



図3 スリーブボーリング専用機

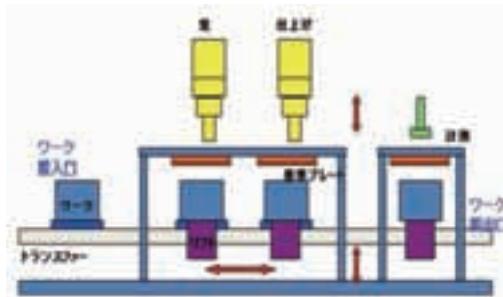


図4 概要図

2-3. 設備の問題点

加工基準となるヘッド面ノックからのスリーブの位置精度が規格に対し大きくバラつく問題が発生した（図5）。このため4時間に1回のペースで微調整を実施しなければならず、生産上大きなネックとなっていた。

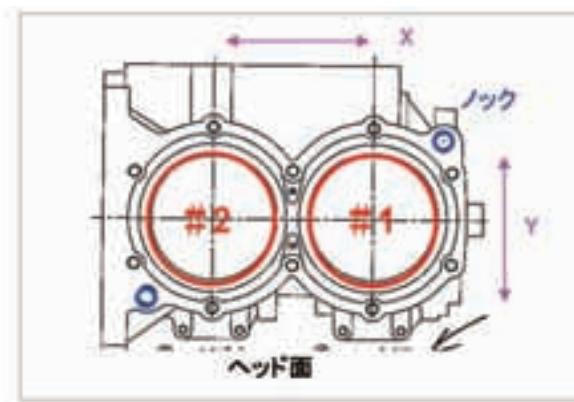


図5 スリーブとノックの位置関係



図7 測定風景

設備の問題点を把握するため、静的精度を調査したところ、Z軸の傾きとクランプ力、治具の精度(ワークの位置決めピンとワークのクリアランス大)の低下が確認された。あるべき状態まで復元を行ったが、ばらつきを抑えることはできなかった(図6)。



図6 調整風景

※治具にダイヤルを当て微調整を実施している

時間帯によってワーク精度が変化していたことから、ばらつきの原因が熱変位にあると考え、外気温に対するそれぞれの影響度(コラムの歪み量、ボアの位置精度など)について調査を実施した(図7)。図8に示すとおり、外気温が10°C上昇するにつれてコラム歪み量が100 μm変動しており、それに追従するようにボアの位置度も100 μm程度変動していた。変位(温度)勾配も緩く温度調整も難しいうえに、老朽化が進み部品供給も難しいことから設備更新を実施することとした。

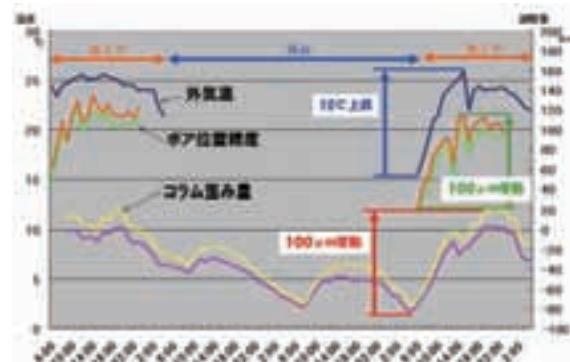


図8 熱変位測定

3 設備の導入

3-1. 加工設備の検討

今回、新規設備の候補としたのは以下2種類である。

- ボーリング専用機(現状と同型)
- マシニングセンタ(汎用機)

表1に項目別に比較した結果を示す。2.2章でも述べたように、これまで用いてきた専用機は剛性が高く、また2軸同時加工ができるため加工時間が短いメリットがある。しかし設備コストは高く、設備製作時間も約1年半と長い。それに対しマシニングセンタは設備導入時期が短く、またコストが安いといった大きなメリットがある。

表1 専用機とマシニングセンタの比較

	Bo専用機	汎用M/C
軸数	2軸 ○	1軸 △
サイクルタイム	短 ○	長 △
主軸剛性	高剛性 ◎	低剛性 ○
価格	高価 △	安価 ◎
設備導入LT	長 △	短 ◎

3-2. マシニングセンタの課題

マシニングセンタのデメリットとしては、加工時間が長いことが挙げられる。専用機は2軸同時加工しているのに対し、マシニングセンタは1軸しかないので、加工時間は約2倍に延びる。今回の設備更新のきっかけとなったノックとボアの位置精度向上のためには、工程を分けず同じ設備で加工ができるマシニングセンタが有利ではあるが、これまでの荒・仕上げのボーリング加工に加えノック穴の加工時間を加算すると、なりゆきのマシンタイムは図9のように増大する。従ってマシンタイムを目標時間内に抑えるためには、マシニングセンタを2台投入するか、もしくは加工時間を半分にするかのどちらかを実現しなければならない。マシニングセンタを2台導入する方法は安易ではあるが投資コストの増大は避けられないため現実的ではない。加工時間を半分にするためには高能率化する必要があるが、マシニングセンタは専用機と比べ主軸剛性が低く、びびりなどの品質低下を引き起こす可能性が高い。

上述の課題をクリアするためには、想定されるびびりの問題を解決する必要がある。まず試切削を行いびびり発生の現状把握を行った。

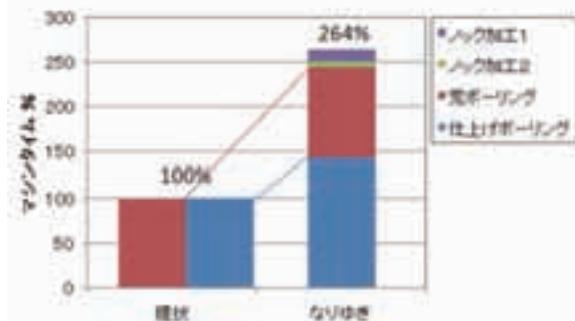


図9 マシンタイム

4 びびり対策について

4-1. 試切削によるびびりの現状把握

図10は専用機と同等の荒加工用ボーリングツール（図11）を用いて、マシニングセンタで試切削を行った結果である。ボアの口元で激しいびびりが発生し、ひどい物ではスリープが破損するケースも見られた。

この振動を解析したところ、主軸回転数とは異なる周波数帯で、なおかつ主軸の固有振動数とほぼ同じ周波数で発生していたことから、自励振動による再生びびりの可能性があると考え、振動解析技術を用いて主軸（設備・刃具）の動剛性特性と切削機構の解析を実施し、最適な切削方法を導出するアプローチを行った。



図10 主軸剛性の影響(びびり)



図11 荒ボーリングツール(5枚刃)

4-2. びびりと安定限界理論について

先の試験結果のようにびびりが発生すると、びびりマークと呼ばれる周期的な模様を発生させ、表面粗さを低下させる。また切削抵抗が不均一に変動するため、切れ刃の欠損、異常摩耗が進行するなど刃物側への影響も大きく、場合によっては工作機械の構造系の故障などを引き起こす要因となる^[3]。

一般的にびびりの抑制には主軸の回転数や送り量、切込み量などの切削条件を制限する対策がなされるが、今回は高能率加工が必須であるため、品質と能率を両立させ得る切削条件を導き出す必要がある。そのため、びびりを発生させることなく切削できる安定領域を見える化する方法として安定限界理論を適用することにした。

4-3. 安定限界曲線とは

図12に安定限界曲線を示す。これは主軸の剛性測定から求めた振動特性と、被削材種や切削条件などの諸条件から求められるグラフで、びびりが発生しにくい主軸回転を知ることができる。びびりが発生しない安定領域は共振周波数の整数分の1ごとに領域が高くなり、高速になるほど広くなる。共振点付近にあるポケットを第1として第5ポケットまでが有効であり、それ以下のポケットに関しては徐々に誤差が大きくなってくる^[4]。従ってアルミのような軟質金属において安定して高速切削できる回転数を選択することが可能となる。

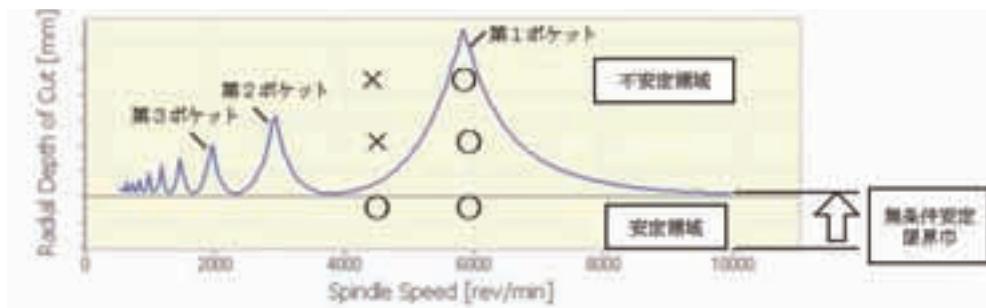


図12 安定限界曲線

4-4. 安定限界曲線の導出方法

切削系を1自由度の振動系と仮定するとその系の運動方程式は下記で示される。

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = f(t) \quad (1)$$

m:質量、c:粘性減衰係数、k:ばね剛性

y:変位、f(t):外力

ここで外力f(t)には再生効果が生じる。この場合、f(t)は下記で表される。

$$f(t) = Kf \cdot a(t) [h - \{y(t) - y(t-T)\}] \quad (2)$$

Kf:比切削抵抗、a(t):切削巾、h:取しろ

y(t):変位

この微分方程式(1)をy(t)について解くと再生びびりの振動変位が得られる^[5]。

上の運動方程式をラプラス変換して、取しろ-変位の伝達関数を求める下記になる。

$$G(s) = \frac{Y(s)}{h} = \frac{Kf \cdot A(s) \cdot \Phi(s)}{1 + (1 - e^{-sT}) \cdot Kf \cdot A(s) \cdot \Phi(s)}. \quad (3)$$

G:伝達関数、Φ:機械構造の伝達関数

この系の安定性（振動が増幅 or 減衰）はG(s)の分母 $1 + (1 - e^{-sT}) \cdot Kf \cdot A(s) \cdot \Phi(s)$ で判別できる。切削巾aを定数とみなし、これが減衰と発散の臨界状態となる切削巾 a_{lim} を回転数ごとにプロットすると図12のグラフを求めることができる^[6]。

これを踏まえ、先ほど4-1.で試切削したツールに対し、安定限界曲線を求めたのが図13である。グラフから、狙いの主軸回転数付近での安定限界曲線が取しろ2mmを下回っており、びびりが発生しやすい状態であることがわかる。

この結果より、なりゆきの状態では切削できないことが理論的にも裏付けられたことから、対策を実行することとした。

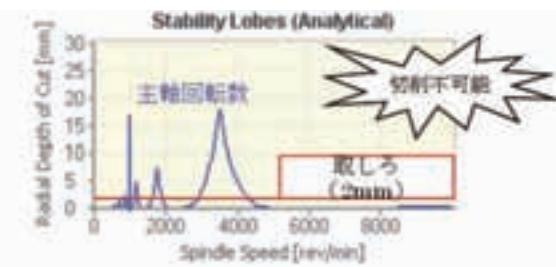


図13 荒ボーリングツールの安定限界曲線

4-5. 過去の取組みとの比較

前節の安定限界理論は、他の取組みでも用いられ効果を発揮してきた。例えば主軸剛性評価による設備比較や、エンドミル加工のびびり対策などである。エンドミル加工の事例では、アルミを対象としていたことから高速切削であったため有効ポケットを狙うことができた。また幾何公差は表面粗さのみであり、要求精度もそれほど高くはなかった。

しかし、今回ターゲットとしているのはボーリング加工であり、これは表面粗さに加え真円度、円筒度と幾何公差が増え、さらに要求精度が高い。また対象としている被削材が鋳鉄スリーブであるため周速が上げられず、高回転領域にある有効ポケットを狙いにくい傾向にある（表2）。

表2 過去の取組みとの比較

	過去の取組み	新たな取組み
加工要素	エンドミル加工	ボーリング加工
被削材	アルミ	鋳鉄
切削速度	高速	低速
幾何公差	表面粗さ	表面粗さ、真円度、円筒度
要求精度	低	高

4-6. 安定限界理論のアプローチ方法

びびりの発生は、安定限界曲線が取しろを上回る領域の回転数を選ぶことで抑制できる(図14の①)。この方法が最も一般的であり簡単ではあるが、周速が上がるため刃物の低寿命化に繋がる恐れがあり、今回のように低速切削の場合は安易に採用できない。従って、今回はもう一つのアプローチ方法である無条件安定限界巾を広げる(図14の②)方向で進めることにした。

無条件安定限界巾は以下の式から求められる。

$$\text{無条件安定限界巾} = \frac{1}{2(\text{最大負実部}) \cdot (\text{動的比切削抵抗})} \quad (4)$$

この式は最大負実部もしくは動的比切削抵抗の値を下げることで無条件安定限界巾が広がることを意味している。最大負実部は主軸やツールの動特性にあたり、剛性を上げることで値を小さくすることができる。例えば大型の工作機械に変更する、ツールを短くするなどである。しかし機械の変更はコストの面から見ても容易ではなく、またツール長に関しても現状が最短であったため、次に動的比切削抵抗を下げる検討をした。動的比切削抵抗はワークの特性や刃先緒元によって決まるもので、その中から今回は刃数を最適化することにより対策を行った。

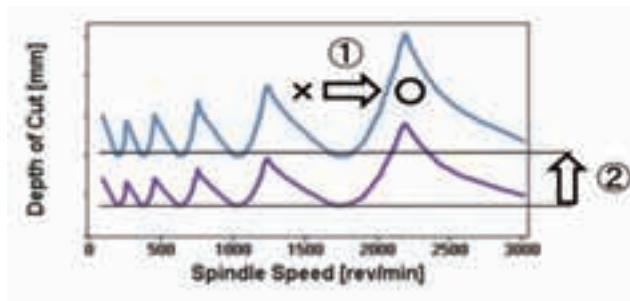


図14 安定限界のアプローチ方法

4-7. 刃数の最適化

一般的に刃数を増やすのは加工能率を上げ、一刀あたりの仕事量を減らすことで刃具寿命を延ばすといった効果を見込んでいる場合が多い。しかしこれがびびりやすさに繋がることはあまり知られていない。

前出のツールに対して刃数ごとに安定限界曲線を求めた結果を図15に示す。刃数を増やすことで第1ポケットの回転数が低速になり、併せて無条件安定限界巾が狭くなっていることがわかる。これは共振周波数が固有振動数 × 60 / 刀数によって求められるため、刃数が増えるほど第1ポケットは低回転領域に下がる^[7]。またボーリングのように多数の刃が同時に切削している加工では、刃数が増えるほど切削中に主軸にかかる負荷が高くなり、びびりが発生

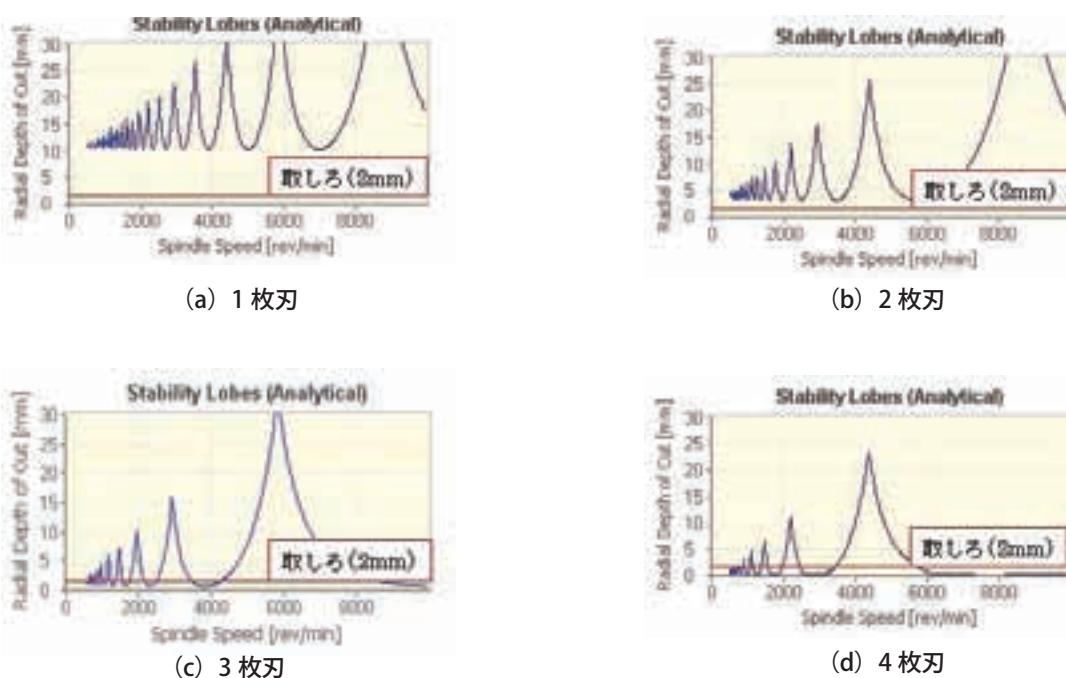


図15 刃数と安定限界の関係

しやすくなることから無条件安定限界巾は小さくなる。

以上を踏まえ最適な刃数を求めた結果、無条件安定限界巾が取しろ以上になるのは2枚刃以下であることがわかった。その中から今回は加工能率を考慮して2枚刃のツールを採用することにした。

4-8. 結果

最適化した刃数でツールを作製し、切削トライを実施した結果を図16、17に示す。専用機の条件から能率を2.7倍に上げて切削してもびびりは発生せず、真円度・円筒度・表面粗さなどの幾何公差に対しても規格値以下を達成した。以上の結果より、汎用のマシニングセンタでも最適なツールを用いることで品質を向上しつつマシンタイムを短縮できることがわかった。

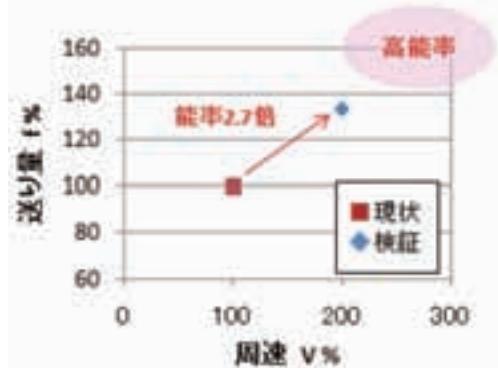


図16 加工能率



図17 切削面

5 仕上げボーリング加工への展開

前章では荒ボーリング加工の対策を実施し、能率と品質の両方を向上させることができた。しかし、まだ目標のマシンタイムには届かないため、仕上げ加工についても高能率化の検討を行った。

ここでまず現状調査として振動測定を行い、安定限界曲線を求めた結果を図18に示す。生産では品質不良を懸念して

条件を下げて加工していたが、安定限界曲線が仕上げの取りしろを大幅に上回っていたことから、びびりは発生しないとの結果を得た。また今回の活動以前から高速切削用のCBN（立方晶空化ホウ素）チップを使用しており、刃具寿命低下の懼れもないことから、周速を上げることで大幅な高能率化を実施した。

図19に示す切削結果より、加工能率を3.4倍に上げてもびびりは発生せず品質は維持できることから、汎用の1軸のマシニングセンタでも現状の専用機（2軸）と同等のマシンタイムでの加工を実現する見通しを得ることができた。

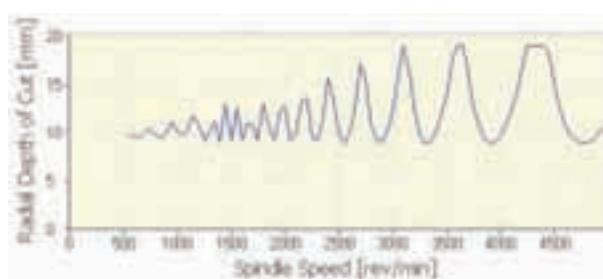


図18 仕上げボーリング加工の安定限界曲線

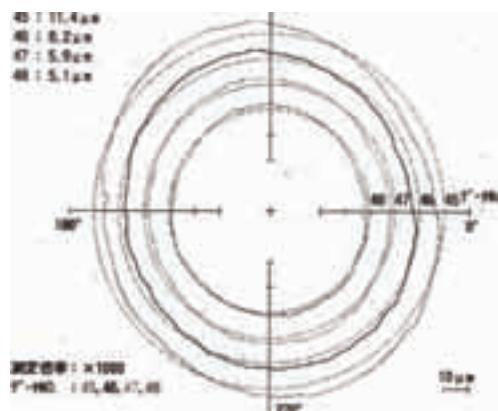


図19 切削検証結果

6 まとめ

今回の取組みでは、設備更新において目標としているコストダウン達成のために汎用のマシニングセンタの採用を前提に検討してきた。低剛性といわれるマシニングセンタで試切削していく中で様々な課題が発生したものの、動剛性評価と解析技術を確立し、切削条件を理論的に導き出すことから高負荷高能率切削を実現させ、設備のダウンサイジングに成功した。

この活動によって以下の効果を得ることができた。

- マシニングセンタの場合、なりゆきではマシンタイムが設備更新前と比べ2.6倍とネック工程になってしまふところだが、安定限界理論を使い最適なツールの選択と切削条件を導き出すことで目標を達成した(図20)。

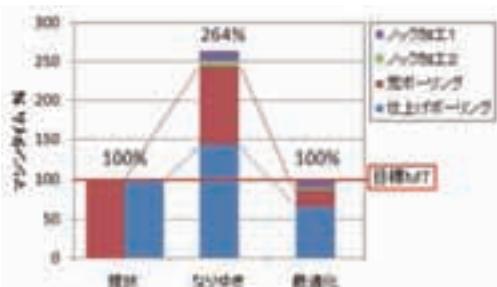


図20 マシンタイムの効果

- 投資コストについても通常であれば同等の専用機を購入するか、マシニングセンタを2台導入して工程分割をすることであったが、高品質・高能率を両立させたことでマシニングセンタ1台のみで対応することができた(図21)。

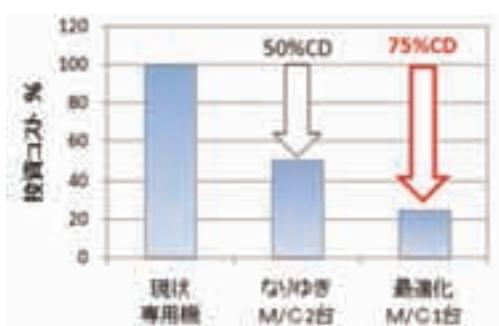


図21 投資コスト削減効果

また、設備更新の要因となった位置精度に関しては、マシニングセンタを採用しノックヒスリープの加工を同一設備にしたこと、位置精度の工程能力が向上し、検査頻度を低減させることができた。

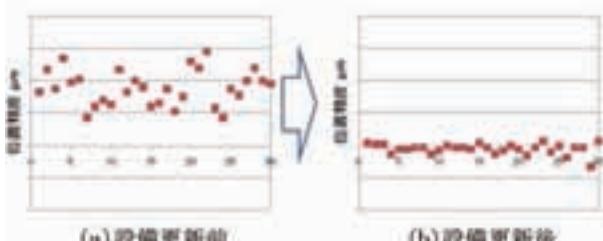


図22 位置精度の効果

7 今後の展開

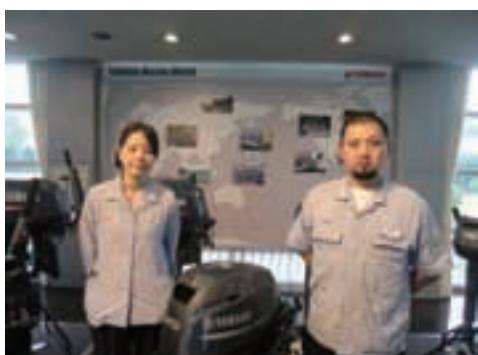
～設備のダウンサイ징の検討～

本活動により、汎用機であるマシニングセンタでもツールや切削条件を理論的に導き出すことで加工可能ということを証明した。今回は専用機から汎用機へのダウンサイ징ではあったが、さらなる設備のダウンサイ징による投資コスト削減について検討を進める。具体的には、今回トライした中型マシニングセンタよりも剛性は劣るが、さらに安価な小型マシニングセンタの採用を視野に入れ、低剛性設備における高精度高負荷切削を実現する技術を構築していく計画である。

■参考文献

- 三菱U F J 編集 JETRO 「アジア・オセアニア主要都市・地域の関連コスト比較」
- ヤマハ バイク用語辞典より出典
- 切削油技術研究会総会資料 びびりの見分け方とその対策
- 星鐵太郎 機械加工の振動解析 工業調査会
- 日本機械学会講習会資料「切削加工、びびり振動の基礎知識」 日本機械学会
- 多田幸彦 振動解析による設備剛性評価手法の開発 PM論文
- 星鐵太郎 切削加工における再生びびり抑制の新技術 安定ポケット理論の実用 機械と工具

■著者



中井 典子

Noriko Nakai

エンジンユニット
コンポーネント統括部
生産技術部

坂本 祐輔

Yusuke Sakamoto

ヤマハ熊本プロダクツ
製造部
製造技術課

Predictive Simulation of PFI Engine Combustion and Emission

Hisashi Goto Takeshi Morikawa Mineo Yamamoto Minoru Iida

当論文は、SAE 2013-32-9169 / JSASE 2013-9169として、台北(台湾)にて行われたSETC2013(Small Engine Technology Conference)にて発表され、High Quality Presentation Awardを得たものです。

DOI:10.4271/2013-32-9169

Reprinted with permission Copyright © 2013 SAE Japan and Copyright © 2013 SAE International
(Further use or distribution is not permitted without permission from SAE.)

要旨

近年のコンピュータの発展およびエンジンにおける原理原則の研究解明により、3次元流動・燃焼シミュレーションを用いたエンジン開発の可能性が高まっている。これが可能になれば、試作・実験等の行程を減らせ、コスト削減・開発の短期化が達成できるだけでなく、計測不可能な現象やその要因を可視化できることから、開発の高効率化も見込める。これらの利点から、我々はこのシミュレーション、3次元CFD(Computational Fluid Dynamics)を開発フローに折り込むことを目的とし、そのツール化と高精度化、および突合せのための高度な計測を行ってきた。これまでのシミュレーション開発の結果、複数の条件において短時間で燃焼パターンおよび排ガスを精度良く予測できることを確認したので、これについて紹介する。

Abstract

This paper reports a methodology to estimate combustion pattern and emission by predictive simple simulation with good accuracy on various conditions of PFI engine. 3D-CFD code VECTIS has been applied for this simulation, its settings and methods are as follows. RANS equation with liner k-epsilon model has been used as the turbulence model. Turbulent burning velocity equation contains not only turbulent velocity term but also laminar burning velocity term. For ignition model, we use a predictive model called DPIK. We iterate cycle calculation until wallfilm behavior is stabilized to get the reasonable mixture formation. We have applied this methodology to 125cc engine of motorcycle. As a result, we have obtained heat release curve and pressure curve with good accuracy on various operating conditions such as engine speed, engine load, air fuel ratio, wall temperature, and spray direction. CO and NOx calculated simultaneously have also been acceptable. CO formation is based on chemical equilibrium, and NOx formation is based on the extended Zeldovich mechanism. Using these results obtained by this methodology, optimal air-fuel distribution that affects heat release pattern and emission formation is suggested.

1

INTRODUCTION

Motorcycle is an important means of transportation for people in many nations and regions, so its improvement for high efficiency and low emission is demanded very much.

But the engine of motorcycle has many limitations about cost and space, compared to automobile.

Currently, development of computer and investigation of engine logics will make determination of engine design

by 3D simulation possible. By using simulation, one can save cost, time, and labor such as trial and error in experiment. And also effective development is expected by visualization of cause and effect that cannot be measured. Practical examples of simulation have been reported such as consideration of optimal engine layout of DI engine^[1], estimation of combustion and unburned HC by own detailed flamelet model^[2], etc. And also we can find some reports of prediction of cyclic variation by LES.

Motorcycle has many engine types and also each one has special layout of parts such as intake pipe, fuel supply, etc. so the development of optimal options is needed for each of them in limited time. Therefore, simulation for motorcycle demands simpleness to obtain a result in short time, and enough accuracy on various conditions. And for PFI engine that is becoming more common for motorcycle, simulating wallfilm behavior in intake parts is important to estimate the reasonable air-fuel distribution that affects heat release pattern and emission formation in an engine cylinder. There are some experimental reports about wallfilm for PFI engine, such as measurement of wallfilm thickness on the intake port wall^[3], observation of spray and wallfilm behavior in a simple test rig^[4-6], and so on. They help not only understanding of experimental logics but also improvement of simulation.

We have developed methodology to estimate combustion pattern and emission by predictive simple simulation with good accuracy on various conditions of PFI engine. As a result, we have confirmed its accuracy by calculated parameters such as heat release curve, pressure curve, and emission formation of CO and NOx on some operating conditions of 125cc single cylinder engine that is global major product because of its good balance between power, simplicity, and cost. We introduce this methodology in this paper.

2 SIMULATION MODEL

2-1. FLOW

To obtain an individual result in a case in short time, the RANS equation with liner k-epsilon turbulence model has been used in our simulation. Flow distribution is affected by mesh size. Finer mesh makes results more accurate and independent from mesh size, but calculation time longer. We had compared simulated flow with PIV and LDA results, and then we decided mesh size as fine as we cannot expect more improvement with finer mesh.

2-2. SPRAY

DDM is used to represent spray behavior. Rosin-Rammler

distribution is used as the initial droplet size distribution of the injected spray. Quantitative droplet distribution in the spray corn is represented by the normal distribution. Both distributions are validated with the experimental data of LDSA measurement.

Fuel property is one of the most important factors to deal with fuel behavior. Gasoline contains a lot of components, therefore it takes too much time to solve behavior of all components individually in simulation. In the other hand, property of the fuel changes according to the evaporation because lighter components tend to evaporate earlier and heavier components remain longer. So we assume rather simple multi-component fuel model. This model approximates the fractional boiling of the real multi-component fuels through the variation of the mean molecular weight of the evaporating fuel during the evaporation process based on the fuel distillation data. Characters of gasoline, such as viscosity, specific heat capacity, etc. are determined based on the instantaneous molecular weight. Distillation curve of gasoline at atmospheric pressure shown in Fig.1 has been determined by validation with experimental data. Fig.2 shows modeled molecular weight change of gasoline. Using this model, behavior of gasoline is estimated reasonably.

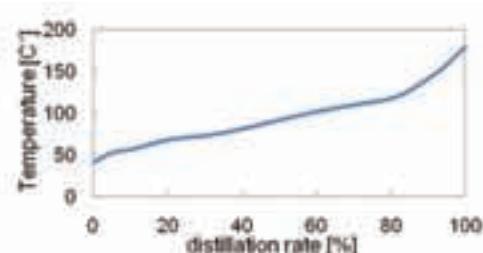


Figure 1: Distillation curve of gasoline

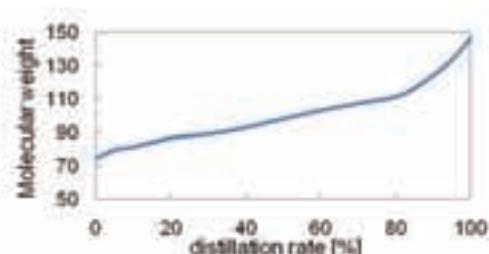


Figure 2: Modeled molecular weight change of gasoline

In order to simulate fuel wallfilm in operation, we iterate cycle calculation until wallfilm behavior is stabilized(Fig.3). In this way, we can obtain reasonable air-fuel distribution in engine steady state.

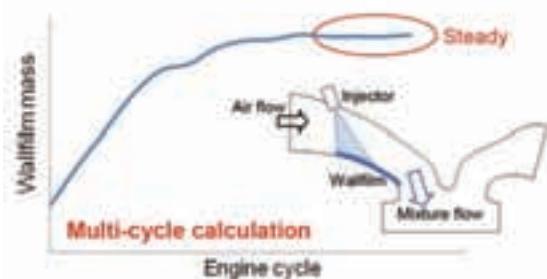


Figure 3: Methodology of steady state wallfilm modeling

2-3. INITIAL AND BOUNDARY CONDITION

For initial and boundary conditions, we have applied 1D simulation results. Its air and fuel mass that flowed into cylinder, and pressure histories have been adjusted to experimental results to evaluate reproducibility of 3D simulation precisely. As a result of multi-cycle calculations, error of air and fuel mass that flowed into cylinder model has been less than 1% from experiment.

2-4. FLAME PROPAGATION

Flamelet model is applied to flame structure. Turbulent burning velocity in our model contains not only turbulent velocity term but also laminar burning velocity term to represent the effect of fuel and residual gas distribution in an engine cylinder. Turbulent burning velocity equation is given by

$$S_T = S_L \cdot (1 + A \cdot u^B) \quad (1)$$

Where S_L is the laminar burning velocity, u' is the turbulent velocity, A and B are adjustment factors. These factors have been validated by comparison of the heat release rate obtained by simulation with experimental data. A simple predictive model called DPIK^[7] is used as ignition model. This simulates thermal expansion of flame kernel considering gas condition (laminar burning velocity, and turbulent velocity) until it reaches the order of integral length scale. This model is independent from mesh size.

3 CONFIGURATION MODELING

We applied this simulation to 125cc single cylinder engine. Its specifications are in table1. The geometry modeled contains configuration from throttle valve to outlet of exhaust port. One of the issues to consider is the direction of spark plug, location of side electrode. It is not usually controlled in the manufacturing process. We have checked its effects on combustion. Fig.5 shows simulated flame kernel expansion in each spark plug direction as shown in Fig.4 on a same operating condition. Side electrode of spark plug absorbs flame kernel energy, thus avoid kernel expansion. It also changes flow distribution in the cylinder. These effects appear notably in this simulation that outputs ensemble-averaged results by 1 cycle calculation.

So we have compared this with experiment under a typical partial load condition to investigate its effect level of this engine. 500 cycles experiments were done 3 times for each plug direction in a condition of Case1(IMEP CoV 1%) is shown in table2. Fig.6 shows the deviations of 0-10% burn duration from a result of plug direction Odeg in each direction of experiment and simulation. According to this result, we think the effects of plug direction in experiment are small enough to be ignored. We think that this difference is because the tiny velocity-distribution around the plug that cannot be simulated occurs in experiment. In reality, the transportation and expansion of small flame kernel is sensitively affected by velocity field with small scale near the spark plug. The velocity fluctuates between each cycle. This causes cycle-variation of flame propagation. Heat release obtained by averaging the data in many cycles, therefore, is the cycle-average of flame propagation fluctuated by the velocity. On the other hand, velocity with small scale in simulation is treated as turbulence which has no direction. Velocity near the spark plug, affected by the location of the side electrode, determines the direction of propagation. Therefore the location of the side electrode is more directly affected to the heat release.

As a result, we have decided to remove side electrode model in simulation, and fixed some calculation parameters. But this

comparison between experiment and simulation showed some correlations. So there is a possibility that we can decide optimal plug direction by this simulation.

Table 1: Engine specification

Engine Type	4-Stroke, 2-Valve, Single Cylinder, Air-Cooled
Bore \times Stroke	52.4 \times 57.9 mm
Displacement	126 cc
Fuel supply	Port Fuel Injection

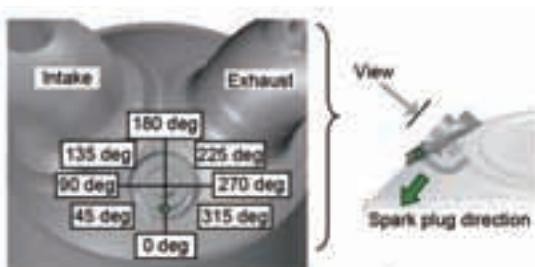


Figure 4: Spark plug(side electrode) directions



Figure 5: Simulated flame expansion (effect of plug direction)

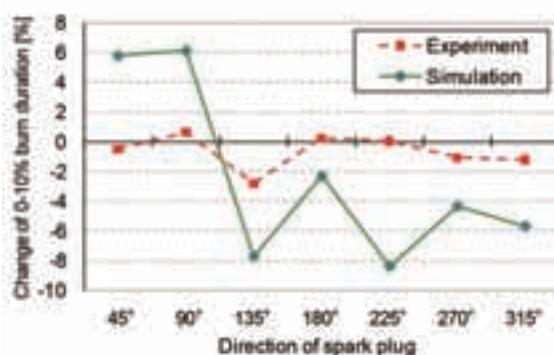


Figure 6: Deviation of burn duration from plug direction 0deg

4 OPERATING CONDITIONS

As shown in table2, we have applied this simulation to 8 operating conditions to check how it behaves with different engine speed, engine load, air fuel ratio, wall temperature, and spray direction. The conditions of cooler wall temperature and spray direction toward

intake port wall are mainly intended to confirm reproducibility of simulation in conditions that much wallfilm is generated. Configurations of injection are shown in Fig.7. Ignition timing is set as MBT in each condition.

Table 2: Engine operating conditions

Engine rpm	3,500	4,400	4,000	3,000				
Engine Load	Half Load		Full Load					
Air/Fuel Ratio	14.8	13.16	14.5	12				
Injector sprays toward	valve	port-wall	valve					
Oil Temperature	Hot	Cool		Hot				
Case No.	1	2	3	4	5	6	7	8



Figure 7: Configuration of injection

5 RESULTS

5-1. FLOW & SPRAY

Accuracy of simulated wallfilm was confirmed by some ways. Fig.8 shows comparison of wallfilm behavior between simulation and experiment observed by borescope in Case3(spray toward port-wall). Two position markers in both simulation and experimental images indicate the same location on each image. Methodology of the experiment was described more in detail in [8]. The order of the cycle indicates the number of the cycle from the start of the injection after motoring operation. All images are at the IVC timing after injection. The measured temperature of walls in a steady state have been applied to ones of simulation. At 1st cycle, thin wallfilm are distributed from the joint to before lower marker in experiment. Similar wallfilm can be seen in simulation result. Wallfilm reaches valve after some cycles in both simulation and experiment. The cycle is 4th in simulation, though 8th in experiment. This means that wallfilm in simulation expands a little faster than that of experiment. We think that is because the effect of wall surface roughness is not well simulated. However, this simulation seemed to be able to estimate steady state wallfilm distribution in comparison of wet area.

To confirm validity of air-fuel distribution in the cylinder, fuel concentration near the spark plug has been measured by infrared laser absorption method. Fig.9 shows equivalence ratio histories around spark plug in the Case1 and Case8. Experimental results are ensemble-averages of 200 cycles. In both cases, mixture is rich just after the overlap TDC, and it becomes lean during the intake stroke. It becomes near stoichiometry after BDC. This trend can be seen in simulation and experiment, though there are discrepancies quantitatively. Therefore, we think simulated air-fuel distributions are reasonable, while it still needs more effort to better simulate.

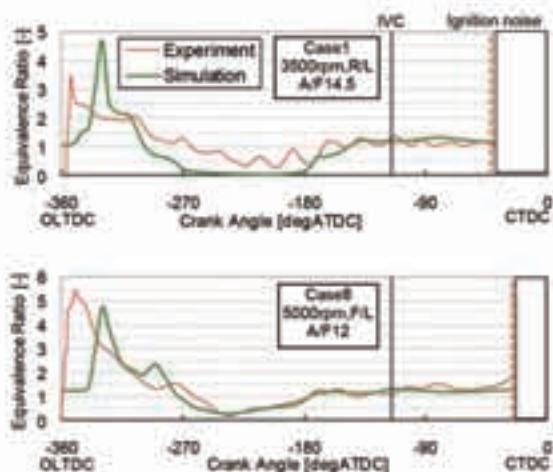


Figure 9: Equivalence ratio histories at spark plug

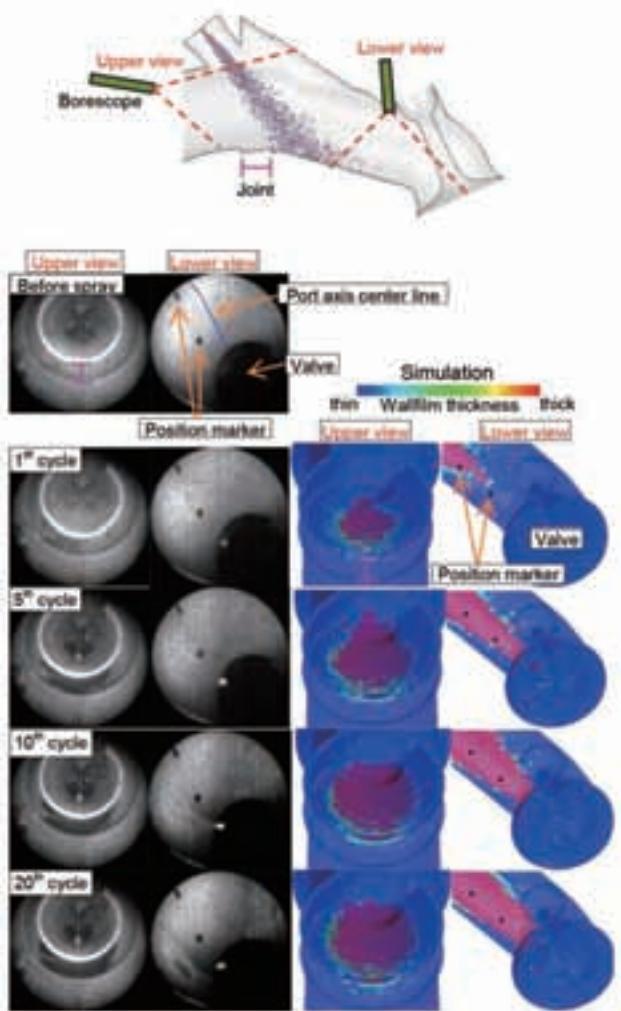


Figure 8: Comparisons of wallfilm behavior

5-2. COMBUSTION

Fig.10(a)(b) shows calculated (by same adjustment factor) and measured heat release rates and pressure curves in the all cases. And Fig.11 shows correlations of those heat release. Experimental results are cycle-averages of 500 cycles. Initial flame propagations have been estimated with good accuracy, and the errors of 0-10% burn duration are less than $\pm 10\%$ in the all cases. In cases of road load conditions (Case1~Case6), main heat release and pressure curves have also been estimated with good accuracy, so one can see this simulation is applicable to various engine conditions. On the other hands, in cases of full load conditions (Case7 and Case8), heat release continues longer especially at later part in simulation than in experiment. One of the reasons explain this result is turbulence under WOT condition is smaller in simulation than in experiment, and then turbulent burning velocity become lower. Other factors such as distribution of A/F, that of temperature, and that of residual gas may not be the reason because they are almost homogeneous in this condition (Fig.12). So we have to consider about introduction of other turbulence model, or build some equations to avoid getting this error. Anyway, we have confirmed this predictive simulation can estimate heat release pattern and pressure curve with good accuracy on various engine conditions.

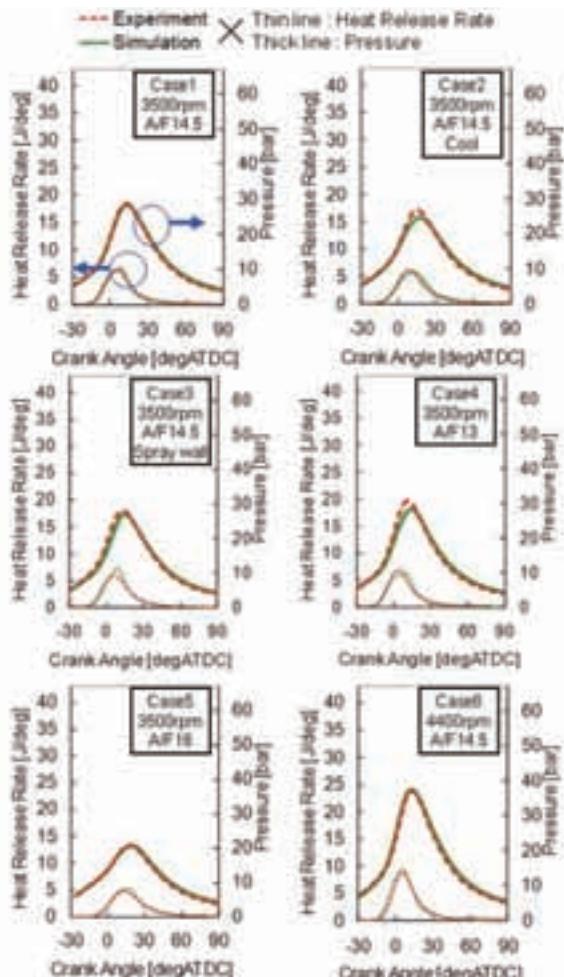


Figure 10(a): Comparisons of heat release & pressure curves

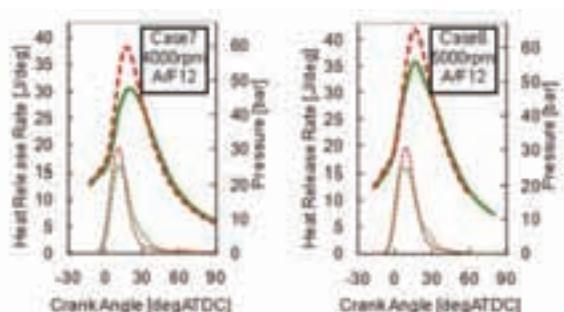


Figure 10(b): Comparisons of heat release & pressure curves

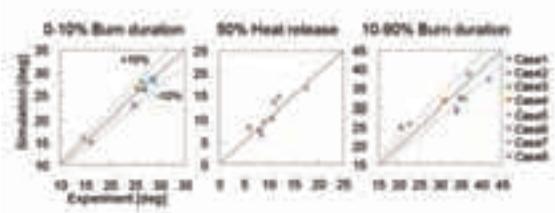


Figure 11: Correlations between experiment and simulation

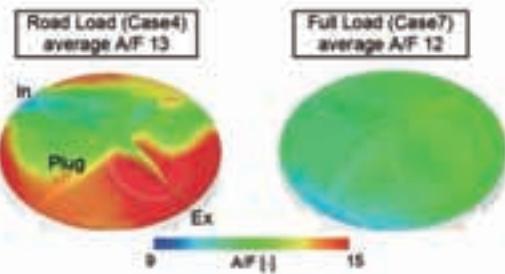


Figure 12: Comparison of A/F distribution at TDC

5-3. EMISSION

During combustion simulation, CO and NO_x are calculated simultaneously. CO formation is modeled very simply based on chemical equilibrium during combustion in each cell. NO_x formation is modeled based on the well-known extended Zeldovich mechanism.

We have confirmed reproducibility of CO and NO_x calculated by these simulation models. First, heat release pattern has been suited to experiment as much as possible by changing adjustment factors of burning velocity in each case. As a result, emissions obtained are shown in Fig.13 and Fig.14. Experimental results are engine out emission in front of the catalyst, and simulation results are their fractions in the cylinder at the end of heat release. We assume oxidation reaction of products after heat release in the cylinder negligible in the experiment. Comparison of CO concentration shows good accuracy even with chemical equilibrium. This indicates CO formation is able with depends on average A/F. Average of absolute errors was 0.3vol%. Comparison of NO_x concentration also shows tendency of each experimental result. Average of absolute errors was 610volppm. NO_x formation is mainly determined by A/F and temperature distribution, and their history because the reaction rate is slower than the change of the physical condition. As well-known, more lean A/F and higher temperature cause more NO_x formation. One can see the example of that tendency between results of Case1, Case2, and Case6, assuming that those internal gas are homogeneous. In the same A/F conditions, lower NO_x formed in Case2 than in Case1 because of its lower temperature condition, and more NO_x formed in Case6 than in Case1 because of its higher temperature condition caused by higher heat release.

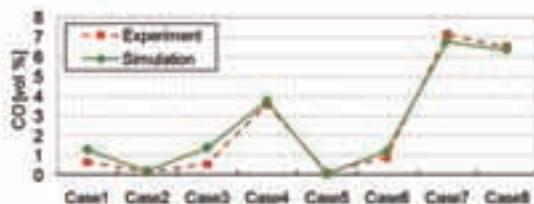


Figure 13: Comparisons of CO fractions

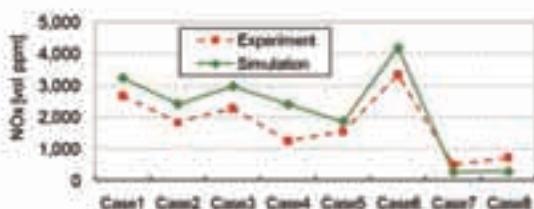


Figure 14: Comparisons of NOx fractions

5-4. CONSIDERATION OF INTERNAL GAS DISTRIBUTION TO AFFECT THE NOx FORMATION

Using these simulation results, effects of internal gas distribution on emission formation of NOx is discussed. Fig.15 shows distributions of NOx, A/F, and temperature in the Case1 at 15degATDC. We can see the temperature dependence of NOx(lower NOx fraction at lower temperature) at many places such as area A. But some area shows few NOx fraction at high temperature because of rich A/F such as area B. In order to evaluate more quantitatively though simply, their contributions are evaluated by initial NOx(NO) formation speed [9] based on Zeldovich mechanism, given by

$$\frac{d[NO]}{dt} = \frac{6 \times 10^{16}}{T^{0.5}} \exp\left(\frac{-69,090}{T}\right) [O_2]^{0.5} [N_2] \quad (2)$$

Fig.16 shows initial NO formation speed in the case of Octane. $[O_2]$ and $[N_2]$ are calculated by chemical equilibrium. According to this, lean A/F causes high formation speed in a same temperature. In adiabatic temperature indicated by broken line, NO formation speed become fastest around stoichiometric condition. Actually, partly maximum temperature depends on not only A/F but also initial condition and combustion pattern. Using these properties of NO formation, we can expect to reduce NOx formation by some approaches.

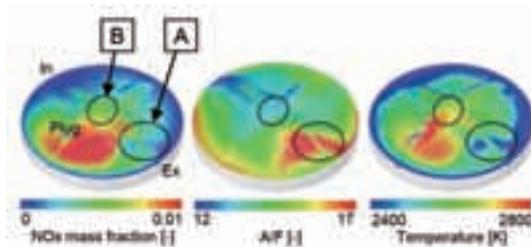


Figure 15: NOx,A/F,Temperature distributions in Case1 (15degATDC)

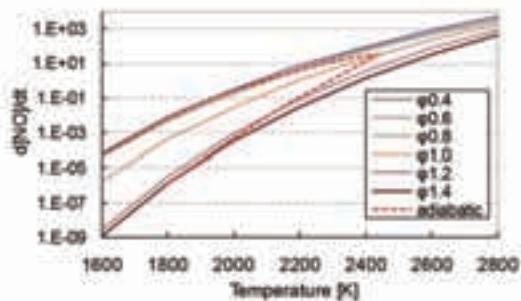


Figure 16: Initial NO formation speed

6 SUMMARY/CONCLUSIONS

We have developed a methodology of predictive simple simulation of in-cylinder phenomena, heat release and exhaust emission generation for PFI engine development. We have applied this methodology to air-cooled 125cc single cylinder engine and obtained conclusions as below:

- Combustion pattern by simulation shows good accuracy in various operating conditions such as engine speed, engine load, air fuel ratio, wall temperature, and spray direction.
- Concentration of CO and NOx emission calculated are also simulated accurately under the condition heat release pattern is accurate.
- Using these simulation results, effective air-fuel distribution to reduce NOx is suggested.

REFERENCES

1. K. Sato, Y. Ueki, Y. Wada, H. Hongo, Y. Miyauchi, H. Yokohata: Application of CAE to SKYACTIVE-G, Mazda Technical Review, No.29 (2011), p.47-52
2. A. Teraji, T. Tsuda, T. Noda, T. Kubo, T. Itoh: Prediction of Unburned HCs by Using Three-Dimensional Combustion Simulation in Spark Ignition Engines, Journal of the Combustion Society of Japan Vol.49 No.147 (2007), p.70-76
3. Y. Takahashi, Y. Nakase, Y. Katou: Analysis of the Fuel Liquid Thickness on the Intake Port and Combustion Chamber of a Port Fuel Injection Engine, Denso Technical Review, Vol.13, No.1 (2008), p.44-51
4. Y. Moriyoshi and M. Iida: Analysis of Port Injected Fuel Spray Under Cross Wind Using 2-D Measurement Techniques, SAE International Journal of Fuel and Lubricants December 2010 vol.3 No.2, p.1081-1092
5. G. Wang, C. Arcoumanis, M. Iida and Y. Motoyama: Characterisation of the Wall Fuel Film Development in a Simulated Engine Intake Port, The Seventh International Conference on Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems (2008), p.461-467
6. M. Iida, K. Yoshikawa and H. Tanaka, G. Wang, C. Arcoumanis: Fuel Film Behavior Analysis Using Simulated Intake Port, SAE International Journal of Engines March 2010 vol.3 No.2, p.756-763
7. L. Fan, F. Li, Z. Han, R.D. Reitz: Modeling Fuel Preparation and Stratified Combustion in a Gasoline Direct Injection Engines, SAE Paper 1999-01-0175
8. M. Yumoto, K. Goto, S. Kato and M. Iida: Influence of Injection and Flame Propagation on Combustion in Motorcycle Engine - Investigation by Visualization Technique -, SAE 2011-32-0566
9. John B. Heywood: Kinetics of NO Formation, Internal Combustion Engine Fundamentals, United States of America, McGraw-Hill, Inc., 1988, p.572-577

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would deeply thank Keiichi Yoshikawa, Miki Yumoto, Yoshihito Ito, Tsuneo Hayashi and all colleagues who contributed to this research.

DEFINITIONS/ABBREVIATIONS

- DI: Direct Injection
 HC: Hydrocarbons
 LES: Large Eddy Simulation
 PFI: Port Fuel Injection
 CO: Carbon monoxide
 NOx: Nitrogen Oxide
 RANS: Reynolds-Averaged Navier-Stokes
 PIV: Particle Image Velocimetry
 LDA: Laser Doppler Anemometer
 DDM: Discrete Droplet Model
 LDSA: Laser Diffraction Spray Analyzer
 DPIK: Discrete Particle Ignition Kernel
 IMEP: Indicated Mean Effective Pressure
 CoV: Coefficient of Variance
 MBT: Minimum spark advance for Best Torque
 IVC: Intake Valve Close
 TDC: Top Dead Center
 BDC: Bottom Dead Center
 CTDC: Compression TDC
 OLTD: Over Lap TDC
 WOT: Wide Open Throttle
 A/F: Air/Fuel
 ATDC: After TDC
 NO: Nitric Oxide

■著者



後藤 久司

Hisashi Goto

技術本部

研究開発統括部

基盤技術研究部



森川 健志

Takeshi Morikawa

技術本部

技術企画統括部

デジタルエンジニアリング部



山本 峰生

Mineo Yamamoto

退職



飯田 実

Minoru Iida

技術本部

研究開発統括部

基盤技術研究部

Reduced-order Modeling of Intake Air Dynamics in Single-cylinder Four-stroke Engine

Shun-ichi Akama Yasunori Murayama Shigeho Sakoda

当論文は19th Small Engine Technology Conferenceにて発表され、High Quality Paper Awardを得たものです。

Reprinted with permission from SAE Int. J. Engines, December, 2013, 6:2092-2099.

DOI:10.4271/2013-32-9041

Copyright © 2013 SAE Japan and Copyright © 2013 SAE International

(Further use or distribution is not permitted without permission from SAE.)

要旨

サーボタンクのない自然吸気4ストロークガソリンエンジンの吸気ダイナミクスを低次元モデリングする手法を提案する。これにより吸気マニホールド圧力を組み込みマイコンでリアルタイムに推定することが可能になる。なお、このモデリング手法は単気筒エンジン、および、独立スロットルを備えた多気筒エンジンに適用することができる。本稿ではまず吸気のダイナミクスについて図説し、次いで吸気マニホールド圧力の推定手法を説明し、最後に本手法の実験結果を紹介する。

Abstract

This study deals with reduced-order modeling of intake air dynamics in single-cylinder four-stroke naturally-aspirated spark-ignited engines without surge tanks. It provides an approximate calculation method for embedded micro computers to estimate intake manifold pressures in real time. The calculation method is also applicable to multi-cylinder engines with individual throttle bodies since the engines can be equated with parallelization of the single-cylinder engines. In this paper, we illustrate the intake air dynamics, describe a method to estimate the intake manifold pressures, and show experimental results of the method.

1

INTRODUCTION

1-1. BACKGROUND

This paper proposes a real-time calculation method for automotive embedded computers to estimate transient responses of intake manifold pressures in motorcycle engines: single-cylinder four-stroke engines or multi-cylinder four-stroke engines equipped with individual throttle bodies (Fig. 1-left). The paper starts from calculation methods to estimate intake manifold pressures of four-wheel automotive engines [1,2,3,4] (Fig. 1-right), and modifies them for motorcycle engines.

The intake manifold pressures are vital to control air-fuel ratios in port-injection gasoline engines; the pressures are strongly associated with masses of intake air sucked into cylinders, and moreover, they determine injection amounts per unit time of injectors. For example, usual electronic control units of four-wheel automotive

engines estimate the intake manifold pressures from air mass flows through throttle valves, next they calculate the required fuel amounts from the estimated intake manifold pressures, and finally they compute the injection times from the required fuel amounts. In short, estimating the pressure, the control units compensate differences between the air masses through the throttle valves and the air masses sucked into the cylinders.

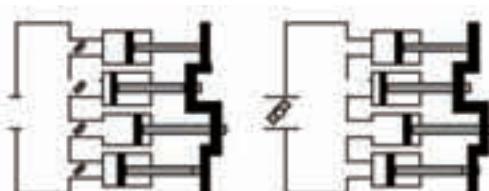


Figure 1: A common motorcycle engine with individual throttle bodies (left) and a common four-wheel automotive engine with a single throttle body (right).

There are three big differences between motorcycle engines and four-wheel automotive engines (Fig. 1). The differences disallow us to estimate the intake manifold pressures in the motorcycle engines by utilizing the estimation methods for the four-wheel automotive engines [1,2,3,4].

- Motorcycle engines are rarely equipped with surge tanks between their throttle valves and intake valves. Hence, their intake manifold volumes are often smaller than their swept volumes. On the other hand, four-wheel automotive engines usually have surge tanks, therefore, their intake manifold volumes are much larger than their swept volumes.
- Each cylinder has its own throttle valve in motorcycle engines. Thus, the air flow through the throttle valve changes during one engine cycle. On the other hand, common four-wheel automotive engines are even-firing single-throttle engines. In such an engine, the air flow through the throttle valve is continuous and smooth since any of its cylinders are in their intake strokes.
- Equivalent moments of inertia about crank shafts of motorcycle engines are much smaller than those of four-wheel automotive engines. Therefore, engine rotational velocities of motorcycle engines increase or decrease much more sharply than those of four-wheel automotive engines. Especially in single-cylinder motorcycle engines, their rotational velocities are perturbed significantly during engine cycles.

The widely-used estimation methods [1,2,3,4,5] assume that the intake air flows are independent from crank angles of the engines. This assumption is validated by the above-mentioned characteristics of the four-wheel automotive engines. However, the intake air flows in the motorcycle engines depend strongly on crank angles; the intake manifold pressures decrease quickly in intake strokes and increase slowly in other strokes. Such pressure changes are caused by the characteristics of the motorcycle engines, and they preclude applications of the estimation methods for the four-wheel automotive engines.

Remark that we can estimate the air flows from the first-principle simulations [6,7]. However, such simulations require too rich computational resource for automotive embedded computers to calculate them in real time. To compute the air flows in real time, it is required to replace the physical principles with statistical approximations.

1-2. KEY POINTS

This paper derives a simple computational model of the intake air dynamics from a view point of enthalpy flows. The followings are the differences from the conventional estimation methods [1,2,3,4] and the first-principle simulations [5,6]. They are key points to simplify the computational model of the intake air dynamics.

1. This paper exploits structures inherent in typical motorcycle engines: small ratios of their intake manifold volumes to their swept volumes, large ratios of opening areas of their intake valves to their combustion chamber volumes, and so on. Due to these structures, the intake manifolds and cylinders reach states of thermodynamic equilibria in negligibly short times.
2. We focus on factors of importance for air-fuel ratio controls: (1) the intake manifold pressures from the intake valve closing (IVC) timings to the intake valve opening (IVO) timings, (2) the intake manifold pressures at the IVC timings, and (3) residual gas densities at the exhaust valve closing (EVC) timings. Factors other than those listed above (e.g. the intake manifold pressures during periods of valve overlaps) are of secondary importance.
3. Periods of valve overlaps are approximated by zeros in the computational model. Instead, amounts of residual gas and shortcut gas are estimated by using look-up tables which are experimentally calibrated.
4. Intake pulsations are calculated independently from the air flows, and they are modeled as damping oscillations with four parameters: interval, damping coefficient, initial amplitude, and initial phase. These parameters are determined from look-up tables which are adjusted experimentally.

5. Changes of engine rotational velocities are predicted from cylinder pressures, inertia torques, back torques, and frictions. The prediction compensates sharp increase or decrease of the engine rotational velocities.

Compared to the estimation methods [1,2,3,4], the proposed method requires richer computational resource to calculate the air flow and the engine rotational velocity. Nevertheless, it keeps feasibility of real-time computing due to the above-mentioned simplifications.

1-3. APPLICATIONS

The proposed method is of service to the following technical areas:

- The method can be utilized as a soft-sensor of the intake manifold pressure. Some of low cost motorcycles with fuel injection systems equip only throttle position sensors, and they equip neither intake manifold pressure sensors nor air flow sensors. Since the intake manifold pressures are vital for the fuel injection controls, the proposed method is useful for such motorcycles.
- Combining the method with a prediction method of a throttle position provides a predictive value of the intake manifold pressure, which is informative for computation of asynchronous injection. Especially for motorcycles with electronic throttle control systems, the predictive value can be accurately calculated by exploiting response lags of the throttle controls.
- The method increases accuracy of backfire detection. Even weak backfires are detectable by comparison of measured intake manifold pressures with estimated intake manifold pressures. In particular, the method is suitable for the backfire detection under unstationary driving conditions since it is applicable to estimation of transient intake manifold pressures.

1-4. ORGANIZATION

Chapter "FLOWS AND STAGNATION" gives a mathematical description of flows and stagnation in the intake

manifolds. Chapter "AIR MODEL" illustrates the intake air model. Chapter "CALIBRATION OF AIR MODEL" sketches how to adjust our method. Chapter "EXPERIMENTAL RESULTS" shows our results of experiments. The final chapter concludes the paper.

2 FLOWS AND STAGNATION

This chapter provides mathematical descriptions on flows and stagnation illustrated in Fig. 2. In the figure, the index 2 denotes a throttle valve, and the indices 1 and 3 denote its upstream and downstream, respectively.

2-1. SUBSONIC FLOW

Consider an enthalpy balance along a diabatic subsonic flow from the upstream to the throttle valve:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{v_1}{C} \right)^2 + \frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{P_1}{r_1} = \frac{1}{2} \left(\frac{v_2}{C} \right)^2 + \frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{P_2}{r_2}$$

where C is a discharge coefficient, κ is a specific heat ratio, v is a flow velocity, P is a static pressure, and r is a density. In the above equation, the discharge coefficient indicates the enthalpy balance. If the flow is lossless, then the coefficient is equal to the unity.

Next, let S_1 and S_2 denote a cross-sectional area of the upstream and a valve-opening area of the throttle, respectively. From the equation of continuity, we have

$$S_1 r_1 v_1 = S_2 r_2 v_2 .$$

Moreover, modeling the diabatic flow as a polytropic process, we get

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^n$$

with n denoting the polytropic index. Various thermodynamical processes can be represented by the polytropic process; an isobaric process by $n = 0$, an isothermal process by $n = 1$, an isentropic process by $n = \kappa$, and an isochoric process by $n = \infty$. In case of an adiabatic expansion process, $n = \kappa$ if all of its internal energy is converted to a work, $1 < n < \kappa$ if a

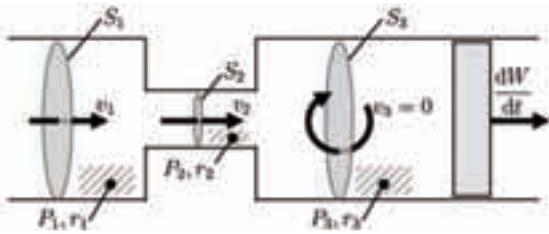


Figure 2: The flows and stagnation in the intake system.

part of its internal energy is converted to a work, and $n = 1$ if none of its internal energy is converted to a work.

2-2. CHOKED FLOW

The flow is caused by propagation of the pressure difference, but the propagation velocity cannot exceed the sonic velocity. Therefore, the mass flow rate becomes saturated, that is "choked", when the flow velocity reaches the propagation velocity.

Let $\gamma = P_2/P_1$. Then, solving the equations in the previous section, we can see that the mass flow rate is saturated when γ satisfies

$$0 = \frac{n-1}{2} \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^2 \gamma^{1+\frac{1}{n}} - \frac{n+1}{2} \gamma^{1-\frac{1}{n}} + 1.$$

Let γ^* denote the solution of the above equation. Then, γ^* corresponds to the critical pressure ratio; if $P_2/P_1 > \gamma^*$, the flow is subsonic, otherwise, it is choked. On the assumption that $S_2/S_1 \approx 0$, the solution can be approximated by

$$\gamma^* \approx \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n}{n-1}}.$$

The mass flow rate of the choked flow is equal to that of the saturated subsonic flow. Hence, it is given by solving the following equations:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{v_1}{C} \right)^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_1}{r_1} = \frac{1}{2} \left(\frac{v_S}{C} \right)^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \left(\frac{P_S}{r_S} \right),$$

$$S_1 r_1 v_1 = S_2 r_S v_S,$$

$$\frac{P_S}{P_1} = \left(\frac{r_S}{r_1} \right)^n,$$

$$P_S = \gamma^* P_1$$

where P_S , r_S , and v_S denote the static pressure, density, and velocity of the saturated subsonic flow, respectively.

2-3. STAGNATION OF SUBSONIC FLOW

When the subsonic flow stagnates in the intake manifold, the enthalpy balance is described by

$$\frac{1}{2} v_2^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_2}{r_2} = \frac{1}{2} v_3^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_3}{r_3}.$$

And, the equation of the continuity is given by

$$\frac{d}{dt} (V_3 r_3) = S_3 r_3 v_3 = S_2 r_2 v_2$$

with V_3 being a volume of the stagnation region. Moreover, the energy of the stagnation region changes as

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\kappa-1} P_3 V_3 \right) + \frac{dW}{dt} = \left(\frac{1}{2} v_2^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_2}{r_2} \right) S_2 r_2 v_2.$$

In the above equation, W denotes a work of the piston (Fig. 2). The above equation means that a change rate of the energy of the stagnation region is equal to the enthalpy of the flow per unit time.

2-4. STAGNATION OF CHOKED FLOW

The equations in the previous section are not true for the choked flow since the pressure P_2 and density r_2 have no relation to the mass flow rate in the choked flow. Instead, from conservation of mass and energy along the choked flow, it follows that.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} (V_3 r_3) &= S_2 r_S v_S, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\kappa-1} P_3 V_3 \right) + \frac{dW}{dt} &= \left(\frac{1}{2} v_S^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_S}{r_S} \right) S_2 r_S v_S. \end{aligned}$$

3 AIR MODEL

This chapter derives a computational model of the intake air flow illustrated in Fig. 3. The model is called "air model," which is composed of the following subsystems (Fig. 4).

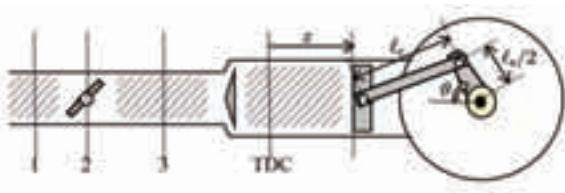


Figure 3: The intake system of a single-cylinder engine.

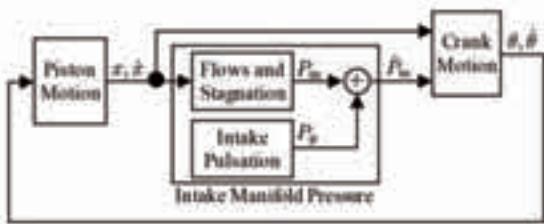


Figure 4: The block diagram of the air model.

3-1. PISTON MOTION

Let x denote the piston position and θ do the crank angle. They are set to zeros at the compression TDC. The positive directions of the x -axis and θ -axis are the same as the direction in which the crank rotates forward. For simplicity, we assume that the crankshaft offset and piston offset are negligibly small. Then, the piston position x and the piston velocity \dot{x} are given by

$$x = \ell_c \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\ell_s^2}{4\ell_c^2} (\sin\theta)^2} \right) + \frac{\ell_s}{2} (1 - \cos\theta),$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{d\theta}{dt} \left(\frac{\ell_s^2}{4\ell_c} \frac{\sin\theta \cos\theta}{\sqrt{1 - \frac{\ell_s^2}{4\ell_c^2} (\sin\theta)^2}} + \frac{\ell_s}{2} \sin\theta \right)$$

where ℓ_c is the length of the connecting rod and ℓ_s is the length of the stroke.

3-2. INTAKE MANIFOLD PRESSURE

In this section, the indices 1, 2, and 3 indicate the air cleaner, throttle valve, and intake manifold, respectively.

3-2-1. From IVC Timing to IVO Timing

If the flow through the throttle valve is subsonic, we have

$$\frac{1}{2} \left(\frac{v_1}{C} \right)^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_1}{r_1} = \frac{1}{2} \left(\frac{v_2}{C} \right)^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_2}{r_2},$$

$$S_1 r_1 v_1 = S_2 r_2 v_2,$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^n,$$

$$\frac{1}{2} v_2^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_2}{r_2} = \frac{1}{2} v_3^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_3}{r_3},$$

$$\frac{d}{dt} (V_3 r_3) = S_3 r_3 v_3 = S_2 r_2 v_2,$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\kappa-1} P_3 V_3 \right) = \left(\frac{1}{2} v_2^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_2}{r_2} \right) S_2 r_2 v_2.$$

From the above six equations, we can calculate v_1 , v_2 , v_3 , P_2 , r_2 , \dot{P}_3 , and \dot{r}_3 , given P_1 , r_1 , S_1 , S_2 , S_3 , n , κ , and V_3 .

If the flow through the throttle valve is choked, then the flow is derived from the following equations:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{v_1}{C} \right)^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_1}{r_1} = \frac{1}{2} \left(\frac{v_S}{C} \right)^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_S}{r_S},$$

$$S_1 r_1 v_1 = S_2 r_S v_S,$$

$$\frac{P_S}{P_1} = \left(\frac{r_S}{r_1} \right)^n,$$

$$P_S = \gamma^* P_1,$$

$$\frac{d}{dt} (V_3 r_3) = S_2 r_S v_S,$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\kappa-1} P_3 V_3 \right) = \left(\frac{1}{2} v_S^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_S}{r_S} \right) S_2 r_S v_S$$

where the suffix 's' corresponds to a boundary state between the subsonic flow and choked flow. Solving the above six equations, we obtain v_1 , v_S , P_S , r_S , \dot{P}_3 , and \dot{r}_3 , given P_1 , r_1 , S_1 , S_2 , n , κ , and V_3 .

3-2-2. At IVO Timing

For computational simplicity, the air model computes the intake manifold pressure as if the period of the valve overlap were zero, that is, as if the EVC timing were located at the IVO timing. For further simplicity, the air model assumes that the gases in the intake manifold and the cylinder reach a state of thermodynamic equilibrium

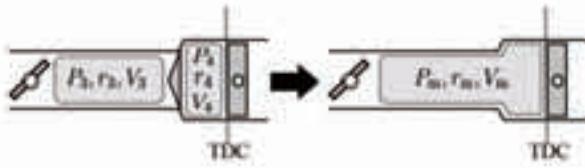


Figure 5: The approximate equilibrium at the IVO timing.

at the IVO timing (Fig. 5). These simplifications reduce the estimation accuracy from the IVO timing to the actual EVC timing. However, by artificially adjusting the cylinder pressure and density just before the IVO timing, the air model can recover the accuracy after the actual EVC timing.

Consider a situation just before the IVO timing. Let P_3 , r_3 , and V_3 denote the intake manifold pressure, density, and volume, respectively. Similarly, let P_4 , r_4 , and V_4 denote the cylinder pressure, density, and volume, respectively. If the intake manifold and the cylinder reach a state of thermodynamic equilibrium at the moment of the IVO timing, we have

$$P_m = \frac{P_3 V_3 + P_4 V_4}{V_3 + V_4},$$

$$r_m = \frac{r_3 V_3 + r_4 V_4}{V_3 + V_4},$$

$$V_m = V_3 + V_4$$

where the suffix 'm' represents a unified region of the intake manifold and the cylinder. The pressure P_4 and density r_4 are calibrated so that the estimation accuracy recovers after the actual EVC timing.

Remark that the above adjustments are validated by characteristic structures of the motorcycle engines:

- Because of a small ratio of the intake manifold to the stroke volume, the residual gas diffused in the intake manifold is scavenged in the intake stroke and it does not remain after the intake stroke.
- Due to a large ratio of the opening area of the intake valve to the combustion chamber volume, the unified region reaches the equilibrium before the EVC timing.

In return for the computational simplicity, the estimation accuracy is reduced during the period of the valve overlap. The estimation accuracy can be improved by computing gas transfers during the period [8,9,10]. However, this paper places the computational simplicity ahead of the estimation accuracy and tolerates the estimation error. This is because the proposed method is designed to the air-fuel ratio control, which is not sensitive to the estimation error during the period.

3-2-3. From IVO Timing to Next IVC Timing

On the assumption that a flow through the intake valve is lossless, this paper treats the intake manifold and the cylinder as a unified region.

Let S_4 be the cross-sectional area of the cylinder and V_{TDC} be the combustion chamber volume. Then, the volume of the unified region is given by

$$V_m = V_3 + V_{TDC} + S_4 x.$$

When the flow is subsonic, it follows that

$$\frac{1}{2} \left(\frac{v_1}{C} \right)^2 + \frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{P_1}{r_1} = \frac{1}{2} \left(\frac{v_2}{C} \right)^2 + \frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{P_2}{r_2},$$

$$S_1 r_1 v_1 = S_2 r_2 v_2,$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^n,$$

$$\frac{1}{2} v_2^2 + \frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{P_2}{r_2} = \frac{1}{2} v_m^2 + \frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{P_m}{r_m},$$

$$\frac{d}{dt} \left(V_m r_m \right) = S_3 r_m v_m = S_2 r_2 v_2,$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\kappa - 1} P_m V_m \right) + P_m \frac{dV_m}{dt} = \left(\frac{1}{2} v_2^2 + \frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{P_2}{r_2} \right) S_2 r_2 v_2.$$

And, when the flow is choked, then

$$\frac{1}{2} \left(\frac{v_1}{C} \right)^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_1}{r_1} = \frac{1}{2} \left(\frac{v_S}{C} \right)^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_S}{r_S},$$

$$S_1 r_1 v_1 = S_2 r_S v_S,$$

$$\frac{P_S}{P_1} = \left(\frac{r_S}{r_1} \right)^n,$$

$$P_S = \gamma^* P_1,$$

$$\frac{d}{dt} (V_m r_m) = S_2 r_S v_S,$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\kappa-1} P_m V_m \right) + P_m \frac{dV_m}{dt} = \left(\frac{1}{2} v_S^2 + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_S}{r_S} \right) S_2 r_S v_S.$$

3-2-4. Superposition of Intake Pulsation

The intake pulsation occurs by the water hammer effect and air column resonance. It can be modeled as a damping oscillation; its interval is derived from the sonic velocity and a distance from the air cleaner to the intake valve, its amplitude is proportional to the mass flow rate in the last cycle, and its damping time constant depends on a viscosity resistance of the gas. Let t_{IVC} denote the IVC timing, and A_p , τ_p , ω_p , and θ_p denote the initial amplitude, damping time constant, angular velocity, and initial phase angle, respectively. Then, we have

$$P_p = A_p e^{-(t-t_{IVC})/\tau_p} \sin(\omega_p(t-t_{IVC}) + \theta_p).$$

The air model computes the above equation separately from the intake air flow described in the previous sections, and superposes it to the intake manifold pressure, that is,

$$\hat{P}_3 = P_3 + P_p$$

from the IVC timing to the IVO timing, and

$$\hat{P}_m = P_m + P_p$$

from the IVO timing to the next IVC timing. The superposed pressures \hat{P}_3 and \hat{P}_m are the estimated intake manifold pressures of the air model (Fig. 4).

group consists of individually identified parameters and the second group is composed of parameters which are calibrated so that the air model fits the real intake system. The first group includes the discharge coefficient C , the cross-sectional area S_1 , and so on. The second group comprises the polytropic index n , the cylinder pressure and density at the IVO timing, and the parameters of the intake pulsation. This chapter explains how to calibrate the parameters of the second group.

4-1. POLYTROPIC INDEX

The polytropic index n corresponds to friction losses and thermal exchanges along the flow. The polytropic index can be identified from a differential value of the intake manifold pressure.

Physically, the differential value of the intake manifold pressure is monotonically increasing with respect to the polytropic index. Using the monotonicity, the index is adjusted so that the differential value of the intake manifold pressure of the air model is equal to that of the real engine. The index can be usually represented by a multivariable function of the opening area of the throttle valve and the temperature of the intake manifold.

4-2. PRESSURE AND DENSITY AT IVO

The cylinder pressure and density just before the IVO timing compensates the valve overlap and the exhaust pulsation. Their adjustments are based on the following monotonicity.

- The average of the intake manifold pressure through the intake stroke is monotonically increasing with respect to the cylinder pressure just before the IVO timing.
- The amount of decrease in the intake manifold pressure through the intake stroke is monotonically decreasing with respect to the cylinder density just before the IVO timing.

The parameters depend strongly on the mass of the intake air in the last cycle, the elapsed time from the last EVC timing, and so on.

4 CALIBRATION OF AIR MODEL

This chapter sketches how to calibrate behaviors of the air model. The behavior is determined by several parameters, which are divided into two groups. The first

Table 1: Summary of Experiment

Engine	490.5cc/2cylinder (249.8cc per cylinder), 300[deg] phase shift, -11.4(Closed) ~ 40.0(WOT) [Nm] @4000[rpm]
M.O.I.	0.177[kg m ²](low) ~ 1.242[kg m ²](high) (equivalent M.O.I. about the crank shaft including the mass of the motorcycle)
Temp.	Airin: 20[degC], Oil: 85[degC], Coolant: 80[degC]

4-3. INTAKE PULSATION

Since the intake pulsation is triggered by the water hammer effect, the initial amplitude and the initial phase angle are functions of the mass flow rate at the last IVC timing. Moreover, the damping time constant and the angular velocity are functions of a temperature of the intake air.

5 EXPERIMENTAL RESULTS

In Table 1, our experimental conditions are summarized. Figures 6 and 7 compare the intake manifold pressures of the air model and the real engine. The thick lines and the thin lines are the estimated intake manifold pressures and the measured intake manifold pressures, respectively. Moreover, the dashed lines represent their throttle valve positions.

Figure 6 plots the intake manifold pressures in a stationary operation where the engine rotational velocity was 4000 [rpm] and the throttle angle was 15 [deg]. Figure 7-top shows transient responses of the pressures when the throttle valve was opened rapidly from 7 to 70 [deg], and Fig. 7-bottom shows those when the throttle valve was closed rapidly from 50 to 7 [deg]. In any of these cases, the air model estimated the intake manifold pressures with a margin of error of plus or minus five percentage points except for the periods of the valve overlaps.

6 CONCLUSION

This paper describes the simplified calculation method for embedded computers to estimate the intake manifold pressure in real time. The method is derived from the

thermodynamic equations and statistical models of the intake air dynamics. In the experiments, the estimation errors were less than five percentage points except for the periods of the valve overlaps.

Continued studies are required in order to improve the accuracy during the periods of the valve overlaps. The problem is a trade-off between computational complexity and gained benefits.

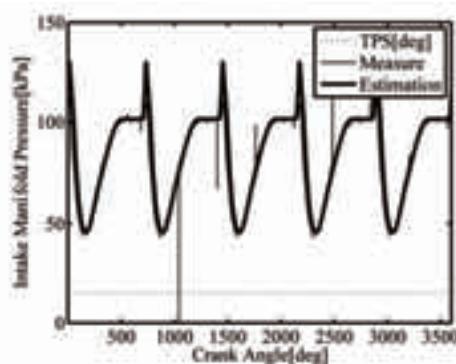


Figure 6: The stationary response at 4000[rpm].

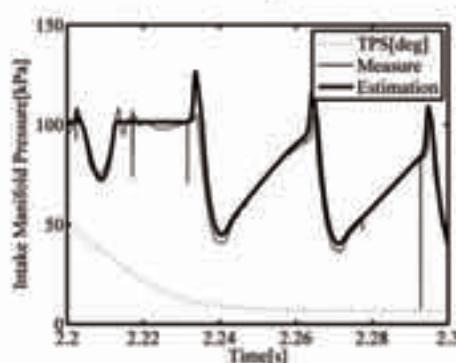
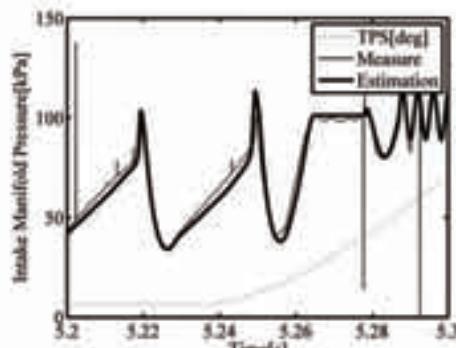


Figure 7: The transient responses around 4000[rpm].

REFERENCES

- [1] Toyota Motor Corporation and Toyota Central R&D Labs., Inc., "Instrument for Estimation of Intake Volume in Internal-combustion Engine (in Japanese)," Japanese published unexamined application, 2004-293546 (P2004-293546A), 2004
- [2] Siemens Aktiengesellschaft, "Method for determining an air mass flow into cylinders of an internal combustion engine with the aid of a model," United States Patent, 5889205, 1996
- [3] Honda Motor Co., Ltd., "Instrument for Control of Fuel Injection in Internal-combustion Engine (in Japanese)," Japanese Patent, No. 3119465 (P3119465), 1993
- [4] Yamaha Motor Co., Ltd., "Model-base Control Methodology and Apparatus (in Japanese)," Japanese Patent, P3703117, 1998
- [5] Wu, Y.Y., Chen, B.C., and Hsieh, F.C., "Modulization of four-stroke single-cylinder spark-ignition air-cooled engine models," Proc. Inst. Mech. Eng. Part D, Vol. 221, Issue 8, 2007
- [6] OPAL-RT TECHNOLOGIES Inc., GT-Power RT, <http://www.opal-rt.com/product/gt-power/>
- [7] Ricardo plc, WAVE-RT, <http://www.ricardo.com/What-we-do/Software/Products/WAVE-RT/>
- [8] Nissan Motor Co., Ltd., "Instrument for Calculation of Residual Gas Density in Engine (in Japanese)," Japanese published unexamined application, 2009-198499 (P2009-198499), 2009
- [9] Hitachi Automotive Systems, Ltd., "Estimation Method of Residual Gas Amount in Engine and Control Method of Variable Valve Timing System (in Japanese)," Japanese published unexamined application, 2002-205878 (P2002-205878), 2002
- [10] Chiang, C.J, "A physics-based model of a HCCI engine with electric mechanical valves," 2008 IEEE Int. Conf. on Sustainable Energy Tech., 2008
- [11] SuperFlow Corp., SF-1020, <http://www.superflow.com/>
- [12] S. Akama, Y. Murayama, and S. Sakoda, "Torque Control of Rear Wheel by Using Inverse Dynamics of Rubber/Aramid Belt Continuous Variable Transmission," Proc. of SETC 2013, Taiwan, 2013

■著者



赤間 俊一

Shun-ichi Akama

技術本部
研究開発統括部
基盤技術研究部

村山 恭規

Yasunori Murayama

技術本部
研究開発統括部
基盤技術研究部

迫田 茂穂

Shigeho Sakoda

技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部

編集後記

本号では『ヤマハらしさを体現するものづくり』をテーマに編集しました。ところで、私が所属するME事業部では、船外機のものづくりで50年を越える歴史を持ち、長く従来型2ストローク・エンジンが主流でした。しかし、排気ガス規制の施行国（主に先進国）では4ストローク・エンジンに転換しました。

皆さんご存知でしょうが、従来型2ストローク・エンジンは構造が簡単でメンテナンスし易く、軽量・高出力かつ耐久性・信頼性に優れるため、一部の国で排気ガス規制制定の動きが始まったにも関わらず、開発途上国ではいまだに主流となっています。

エンジンは市場で鍛えられ美しく進化します。小型船舶用として最適な従来型2ストローク・エンジンは十分に成熟しているので進化は緩やかでしょうが、事業部の伝統であり、将来に渡り受け継がれていくってほしいと強く思います。

(奥村 英之)

昨今、先進諸国を中心に、安全、高齢化対応を大義名分として掲げビーグルのロボット化がはやり、自分もこの10年、無人走行技術の開発に携わってきた。すばらしいセンサが登場し、コンピュータの処理能力、通信速度が格段に進歩して、自動運転の実現も目前のようだ。ただ、やればやるほど、人間や生き物ってすごいと思う。もって生まれた能力もすばらしいし、学習しさらに能力向上させるところがまたすばらしい。勘と経験、さらに第六感みたいな、どうしたって機械にはまねできない部分がたくさんある。

自動化は、苦しい作業を楽にするために大いに役立つと思うし、もちろん今の仕事を真っ向から否定するわけではないが、やはり、「ヤマハらしさ」を考えると、人間というセンサとコントローラとアクチュエータを活用して初めて本来の機能を發揮し、さらに人間自身も進化させ、使えば使うほど相互に輝く、そんな商品をこれからも提供していきたいと思う。

(今井 浩久)

ヤマハ発動機 技報編集委員会**委員長**

金子 和佳 技術本部 技術企画統括部 技術管理部

委員

伊藤 英敬 PF車両ユニット 技術統括部 企画推進部
 今井 浩久 事業開発本部 UMS事業推進部 開発部
 岡田 弘之 事業開発本部 RV事業部 開発部
 奥村 英之 マリン事業本部 ME事業部 開発統括部
 小野 朋寛 事業開発本部 SPV事業部 第1開発部
 北川 欽哉 マリン事業本部 ポート事業部 開発部
 木村 隆 ヤマハモーターハイドロリックシステム㈱ 第2開発室
 鈴木 正人 技術本部 NCV推進部

田中 大二郎 AM事業部 AM第1技術部
 仲村 拓哉 デザイン本部 コーポレートデザイン部
 長森 基樹 事業開発本部 IM事業部 ロボットビジネス部
 濱田 忍 PF車両ユニット コンポーネント統括部 生産技術部
 船越 育雄 ヤマハモーターエンジニアリング㈱ 経営企画部
 松井 太憲 ヤマハモーターエレクトロニクス㈱ 第2技術部
 馬塚 尚人 ヤマハモーターパワープロダクツ㈱ PP事業推進部

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 人事総務本部 広報宣伝部

溝川 隆司 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

ヤマハ発動機 技報 第50号
YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW 2014 No.50

印 刷 2014年11月30日
 発 行 2014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
 印 刷 所 (㈱)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 <http://global.yamaha-motor.com/jp/profile/craftsmanship/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。

表紙デザイン

「ヤマハらしさを体現するものづくり」という今号のテーマにおいてこれからの中のヤマハを担う注目モデルとなる「Tricity」と「R1」の2台の迫力を全面的に強調できるように構成しました。モデル写真をただ配置するのではなく、アーティスティックにデフォルメした2台を、動きのあるダイナミックなレイアウトにすることで、そのモデルの持つ魅力や登場感、雰囲気を際立たせています。

アーティスティックに表現された表紙デザインは、デザインフィロソフィ「リファインドダイナミズム：洗練された躍動感」をも表し、これらも「ヤマハらしさ」を体現しているといえるでしょう。



庄田 祐一
デザイン本部
コーポレートデザイン部



YAMAHA

Revs Your Heart



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