

No.53
2017



YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW



巻頭言

変化の時代だからこそ顧客価値の視点を大切に	3
島本 誠	

技術紹介

自動車用ショックアブソーバー「TRAS」の開発	5
大澤 秀樹 山崎 豊 河合 隆 片山 信二 中村 大 鈴木 保之 早川 昇邦 加茂 利明	
衛星通信による FAZER R G2 遠距離自動飛行運用紹介	9
森本 琢也	
PAS 用磁歪式トルクセンサのめつきシャフト量産技術開発	14
小林 秀之 鈴木 康祐 鈴木 康秀 萩原 拓也 小柳津 奕太 神谷 格 堀内 慎高 井口 大輔 新村 英梨	
新パワーチューナーの開発	18
池谷 昌彦 設樂 尚希 伊熊 佳幸 太田 博康	
悪路走行における二輪車フレームの疲労寿命予測技術	23
坂本 和信	
低速自動走行車両による移動サービスシステム技術紹介	27
藤井 北斗 渡辺 仁	

製品紹介

2017年モデル YZF-R15, V-ixion R	33
北村 悠 竹本 靖史	
インドプレミアムセグメントモデル「FZ25」の開発	40
青木 和重 大石 貴之 向井 保之 濱田 知宏 井上 正洋 福島 佑輔	
コストパフォーマンスに優れたインド向けストリートモデル「SALUTO RX」の開発	45
豊里 哲夫 鈴木 智一朗 佐藤 公彦 野中 章裕 岩崎 裕介 石田 孝幸	
スタイリッシュなスポーティスクーター「GDR155」の開発	50
鈴木 誠之 石川 陽平 谷口 将健 見崎 亮太 小河 韶也	
旅の喜びを最大化する先進の大陸横断グランドツアラー Star Venture	54
新庄 正己	
2018年モデル ROV WOLVERINE X4	59
杉浦 利一 林 智之 上江洌 純司 Andrew Schwab	
Snoscoot 2018 Model Snowmobile	66
Masa Saito Jim Vizanko Lauren Nasca Brian Rapnow 山本 正信 柴崎 佑太	
船外機「F25G」の開発	70
大石 浩	
フィッシングボート「DFR-33」	74
福山 美洋	
ブレード付除雪機	79
金沢 敦 松下 賴夫 竹下 正敏 宮内 泰寛	

技術論文

人工知能と自動運転によるモビリティの変容と課題 -AI 時代の「移動の社会学」に向かって-	84
奥野 卓司 岸 則政 横井 茂樹 原 以起 奥野 圭太郎	
可視化エンジンを用いた筒内混合気形成過程の可視化による低負荷時の燃焼変動要因の解析	95
保木本 聖 真山 達也 森吉 泰生 渡辺 敬弘 飯田 実	
自動二輪車における実走行時のライディング運動計測技術の開発	102
石井 航 椎 典子 原田 佳典 多田 充徳 宮田 なつき 村井 昭彦	
Investigation of the behavior of three-wheel vehicles when they pass over a low μ road surface	110
寺田 圭佑 佐野 貴透 外川 高男	
マグネシウム真空ダイカスト鋳造ホイールの開発	120
塙本 健二 小倉 純一 稲村 隆義 下位 誠	
ダイカスト湯口方案のノンパラメトリック最適化技術	127
山崎 吾朗 川谷 龍勢	

Foreword

The Critical Importance of Customer Value Perspectives in These Changing Times	3
Makoto Shimamoto	

New Technologies

Development of the "TRAS" automotive shock absorber	5
Hideki Osawa Yutaka Yamazaki Takashi Kawai Shinji Katayama Yutaka Nakamura Yasuyuki Suzuki Norikuni Hayakawa Toshiaki Kamo	
Introduction to the satellite-based long-distance, programmable-navigation operation of the FAZER R G2	9
Takuya Morimoto	
Development of Mass-Production Shaft Plating Technology for Magneto-Striction PAS Torque Sensors	14
Hideyuki Kobayashi Kousuke Suzuki Yasuhide Suzuki Takuya Hagiwara Shota Oyaidu Itaru Kamiya	
Noritaka Horiuchi Daisuke Iguchi Eri Shinmura	
Development of the New Power Tuner	18
Masahiko Ikeya Naoki Shidara Yoshiyuki Ikuma Hiroyasu Oota	
Fatigue Life Prediction of Welds in Motorcycle Frames on a Rough Road	23
Kazunobu Sakamoto	
Technology Introduction of Low-Speed Automated Driving Mobility-Based Service System	27
Hokuto Fujii Hitoshi Watanabe	

New Products

The 2017 model YZF-R15 and V-ixion R	33
Yu Kitamura Yasushi Takemoto	
Development of the FZ25 India Premium Segment Model	40
Kazushige Aoki Takayuki Oishi Yasuyuki Mukai Tomohiro Hamada Masahiro Inoue Yusuke Fukushima	
Development of the SALUTO RX Street Model for India with Superior Cost-Performance	45
Tetsuo Toyosato Tomoichiro Suzuki Kimihiko Satou Akihiro Nonaka Yuusuke Iwasaki Takayuki Ishida	
Development of the Stylish and Sporty GDR155 Scooter	50
Nobuyuki Suzuki Youhei Ishikawa Masatoshi Taniguchi Ryota Misaki Takuya Ogawa	
Star Venture Leading-Edge Transcontinental Grand Tourer for the Ultimate Touring Experience	54
Masami Shinsho	
WOLVERINE X4 2018 Model ROV	59
Toshikazu Sugiura Tomoyuki Hayashi Junji Uezu Andrew Schwab	
Snoscoot 2018 Model Snowmobile	66
Masa Saito Jim Vizanko Lauren Nasca Brian Rupnow Masanobu Yamamoto Yuta Shibasaki	
Development of the F25G Outboard Motor	70
Hiroshi Oishi	
"DFR-33" Fishing Boat	74
Yoshihiro Fukuyama	
Blade Snow Thrower	79
Atsushi Kanazawa Yorio Matsushita Masatoshi Takeshita Yasuhiro Miyauchi	

Technical Papers

New Issues and Changes of Our Life with Artificial Intelligence and Autonomous Driving: Toward the "Sociology of Mobilities" in the New Age of AI	84
Takuji Okuno Norimasa Kishi Shigeki Yokoi Ioki Hara Keitaro Okuno	
Analyses of cycle-to-cycle variation of combustion in low load conditions by visualization of fuel mixture formation processes using an optical engine	95
Satoshi Hokimoto Tatsuya Kuboyama Yasuo Moriyoshi Takahiro Watanabe Minoru Iida	
Development of Technology to Measure Motorcycle Rider Movement during Actual Riding	102
Wataru Ishi Noriko Shii Yoshinori Harada Mitsunori Tada Natsuki Miyata Akihiko Murai	
Investigation of the behavior of three-wheel vehicles when they pass over a low μ road surface	110
Keisuke Terada Takayuki Sano Takao Togawa	
Development of Magnesium Vacuum Die-cast Wheels	120
Kenji Tsukamoto Junichi Ogura Takayoshi Inamura Makoto Shimo	
Non-parametric optimization technique for die-casting gating system concept	127
Gorou Yamazaki Ryuusei Kawatani	

島本 誠

Recently, the buzz surrounding the IoT and EVs has become even greater than in previous times. Do you also have the impression that the world is changing at unprecedented speed, the largest changes since the Industrial Revolution in the 1800s? It is an era in which we must prepare for the risk of long-standing competitive advantages suddenly disappearing overnight. Given this possibility, we, as engineers, must always be thinking about what type of value (greater value than our competitors) we can provide to what people, and in what regions. Even as the times change, and as the focus of our technology moves from Mono (product functionality) to Koto (the experiences obtained from products), this approach does not change.

As engineers and researchers, we tend to focus on the functionality and technological superiority of the technology and components we are developing. For example, in the field of e-mobility the focus is on the development of lightweight and highly-powerful motors and batteries, but it is necessary to pursue this development with an awareness of to whom and what kind of value these types of mobility will ultimately provide. Of course, it is obvious that the elemental technologies themselves are still important.

The significance of value changes markedly depending on where and what type of customer is involved. We must also not forget that, as the times change, the value demanded changes with bewildering speed. The value for the customer can be expressed as functionality divided by price, but as values regarding the environment and safety have shifted significantly in the last few years, perhaps customers are becoming more forgiving of the pricing denominator. In addition, the perception of value is different for a customer spending several million yen on a motorcycle as a hobby, and someone purchasing a scooter as an everyday necessity. We anticipate that the weighting placed on the value of the product as a simple means of transport will decrease in the future. Given this likely trend, from the perspective of Monozukuri (engineering, manufacturing, and marketing), we would like to strengthen areas such as the pursuit of value which "Revs your Heart"¹⁾ in the hobby field, and areas where value is likely to increase in the future, such as safety and environmental friendliness.

I believe that how much of this value can be found or created affects how much INNOVATION²⁾ we can embody. Innovation does not only mean creating the century's greatest invention - innovation also springs just from a recombination of existing technologies or changing the approach slightly. If it satisfies the demands of the community or customers in this era, even a small Innovation can create surprisingly large value.

However, innovation is not something which comes to mind by setting a day aside to think about it. Having wide-ranging curiosity every day adds to the inputs to your work, which leads to creating small innovations in outputs through showing little elements of ingenuity and the spirit of going the extra mile, thus collectively building into larger innovations. If we must raise value without any innovation, the only way to achieve this is to lower prices, and we would fall into the trap of destructive competition.

We should treat the current significant advances in IoT and EV-related technology as a great opportunity to create innovation, and I believe that it is important to promote technological development which suits the unique style of Yamaha. Engineers must always be aware of what kind of value their fields of technology and research can ultimately provide to what type of customer. Furthermore, so that research and development - which are means to an end - do not become ends in and of themselves, it is important to always have an image uppermost in mind of delivering Kando³⁾ to customers by providing value not yet seen in the product groups and regions in question.

1) The brand slogan "Revs your Heart" expresses Yamaha Motor's intent to - through a wide variety of Innovations and products which create Kando - bring Kando and excitement to customers in the same way that revving the engine provides power to vehicles.

2) In order to achieve the Yamaha Motor Corporate Mission of being a Kando Creating Company, and to encapsulate the brand slogan "Revs your Heart," the unique style of Yamaha is defined through five key words: Innovation, Excitement, Confidence, Emotion, and Ties.

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

最近IoTやEVに関わる話題を今まで以上に耳にするようになってきました。いまだかつてないスピードで1800年代の産業革命以来の大きな変化が起こっているのを皆さんも感じているのではないでしょうか。今までもっていた競争優位性がある日突然失われてしまうリスクに備えなければいけない時代です。そうしたとき、我々技術者が常に考えておかなければならないことは、どのような人(どのような地域)にどのような価値(ライバルよりも高い価値)を提供できるのかということです。これは時代が変わろうが、技術の対象がモノからコトに変わろうが同じです。

我々技術者・研究者は自分たちが開発している技術やコンポーネントそのものの機能、技術的優位性に目が向きます。例えばe-Mobilityでは小さくて高出力なモーター・バッテリーの開発自体に注力しますが、最終的に「誰」にどのような「価値」を提供するモビリティーになるのかを意識しながら開発する必要があります。もちろん要素技術そのものが重要であることは言うまでもありません。

どのどのようなお客様なのかにより「価値」の意味合いは大きく変わります。また、時代の変化によって求められる「価値」はすさまじいスピードで変わっていくことも忘れてはいけません。お客様にとっての「価値」は、機能／値段で表せますが、ここ数年で環境や安全に対する価値観は大きく変化し、分母の値段を許容していただけるようになっているのではないかでしょうか。また、趣味材として数百万円の商品を購入いただくお客様と生活の必需品としてスクーターを購入いただくお客様とでは、お客様にとっての「価値」は異なります。今後、単なる移動というモノの価値のウエイトは低くなっていくと予想されます。そのような中でもモノづくりの視点では、趣味材領域でより心をRev¹⁾させる「価値」の探求や安全・環境対応といった今後「価値」が上がってくる領域を強化していきたいと考えます。

こういった「価値」を見つけられるか、創り出せるかは、どれだけ「発」²⁾を体現できるかにかかっていると思います。必ずしも世紀の大発明である必要はなく、すでにある技術を組み合わせたり少しだけベクトルを変えたりするだけでも「発」は生まれてきます。そのちょっとした「発」が地域やお客様の時代の要求にミートすれば意外と大きな「価値」となります。

ただ、今日は一日「発」を考えようと時間をとったところで思いつくものではありません。日ごろから色々なことに好奇心をもってインプットしておくことと、アウトプットするときに少しのひねりとサービス精神を發揮することでちょっとした「発」が生まれ、それが集まり大きな「発」につながります。もし「発」がない中で「価値」を上げるのであれば値段を下げるしかなくなってしまい不毛な競争の淵に沈んでいってしまいます。

現在のIoTやEVに関わる大きな技術変化を「発」を作り出す絶好の機会ととらえて、ヤマハらしい技術開発を推進していくことが重要であると考えます。技術者は、技術や研究テーマが最終的にどのような「価値」をどのようなお客様に提供できるのかを常に考え、研究や開発行為自体が目的化しないように、それぞれの商品群や地域でまだ見ぬ「価値」を提供してお客様に感動を届けているイメージを持ち続けることが大切です。

1) ブランドスローガン “Revs your Heart” は、ヤマハがさまざまなイノベーションや感動を生む商品を通じてエンジンにパワーを与えるかのようにお客様の心を昂ぶらせて感動を与えるという意志を表しており、“Rev”には「エンジン回転を上げる」、「わくわくさせる、昂らせる」という意味があります。

2) 当社企業目的の「感動創造企業」を実現し、ブランドスローガン「Revs your Heart」を具現化するために、ヤマハらしさを「発 (Innovation)、悦 (Excitement)、信 (Confidence)、魅 (Emotion)、結 (Ties)」と定義しています。

■著者



島本 誠
Makoto Shimamoto
取締役 上席執行役員

大澤秀樹 山崎豊 河合隆 片山信二
中村大 鈴木保之 早川昇邦 加茂利明

Abstract

An essential element of enjoyable driving is having the vehicle respond faithfully to the driver's operations. To achieve this, it is necessary to create a sense of synergy that enables the driver to direct the vehicle as if it were part of their own body. As one element of automotive business development, the Automotive Business Unit has been working on developing automotive chassis technology that appeals to the drivers' senses, and in 1997 and 2001, we commercialized the REAS^[1] and the Performance Damper^{[2]-[4]} respectively.

Currently, we are researching and developing a new component to follow on from these: the innovative shock absorber, TRAS (Through Rod Advanced Shock Absorber) that employs "Negative gas reaction force."

This report discusses the development of the TRAS, with a focus on the product attributes demanded of vehicle suspension (handling stability and comfort).

1 はじめに

ドライビングを楽しむ上で、操作に対して忠実に反応が返ってくることは非常に重要であり、そのためにはドライバーの体の一部のようにクルマを動かすことができる一体感が必要である。AM事業部では自動車事業推進の一環として、ドライバーの感性に訴えかけるような自動車シャシー技術の開発に取り組み、1997年にはREAS^[1]を、2001年にはパフォーマンスダンパー^{[2]-[4]}を製品化してきた。

これらに続く新たなコンポーネントとして、これまでにない“マイナス反力”を用いたショックアブソーバー：TRAS(Through Rod Advanced Shock Absorber)を現在研究開発している。

本稿では、自動車のサスペンションに要求される商品性(操縦安定性・乗心地)を中心にTRASの開発について紹介する。

2 開発の狙い

2-1. コンセプト

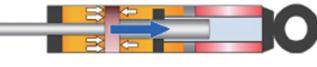
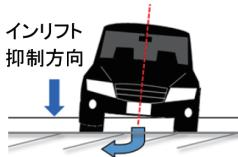
TRASは“ドライバーの意のままに安心できる操縦安定性”と“力まずに快適に運転できる乗心地”をコンセプトとし、以下の3点を実現することを目標としている。

- ・ロードホールディング性の向上
- ・路面に吸い付くような安定感
- ・滑らかな乗心地

これらの目標を達成する手段として、単筒式ショックアブソーバー(以下、単筒式S/A)ではロッドを押し出す方向に働いてしまう高圧ガスによる力を、TRASでは逆の引き込む方向の力、“マイナス反力”を用いることとした。

表1に単筒式S/AとTRASの特徴を示す。

表1 ショックアブソーバーの特徴比較

形式	ロッドに働く力	特徴	旋回時のロール姿勢イメージ
TRAS マイナス方向(引き込み方向) 	マイナス方向 (引き込み方向)	<ul style="list-style-type: none"> ・優れたロードホールディング性 ・路面に吸い付くような安定感 ・滑らかな乗心地 ・単筒式同等の応答性 	
単筒式 S/A プラス方向(押し出し方向) 	プラス方向 (押し出し方向)	<ul style="list-style-type: none"> ・シンプルな構造 ・軽量 ・チューニングを行いやすい ・減衰力の応答性に優れる 	

2-2. 構造と原理

図1に、TRASと単筒式S/Aの構造を示す。

単筒式S/Aはピストンの片側にのみロッドが設けられているのに対し、TRASではガス室側にロッドより大径の副ロッドを設けている。また、ピストンの受圧面積は、単筒式S/Aはロッド側が必ず小さくなるが、TRASでは主ロッド側が大きくなる。その結果、パスカルの原理により、単筒式S/Aはロッドを押し出す方向に力が発生するのに対し、TRASはロッドを引き込む力“マイナス反力”が発生する。

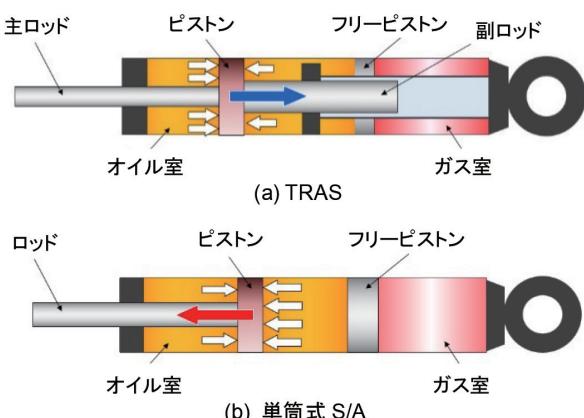


図1 TRASと単筒式S/Aの構造比較

3 効果の検証結果

3-1. 官能評価結果

これまでのテストから、以下のコメントが得られた。

- ・旋回中の姿勢が良好安定して走行できる
- ・コーナーでの内輪の接地感がある
- ・狙ったライン通りに高車速で安定して走行できる
- ・足が良好動き4輪全部の接地感がある
- ・ステアリングの切り返しの際に安定感がある
- ・ステアリングのつながりが自然

- ・単筒式S/Aより乗心地に落ち着きがある
- ・中高周波振動が減少し、質感が上がる

おおむね好評を頂いたが、上記のコメントを裏付けるべく、操縦安定性・乗心地の定量化にも取り組んだ。次節以降では、その結果について紹介する。

3-2. 操縦安定性評価結果

図2には、テストコース(1コーナー～切替(図3))を走行した際の、TRASと単筒式S/Aの変位の比較を示す。

図4のようにコーナーリング中に浮き上がりやすい、内輪側のストロークを見ると、TRASの方が単筒式S/Aよりもストロークが小さい。これは内輪に荷重が残り、グリップを確保していることを示しており、官能評価結果の“コーナーでの内輪の接地感がある”ことを定量化できた結果である。

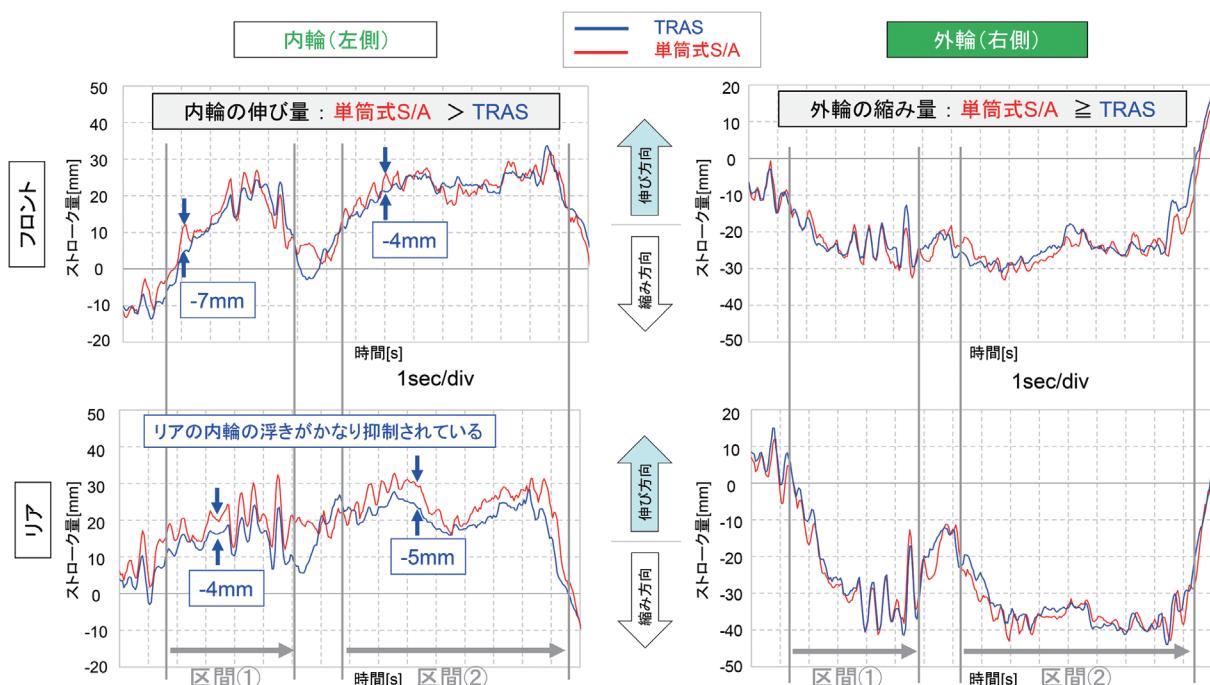


図2 コース走行時のストローク計測結果

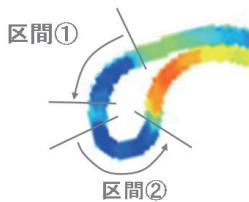


図3 走行シミュレーション

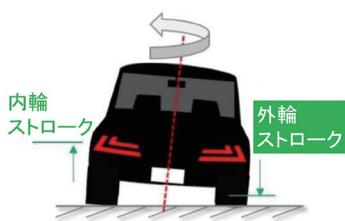


図4 計測状況

3-3. 乗心地計測結果

続いて、乗心地の計測結果について紹介する。計測は図5に示すように、段差を片輪だけ乗り上げ・乗り下げて走行した時のS/Aのストロークを計測した。なお、走行条件（特に車速）が一定条件になるように、クリープ現象のみで走行した。

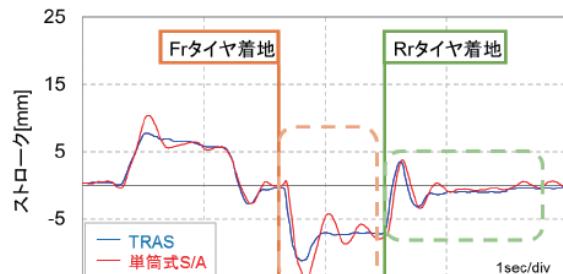


図5 乗心地計測 走行状況

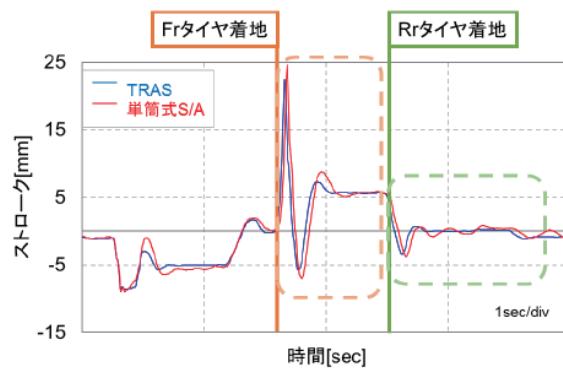
ストローク計測結果（図6）を見ると、TRASはタイヤが落下後すぐに動きが収まっているのに対し、単筒式S/Aは上下動が残っており、かつ左右の動きに位相差がある。

また、計測時の乗員の挙動を確認した結果、後輪が段差から落ちる際に、TRASの方が単筒式S/Aよりドライバー頭部の振られ量が小さい（図7）。これらの結果から、TRASは単筒式S/Aに対し動きの収まりが良く、動きの左右差も小さいため、車両のロール運動が少ないとから、“乗員頭部の振られ量”が小さくなった（乗心地が改善した）と推測さ

れる。引き続きこれらの現象を定量化すべく、計測を進めていく予定である。



(a) Fr.左計測結果



(b) Fr.右計測結果

図6 段差乗り越し時のストローク測定結果



(a) TRAS



(b) 単筒式S/A

図7 後輪が段差から落ちる際のドライバーの頭部の振られ量比較

4

おわりに

これまでの評価の結果から、TRAS は、“ドライバーの意のままに安心できる操縦安定性”を達成しつつあると考えている。しかし、乗心地の改善・操縦安定性のさらなる向上などコンセプトを実現するためにはまだまだ改善すべき点があり、量産化に向けての課題も大きい。

今後は TRAS の効果を解明するだけでなく、その魅力をお客様へ伝えるためにも、さらなるデータ計測・解析を取り入れながら開発を進めるとともに、量産機種への採用に向けての課題解決に取り組んでいきたい。

■参考文献

- [1] 沢井, 坂井：自動車シャシー技術の開発 X-REAS／パフォーマンスダンパー, ヤマハ発動機技報, 第 33 号, pp.78-82 (2003)
- [2] 沢井, ほか 3 名：パフォーマンスダンパーの開発, ヤマハ発動機技報, 第 38 号, pp.5-11 (2004)
- [3] 沢井, ほか 5 名：製品としてのパフォーマンスダンパーの実績と新たに確認された広範囲な効果についての紹介, ヤマハ発動機技報, 第 45 号, pp.78-85 (2009)
- [4] 加茂, ほか 3 名：パフォーマンスダンパー効果のメカニズム解明に向けて, ヤマハ発動機技報, 第 51 号, pp.16-19 (2015)

■著者



大澤 秀樹(前列右から2番目)

Hideki Osawa

AM事業部

AM第2技術部

山崎 豊(前列左から2番目)

Yutaka Yamazaki

AM事業部

AM第2技術部

河合 隆(前列左端)

Takashi Kawai

AM事業部

AM第2技術部

片山 信二(前列右端)

Shinji Katayama

AM事業部

AM第2技術部

中村 大(前列中央)

Yutaka Nakamura

AM事業部

AM第2技術部

鈴木 保之(後列右から2番目)

Yasuyuki Suzuki

AM事業部

AM第2技術部

早川 昇邦(後列中央)

Norikuni Hayakawa

AM事業部

AM第2技術部

加茂 利明(後列左から2番目)

Toshiaki Kamo

AM事業部

AM第2技術部

衛星通信による FAZER R G2 遠距離自動飛行運用紹介

Introduction to the satellite-based long-distance, programmable-navigation operation of the FAZER R G2

森本 琢也

Abstract

Yamaha Motor developed the FAZER R G2 programmable-navigation unmanned helicopter in 2016 as a highend model industrial drone which was based on the FAZER R^[1] unmanned helicopter for agricultural chemical spraying released the same year (Fig. 1). The aforementioned FAZER R was a model which improved on the functions of the FAZER released in 2013 and featured superior payload (weight which can be carried) performance, and the recently released G2 adds programmable-navigation functions to the FAZER R.

Unlike the FAZER R, which was directly controlled by a human via a transmitter while within that person's range of sight, the added programmable-navigation functions of the G2 allow it to operate outside of the field of view simply by sending basic commands from a controller at a base station. To that end, the G2 is fitted with a transceiver to receive radio waves at long distances (several kilometers), as well as a camera and video transceiver which allow the operator to control the flight of the G2 by looking at the images it sends.

Various practical limitations have now been resolved by equipping the G2 with a satellite transceiver, which dramatically expands the range in which it can be flown (Fig. 2). As a result, it is now possible to take full advantage of the intrinsic payload capabilities of the G2 alongside its potential in areas such as upwind performance. This report describes development of the functions of the G2, which is based on satellite communication enabling long-distance, programmable-navigation operation, and provides examples of its operation.

1 はじめに

ヤマハ発動機では、2016年発売の農薬散布用無人ヘリコプター FAZER R^[1]をベースとした産業用ドローンのハイエンドモデルとなる自動航行型無人ヘリコプター FAZER R G2 を同年開発した（図1）。ベースとした FAZER R は、2013年発売の FAZER に機能改良を加え、ペイロード性能（搭載可能な荷物の重量）を向上させたモデルで、今回開発した G2 はこの FAZER R に自動航行用機能を追加したモデルである。

FAZER R が目視範囲内で人間が直接見ながら送信機によって操縦するのに対して、G2 は自動飛行機能を備えたことで目視外でも運用が可能であり、基地局のコントローラーから簡単な命令を送るだけで操作が可能になっている。そのため G2 は、遠距離（数 km）まで電波が届く通信機と、操作者が飛行している G2 からの映像を見るためのカメラ装置および映像送信用の通信機を搭載している。

今回、G2 に衛星通信機を搭載したことによりさまざまな運用制限がなくなり、飛躍的に飛行可能範囲が拡大した（図2）。そのため、G2 の本来のペイロード能力や対風速性能等のポテンシャルを最大限に生かせるようになった。ここでは、遠距離自動飛行運用を可能にした衛星通信による G2 の機能開発と運用事例について紹介する。

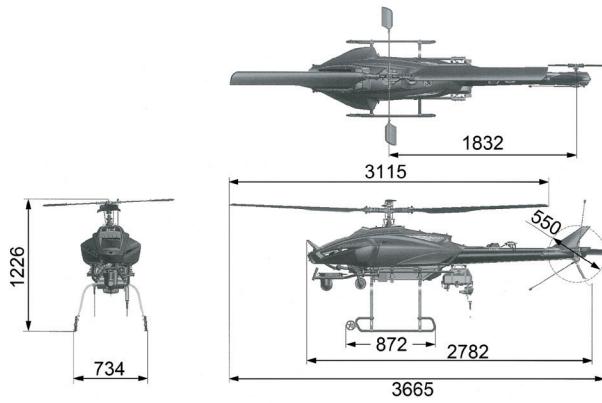


図1 FAZER R G2 三面図



図2 衛星通信機を搭載したFAZER R G2

2 G2開発の背景

2-1. 次期自動航行モデルへの要求

自動航行用機能開発は、1997年に開発した前農薬散布モデルであるRMAXの商品化直後から行っており、2000年に北海道有珠山観測を実施して以来、開発を本格化させた。

2006年には、RMAXに自動航行機能を追加し信頼性を向上させたRMAX G1^[2]（以下、G1）を開発した。G1は、今日まで、桜島、新燃岳、三宅島、伊豆大島、口永良部島、西之島等の人の立ち入りが禁止されている火山での観測業務（地震計の設置・回収、空中磁気計測、火山ガス計測等）や、放射線計測業務、レーザープロファイラーによる3次元地図作成等の運用で使用され、延べ3000時間以上の運用を行ってきた。

ここ数年、無人航空機（通称ドローン）がニュースなどで頻繁に話題に上るようになり、実際の運用でも台頭している。そのような中、信頼性が高く運用実績のあるG1の後継機種には、小型のドローンにはできないようなペイロード能力と、飛行性能（対風速性能や飛行可能距離および高度）の向上が望まれていた。

3 開発の取り組み

当社では、2015年のFAZER開発終了とともに、自動航行機能を有したG2の開発を開始した。以下に、G2の能力向上の取り組みについて説明する。

3-1. ペイロード能力・飛行性能向上

開発当初、次期自動航行モデルの開発のベースとする機体を2016年に発売予定のFAZER Rにすることで、ペイロード能力と飛行性能についてはG1より格段に向上することが期待できた。G2では、さらに自動航行を実現するために追加で装備する様々なセンサーや装置等の軽量化に取り組み、FAZER Rのペイロード能力をできるだけ落とさないようにした。具体的には、小型のカメラ装置の採用や通信機、制御装置を内蔵する自動航行機能用装置の軽量化等を行った。また、FAZER R自身が内蔵するセンサーを有効利用することで、自動航行用機能として追加する装置を少なくするなどした。

こうした軽量化の取り組みにより、G1のペイロード能力10kgに対して、G2ではFAZER Rのペイロード性能を大きく落とすことなく、飛行可能時間を増やしながらペイロード

能力35kgを達成した（表1）。

表1 G2/G1 主要諸元

性能項目	G2	G1
重量	79.5kg	83.2kg
ペイロード (1気圧、気温 20°C時)	35kg (燃料 6L 時)	10kg
運用高度	2800m (燃料 6L 時)	1000m
飛行距離	90km	3km
飛行時間	100 分	80 分

3-2. 飛行可能距離の拡大

小型のドローンが社会に認知されるようになりつつあった数年前では、無人航空機と無線通信のリンク（機体と地上操縦局の双方向通信の確立）がない状態でもプログラム飛行等により自動航行可能なものが多かった。当社では、G2を含む自動航行用無人ヘリコプターの設計コンセプトとして、無線操縦のときだけでなくプログラミング飛行等で自動航行する際ににおいても、無線通信のリンクが常時確保されている状態でいつでも基地局からの操作命令が伝わるときのみ運行が可能な設計仕様にしている。これは、今後の社会情勢、国際法等の整備状況を鑑み、無人航空機を飛行させる際は必ず無線通信のリンクが必要になってくるという判断であった。そのため、G2の飛行可能範囲を広げるためには、まず、無線通信の到達範囲を広げるという取り組みが必要になった。

G2を自動航行させるための無線通信には、制御用のデータ通信と、搭載するカメラ装置の映像を送信する映像送信の2つがある。特に、映像の送信には、広い帯域の電波帯が必要であり、ヘリコプターのような移動体に搭載することを考えると受信性能の良い電波帯であることが重要である。

現在の日本においてデータ通信、映像通信をするために簡易な免許で利用可能な電波帯には、429MHz, 930MHz, 1.2GHz, 2.4GHz, 5.7GHzがある。移動体で使用するには電波の回り込み（回折）が期待でき、指向性が少なく受信しやすい周波数の低いものが望ましい。さらに、映像通信を行うとなると十分な通信帯域を備えた特性が要求される。しかし、これらの電波帯は日本の電波法では規制上遠くまで飛行させるには十分な出力でないものが多い。テスト結果においても、電波到達距離が数km台、遠くまで届いても10km未満というもので、データ通信と映像送信を同時に行おうとすると使用可能な通信装置がないのが現実であった。また、実際の運用では地表面に設置した基地局から電波を発射する場合が多く、飛行距離が約10kmを超えると飛行高度が

低い場合には電波の到達が不可能になり、通信できないという深刻な問題もあった。

ヤマハ発動機では、2015年よりこれらの問題を一気に解決し長距離通信を実現するため、衛星通信機を搭載しインターネットを介して通信するというテストを開始した。衛星通信による飛行が実現すれば、通信衛星が見える上空が開けた環境であれば、地球上のどこでも飛行が可能になる。さらに、長距離飛行はもちろん、遠くて飛行高度が低い場合や、火山の裏側等の見通しのきかない場所でも飛行が可能になる（図3）。

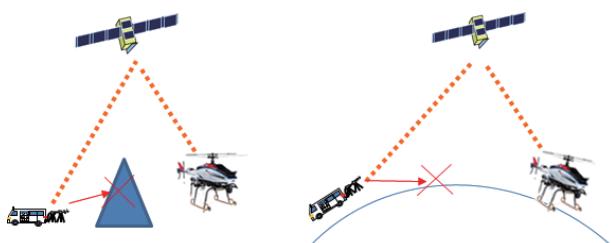


図3 直接通信 vs 衛星通信

3-3. 衛星通信機の選択

日本において商用利用できる衛星通信機は、G2に搭載可能な機材の大きさのものとしては数種類ある。中でも、機体から映像送信が可能で十分な通信帯域が確保できるL-band帯（1GHz帯で、広い通信帯域と無人航空機に搭載した場合に適度な電波の回折が期待でき、受信性能が良いという特徴がある。）を使用したインマルサット静止衛星通信サービスが最適であると判断し採用した（表2）。

表2 衛星通信比較

サービス名	ワイドスターII	イリジウム	インマルサット
事業者	NTT ドコモ	イリジウムコミュニケーション	インマルサット
提供	日本のみ	世界	世界
衛星区分	静止衛星	移動衛星	静止衛星
サービス	音声+データ通信	音声+データ通信	音声+データ通信
帯域	狭い	狭い	広い
端末	少ない	多数	多数

音声通話サービスが中心

前身で、海上の安全を確保するため静止衛星を利用したサービスを行っている。）は遠く離れた赤道上空約36,000kmにある静止衛星を使用した通信サービスであるため、開発途中では大きく3つの衛星通信特有の問題点が発生し、解決しなければならなかった。

第一に、衛星との通信には遅延と伝送遅延の変動（揺らぎ）が大きく、通信が全くできないという問題があった。これについては通信事業者の協力のもとでテストを行い、IPパケット（ネットワークで伝達するためのデータの固まり）化して通信する際に、その影響が最小限になるような送信方法の採用と機器の選定や設定を行った（図4）。



図4 航空機用衛星通信機とFAZERとの通信テスト（初期）

第二に、アンテナの追尾に特徴があり、衛星通信との接続がうまくいかないという問題があった。高速なデータ通信を安定的に行うために、飛行中は機首方位や姿勢の変化、機体の移動に合わせて正確に通信衛星にアンテナを向ける（追尾）必要がある。衛星通信機には、機種ごとにそれぞれ通信衛星を追尾する方法が異なるため、まず、その方法を熟知することから始めた。追尾方法を把握した後、衛星との通信品質に問題が出ないアンテナ配置を念入りに検討した。特に飛行中は金属部であるメインローター・ヘッドや、姿勢の安定のために取り付けられているスタビライザーバーの影響が顕著に表れた。そこで、基本的に金属部から遠ざける方法をとった。

第三に、衛星通信の電波出力が強大であり、GNSSレシーバー（GPSのような測位衛星システム用受信機）が強力な電波の影響を受け、使用できなくなるという問題が発生した。これは、飛行中に機体が動くことでアンテナも動き、電波が機体のあらゆる方向に発射されることが要因と考えられた。そのため、G2に2つ搭載しているGNSSアンテナを前後に離し、衛星通信アンテナから遠ざけながら分散して配置

4 開発時の問題点

4-1. 衛星通信機をG2に搭載した場合の問題点

インマルサット通信衛星（事業者：インマルサット社、1979年に設立された国際機関である国際海事衛星機構が

するなどの対策をした。また、衛星通信電波の影響が出にくいGNSSアンテナの採用やバンドリジェクトフィルターなどを用い、強力な電波の影響をできるだけ受けないようにした。

4-2. 映像送信技術の課題

衛星通信を使用した通信は全てインターネットを介して行われるため、データ通信も映像送信もすべてIPパケットデータに変換する必要がある。中でも、G2のカメラ装置から送信される、HD-SDIの映像データ（フルHD映像）をインマルサット通信衛星の狭い通信帯域でも送信できるよう強力な映像圧縮装置が必要になった。今回G2で採用した映像圧縮装置はG2専用に専門メーカーと開発しており、衛星通信の遅延や揺らぎの影響下でも安定して映像の送信が可能である。現在は、さらなる映像品質向上のため、映像圧縮専用コーデックの開発や高精彩な静止画送信機能の追加などを映像圧縮装置メーカーと取り組んでいる最中である（図5）。



図5 実証テスト時 衛星通信による映像送信

5 実証テスト（物資運搬とIoT）

2016年秋には、すべての課題を克服し、衛星通信を使用したG2の飛行が可能になった。G2の最初の長距離飛行テストとして、沖縄県八重山諸島の離島間を飛行させた。安全にテストを行うため、直線距離を長くとることができなかつたが、一回の飛行距離が30kmを超える長距離飛行テストを行った（図6）。また、当社に基地局を設置し、1700km以上離れた場所からG2を離陸させたのち広範囲を飛行させるなどのテストを行った（図7）。いずれのテストも、衛星通信ならではの通信能力を生かし、G2が広大なエリアで飛行可能になることが実証できた。

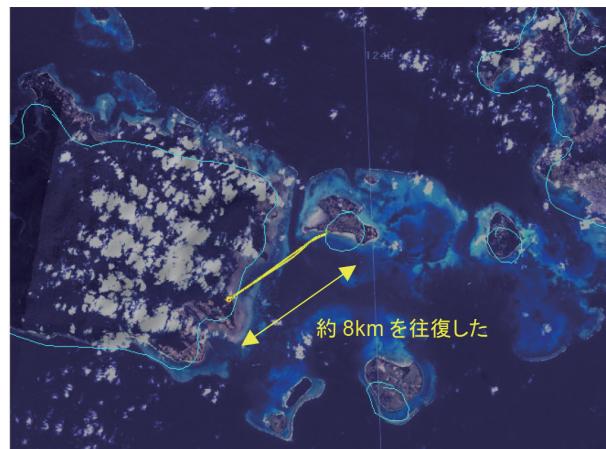


図6 離島間飛行の軌跡

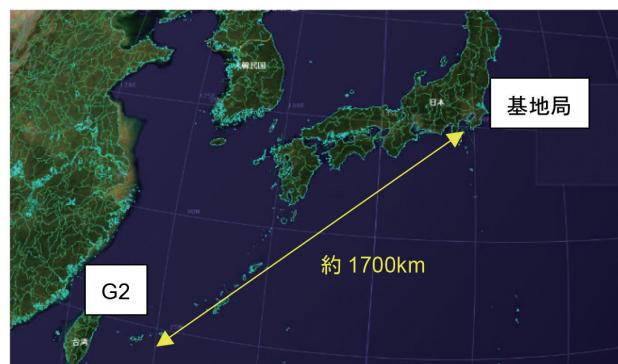


図7 1700km離れた遠隔操縦

2017年初めには、民間団体主催の実証試験に参加した。この実験は、将来の運用用途を想定し、発電機（ヤマハモーターパワープロダクツ社製 EF900iS、約15kg）をG2に搭載し、インフラが断絶した災害地などへ電気を速やかに届けることが可能であるかを検証するための試験飛行である。操作する基地局は当社東京事務所に置き、G2を飛行させる場所は福島県浪江町（現在、無人航空機実証試験の特区として利用されている地域。）とした。遠隔地から自動航行による飛行を行うのはもちろん、飛行している状態（位置、速度などの飛行情報）とG2に搭載したカメラの映像を基地局以外の第三の場所に転送するなどし、将来あり得る運用に近い形で試験を行った。

実証試験時は、風速10m以上の強風であったが、G2のすぐれた対風速性能を生かし終始安定した飛行が行えた（図8）。一般的に映像を送信しながらリアルタイムに操縦可能とする衛星通信機器は、合計10kg近い装備になる。そのため、衛星通信による遠距離自動飛行は、通信機を搭載してもなお十分なペイロード能力、対風速性能を有するG2のような高ペイロード UAV（Unmanned aerial vehicle）のみが利用可能な技術である（図9）。



図8 強風下、実証テストのため待機中のG2



図9 衛星通信機を搭載した場合のペイロード比較

G2 が現地に着陸した後は、搭載した衛星通信機はそのまま衛星電話・FAX・インターネット環境として使用可能で、災害時の連絡手段確保にも利用できる。G2 は、衛星通信によりインターネットにつながったことで、広大な活動範囲と可能性を手に入れた（図 10）。

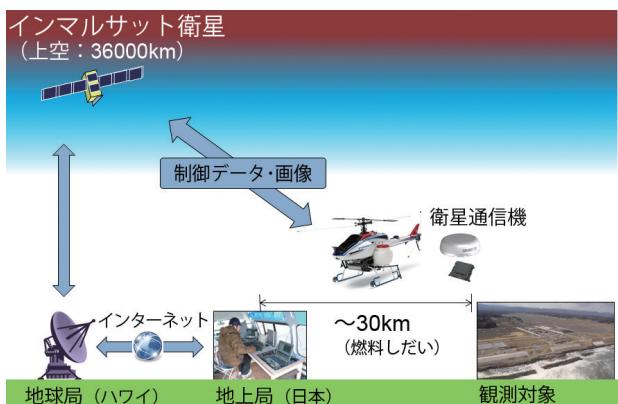


図10 衛星通信の仕組み

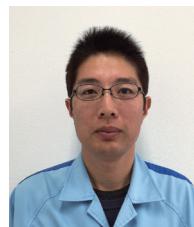
6 おわりに

G2 に衛星通信機を搭載したことにより、従来方式である直接通信による運用の制限を取り払い、格段に飛行範囲を広げ、G2 のポテンシャルを飛躍的に向上させることが可能になった。この G2 が、火山噴火、地震、洪水等の甚大な災害が起きた時に、情報収集、機材運搬、連絡手段確保などで利用され、社会の役に立てればと思う。今後、さらに活躍の場を広げられるよう、継続的に飛行能力向上のための開発に取り組んでいきたい。

■参考文献

- [1] 技報 No.52 製品紹介 大容量 32L の薬剤搭載を実現した産業用無人ヘリコプター FAZER R
- [2] 技報 No.46 技術紹介 産業用無人ヘリコプターによる計測技術の紹介

■著者



森本 琢也

Takuya Morimoto
ピーカル&ソリューション事業本部
UMS事業推進部
開発部

PAS用磁歪式トルクセンサのめっきシャフト 量産技術開発

Development of Mass-Production Shaft Plating Technology
for Magneto-Striction PAS Torque Sensors

小林秀之 鈴木康祐 鈴木康秀 萩原拓也 小柳津撰太 神谷格
堀内慎高 井口大輔 新村英梨



PAS CITY-C (2017年モデル)

Abstract

Yamaha Motor launched the world's first electrically power assisted bicycle (PAS) in 1993. Since then, the PAS riding experience has become increasingly refined thanks to greater battery performance and the drive units becoming more compact and lightweight.

The core of the PAS system is the drive unit, which is made up of the motor, controller, and torque sensor. The torque sensors used in early electrically power assisted bicycles used a planetary gear mechanism installed on the same axle as the crank to detect the rider's pedaling effort. However, an issue with this method was pointed out - that the pedaling effort required increased due to transmission loss. Since 2003, magneto-striction type torque sensors have been used, which eliminate mechanical loss through direct detection of pedaling effort by a sensor installed on top of the crank axle^[1].

This report introduces how - aiming for further cost reductions in magneto-striction torque sensors - Yamaha Motor succeeded in mass production of torque sensors featuring a high-sensitivity magneto-striction membrane created with alloy plating.

1 はじめに

電動アシスト自転車 PAS は、1993 年にヤマハ発動機から世界で初めて販売された。その後、ドライブユニットの小型軽量化やバッテリ性能の向上に加え、乗り心地の熟成が重ねられてきた。

その心臓部であるドライブユニットは、モータ、コントローラ、トルクセンサから構成されている。初期の電動アシスト自転車に搭載されたトルクセンサは、クランク軸と同軸上に設置された遊星歯車機構を用いて踏力を検出していた。しかしこの方法では、伝達ロスによりペダル踏力が増加するという点が課題として指摘されていた。そこで 2003 年より、

クランク軸上に備わったセンサでペダル踏力を直接検知することにより、機械的なロスのない「磁歪式トルクセンサ」が採用されている^[1]。

本稿では、「磁歪式トルクセンサ」のさらなるコストダウンを目指して、合金めっきにより高感度な磁歪膜を付与したトルクセンサの量産化に成功したので、その概要について紹介する。

2 開発の狙い

「磁歪式トルクセンサ」は、磁歪効果を持つシャフト、検出用コイル、検出された電気信号を增幅してデジタル信号

化する制御基板で構成される（図 1）。従来品は、シャフトの磁歪効果による透磁率の変化が微小であった。そのため、それを検出するコイルが高価となっていた。そこで、検出用コイルのコストダウンを狙い、電気めっき工法を利用してシャフトに磁歪膜を成膜した高感度なシャフトの量産化を目指した。

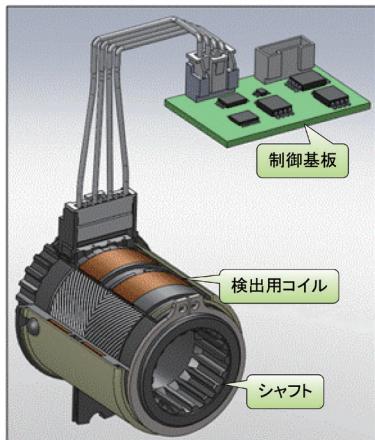


図1 磁歪式トルクセンサ構造

3 高感度化への取り組み

電気めっき工法を利用した磁歪膜の成膜において、高感度および高品質を実現するためには、合金めっきの成分比率を高精度にコントロールする必要がある。コントロールするパラメータを絞り込むために、特性要因図を作成し要因の抽出を行い、それぞれに対する影響度の検証を行った。

3-1. めっき条件のコントロール

絞り込んだパラメータに対する影響度を検証した結果、それらを高精度に管理できる設備開発が必要であることがわかった。めっき処理時に、パラメータを高精度にコントロールするには、めっき処理条件のリアルタイム監視とめっき液状態の見える化、およびそれに基づく薬剤の自動補給システムが必要となる。これらの設備は、ヤマハ発動機の生産技術部門およびヤマハモーターエンジニアリング(株)と共同開発した（図 2）。

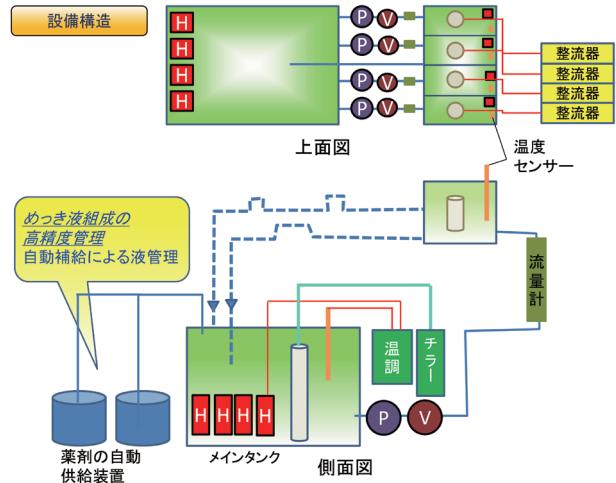


図2 めっき設備構造

3-2. めっき成分比率の測定精度向上

合金めっきの成分比率の管理においては、測定に蛍光 X 線分析装置を用いる方法を採用した。しかし、X 線のビーム径が測定部位のめっき面積に対してほぼ同じサイズであるため、めっき境界の成分濃度不均一部を測定してしまい測定精度が悪かった。そこで、めっきパターンを変更し、測定用のランドを付加し、その部位を測定することで測定精度を向上させる対策を行った（図 3）。

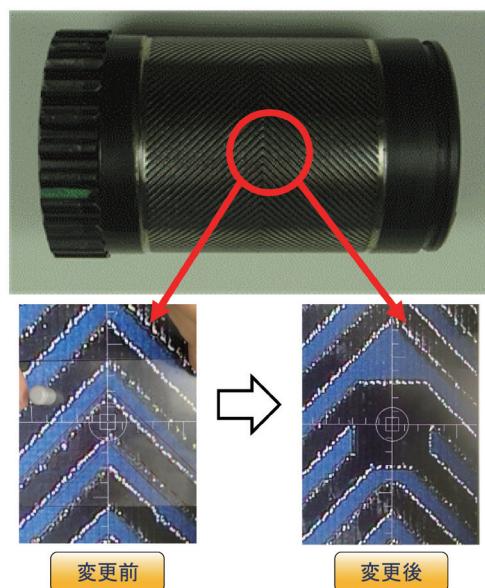


図3 合金めっき成分比率測定部位

3-3. 製造データの一元管理

高品質・低コスト化への取り組みとして、部品に関するデータ、製造条件に関するデータ、検査データ等を自動収集するシステムを構築し、各種データを一元管理、解析する仕組みを導入した（図4）。これにより、従来は紙管理であった帳票類や閾値判定しかしていなかったデータを数値でモニタリングすることが可能となった。さらに、このシステムを活用し、ラインに設置したモニタで、製造中の条件データを見える化した。これによる傾向管理を、製造中の製品や設備に関する不具合の未然防止や改善につなげている。また、製造不良等の発生時には、関連データを迅速かつ詳細に分析できるようになっている。

今後は、集まったデータから製品品質に対する影響を解析することで、コントロールするパラメータの最適化によるさらなる高品質・低コスト化を目指していく。

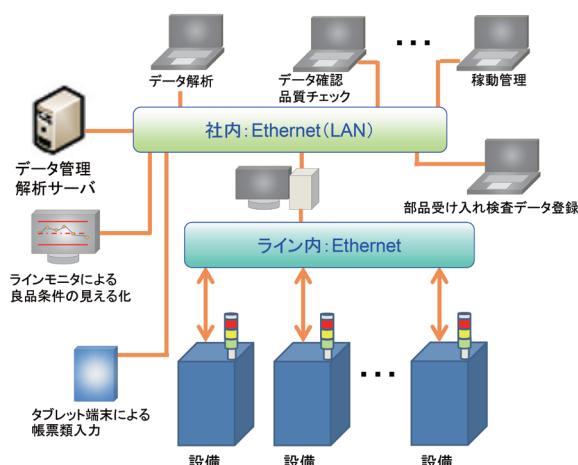


図4 構築したデータシステム

4 量産設備について

4-1. 自動搬送を用いた高品質・省力化ライン

人による作業では、落下・汚れ等の不良を発生させる可能性がある。また、めっき工程は化学物質を取り扱うため、暴露対策が重要である。そこで、作業の安全性向上、手扱いを減らした品質の均一化、省力化を目的として、「めっき前シャフトの洗浄」、「めっきパターン形成」、「パターンの検査」を自動搬送により連結した。さらに、自動めっき設備においても、「水洗」、「前処理」、「めっき処理」の各工程を自動で搬送・処理する設備を開発した。

4-2. セル型設備

自動めっき設備は、「水洗」、「前処理」、「めっき処理」、「各工程間の搬送機構」、「めっき液ストックタンク」を一つの設備に集約したセル型設備とした。このセル型設備の利点は、1セルごとの製造履歴管理と、個別の条件設定が可能なことによる条件の最適化等ができることがある。また、1セルごとで設備設置ができるため、他設備を停止させることなく、フレキシブルに能力増強等が可能となる（図5）。

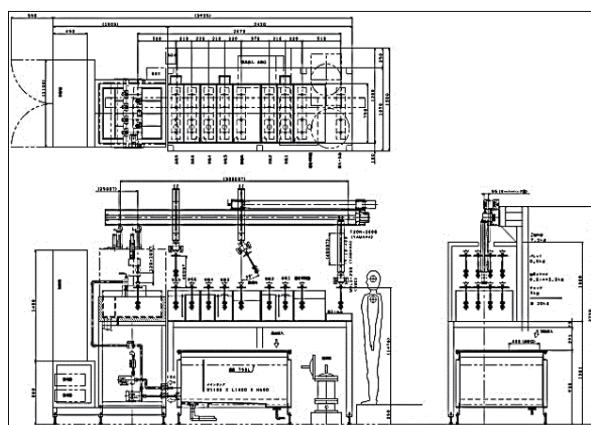


図5 セル型自動めっき設備

5 おわりに

今回、量産化に成功した磁歪膜の成膜技術により、高精度なシャフトが得られ、トルクセンサの製造コストの低減を図ることができた。しかし、量産安定化への挑戦はまだ始まったばかりである。今後も継続的な作り込みを通して、顧客満足度の高い製品開発にチャレンジしていく。

最後に、ヤマハモーター電子において、初めてとなる電気めっき工程の立ち上げに多大な協力をいただいた社内外の多くの関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

■参考文献

- [1] 松井太憲ら：PAS用「トルクセンサ」の開発（ヤマハ発動機技報 No.49 2013）

■著者

**小林 秀之 (下段右から3番目)**Hideyuki Kobayashi

ヤマハモーター

エレクトロニクス株式会社

開発統括部

鈴木 康祐 (下段右から2番目)Kousuke Suzuki

ヤマハモーター

エレクトロニクス株式会社

品質統括部

鈴木 康秀 (上段左から2番目)Yasuhide Suzuki

ヤマハモーター

エレクトロニクス株式会社

製造部

萩原 拓也 (上段左から1番目)Takuya Hagiwara

ヤマハモーター

エレクトロニクス株式会社

製造部

小柳津 燐太 (下段右から1番目)Shota Oyaizu

ヤマハモーター

エレクトロニクス株式会社

製造部

神谷 格 (下段左から1番目)Itaru Kamiya

ヤマハモーター

エレクトロニクス株式会社

開発統括部

堀内 慎高 (下段左から2番目)Noritaka Horiuchi

ヤマハモーター

エレクトロニクス株式会社

開発統括部

井口 大輔 (上段右から1番目)Daisuke Iguchi

ヤマハモーター

エレクトロニクス株式会社

開発統括部

新村 英梨 (上段右から2番目)Eri Shimamura

ヤマハモーター

エレクトロニクス株式会社

開発統括部

Abstract

Yamaha Motor has developed a new power tuner to be standard equipment on the 2018 model YZ450F. This system aims to tune engine characteristics for off-road competition, through fine mapping to suit variables such as rider preferences, course characteristics, the weather, and surface conditions. The development project additionally aimed to make operation easy through a smartphone interface. The target users are those who participate in off-road riding events and amateur racing.

Issues faced during development were as follows.

The first was the restricted locations where the communication unit (CCU: Communication Control Unit) could be mounted on the motorcycle. As well as of course meeting mounting requirements in terms of dimensions and weight, the CCU to be mounted had to clear environmental resistance conditions equivalent to the ECU (Electronic Control Unit). The next issue was easy to use functionality to take advantage of the smartphone format, as well as design and operation to suit racing environments. Development of the new power tuner aimed to overcome these issues.

1 はじめに

2018年型YZ450Fに標準装備される新パワーチューナーを開発した。当システムのねらいは、オフロード競技におけるエンジン特性をチューニングすることにあり、ライダーの好み、コース特性、天候や路面コンディションに合わせたきめ細かなマッピングを行う。これらをスマートフォンで簡単に操作できることを目指した。なお、ターゲットは、オフロード競技会やアマチュアレースに参加するユーザーである。

開発における課題を以下に示す。

まず、通信ユニット (CCU: Communication Control Unit) の車両への取り付け箇所の制約である。搭載するCCUは、車両側での要求に沿った寸法、重量を満たすことはもちろんのこと、ECU (Electronic Control Unit) 相当の耐環境性を備えるという条件をクリアする必要があった。次に、スマートフォンを活かした使い勝手の良い機能と、レースシーンに見合ったデザイン、操作感が挙げられる。これらの課題に対応するべく、新パワーチューナー開発を進めた。

2 システム構成

本システムでは、車両のECUと通信するCCUをリアフェンダー内の専用スペースに搭載する。ユーザーはスマートフォンのアプリ「POWER TUNER」にて操作を行う。アプリとCCUは無線LAN通信を行う(図1)。

3 開発のポイント

3-1. CCU

3-1-1. 機能

CCU(図2)は以下の機能を有し、車両とスマートフォン間の通信を行う。

- ・マップリモートセッティング
- ・車両情報モニター
- ・無線LAN親機(IEEE 802.11b/g/n)



図1 システム概要



図2 CCU外観

3-1-2. 車載環境における信頼性、小型化

今回開発するCCUは、従来のオンロードサーキット向けデータロギングCCUをベースに開発した。従来のユニットに対して、GNSS (Global Navigation Satellite System) や補助記録装置が必要ないため、回路規模は小さくできる。

CCUのブロック図を以下に示す(図3)。

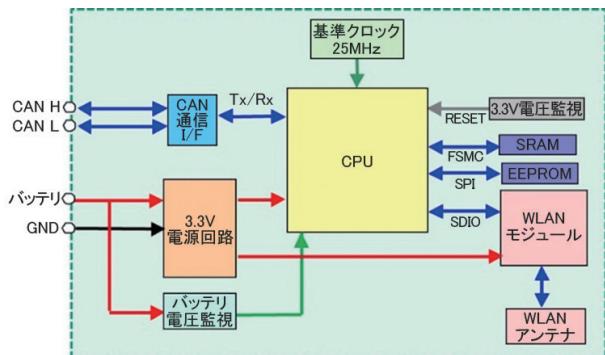


図3 CCUブロック図

さらにユニット全体として小型化を行うため、ケース構造を刷新することとしたが、それには次の背景がある。

- ・従来のユニットでは、物理的接点を有する電子部品を搭載していたため、接触不良を懸念し、ECU等で見られる樹脂注型を行わず、ケース構造やパッキン等による防水性、シリコンゴム等の部品を設計して耐振動性を実現していた。ただし、この方法だと部品点数も増え、サイズも大きくなってしまう。
- ・今回のユニットでは、物理的接点を有する電子部品が必要ないことから、樹脂注型の検討が可能である。それにより、ECU等で見られるウレタンでの樹脂注型を検討した。

ただし、樹脂注型には次の懸念があった。

- ・電子基板は欧州認証取得のため、鉛フリー半田を用いる必要がある。
- ・無線LANモジュールのシールド部品や、小型化の施策としてのBGA(Ball Grid Array)といった特殊な形状の電子部品を使用している。これら鉛フリー半田や特殊な電子部品を用いた基板における樹脂注型の開発実績はなかったため、熱応力や振動での信頼性基準を満たすことができるのか懸念があった。

そこで樹脂メーカーにも協力いただき、特性の異なる3種類のウレタン樹脂を選定し、試作ユニットを製作、評価することとした。それぞれの樹脂の硬度の温度依存特性を次に示す(図4)。

これら3種類の樹脂で各種信頼性試験を実施した。また、X線解析や断面カットを行い、ユニットの内部状態を観察した。それぞれの樹脂による内部状態を次に示す(図5、6、7)。

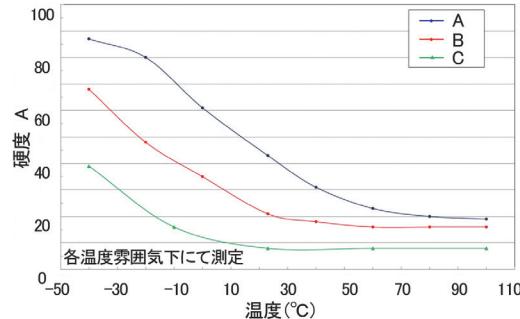
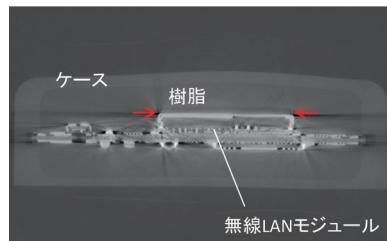
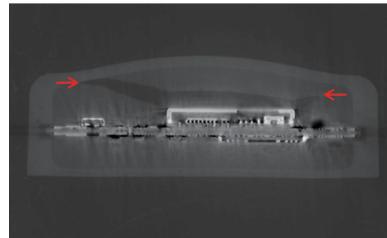
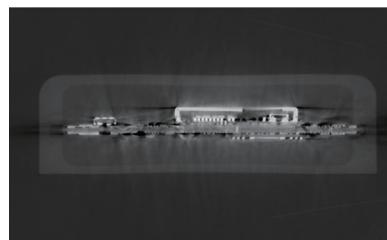


図4 樹脂硬度の温度依存特性比較

図5 樹脂A 無線LANモジュール部 X線写真
(赤矢印部にクラック発生)図6 樹脂B 無線LANモジュール部 X線写真
(赤矢印部にクラック発生)図7 樹脂C 無線LANモジュール部 X線写真
(クラックなし)

3種類の樹脂のうち、硬度の高い樹脂A、樹脂Bを用いたユニットは冷熱衝撃試験にてケースが変形した。硬度が最も低い樹脂Cを用いたユニットは異常がなかった。なお冷熱衝撃試験以外の温度試験、振動試験では3種類とも信頼性基準を満たすことができた。

これらの結果、樹脂Cを採用することとし、部品点数の削減とともに、ユニットを大幅に小型化することができた。

3-2. ユーザーインターフェース

スマートフォンを対象とし、iOS と Android の OS で動作する POWER TUNER アプリを開発した（図 8）。当アプリは以下の主機能を有する。

- マッピング

燃料噴射量(FI)マップと点火時期(IG)マップを調整する。任意のエンジン回転数とスロットル開度での調整が可能である。3D グラフィックにより、分かりやすく、かつ、楽しめるものとした（図 9）。また、スマートフォンの共有サービスと連携し、ユーザー間でデータ共有ができる。

- レースログ

レースまたは練習走行などの天候や路面状況ほかセットアップの記録を行う。

- モニター

各種車両情報をモニター表示する（図 10）。

- メンテナンス

車両のメンテナンス状況を管理する。



図8 アプリのアイコン

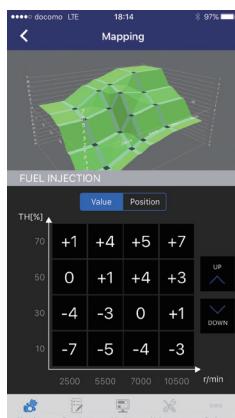


図9 マッピング画面

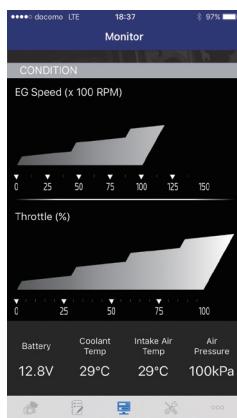


図10 モニター画面

これら機能の使い勝手や楽しさの向上はもちろんのこと、デザイン部門と協力してレースシーンに見合った画面デザインとした。

3-3. スマートフォンアプリ状態による車両側の電源遮断

エンジン停止時にマップを送信する際、ECU および CCU は起動している必要があるが、長時間の操作によりバッテリ

消費の懸念がある。そのために次の仕様がある。

- エンジン停止時に ECU 起動状態が一定時間 n を経過した場合、ECU および CCU が自動で終了する（図 11）。
- マップを送信すると、その時点から再度 n 経過を監視する（図 12）。

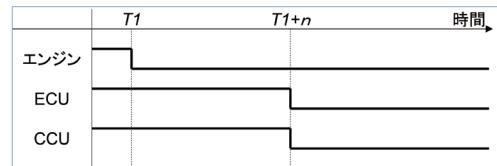


図11 ECU/CCU自動終了

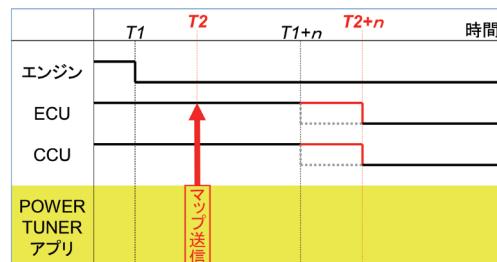


図12 マップ送信

一方で、エンジン停止時にモニター機能を使用する際、エンジン停止後に n 経過すると、ECU および CCU が自動で終了するため、モニター機能が停止してしまうことが考えられる（図 13）。そのため、モニター機能使用中は、アプリ側から ACTIVE 信号を出すことで、その時点から再度 n 経過を監視することとした（図 14）。しかし、スマートフォンの性質上、モニター機能を使用したまま放置されるような場合、ECU および CCU の自動終了のタイミングが延長され続け、バッテリ消費の懸念がある。放置とは次のようなケースが考えられる。

- 他のアプリを起動することでPOWER TUNERアプリがバックグラウンドへ移動
- 電話の着信によりPOWER TUNERアプリがバックグラウンドへ移動
- スマートフォンを一定時間操作しないことによるスリープ状態

このようなケースに対処するため、モニター機能使用中、アプリは自らのアクティブ状態を監視し、非アクティブ状態となった場合は、前出の ACTIVE 信号を停止させることとした（図 15）。

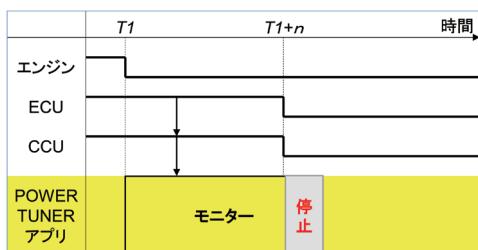


図13 モニター機能停止

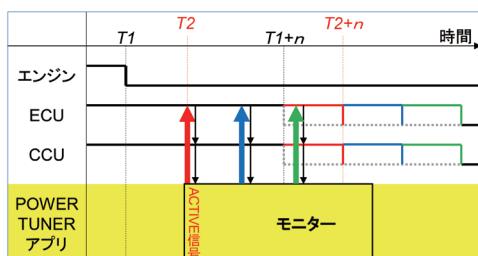


図14 ACTIVE信号出力

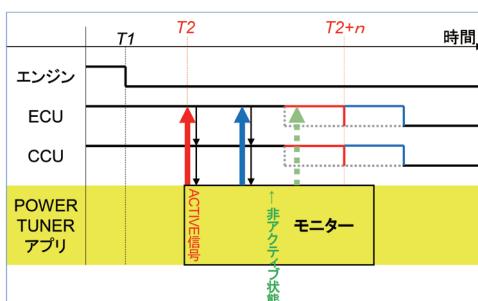


図15 ACTIVE信号停止

これによりモニター機能を使用したまま放置されるような場合、n 経過後には ECU および CCU は自動終了することとなる。

3-4. マッピングの3D描画

エンジン特性のマッピングとは、燃料噴射量 (FI) マップと点火時期 (IG) マップを 4×4 のマトリクスにて調整する機能である。POWER TUNER アプリではさらに、エンジン回転数とスロットル開度の調整ポイントを指定できるようになっている（図 16）。

従来よりも細かな調整が可能となっているが、数値表示のみでは分かり難い懸念がある。そのため、マッピングを 3D グラフィック化した。これにより、設定変更時の変化度合いや、各設定値の補間などが表現され、調整時にイメージしやすくなった（図 17）。また、回転操作や拡縮操作にも対応し、視覚的にも楽しめるものとした。



図16 調整ポイントを指定



図17 3D描画

3-4-1. グラフ化

4×4 (X 軸: エンジン回転数、Y 軸: スロットル開度) のマップに補間部を追加した 9×9 のセルに、Z 軸: 設定値として描画する。なお、補間部を表現するため、各セルは 12 頂点 (4 つの 3 角形) で構成する（図 18）。

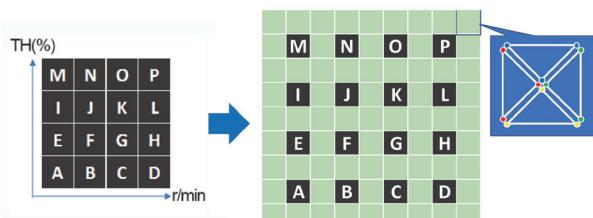


図18 グラフ化

また、補間値は隣接する設定値と以下の関係となる。

(例) セル “E” を編集した場合（図 19）

- ① $(E + F + A + B) / 4$
- ② $(E + A) / 2$
- ③ $(E + F) / 2$
- ④ $(F + B) / 2$
- ⑤ $(A + B) / 2$

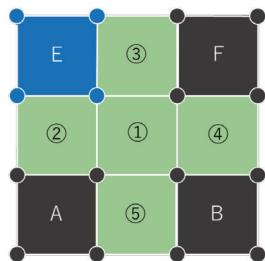


図19 補間値

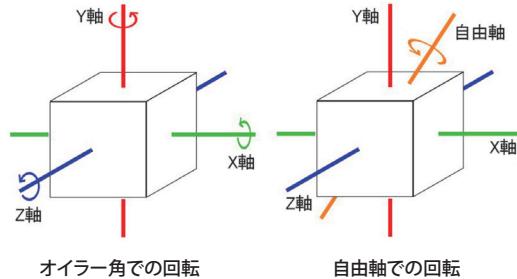


図20 固定軸／自由軸での回転

3-4-2. 回転操作

スマートフォンアプリでは目的を達成する際に、操作の親近性が高く、直感的に操作を行えることが求められる。

よって、回転操作においても、現実世界における指でものを移動する速度や方向と同様に、コンテンツが指に吸い付くように回転するインターフェースとした。上記インターフェースでは、回転角度をフリック操作時の移動量、回転方向を引っ張った方向で表現するが、オイラー角を用いて回転を行った場合、X,Y,Z各固定軸での回転しか表現できず、フリックした方向とは異なる方向に回転してしまい違和感が生じる。よって、フリック時の方向、移動量から、クオータニオン行列、および回転行列を算出し、フリック時の方向に対し垂直な回転軸を中心としたグラフの自由軸回転を行えるようにした（図20）。これにより、ユーザーは直感的な操作で意図した方向へグラフを回転することが可能となる。

フリック時のX軸、Y軸方向の操作量をそれぞれdx, dyとしたときの計算を以下に示す。

$$\begin{aligned}
 \text{操作量 length} &= \sqrt{dx^2 + dy^2} \\
 \text{ラジアン rad} &= length \times \pi \\
 \text{シータ } \theta &= \sin(rad) \\
 \text{クオータニオン行列 } q &= \begin{bmatrix} \cos(rad) \\ -dy \times \theta \\ dx \times \theta \\ 0.0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix} \text{としたとき} \\
 \text{クオータニオン積 } q \cdot q' &= \begin{bmatrix} w \times w' - x \times x' - y \times y' - z \times z' \\ w \times x' + x \times w' + y \times z' - z \times y' \\ w \times y' - x \times z' + y \times w' - z \times x' \\ w \times z' - x \times y' - y \times x' - z \times w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w' \\ x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \\
 \text{回転行列 Matrix} &= \begin{bmatrix} 1.0 - 2Y^2 - 2Z^2 & 2XY + 2ZW & 2ZX - 2YW & 0.0 \\ 2XY - 2ZW & 1.0 - 2Z^2 - 2X^2 & 2YZ + 2XW & 0.0 \\ 2ZX + 2YW & 2YZ - 2XW & 1.0 - 2X^2 - 2Y^2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

4

おわりに

今回開発した新パワーチューナーは、すでに世界各国のユーザーに使用されている。従来のオンラインサービス向けシステムに続き、オフラインモデルに対しても車両との繋がりや一体感を楽しめるシステムを具現化することができた。

今後もさらなる技術習得と活用を行い、ユーザー同士、ユーザーとヤマハのコミュニケーションを促進するツールを提供していきたい。これらの開発を通してヤマハファンがさらに増える一助となれば幸いである。

■著者



池谷 昌彦

Masahiko Ikeya

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

制御開発部



設楽 尚希

Naoki Shidara

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

制御開発部



伊熊 佳幸

Yoshiyuki Ikuma

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

制御開発部



太田 博康

Hiroyasu Oota

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

制御開発部

悪路走行における二輪車フレームの疲労寿命予測技術

Fatigue Life Prediction of Welds in Motorcycle Frames on a Rough Road

坂本 和信

Abstract

Product life cycles are shortening hand-in-hand with diversification and individualization of customer needs. To respond to these changes, we are working to expand our product lineup and shorten development lead times. In addition to this, two aspects we have focused on to date - reducing weight and vibrations - remain indispensable development requirements for creating attractive products. However, amongst these wide-ranging targets for motorcycle development, the customer safety elements of durability and reliability must always be our highest priority. The platform development that we have been implementing in recent years introduces yet another requirement from the perspective of global roll-out - the need to factor in diverse usage environments.

In the pursuit of vehicle durability, we have worked to streamline testing through evaluation of individual parts and bench testing that replicates the actual running test, as well as reduce the number of prototypes and evaluation tests through design verification using CAE. However, the current development strategy demands that we not only streamline but also identify issues upstream, clarify the tradeoffs, and come up with the optimum solution in a short period of time. In response to this we have developed the fatigue analysis process detailed in this report to enable design-stage verification of welds for frame durability.

1 はじめに

お客様のニーズが多様化・個性化するのにともない、商品ライフサイクルの短期化が進んでいる。この変化に対応するため、当社では商品ラインアップの拡充と開発リードタイムの短縮を進めている。加えて、従来から重点的に取り組まれてきた軽量化・低振動化も依然として商品魅力の創出に不可欠な開発要素である。このような多岐にわたる二輪車の開発目標においても、耐久性・信頼性はお客様の安全に関わる最優先事項である。さらに、近年当社が進めているプラットフォーム開発では、グローバル展開を視野に、世界各国の路面状態といった多様な使用環境を想定しておく必要がある。

車体耐久性の開発では、これまでにも単品部品での評価や実走行状態の台上再現による試験効率の向上、そしてCAEを用いた設計検証による試作数、評価試験数の削減を進めてきた。しかし、昨今の開発環境下では効率向上に加えて、課題を上流で洗い出し、背反を明らかにした上で最適解を短時間で得ることが求められている。そこで本稿では、試作評価の繰返しによる造り込みが行われてきたフレーム溶接部の耐久性について、机上検証を可能にする疲労解析技術を開発したので報告する。

2 疲労解析技術開発の背景

2-1. 疲労き裂発生原因と従来の評価手法

当社の主力商品であるアセアン向けモデルや一部のスポーツモデルには鋼管を主体としたスチール製のフレームが採用されている。スチールフレームは様々な板厚、形状の部材をアーク溶接で組み合わせることで必要十分な剛性を確保している。そのため、総溶接長が10m以上に及ぶモデルもある。図1に代表例を示す。図中の赤い箇所は溶接部である。

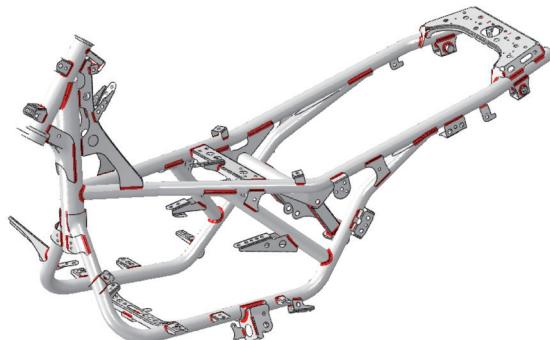


図1 スチールフレーム例

フレームは乗員、積荷、そして走行路面の影響を受けて刻々と変化する負荷に晒されている。金属材料はそのような繰返しの負荷を受けると疲労を起こし、き裂を生じる。スチールフレームでは、溶接によって形成されるビードの余盛と

母材表面の境界（止端）にき裂を生じやすい。これは、止端に生じる応力集中と溶接熱履歴による材料強度の低下が主要因である。しかし、溶接熱履歴による材料強度低下を避けることは一般的に困難である。そのため、対策には応力集中の緩和が施される。応力集中の原因は部材が組み合わされることによる構造不連続と溶接ビードによる形状不連続に大別されるが、溶接ビード形状による対策は製造コストの増加を招くとともに確実な効果を見出すための試行錯誤が必要となる。そのため多くの場合、継手部での剛性変化を小さくし、構造不連続による応力集中を緩和する対策手法が用いられる。その対策指標のひとつが止端部での応力を溶接部近傍の応力分布の外挿から求めるホットスポット応力である（図2）^[1]。この方法は連続的な測定点が不要なため、ひずみゲージを用いた計測、または比較的メッシュサイズの粗いFEM（有限要素解析）で実施可能であり、簡便な評価手法として利用してきた。

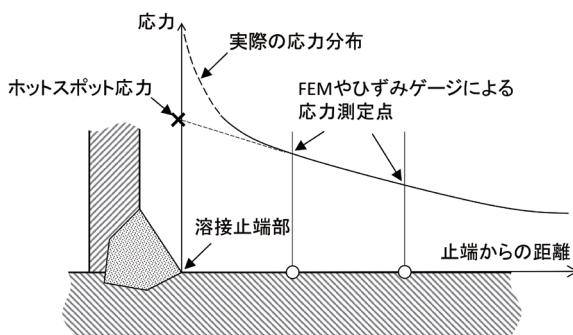


図2 ホットスポット応力の定義

2-2. ホットスポット応力法の課題

ホットスポット応力法は広く実用されている手法であるものの、二輪車の溶接継手への適用に対してはいくつかの課題があった。

図3に形式の異なる継手を用いた疲労試験結果を示す。継手Aと継手Bは同様の傾向を示しているが、継手Cと継手Dの疲労強度線図は下方に位置している。このようにホットスポット応力を用いたとしても、過不足の無い疲労設計を行うためには溶接継手の形式や板厚、負荷形態によって評価基準を使い分ける必要がある。しかし、そのような複雑さを伴う評価基準は判断ミスを招く恐れがある。さらに、二輪車ではスペースの制約上、図4に示すような複数の補強部材が近接した溶接部が多数存在する。そのような箇所ではホットスポット応力の精度不足が懸念され、耐久試験での確認評価に頼らざるを得ない原因となっていた。

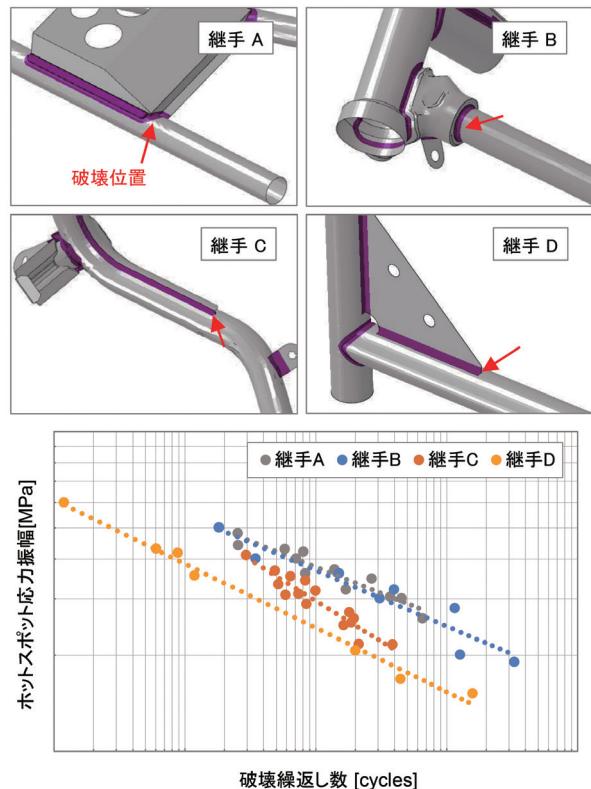


図3 ホットスポット応力と破壊繰返し数の関係



図4 溶接継手例

3 新しい解析手法

3-1. 疲労き裂の成長挙動

上述の課題に対して、溶接継手を対象とした新たな疲労解析手法が近年提案されている^[2]。

図5は、き裂発生箇所近傍における疲労試験中のひずみ振幅の履歴である。試験開始後、ひずみ振幅は徐々に減少し、ある領域を境に急速に低下する。図6は、ひずみ振幅が初期値から20%および80%低下した時点で疲労試験を終了し、き裂を観察した結果である。このように、き裂を生じる

と即座に構造としての機能を失うわけではなく、き裂は長い期間をかけて少しづつ成長し、最終段階で急速破壊に至る。

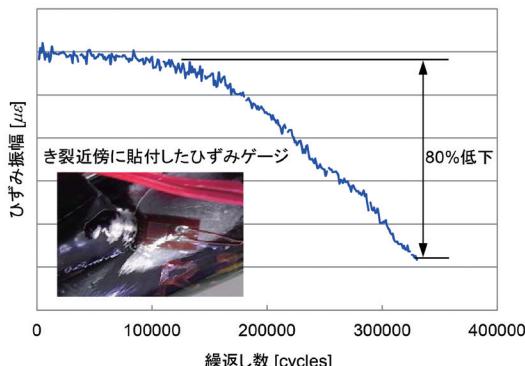


図5 疲労試験中のひずみ振幅履歴

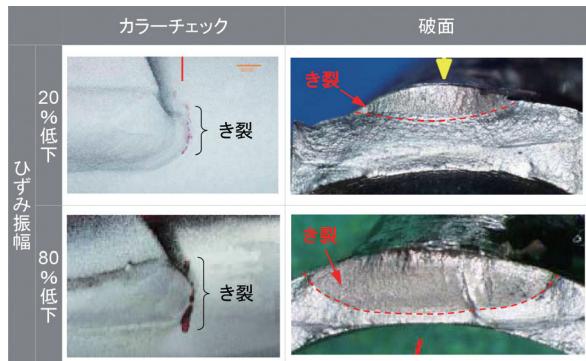


図6 き裂の観察結果

3-2. マスターS-N線図アプローチ

そこで、き裂の成長速度に強く影響する止端部の応力場および板厚によって、式(1)を用いて応力値を補正する。

$$\Delta S_s = \frac{\Delta \sigma_s}{t^{\frac{2-m}{2m}} \cdot I(r)^{\frac{1}{m}}} \quad (1)$$

ここで、 σ_s は溶接ビードによる局部的な応力集中を含まない構造応力、 t は板厚、 $I(r)$ と m はき裂成長速度の影響を補正する係数である。そして、それらから求まる S_s を等価構造応力と呼ぶ。本手法における構造応力は、FEM にて溶接止端部断面の分布荷重から膜応力と曲げ応力を分離して求めることで、止端部の応力を直接算出する。そのため、複雑な溶接継手に対しても精度の良い評価が期待できる。

図7は前述の4種類の異なる溶接継手に対して本手法を適用した結果である。疲労試験結果は狭い帯状に分布し、1つのマスターS-N線図を得ることができた。これにより、多種多様な溶接継手に対して評価基準を分けることなく、簡便な評価が可能になる。

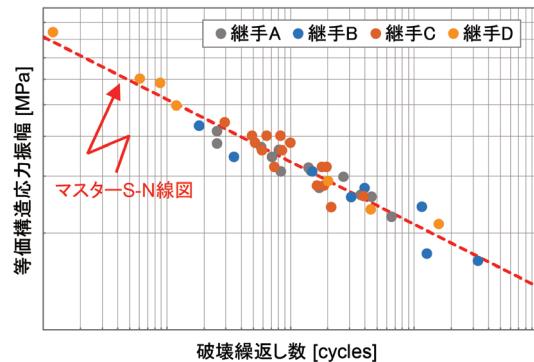


図7 等価構造応力と破壊繰返し数の関係

4 フレームへの適用

4-1. 実働荷重下における疲労解析

悪路走行時のフレームでは不規則で複雑な応力波形が観測される。そのような実働荷重下での耐久性予測では、応力頻度の読み取りと蓄積されていく疲労損傷を適切に処理する必要がある。ここではレインフロー法とマスターS-N線図に基づく線形累積損傷則を用いて疲労被害度の算出を行った。一連の疲労解析プロセスを図8に示す。

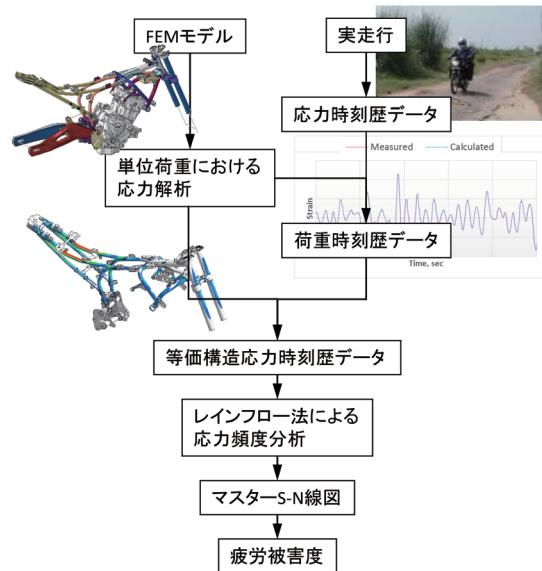


図8 疲労解析プロセス

4-2. 疲労解析結果

3D 設計データから作成した FEM モデル、悪路走行データから算出した荷重波形、そしてマスターS-N線図を用いて疲労被害度を算出し、耐久試験の結果と比較を行った。結果を図9に示す。解析で疲労被害度が高い箇所は耐久試験でき裂が確認された位置と一致しており、本手法の妥当性を確認した。

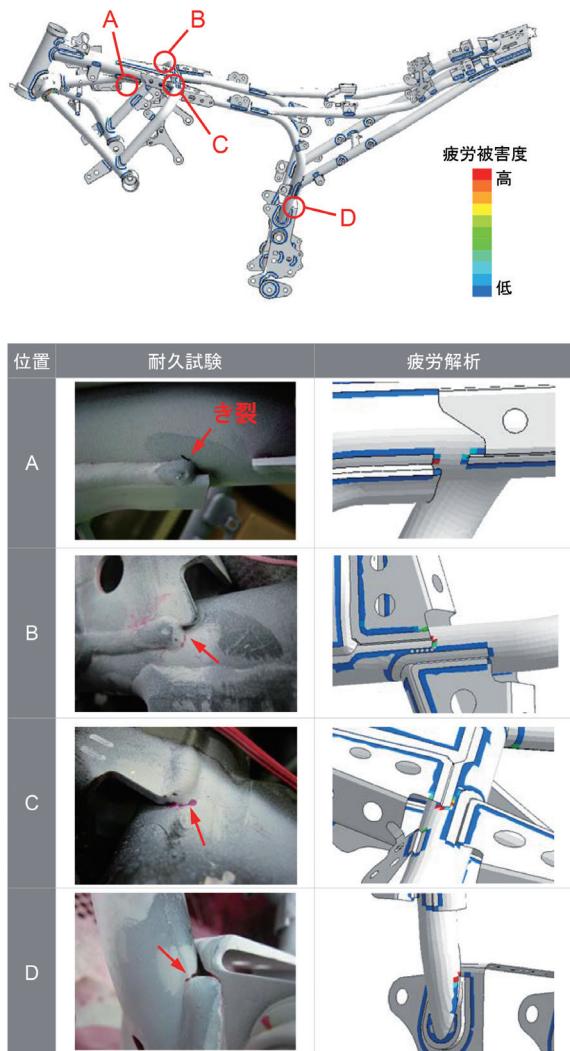


図9 疲労解析結果

4-3. 量産開発モデルへの適用

当初、本手法は従来の応力解析に比べ評価部の抽出やマッシュの修正など多くの解析準備作業が必要であった。そこで量産開発に適用するにあたり、バッチプロセスを開発し作業の効率化を進めた。その結果、従来の応力解析と同等の作業工数を達成し、量産新規部品への適用が開始されている。

適用例を図10に示す。耐久試験にて図10(a)の疲労被害度が高い部位からの破損を確認した。そこで複数の対策設計案に対して疲労解析による評価を実施した。結果として、再度の耐久試験を行う前に、製造性や周辺部品への影響を踏まえた上で、耐久目標値を上回る設計案の選定を行うことができた。

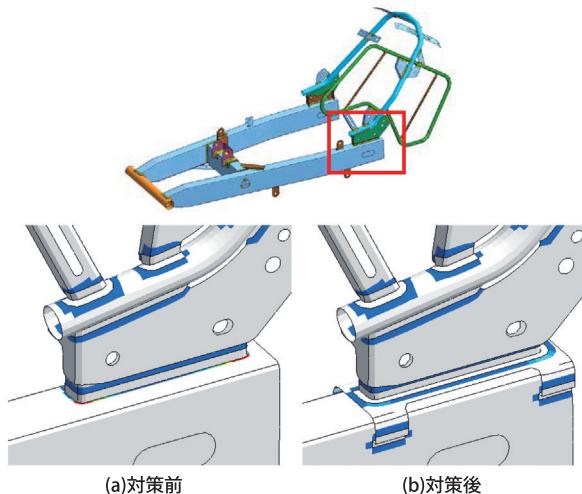


図10 疲労解析による設計検討例

5 おわりに

本稿では主に解析技術について述べたが、耐久性開発には、お客様の使用環境を正しく把握し、それを評価試験に反映する実験・計測技術、そしてデータとモノに乖離のない製造品質が欠かせない。近年、当社は二輪車に軽量材料・新構造を積極的に採用している。それらはこれまでに蓄積してきた技術の結実である。今後も、現象に向き合い、原理原則に基づいて、新しい価値創造に貢献していきたい。

■参考文献

- [1] 日本鋼構造協会編：鋼構造物の疲労設計指針・同解説、技報堂出版
- [2] Dong, P., Hong J.K., and De Jesus, Abilio M.P., Journal of Pressure Vessel Technology Vol 129, pp 355-362, August 2007.

■著者



坂本 和信
Kazunobu Sakamoto
PF車両ユニット
PF車両開発統括部
車両実験部

Abstract

Over the years, Yamaha Motor Co., Ltd. has developed various automated vehicles. Examples include a low-speed automated vehicle running along an electromagnetic guide line^[1], an automated vehicle relying on the high-precision RTK-GPS used in surveying and similar applications^[2], and an off-road automated vehicle functioning with a 3D LIDAR and three-dimensional maps^[3].

These technologies are currently serving as the building blocks for the development of a mobility service system that allows on-demand dispatching of multiple low-speed automated vehicles. Looking ahead, the goal is to make a low-speed automated vehicle-based service, covering resorts or a few square kilometers in the city center, available to the elderly, people traveling with children, people in wheelchairs, and other average users.

This paper presents an overview of the above mobility service system. More specifically, the Virtual Guide Line (VGL) system that performs automated driving based on identifying the vehicle position using the feature values of asphalt and other road surfaces, as well as the control server that performs intersection arbitration and on-demand dispatch of multiple low-speed automated vehicles, are described.

1 はじめに

ヤマハ発動機（以下、当社）ではこれまでに、さまざまな自動走行車両を開発してきた。例えば、電磁誘導線による低速自動走行車両^[1]や、測量などで用いられる高精度のRTK-GPSを用いた自動走行車両^[2]、3D-LIDARと3次元地図によるオフロード自動走行車両^[3]などである。

現在、これらの技術を応用し、複数の低速自動走行車両をオンデマンドで配車が可能な「移動サービスシステム」を開発している。将来的には、高齢者、子連れ、車いす利用者などを含む一般のユーザを対象とした、数キロ四方程度の広さの市街地やリゾートなどでの低速自動走行車両によるサービスの実現を目指している。

本技術紹介では、上記移動サービスシステムの概要について説明する。具体的には、アスファルトなどの路面の特徴量を用いた自車位置同定によって自動走行するVGL（Virtual Guide Line）を搭載した低速自動走行車両および複数台の低速自動走行車両の交差点調停やオンデマンド配車などを行う管制サーバについて説明する。

2 移動サービスシステム概要

移動サービスシステムの概要について説明する。

本システムは、複数の低速自動走行車両とそれらを集中制御する管制サーバとによって構成されている（図1）。

移動サービスは、スマートフォンの配車アプリから利用可

能である。このアプリからの配車要求が管制サーバに送信されることで、配車時間の通知と配車が行われる。ユーザは、自身のスマートフォンまたは配車された車両内部のタブレット端末のアプリに目的地を入力することで、自動走行車両による目的地までの移動が可能となる（図2）。

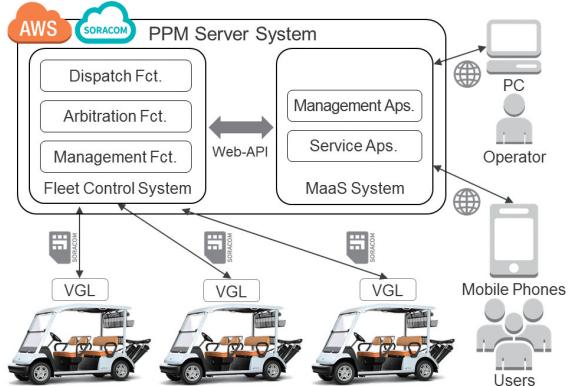


図1 移動サービスシステムの全体構成

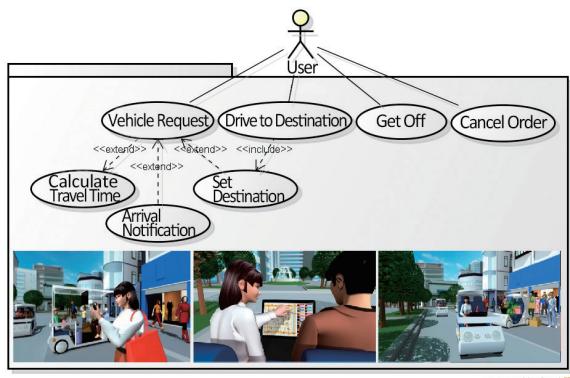


図2 移動サービスシステムのユースケース

3 VGLを搭載した自動走行車両

移動サービスシステムは複数台の自動走行車両によって構成される。自動走行制御には車両位置情報が重要であり、前述のように、電磁誘導線や、測量などで用いられる高精度な RTK-GPS (Real Time Kinematics -GPS)、レーザによつて周辺環境を 3 次元測量可能な 3D-LIDAR を用いた自車位置同定技術をこれまでに開発してきた。

本技術紹介では、SwRI(Southwest Research Institute)との共同研究で新たに開発した、アスファルトなどの路面の特徴量により自車位置同定を行う自動走行システムである、VGL (Virtual Guide Line)^[4] による低速自動走行車両を紹介する。この車両の外観を図 3 に示す。

VGL は、車両底部に設置されたカメラ（図 4）で撮影した路面画像を、事前に記録したマップデータベースの情報を照会（画像マッチング）することで、車両の位置姿勢情報を取得する自車位置同定機能を備えている。また、ナビゲーションシステムによって求められた目的地までの経路と自車位置情報に基づき、最高速度 20km/h で経路を追従走行する機能に加え、経路上に障害物を見つめた際に車両を減速または停止させる 3D-LIDAR による障害物認識機能も備えている。

3-1. VGL位置同定の原理

上記 VGL システムの特徴的な機能である、位置同定機能についてより詳細に説明する。



図3 VGL システム搭載、低速自動走行車両

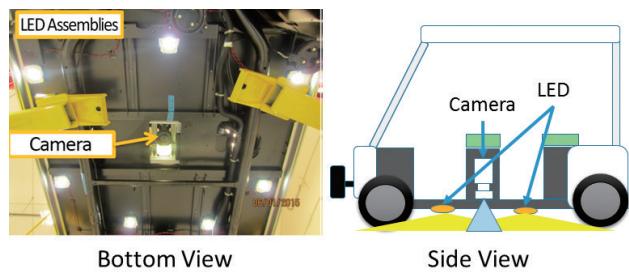


図4 車両底部のVGLカメラ&LED照明

図 5 に VGL システムのブロック図を示す。

本位置同定機能は、車両底面に取り付けられたカメラと、安定的に路面を撮影するための複数の LED 照明、RTK-GPS よりも性能は劣るが安価な DGPS (Differential GPS) と姿勢センサによって構成される DGPS-IMU、コントローラによって構成される。また、路面画像と位置情報を対応付けて記憶したマップデータベースを有している。VGL で自動走行

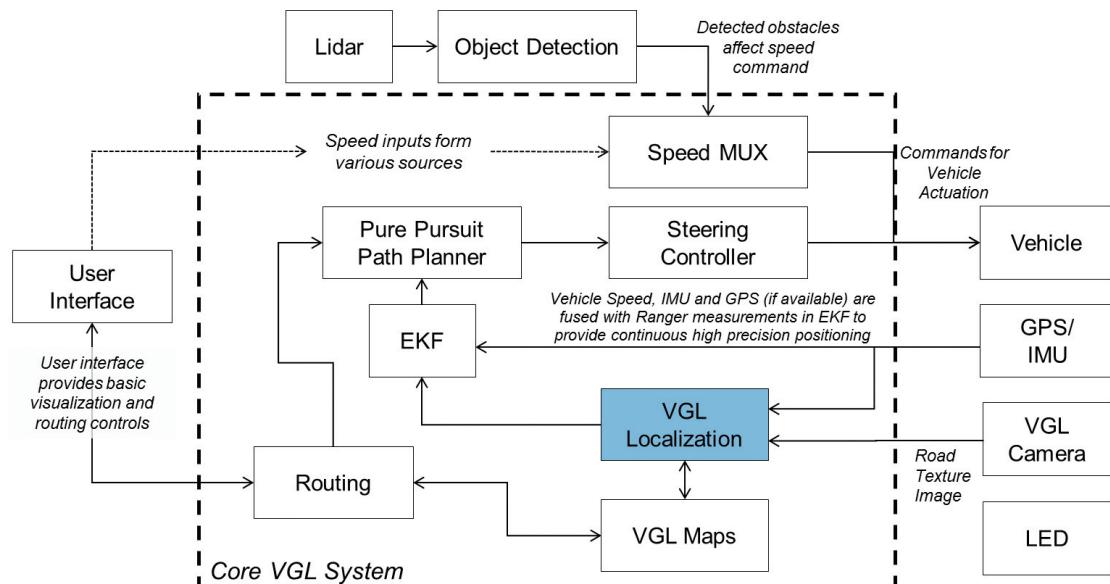


図5 VGLシステムのブロック図

を行うには、事前にこのマップデータベースを作成する必要がある。マップ作成の方法を図 6 に示す。マップの作成は、VGL を搭載した車両で路面画像、DGPS-IMU、オドメトリによる車速情報を同時に記録しながらオペレータによるマニュアル操作で運転することで行う。これにより各路面テクスチャに対応する位置情報をマップデータベースから抽出することが可能になるが、さらに連続して記録した路面画像の重複部分が不整合なくつながるよう、画像マッチングの技術でつなぎ合わせるとともに、それに対応する位置姿勢情報の誤差を最小にする補正処理も行われている（図 6(b)）。

自動走行を行う際、図 7 (a) に示すように、カメラによって

撮影した路面画像から路面テクスチャの特徴を抽出し、図 7 (b) に示すように前記マップデータベースの画像情報と画像マッチングさせる。この処理により図 7 (c) に示すようにそれに対応した位置姿勢情報を得ることができる。また、図 7 (a) に示すように、求められた位置姿勢情報はロバスト性向上を目的に、DGPS-IMU の位置姿勢情報を拡張カルマンフィルタ (EKF : Extended Kalman Filter) によって補完しており、路面テクスチャを一時的に取得できない場合であっても VGL 車両は自動走行に必要な位置姿勢情報を得ることができる。

この VGL 位置同定は、高精度の位置同定技術 RTK-GPS 以上の精度で車両位置情報を取得することが可能である。

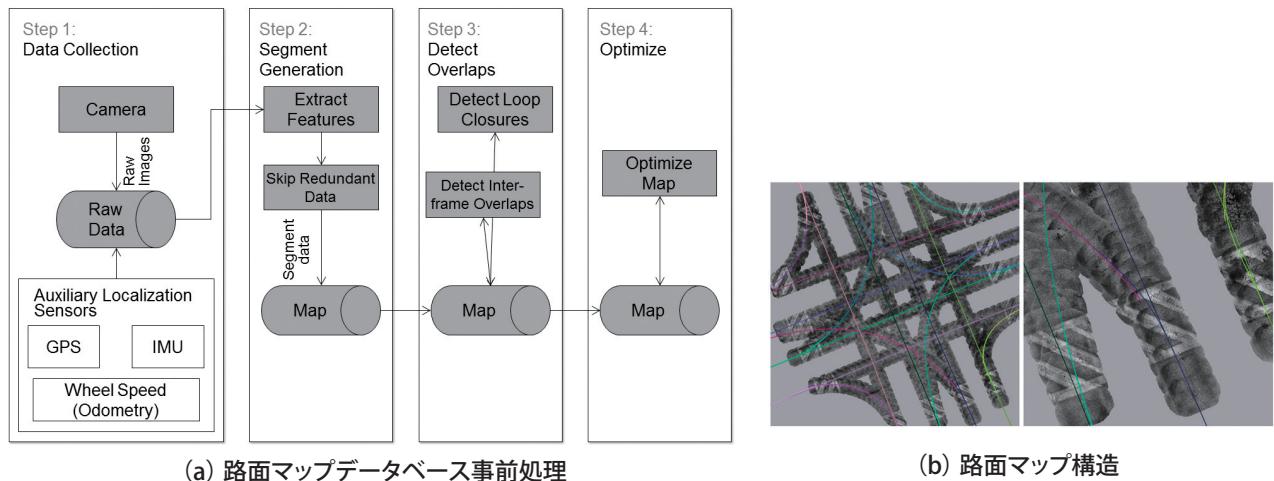


図6 VGLシステムの路面マップ作成(マップ事前処理)

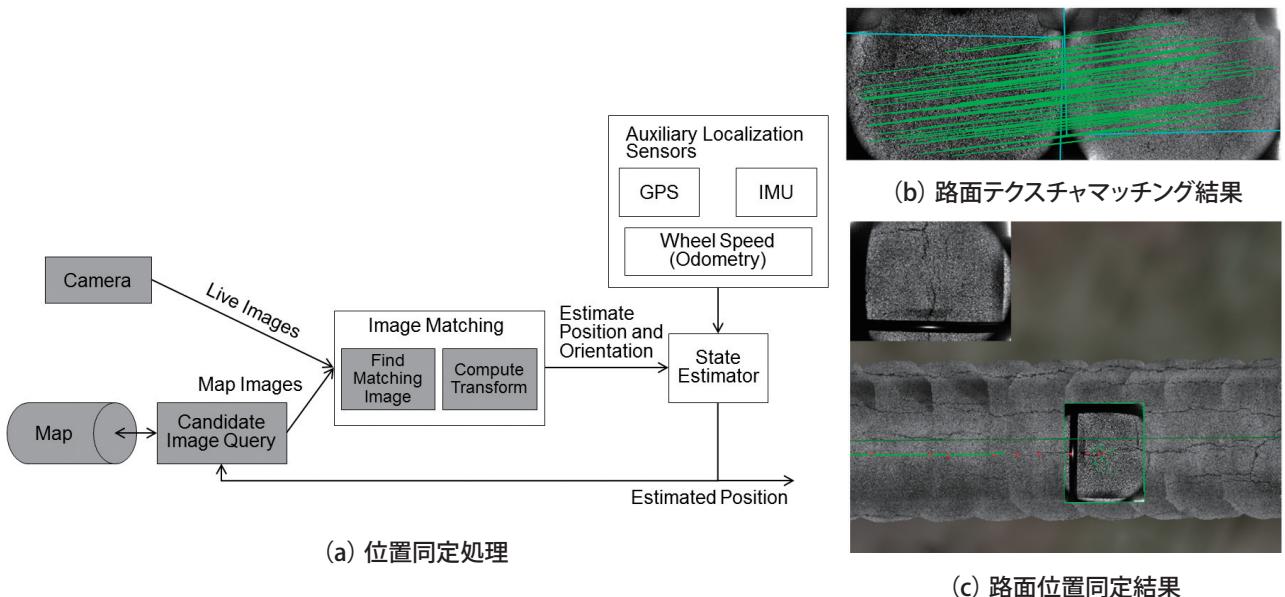


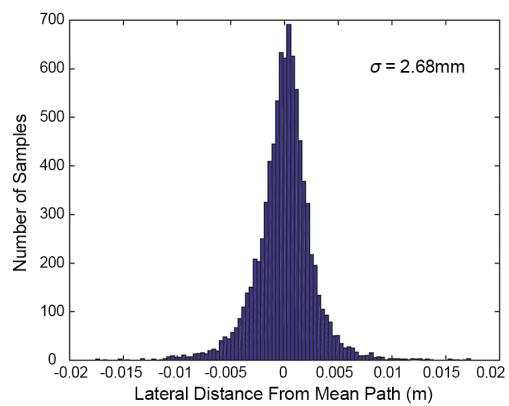
図7 VGLシステムの位置同定原理

3-2. VGL 位置同定の性能評価

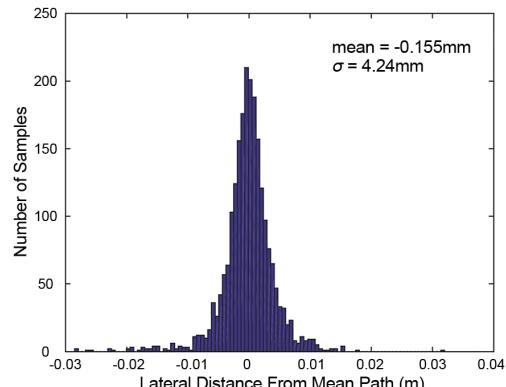
アスファルト、コンクリートを走行した際の VGL 位置同定精度のばらつきを図 8 のヒストグラムに示す。

図 8(a) に示すように、アスファルト上であれば、誤差 2.68mm の精度で測位できる。また図 8(b) に示すように、アスファルトと比較して凹凸などの特徴が少ないコンクリートであっても誤差 4.24mm の精度で測位できた。

一般的な自動走行システムでよく採用される RTK-GPS の誤差 20mm ~ 200 mm 程度と比較して、非常に高い位置同定精度を VGL は有していることが確認できた。



(a) アスファルトでの測位情報ヒストグラム



(b) コンクリートでの測位情報ヒストグラム

図 8 VGL 位置同定の精度(アスファルト、コンクリート)

4 管制サーバ

管制サーバは、サーバが複数の自動走行車両の運行を集中制御することで、自動走行による移動サービスを実現している。具体的には、スマートフォン経由での自動走行車両のオンデマンド配車機能や自動走行車両同士の交差点でのスムースな運行管理のための合流調停機能を備えた。さらに、

ユーザへの配車時間通知機能やオペレータ向けの運行管理機能なども実装した。

この管制サーバの基本機能（車両情報を記憶するデータベースや、調停処理などの追加機能）をプラットフォーム化することで、開発者が移動サービスアプリの開発に注力できるようにした。

4-1. 管制サーバプラットフォーム

上記、管制サーバプラットフォームについて説明する。

走行中の自動走行車両に対してサーバが交差点通過許可指令を送ることで、交差点での調停機能を実現している。このような調停機能を実現するためには、「リアルタイム性」や「高アクセス負荷耐性」、「セキュリティ」などの性能用件を満たすサーバプラットフォームが必要となる。

そこで、リアルタイム性や大量のアクセス処理性能、信頼性などの性能用件が求められる証券取引システムで採用実績のある「ラムダーアーキテクチャ」^[5]を基に、上記性能用件を満たす論理アーキテクチャを設計した（図 9）。ラムダーアーキテクチャは、リアルタイム性が要求されるデータや大容量のデータなど、異なる特性を有する複数のデータを並行して処理するのに適したアーキテクチャであり、データの特性ごとに最適な処理技術を採用できることを特徴としている。

この論理アーキテクチャでは、上記の性能用件を満たすために、自動走行車両とサーバとで行われる通信データの特性を分析し、リアルタイム性が要求されるデータについては Speed Layer Data Base と Speed Event とによって処理することで、複数の自動運転車両に対する調停処理の高速化を実現した。

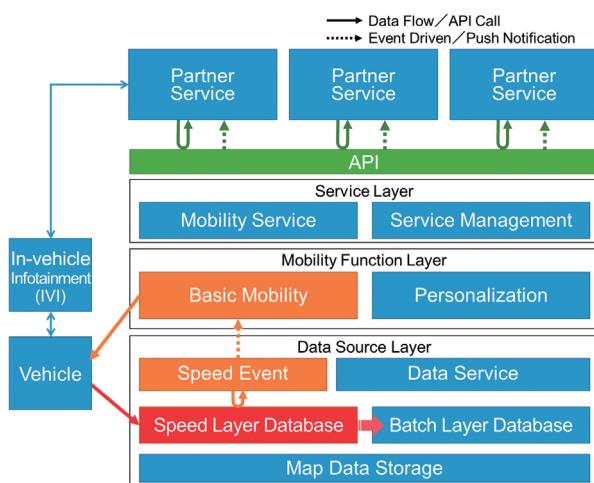


図9 管制サーバプラットフォームの論理アーキテクチャ

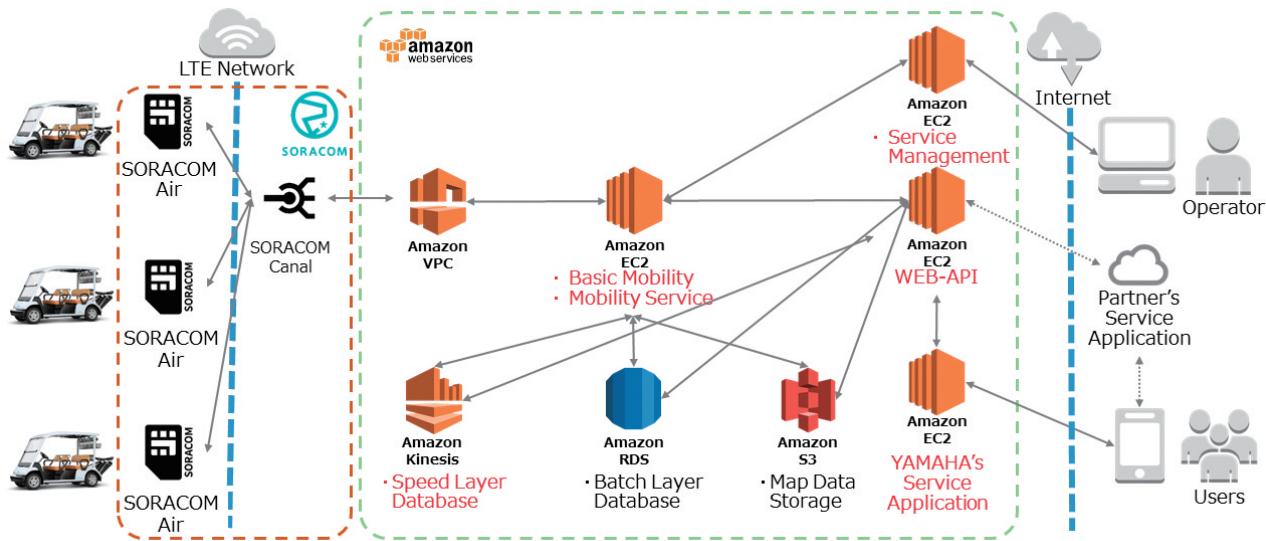


図10 管制サーバプラットフォームの実装

そして上記アーキテクチャを、図10に示すようにクラウドPaaS(Platform as a Service)サービスのAWS^{TM[6]}上で実現することを目指した。具体的にはAmazon KinesisTM+EC2TMサービスにより、Speed Layer DatabaseおよびSpeed Eventを実現している。このような実装により自動走行に必要なリアルタイム性を実現した。なお、車両サーバ間の通信は、自動走行車両のハッキングを防ぐために、LTE網からAWSサーバまでの通信経路を、高いセキュリティを持つVPC(Virtual Private Cloud)によって接続可能なSORACOM^[7]の通信サービスを採用した。

このように、サーバアプリ開発のためのプラットフォームを整備することで、開発者は調停機能などのアプリケーション開発に集中することができるようになった。また、サーバプラットフォーム構築の際に、大規模システムなどすでに実績のあるAWSやSORACOMなどのクラウドPaaSサービスを活用することで、安定したプラットフォームを短期間に構築できた。さらに、車両台数が増えた際に必要となる、サーバのスケーラビリティの問題についてもクラウドサービスの活用により解決できると考えている。

4-2. WEB-APIによる移動サービスシステムおよび移動サービスアプリ

また、オープンイノベーションによる、低速自動走行車両を使った移動サービスの実現を目的に、サービスアプリ開発用のWEB-API(WEB Application Program Interface)を備えていることも特徴としている。セキュリティによって通

常は外部からアクセスできないが、移動サービスの実現を目指すパートナーに対して本APIを公開することが可能である。



図11 WEB-APIによる移動サービスシステムおよび移動サービスアプリの例

このWEB-APIを活用することで、パートナーは移動サービスシステムに対して、ユーザ認証や配車要求などの指令、車両の利用回数・利用状況などの情報取得が可能となる。つまり、これらのAPIを組み合わせて活用することで、容易に低速自動走行車両を使った移動サービスシステムや移動サービスアプリケーションの開発が可能となる。

図11に、WEB-APIを活用して開発した移動サービスシステムおよびサービスアプリの例を示す。ユーザ認証機能の利用や、ユーザの利用明細情報、ユーザ情報、車両の運行などの情報を取得することができる。

5 おわりに

本稿では、低速自動走行による移動サービスシステムについて紹介した。

具体的には、路面画像によって自己位置同定および自動走行を行うVGLシステムや、複数の自動走行車両による移動サービスを実現するための管制サーバについて紹介した。

現在、移動サービスシステムの実用化に向けて、低コスト化や、安全性、信頼性、セキュリティなどを向上させるべく開発を進めている。またユーザの使い勝手を向上させるためにサービスアプリのユーザビリティについても改善を行う予定である。

将来的には、本システムでは管理できない他の一般走行車両との協調が課題になるとを考えている。この課題に対して、公道自動運転車両への応用が期待されている高精度三次元地図を使ったダイナミックマップ^[8]への対応も視野に入れ、検討を進めていきたい。

■参考文献

- [1] ヤマハ発動機ホームページ「電磁誘導式ランドカーとは」<<https://www.yamaha-motor.co.jp/golfcar/landcar/about-landcar/self-driving.html>> (アクセス日 2017/8/3)
- [2] 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
- [3] 難波 直樹、藤井 北斗、張 炎甫、神谷 剛志：自律ビーカーの知能化プラットフォーム開発；ヤマハ発動機技報 2016-12 No.52
- [4] Kristopher Kozak and Marc Alban. "Ranger: A ground-facing camera-based localization system for ground vehicles." Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), 2016 IEEE/ION. IEEE, 2016.

[5] Nathan Marz. "Big Data Lambda Architecture" (<http://www.databasetube.com/database/big-data-lambda-architecture/>) (アクセス日 2017/9/13)

[6] Amazon Web Services、"Powered by Amazon Web Services" ロゴ、[およびかかる資料で使用されるその他のAWS商標]は、米国その他の諸国における、Amazon.com, Inc. またはその関連会社の商標です。

[7] SORACOM、SORACOM Air および SORACOM Beam は、株式会社ソラコムの登録商標または商標です。

[8] ダイナミックマップ2.0 コンソーシアム <<https://www.nces.i.nagoya-u.ac.jp/dm2/index.html>> (アクセス日 2017/9/6)

■謝辞

VGLシステムの開発にあたってはSouthwest Research Institute のKristopher Kozak 氏、Marc Alban 氏、また、管制サーバの開発にあたっては株式会社永和システムマネジメントの中垣内 勇祐氏、森 崇氏にそれぞれ多大なご協力をいただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

■著者



藤井 北斗

Hokuto Fujii

技術本部

EM開発統括部



渡辺 仁

Hitoshi Watanabe

技術本部

EM開発統括部



Abstract

The Indonesian motorcycle market has a total scale of around 5.6 million units, of which approximately 10% are sports models. Despite scooters and models with underbone frames occupying the majority of demand, Yamaha Motor's sports models have been popular with younger riders "stepping up" to products of the next higher grade of quality, and thus such products are leading the market.

As the successor model to the YZF-R15, which has been popular for its highly-focused feel and racy image which enhance the supersport elements of the design, the new YZF-R15 has been developed with the aim of further increasing sports performance.

Since its launch in 2007, the V-ixion Series has been popular as a sports model which combines a sporty style and superior riding performance with the practicality of a commuter model.

For the latest revamp, the appearance of the new V-ixion has been completely refreshed to further enhance the leading-edge style, and an advanced edition – the V-ixion R – has also been introduced. While the standard edition V-ixion is equipped with a conventional engine widely acclaimed for its high reliability and ease-of-use for urban riding, the V-ixion R has been developed using the same platform as the YZF-R15 to enhance its basic riding performance.

This report introduces the YZF-R15 and V-ixion R.

1

はじめに

インドネシアの二輪市場は560万台規模で推移しており、スポーツモデルはそのうちの約10%を占めている。当社のスポーツモデルは、スクーターやアンダーボーンタイプが主流の市場において、若いお客様のステップアップの対象として好評で、市場の牽引役となっている。

新型「YZF-R15」は、スーパースポーツの要素を醸し出す“シリアルス感”や“レーシーイメージ”が支持され人気を博している「YZF-R15」の後継モデルとして、スポーツ性能のさらなる向上を目指して開発を行った。

V-ixionシリーズは、2007年の誕生からスポーティなス

タイルと走りの良さに加え、コミュータとしての実用性も兼ね備えたスポーツモデルとして人気を獲得している。

今回のモデルチェンジでは、外観を一新しスタイルの先進性を高めた新型「V-ixion」に加え、“アドバンスエディション”として「V-ixion R」も設定した。高い信頼性と街中の扱いやすさに定評のある従来型エンジンを搭載した“スタンダードエディション”的「V-ixion」に対し、「V-ixion R」は走りの基本性能を向上させるため、「YZF-R15」と共通のプラットフォーム（以下、PF）を活用して開発を行った。

本稿では、「YZF-R15」および「V-ixion R」について紹介する。

2 開発の狙い

「YZF-R15」はR seriesのDNAを受継ぐ次世代150cm³クラスSuper Sportを商品コンセプトとして、以下の狙いを掲げた。

- ① 一目でRシリーズとわかる最新スーパースポーツデザイン
 - ② クラストップレベルの高性能と、日常域での扱いやすさを両立したエンジン
 - ③ ワインディングで本格的に走れる走行性能
- 「V-ixion R」は、Boost up the life～日常での扱いやすさをキープした上での、走りと先進性の進化～を商品コンセプトとして、以下の狙いを掲げた。

- ① 街で輝く先進感
- ② 日常をわくわくさせる走り
- ③ 日々の移動手段として嬉しい実用機能

3 開発の取り組み

「YZF-R15」と「V-ixion R」のそれぞれの狙いを達成しながら、2モデルを同時に開発するために、新開発高性能エンジンと、高剛性デルタボックスフレームのPFを開発し、スタイリングや装備、操縦安定性の作り込みはそれぞれに最適化を行った。

図1、2に2モデルのフィーチャーマップを示す。



図1 YZF-R15フィーチャーマップ



図2 V-ixion Rフィーチャーマップ(※部はYZF-R15と共通)

3-1. エンジン

クラストップレベルの高性能と日常域での扱いやすさを両立させるために、燃焼効率向上、体積効率向上、機械ロス低減を徹底追及した。また、VVA (Variable Valve Actuation) を採用することにより高回転高出力化すると同時に、低中速域のトルク向上も図った。

エンジンの基本諸元を表1に示す。

表1 エンジン基本諸元

原動機種類	4ストローク, SOHC・4Valve
気筒数・配列	単気筒
排気量	155cm ³
内径×行程	58.0mm×58.7mm
圧縮比	11.6 : 1
最高出力 / エンジン回転速度	14.2kW / 10,000r/min
最大トルク / エンジン回転速度	14.7Nm / 8,500r/min
冷却方式	水冷
潤滑方式	ウェットサンプ
燃料供給	電子制御 FI
始動方式	セル式
クラッチ	湿式 多板
変速機	常時噛合式 6段

3-1-1. 高効率燃焼・高圧縮比化

クラストップレベルのエンジン性能を実現するために燃焼改善と圧縮比向上を行った。

吸排気ポート形状や燃焼室形状、ピストントップ形状に燃焼シミュレーションを活用することで、高い燃焼効率が成立するようにセッティングし、実車ドライバビリティの確認にて最終圧縮比を選定した。

3-1-2. 高回転高出力化

最高出力回転速度を現行機種モデルに対して1500r/min引き上げることで、エンジン出力性能の向上を図った。最高出力点で吸気慣性効果と脈動効果を効率よく使える吸気管長とカムプロファイルを選定し、最高出力点における体積効率の最大化を狙った設計としている。

エアフィルタは体積効率向上のため、レイアウトし得る最大容量まで拡大化（従来比60%増）を行った。

また、吸気圧力損失の大きいスロットルボディ周り、吸気ポート、吸気バルブ周り（図3）の流れを改善することで圧力損失を低減し、さらに体積効率の向上を図っている。

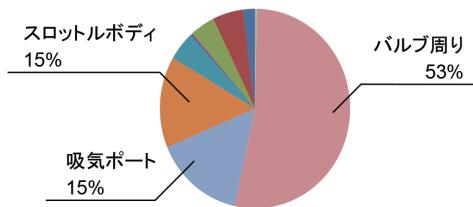


図3 吸気系圧力損失割合

3-1-3. ロス低減

機械ロス低減手法としてオフセットクランク、ローラロッカ、低張力ピストンリング、大端ピンサイズ小径化の採用とピストンスカート形状、クランクケース内連通穴の最適化を行った。その中で、クランクケース連通穴の効果を紹介する。

クランクケース内圧をP-V線図で表したときに連通穴位置や大きさをチューニングすることで、ポンピングロスの低減を図った（図4）。

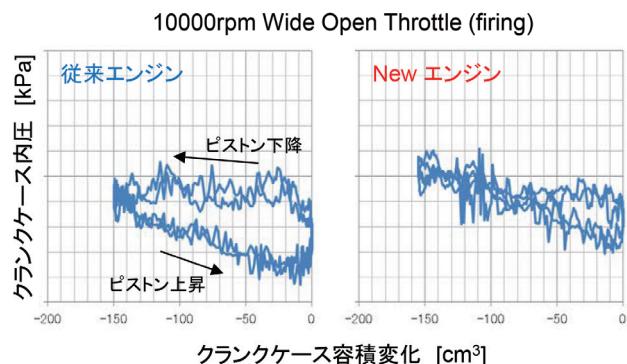


図4 クランクケース内P-V線図

3-1-4. 早期暖機を実現する冷却システム

エンジンとラジエタ間に切替式サーモスタットを配置することで、エンジン冷間時ではエンジン内のみで循環し、エンジン高温時ではラジエタからエンジンに冷却水が循環する2系統の冷却経路（ボトムバイパス）となっている（図5）。この簡略化されたボトムバイパスシステムによってエンジンは早期暖機が可能となり、高温時には急冷却による水温ハンチングを押さえることができ、燃費向上、FI適合安定化と機能信頼性向上に貢献している。

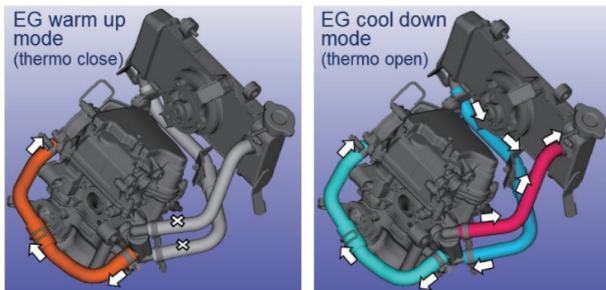


図5 冷却経路

3-1-5. 低中速での扱いやすさを補うVVA

最高出力回転速度に合わせた吸気管長とカムプロファイルによって低中速のトルク低下が懸念される。そこで、低中速のトルク向上施策としてVVAを採用した(図6)。

Lowカムプロファイル選定は、トルク向上とともに実車ドライバビリティにて決定した。エンジン回転速度7,400r/minを境に電磁ソレノイドが駆動してLowカムプロファイルからHighカムプロファイルに切替り、低回転から力強いトルクフィーリングを描いている。VVAを採用することで、街中や低速走行時の扱いやすさと郊外や高速走行で必要になる高出力の両面の向上を可能としている。

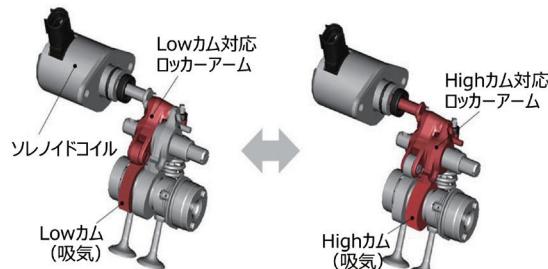


図6 VVA図

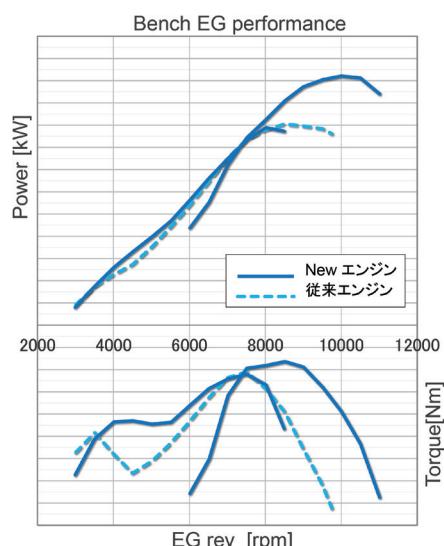


図7 エンジン性能

これまで述べた施策により従来モデルに対し低速トルクは全域向上、最高出力は18.3%向上し、燃費においては4.7%(当社計測値)の改善を達成した(図7)。

3-1-6. アシスト&スリッパークラッチ

クラッチレバー操作の荷重低減とシフトダウン時の穏やかな車体挙動を目的として、アシスト&スリッパークラッチを採用した(図8)。

シフトチェンジ時には、アシストカムによりクラッチレバー荷重は従来比18%低減を可能にし、過大なエンジンブレーキが掛かった場合にはスリッパークラッチでバックトルクを制御し、スムーズなシフトダウンが可能となっている。

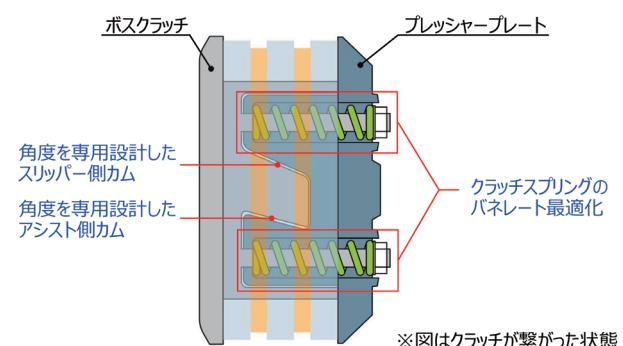


図8 アシスト&スリッパークラッチ

3-2. シャーシ構成

デルタボックスのメインフレームとアルミダイキャスト製リヤアームを共通としつつ、「YZF-R15」と「V-ixion R」それぞれの狙いに合わせ2つのシャーシ設定を行なった(図9)。

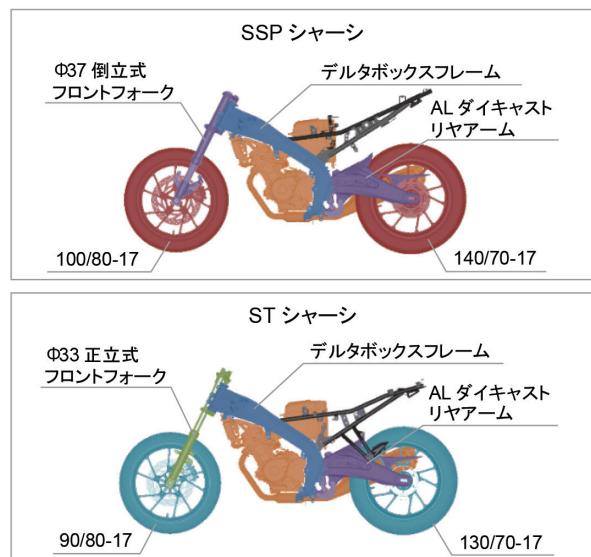


図9 シャーシ構成

スーパースポーツシャーシ（以下、SSP シャーシ）は、インナーチューブ径 ϕ 37mm の倒立式フロントフォークと、それぞれ従来モデルから 1 サイズアップしたフロント 100/80-17、リヤ 140/70-17 のワイドタイヤを組み合わせ、高速域でのスポーティなハンドリングを支える車体パッケージとした。

ストリートシャーシ（以下、ST シャーシ）は、従来モデルを踏襲したインナーチューブ径 ϕ 33mm の正立式フロントフォークと、フロント 90/80-17、リヤは 1 サイズアップとなる 130/70-17 のタイヤを組み合わせ、日々のコミューティングから週末のツーリングまで軽快なハンドリングを実現するバランスのとれた車体パッケージとした。

3-2-1. デルタボックスフレーム

外観は従来モデルに類似するが、左右ピボット幅は 20 mm 拡大し 221 mm としてワイド化するとともに、エンジンの高出力化に合わせ、後輪駆動反力が直接伝わるピボット部の剛性を最適化した。

デルタボックスフレームとは、ヘッドパイプ上下、およびピボット点を結ぶ形が三角であることから名付けられたヤマハの呼び方で、歴代 R シリーズのアイコンである。

3-2-2. アルミダイキャスト製リヤアーム

新フレームおよびフロントフォークに合わせ、トラス形状で質感あるアルミダイキャスト製リヤアームを新作した（図 10）。

ヤマハ独自のダイキャスト技術を採用し、ワイド化したホイールや高出力化に合わせて、アーム長と形状を最適化した。

3-2-3. 倒立式フロントフォーク (YZF-R15のみ)

インナーチューブは大径 ϕ 37 mm、ストロークは 130 mm で、優れたショック吸収性能と良好なフロント接地感、剛性感のあるハンドリングに寄与する。

倒立式フォークの特長に合わせ、フォークオフセットなどフロントまわりのジオメトリと、ハンドルクラウンの形状作り込みによる剛性の最適化を行い、スポーティで安定したハンドリングを実現した。



図10 YZF-R15骨格構成

3-3. デザイン

「YZF-R15」は “Youngest Brother of R” をデザインコンセプトとし、MotoGP マシン「YZR-M1」をシンボルに、“スピードエキサイトメント”を感じる最新 R シリーズのスタイル標準を踏襲しながらも、単なる「R-DNA」^[1] の継承ではなく、最新「YZF-R1」、「YZF-R6」に続く「NEXT R-DNA」の具現化を行なった。

カウリングは、「YZF-R1」をオリジンとするレイヤー構造で走行風の流れを積極的にコントロールしようとするマン・マシンの姿勢を表現しており、空力解析と風洞試験で作り込みを行なった（図 11）。またこの造形は排気量 155cm³ エンジンならではのサイズ感とタイトなプロポーションを調和している。「YZF-R1」「YZF-R6」の水平基調ラインを踏襲しながらも、微妙にダウンフォース感を織り込んだ。

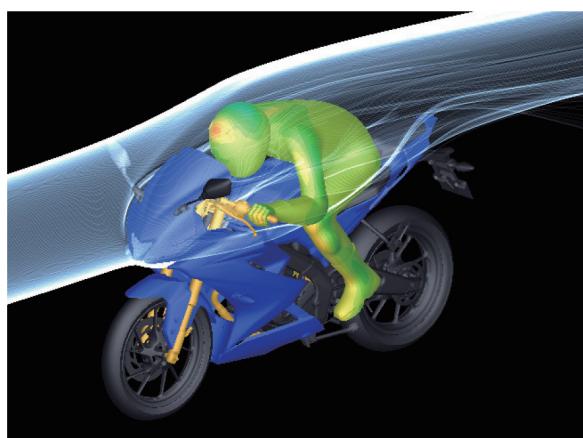


図11 エアフローを可視化したカウリング

フロントフェイスは YZF-R1 同様、“Glaring eye”を採用した（図 12）。薄型 LED の特徴を活かしたデザインで、次世代 R フェイスの象徴である。YZR-M1 のアイデンティティーでもある M 字型のダクトを連想させるフェイス、レーシーなゼッケンスペースを設けた。



図12 "Glaring eye"を採用したフロントフェイス

コックピットは「YZF-R1」のスタイリングを受け継ぐシリーズでアグレッシブな雰囲気を再現した（図 13）。ギアポジション表示など日常の使い勝手を考慮しながらもアグレッシブな雰囲気を醸し出す。



図13 Rシリーズのイメージを踏襲したコクピット

「V-ixion R」は“Proud Vixion”をデザインコンセプトとし、歴代「V-ixion」の基本価値であるスリム（細身）でアジャイル（俊敏）なスポーティさと、日常的に使いやすそうなデザインは継承しつつ、所有していることを自慢したくなる、次世代の気品漂うトレンドスポーツコミュータを具現化した。

カウリングは、シュラウドからアシストグリップまで車体前後にアーチする曲面の中にエッジを入れた造形で新規性を持たせつつ、塗装面積を拡大することで、次世代の高級感を演出した（図 14）。特に「V-ixion」の特徴でもあるラジエタ周りのシュラウドは、キビキビとした俊敏な走りを予感させる形状を表現した。このシュラウドは、複数のカバーで形成される導風構造を持っており、空力解析により最適化することでラジエタの冷却効率を高めることにも貢献している。



図14 高級感と新規性のあるカウリング

スポーツコミュータとして、十分なサイズのシートによりタンデム快適性を確保する一方、ヘッドライトおよびテールライトをLED化により小型化することで、前後のオーバーハングをつめたコンパクトな造形を実現できた（図 15）。

また、LED 灯火器とともに、オーナーの所有感を満足させるアイテムとして、「YZF-R15」と共通の多機能フルLCDスピードメータを採用した（図 16）。



図15 LED化したヘッドライトおよびテールライト

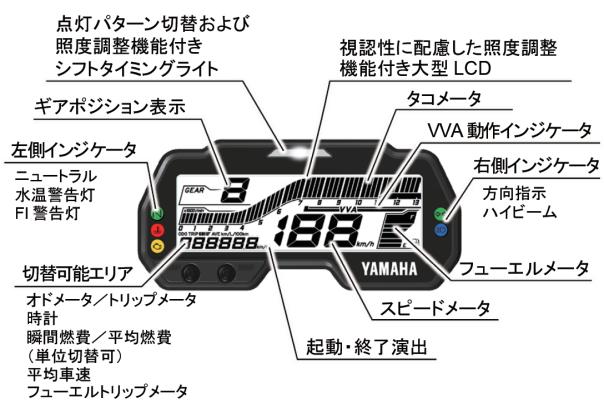


図16 多機能フルLCDメータ

4

おわりに

本モデルは、インドネシアやアセアン地域で拡大、多様化するスポーツカテゴリーの需要に対応するため、PF 同時開発という手法を用いて開発を行った。これにより、PF 根幹のエンジンとメインフレームは統合しつつも、開発の初期段階から差別化する部位を明確にできたため、それぞれの狙い通りのキャラクターに仕立てることができた。

本モデルは、インドネシアを皮切りにアセアン各国で順次発売が開始されている。スポーツモデルに憧れる若いお客様のステップアップモデルになると同時に、ヤマハの魅力あるスポーツの世界にお客様を導くエントリーモデルとしても、活躍することを期待する。

■参考文献

[1] ヤマハ発動機 ホームページ「R-DNA-Yamaha Motor Design」<https://global.yamaha-motor.com/jp/profile/design/products/rdna/#_ga=2.220933918.724712879.1504491279-1452698247.1460086734>（アクセス日 2017/9/13）

■著者



北村 悠(前列中央)

Yu Kitamura

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

ST開発部

竹本 靖史(後列中央)

Yasushi Takemoto

エンジンユニット

エンジン開発統括部

先行開発部

(執筆時:第1エンジン開発部)

青木 和重 大石 貴之 向井 保之 濱田 知宏 井上 正洋 福島 佑輔



Abstract

In 2008, Yamaha Motor launched the FZ16 (160 cm³) new concept model aimed at young customers sensitive to the latest trends in the India motorcycle market. Since then, Yamaha Motor has also launched the FAZER (half fairing model), and in 2014 the second-generation FZ15 (featuring fuel injection and a revised exterior) as well as the FAZER (150 cm³). With its excellent performance and dynamic design, this popular model has won strong support particularly from young customers, with cumulative sales exceeding one million units.

As a higher-end model inheriting this product concept, the FZ25 has increased displacement to 250 cm³, and was developed to appeal to new customers as well as customers stepping up from the 150 cm³ category. This report provides an overview of the development of the FZ25.

1 はじめに

2008年、当社はインド二輪市場の最新トレンドに敏感な若いお客様に向け、新コンセプトモデルFZ16（160 cm³）を市場へ導入した。その後、FAZER（ハーフカウルモデル）、2014年にはFI化・外観を変更した2代目モデルFZ15、FAZER（150 cm³）を順次導入してきた。同モデルは、優れた走行性能、ダイナミックなデザインにより、若いお客様を中心に高い支持を受け、累計販売100万台を超える人気モデルとなっている。

FZ25は、その商品コンセプトを引き継ぐ上位モデルとして、排気量を250 cm³に上げ、新規のお客様、および150 cm³クラスカテゴリからステップアップされるお客様に向けて開発した。本稿では、その開発概要について紹介する。

2 開発の狙い

FZ25はFZ15シリーズの上位モデルとして、新たに“Powerful New Mid-class Streetfighter for the Next FZ World”を商品コンセプトに掲げ、以下の5項目を開発の狙いに定めた。

- (1) 圧倒的な存在感を有する”力感溢れる”ボディデザイン
- (2) 街中を機敏に気持ち良く走れる優れた加速・走行性能
- (3) 意のままに操る喜びを実現する軽量車体
- (4) 淀滞路走行やツーリング等の長距離移動でも快適な乗り心地
- (5) 所有する喜びを満たすニューフィーチャの採用

本モデルのフィーチャマップを図1に示す。



図1 フィーチャマップ

3 開発の取り組み

3-1. デザイン

FZ のアイコンとなる男らしい筋肉質なスタイリングを昇華させるため、デザインコンセプトは” New Generation Machismo”とした。それを実現するために、① Iconic silhouette、② Masculinity form、③ High-tech の 3 つのキーワードを抽出し、これらをスタイルに集約した（図 2）。

① Iconic silhouette

アグレッシブな「ダウンフォース」、および欧州スポーツバイクのトレンドである「マスフォアード」を表現

② Masculinity form

たくましさ・力強さ・男らしさをみなぎらすアスリートのたくましい僧帽筋をイメージした表現

③ High-tech

- ・大口径マフラー、LED 灯火器、LCD メータなど、当社先進技術アイテムを最新デザインにより表現
- ・高パフォーマンス感を、エアスクープのデザインによって表現



図2 FZ25 3つのデザインキーワード

3-2. エンジン

エンジンは、日本をはじめとする世界各国で採用している信頼性の高いユニットをベースに、吸気系、排気系、点火系をインド市場に向け最適化した。

軽量アルミ鍛造ピストン、放熱性に優れたメッキシリンダ、ロス低減を図る薄型ピストンリングなどを採用した。また、1軸バランサを備え、体感振動の低減を図った。

エンジンの基本諸元を表1に示す。

表1 エンジン基本諸元

原動機種類	空冷、4ストローク SOHC、2バルブ
気筒数配列	単気筒
総排気量	249 cm ³
内径×行程	74×58 mm
圧縮比	9.8 : 1
最高出力	15.4 kW / 8,000 r/min.
最大トルク	20.0Nm / 6,000 r/min.
始動方式	セル
潤滑方式	ウェットサンプ
吸気・燃料装置	フュエルインジェクション
点火方式	TCI

3-2-1. 吸排気系の最適設計

街中走行での優れたピックアップ性を実現するため、吸気系を最適設計し、FIセッティングとのバランスを整えた。特に2速～3速、車速20～30km/hからのピックアップ性に優れる。

一方、排気系はマスの集中化と軽量・前後ショート化を図るミッドシップマフラーを採用した（図3）。一次チャンバのクランクケース下への配置に加え、サイレンサには順次膨張方式を採用し、低音と歯切れのよいパルス感を調和させたサウンドを実現した。

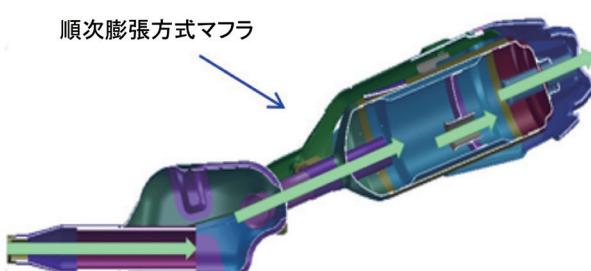


図3 ミッドシップマフラー

3-2-2. エンジンの信頼性を確保するオイルクーラー

潤滑・密封・冷却・洗浄など、多岐に渡るエンジンオイルの性能を安定的に確保するため4コアオイルクーラーを採用した（図4）。オイルの温度上昇による油膜への影響や、蒸発傾向を避け、各部の温度上昇を抑えることで、エンジンの高い信頼性を確保した。

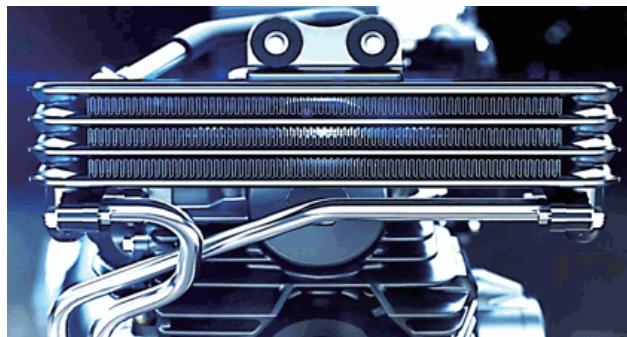


図4 4コアオイルクーラー

3-3. 車体

ライダが意のままに操れる操縦性能を実現するため、シャーシには軽量、コンパクトなダイヤモンドフレーム+角断タイプのリヤアームを採用し、強度・剛性バランスの最適化を施した。その他、ホイールやメインスタンド、電装部品にいたるまで、部品細部まで軽量化を図り、148kgの軽量ボディに仕上げた。

ライディングポジションについては、ライダが積極的な操作をしやすいように、ハンドル位置、シート高、低重心・軽量設計などとバランスをさせた。

ボディ基本諸元を表2に示す。

表2 ボディ基本諸元

全長	2,015 mm
全幅	770 mm
全高	1,075 mm
シート高	795 mm
軸間距離	1,360 mm
最低地上高	160 mm
車両重量	148 kg
ホイールトラベル（前/後）	（前）130 mm / （後）120mm

3-3-1. 走りを支える軽量フレーム

走りの性能を支えるフレームは、軽量設計のダイヤモンド型を採用した。ダウンチューブまわりの構成の最適化、エンジン懸架まわりの強度確保、スポーティなライディングポジション確保などを照準に、強度・剛性バランスを整えた。ダウンチューブはフレーム径がφ42.7mm、別体ダウンチュー

ブ径は ϕ 25.4mm とした。

リヤアームは、太く剛性に優れた 60 × 30mm 角断スチール製を採用した。



図5 軽量ダイヤモンドフレーム

3-3-2. 操縦性と快適な乗心地を両立するサスペンション

フロント側は、大径 ϕ 41mm インナーチューブで 130mm のストロークを持つフロントフォークを採用した。十分な剛性を確保し、バネ定数と減衰特性を最適チューニングし、優れたショック吸収性と、制動時の安定感をもたらしている。

リヤ側は、軽量なリンクレスのモノクロスサスペンションを採用した。こちらもバネ定数と減衰力の調和を図り、快適な乗心地性を確保した。

3-3-3. コントロール性に優れるブレーキ

前後ブレーキは、摩擦系と入力系のバランスを図り、入力に応じた制動力を引き出している。フロントブレーキは、 ϕ 282mm のディスクブレーキ、2 ポットキャリパ（新材質パッド）との組み合わせにより、良好な初期タッチと、ウエット時も変化の少ない特性を持たせた。レバー形状も新設計とし、握りやすく、入力に応じたリニアな制動力を引き出すことができる。リヤブレーキは、 ϕ 220mm ディスクブレーキと 1 ポットキャリパを組み合わせ、確実な制動力を得ている。

3-3-4. サリーガード一体型マッドガード

マッドガードは、サリーガード一体型とした（図6）。マッドガードをリヤアームに取り付けることで、シート下の空間がシンプルになり、スポーティな外観を演出している。



図6 サリーガード一体型マッドガード

3-3-5. 省電力に貢献するLED灯火器

ヘッドライトとテールライトには、電力消費が少なく明るい LED を採用した（図7）。最適な配光設計により、とくにロービームでの照射の広がりのバランスが特長となっている。照射エリアの境目が穏やかで、手前から遠方まで広範囲な照射性を実現した。ヘッドライトは LED 3 灯タイプで、ロービーム時に上側 2 灯、ハイビーム時に下側が追加となり 3 灯点灯となる。



図7 LEDヘッドライト

3-3-6. 視認性に優れるLCDメータ

視認性に優れた 90 × 33.5mm の液晶メータを採用した（図8）。中央にデジタル速度計、上段にバー表示回転計、左下に燃料計を配し、この 3 項目を常に表示させた。さらに、オド、トリップ 1、トリップ 2、F トリップ、時計、瞬間燃費、平均燃費などの表示を可能とした。



図8 LCDメータ

3-3-7. その他車体関連の特徴

エンジン振動の伝達を抑制するダイナミックダンパ内蔵式パイプハンドルとラバーマウントタイプのヒールガードを採用した。

4

おわりに

150 cm³ FZ シリーズの上位モデルとして相応しい魅力ある商品を開発できたものと考える。本商品をひとりでも多くのお客様に体感して頂けることを期待している。

■著者



青木 和重(右端)

Kazushige Aoki

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

ST開発部

大石 貴之(左端)

Takayuki Oishi

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

ST開発部

向井 保之(左から4番目)

Yasuyuki Mukai

エンジンユニット

エンジン開発統括部

第1エンジン開発部

井上 正洋(左から2番目)

Masahiro Inoue

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

車両実験部

福島 佑輔(左から3番目)

Yusuke Fukushima

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



濱田 知宏

Tomohiro Hamada

Yamaha Motor Research &

Development India Pvt. Ltd.

Chennai R&D

Design Division

コストパフォーマンスに優れたインド向け ストリートモデル「SALUTO RX」の開発

Development of the SALUTO RX Street Model for India with Superior Cost-Performance

豊里 哲夫 鈴木 智一朗 佐藤 公彦 野中 章裕 岩崎 裕介 石田 孝幸



Abstract

The Indian motorcycle market has an annual scale of 18 million units, and, excluding scooters, approximately 30% of this demand is held by the 100cm³ to 110cm³ class. This class is popular with customers buying a motorcycle for the first time, as well as customers using their motorcycle for a variety of purposes such as commuting, work, and errands. Stable demand is forecast in the future.

Customers have high expectations, not only for good fuel economy and ease of handling at an accessible price range, but also for a stylish design. A model that balances all of these demands has been highly anticipated. This report introduces the new SALUTO RX, developed based on the "Affordable & Practical Street" model concept.

1 はじめに

1,800万台規模の二輪車需要があるインドにおいて、100cm³から110cm³のクラスのモーターサイクルはおよそ3割を占める状況である（スクータを除く）。このクラスはモーターサイクルを初めて購入するお客様や通勤、仕事、家の用事など多目的に使用するお客様などから人気で、今後も安定した需要推移が見込まれる。

お客様からは「燃費の良さ」、「扱いやすさ」、「求めやすい価格」だけでなく、「スタイリッシュなデザイン」への期待が大きく、これらの要素を調和させたモデルの誕生が期待されている。これに応え、本稿では“Affordable & Practical Street”をコンセプトに開発したニューモデル「SALUTO RX」について紹介する。

2 開発の狙い

本モデルはYZF-R15、FZ15、SALUTO125などインド生産モデルで培った技術とDNAを受け継ぎ、コストパフォーマンスに優れた次世代110cm³クラスのストリートモデルとして、下記4項目を主な狙いに定め開発した。

- ① クラストップレベルの低燃費
- ② 1名乗車、2名乗車で快適な走行性と優れた実用性
- ③ スタイリッシュなボディ外装
- ④ 求めやすい価格

本モデルのフィーチャーマップを図1、基本諸元を表1に示す。



図1 フィーチャーマップ

表1 基本諸元

全長	2020mm
全幅	740mm
全高	1045mm
シート高	785mm
軸間距離	1255mm
最低地上高	175mm
車両重量	98kg
原動機種類	空冷、4ストローク、SOHC、2バルブ
気筒数配列	単気筒
総排気量	110cm ³
内径×行程	50.0×56.2mm
圧縮比	9.9:1
最高出力	5.5kW/7000r/min
最大トルク	8.5N・m/4500r/min
始動方式	セルフ・キック併用式
潤滑方式	ウェットサンプ
吸気・燃料装置	キャブレタ
点火方式	TCI（トランジスタ式）
バッテリ容量	12V, 5.0Ah
燃料タンク容量	7.2L
駆動方式	チェーン
タイヤサイズ(前/後)	2.75-17 41P / 3.00-17 50P
リムサイズ(前/後)	17 × 1.40 / 17 × 1.60
制動装置形式(前/後)	ドラムブレーキ / ドラムブレーキ
ホイールトラベル(前/後)	120mm / 100mm
フレーム形式	ダイヤモンド

3-1. 低燃費・軽量・コンパクトなエンジンの開発

本エンジンは、実用車に求められる力強さと、燃費の良さの両立を目指して開発した。車両全体の軽量化・マスの集中を狙い、エンジン単体の軽量・コンパクト化について徹底的に追求した。

燃費向上の施策としては、高トルクを発生するのに有効なボア×ストローク比および高効率燃焼を狙った高圧縮比の設定、低ロス・高冷却設計等、多岐にわたり採用した。

これらの取り組みの結果、クラストップレベルの低燃費¹⁾を実現した。また、クラストップレベルの軽量・コンパクトなエンジン²⁾に仕立てることができた。

※ 1),2) 2017年7月現在当社調べ

3-1-1. 高効率燃焼

燃焼室内で混合気のタンブルを促進し、優れた燃焼効率を引き出すために、吸排気ポート・バルブ配置・燃焼室形状が最適になるよう設計した（図2）。燃焼室はプラグの反対側にスキッシュエリアと呼ぶ段差を備え、混合気がこのスキッシュエリアで跳ね返され、点火時にプラグ部に集中することで燃焼効率が向上し、低燃費に貢献している。

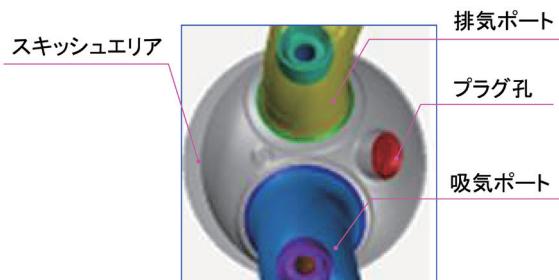


図2 燃焼室構造

3 開発の取り組み

前記の開発の狙いを達成するためエンジン、車体ともに全面新設計とした。細部に至る徹底した軽量化技術の織り込みと設計仕様の最適化により、使用材料の削減、製造容易化などでコスト低減を図り、お客様が期待する商品スペックと求めやすい価格設定の両立ができるよう取り組んだ。

3-1-2. フリクションロス低減

ピストン・シリンダ間のフリクションロス低減のため、オフセットシリンダを採用した（図3）。

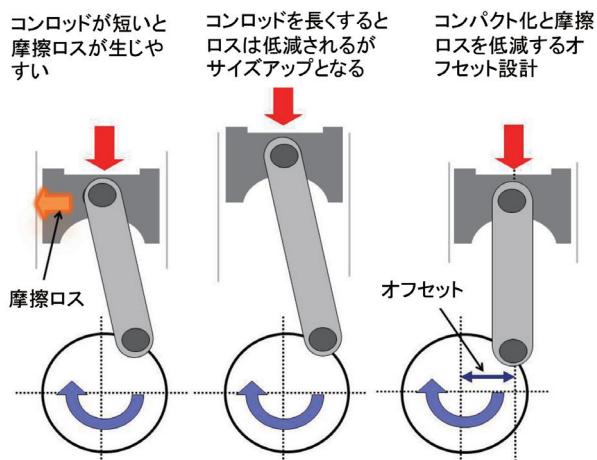


図3 オフセットシリンダ

3-1-3. 高い冷却性

本エンジンでは流体解析（CFD: Computational Fluid Dynamics）によるフィンまわりの専用設計により、小型化・軽量化・高い冷却性能をあわせて実現した。フィンサイズも最小化し使用材料を削減した（図4）。

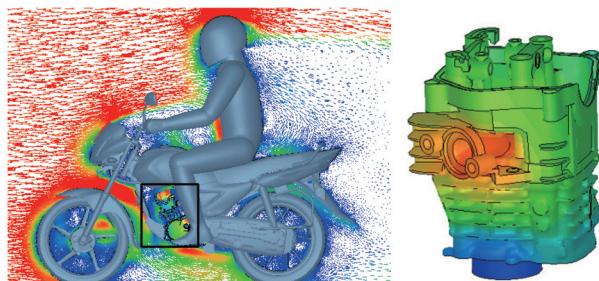


図4 CFDを活用した冷却性能の作り込み

アルミシリンダは、スリーブを鋳造工程で鋳込む「鋳込みシリンダ」とし、シリンダとスリーブの密着性を高めることで良好な放熱性を確保し、エンジンオイルの消費を低減した。また、シリンダ真円度維持によるフリクションロス低減を図っている。

3-1-4. 点火時期制御

クランクパルスを演算しエンジン負荷状況を検出することで、TPS（スロットルポジションセンサ）レスでの点火時期制御を採用した。点火時期の最適化によりエンジントルクが

向上することで低燃費につなげている。

3-1-5. 吸・排気系の作り込み

スロットル操作に対してダイレクトな反応を得られるVMタイプキャブレタを採用し、セッティングを最適化、AIシステムと触媒を組み合わせることで、レスポンスと燃費性能および環境性能のバランスを高次元で達成し、インドの新規制「BS4」に適合させた。

エアクリーナーから排気ガスに新気を導入するAIシステムは、導入口を排気ポート脇のエキパイ部に設け、ここで排ガスに新気を混ぜ酸素濃度を増やし、触媒を効率よく機能させる。触媒は、素早く浄化機能を発揮できるエキパイ中間部に設置し、機能を効率よく引き出している（図5）。なお、マフラーは当社従来モデル比で30%以上の軽量化を図り、加速騒音規制値をクリアしつつ、力強い“サウンド”を奏でる仕様とした。

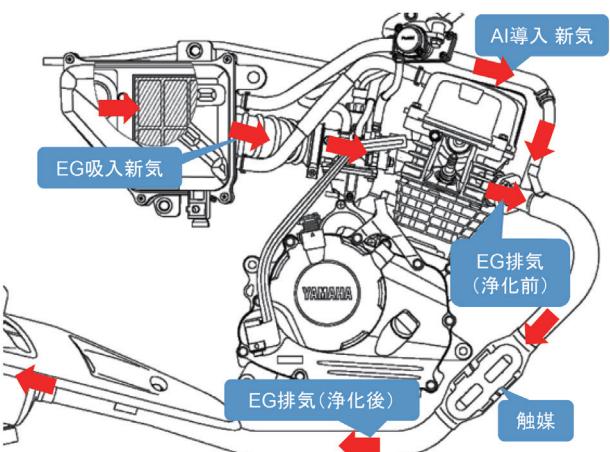


図5 吸・排気系構造

3-2. 軽量化と扱いやすさを追求した車体の開発

モーターサイクルを毎日のように使用する場合、車体の取り回しや押し歩きの容易さは重要であり、楽な乗車姿勢や乗り心地、足着きの良さなども扱いやすさを左右する大切な要素である。本モデルはこれらに重きを置きながら、徹底した軽量化技術を織り込み車体の開発を行い、結果としてクラストップレベルの車両重量³⁾を実現できた。

※3)2017年7月現在当社調べ

3-2-1. ライディングポジション

荒れた路面での走行、渋滞路走行や長距離走行など様々な使用シーンを想定し、疲れにくいライディングポジションを決定した（図6）。二人乗りでもそれぞれのライダーが快適

に乗車できるよう配慮している。

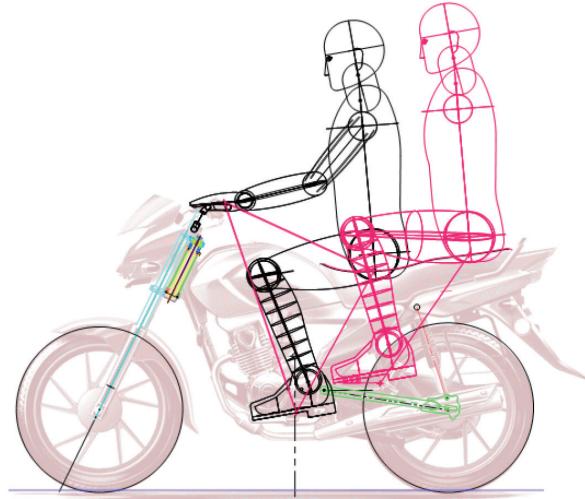


図6 ライディングポジション

3-2-2. 専用設計の新フレーム

強度と剛性バランスの最適化を図りつつ、軽量化を追求した新設計のダイヤモンドフレームを採用した（図7）。CAEと実車評価の両方の検証に基づいて仕様を決定した結果、強度を確保した上で適度な“しなやかさ”を有し、さらにマスの集中化と相まって、1名乗車から2名乗車に変わってもハンドリング特性の変化が少なく、路面状況に左右されない自然な操縦感を味わえる車両を実現した。



図7 軽量なダイヤモンドフレーム

3-2-3. 快適な乗り心地を実現するサスペンション

前後サスペンションは、専用セッティングにより、良好な乗り心地と、タンデム走行時や悪路走破時の安定した走行性能を確保した。ホイールトラベルは、前120mm、後100mmを確保した。リアサスペンションはイニシャル調整

機構を装備し、積載等実用性の幅を持たせた仕様とした（図8）。

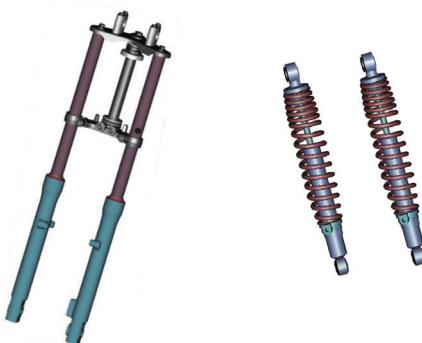


図8 前後サスペンション

3-2-4. 軽量アルミキャストホイール

新設計のスタイリッシュな10本スポークの軽量アルミキャストホイールを採用した（図9）。バネ下重量低減によってサスペンションの作動性向上につながり、乗り心地の良さに寄与している。ホイールには、前2.75-17、後3.00-17のサイズの低ロスタイヤを組み合わせ、走りの良さと低燃費を高次元でバランスさせた。



図9 スタイリッシュな軽量ホイール

3-2-5. ユーザーインターフェース

メータはシンプルで見やすいレイアウトのアナログ式を採用し、ライダーが欲しい情報を瞬時に視認できるデザインとした（図10）。また、ハンドルスイッチは右側がセルフスタート・タータスイッチのみ、左側にヘッドライトのON/OFFとHi/Low切替スイッチ、プッシュキャンセル付きのターンシグナルスイッチおよびホーンスイッチだけのシンプルな構成とし、直感的に操作できるよう配慮した（図11）。

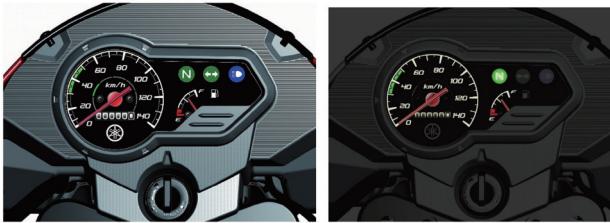


図10 視認性の良いメータ(右は夜間時)



図11 ハンドルスイッチ

4

おわりに

全面新設計のエンジンと車体に、徹底した低燃費技術と軽量化技術を織り込むことで、当社同クラスの従来モデル比で約13%の燃費向上を実現し、開発目標であったクラストップレベルの低燃費を達成することができた。また、同クラスのモーターサイクルとしては、圧倒的に軽い98kgの車両重量を実現しており、日常使用の様々なシチュエーションにおいて、扱いやすいモデルに仕上げた。

この「SALUTO RX」がお客様の“良き相棒”として日常生活に豊かさを提供できることを期待しつつ、今後も開発業務に精進し、より良い商品を生み出してお客様への提供価値を高めていきたいと考える。

■著者



豊里 哲夫(中央)

Tetsuo Toyosato

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

ST開発部

鈴木 智一朗(右端)

Tomoichiro Suzuki

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

SP開発部

佐藤 公彦(左端)

Kimihiko Satou

エンジンユニット

エンジン開発統括部

第1エンジン開発部

野中 章裕(左から2番目)

Akihiro Nonaka

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

岩崎 裕介

Yuusuke Iwasaki

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

車両実験部

石田 孝幸(右から2番目)

Takayuki Ishida

ビークル&リュージョン事業本部

RV事業部

開発部

スタイリッシュなスポーティスクーター 「GDR155」の開発

Development of the Stylish and Sporty GDR155 Scooter

鈴木 誠之 石川 陽平 谷口 将健 見崎 亮太 小河 卓也

Abstract

The ASEAN scooter market had been experiencing rapid growth, but overall demand began to decline from around 2012, and only slight increases are forecast in the future. Among these macro trends, it is also anticipated that more and more customers will "step up" to products of the next higher grade of quality due to increasing disposable income. Demand for premium scooter models is therefore expected to grow, and the new GDR155 was developed to meet this anticipated demand. The GDR155 combines a stylish design and sense of size distinctive among scooters with engine performance significantly superior to its competitors to deliver rich scooter functionality. This report introduces the GDR155, which can be called the "ASEAN Best Sporty Scooter" thanks to how it provides the next level of value to customers.

1 はじめに

急激な成長を遂げていた ASEAN スクーター市場だが、2012 年ごろより全体としての需要が落ち着き、今後は微増レベルが続くと予想される。その中で可処分所得の向上によるカスタマーのステップアップが拡大しており、プレミアムモデルの需要の伸張が見込まれている。このプレミアムモデルの需要にこたえるため GDR155 を開発した。GDR155 は、スクーターとして誇れるサイズ感とスタイリッシュなデザイン、そして他を圧倒するエンジンを組み込みながら、スクーターとしての機能も充実させた。本稿では、“ASEAN Best Sporty Scooter”と呼べるワンランク上の価値をお客様に提供できるモデルとなった GDR155 について紹介する。

2 開発の狙い

GDR155 は、ASEAN 地域の全体最適化を進めることで、開発効率の向上と規模効果によるコスト低減の実現を目指した。ターゲットユーザーは、ステップアップモデルの購入を検討している 20 ~ 30 代の上昇志向を持つ男性に設定し、以下の 3 項目を開発の狙いに定めた。

なお、多様化するお客様のニーズに応えるために、本モデルは 3 バージョンを設定している。

- ① BLUE CORE エンジンによる性能優位性確保と燃費向上
- ② 一目で分かる上級感とスポーティさを併せ持つ洗練されたデザイン
- ③ 前輪ABS やスマートキー、Stop & Start System 等の ASEAN スクーター市場における先進機能の付加

3 開発の概要

3-1. 性能と燃費を両立したBLUE COREエンジン

ASEAN スクーター市場においても、交通環境や経済環境の変化に合わせて、より大きな排気量が求められるようになってきた。より快適に、より楽しく移動したいというお客様のニーズに応えるため、本モデルでは “BLUE CORE” 思想で設計された NMAX のエンジンをベースに水冷 4ストローク・SOHC・155cm³ 単気筒・4バルブの CVT エンジンを新規開発した（排気量を 125cm³ としたエンジンも同時に開発）。“BLUE CORE” 思想とは①高効率燃焼、②高い冷却性、③ロス低減により“走りの楽しさ”と“燃費・環境性能”的両立を実現する設計思想である。クラス最高レベルの性能を実現するため、58 × 58.7 mm のボアストロークと圧縮比 10.5 : 1 のコンパクトな燃焼室を採用し、最高出力 11.0kW/8,000rpm、最大トルク 13.8 Nm/6,250rpm を達成した。従来の 125cm³ 水冷エンジンに比べて、同排気量でも低速から高速までトルク特性が大幅に向上しており、155cm³ ではさらに全域で性能が向上している（図 1）。

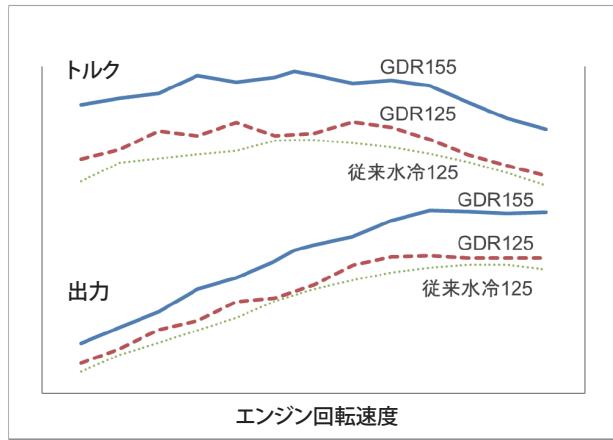
3-2. 初採用のSmart Motor Generatorシステム

3-2-1. 軽量、コンパクトなSmart Motor Generator (SMG)

エンジンの軽量化、コンパクト化を狙い、ヤマハモデルとしては初めて Smart Motor Generator を採用した（図 2）。Smart Motor Generator は、ジェネレータに電流を逆向きに流すことによって、始動用モーターの機能としても使用している。これにより始動用のモーターとギアを廃止すること

ができ、その結果エンジン単体で重さ約 900g の低減、エンジン幅 26mm の短縮を達成した。

また、Smart Motor Generator は、ギアを介さずクラランクを回転させるため、従来の始動機構で発生するギアの噛合音がなくなり始動音が静かになるメリットも得られた。



	最大トルク [N·m/min⁻¹]	最高出力 [kW/min⁻¹]
GDR155	13.8 / 6250	11.0 / 8000
GDR125	11.3 / 7000	8.8 / 8000
従来水冷 125cm³	10.4 / 6500	8.3 / 8500

図1 エンジン性能



図2 SMGシステム

3-2-2. 燃費効果を最大化した“Stop & Start System”

GDR155 は “Stop & Start System” を採用した。一定の起動条件下でアイドリング時のエンジン回転を自動的に停止し、再発進時にスロットル操作でエンジンを再始動する。本モデルでは、さらに燃費効果を高めるため、車両停止とほぼ同時にエンジンを停止させ、アイドルストップする機会を増やしている。これにより、アイドルストップを使用しないとき

に比べて、約 11% 燃費が向上する (ECE R40 モード 社内テスト値)。停止際や停止直後の再発進でも、エンジン回転速度やクラランク位相を読み取り、その瞬間に応じた再始動制御とすることで、快適性を確保している。また、渋滞路などでエンジン始動と停止を過剰に繰り返すことによるビジー感を抑えるため、走行状況に応じてエンジン停止回数を抑える制御を採用している。

3-3. 車体概要

3-3-1. 上級感とスポーティさを併せ持つ洗練されたデザイン

洗練されたデザインと機能向上のため以下のアイテムを採用した。

・14インチ極太タイヤ

スポーティで力強い存在感のあるデザインを実現するため、これまでの ASEAN スクーター市場にはない極太タイヤ (前輪 110/80-14、後輪 140/70-14) を装着した (図 3)。このサイズのタイヤの採用は走行時の安定感にも貢献している。



図3 14インチ極太タイヤ

・5.8インチフル液晶メーター

車両コンセプトである “ASEAN Best Sporty Scooter” のイメージを引き立てるため、インパクトのある 5.8 インチのフル液晶メーターを採用し、上級感を演出した (図 4)。中央部の大きなデジタル文字が速度、上段のバー表示がエンジン回転数を示している。VVA (可変バルブシステム (Variable Valve Actuation)) のハイカム作動時には、右側の VVA ランプが点灯する。その他、バッテリーの電圧表示、オド・トリップ、瞬間燃費・平均燃費 (2 モード)、時計などが表示可能である。



図4 5.8インチの液晶メーター



図6 シート下大容量収納

3-3-2. 軽量プラットフォームフレーム

軽量化を効率良く達成するために、フレームの計画当初に過去の開発ノウハウを活用し、強度・剛性・振動など注力するポイントの絞り込みを行なった。その結果、同車格 / 排気量の NMAX と比較し約 1.6kg の軽量化を実現した（図5）。

また、後続モデルでの開発効率を良くするため、後続モデル展開も考慮したフレームレイアウトおよび強度検証を実施した。

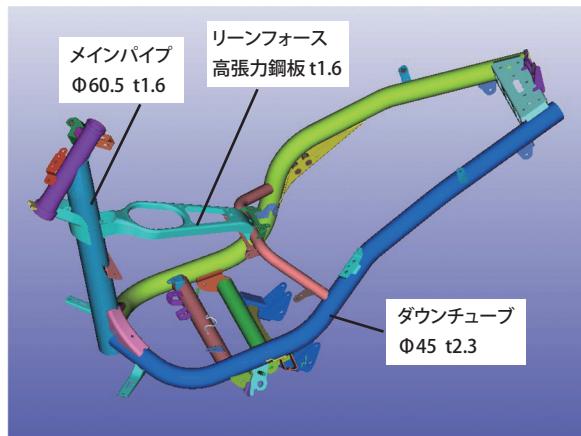


図5 新設計の高剛性・軽量フレーム

3-3-3. シート下大容量収納と蓋付きフロント収納採用による利便性向上

利便性の向上を図るため、シート下収納部はヘルメット + 雨合羽等が収納可能な 25L の大容量を確保し（図6）、フロント収納部にはワンプッシュ開閉リッドを採用した（図7）。



図7 フロント収納

3-4. 初採用の前輪ABS

ASEAN の小型スクーターでは軽量、低コストを狙い、後輪にドラムブレーキを用いることが主流であり、本モデルでも採用している。しかし、ドラムブレーキへの ABS 導入は難しく、従来と同じ前後輪 ABS を織り込むためには後輪をディスクブレーキ化する必要があり、重量およびコストアップとなる。

そこで本モデルでは、小型・軽量・低コストの ABS を実現するために前輪 ABS を ASEAN に初導入した（図8）。減速時車両安定性と減速度感確保を狙い、車両姿勢変化への影響が大きい前輪ロックを防止している。

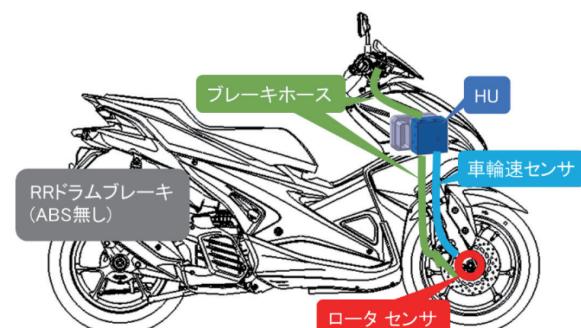


図8 前輪ABS概要

本ABSのハイドロリックユニットの開発では小型化、軽量化を実現するために、機能およびポンプ能力の最適化を行なった。その結果、コネクタサイズは従来品に対して20%の小型化、ハイドロリックユニット全体では、対従来品比で、19%の軽量化、38%の小型化を実現した。

3-5.スマートキー

お客様に上級感と利便性向上を感じて頂くため、当社小型スクーターでは初採用となるスマートキーシステムを上位バージョンに搭載した。本スマートキーではエンジン始動やシート下荷物へのアクセスといった動作を、ポケットや鞄から鍵を出すことなく行うことを可能としている。これまで当社はTMAXのような大型スクーターを対象にスマートキーシステムを採用してきたが、小型モデルで採用するためには低価格化が必要である。そのため、本スマートキーでは基本機能を維持しつつも一部機能の手動化、リモコンキー（携帯機構造の簡素化など、付加機能のスリム化を行なった。

このようなコストダウンを図る一方で、混雑した駐輪場で自分の車両を探す際に便利なアンサーバック機能やスマートキー紛失・電池切れ時にID入力でエンジン始動ができる機能等、ユーザーにとって魅力的な機能も多く備えている。また、他機種やバージョンへの展開を容易にするために、スマートキー用のメインスイッチはキーシリンダー式のメインスイッチと互換性のあるレイアウト形状とした（図9）。



図9 スマートキー式(左図)とキーシリンダー式(右図)のメインスイッチ

を豊かにする商品であり続けられるようにモデルを進化させていきたい。

■著者



鈴木 誠之(下段左から3番目)

Nobuyuki Suzuki
PF車両ユニット
コンポーネント統括部
機能ユニット技術部

石川 陽平(上段左端)

Youhei Ishikawa
エンジンユニット
エンジン開発統括部
第1エンジン開発部

谷口 将健(上段右から3番目)

Masatoshi Taniguchi
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

見崎 亮太(右上)

Ryota Misaki
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

小河 卓也(下段左端)

Takuya Ogawa
PF車両ユニット
PF車両開発統括部
SC開発部

4 おわりに

本モデルは、プレミアムモデルとして「上級感」と「スポーティさ」を両立するデザインと「要求機能を満たすパッケージ」を成立させ、ASEANスクーター市場における先進機能アイテムの取り込みを積極的に行なった結果、市場に好意的に受け入れられている。今後もプレミアムモデルとしての価値を提供し続けることでお客様の生活だけではなく心

旅の喜びを最大化する先進の大陸横断 グランドツアラー Star Venture

Star Venture Leading-Edge Transcontinental Grand Tourer for the
Ultimate Touring Experience

新庄 正己



Abstract

Motorcycle demand in the U.S.A. decreased significantly after the financial crisis in 2008, but began to recover from 2010. Notably, cruiser motorcycles account for approximately half of total demand. Furthermore, the fully-dressed specification category - a high price range suitable for long-distance touring as couples - is highly popular, comprising more than 40% of overall cruiser motorcycle demand.

With production beginning in June 2017, the new Star Venture represents the first all-new model of Yamaha Motor's ultimate fully-dressed cruiser since the launch of the Royal Star Venture 19 years ago. This report introduces the Star Venture, a cruiser showcasing the very best of Yamaha.

1

はじめに

米国のモーターサイクル需要は 2008 年の経済危機で落ち込んだが、2010 年を境に回復傾向を見せている。総需要の約半数を占めるのがクルーザータイプのモーターサイクルである。中でも夫婦二人での長距離ツーリングに適した高価格帯フルドレスクルーザーカテゴリーの人気が高く、クルーザー需要全体の 40% 以上を占めている。

2017 年 6 月に生産が開始された Star Venture は、ヤマハ発動機（以下、当社）が Royal Star Venture 以来、実に 19 年ぶりに世に出す最高峰フルドレスクルーザーモデルである。ヤマハクルーザーの集大成ともいえる Star Venture を本稿で紹介する。

独壇場であったため、Star Venture はそれらの製品を圧倒的に上回る商品魅力が不可欠であった。そのため開発初期に米国での長期合宿を行い、YMUS (Yamaha Motor Corporation, U.S.A.) と合同で新モデル構想について綿密な議論を進めた。そこで導き出した商品コンセプトが、「旅の喜びを最大化する先進の大陸横断グランドツアラー」であり、その達成のために必要な魅力は以下であると結論付けた。

- 様々な状況で気を使わずに扱える
- ロングライドが快適である（パッセンジャーも満足できる）
- ライディングを楽しめる
- GEN-X世代(1960年～1974年生まれ)の心に響くデザインである

これらの達成を目標に開発は進められた。

2

開発の狙い

企画起草の時点で、フルドレスクルーザーは競合社の

旅の喜びを最大化する先進の大陸横断グランドツーラー Star Venture
Star Venture Leading-Edge Transcontinental Grand Tourer for the Ultimate Touring Experience



図1 Star Venture フィーチャーマップ

3 開発の取り組み

フィーチャーマップを図1に示す。これらの機能について、
2. 開発の狙いで述べた4つの商品魅力ごとに説明していく。

3-1. 「様々な状況で気を使わずに扱える」ために

フルドレスクルーザーは、装備重量400kgを越える上にタンデムかつ積載走行の頻度が高いため、扱いやすさが重要視される。

3-1-1. 世界初SURE-PARK

取り回しを容易にすべく本モデルに搭載したのが、SURE-PARKである。このシステムは前後進専用モーター駆動により車両を微速移動できるものである。後進だけでなく前進もできるのは市販車世界初である。

シート左レバー（図2内右側）を下げるによりモーターギアがドッグリングと噛み合い、モーター駆動可能状態となる。その後ハンドルスイッチのボタン操作を行うことで前後進が行える（図2左上）。

3-1-2. 低重心化、低シート高

基本計画にて徹底した低重心、低シート化を検討した。これらを実現するレイアウト設計には特効薬は無いため、リヤフレーム一体化オイルタンク等の新規構造を始め、左右出しマフラー やサイドエアクリーナーなど数多くの部品最適配置を積み重ねた。その結果、シート高は足つき性の良さ

で好評をいただいているV Star250とわずか10mm差の695mmを達成した。



図2 SURE-PARK

3-1-3. 「様々な状況で気を使わずに扱える」ためのその他装備

- 砂の浮いた路肩からでも滑らかに発進できるTCS(トラクションコントロールシステム)
- ABS(アンチロックブレーキシステム)
- 前後いずれのブレーキ入力でも両輪効力が発生するUBS(ユニファイドブレーキシステム)
- 極低速でも安定する高剛性フレーム
- アシスト&スリッパークラッチ 等

3-2. 「ロングライドが快適である」ために

夫婦2人で3泊4日のツーリングを快適に行えることを狙いとした。

3-2-1. 旅がより楽しくなるインフォテイメントシステム

快適な旅を実現するため、当社初となるインフォテイメントシステムを搭載した（図3上）。主要機能は、①オーディオシステム、②ナビゲーションシステム¹⁾、③車両情報（タイヤ空気圧等）表示とヒーター類操作、④コミュニケーション（電話・無線¹⁾・乗員同士の会話等）であり、7インチのタッチパネルやハンドルに設置された5wayスイッチによって簡単に操作できる。

1)記載内容はパッケージにより異なる。
本文ではStar Venture TCの仕様を示している。



図3 インフォテイメント(上:画面例、下:スピーカー)

オーディオソースは、Bluetooth、SiriusXM（衛星ラジオ）など最大8種類¹⁾とした。出力は、前後4スピーカー¹⁾（図3下）と前後乗員それぞれに設定されたヘッドセットである。ヘッドセット装着時には前後乗員がそれぞれ独立した違う音源を聞くことができる機能（2ゾーンオーディオ）を世界初搭載¹⁾した。また、車速に応じた音量自動調整（SVC：スピードボリュームコントロール）なども搭載した。

ナビゲーションをはじめとした画面構成は、走行しながらでも即座に理解できるわかりやすい表示の実現を目指して開発を進めた。

当社モーターサイクルにとって初めてとなるこれらインフォテイメント開発は、まさに試行錯誤の連続であり、数多くの試作と現地テストを重ねて作り込んだ。

オーディオについては、ヤマハ株式会社との協業にて走行中でも高い音響効果の心地よいサウンドを作り上げることができた。

3-2-2. エアマネジメントシステム

ツーリングでは、風を感じたい状況と防ぎたい状況が混在する。本モデルでは、走行環境に応じて防風、導風をコントロールできるように電動スクリーンを採用した（図4上）。加

えて、胸元や足元への風も調整できるよう可変式のディフレクターを搭載している（図4下）。



図4 エアマネジメント(上:風洞、下:ディフレクター)

3-2-3. カテゴリー最大クラスの収納スペース

サドルバックは左35.2L、右32.1L、ツアートランクは70.1L容量の収納スペースを確保した。いずれも電子ロック機能を備えている。そのほか、メインライダー用に3箇所、タンデムライダー用に2箇所¹⁾の小物入れを設定し、クラス最大の収納力を誇る。

3-2-4. 「ロングライドが快適である」ためのその他装備

- 新規構造のエンジンラバーマウント
- グリップとシートにヒーター機能搭載
- 体格に応じて最適なライディングポジションを選択できる可変式バックレスト、レバー、タンデムフット
- クルーズコントロールシステム
- 高輝度LED採用ヘッドライト、フォグライト¹⁾ 等

3-3. 「ライディングを楽しめる」ために

当社が出す商品である以上、フルドレスモデルであっても走る楽しさは徹底的に追求した。

3-3-1. 吸排気系も一新した空冷Vツインエンジン

エンジンは、1854 cm³(113 in³) の空冷 OHV・Vツインである。ベースはXV1900Aとしながらも、フルドレスツ

アラーに求められるトルク特性、吸排気サウンドを実現するため、吸排気系、カムプロフィール、ポート形状の見直し、6速化など実に90%以上の部品を再設計した。プライマリーギア上にカムダンパーを配し、駆動トルク変動を吸収するとともに、ハイギアで巡航する際の良好な穏やかさを実現した(75MPHでのエンジン回転数は2,750r/min)。それに加えてどのギヤ、回転数からでも気持ちの良い加速ができる性能を作り込んだ。

3-3-2. 高剛性、高強度フレーム

重量モデルでの優れた操縦性と強度を両立させるために、骨格には部位に応じてロストワックス鋳造、鍛造、CFダイカスト(Controlled Filling Die Casting<制御充填ダイカスト>)などを使用している(図5)。

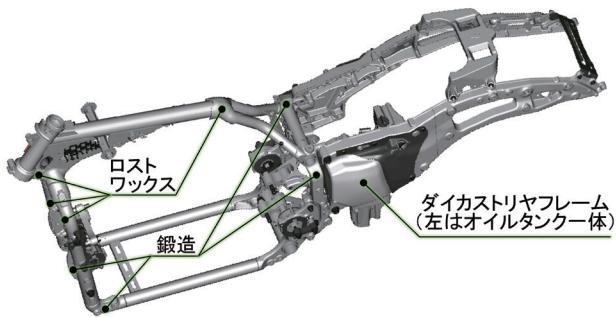


図5 フレーム

3-3-3. 「ライディングを楽しめる」ためのその他装備

- ・ クルーザー専用設計のブリヂストンEXEDRA G853タイヤの採用(リヤは新サイズ200/55R16M/C 77H)
- ・ SportとTouringを選択できるDモードの搭載 等

3-4. 「GEN-X世代の心に響くデザイン」を実現するために

「ヤマハクルーザーの最高峰としての上質な仕立てと、ダイナミックなパワーの融合」をコンセプトとし、
 ① 大陸横断するパワー・走る喜びの具現化
 ② 長距離を走る便利・快適機能の実現
 ③ カップルの時間を演出するエンターテイメント性
 をキーワードに車体全体、インフォテイメントのデザインを行った。

大排気量クルーザーを象徴するエンジンから生まれる「力」に焦点を当て、エンジンに空気が導かれ、空気を押しのけて前へ進む動きが見える造形とした(図6)。マテリ

アルにおいてもスチール製前後フェンダー、タンクというクルーザーの基本要素を継承した。さらに、樹脂製パーツを含めた各エレメントを調和させることで、全身で躍動感を表現するスタイリングとしている。フロントマスク、エンジン、サイドビュー、リアビューと、いずれもヤマハクルーザーの最高峰モデルに相応しい強烈な印象を与えるデザインを実現した。また、金属素材を生かしたパーツ形状や表面処理をエンジン・ボディに採用し、フィンなどには手作業の風味を与える仕上げに加え、快適な旅を演出するスピーカーレイアウトおよびシートやグリップのデザインにもこだわっている。



図6 Star Venture デザインイメージ

4 その他の取り組み

ここまで説明した開発内容に加え、本モデルでは以下の取り組みも行っている。

- ・ お客様が好みに応じて仕様を選択できる二種類のパッケージ設定(上位パッケージであるStar Venture TC<Trans Continental>)はディーラーオプションの設定)
- ・ YMUSによる26種類のアクセサリー同時展開
- ・ カジュアルフルドレスバージョン(Star Eluder)の同時開発

5 おわりに

本モデルはクルーザー最高峰モデルとなるべく、社内外の関係者が一丸となって非常に長い時間、多くのトライを重ねて生み出したモデルであり、その商品価値は胸を張るに相応しいものとなった。北米での発表会、プレステスト等でも非常に高い評価を頂いている。

本モデルの開発にあたり、ご協力頂いた社内外関係者の皆様に深く感謝するとともに、ひとりでも多くのお客様がStar Ventureとともに最高の週末を過ごせることを期待し、本紹介を終える。

■著者



新庄 正己 (前列左から2番目)

Masami Shinsho

MC事業本部

戦略統括部

統合戦略部

〔執筆時所属〕

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

SP開発部

杉浦利一 林智之 上江湧純司 Andrew Schwab



Abstract

Principally in North America, the ROV (Recreational Off-Highway Vehicle) market enjoys high demand with its wide range of uses from agricultural and farming work to recreational uses such as hunting and trail driving, as well as for sports and racing. Stable market growth is expected in the future. To cover this wide range of uses, Yamaha Motor has developed and launched the VIKING III, the VIKING VI, the WOLVERINE, and the YXZ1000R models.

Among the above uses, the respective manufacturers have been releasing new models which can accommodate multiple passengers to satisfy recreational demand for enjoying trail driving with friends and family. To meet the expectations of customers in the recreational segment - a field Yamaha Motor specializes in - we developed the WOLVERINE X4 4-seater recreational model, which is described in this report.

1 はじめに

ROV (Recreational Off-Highway Vehicle) 市場は北米を中心に、農業 / 酪農などの業務用途からハンティングやトレール走行などのレクリエーション、そしてスポーツ、レースまで幅広い用途と高い需要があり、今後も安定した成長が見込まれている。それら広範囲な用途をカバーするために、VIKING III、VIKING VI、WOLVERINE、YXZ1000Rを開発、市場導入してきた。

上記用途の中、レクリエーションにおいて、家族や友人とトレール走行を楽しみたいという需要に応えるため、各メーカーから多人数乗り新モデルが投入されている。ヤマハの得意領域であるレクリエーションを楽しむお客様の期待に応えるため、4人乗りリクリエーションモデル「WOLVERINE X4」(以下、本モデル)を開発したので、ここに紹介する。

2 開発の狙い

多様なリクリエーション用途に対応すること、加えてお客様に家族、友人とのOutdoor Adventure体験を共有し、楽しんでいただくため、下記3項目を主要なねらいとした。

- 1) 走破性: タイトトレールでの高い走破性と扱いやすさ
- 2) 快適性: 会話が楽しめ、大人4人が1日中乗車できる快適性
- 3) 利便性: 荷物置きにもなる可動式2列目シートとお客様との多様なニーズに応えるヤマハ純正アクセサリーパーツ対応

3 開発の取り組み

3-1. エンジン／駆動系

ヤマハ初の4人乗りレクリエーションROV用として、下記を目標に水冷4ストローク847cm³並列2気筒エンジン

とCVTトランスミッションの新規開発を進めた。

- ・走破性：低中速を重視した扱いやすい滑らかな出力特性と4人乗車でも余裕のある駆動力
- ・快適性：クラスNo.1の静肅性と低振動
- ・信頼性：過酷なオフロード走行における高い信頼性

本モデルはこれらの目標を達成し、車両としてタイトトレールでの走破性を向上するため、4人乗り車両でありながら、コンパクトな車体サイズであることが求められた。エンジンとトランスミッションは別体構造とし、連結構造体を介して締結する構造とした（図1）。これによりレイアウトの自由度が高まり、トランスミッションを1列目シート間に、エンジンを2列目シート間にバランス良くおさめるレイアウトを実現した（図2）。また、上記レイアウト採用により、今後のプラットフォーム展開を容易にすることも実現している。

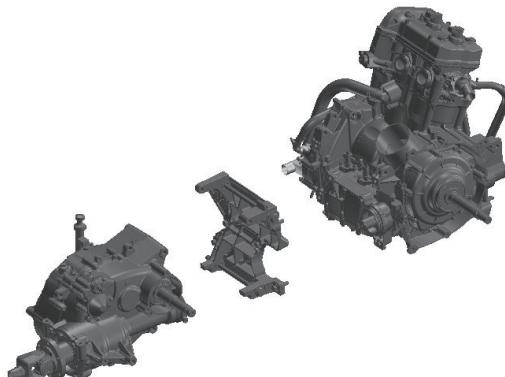


図1 連結構造



図2 エンジン/駆動系/吸・排気系レイアウト

3-1-1. エンジン

・性能特性

タイトトレールでの扱いやすさ、低中速を重視した滑らかな出力特性を狙い、エンジンはMT-07などヤマハモーター サイクルで定評のある並列2気筒270度位相クランクを採用し、ストローク/ボア比=0.98（ボア82.0mm、ストローク80.2mm）とした。目標とした低回転から力強くフラットなトルク特性は、上記270度位相クランク、ロングストローク化に加えて、オフセットシリンダーやカムプロフィール、バルブタイミング、吸排気管長等の最適化等により実現した（図3）。

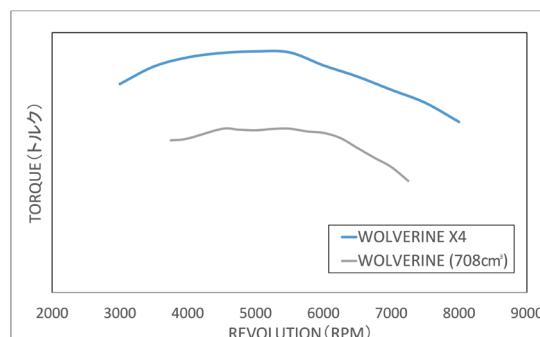
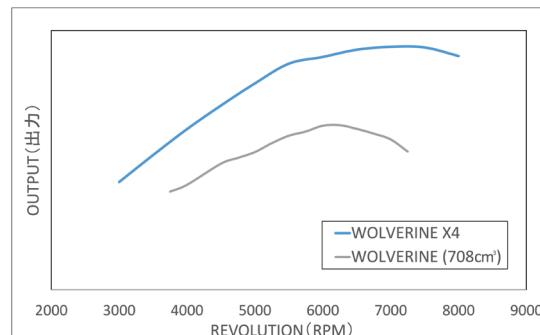


図3 出力／トルクカーブ

・低振動

鍛造ピストン採用による往復物質量の低減、アイドリング回転数の低回転化（1,300min⁻¹）、270度位相クランク+1軸バランサー構成と後述するエンジンマウント構造とのマッチングにより、クラストップレベルの低振動を達成した（図4）。

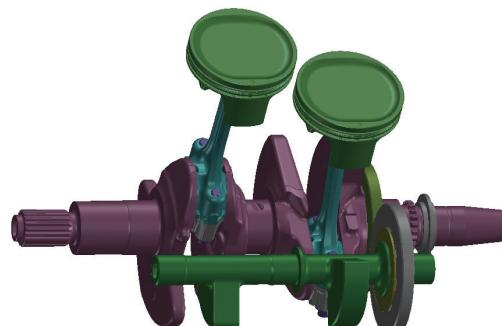


図4 270度位相クランク+1軸バランサー、鍛造ピストン

・コンパクト化と信頼性

潤滑構造には、エンジン下部にオイル溜まりをもたないドライサンプ構造を採用した。ヤマハスノーモビルのエンジンで培ったノウハウを生かしてオイルポンプはスカベンジャー タ2個、フィードロータ1個の3ロータ一体構造とし、ブローバイガスの分離機能は別体のオイルタンクに集約した。これにより、ROV特有の前後左右の厳しい傾斜特性においても安定したエンジン油圧を確保しながら、クランク軸からエ

エンジン下部までの距離を短縮、ロングストローク化によるエンジン全高上昇を解消し、コンパクト化を実現した（図5）。

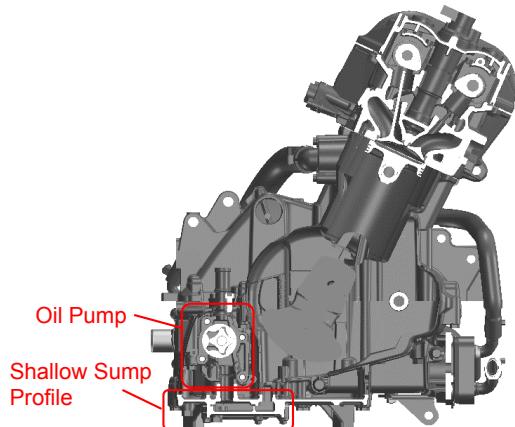


図5 コンパクトなエンジンを実現したドライサンプ構造

3-1-2. トランスミッション

ATV、ROV にて実績のあるウルトラマチックトランスミッション（全速度域で滑らかな走行とエンジンブレーキの動作を可能とする駆動、変速システム）構造を踏襲しながら、4人乗り時の十分な駆動力確保と伝達トルク増加に対応するため、トランスミッションを新開発した。

・駆動力

トレールでの登坂走行において十分な駆動力を発揮すること、および障害物の乗り越しや牽引等の実用用途においてより力強い駆動力を得るため、従来の2人乗りモデルに対し High レンジで +6%、Low レンジで +30% 総減速比を変更した。エンジン最大トルク 47% 向上と合わせて走破性および余裕度の向上に貢献している。

・信頼性

伝達トルク増加に対応するため、発進用の大径サイズ遠心式クラッチ、高強度の前後ファイルギヤを新規開発した。CVTベルトにはスノーモビルで実績のある高強度材料の採用、CVTプライマリーおよびセカンダリーシーブの大径化、ベルト室冷却性能の向上等により、市場において定評のあるヤマハウルトラマチックトランスミッションの信頼性を実現した。

3-1-3. クラスNo.1の静肃性の実現

・エンジン、トランスファーケース

ヘッドシリンダーカムチェーン室、エンジンサイドカバーや

クランクケース、トランスファーケースなどあらゆる箇所の放射面剛性を高めることでエンジンから発生するメカノイズの低減を図った。

・マフラー

4室反転膨張構造の7.4L大容量マフラーの採用により、270度位相クランクの小気味のよいパルス感と、静肃性を両立した。

・エアクリーナー／アクュムレータ／吸気ダクト

エアクリーナーは11.5L、アクュムレータは9.2Lの大容量とし、吸気ダクトも加えた全部品の壁面剛性を徹底的に高めることにより、さらなる吸気音低減に貢献した。

・トランスミッションギヤ、前後ファイルギヤ

HIレンジ、LOレンジ、ミドルギヤにはす歯ギヤ、ミドルベルギヤ、フロントデフ、リアギヤにスパイラルベルギヤを採用することで、ギヤの噛み合い音低減をねらった。

3-2. 車体概要

本モデルのねらいを具現化するため、コンパクトな車体ながら、大人4人が快適に座れる車内空間パッケージングを実現した。新規エンジンに合わせて開発したフレームおよび主要コンポーネント部品は、次世代プラットフォームとして、展開が予定されているモデルの要件も考慮し、開発を行った（図6、図7）。

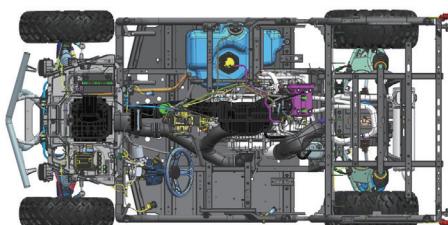


図6 主要部品の車体レイアウト



図7 コンパクトながら、大人4人が乗車できる車体

3-2-1. 車体サイズ・レイアウト

タイトトレールでの走破性を確保するため、全長は現行 WOLVERINE(2人乗り)に対し+130mmの3100mm、ホイールベースは+35mmの2100mmにとどめ、タイヤ外幅は△約40mmの約1500mmにおさめた。

このコンパクトな車体と、大人4人が快適に乗ることができると居住性を両立するために、シートレイアウトは前後2座席列とし、エンジンおよび補機類はセンターコンソール内におさめる等の部品レイアウトを実施した。

また、2列目の着座位置を1列目に対し100mm上方へ設置したことにより、座席下の部品レイアウト効率を高めるだけでなく、快適な後席乗員空間と、良好な前方視界にも寄与している(図8、9)。

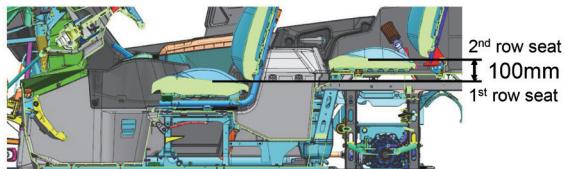


図8 快適な2列目の足元空間



図9 2列目から良好な視認性

3-2-2. フレーム構成

本モデルのフレームは、レクリエーショナル ROV の次世代プラットフォームとすべく開発した。モデルの要求機能を、Clip と呼ばれるモジュールの組み合わせで作り上げる 3 モジュール構造により、同一ラインで複数のフレームを溶接できる柔軟性を確保し、合わせて溶接ライン構成の汎用性向上や、溶接自動化率向上の製造要件も織り込んだ(図 10)。

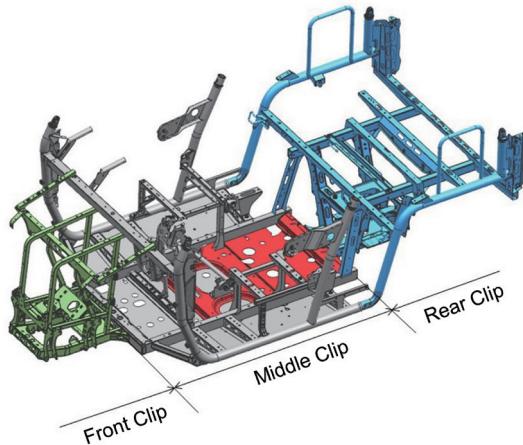


図10 モジュール構造のフレーム

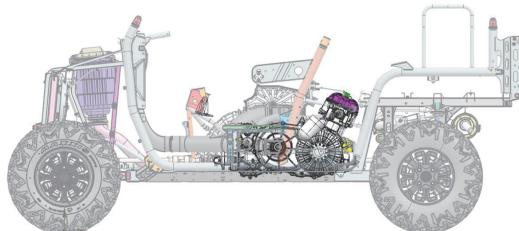


図11 車両中央にレイアウトされたエンジン

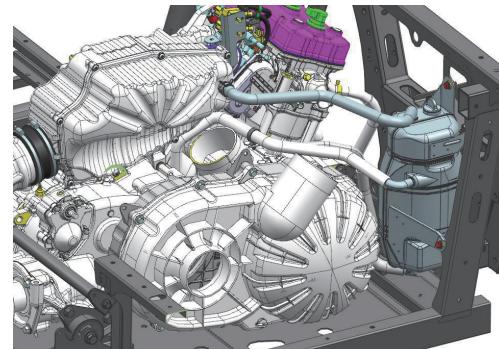


図12 別体オイルタンクによるドライサンプ化

操舵系には電動パワーステアリングを標準装備し、アライメント変化の少ないジオメトリと組み合わせることによって、ヤマハ・ハンドリングを具現化し、ショートホイールベース化による 4.5m の最小回転半径も相まって、タイトトレールにおいても意のままに操れるハンドリングを実現した。

サスペンションは、前後とも路面追従性の高いダブルウイッシュボーン方式の採用に加え、アームにはスタビライザーを装着し、様々な走行路面における良好なハンドリングに寄与している。

ショックアブソーバーは、フロント側はプリロード調整機能付き低圧ガスクッション、リヤ側はヤマハ ROV 初のセルフレベリング機能付きのガスクッションを採用した。積載負荷により、最大 58mm ストロークが無積載状態まで自動復元する

3-2-3. 走行性能

ドライサンプ方式のエンジンを車両中央に設置し、マスの集中化・重心位置の最適化による運動性能の向上を図った(図 11、12)。

ことで、多人数乗車時においても悪路走行性能を確保している。

3-2-4. 車体低騒音・低振動技術

クルージング走行での静謐性を確保するため、前述のエンジン低騒音技術のほか、エアクリーナおよびCVTダクト吸入口をキャビンから離れたフード内で開口、耳音騒音の低減を図った。エンジンおよび補記類からの通過音を抑制するために、センターコンソール内側に吸音材を設置し、内装部品の隙間はゴム部品等でシールすることで静謐性を確保した。

低振動化には、傾斜角度およびせん断／圧縮方向のばね定数を最適化した新規開発エンジンマウントを前後左右4箇所に配置し、アイドリングおよび常用使用領域での体感振動の向上や快適性に寄与している（図13）。

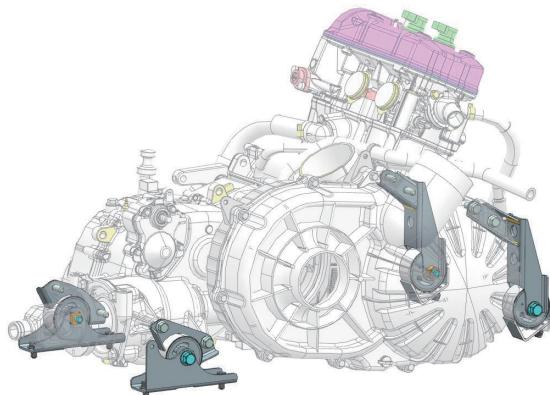


図13 新規開発エンジンマウント

3-2-5. 快適装備

運転席にチルトステアリング機構と、スライドシートアジャスタを装備することで、ドライビングポジションの調整しやすさ、および乗降しやすさを向上させた。

また、走行中の車体揺れに対する快適性向上をねらい、バケットタイプシートを全席に装備した。さらに、パッセンジャー席には、自然な姿勢で体を保持しやすい位置にハンドホールド、しっかりと踏ん張ることのできるフロアボードを設置することで、悪路でも安心して長時間走行できる快適な座席環境を準備した。

3-2-6. 実用装備

可動式2列目シートを車両前側へ折り畳むことで、実用的なカーゴスペースが出現し、積載能力も約270kg（後席エリア全体で）と十分な値を確保した。

ほかにも、1操作で開閉できるテールゲートの採用や、グローブボックス、センターコンソールへの収納スペースの設置等、ユーザーの利便性を追求した。

また、約900kgを有するトレーラーヒッチの牽引許容荷重は必要十分であり、これらの装備により様々なシチュエーション／用途で使用できるROVとなっている（図14）。



図14 実用性の高い車体装備

3-2-7. 電装系部品

- ・ヘッドライト、テールライト：LED式を採用し、夜間での視認／被視認性を確保している。
- ・メーター：従来モデルに対し、表示情報を追加し、36%大型化したLCD式デジタルスピードメーターを新規開発することで、様々な環境下において良好な視認性を有している（図15）。



図15 新規開発スピードメーター

- ・電子スロットル：扱いやすく、より綿密なスロットル制御を行うため、ヤマハROV初の電子スロットルを新規開発した。
- ・Speed Management System：車両最高速度を簡単に制限できる機能で、フード内に追加した取り外しができる専用キーでON/OFFを操作する。ON時には、最高速度が約40km/hに制限される（図16）。



図16 Speed Management Systemキー

3-2-8. アクセサリー対応

YMSC(Yamaha Motor Corporation, U.S.A.)CSG(Customer Support Group) アクセサリー開発と協働し、開発初期からアクセサリーパーツ装着の要件を本体仕様に織り込み、同期開発を実施した。結果、これら純正アクセサリーパーツは、車両販売時期に合わせて準備することができた（図17）。



図17 純正アクセサリーパーツ装着車

4

おわりに

YMMC(Yamaha Motor Manufacturing Corporation)およびYMSC CSGアクセサリー開発陣との協働によりUS市場調査、現地テストを実施するとともに、これまで培ってきたATV/ROVの開発経験だけでなく、MC/SMBのノウハウも取り入れ、コンパクトな車体ながらも大人4人が快適に乗車でき、タイトトレールで扱いやすく、高い走破性をもった商品を開発することができた。本モデルを市場導入することでROVに対する

間口が広がり、より多くのお客様が家族、友人と共にOutdoor Adventure体験を共有し、楽しんでいただけたと確信している。今後も進化を重ねることで、お客様の期待を超えるROV市場の成長に貢献でき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をしていただきたい。

<Message from YMMC-PD>

The ROV market is expanding, customer expectations are increasing, and therefore the development of model variations is required. These trends also require that Yamaha create a market defining product. The 2018 Wolverine X4 is the next level of quality and refinement for Yamaha ROV's. The Wolverine X4 is the ideal solution for customers who want a compact, nimble, refined ROV that excels in tight woods and open trails. The Wolverine X4 excels in all-terrain ability, comfort, quietness, and versatility as a compact four-passenger vehicle, qualities which are not available from competing products.

The development plan for the Wolverine X4 was to adapt the platform concept theme to the four-passenger format, and also to build the foundation for future model development. Future models will be created based on a vastly different concept, but will still leverage the components and processes developed for the Wolverine X4. This approach has reaped benefits already on the first variation concept model by improving development maturity while also reducing component numbers and factory investment.

The Wolverine X4's versatility and key selling feature derives from its convertible seating/cargo configuration within a two-seater class vehicle. Customers can easily, without tools, adjust from two seats and a large cargo space to four seats and still retain sufficient cargo space for a cooler and basic supplies. This versatility was achieved while maintaining a similar level of comfort between the front and rear occupants. The high levels of versatility and comfort, along with its compact size and nimbleness, give the Wolverine X4 an advantage over its competitor products.

YMMC PD was honored to partner with YMC RV on the

development of the Wolverine X4. It was a challenging project, but we believe that we have created a fantastic vehicle in the Wolverine X4. Accomplishing all of a project's goals is the role of engineering, and the Wolverine X4 is worthy of all the hard work and innovation that YMMC PD and YMC RV put into its development.

■著者



杉浦 利一(前列左端)

Toshikazu Sugiura

ヤマハ&リュージョン事業本部

RV事業部

開発部

林 智之(中列右端)

Tomoyuki Hayashi

ヤマハ&リュージョン事業本部

RV事業部

開発部

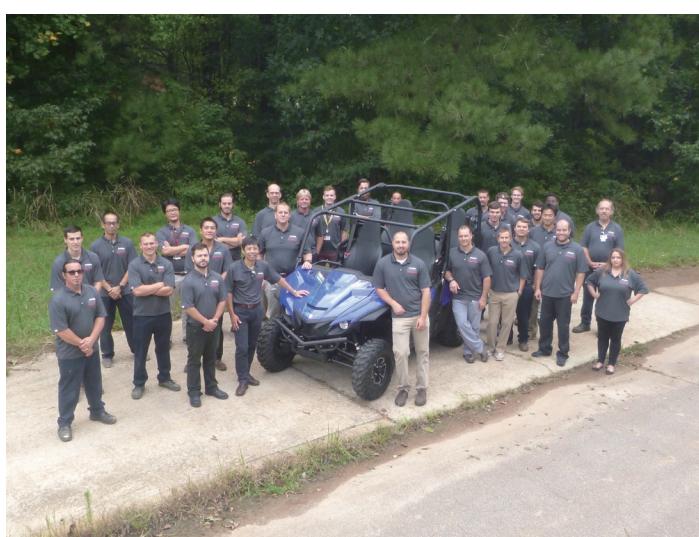
上江洌 純司(前列中央)

Junji Uezu

ヤマハ&リュージョン事業本部

RV事業部

開発部



Andrew Schwab

YMMC

Terrain Vehicle Product Development

Masa Saito Jim Vizanko Lauren Nasca Brian Rupnow
Masanobu Yamamoto Yuta Shibasaki



要旨

SMB (Snow mobile) 市場は、High Performance (高性能・軽量化) 領域への進化が著しい。しかし、雪上の遊びは High Performance を求める大人にだけ与えられたものではない。子供の頃から雪上の遊びとして、親と子、そして孫と一緒にトレールを走る、バックヤードで遊ぶなど、SMB でその楽しみを享受した子供・若者は、大人になってもその楽しさを忘れない。この環境・サイクルによって雪上における遊びの文化は継承され、ファミリースポーツとして遊ぶ楽しみこそが、この文化を支えている。

ヤマハ発動機は、2018 年にスノーモビル生産 50 周年を迎える。この節目の年に市場の要望に応えるべく、家族みんなで楽しめる Youth model 「スノースクート (Snoscoot)」を開発したのでここに紹介する。

1

INTRODUCTION

In recent years, the snowmobile market has seen a remarkable shift towards the high performance (high output and light weight) category. However, it is not only adults who demand high performance fun in the snow. The enjoyment that snowmobiles bring to children and young people stays with them into adulthood, and riding together in backyards or on trails is established family fun in the snow for parents and children or grandchildren. In such an environment, the culture of snow leisure is inherited through this generational cycle, a culture which is built on enjoyment as a family sport. 2018 will mark the 50th anniversary of snowmobile production by Yamaha Motor. To mark this milestone while meeting market expectations, Yamaha Motor has developed the Snoscoot youth model. This report provides details of the new model's development.

2

DEVELOPMENT AIMS

Five years ago, Yamaha Motor launched the kids' model (category for riders aged 8 and under) SRX120. The new Snoscoot has been developed for young people (aged 8 to 12) stepping up from kids' models towards full-sized adult models.

In order for the Snoscoot youth model to increase demand among young people and attract interest in snowmobiling among a new family market, the following three development targets were set in order to create a model which all of the family can enjoy together.

1. Comfort: Riding stability and sense of acceleration on hard, flat surfaces
2. Off-road performance: Maneuverability for operation as the rider intends in wooded areas, as well as boondocking (free off-trail riding in deep snow)
3. Accessory lineup: Developing a wide range of

accessories to suit the demands of the youth market for customization

3 DEVELOPMENT INITIATIVES

3-1. ENGINE

Engine development for the Snoscoot aimed to achieve both more efficient development and cost reductions by using an existing engine, but one which went beyond those previously used in Yamaha Motor snowmobiles.

The base engine selected was the YMPC (Yamaha Motor Powered Products Co., Ltd.) MZ200 multi-purpose 4-stroke engine (Fig.1), which, while already delivering high reliability and low cost, was further improved in the following four ways (Fig.2).

- Starting in low temperatures
- Operation during snow fall conditions
- Harmonizing with intake and exhaust systems
- Performance improvement through matching with the CVT transmission



Fig.1 MZ200



Fig.2 MZ200SMB improved for fitting to the Snoscoot

3-2. DRIVETRAIN

The all new drivetrain (Fig.3) for the Snoscoot was designed to transfer power efficiently and inspire confidence for the rider. The new Snoscoot pairs a Yamaha multi-purpose engine with a CVT drivetrain to

deliver power across a broad range of speeds. The drive train system was developed with a CVT and drop case combination to increase the performance of the vehicle. The CVT is tuned for hard-packed trails (Fig.4) while also functioning exceptionally well off-trail (Fig.5). The drop case was designed with a cogged belt for maximizing efficiency along with reducing maintenance and weight. The newly-designed drivetrain and testing calibration meet the demands of all riders and bring a high level of confidence both on and off trails.

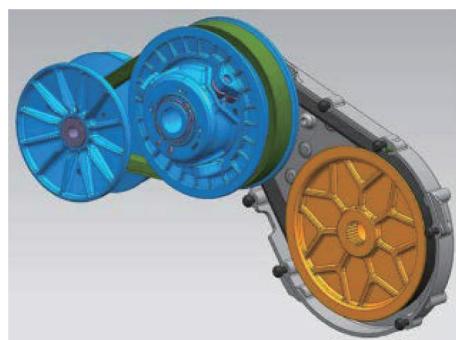


Fig.3 New drivetrain



Fig.4 On-trail scene



Fig.5 Off-trail scene

3-3. SKIS

The new small skis from Yamaha were created specifically for this smaller vehicle application, and for riding both on and off trails. These skis offer the best balance between light weight and light steering effort while still maintaining maximum floatation for off trail fun (Fig. 6, Table 1). The light steering effort allows the rider to enjoy the excitements of riding for longer without tiring. The keel and runner were designed to maximize rider inputs with little effort while minimizing negative feedback from the terrain. These skis were designed to be less intimidating for newer riders, allowing them to increase their riding skills quickly on and off the trail.

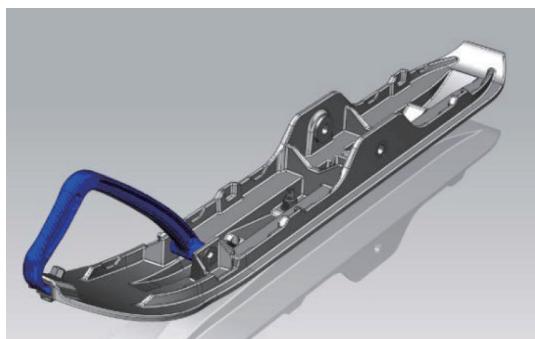


Fig.6 New ski

Table1: Design Spec

	SRX120	Target	Aftermarket	Snoscoot
Notes	Too small	← →	Too large	
Length	640mm	710mm	780mm	710mm
Width	100mm	110mm	120mm	110mm
Weight	1.0kg (2.2lb)	<1.0kg (<2.2lb)	2.15kg (4.75lb)	0.86kg (1.90lb)

3-4. EXTERIOR DESIGN

The body panels were designed to demand and capture attention while retaining light weight and a simple construction (Fig. 7). The styling gives the snowmobile an agile and aerodynamic look. However, the panels still function well, sheltering the rider from the environmental elements.

The overall shape draws the eyes over the entire length of the snowmobile, flowing from the front tuning fork to the seat.



"FLASHY"
for newcomers



"RACING BLUE"
for family sports & racing

Fig.7 Coloring & Graphics

3-5. ERGONOMICS (RIDING POSITION)

This snowmobile was a great challenge to comfortably fit many body sizes, from large adults (Fig. 8) to small-sized youth generation (Fig. 9) A small brand-new rider will sit comfortably on the seat with an easy reach to the handlebars and levers. At the same time an experienced full-sized rider has the room to sit fully back on the seat and enjoy the performance to the fullest. The narrowed and lowered front seat shape allows the rider to move around freely during off trail riding. Finally, the controls are all within easy reach. This snowmobile is designed for fun accessible to all.

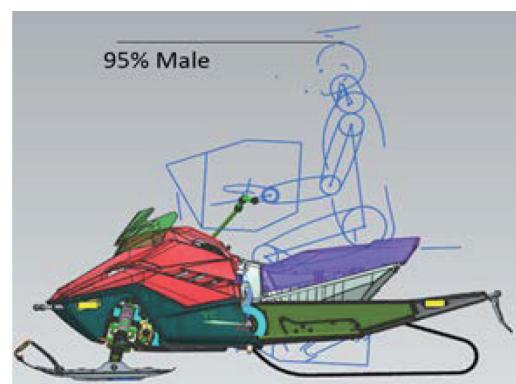


Fig.8 Design ergonomics



Fig.9 Riding position



Fig.10 2018 Snowmobile of the Year

4

CONCLUSION

This report describes the development of the youth-oriented Snoscoot snowmobile, which all of the family can enjoy together. The development program achieved its goals of comfort and off-road performance while still achieving cost targets, which were endorsed by evaluations of test vehicles by target customers. The Snoscoot has also been chosen by a prominent media outlet as 2018 Snowmobile of the Year (Fig. 10), and has been well-received by the market.

It has been some time since youth models using 2-stroke engines have disappeared from the snowmobile market due to increasing emission standards. Yamaha Motor hopes that by returning to the essence of snowmobiling - family sports fun - the new Snoscoot will reinvigorate the market.

■著者**Masa Saito**

Yamaha Motor Corporation
U.S.A
Minocqua R&D Center

**Jim Vizanko**

Yamaha Motor Corporation
U.S.A
Minocqua R&D Center

**Lauren Nasca**

Yamaha Motor Corporation
U.S.A
Minocqua R&D Center

**Brian Rupnow**

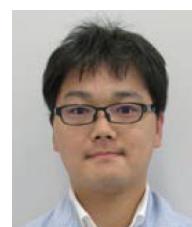
Yamaha Motor Corporation
U.S.A
Minocqua R&D Center



Yamaha Motor Corporation U.S.A.
Minocqua R&D Center - all staff



山本 正信
Masanobu Yamamoto
ヤマハモーター
パワープロダクツ株式会社
PP事業部
開発部



柴崎 佑太
Yuta Shibasaki
ヤマハモーター
パワープロダクツ株式会社
PP事業部
開発部



Abstract

Around the world, a wide range of boats for a multitude of applications use outboard motors in the 25-horsepower class. These include the jon boats (lightweight flat-bottomed aluminum boats designed for ease of use) popular in North America, aluminum V hull boats, FRP boats, inflatable (rubber) boats, and wasen Japanese-style boats.

Yamaha Motor has previously launched 4-stroke outboard motors in order to make its products more environmentally friendly. However, the existing 4-stroke 25-horsepower outboards can be large and heavy on boats designed for 2-stroke 25-horsepower outboards. Many customer requests have been received for a new 4-stroke 25-horsepower model which is lightweight, compact, and has solid power delivery to enable direct replacement of 2-stroke outboards. In addition, there is strong market demand for outboards equipped with fuel injection systems. In particular, there is demand for battery-less fuel injection systems to suit the compact outboard motor format, but which still deliver easy and reliable starting, strong performance, with good fuel efficiency.

Given this background, the F25G was developed as a lightweight and compact outboard motor which still provides higher performance and usability than previous models.

1 はじめに

北米で人気のジョンボート（軽量で手軽な平底のアルミボート）をはじめ、アルミVハルボート、FRPボート、インフレタブルボート（ゴムボート）、そして日本の和船、世界各国で25馬力船外機は多様なボートに取り付けられ、多様な使われ方をしている。

ヤマハ発動機では、環境対応船外機として4ストローク船外機を市場導入しているが、当社既存モデルの4ストローク25馬力は、2ストローク25馬力が搭載されていたボートにとっては大きく重たい場合もあり、2ストローク25馬力との置き換えが可能な軽量・コンパクトでしっかりしたパワーを持つ新しい4ストローク25馬力モデルを待ち望む声が多く寄せられていた。

また、市場のフェューエルインジェクションシステム搭載への要望は強く、特に小型船外機であることからバッテリの搭載無しでも高い始動性能、パフォーマンス、燃費性能を発揮できるバッテリレスフェューエルインジェクションシステムの採用が要望されていた。

そのような背景の中、F25Gは軽量コンパクトでありながら、より高い性能、利便性を追求する船外機として開発された。

2 開発の狙い

- F25の開発コンセプトは、以下の2つに設定した。
- 2ストロークモデルとの置き換えが可能な「軽量F25」
- 信頼性の高い始動性を実現する「バッテリレスFI」

具体的には、以下の 5 項目を開発の目標として定めた。

- (1) 乗船時、航走時の安定したボートバランス、十分なパフォーマンス、ドライバビリティを引き出すことができる、2ストロークモデルとの置き換えが可能な軽さとコンパクトさとパワーを実現する。
- (2) 船外機の基本である始動性に対して、種々の環境下でも高い信頼性と性能を発揮し、バッテリ無しでも使えるバッテリレスフルエルインジェクションシステムの搭載と「座って片手で一発始動」を実現する。
- (3) 小型船外機ならではの可搬性に対して、軽量・コンパクトであることに加え、キャリング時・リギング時に使いやすいグリップやエンジンハンガ、レストパッドの採用により、保管や運びやすさを向上させる。
- (4) 使いやすさを追求したシフトレバーや、トローリングスピード可変スイッチの採用および小回りのきく大きな舵角の実現により操作性を向上させる。
- (5) 様々なボート、用途に適合できる本体バリエーションと各種コンバートキット、上位モデル同様のイモビライザやマルチファンクションメータ等の充実した市場オプションを設定する。

マニュアルハンドル、マニュアルスタートの軽量コンパクトなベーシックな仕様から電動スタート、パワートリム&チルトを備え、イモビライザ、マルチファンクションメータにも対応できる充実した仕様まで、お客様の種々の御要望に応えることができる船外機を目指した。

表 1 に主要諸元を示す。

表1 主要諸元

モデル名	F25GMH	F25GWH	F25GET
トランサム高さ	S	L	L
質量	57kg	62kg	64kg
始動方式	マニュアル	マニュアル&電動	電動
操船方式	マニュアル/シンドレ	マニュアル/シンドレ	リモートコントロール
最大出力	18.4kW (25ps) /6000rpm		
全開回転域	5000-6000rpm		
トローリング回転数	850-950rpm (VTS 使用時 750-1050rpm 50rpm 毎)		
エンジン形式	4ストローク SOHC2 気筒		
排気量	432cm ³		
燃料供給方式	電子制御燃料噴射		
点火方式	CDI マイクロコンピュータ		
発電容量	16A		
チルト機構	マニュアルチルト	マニュアルチルト	パワートリム アンドチルト
舵角	左右 45°		
シフトポジション	F-N-R		
ギヤ比	2.08 (27/13)		
燃料	レギュラガソリン		
故障診断システム	ダイアグノシス		
盜難抑止機能	-	-	Y-COP (オプション)

3

商品の特徴

3-1. 軽量コンパクト

ボート姿勢の安定化、安心して舵を切ることができる操縦安定性、航走性能を十分に引き出し、また取り付けや運搬時の利便性を大幅に向上すべく船外機本体の軽量化とコンパクト化に取り組んだ。

パワーへッドのコンパクト化、ガイドエキゾーストとオイルパンの一体化、アップケース内部構造の簡素化、ブラケットの強度と軽量化を両立させる最適形状の作り込み、低比重 SMC (Sheet Molding Compound) 材を適用したトップカウリング、ボトムカウリングの薄肉化等、部品一点一点にわたり、その構成、強度と重量を見直し設計することで、既存モデル F25DMHS の 77kg に対し、F25GMHS は 57kg と大幅な軽量化を達成した。また、サイズは図 1 に示すごくコンパクトなものとなっている。

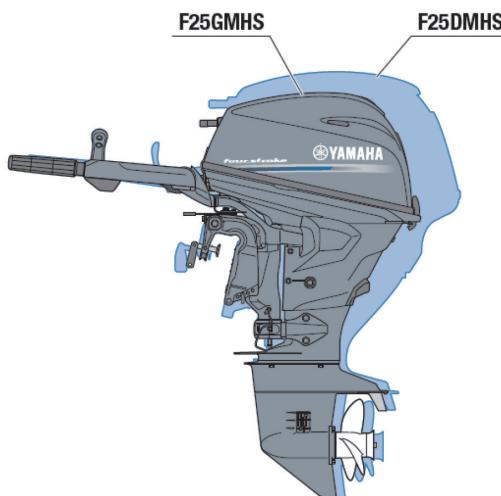


図1 F25Dとのサイズ比較

3-2. パワーへッド

ガイドエキゾースト、オイルパン等ミッドセクションのサイズ、カウリングのサイズに大きな影響を与えるのはパワーへッドのシリンダ方向長さとクランク軸方向高さである。そこでデッキハイド、シリンダヘッド高さを押えた直列 2 気筒、バルサ無しの排気量 432cm³ の設定とした。

ピストン、アルミ鍛造コネクティングロッドで軽量化を図り、2 気筒 360 度クランクによる加振力の抑制に取り組んだ。また各部合面の小型化、エキゾーストカバーの一体化等軽量化、サービス性の向上も織り込んでいる。

3-3. バッテリレスフューエルインジェクション

全仕様ともフューエルインジェクションシステムを搭載しているが、マニュアルスタートで始動するM、W仕様はバッテリ無しでも始動、運転が可能なバッテリレスフューエルインジェクションシステムを採用した。

マイクロコンピュータによる点火制御、燃料噴射制御、エンジン回転数制御、フェールセーフ制御等を織り込み、さまざまな環境下における始動性、燃費、ドライバビリティの改善、信頼性の向上に取り組んだ。また故障診断機能のダイアグノシスも備えている。

始動性においては、マニュアルスタートの引き荷重低減および引き長さの短縮によって、「座って片手で一発始動」を実現するために、ECU起動時間、点火タイミング検出、燃料昇圧時間の短縮を図るとともに、始動デコンプの最適セッティングや最適なリコイルドラム径の選定等を施した。

また、フロートチャンバーASSY（VST）のケースはアルミダイカストから樹脂化し軽量化を図った（図2）。

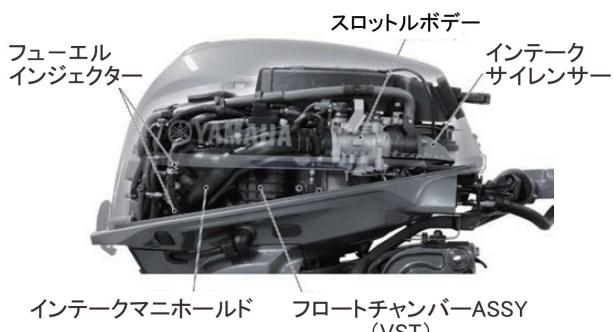


図2 インジェクションシステム

3-4. マウントシステム

上下のマウントには、防振効果の高いブッシュタイプのマウント構造を採用した。従来のアップーマウントを収納しているガイドエキゾーストは、オイルパンと一体構造とし、アップーマウントはオイルパンの外側に配置した（図3）。

このワイドスパンアップーマウント構造により、船外機の重心を確実にマウント配置内に収めることができ、振動の低減、操縦安定性の向上を図ることができた。また、アップーマウントの点検整備はパワーヘッドを降ろすことなく可能となり、サービス性の向上に一役買うとともに、船外機全体フォルムの大きな特徴となっている。

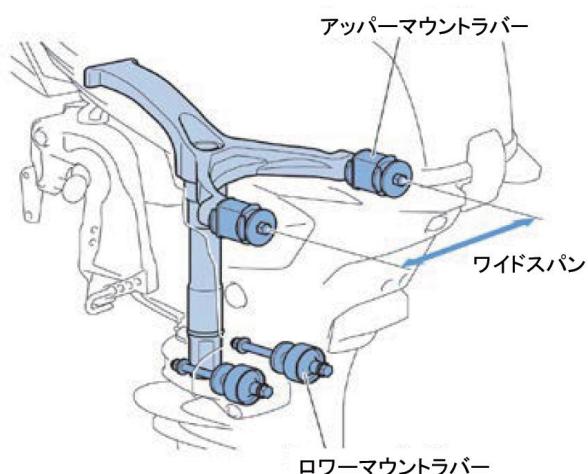


図3 マウントシステム

3-5. ドライブシステム

ギヤケースはロックヒット（水面下の岩とギヤケースの衝突）で名高いカナダフィッシングキャンプ市場で鍛ってきた2ストローク25Nモデルのギヤケースを採用した。ギヤ比はプロペラバリエーションとのマッチング、ロックヒット時のギヤ歯耐力から2.08を選定した。パワーヘッドのトルク、電子制御での加速セッティングと相まって、2ストロークモデルに劣らない加速性能を実現している。

3-6. 操船システム

操舵方式としては、マニュアルハンドル仕様とリモートコントロール仕様を設定しており、マニュアルハンドル仕様としては、コンパクトなハンドルと大型のマルチファンクションティラーハンドルの2種類を取り付け可能とした。

どちらのハンドルにもバリアブルトローリングスピードスイッチ（VTS）を装備しており、スイッチ操作によりエンジン回転数を750rpmから1050rpmまで50rpmごとに容易に調整できるようにして、フィッシングでのトローリングスピードの低速化、簡単な速度調整の要望に応えている。またリモートコントロール仕様では、ヘルムマウントスイッチ、コマンドリンクメータのスイッチでトローリング回転数調整ができる。

シフトレバーは、運転姿勢を大きく変えることなく意識せずとも位置がわかるようにスロットルグリップの傍らに配置し、進行方向と同じ前後の動作で操作するようにした（図4）。

チルトシステムは、マニュアルチルトとパワートリム&チルトを設定しており、舵角は片側45度の大きな切れ角を確保したことから従来機よりも小回りのきく操船が可能となった。

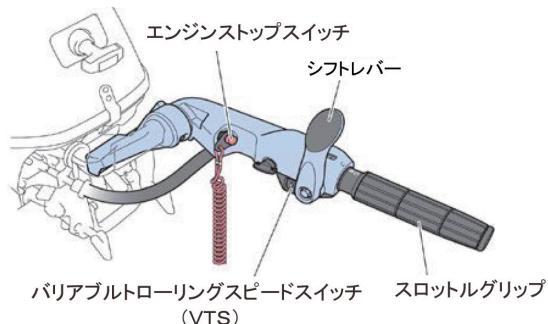


図4 マニュアルハンドル

3-7. 運搬・保管

小型船外機ゆえ、ボートへの取り付け・取り外しは頻繁に行われる。そのため、前側3箇所、後ろ側3箇所にグリップを設置、パワーヘッド上部にはエンジンハンガを装備することで、持ち運びやすさの向上に加えてクレーンやロープでの吊り上げも容易にした（図5、6）。

また、カウリング後部にレストパッドを設定することで、場所を取らないヘッド下置き姿勢とハンドル下置き姿勢の2姿勢での保管が可能となった。

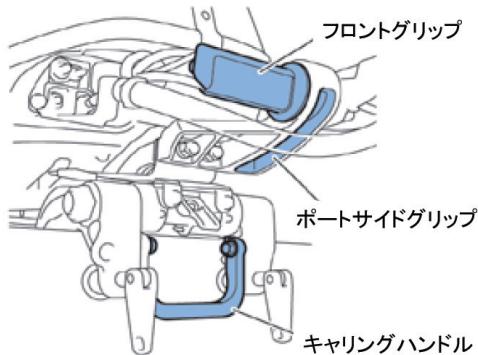


図5 前側キャリングハンドル、グリップ

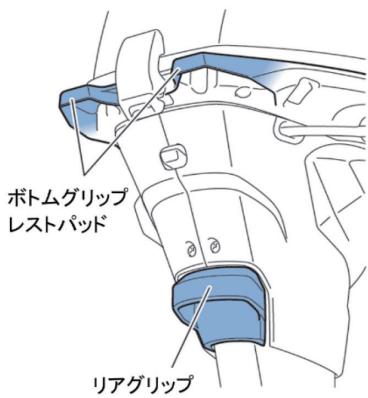


図6 後側キャリンググリップ

3-8. 市場オプション

本体仕様として12バリエーションを設定しているが、市場オプションとしてもプロペラ設定だけでなく、MH仕様には電動スターターキット、リモートコントロールキット、バッテリ充電キット、E仕様にはアナログメータやコマンドリンクメータ、イモビライザY-COP等も用意し、より多くの方々の御要望に応えることができるようとした。

4 おわりに

F25Gは大幅な軽量・コンパクトを実現し、2ストローク船外機から4ストローク船外機への換装を容易にしただけでなく、従来の小型モデルにはなかったフィーチャーも備え、ボーティングの楽しさを広げている。

開発メンバーはいつもお客様が使われているシーンを想像しながら開発を進めてきた。しかしあまだ十分ではない。「こいつは良き相棒！」とお客様に言って頂けるように今後も改良を加え、お客様の期待に応え、期待を超えていきたい。

最後に、F25Gの開発と製品化に携わった社内外の多くの関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

■著者



大石 浩

Hiroshi Oishi

マリン事業本部

ME事業部

開発統括部

技術企画部

福山 美洋

Abstract

Not so long ago, fishing from a boat in Japan meant lowering anchor in your fishing spot of choice, sitting back, and casting out a line. With this type of fishing, the lure was generally natural bait, and for the most part, fishermen went out alone or at most in groups of three people. Provided that fishing boats were developed to a quality that covered those requirements, the majority of needs were met.

However, trends change, and in the last few years, the percentage of fishermen using lures (artificial bait) has grown to outweigh those fishing with natural bait (Yamaha Motor questionnaire). Also, a new style of fishing, termed "run and gun," is gaining popularity. In this style, multiple fishermen board the same boat, zoom to a fishing spot (run), and cast a lure (gun) from a standing position on the deck, before streaking off to a new spot and casting more lures.

Naturally, the quality requirements for boats have changed accordingly. In response to this, Yamaha Motor has developed the "DFR-33" single-driveshaft inboard engine craft (Fig. 1) to complement this latest boat-fishing style.

1 はじめに

日本国内の一昔前のボート釣りといえば、「アンカーを打って釣り場を固定し、座って釣る。仕掛けはエサで、人数は一人か多くても三人まで」という釣り方が主流であり、それを要求品質としてフィッシングボートを開発することで、ほとんどのニーズに応えることができた。

しかしトレンドは変化し、ここ数年でついにルアー(疑似餌)による釣りが、エサを用いる釣りの比率を上回った(自社アンケート調査)。また、「ラン&ガン」という言葉も生まれたように、複数人が乗船して釣りのポイントまで走って(ラン)は、デッキに立ったままルアーを投げ(ガン…“撃つ”的意)、またポイント移動してはルアーを投げる、というスタイルが主流になりつつある。

当然、ボートに対する要求品質も変化する。そこで最新のボートフィッシングスタイルにマッチする、1軸インボードエンジン(船内機)、「DFR-33」(図1)を開発するに至った。



図1 DFR-33

2 開発コンセプト

最近の釣りスタイルの主流は、「釣り場を頻繁に移動する」、「立ったままでのルアー釣り」であり、釣行は10時間に及ぶこともあるから、アンカーを打ってボートを固定した、座っての釣りに比べれば、人の感じる疲労度は比較にならない。

そこで、「よいフィッシングボートは、陸上に戻った時の疲労感で決まる」をテーマの根幹に掲げ、「疲れない」とはどういうことかを分解し、その要目に対してさらに細分化した設計手段、および目標値を設定していった。主な開発コンセプトは以下の通りである。

- ドライネス(しぶきを上げにくい)を最優先とした船型開発
- 釣り場まで快適に移動できる、同クラス最大のメインサンロン容積と最適なレイアウト
- 最新のフィッシングスタイルに合わせた、デッキ周りの艇体造形設計、機能設計

3 開発の取り組み

3-1. ドライネス(しぶきを上げにくい)を最優先とした船型開発

走行性能で望まれる「凌波性」と、停船時の横揺れ性能を表す「静止安定性」というのは相反する要素であり、アンカーを打たない「流し釣り」など、海上を漂って釣りをしている時の静止安定性は高めつつ、走りの良さ…凌波性や、最高速力、スプレーを上げない、などという全ての性能を同率で高めるのは極めて困難である。

そこで、本開発艇では、既存艇でも特に手を焼いていた、走行時に操縦者やデッキに居る同乗者にストレスを与える波

しぶきを抑止する、「ドライネス性能」を最注力項目とし、過去のインボードモデルすでに定評のある、「乗り心地」「流し釣り性能」「静止安定性」は既存艇同等以上、「最高速力」は重視しない、など、開発優先度を明確にして、船型開発に臨んだ。

本開発艇の主な船型開発要素は以下の通りである。

- 入水角（船首の波を受ける面角度）を既存艇に対し鋭角にし、受けた波を後方へ捌く
- 水の駆け上がりを抑止する、船首チャイン幅の調整（幅広にする）
- 船首最前部のチャインから上部の側面角度を比較的鈍角とし、水が上がるエネルギーを減少させる
- 後部滑走面を調整し、最適な船底面で波を受けられるよう、走行トリム（前後角）を是正

※各用語については、図2を参照

上記により、極めてドライな凌波性の高い走りを実現する船型が完成した。また、外洋を走れるフィッシングボートのニーズは、最高速力ではなく、「荒れた波でも、速く走れる性能」である。凌波性が高いと上下加速度が小さくなり、体を保持する力は軽減される上に、凌波性の低い船より早く目的地に着けるので、移動中の動搖に耐える時間も減る。結果、「疲れにくい船型」と表現できる訳である。

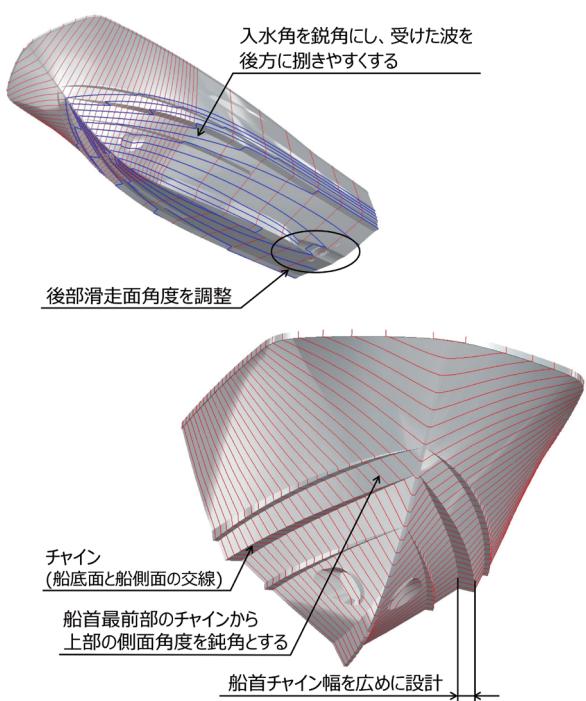


図2 船型の特徴

3-2. 釣り場まで快適に移動できる、クラス最大のメインサロン容積と最適なレイアウト

乗船者人数が同じであれば、室内容積は広い方が良いに決まっている。しかし単純に広いだけでは、「移動中などの疲労を軽減できる」ことには直結しない。本開発艇では、以下の要目を念頭に室内レイアウトを確定していった。

- パウバース（船首寝室）は、物置として割り切り、仮眠ができるギリギリのサイズとし、その分、メインサロンの長さを1クラス上のサイズに設定
- 左右の揺れに対し、体を保持する力を軽減させるため、サロンクルーザーなどに用いられる、ホールド性の高いドライバーシートをフィッシングボートとして初採用（図3）
- 揺れが激しいときに、人同士の接触を避けるための余計な力が入らない、乗員全員が適度な距離感を持って、ゆったり座れるシートレイアウトの実現
- 波の動きを見て艇の動搖に合わせた身構えをすることで、体を保持するための余計な力を使わないようするため、室内乗員全員が、体を乗り出さずとも海面が見通せる視界開放感を確保（図4）

室内レイアウトの主な特徴は上記の通りであるが、エアコンの冷気を直接、乗員の方向に向けられるか、自然な体勢で掴めるハンドレールが適所に配置されているなど、部品配置の面でも「疲れないための工夫」を随所に施した。



図3 ドライバーシートおよびナビゲーターシート



図4 開放的な視界を得られる室内



図5 太ももをホールドできるブルワークトップ



図6 ルアー仮置き棚



図7 アフトラステーション配置比較

既存艇の一般的なハンドル・リモコン配置

DFR-33のハンドル、リモコンの適正な配置と大型モニタースペース



図8 内傾式バウレール

3-3. 最新のフィッシングスタイルに合わせた、デッキ周りの造形設計、機能設計

デッキアレンジに関しては、面積比較などの数字では表現できない、釣りをする上で有効な造形や、機能的工夫を導入した。以下に一例を示す。

- ブルワークトップのストームレールを意図的に短くし、スタンディングスタイルで釣りをする時の太もものホールド面を確保（図5）
- 釣りの最中に頻繁なルアー交換などを行うための一時的に置けるルアー置き棚の設定（図6）
- 後部操船部のステアリングとリモコンの自然な配列およびGPS魚探モニタースペースの確保（図7）
- 多人数での釣りを想定したサイド通路の広さおよび釣りやすい高さとホールド性に配慮した内傾レールの採用（図8）

4 コスト、開発日程、製品品質の取り組み

「コスト」「開発日程」「製品品質」がお互いに影響を及ぼし合うことは、多くの開発者も理解できるところであるが、本開発艇では、その3要素の関係を強く意識し、その効果を最大化させた。以下にその取り組みについて説明する。

4-1. 型構成

先に発売されている DFR-36^[1]（図9）の主要な型構成を100%踏襲し、造形だけを最新のデザイン形状に作り変えた。これにより、型合わせなどの検討期間を短縮できるとともに、DFR-36 での型に起因する作業性問題の改善など、品質面の向上に注力できた。また、テーブルや、フロアハッチなどの小物型は、そのほとんどを DFR-36 や、本開発艇の生産工場であるヤマハ天草製造で生産中のものを流用、または共用し、型投資の圧縮にも貢献した。図10 に、型分解図を示す。



図9 DFR-36

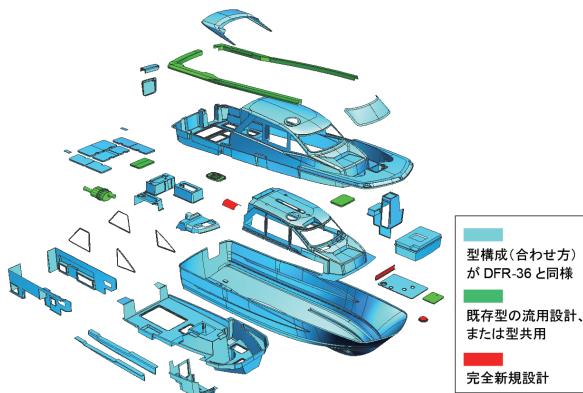


図10 型分解図

4-2. 構造設計、生産工程設計

型構成が同じということは、その型で作られるFRPの積層構成・構造も、生産するまでの作業工程も、自ずとDFR-36に近似したものとなる。構造検討や試作用図製作の省力化を図ると同時に、材料や加工面でのコストダウン検討および新規採用部品の品質評価などに開発エネルギーを投入した。

4-3. 艤装部品

単純にヤマハ所有部品を使用するというだけでなく、調達面にも配慮しつつ共用部品を採用した。例えばサイド開閉窓は、YFR（図11）の共用、キャビンドアはFR-29（図12）のものを用いているが、この2艇はヤマハ天草製造で生産されている艇であり、部品としての使用実績も多く、組み立て工程品質としても実績がある。既存部品を完全共用することで、発注数が増加し、総合的なコストダウン交渉の材料にもなる。



図11 YFR



図12 FR-29

設計単純化に関して一例を挙げると、室内に3箇所あるパッセンジャーシートは、シートクッション3つを同一形状、バックレスト3つも同一形状とした（図13）。同一形状とすることで、部品コスト圧縮に寄与できた。また、艇体への取付方法も同一にしたため、作業効率が高く、組み付け誤りも発生しない。



図13 パッセンジャーシート

上記の取り組みが奏功し、結果、開発日程や製品品質はもちろんのこと、コストダウンも要求値以上を達成し、当初の想定を上回る収益計画を立てることができた。

5

おわりに

ボートフィッシングというのは、釣っている時間だけでなく、前準備も後片付けにも時間と労力を要する「疲れをともなう遊び」である。

船上での疲労度が低ければ、長時間、釣りに集中できるだけでなく、様々な場面で冷静な判断もできる。逆に疲れ

ていると、せっかくヒットした大物をうっかり逃しかねないうえに、帰港後の後片付けも「面倒臭いなあ…」と思うかもしれない。今回の根幹テーマの内面にあるのは「ボートフィッシングを辛く面倒なものではなく、さらに楽しいものだと感じて欲しい」と願う気持ちにほかならない。DFR-33 を介して、オーナーはもちろんのこと、同乗者も楽しい思いを感じて、それにより釣りファンの増加やボートレジャー発展の一端を担うことができれば幸いである。

■参考文献

- [1] 馬上 隆之:フィッシングボート DFR, DFR-FB;ヤマハ発動機技報 2014 No.50

■著者



福山 美洋

Yoshihiro Fukuyama

マリン事業本部

ポート事業部

製品開発部

Abstract

Snow throwers are used in a variety of situations in snowy regions, including around the driveways and garages of households and in the workplace outside store fronts, in customer parking lots, and on construction sites. Recently, consumers have been showing increasing interest in snow thrower products due to higher levels of snowfall, and frequent incidences of localized, sudden heavy snowfall, often blamed on the effects of global warming. Large fluctuations in the snowfall period and area make it difficult to adjust supply to suit the regional demand and usage period, but there is estimated domestic shipping/demand of between approximately 35,000 and 40,000 snow throwers (Yamaha Motor survey) annually.

There are two types of snow throwers: the rotary type in Fig. 1 (thrower type), and the blade type in Fig. 2 (pusher type). The blade type pushes snow toward snow melting tanks or snow drainage ditches, and is often used in densely built-up residential areas or other locations where there are limited sites to which snow can be thrown. This type began appearing on the domestic market from around 2008 (Fig. 3). This kind of market change was the impetus for the development of both our blade and rotary snow throwers (Fig. 4).

1 はじめに

除雪機は、家庭用として住宅の玄関先や車庫まわりに、業務用としては、商店の店先や駐車場、建設現場など、降雪地域のさまざまな場所で活用されている。近年は、温暖化の影響も指摘されているが、降雪量は増えており、局地的ゲリラ豪雪に見舞われることも多く、生活者の除雪機製品の認知度は向上している。一方で、降雪時期や積雪地域の変動が大きく、各地域での需要期、当用期にあわせて除雪機を供給することの難しさはあるが、国内では、年間約3万5000台～4万台の出荷・需要（ヤマハ調べ）があるものと推測されている。

除雪機には図1のようなロータリー式（飛ばすタイプ）と図2のようなブレード式（押すタイプ）がある。



図1 ロータリーで雪を飛ばすYS1070T-B

ブレード式は、融雪槽や流雪溝へ雪を押し運んだり、住宅密集地などの雪を飛ばす場所が限られたりする場面で使われることが多く、2008年頃から国内市場で台頭してきた（図3）。このような市場変化の中で、我々はブレード除雪機とロータリー除雪機双方の開発に取り組んできた（図4）。



図2 ブレードで雪を押すYS1070T-B

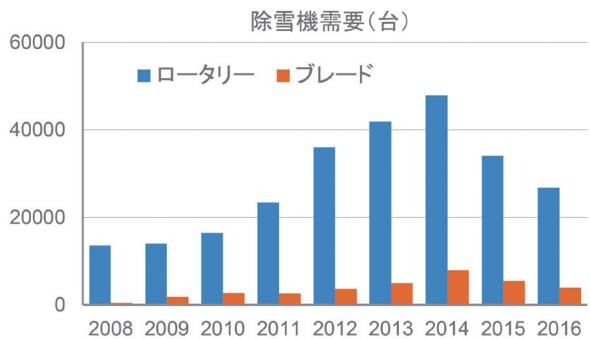


図3 家庭用除雪機の国内需要推移



図4 プロト機のテスト風景(北海道士別市)
プロト仕様:YT660をブレード除雪機に改造

2 商品の狙い

ロータリー除雪機とブレード除雪機は、それぞれ得意な除雪場面が異なる。ロータリー式は、深い積雪や凍結した雪等、さまざまな雪への対応力が高い。一方で、ブレード式は、降ったばかりの新雪を手軽に比較的短時間で処理することができる。また、春先の溶けた雪（シャーベット状の雪）では、ロータリー式は、雪を放出するシートが詰まることがある。そのたびに詰まった雪を除去する作業が発生するが、シートを用いないブレード式であればその心配はない。

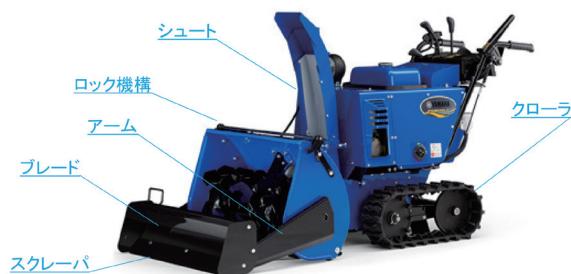


図5 YS1070T-B (YS1070T+ブレードB70)



図6 ブレード付除雪機の構造

我々は、上記のブレードニーズを取り込み、除雪機本体の拡販を狙うため一台二役のブレード付除雪機を開発した(図5)。既存ロータリー除雪機の前側にブレードを取り付け、ブレードを使わない時は上側に収納可能な構造とした(図6)。これにより、本来のロータリー除雪と、飛ばしにくい溶けた雪や浅い積雪を押し集めるブレード除雪の二役を、状況に応じて手軽に使い分けることができる。

●開発のポイント

- ・既存ロータリー除雪機に追加工無しで後付けが可能なブレード設計
- ・雪の抵抗を少なくするための、雪をロールし圧縮するブレード形状
- ・ロータリー除雪時(ブレード収納時)に、雪の抵抗にならないアーム形状
- ・操作性が良く、誤操作防止(ブレード落下)を考慮したロック機構の採用

ブレードは、これまでに蓄積してきたブレード技術を活かした形状とし、走行駆動力はロータリー除雪機本体の駆動力を使うため、ブレード専用機に対し有利である(図7)。除雪量比較データ(図8)からわかるように、既存ブレード専用機と比較して十分な除雪性能を確保した。また、製造委託先の(株)ササキコーポレーション様との共同開発により、短期間での開発が実現できた。



図7 雪の抵抗と走行駆動力

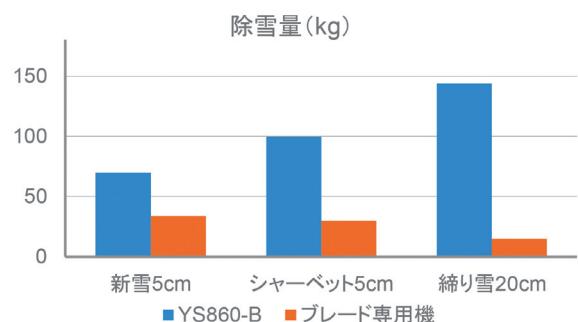


図8 除雪量(kg)比較データ
除雪量=クローラがスリップするまでに押せる雪の質量kg



図9 生活研究の風景



図10 銀嶺荘



図11 除雪作業の観察

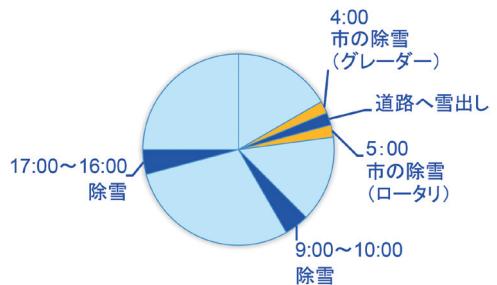


図12 2/9～10銀嶺荘の除雪時間

3 開発の取り組み

開発した除雪機の市場検証をするにあたり、生活研究（機能開発の手法）を取り込んだ（図9）。

● ヤマハ除雪機における生活研究とは

ひと口に「雪」と言っても、北海道、東北、北陸や北信越ではまったくその質が異なる。また、同じ地域でも1月と4月では違う表情を見せる。さらに若い人と高齢者、男性と女性、広い場所と住宅地など、何ひとつ同じ環境はない。こうしたさまざまなシチュエーションで、誰にとっても扱いやすく、また基本性能の高い製品を作るためには、やはり、「知ること」、「見ること」、そして「聞くこと」が欠かせない。企画担当者や開発担当者がお客さまの生活の場に足を運び、その暮らしの全体像の調査を行うのが「生活研究」である。

生活研究は、長野県北信州、戸狩温泉スキー場の民宿「銀嶺荘」のご協力を得て実施した（図10）。除雪機を使うのは、女性（女将さんとお嫁さん）である（図11）。雪が降ると、早朝4時から市の除雪車が動き出し、これに合わせ道路への雪出しが生活が始まる（図12）。

除雪作業は、除雪機を使うだけでなく、スコップで雪壁を崩したり、屋根に上り雪を下ろす作業も伴う（図13）。除雪機を使う前後の行動（車体カバーの取り外し、給油、除雪機の収納）にも、今までに気付かなかった多くの課題が見えてきた。



図13 屋根の雪下ろし



図14 スノーダンプ



図15 シュートの雪詰まり



図16 樹脂製スクレーパー

また、銀嶺荘では市の除雪車が除雪できない場所を、スノーダンプを使って除雪していた（図14）。20センチ程度の積雪だと、スノーダンプのほうが除雪機よりも手軽で早いことに加え、雪が重く湿っていてシユートが詰まる（図15）、雪を飛ばす場所まで遠く一度に飛ばせない等の知見が得られたことで、ロータリー除雪機の潜在的な顧客ニーズを理解することができた。

このような活動の中で、「ブレード付」というアイデアも生まれ、当時開発中だったブレード付除雪機を検証することとした。実際に試作品を使ってもらったところ、路面と接する板金製スクレーパについて「ガリガリ音が気になる」という意見があったことから、樹脂製スクレーパを開発し、採用に至った。

4 市場導入と評価

2015年にオプションブレードのB60を先行販売したことにより、60cm幅クラスのロータリー式モデル（YT660、YS860）は多くのお客様から高評価をいただいている。

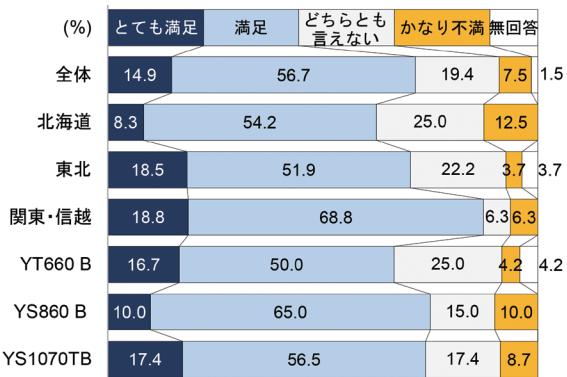


図17 ユーザー総合満足度

● 市場導入モデル

- ・2015年 オプションブレードB60
- ・2016年 オプションブレードB70
- ・2017年 ブレード搭載モデルYS860-B、YS1070T-B、樹脂スクレーパ採用

市場からは、「このような除雪機がほしかった」との声が届き、好評を得ている。ユーザーからのヒアリング調査をまとめると、総合満足度は72%、対価満足度においては61%が「満足」の評価であり、ブレード付除雪機購入者の70%は他者に推奨できると認めている（図17）。また、販売店からも、差別化できる商品として好評価をいただいた。

5 おわりに

本開発では、雪国での生活研究活動を通してお客様が潜在的に求めていたロータリー除雪機とブレード除雪機の長所を両立したブレード付除雪機を製品化することができた。

最後に、開発と製品化に協力いただいた（株）ササキコープレーション様、生活研究でお世話になった銀嶺荘の皆様に感謝申し上げます。

■著者



金沢 敦 (左端)

Atsushi Kanazawa

ヤマハモーター

パワープロダクツ株式会社

PP事業部

開発部

松下 順夫 (左から2番目)

Yorio Matsushita

ヤマハモーター

パワープロダクツ株式会社

PP事業部

開発部

竹下 正敏 (右から2番目)

Masatoshi Takeshita

ヤマハモーター

パワープロダクツ株式会社

PP事業部

開発部

宮内 泰寛 (右端)

Yasuhiro Miyauchi

ヤマハモーター

パワープロダクツ株式会社

PP事業部

開発部

人工知能と自動運転によるモビリティの変容と課題 - AI 時代の「移動の社会学」に向かって -

New Issues and Changes of Our Life with Artificial Intelligence and Autonomous Driving: Toward the "Sociology of Mobilities" in the New Age of AI

奥野 卓司 岸則政 横井 茂樹 原 以起 奥野 圭太郎

本稿は、「関西学院大学 先端社会研究所紀要 第14号」に掲載された論文を同研究所の許可を得て転載したものです。
本論文の著作権は関西学院大学 先端社会研究所に属し、無断複製・転載を禁じます。

要旨

人工知能（AI）、自動運転（AD）に関して、政府や自動車産業界の期待は非常に高い。だが、社会科学の分野では、それらの期待は技術決定論、ハイプサイクル、監視社会化にあたるとして、むしろ批判的な言説が多い。

一方で、近年、社会学の分野で、アーリの『モビリティーズ—移動の社会学』、エリオットとの共著『モバイル・ライブス』など、現代社会のモビリティに生じている変容に着目して、新たなパラダイムで解説しようする流れが起こっている。

本稿は、このパラダイム転換の流れのなかで、先端技術の工学的最前線と社会科学の研究者との共同研究によって、近未来に人間のモビリティがどのように変容し、いかなる社会的課題が生じつつあるのか、考察した。

「移動－不動」×「機能性－遊戯性」の2軸で構成した図で、情報技術の進歩により「移動×機能性」に属する事項が急減し、「不動」領域が拡大していることが実証された。これにより、人工知能、自動運転が進めば進むほど、自動車の必要な作業はロジスティックス（物流）の領域に限定されていくことが判明する。

近未来に、人間の移動欲求を解発するには、移動の体感拡張、個人対応の観光情報の移動中の提示、歴史文化・サバカルチャーへの個人対応接触、人間関係の紐帶変化に適応したクルマと社会システムが必要であることを明らかにした。ここから、自動運転小型ビークルによるワイナリー・酒蔵巡り、個人履歴のビッグデータによる文化観光リコメンドシステム、AIによる不自由度の低いシェアライドなどの可能性を、技術と社会の両面から検討し、提案した。

Abstract

This paper examines how human mobility is going to change and which social issues will arise in the near future due to artificial intelligence (AI) and autonomous driving (AD) through a joint study of sociologists, and researchers in the forefront of engineering.

Using figures consisting of coordinate axes of human's "mobility - immobility" and "functionality - amusement value," it has been demonstrated that aspects related to "mobility - functionality" rapidly decreased and the "immobility" area gradually expanded with the progress of information communication technology(ICT). Based on this, it can be observed that the usage of automobiles will be limited to logistics or distribution when AI and AD technology becomes more advanced.

From this point of view, in order to release human desire of mobility, 'adaptation to the expansion of the bodily sensation of movement,' 'presentation of personalized tourist information, individual correspondence to history, culture and subculture while moving,' and 'adaptation of both the automobiles and the social system to the new changing ties of human relationship' will be necessary in the near future.

Based on the results of this qualitative research, the authors, from both aspects of technology and society, propose examples of the possibility of using small vehicles with AD to tours of winery or sake-brewery, cultural tourism recommendation system in Kyoto using big data of the driver's personal history, and ridesharing with a high degree of freedom using AI.

1 人工知能、自動運転への過剰期待と全否定

今日、AI（人工知能）とそれをクルマに利用した、自動運転技術（AD）が急速に進歩しつつあり、人間や社会の状況、その潜在的な欲求の実証、検討もないままに、それらの技術への期待、とくに経済効果の過剰な期待が高まっている。

とくに先進国の政府や自動車業界の「自動運転」もしくは「人工知能による移動技術」への期待は、あまりにも楽観的で、やや奇妙な感じさえする。

その一方で、社会科学、人文科学の分野では、技術的な裏付けもなしに、それらを人間性を破壊するもの、自由を阻害するものとして、頭から全否定する言説も少なくない。

この両者のずれがあまりにも極端なのではないか、ともに表面的な見方にすぎるのでないかという困惑が、筆者らにはあった。

だが、現実にカーナビ、スマートフォン、GPSが普及し、また宅配便の急増、観光や移民などの国境を越えた人々の移動が急速に増加し、これを日本国内への需要の喚起、インバウンド観光の増加、地方活性化の方策として利用しようとする社会連携の流れとともに、自動運転技術の「目に見える」展開にともなって、「移動」が社会学のテーマとして真剣に論じられ始めてきてもいるのも事実である。

その先駆けともいべき成果として、近年、観光社会学、移動の社会学の祖ともいるべきジョン・アーリの著『モビリティーズ—移動の社会学』や、彼とアンソニー・エリオットによる『モバイル・ライブス』などが相次いで公刊され、これらの成果の上に、近未来の人工知能の進歩による自動運転の現実化が起こることで、人間のモビリティにどのような変容が起き、そこにいかなる社会的課題が生じつつあるのかについて、社会科学的な解説が可能になっていると言えるだろう。

筆者らは、2015 年度まで関西学院大学「ゼロカーボンソサエティ特定プロジェクト研究センター」の共同研究会（日本財團研究助成）で得てきた知見をもとに、それに引き続き 2016 年度から行っている、関西学院大学先端社会研究所の「現代日本文化研究班」でこの研究課題を探索してきた。

その過程で、このテーマは先端社会研究所としてとり上げるべき緊急の課題であろうと考え、本稿でとりあえず、これまでの中間報告をし、現時点での問題提起をしたいと考えた。

ここから、先端技術の工学的最前線および自動車関連業界と、我々、社会科学の研究者の相互の知的交流、共同研究によって、近未来にさし迫ったこの課題に関して、本稿が現実的な問題提起を行うことができればと願うものである。

2 自動運転への社会的期待と課題の概要

現在、先進国の大手自動車メーカーは、（ルノーをのぞき）すべてクルマの「高度情報化」「電子化」に突き進んでいる。その先にあるのが自動運転である。

自動運転は、2025 年にその技術的課題をクリアし、街中に完全自動運転のクルマが走行すると予想されている。この過程で道路環境を、自動運転車両が走りやすくする工夫もされていくと考えられる。現在のクルマにも白線を手掛けたりレーンの中央を走るレーンキープという機能はすでに開発されており、もし市街地、細線道路でもレーンを示す白線が完全整備できれば、その実現はかなり有望になると考えられる。

こうなるとクルマの配車を自動化できるバレーパーキングのようなことが可能になり、さらに自動運転車両の実現やビジネス展開が期待できよう。

これは、人工知能のクルマへの応用によるものである。クルマが人間（ドライバー）にかわって、他者、他車、自転車、障害物、信号機、交差点、歩道等の様々な物体の認識、さらには渋滞や、人が歩道を渡っている、紙が前方で空中を浮遊しているなどの走行環境のシーンを的確に判断すること、さらには障害物を避ける、渋滞時のレーンチェンジをスムーズにするためのクルマの加減速や操舵の制御を行うことなどが自動的にできるとされている。こうなると人間を越える自動運転を人工知能が行うということになるだろう。

このような自動運転車両が街に繰り出してくれば、都市はどの様に変わらるのかという仮説は社会学として想定しておくべきである。たとえば、今まで人の運転個性で揺らぎを持つ交通が、電車のように時間通りになり、安全で、渋滞や環境負荷の少ない都市交通がもたらされるという大きなメリットがあることは推定できる。

実際、街に走る車が 10 ~ 20% の車が自動運転車両になるとすると、スピードオーバーしない自動運転車両が走行路を順法運転することになり、複数車線のある高速道路でさえ、複数レーンに自動運転車両がパトカーの機能を果たすことも可能となる。すなわち自動運転が導入されると、交通状況が変わる、都市が変容するということになる。

一方、これによる人間本来の移動欲求への抑圧は、無視できない面がある。むしろ、このことが、根底的な課題となるだろう。現在公表されている各自動車会社のコンセプトカーをみると、人間の移動欲求に応じたサービスは中心になく、携帯電話ができる情報サービス以上のこと提供していない。効率性、安全性に特化するあまり、人間の移動の本性的な欲望、あえて喧騒の中に楽しみを感じようとする人

間の本来的な欲求を見落としているように思える。

また、運転者、同乗者の生理的、体調を考慮して様々なサービスを提案しているものの、そのサービスが人にとって何をもたらすかについては語られていない。移動の体感の増幅をともなう、あるいは移動したいという欲求を解発するサービスはいまだ検討されていないと思われる。

つまり、自動運転車両の普及が、渋滞の緩和、安全性の向上、地球環境保全に貢献する可能性とともに、もう一方では自動車業界が移動の本質を見失い、その開発によって自滅につながる恐れがあることはまったく検討されていないといつても過言ではない。

3 「移動」と「情報」の相反性

この課題を、あらためてマーシャル・マクルーハン以来の「情報メディア」のもつ意味の議論から再検討してみたい。

本来、「移動」とは、生物が、時間とエネルギーを消費して、空間の縮小をはかることである。一方、「情報」は、グーテンベルクの印刷術以来、時間・空間を越えて伝達される。したがって、「移動」と「情報」は、社会科学的には対概念としてとらえられるべきものであろう。

この議論にそえば、情報化が進めば進むほど人間は移動しなくなるはずである。実際、当初の未来論的な「情報社会論」、たとえばその先駆けともいいくべきアルヴァイン・トフラーの『第三の波』などが主張していたことは、「第三の波（情報革命）で、人間は移動しなくともよくなる」というものだった。彼は、情報技術の進展によって、人間は「電子小屋」にいながらにして、仕事もショッピングも銀行決済もすべて可能になると「予言」をした。そしてインターネットが普及した今では、たしかにそれはある程度現実化していると言ってよい。

トフラーの「予言」の延長上には、移動しない「不動」の人間、社会があり、それは今日の「オタク」の社会的イメージに重なるものがある。また、実際、先進国の若年層にとってクルマというハードは、かつてその世代に与えていた魅力を失ってしまっている。とくに、日本においては「若者のクルマ離れ」は著しいものがあり、自動車会社もその回復が困難なことに気づいてはいるが、具体的な対応策をもっていない。

情報化がクルマの消費を妨げるという懸念は、元は世界の自動車会社もいだいてはいた。各社とも 1980 年代まではクルマの「情報化」にためらいをみせていた。しかし、とりわけ 2000 年以降、グーグルをはじめとする ICT 企業がモバイル端末から、カーナビや GPS などとリンクして、モビリ

ティの分野に進出してくるのにともない、自動車会社がこの懸念を真剣に検討することはなくなった。ICT 業界に、クルマの世界の「乗っ取り」をされてしまうという焦りから、自動車業界は、今や、我先にと情報技術の車載化、制御機構との連動を競っている。

とくにハイブリッド車、電気自動車の開発から普及が進むにつれて、車載された蓄電池からの電流で直接、クルマの動力装置（モーター）を動かせる機構になったため、その制御も電気で一貫させることの効率性の理由から直接の電子制御、すなわちコンピュータ化、情報化が加速した。

一方で、製造が複雑な工程を経る内燃機関（エンジン）ではなく、モーターを電子回路で制御することでは、自動車会社よりも電機メーカーや ICT 企業の方が、高度な技術をもっていたとさえいえる。こうして、TESLA 社、グーグルなどの ICT 業界が、クルマの開発、販売に参入することになり、自動車の情報化、さらに人工知能化は疑うことなく進んでいくようになった。この果てにあるのは完全な自動運転であるが、「情報」と「移動」の相反という矛盾は社会科学的にも技術的にも克服されたわけではない。ましてや自動運転が自動車関連業界をどのように変質させるのか、そしてそれが我々の社会をどう変えるのか、その見通しを明らかにしているメーカーはない。

しかし、社会科学、とくに「メディア論」においては、情報技術の進展によって生み出される新しい形の時空間を、たとえばスペインの社会学者のマニュエル・カステルは、『情報時代』三部作において、「時間なき時間」と「フローの空間」によるネットワーク社会の概念として展開した。また、ジョン・アーリは静的な時間・空間を前提とした従来の社会観からの社会科学のパラダイム転換を提唱し、情報化による時空間の変容を含んだ「モビリティーズ」概念を提起している。

本稿は、これらの社会科学におけるパラダイム転換を、自動運転に向かうクルマとその情報サービスの展開のなかで、いかに人間の移動欲求の解発にいかしうるか、検討していきたい。

4 移動と不動、機能性と遊戯性

そもそもほとんどの用務がネットで可能な時代に、電気自動車によるものであれ、自動運転車両によるものであれ、クルマで実移動する意味はあるのだろうか。

移動が実用的な目的のためであれば、自動運転車両より電車に乗ってスマホでゲームを楽しんでいればよい。ミュージックプレーヤーで好きな音楽を聴いているのもいい。実際、

人工知能と自動運転によるモビリティの変容と課題 - AI 時代の「移動の社会学」に向かって -

New Issues and Changes of Our Life with Artificial Intelligence and Autonomous Driving: Toward the "Sociology of Mobilities" in the New Age of AI

日本の都市に住む多くの若者の日常行動はそのようになってきている。こうして、若者はメーカーの思惑に反して、情報技術が進めば進むほど、クルマに興味、関心を示さなくなってきた。

こうしてみると、近未来のクルマには、その用途がネットで注文されたものを運ぶというロジスティックスの機能にしか、残されていないと言える。また、この傾向は、日本だけでなく、今後 20 年間のクルマの市場となるアジアの諸都市にもしだいに共通のものになっていくだろう。

「図 1」は、人間のモビリティの現状に関して、縦軸に「移動欲求」と「不動欲求」、横軸に「機能性」と「遊戯性」をとり、この 2 軸で示される枠組みに、現代社会の様々な現象をあてはめてみたものである。

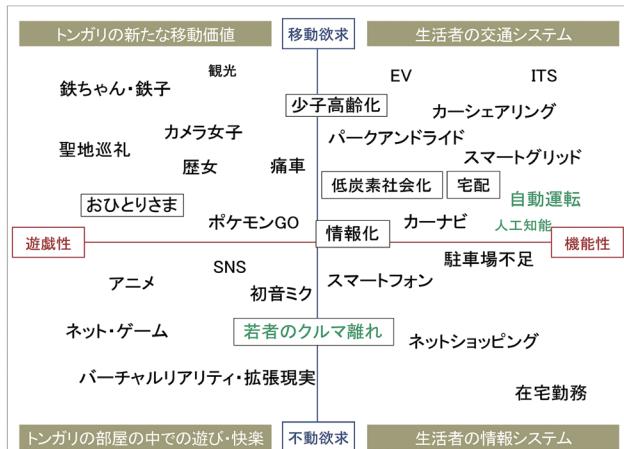


図1 現代社会における「移動文化」と「移動価値」の枠組

「図 1」から明らかなように、情報通信の発達普及によって、今日の社会では機能的な目的の移動はロジスティックスの領域を除いては減少してきている。

にもかかわらず自動車業界や国の機関が研究開発しているのは、クルマ単体であれ交通システムとしての ITS であれ、ほとんど「移動欲求」×「機能性」の領域（図 1 の第 I 象限）のことのみである。

だが一方で、機能的にもインターネットショッピングや 宅勤務など、また遊戯的にもネットゲームやバーチャルリアリティなど、タテ軸の中心より下部にあたる「不動」の領域が拡大している。

また、「移動」をともなう領域では、「図 1」の左半分（第 II 象限）の遊戯的、趣味的な目的による事項が、とくに若者、女性、高齢者の間で盛んになってきていることも明らかになった。観光やアニメ聖地巡礼、歴女などの現象である。

そして、この遊戯的な移動は、情報通信手段の利用により、より活性化させることが可能なことも、「図 2」から仮説的に

予測できる。とくに高速で移動するクルマには瞬時に高精度の GPS 情報を利用して、個々の運転者にとって移動を喚起する情報を、移動中に享受が容易な音声、画像で出力できるサービスを提供すれば、クルマの利用の拡大が期待できる。そして、これを人工知能による制御での自動運転に結びつけるのは、より効果がある。

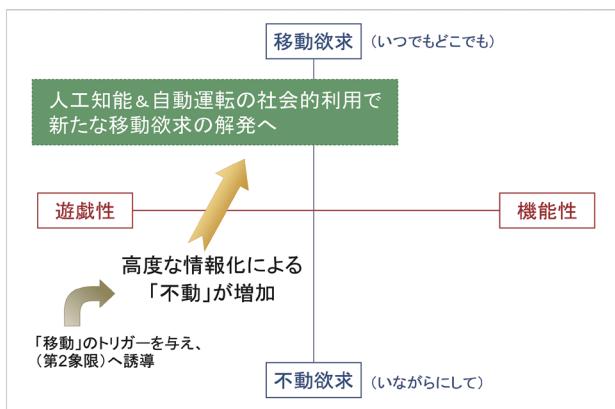


図2 近未来のモビリティの変容

したがって、自動運転、人工知能への過剰な期待のハイパサイクルを越えるためには、人間の「移動の欲求の根源」にたち戻って、考察する必要がある。つまり、「図 3」の様々な現象が示すような、人間が生得的にもつ好奇心、遊び、快楽の領域へ「クルマ移動」の意味を転換することが必要である。

情報メディアによってクルマでの移動がより楽しくなる、また情報メディアと連動する自動運転車両で移動するからこそ楽しくなる、サービスを開発し、そのビジネスモデルを構築することが、自動車産業が生き残る道であろう。

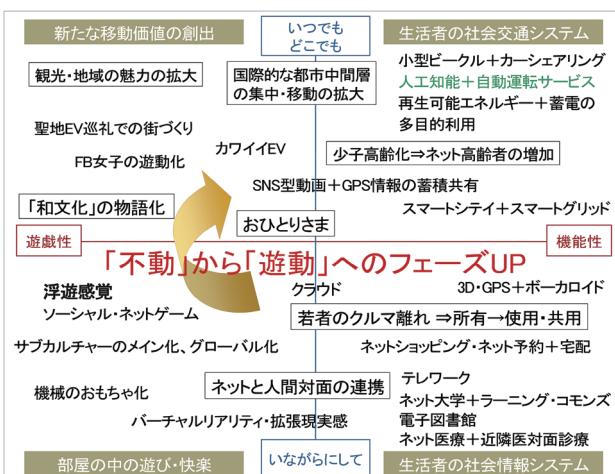


図3 近未来社会における人間の「移動価値」の創出と展開

5 情報提供サービスの現状

4 章で述べたような人間（ドライバー）の移動を能動的にさせるような、個人個人で選択可能な情報を提供するサービスとはどのようなものだろうか。これには、カステルの言う「ネットワーク社会」との繋がりが実感できるマルチメディア的な表現が必要である。この場合、情報交換が運転中になることを考慮すると、音声会話ベースのメディアを訴求することになろう。

では、人間がより移動したくなる「情報」とは何か。それは、現在移動中、もしくはこれから移動先に向かうクルマにとっては、移動先の方面でのその時点では見知らぬモノやコトとの出会いを誘う情報だ。

これには、今日でも東京のキー局発でない情報、つまりローカルに徹した地方局のラジオ放送の方が有効なことが多い。しかし旧来の放送では、そのクルマが走行中の地域のFM放送しか受信できず、これから行こうとする、もしくはこれから行きたくなる地域の放送ではなかった。運転者が行きたくなる心理、行動をリリースするコンテンツを提示するには、その場のクルマの位置情報（GPS）とともに、その運転者の嗜好特性の把握が必要になる。

これを運転者の過去履歴などを集積したビッグデータの解析で行うという試みは、グーグルを始めとしてすでに開発されている。だが、膨大なユーザー情報全体を、その時点で移動しているクルマに応じて瞬時に計算する非効率さはあまり問題にされていない。また、ここにはユーザーのプライバシー保護に関する重要な問題がある。クルマのような移動体においてはとくにこれらの課題は重要だが、筆者らは上記の諸問題を解決する方法として、従来の一方向の放送システムではない、人工知能をもつクルマ用メディアとそのデバイス、サービスを提案したいと思う。

すなわち Wi-Fi, WiMAX での通信により、トンネル内通過中でも聴ける「radiko」（域内制限を廃止することを前提にして）のような各地の地方情報から、事前のユーザー自身による簡易設定により、GPS と車速情報で、タイミングよく自動選局・選曲されるデバイスである。これは、通信不能時でも時間遅れ通信で対応できる。これによりこれから向かうべき先の地方情報が聴ける、またその土地の歴史遺産・伝統文化からサブカルチャー、オタク情報まで聴ける情報サービスを提示することができる。

しかし、こうしたサービスは一大自動車メーカーにとってあまりにも生産性が低く、考えられていないというのが現実である。だが、20 年前には「富士フィルムにとってフィルムが

なくなることは、トヨタが自動車を造れなくなるくらいのインパクト」と言われた。その「まさか」は今すでに写真業界では現実のことになっている。カメラにフィルムが無くなり、デジカメになっただけでなく、ほとんどの写真がスマホにかわっている。このことと同様に、クルマにエンジンが無くなりモーターになり、車両の情報化がすすむ今、クルマもスマホになっていく。

写真業界では、この未来の予兆を素直に受けとめ、それを先取りして自社技術の応用的転換を果たした富士フィルムだけが生き残り、コニカ、ミノルタ、オリンパスをはじめ日本のかつてのほとんどのフィルムメーカー、カメラメーカーがもはやカメラ、フィルムを製造していない。同じことが、サンヨー、シャープ、東芝、日立といった日本の家電業界にだけでなく、自動車業界でももうそこまで来ているのだ。

実際、電気自動車によって、クルマの構造が単純化し部品数も少なく、電池からのモーター制御も電流で一元化されるため、他業種からの参入障壁がこれまでよりはるかに低くなっている。ここで、現在すでに自動車生産・販売に参入してくれる動きを示している他業界をみてみよう。

たとえば、世界最大のアマチュア、企業混在のガレージキット（模型）の販売・見本市である「ワンダー・フェスティバル（通称「ワンフェス」・於幕張メッセ）」では、近年は毎回、アニメ、マンガのキャラクターをえがいた「痛車」が出展されている。ここには、事実上このイベントを主導してきた大阪の海洋堂を始めとした模型・フィギュアメーカーだけでなく、アマチュアのいわゆる「同人グループ」によって、等身大の稼働するロボット、1/1 スケールの戦車・痛車などが展示されており、今後は電気自動車化、3D プリンターの普及により、この傾向はいっそう促進されるものと思われる。とすれば、この先、これらのおもちゃ、模型メーカーが、若者の嗜好に合ったオタクっぽい電気自動車の開発、販売に参入するのは間違いなく、その普及を阻むものは日本の法規制だけであろう。

ICT 業界では、グーグルが Google Play、Google Map 等様々なメディアエンターテイメントを既にネットを介し、クルマに提供している。Google Map 上にレストランや見どころ情報が提示されるだけでなく、渋滞情報やそれを考慮した動的経路案内（渋滞情報で柔軟にルートを変えられる）、近くで一番安いガソリンスタンド、信号機の待ち時間情報等まで、幅広くクルマの移動時の情報提供を行っている。今や Android Auto を、カーナビのソフトとしてダウンロードするだけで、音声認識で簡単にクルマでの利用が可能になる。もはや成長しないカーナビゲーションは過去のものである。

この Android Auto で利用できる機能は、Google Map を使ったカーナビゲーション、通話、音楽再生などで、これらの機能は Google の音声認識技術によって運転を妨げることなく操作することができる。

シリコンバレーの IoT ベンチャー企業の TESLA 社が開発し、日本でも販売している電気自動車、テスラ S はエンジルームもトランクもまったく空である。同社は将来的には宇宙産業のコンテンツ分野でトップ企業になることをめざしており、電気自動車の製造はあくまでそこに至る一過程だとしている。テスラ S のカーナビは 17 インチで、インストゥルメントパネルの中心を占めており、ステアリングよりも大きいほどだ。GPS で位置をリアルタイムに 3D で確認しながら、クルマのアクティブ走行や 運転席の高さを自動調節する。その進行状況はネットからリアルタイムで受発信され、そのクルマの人工知能に学習させ、さらに一週間ごとに国内全車両のソフトウェア、コンテンツのバージョンアップをしている。これはクルマというより、ヒトを乗せる iPad ともいえよう。

ところが、TESLA 社はこのクルマのコンセプトとソフトウェアを構築しているだけで、電池はパナソニック、モーターはトヨタから供給されている。組立はパロアルトにある元 GM の工場で行っているという。こうした生産方式は、将来の日本の自動車メーカーや電機メーカーの姿を予兆しているように感じた。日本のメーカーが将来も動力装置系をクルマの命と信じ続けていれば、近い将来、こうした人工知能メーカーのコンセプトメーカーに部品供給をするだけの産業になってしまうだろう。

6 Uber、カーシェアリングを越えて

所有から使用、共有への社会的な流れは、そのニーズの高まりと、それに適応したビジネスモデルの普及により、急速に一般化してきた。クルマも、自家用車の所有からカーリースそして、レンタカーというビジネスの発展を見てきている。さらに最近ではこの流れが、共有利用の多様な形態の新ビジネスとして台頭している。ここでは、こうしたクルマの共同利用サービス「カーシェア」や「ライドシェア」における人工知能、自動運転技術の応用について検討しておきたい。

Uber、Carma、Relay Rides など、個人のクルマに、同一方向へ移動する見知らぬ他者が同乗して、料金をシェアするサービスは米国から始まった。Uber に登録しているドライバーはこの全料金の 80 パーセントを自分のものとすることができます、プロのタクシー運転手よりも収入があると言われている。

また、シンガポールでは、自動運転するタクシーにライドシェアする NuTonomy という社会実験が始まっている。日本では道路運送法によって、このようなビジネスには国土交通省の許可が必要なため、現状では行うことができない。しかし、米国ではその後タクシー会社とも Uber が提携してサービスを拡充しており、世界的に拡大しつつあるため、やがては日本でも運営されると思われる。そして、このサービスにも人工知能や自動運転技術が利用されると、さらに多様なカーシェア、ライドシェアのビジネスが展開されるであろう。

こうして、自動運転化されたカーシェア、ライドシェアは、近未来の都市での見知らぬ人々のコミュニケーションの新たな場となりうる可能性もある。サービスの方法によっては、インターネット上の SNS のように、実世界においての趣味、生活価値が同じ人と同乗できるということも将来的にはおこつくるだろう。

NEXT Future Transportation 社は、もうひとつのバラ色の未来の可能性のコンセプトを提示している。すなわち、道路を走行するバスのような乗り物が、乗客の行き先にあわせて、随時おもちゃのブロックのように、走りながら分離と結合を繰り返す。乗客は、乗車時に指示されたところに座れば、あとは目的地までノンストップで乗車していられる。ただし、車体が分離するために、時に座席の移動だけが必要である、というものだ。これは確かに便利かもしれない。従来のバスでは、遅い間にバス停まで行かねばならない、下車後も目的地の自宅や病院までさらに歩かなければならない。ほとんどの自治体で、老人にはバスの敬老パスを発行しているが、それよりもはるかに楽であろう、車内でのほんの数歩の座席移動だけで、乗車地から最終目的地まで、バス停ではなく目的地の目の前まで、乗客の身体を「運んで」くれるのであるから。また、鉄道のように、線路も必要ない。この乗り物は、車道を走行できる。線路のように高額の敷設費がかかるために確実に需要が見込める地点どうしを結ぶことしかできないのではない。さらには、乗り換えまで、車内の移動のみで済む。

こう考えると、近未来的自動運転・人工知能によるカーシェアライドは、バラ色の交通サービスのように思える。このような共用の乗り物だけが車道を走るようになれば、渋滞もなくなり、さぞかし快適に移動できることだろう。鉄道などという前時代的なものはもはやなくなり、歴史の彼方に消え去るだろう。

だが、本当にそれが人々に望まれている社会なのだろうか。便利は便利だが、無機質な乗り物の中で、毎日移動時間を過ごすのは、果たして幸福な未来であろうか。われわれ人間は、「人間によって動かされている」乗り物だから、安

心と信頼と、一種の親密感をもって、乗車するのではないだろうか。たしかに人が運転し、操縦するから事故が起こるのが現実である。それにもかかわらず、人は、やはり AI より人の動かす乗り物の方を信頼するだろう。

だが、世界の技術的潮流は「自動運転」に向かおうとしている。しかし、筆者らに自分の営業車であるレクサスをよく愛するハイヤー運転手の〇氏は、興味深い見解を述べた。彼は、我々が話を聞いた数日前に、初めてテスラ車に試乗したのだった。そして、そこで彼は逆に恐怖を覚えた、と言っている。彼によれば、「自動運転というものは、本当に安全なのだろうか? 中に乗っている人間の安全意識が希薄化し、自動運転が不具合を起こしたときに、高速道路などで大惨事になるようなケースも起こるのではないだろうか? 国の対応はいつも後手後手に回るから、大惨事が数件発生してからしか対応しないのではないか?」

なるほど、自動運転車の大多数は、いざというときには人間に運転をかわされるよう、少なくとも今のところは、手動運転への切り替えができるようになっている。そこで安全性を担保しているのだが、それでも彼は「不安だ」と述べた。つまり、そのように自動運転が普及しきった社会では、おそらく人は機械に、すなわち「自動」に頼り、自ら運転することを放棄するだろう。少なくとも、運転のできない人間も運転席に座るようになってしまうだろう。そうすれば、万一の事態が起きた時に、そのような人間は、とっさの対応ができない、というわけだ。

さらに彼は「他の仕事もいろいろやったが、運転手として生きている今が人生で一番楽しい」と言うのだが、そのうえでこうも述べた。「この先、自動車はどうなっていくのだろうか。ガソリン車は、もうなくなるのだろうか。すべてがハイブリッドになり、電気になり、ゆくゆくは水素電池になるのかもしれない。完全な自動操縦になっていくのかもしれない。そうすれば、自分のような、ガソリン車を運転するのが人生最大の楽しみという人間には、あまりにつまらない未来かもしれない。」

つまり、運転する側も、運転する喜びを奪われる、とのである。これは、今日の自動車業界が抱える、大きな矛盾の一つだといえるだろう。10年ぐらい前までは若者の自動車離れが叫ばれていたことに反応して、日本の自動車業界各社は、東京モーターショーの会場で、そこに来ているクルマ・マニアに対してまで、「再びクルマに乗ろう」と、「運転する喜びを思い出そう」と、呼びかけていたはずだ。それが、今では自ら運転する喜びを奪う乗り物を開発しようとしてしまっているのである。

「シェアライド」はどうだろうか。環境にやさしく、自動車の走行台数も減らせるため、渋滞の解消にもなる。しかし、これもまた本当にバラ色なのだろうか。たしかに、よく知っている近隣者同士や同じ会社の社員が、買い物や出社など同じ方向に行くのにいつも一台の車に乗り合い、運転は日にちごとに交代し、皆運転は上手く、安全性も心配ないのであれば、何の問題もないだろう。しかし、前述した Uber のように、見ず知らずの他者のクルマに、まったく安心して乗れるだろうか。Uber も、たしかにそれを考慮して、最近はドライバーの過去の評価が見られるようにシステムを変えてきている。しかし、これもインターネット上のオークションサイトの評価同様、簡単に操作可能だ。安全を軽視するようなドライバーであつたら、あるいはなんらかの悪意を持ったドライバーであつたら、そうでない安全で善良なドライバーであつてもたまたまその日は体調が悪く急に手元が狂ってクルマが中央分離帯をはみ出したら、という不安はつねに残る。

やはりプロのタクシー運転手のほうが安心であると思う人が多いだろう。たしかにプロの運転手で、どれだけ厳しい運行管理基準を敷いて、運転手の身体、精神の健康状態と車両の状態とを確認しても、完全に安心ということはないだろう。だが、それでも Uber 型のカーシェアよりは、人は安心して乗車するはずだ。

むしろ人工知能を利用して、いつ、どの地域あたりでタクシーの需要があるか、ビッグデータの活用による、より適切な予測と、スマートフォンのタクシーアプリによる呼び出し配車中心のシステムに、タクシーの営業形態を変え、呼び出されるまでは需要が多いと予測された地点の駐車場や空き地などに車を止めて、運転手を休ませることのほうがよいようにも思える。

移動という他者との公共の協働性をともなう社会的行為においては、やみくもに新技術を導入してのサービス展開をめざすのではなく、各個人の本来的な欲求を抑圧することなく、それと社会の公共性とのバランスが両立しうるシステムを、慎重に検討する必要があろう。

7 「遊び」「癒し」「快感」の拡張としての移動の解説

もうひとつの問題は、自動車業界も、ICT 業界も、現状ではともに結果的には Google Car と同じものをめざしているということであろう。結局、そこはレッドオーシャンとなり、クルマの低価格化とコモディティ化、そして同様なサービスの氾濫に陥ってしまうことは容易に想像がつく。

では、そのレッドオーシャンに入りこまない、もう一つの道

(「図 4」の斜線部分) はありうるのだろうか。本稿の最後に、それを求めて現在筆者らがフィールドワークや社会実験によって調査しようとしている 5 事例を提示しておきたい。

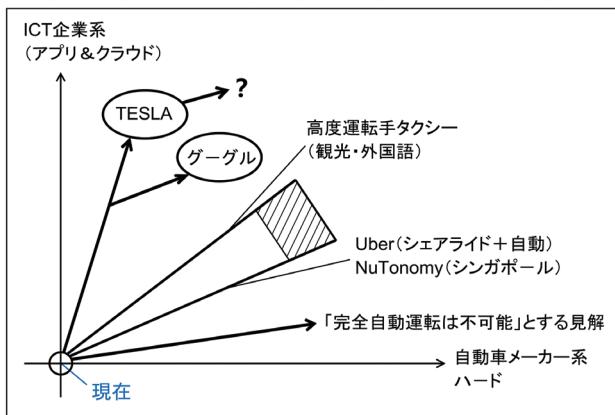


図4「人工知能」+「自動運転」のブルーオーシャン領域(斜線部)

(1) ワイナリー、酒蔵めぐりビークル

高知県の竹虎という、虎斑竹の伝統工芸専門の会社が、京都市の産業技術研究所、京大などと協力して、虎斑竹で編んだ電気自動車を開発している。クラウドファンディングで開発費を調達した、2人乗りのビークルである。有馬温泉では、温泉街の情緒をまもるために、街のそばに駐車場を設置し、自家用車や観光バスはそこに停めさせている。その駐車場から、このビークルで宿に送迎したり、温泉街巡りをする。

このビークルに自動運転のシステムを搭載すれば、観光客だけで運転せずに温泉観光を楽しむことができるだろう。とくにアルコールを摂取したいが、A 地点から B 地点には移動したいというニーズがあった場合などに、この AD ビークルが真価を発揮する。

実際に、世界各地には酒造メーカーやワイナリーが多数存在し、訪れた客に商品である酒の試飲をサービスするのも「売り」の一つとなっている。地域によっては、複数の酒蔵やワイナリーが点在しているようなところもあり、そうした場所をハシゴするのも大きな楽しみである。そういう場合、当然自ら運転するクルマでは楽しい観光目的である試飲が出来ない（たとえ自動運転機能が搭載されたクルマでも飲酒搭乗を推奨することはメーカー、監督官庁としては難しいのではないか）ので、酒蔵街・ワイナリーエリア内を行き来できる「クルマではない」ライトで低速の基本的に安全な（ゴルフカートのような）ビークルを自動運転化すれば、自由気ままな「ハシゴ試飲」を叶えるモビリティが有効である。このモビリティが提供する価値は、ハシゴ試飲を楽しめるという「快」はもちろん、ハシゴ試飲が出来る酒蔵・ワイナリーの

ある街もしくは村に更なる集客が期待でき、その地域に自動運転ビークルが多数存在することで、ひいては高齢化や過疎化に苦しむ市町村の「移動難民問題」という社会問題解決の可能性も期待できる。

(2) 究極のカスタマイズ・ビークル

かつては企業が全てを担っていた「開発～製造～販売」のプロセスが、情報技術の急速な進歩によって、しだいに生活者の手に移りつつある。たとえば、最近ではパーソナル用途の 3D プリンターが登場し、かつては専門業者でないと製作しえなかった製品を、エンドユーザーが自らの手で容易に製作出来るようになってきた。更にそれを e コマースストアに出展し販売できるインフラもここ数年でかなり発達した。こうした状況から、将来的には出展されるアイテムもフィギュアや携帯カバーなどのアクセサリーなどから、耐久消費財レベルのものまでラインナップが拡張していくであろう。これを移動の分野にも展開する。

自動車メーカーは型式認定取得に必要となるミニマムな装備の「公道走行可能な車台」までを生産し、最終完成形はエンドユーザー や サードパーティ業者で行う。当然のことながら、モビリティとしての安全性と信頼性をどう担保するか、新たな規格・基準作りが具現化上の最重要課題であるが、同時に本ビジネスモデルの骨格を成す“型”そのもの、もしくはサードパーティの多様な製品との共通コネクターとなり、事業の継続性と収益性のカギとなってくる。

当ビークルとそのビジネスモデル全体の提供価値は、自らの手でモビリティを完成させる行為そのものを「コト化」し、そのプロセスと成果によって人間的好奇心、創作欲求、承認欲求、自己実現欲求を満たすことにある。

(3) 公共交通&パーソナルビークルの完全シームレス・モビリティ

公共交通機関を利用するモビリティでの個人移動を物理的にもシームレスにすることが不可能ではない。電車やバスなどの公共交通機関に自分の使用する（個人的所有、レンタル、シェアリングのいかんにかかわらず）乗り物ごと乗車し、その乗り物では到底行き着きようがない遠方まで移動し、到着した駅や停留所からその自分専用の乗り物で最終目的地まで移動する。すでに欧州（デンマーク、ドイツ、オランダなど）および日本国内の一部の都市では、電車に自転車を乗せることが定常的に可能な路線があり、通勤ラッシュ時以外の時間帯には自転車のまま駅改札を抜け、電車に乗り込むという風景が日常的に見られている。こうしたインフラやル

ールが整備されたところでは、よりコンパクトでかつモータライズされたモビリティに置き換えられる可能性が出てくる。

利用者への提供価値としては、未知の街や歴史文化スポット巡りなど「好奇心の満足」を目的とする観光アクティビティにおける「公共交通機関ごとの乗り換え時間待ち」や「未訪の地でのバス等の行き先表示迷い」などのストレスからの開放が大きな要素となる。

このサービスの実現のためには、当該ビークルに搭載される小型・軽量のモーター、バッテリー、公道走行に耐えうる車体などの基本的な技術の完成に加え、たとえば鉄道の場合は、車両メーカー、鉄道会社（オペレーター）など公共交通機関側との深い連係が欠かせないものとなってくる。このためビジネスモデルのオープンイノベーションが求められる。

(4) 「京都文化観光ナビ」ビジネスモデル

京都には観光施設（寺院、神社、歴史遺跡、聖地など）は多いが、多くの観光客は金閣寺、銀閣寺、清水坂など定番の観光地を回るだけで、しかしそれでは満足していない。とくに、外国人リピータ観光客は、より深く京都の歴史文化を実感し、伝統の技、芸能を体験することを求めている。京都には「歴史博物館」がなく（京都府立文化博物館に一部展示のみ）、インターネット上にも公式の有益な観光情報が掲載されていない。これらの現状を改定するため、カーナビおよびスマートフォンアプリにより、観光ガイドブックに載っていない歴史文化に関する画像+多言語のテキスト情報を提供し、それによって外国人や若者、歴女、高齢者のための新しい京都観光を活性化させる。

のために、外国人観光客に味のある深い文化・観光資源に関する情報を提供するシステムの概念図を「図5」に示す。中心となるのは、観光情報に関する文化的な意味をわかりやすく紹介する動画コンテンツである。この動画コンテンツは、モデルケースとしての文化紹介動画コンテンツをおき、これをふまえてネットワーク上に存在する適切なコンテンツを自動検索・導入するとともに、観光・文化に関する動画を投稿し、蓄積可能とする。これらは、オープンデータとして設定し、外部サイトでも利用可能にしてコンテンツの利用が広がることを意図している。また、システム内に、ランキング機能、リコメンデーション機能を用意し、人工知能によって各利用者の関心情報が蓄積検索できるようにし、人工知能によって各観光客が各自の関心をもつ動画を見つけやすくする。

これらのデータを常にサーバにおいておき、観光情報を附加して観光客に提供する。文化理解促進コンテンツをPCから直接的に視聴できるようにすることにより、日本文化、京文化の深い理解が得られるようになるとともに、コンテンツ情報を軽量化して、スマートフォンなどでも視聴できるようにすることにより、日本に滞在中の観光客が深い日本文化コンテンツに容易にアクセスできるようにして、提供する。

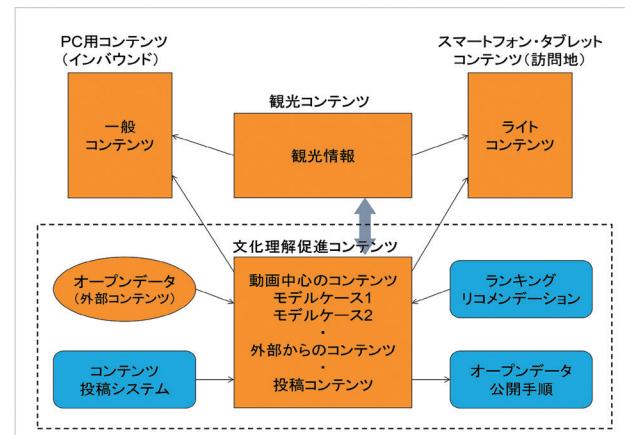


図5 リピータのための文化理解促進コンテンツシステム

また、京都は魅力的なコンテンツを多数有するので、古来より物語から小説やドラマやアニメ、ゲームなど、その地が登場する作品も枚挙にいとまがない。これらを組み合わせ、提示する情報を何パターンか用意し、外国語での対応も行えば、利用者それぞれに適合した有益な情報をサービスできるであろう。

(5) 人工知能による個人対応移動情報サービス

以上の4提案を総合し、それらを利用者各個人の嗜好に対応して提供する情報システムを構築するにあたり、すでにインターネット上で提供されている、2つのソフトウェア（アプリ）を検討することにする。その一つはApricot、もう一つはハッカドールというものである。どちらもゲームやアニメのファン向けのソフトウェアであるが、これら二つは、自動的に情報を収集する能力にたけている。これらはともにユーザーの欲する可能性の高い最新の情報を、インターネットから拾い集めてくるものだ。

まずApricotは、同人ソフトウェア（ファンメイド）で、基本的なものは無償公開されている。パソコンのスクリーン上に常駐させておくこともできるし、スマートフォン類にも対応している。このソフトウェアは、本来はユーザーの好みそうな情報を収集し、それをもとに単語を覚えその意味を類推し、勝手気ままな会話を表示するというお遊びソフトである。ユ

ユーザーの Twitter や Facebook などの SNS でフォローしている記事、また Gmail などと連動し、各自の趣味趣向にあわせた単語を自動的に覚えてくれる。また、事前に登録しておいたニュースサイトや情報サイト、個人のブログなどとも連携して、そこからも単語を覚えてくる。このソフトウェアが良い点は、これらの指定した「監視対象」を人工知能が常時監視し、記事が更新された直後に、小さなベル音と「新しい情報です」の表示とともに、ユーザーに見た記事のタイトルや本文の冒頭を示してくれることである。これにより、ユーザーは、すぐに見たい情報であれば Apricot から当該記事へすぐに飛べる利点がある。事前に監視する対象を指定しているのだから、ユーザーの欲しそうな情報しか持てこない。ただし、指定された「監視対象」以外の情報は一切得られない、すなわちユーザーにとって新しい世界が広がるわけではないという欠点がある。

次にハッカドールである。これは、アニメ、漫画、ゲームなどのサブカルチャー情報専用のスマートフォンアプリであるが、それぞれのニュースにタグ（作品名であったり、フィギュアなどの一般名称であったり）がつけられている。そして、これらのニュースをユーザーは一読して、今後も同様のニュースや同じジャンルの情報が欲しいか不要かを Yes/No の二択で回答し、アプリに必要な情報を覚えさせていく。アプリは Yes と判定されたニュースにつけられているタグと同じ、ないしは類似のニュースをビッグデータから選別して持つてくる、というものだ。ほぼ一週間、この Yes/No の回答を続ければ、かなり正確にユーザーの欲する情報を持てこられるようになる。この際、ランダムに新しい分野の情報も、時に忍ばせてくる。そうすることによって、ユーザーに興味関心の新規開拓も促してくれるものである。

これら二つのソフトウェア（アプリ）は、これらを移動、とくに観光に応用することが十分可能である。たとえば、今日の個人個人でロングテール化した観光への興味関心に合わせた情報を、ほぼ同じシステムで自動検索し、リコメンドできる。これにより、ユーザーに観光動機を与えられる。仮に Twitter で、自身の興味ある地域や国の情報を多数フォローしていれば、当然ながら Apricot ではその国や地域の情報を多く引っ張ってくるようになるし、それに関連する単語も覚えてくるだろう。それは観光誘発要因となりうる。あるいは、ハッカドールではより直接的に、ユーザーの好むアニメやゲームの「聖地巡礼（舞台訪問）」情報を、たびたび見かけるようになる。そしてさらに、「聖地巡礼」を好むユーザーであることがわかれば、今度は他作品の「聖地巡礼」情報をも引っ張ってきてくれるようになる。これらは、趣味が多様化

し、興味、関心が多様化した今日におけるもっとも有用な観光誘発媒体になりうる。もはやテレビのように、一方向に皆が同じものを見て、皆が同じものを欲し、同じ所へ行きたがるという時代はすでに終焉を迎つつある。

さらにこれらに、GPS を連動させればどうなるか。上記と同様の動きをする、すなわち、結果的にユーザーの好みを覚え、ユーザーの好む情報をインターネット上から拾ってくれる、アプリやソフトに GPS を連動させれば、移動中のユーザーの興味、関心のありそうな場所、たとえば神社や、アニメ、ドラマの舞台、見学可能な酒蔵やワイナリーなどにユーザーが接近すると、その存在を知らせてくれる。

これを、カーナビゲーションシステムに入れて、自動運転車両に積むことも可能である。また、小型化して、長距離サイクリング用の自転車に連動させるのも一案であろう。

あるいは、たとえば神社めぐりが趣味という人なら、すでにそれらに近い専用のアプリが開発されている。この「神社が好き」というアプリでは、現在 GPS 連動はしていないが、市町村レベルの住所を入力すると、近隣に存在する神社の名称と情報（御祭神や創建、かつての社格、主な祭事の日にちなど）を出してくれる。そして、地図アプリと連携してそこへの行き方や、リンクで Wikipedia の説明などにも飛ぶことができ、さらに参拝したことやご朱印を受けた記録などが保存できる。このアプリに、自動的に最寄りの神社をリコマンドしてくれるような機能を付加することは容易であろう。

また、すでに一部の観光地では、GPS に連動した AR アプリが開発されている。アニメ『ガールズ＆パンツァー』の聖地、茨城県大洗町では、ふるさと納税の返礼品として「ガールズ＆パンツァーうおーく！」が開発されている。これは、作品の舞台である大洗町を巡り、街中で AR 技術でもって作中のキャラクターと交流し、新たな物語を楽しむ「ゲーム」の形式をとった観光アプリである。また、歴史ファン向けに開ケ原の、あるいは熊本市や天草上島・下島などで、同様の AR と GPS を組み合わせたアプリが開発されている。これらのアプリでは、観光地の歴史的、文化的説明に加えて、食事処やホテル、旅館などの観光客に有益な情報が提供されている。

このように「図 3」の多様な領域、諸事項をフィールド調査研究すれば、それを、人工知能やそれによる自動運転技術のサービスに応用することで、人間の移動欲求を「遊動」という新たな段階に導く可能性がある。

19世紀以来、人間が発明、開発し続けてきた移動装置であるクルマの究極の姿は、現在の人工知能技術や自動運転技術が目指すような「自動」車なのか、それとも人間が「自

分」で「動かす」車なのかをより明確にして、その結果として、先端技術やそれを利用した情報サービスが目ざすべき道を、人間と社会の「移動価値」の解釈によってこそ決定できるはずである。

※本研究は、公益財団法人 日産財団からの研究助成(2011年度から2013年度)、日産自動車株式会社総合研究所(2014、2015年度)、ヤマハ発動機株式会社との共同研究費(2016年度)を受けて行った調査研究の成果の一部である。

■参考文献

- [1] ジョン・アーリ 2015, 吉原直樹・伊藤萬高訳,『モビリティーズ—移動の社会学』作品社
- [2] アンソニー・エリオット,ジョン・アーリ, 2016, 遠藤秀樹監訳,『モバイル・ライブス』ミネルヴァ書房
- [3] ケヴィン・ケリー, 2014, 服部桂訳,『テクニウム—テクノロジーはどこへ向かうのか?』みすず書房
- [4] マーシャル・マクルーハン 1964, 栗原裕・河本伸聖訳,『メディア論—人間拡張の諸相』みすず書房
- [5] アルヴィン・トフラー 1980, 徳岡孝夫監訳,『第三の波』中央公論社
- [6] マニュエル・カステル 2001, 矢沢修二郎・小山花子訳,『インターネットの銀河系—ネット時代のビジネスと社会』東進堂
- [7] 高田公理 1987,『自動車と人間の百年史』新潮社
- [8] 上野俊哉 1992,『思考するヴィーグル—クルマ・速度・都市』洋泉社
- [9] マイク・フェザースティン, ナイジェル・スリフト, ジョン・アーリ 2010, 近森高明訳,『自動車と移動の社会学—オートモビリティーズ』法政大学出版局
- [10] デイビッド・ハルバースタム 1987, 高橋伯夫訳,『覇者の驕り—自動車・男たちの産業史(上)・(下)』日本放送版協会
- [11] 館内端 2000,『ガソリン車が消える日』宝島社
- [12] 工藤保則 2015,『カワイイ社会・学』関西学院大学出版会
- [13] 佐藤潔人 1984,『自動車=快楽の装置系』光文社
- [14] 奥野卓司編著 1996,『20世紀のメディア②速度の発見と20世紀の生活』ジャストシステム
- [15] 日本政策投資銀行, 2014,『アジア8地域・訪日外国人旅行者の意向調査(平成26年版)』
- [16] 奥野卓司編 2012,『Zero Carbon Society研究センター紀要 第1号』, 関西学院大学Zero Carbon Society特定プロジェクト研究センター

プロジェクト研究センター

[17] 奥野卓司編 2014,『Zero Carbon Society研究センター紀要 第2、3合併号』, 関西学院大学Zero Carbon Society特定プロジェクト研究センター

■著者



奥野 卓司

Takuji Okuno
関西学院大学社会学部
教授



岸 則政

Norimasa Kishi
東京大学大学院
情報理工学系客員研究員/
科学技術振興機構戦略的
創造推進事業アカデミー



横井 茂樹

Shigeki Yokoi
名古屋大学情報文化学部
名誉教授



原 以起

Ioki Hara
技術本部
技術企画統括部
技術管理部



奥野 圭太朗

Keitaro Okuno
熊本学園大学商学部
特任講師

可視化エンジンを用いた筒内混合気形成過程の 可視化による低負荷時の燃焼変動要因の解析

Analyses of cycle-to-cycle variation of combustion in low load conditions by visualization of fuel mixture formation processes using an optical engine

保木本聖 窪山達也 森吉泰生 渡辺敬弘 飯田実

本稿は、公益社団法人自動車技術会 2016年秋季大会 学術講演会講演予稿集 No.1-162 20166313に掲載された論文を同会の許可を得て転載したものです。本論文の著作権は公益社団法人自動車技術会に属し、無断複製・転載を禁じます。

Abstract

Reduction in cycle-to-cycle variation (CCV) of combustion has been required because CCV affects fuel consumption, emissions and drivability. The factors that cause CCV of combustion are considered, such as the variation of in-cylinder flow, fuel distribution, temperature distribution, ignition energy and EGR distribution. However, it is difficult to measure and analyze these factors. In this study, CCV of in-cylinder flow on some load conditions are investigated by using optical single-cylinder engine and high speed PIV measurement system. As a result, CCV of intake flow in cylinder becomes strong in low load conditions.

1 緒言

自動車に用いられる内燃機関の燃料消費率および排ガスに対する要求は一層高まっている。その改善を進める上で、燃焼のサイクル変動が注目されている。サイクル変動は燃費やドライバビリティの悪化だけでなく、変動により1回でも失火サイクルがある場合、排出される未燃HCが急増するため、その抑制は排ガス規制の観点からも重要な課題である。

燃焼変動は、筒内流動分布、燃料濃度分布、筒内温度分布、筒内残留ガス分布、点火エネルギーなど、それぞれがサイクル変動することで相互作用し燃焼に影響を与え、サイクル間の変動が発生すると考えられる。しかしながら、通常の内燃機関では、それらを観察することは困難であり、開発段階では数値流体力学(CFD)を併用するしかない。しかしサイクル変動のシミュレーションは未だ発展途上である。

燃焼変動時の筒内の現象を詳細に解析するためには可視化エンジンを用いることは有用である。これまでに燃焼変動を筒内可視化し解析した研究例^[1]はあるが、対象としたエンジン固有の結果は得られているものの、普遍的な現象解明は出来ていない。

本研究では、前述した燃焼変動に影響を及ぼすと考えられる要素の中から筒内流動のサイクル変動に着目し、その計測と評価方法を検討し、スロットル開度が筒内流動サイクル変動に及ぼす影響を調査した。

2 実験方法

2-1. 可視化単気筒エンジン

図1に本研究で対象とする可視化単気筒エンジン(小山ガレージ製)を示す。本エンジンはボア86mm、ストローク86mmの量産2リッター4気筒ガソリンエンジンのヘッドを1気筒使用し、石英スリーブを装着し、筒内を可視化することができる。本エンジンはペントルーフ部にも石英スリーブがはめ込まれているため、側面から吸排気バルブおよび点火プラグ付近の可視化も可能である。また、ピストンには冠面中央部に石英ガラス窓を設けた延長ピストンを用いており、ピストン下からミラーを介しボトムビューにより筒内を観察することもできる。ただし連続ファイヤリングを行う場合、石英スリーブは数分しか耐えることができない。そこで本エンジンの燃焼特性を確認する際には、メタルスリーブに交換し、連続ファイヤリングを行った。なお、圧縮比は9.17である。

2-2. 計測装置

メタルスリーブを用いた燃焼計測において、吸排気圧の計測はポート出口に設けた絶対圧センサ(Kistler、4005B、4007C)により計測し、筒内圧はヘッドに挿入した筒内圧センサ(Kistler、6052C)を用いた。空燃比の計測は排気パイプに設置したA/Fセンサ(NGK、ZFAS-U1)を用い、吸気排気温度はK型熱電対、壁面温度はJ型熱電対を用いた。燃焼により得られる圧力は高速データロガ(YOKOGAWA、DL750)により収集し、燃焼解析ソフト(YOKOGAWA、燃焼圧解析ソフト)により解析した。各温度、A/Fは低速デー

タロガ（OMRON、ZR-45）によりサンプリング間隔 200 ms で計測して平均値を用いた。

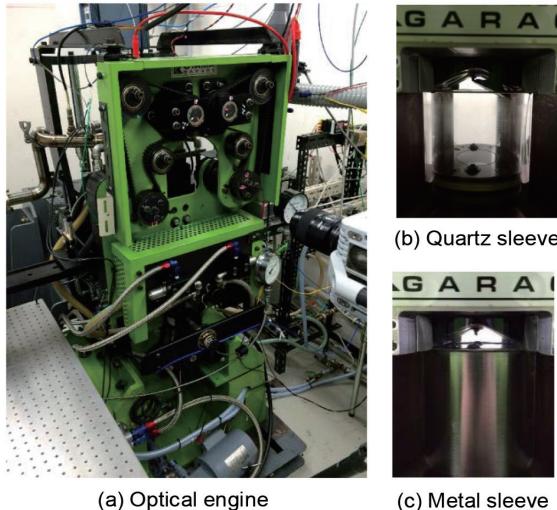


Fig.1 Optical engine

PIV 計測装置の概略図を図 2 に示す。光源に出力 4 mJ、波長 527 nm (SHG)、最高発振周波数 10 kHz の高周波繰り返しダブルパルスレーザの Nd : YLF レーザ (New wave research、Pegasus PIV) を使用した。レーザビームはシリンドリカルレンズ（シグマ光機）によりシート光にアレンジし、延長ピストン下部のミラーを介し筒内へ照射した。トレーサ粒子にはラスキンノズルを用いたシーディングジェネレータ（西華デジタルイメージング、Pivpart40）により液体のセバシン酸ジオクチルをエアロゾル化し、スロットル上流側に供給しスロットルを介し吸気させた。なお、トレーサ粒子の粒径はおよそ 2 μm である。レーザ照射によりトレーサ粒子から得られる Mie 散乱光はエンジン正面より高速度カメラ (Photron、SA-X2) により撮影し、解析ソフトウェア (DANTEC、Dynamic studio 2015a) によりベクトルマップを作成した。

2-3. 実験条件

燃焼計測では、スロットル開度による燃焼変動率 COV を計測するため、機関回転数 $N_e = 1000 \text{ rpm}$ 、点火時期 $\theta_{ig} = 5 \text{ deg. BTDC}$ 、空気過剩率 $\lambda = 1.0$ 、燃料噴射開始時期 $\theta_{SOL} = 180 \text{ deg. ATDC}$ (排気行程噴射)、燃料噴射圧 $P_{fuel} = 350 \text{ kPa}$ は固定とし、スロットル開度および燃料噴射期間を変えて計測を行った。なお、本可視化エンジンのスリーブは金属製に変更できるものの、ペントルーフ部のガラススリーブは容易に交換出来ないため、ペントルーフ部のみガラス窓のまま燃焼計測を行った。そのためガラス保護のためファイヤーリ

ング時間は最大 2 分間とし、1 分 30 秒を暖機時間とし、残りの 30 秒で連続 200 サイクルを計測した。

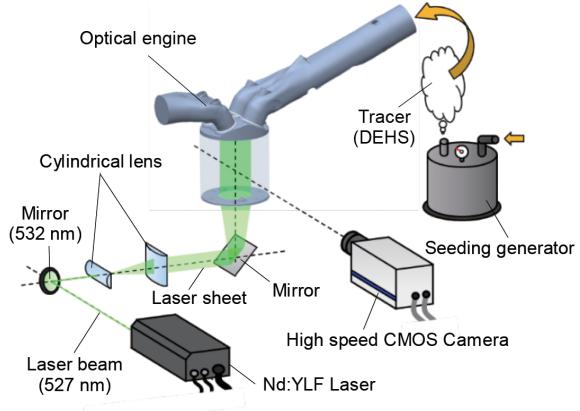


Fig.2 Experimental apparatuses for PIV

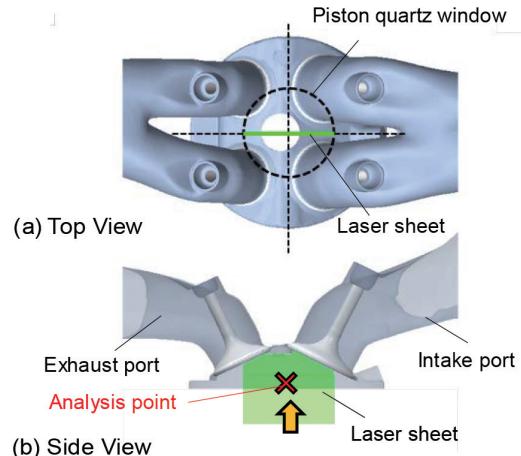


Fig.3 Measurement area in the cylinder for PIV

PIV 計測条件として、計測サンプリング間隔は 2.0 deg. (サンプリング周波数: $f = 3 \text{ kHz}$) とし、吸気～圧縮行程を計測区間とした。その条件で高速度カメラの撮影容量限界まで連続 45 サイクルを計測した。 $f = 3 \text{ kHz}$ の場合、本トレーサ粒子（粒径 2 μm 、密度 900 kg/m^3 ）の周波数応答性は、97.6 % であるため、十分に流れに追従している^[2]。レーザシート厚みは CFD で予め計算したシート通過方向の流速より、クォータールール^[3]を満たした厚みとして 1.0 mm に設定した。計測範囲は図 3 に示すようにボア中心とし、ピストン窓は $\phi = 40 \text{ mm}$ なので、シート幅も 40 mm である。この計測範囲を 672 × 1024 の解像度で撮影し、画像空間分解能は 4.9 pix/mm であった。なお、曲面形状の石英スリーブによる撮像面の歪みは、スリーブ中心から半径方向に向けて ± 20mm では、ほとんど屈折しないため^[4]、本計測では画像の歪みは無視した。また、図 3 の赤の×印は、乱

流解析を行う際に使用した代表点である。

PIV 計測で重要な微小時間間隔あたりの粒子画像の移動量は、5 ~ 10 pix. が適しているとされている^[5]。しかし筒内流動は吸気行程と圧縮行程で平均流速が 5 倍から 10 倍変化する。そのため、適切な粒子移動量を得るために、いつの平均流速に合わせて微小時間間隔 Δt を決定するのかは難しい。そこで本研究では Δt を変えたトリガーパルスを吸気行程と圧縮行程で別々に作成し、吸気終わりの下死点を基準に切り替えて使用した。今回の計測では、吸気行程で $\Delta t = 15 \mu\text{s}$ 、圧縮行程で $\Delta t = 45 \mu\text{s}$ とした。

PIV の解析は、検査領域を $32 \times 32 \text{ pix.}$ から $8 \times 8 \text{ pix.}$ まで 3 段階に変化させながら検査領域のオーバーラップ 50 % で FFT 相関法により粒子画像の相関をとり移動量を算出した。また、エラーベクトルの削除にはメディアンフィルタを用いた。

3 実験結果

3-1. 各負荷条件による燃焼変動

図 4 に各負荷（スロットル開度）における筒内圧力と筒内圧から算出した見かけの熱発生率 ROHR を示す。横軸にクランク角、左縦軸に筒内圧力、右縦軸に見かけの熱発生率を示す。点火時期および空気過剩率一定の条件では、スロットル開度の変化に伴い、吸入空気量および投入燃料量が増加するので、発熱量が増加し、最大筒内圧および熱発生率の傾きと最大値が増加する傾向にある。次に、図 5 に net IMEP（ポンプロスを含んだ図示平均有効圧）に対する燃焼変動率 COV を示す。なお net IMEP は連続した 200 サイクル平均の値、COV は 200 サイクル中の変動率である。COV は低負荷ほど増加し、計測した負荷条件では 2 ~ 8 % で変化した。

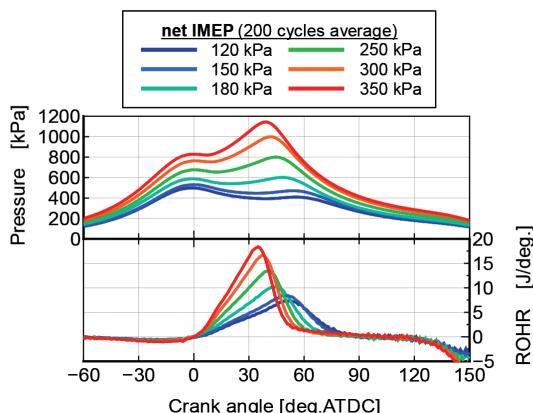


Fig.4 In cylinder pressure and rate of heat release

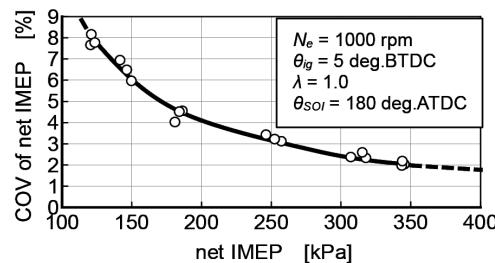


Fig.5 net IMEP vs. COV of net IMEP

3-2. 各負荷条件による筒内流動

3-1. 節で述べた燃焼計測結果より、アイドリング時、低負荷時の代表として net IMEP = 150 kPa (COV = 6 %) と net IMEP = 350 kPa (COV = 2 %) の 2 条件を対象とし、筒内流動を計測し、流動サイクル変動を評価する。ただし、PIV 計測時にはファイヤーリングは行わないため、負荷相当の吸気圧（スロットル開度）を計測条件としモータリング条件で PIV 計測を行った。そのため、壁面温度も燃焼時とは異なる条件である。また、計測には液体トレーサを用いたが、圧縮行程後半では圧縮温度によりトレーサが蒸発し Mie 散乱光が得られなくなり、圧縮端の筒内流動の計測はできなかった。

図 6 ~ 8 に連続 45 サイクル計測したベクトルマップのアンサンブル平均結果を示す。計測は 394 ~ 688 deg.ATDC まで 2 deg. 間隔で行っているが、代表的なものとして図 6 に CA = 450 deg.ATDC、図 7 に 540 deg.ATDC、そして図 8 に 630 deg.ATDC の結果を示す。また、図 (a) に net = 150 kPa 条件、図 (b) に 350 kPa 条件、そして図 (c) に参考データとして、燃焼計測は行っていないが WOT (全開条件) の結果を示す。

図 6 の 450 deg.ATDC の筒内流動では、右上の吸気バブから 20 ~ 30 m/s の強い吸気流れが確認でき、スロットル開度が大きくなるにつれ、流速は高くなった。図 7 の 540deg. ATDC の結果より、下死点では筒内に反時計周りの大規模なタンブル流れが形成されていることがわかる。赤丸で示すのはタンブル中心であり、図 (a) ~ (c) を比較すると、スロットル開度が大きくなるにつれタンブル中心は右下方へと遷移した。図 8 に示す圧縮行程では、タンブル流れが維持されたままピストン冠面上から右上に巻き上がるような流れパターンとなり、スロットル開度が大きくなるにつれ、巻き上げ流れが燃焼室中心に向くような傾向であった（図中黒矢印）。これはスロットル開度が大きいほど、吸気流速が高くなり、タンブル比が大きくなり、より回転が強くなり、タンブル渦が維持されたまま圧縮行程で渦全体が潰されるためと考えられる。

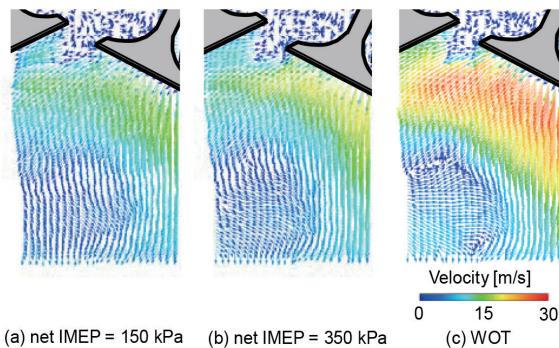


Fig.6 Vector velocity (CA = 450deg.ATDC, Ensemble ave.)

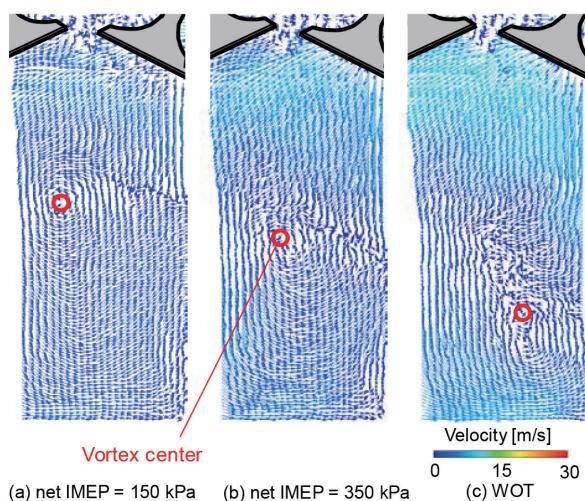


Fig.7 Vector velocity (CA = 540deg.ATDC, Ensemble ave.)

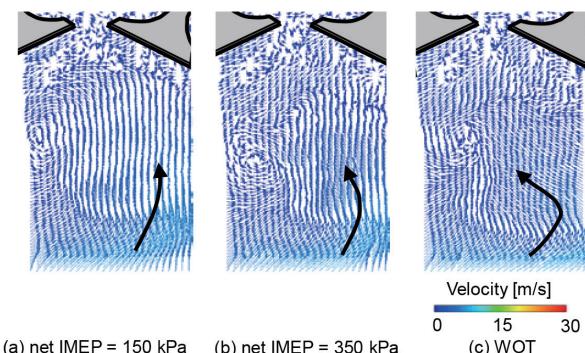


Fig.8 Vector velocity (CA = 630 deg.ATDC, Ensemble ave.)

3-3. 瞬間流の時間平均による乱流成分の切り分け

3-2. 節では連続 45 サイクルのアンサンブル平均結果により、各負荷条件における筒内平均流のパターンについて述べた。次に筒内流動のサイクル変動を評価していく。サイクル毎に平均流は変動するとして、サイクル変動がある場合、流れのエルゴード性は成り立たない。従って、アンサンブル平均した結果と瞬間流を時間平均した結果の差分を取ることでサイクル変動を定量化することができる。アンサンブル平

均結果は 3-2. 節で得られているので、瞬間流の時間平均を行う。

瞬間流の時間平均は、主流成分と乱流成分を切り分けるために乱流カットオフ周波数 fc を定義するのが一般的である。神本らは、LDV を用い筒内定点の時系列流速データを高速サンプリングし時間 FFT (高速フーリエ変換) し、その積分パワースペクトル (以下 PS) を取り、積分値が全体の 90 % となった周波数を fc とした^[6]。また大倉らは、時間 FFT したパワースペクトルの傾きが変化する周波数を fc と定義した^[7]。本研究では両者の方法を試したが、結果的に「積分 PS = 80 % の周波数をカットオフ周波数」と定義した。その経緯を次に述べる。

図 9 に定点流速データの周波数解析結果を示す。定点データはアンサンブル平均結果から図 3 に示した定点でクランク角毎に取得した。図 (a) に定点の流速強度履歴、図 (b) に時間 FFT により得られた PS、図 (c) に積分 PS を示す。図 (b) の PS を見ると、低周波数域の Power の大きい領域は主流成分のスペクトルであると思われ、高周波数域の振動の大きい領域が乱流成分であると考えられる。大倉らの定義した PS の傾きが変化する周波数をこの結果から考察すると、 fc はおよそ 100 Hz 付近にあることがわかり、負荷によりほとんど差が無いことからスロットル開度は fc に依存せず、機関回転数が支配的になる。一方で、図 (c) の積分 PS を見ると、今回定義する積分 PS = 80 % の周波数はおよそ 300 Hz となり、これも負荷違いで差が見られなかった。二つの fc の定義を比較すると 3 倍もの差が生じたため、両者の fc を用いた時間平均を行った。

二つのカットオフ周波数を検討した結果、 $fc = 100$ Hz の場合、アンサンブル平均結果よりも時間平均結果の方が時間フィルタが強くかかってしまい、アンサンブル平均よりも鈍った結果となってしまった。

図 10 に $fc = 300$ Hz の場合の結果を示す。ここでは、図 3 に示した定点データにおける流速強度を瞬間流、時間平均流そしてアンサンブル平均流の履歴を比較を示す。黒線で示す瞬間流の履歴より、乱流成分を含んでいため高周波数の振動が確認できる。赤線は黒線を $fc = 300$ Hz で時間平均した結果であり、高周波成分が取り除かれ、滑らかな結果となった。この結果を緑線で示すアンサンブル平均結果と比較すると、サイクル変動を含んだ比較のため、それぞれの履歴のパターンは異なるものの、両者は近い結果であると言える。

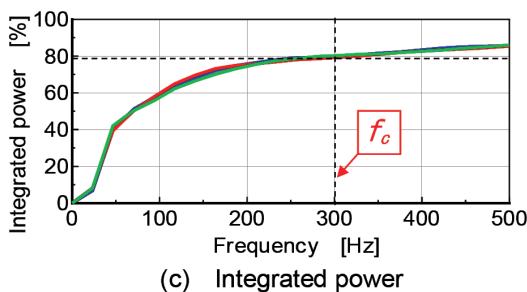
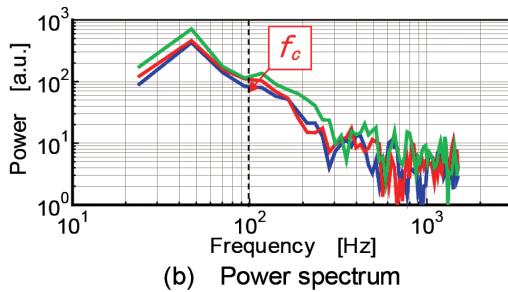
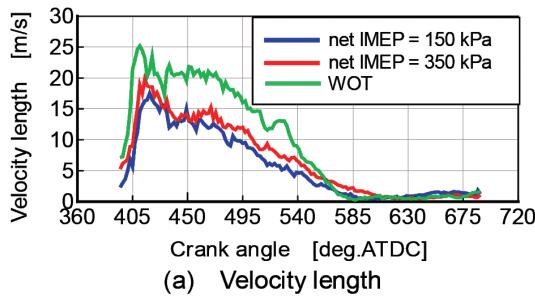


Fig.9 Analyses fixed point data and decision of cutoff frequency

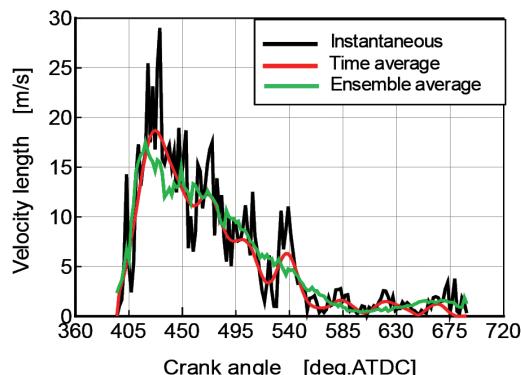


Fig.10 Comparison of time average and ensemble average

図 11 に 1 サイクルの瞬間流のベクトルマップ、図 12 に $f_c = 300$ Hz で時間平均したベクトルマップを示す。両者の計測条件は net IMEP = 150 kPa の条件である。図 11 と 12 の両者を比較すると瞬間流の乱れ成分が時間平均により取り除かれ、図 6 ~ 8 に示したアンサンブル平均結果に近いベクトルマップとなっていることがわかる。特に図 (b) の下死点の結果では、瞬間流ではタンブル流れを確認するのが困難であるが、時間平均流では反時計周りのタンブル流が確認できる。

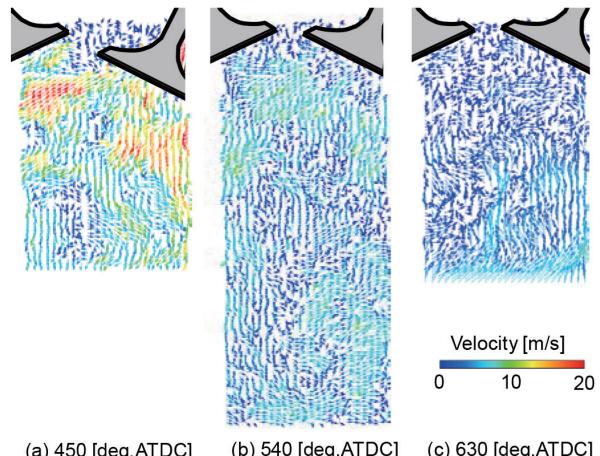


Fig.11 Vector velocity
 (Instantaneous flow, net IMEP = 150 kPa)

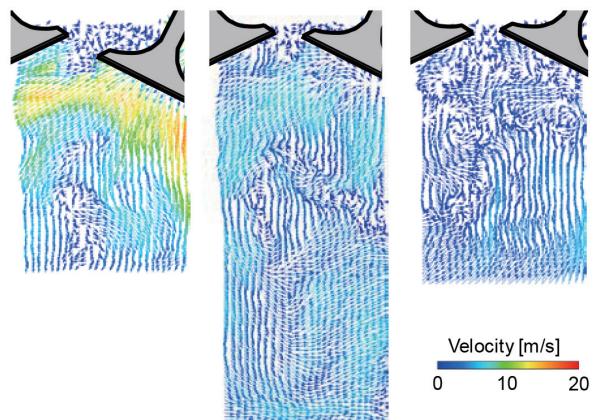


Fig.12 Vector velocity (Time ave. flow, net IMEP=150 kPa)

3-4. 筒内流動サイクル変動

3-3. 節で述べた乱流カットオフ周波数を用いた時間平均結果はエルゴードの仮説が成り立つのであれば、アンサンブル平均結果と一致する。しかし、筒内流動にはサイクル変動があるため、必ず差分が生じる。そこで時間平均結果とアンサンブル平均結果の差分からサイクル変動分布の可視化を試みた。

図 13 に図 12 に示したある 1 サイクルの時間平均結果から求めた流速強度のサイクル変動分布のコンター図を示す。これまでベクトルマップで評価してきたが、差分を取る際にベクトルでは方向性を持つため取扱いが難しく、流速強度のスカラ量として差分を取った。スケールは -10 ~ 10 m/s で示し、アンサンブル平均結果に対し、流速が低い、または高い領域を示している。図 (a) の吸気行程半ばでは、吸気バルブ下流に速度の低い領域があり、図 12(a) に示す時間

平均流を見てもその領域が確認できる。図6(a)ではそのような領域はないことから、サイクル毎の吸気流動の変動成分であることがわかる。

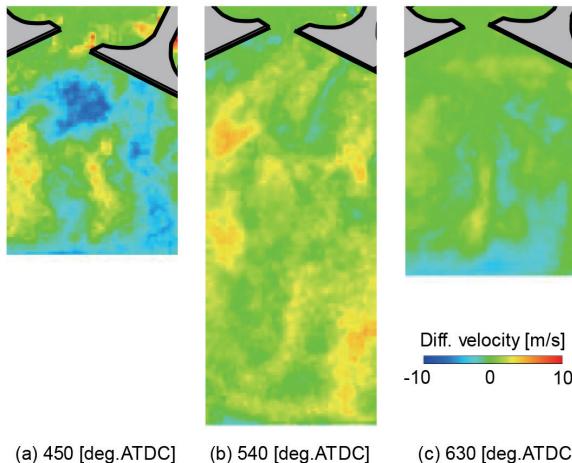


Fig.13 Contour of different velocity (net IMEP=150 kPa)

3-5. 筒内流動 COV 分布

3-4. 節で述べた流動サイクル変動の評価では、複数サイクルをそれぞれ評価しなければならず、定量化が難しい。そこで連続 45 サイクルの流動サイクル変動分布をアンサンブル平均し、空間的な流動変動率 COV を求めた。なお、COV は式(1)を用い、分母にはアンサンブル平均流の流速強度を用いた。

図 14 ~ 16 に各負荷条件における連続 45 サイクル中の流動サイクル変動率 COV のコンター図と図 6 ~ 8 に示したアンサンブル平均流のベクトルマップを示す。コンター図のカラースケールは 1 ~ 1000 % を Log スケールで示した。図 14 の吸気行程半ばを各負荷で比較すると、吸気バルブ下流域は COV が低く 10 % 未満であるためバルブからの剥離流れに関しては比較的サイクル変動は起きていないことがわかる。しかし、低負荷ほどこの領域の COV は高くなり、吸気流動の変動が大きいことが言える。一方、吸気流れのさらに下流域（図左下）では、COV の高い領域があり、これは高負荷ほど増加した。ベクトルを見ると WOT では吸気流れ渦が発生しており、その渦中心で COV が高くなつた。

図 15 の下死点の結果を比較すると、タンブル渦の中心部で COV が高くなつた。COV は渦中心などの流速勾配が大きいところでは大きな値となることがわかる。これは平均流に対し、渦中心の流速強度が非常に小さいため少しの変動でも高い COV となることが考えられる。これを加味すると、高負荷ほどタンブル渦の振れまわりがサイクル毎に大きく変化していることを表している。また黒丸で囲んだ領域では、

低負荷ほど COV は増加した。ここは吸気から流入した流れが初めにピストン冠面に到達する位置で、吸気流動のサイクル変動がピストン冠面上にも影響を及ぼしていると思われる。

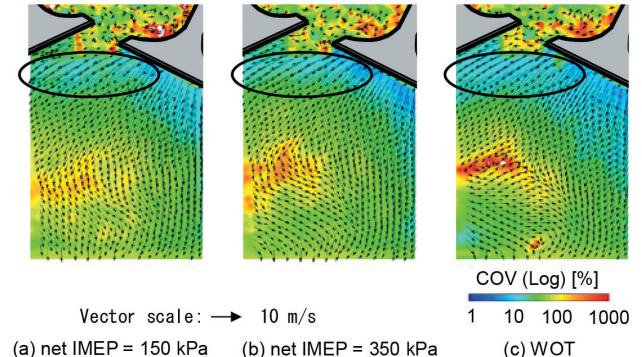


Fig.14 Contour of COV (CA = 450 deg.ATDC, 45 cycles)

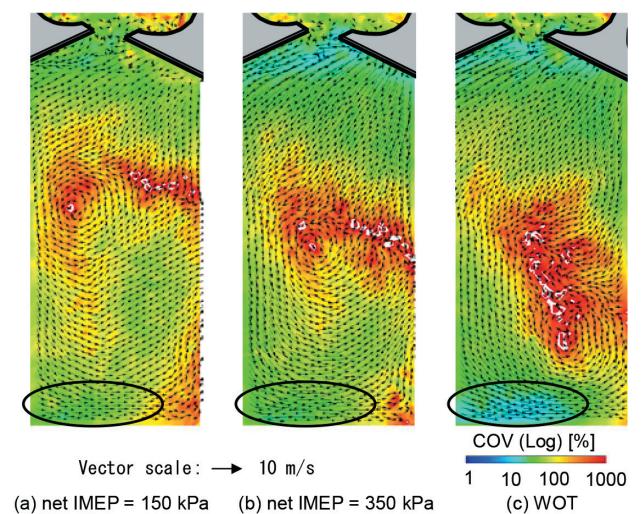


Fig.15 Contour of COV (CA = 540 deg.ATDC, 45 cycles)

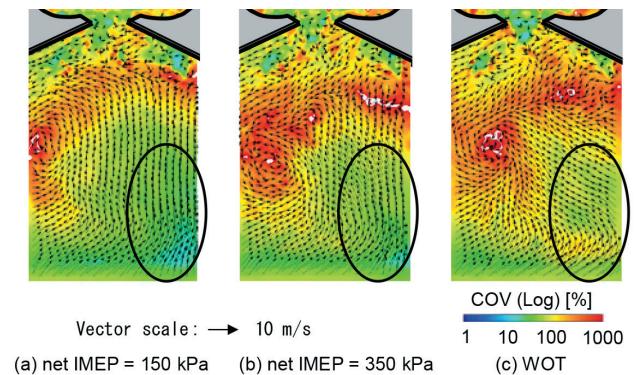


Fig.16 Contour of COV (CA = 630 deg.ATDC, 45 cycles)

図 16 の圧縮行程を比較すると、ピストン冠面からの巻き上げや全体的な流れは、低負荷ほど COV は低く、サイクル間変動が小さいことがわかる。

$$COV = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\bar{x}} \quad (1)$$

以上の筒内流動のサイクル変動率 COV の結果より、吸気行程における吸気バルブからの吸気流れは低負荷ほど変動が大きく、その変動は下死点のピストン冠面上の流れまで影響を及ぼしていることがわかった。またタンブル流れの渦中心の変動は高負荷ほど大きくなり、渦の振れまわりの変動は大きいことが言える。さらにクランク角が経過し、圧縮行程となると低負荷ほどサイクル間の変動は小さくなつた。

3-1. 節で述べた燃焼サイクル変動の原因を流動 COV から考察すると、低負荷は吸気流動の変動が高く、PFI の混合気形成に大きな影響を及ぼしていると考えられる。また圧縮行程では低負荷の流動変動は小さいことから、点火栓付近の流動変動も小さくなっていると考えられる。つまり低負荷時に燃焼 COV が増加する原因是、吸気行程中における吸気流動のサイクル変動による混合気形成状態の変動が強く影響しているのではないかと示唆される。

4 結言

本研究では、燃焼サイクル変動を引き起こす原因のひとつとして筒内流動サイクル変動に着目し、PIV 計測によりその可視化を試みた。得られた結果を以下に示す。

- (1) スロットル開度を変えた 45 サイクルアンサンブル平均結果より、開度により吸気流動の流速変化やタンブル渦の渦中心の遷移を確認した。
- (2) 時間平均に用いるカットオフ周波数 fc は、積分パワースペクトル 80 % の周波数と定義し、計測結果では 300 Hz であった。また開度違いで fc に大きな差異はなく、機関回転数が支配的であることがわかった。
- (3) 連続 45 サイクルの流速変動率分布より、低負荷条件ほど吸気流動に変動があり、その変動は下死点まで持続され、それ以降は低負荷ほど安定した流れとなつた。この変動は吸気行程中の混合気形成に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

■参考文献

- [1] B. Peterson, et al., On the ignition and flame development in a spray-guided direct-injection spark-ignition engine, Combustion and Flame, Vol.161, pp.240-255 (2014).
- [2] 可視化情報学会, PIVハンドブック, 第1版第4刷発行, (株)森北出版
- [3] Keane & Adrian, Optimization of particle image velocimeters: II Multiple pulsed systems, Meas. Sci. Tech., Vol.2, pp.963-974.
- [4] ケビン・ショールズ, 他2名, PIVによる筒内流動サイクル変動解析手法の開発, 自技会論文集, Vol.36, No.6, pp.25-30 (2004).
- [5] 可視化情報学会, 第20回可視化フロンティア「PIV講習会 2015 大阪」テキスト.
- [6] 神本武征, 他4名, 透明シリンドレンジンによるシリンド内空気流動に関する研究, 日本機械学会論文集(B編), Vol.53, No.492, pp.2686-2693 (1987).
- [7] 大倉康裕, 他4名, 高速PIVによるエンジン燃焼室の乱流計測, 日本機械学会論文集(B編), Vol.79, No.806, pp.319-332 (2013).

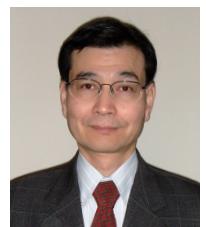
■著者



保木本 聖
Satoshi Hokimoto
千葉大学大学院
工学研究科
人工システム科学専攻



窪山 達也
Tatsuya Kuboyama
千葉大学大学院
工学研究院 機械工学コース
次世代モビリティパワーソース
研究センター 准教授



森吉 泰生
Yasuo Moriyoshi
千葉大学大学院
工学研究院 機械工学コース
次世代モビリティパワーソース
研究センター 長・教授



渡辺 敬弘
Takahiro Watanabe
技術本部
研究開発統括部
基盤技術研究部



飯田 実
Minoru Iida
技術本部
研究開発統括部
基盤技術研究部

自動二輪車における実走行時のライディング運動計測技術の開発

Development of Technology to Measure Motorcycle Rider Movement during Actual Riding

石井航 椎典子 原田佳典 多田充徳 宮田なつき 村井昭彦

要旨

二輪車は四輪車など他のモビリティに比べて、乗員（ライダー）が車両の運動特性に与える影響が大きいため、運転・操作技術の向上には、実走行中のライダーの身体姿勢や車両に与える荷重といった運動を計測し、定量的に技量を把握することが効果的である。しかし、車両挙動に影響がない小型・軽量で、かつライダーの運動比較ができるレベルの精度を備えた計測システムは確立されていない。そこで本研究では、二輪車に乗車中のライダーが取りうる姿勢の自由度が少なくなる点に着目し、デジタルヒューマンモデルとモーションキャプチャによる少数の身体座標計測により、ライディング運動の計測技術を構築した。開発した計測システムにより実走行時のライディング運動を計測し、運転技量の異なる2名のライディング運動の差異を定量的に示した。

Abstract

Compared to other forms of mobility such as automobiles, the movements of a motorcycle rider have a high impact on the motion characteristics of the vehicle. Quantitatively ascertaining rider skill level by measuring movements such as rider posture and the load placed on the motorcycle during motion is therefore an effective path towards improve riding and operation technology. However, a measurement system had not yet been developed which was lightweight and compact (and therefore did not itself affect the motion of the motorcycle), but also with a sufficient level of accuracy to enable comparison of rider techniques. In this research, we developed technology to measure rider movement using digital human model and motion capture methods to measure a small number of body coordinates, focusing on aspects where there is less freedom in the posture available to a rider while the motorcycle is in motion. By measuring actual rider movements with the system we developed, we were able to show in quantitative form the difference between the movements of two riders of differing skill levels.

1

はじめに

近年、国内の二輪車ユーザーの平均年齢は上昇傾向にあり、二輪車市場活性化のためには、特に若年層の新規ユーザーの獲得が必要である。2015年に実施された日本自動車工業会の調査^[1]では、新規ユーザーが期待以上の満足度を得られた項目として、「乗っていて爽快感を感じられる」「開放感を味わえる」「二輪車を操る楽しさを感じられる」などが挙げられた。一方、特に二輪車非保有の女性を中心に「運転に自信がない」ことが、二輪車の購入を躊躇する要因となっている。課題の解決策として、「運転・操作を練習する場所の提供」や「運転・操作技術向上の講座開催」などの要望が高く、二輪市場の裾野拡大のポイントと考えられている。しかし、現状では、「運転・操作技術向上の講座」は、熟練したインストラクターによる直接的な指導が中心であり^[2]、実施場所や参加人数の制約から、サービス提供の拡大には

限界がある。

一方、二輪車ライダーに対する定量的な操縦技量評価技術も提案されており^[3]、スマートフォンを利用して車体挙動を計測し、走行状態を得点化するアプリケーションも展開されている^[4]。こういった技術により、インストラクターの指導によらず、ユーザー自身が自己的「運転・操作技術」を定量的に把握し、技術向上に活用できる可能性がある。しかし、二輪車は四輪車などに比べて、車両全体の運動特性に与えるライダーの影響が大きいことが知られており^{[5][6][7]}、運転・操作技術の向上には、走行時のライダーの運転操作に加え、身体の動きや力のかけ方といった「ライディング運動」を把握し、的確にライダーにフィードバックする必要がある。

以上の観点から、本研究では自動二輪車における屋外走行中のライダーの身体姿勢と、ライダーが車両に与える荷重（以降、両者を総称して「ライディング運動」と呼ぶ）を計測する技術を開発した。

本稿では、ライディング運動の計測・推定手法について説明し、研究室内での精密な計測と比較することで計測方法の定量的な検証結果を示す。また、運転技量の異なるライダーの走行時の定量的な比較結果を事例とともに報告する。

2 ライディング運動の計測・推定方法

開発した姿勢計測システムの概要を図1に示す。計測システムは、国立研究開発法人 産業技術総合研究所が開発した、デジタルヒューマンソフトウェア「DhaibaWorks」^{[8][9]}を中心に構成される。システムは、ライダーの身体姿勢・車両状態の計測と、ライダーが車両に与える荷重の計測で構成される。以下にその詳細を述べる。

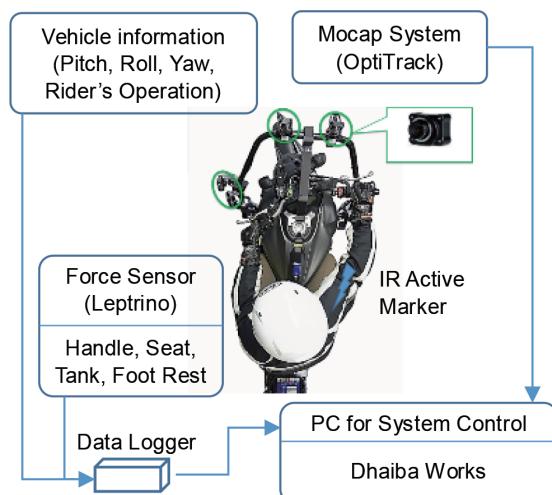


図1 ライディング運動計測システムの概要

2-1. ライダーの身体姿勢の計測

実走行時の自動二輪車ライダーの身体姿勢計測技術の開発において、以下の開発目標を設定した。

- ・自動二輪車に搭載するため、車両挙動に影響がないように小型軽量であること
- ・ライダーの操縦操作の自由度を妨げず、ライダーへの身体的負担が少ないとこと
- ・屋外での計測に対応可能のこと
- ・身長や体格の異なるライダーの計測が可能のこと
- ・ライダー間の運動比較ができるレベルの計測精度をもつこと

上記の条件を鑑みて検討した結果、本研究では、自動二輪車に乗車中のライダーが、乗車姿勢を取ることで、ライダーが取りうる姿勢の自由度が少なくなる点に着目した。そこ

で、今までライダーの身体姿勢を精緻に再現するために多数の点を計測していたところ、今回は身体の計測点を減らし、一部分のみを光学式モーションキャプチャ（Mocap）装置で計測し、三次元座標位置を求め、デジタルヒューマンモデルと前記拘束条件を組み合わせことで、全身姿勢を推定する手法を採用した。

身体姿勢を計測する機能の構成は、ライダーに取り付けた9ヶ所の赤外線自発光マーカー（自社開発品）を撮影するため、6台のモーションキャプチャカメラ（OptiTrack社製 Slim3U：解像度 640 × 480pixel、フレームレート 120fps）を、車体上のライダーを正面から撮影できる位置に設置した。撮影されたデータは、車載パソコン（PC）に送られ、PC内にて計測したマーカーの座標情報がDhaibaWorksに受け渡される。

2-2. ライダーの身体姿勢の推定

計測した身体の9点の座標情報から全身の姿勢を推定するための計算の流れを図2に示す。

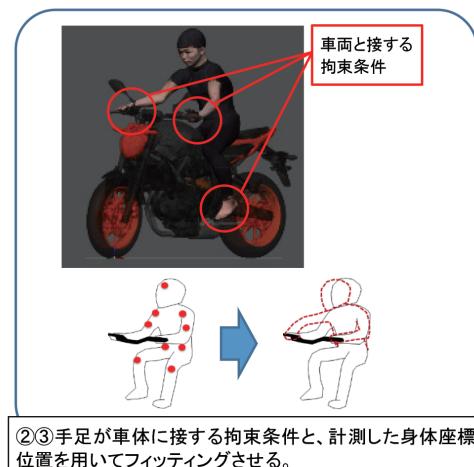
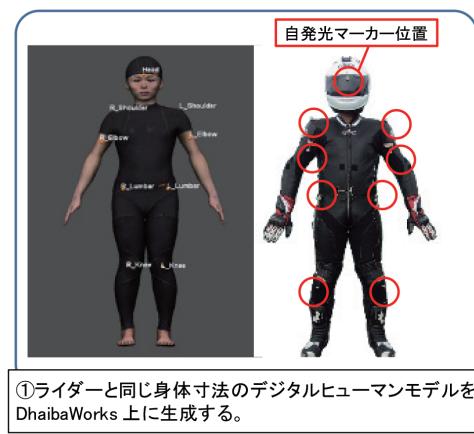


図2 ライダー姿勢推定の流れ

①デジタルヒューマンモデルの作成

DhaibaWorksにて、ライダーと同等の身体寸法のデジタルヒューマンモデルを生成する。DhaibaWorksの体形モデル機能により、身長・体重等の身体の一部寸法を与えることで、詳細な形状特徴を表現するデジタルヒューマンモデルの生成が可能である。

デジタルヒューマンモデルの体表に9箇所の特徴点を設定する。特徴点は、ライダーに設置した自発光マーカーと同様の位置とする。

②車両モデルの準備

走行する自動二輪車の3次元データをDhaibaWorksに取り込み、デジタルヒューマンモデルを車両に乗車させる。

③実測したマーカー位置情報による姿勢の修正

車載のモーションキャプチャカメラで計測した自発光マーカーの座標情報と、デジタルヒューマンモデルの特徴点が一致するように、デジタルヒューマンモデルの姿勢を調節させる。デジタルヒューマンモデルの拘束条件として、両手は左右それぞれのハンドルグリップに接触させ、両足裏は左右それぞれのフットレストに接触するという条件を同時に使用することで、ライダーが取りうる身体姿勢の自由度は制限があり、最小限のマーカー情報で、身体姿勢の推定が可能となる。

2-3. ライダーが車両に与える荷重の計測

屋外走行時の自動二輪車のライダーが車両に与える荷重の計測においては、姿勢計測の要求に加えて以下のような開発目標を設定した。

- ・自動二輪車に搭載するため、車両挙動に影響がないように小型軽量であること。また、操縦性の変化を最小とするため、ベース車両からの外観寸法などの形状変化が少ないこと。
- ・ライダーが車両に与える荷重を、全て計測できる。

上記の条件を鑑みて、調査・検討した結果、本研究では、6軸力覚センサ（レプトリノ社製）を中心に、車両に内装する手法を選択した。この力覚センサは、並進力（ $F_x \cdot F_y \cdot F_z$ ）と偶力（ $M_x \cdot M_y \cdot M_z$ ）の6分力を歪ゲージで検出する。

ライダーが車両に与える荷重を漏れなく計測するため、ライダーと車両が接触する部位に荷重センサを設置した。荷重センサの設置箇所と計測項目を表1に示す。ハンドル・シートについては、並進力3軸と偶力3軸の6軸力覚センサを使用し、いわゆるニーグリップを計測するタンクとフットレストに設置したセンサについては、設置空間の制約から、並

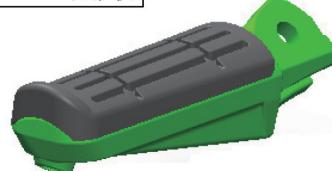
進力 F_z と偶力 $M_x \cdot M_y$ の3軸での計測とした。

表1 荷重計設置箇所と計測項目

設置場所	計測項目
ハンドル	$F_x \cdot F_y \cdot F_z, M_x \cdot M_y \cdot M_z$
シート	$F_x \cdot F_y \cdot F_z, M_x \cdot M_y \cdot M_z$
タンク	左、右 $F_z, M_x \cdot M_y$
フットレスト	左、右 $F_z, M_x \cdot M_y$

荷重センサは試験車両の操縦性の変化を少なくするため、可能な限り元形状を維持した外観とした。センサ設置例として、図3にフットレストへの荷重センサの設置状況を示す。図のように、厚さ11.5mmの薄型の荷重センサを製作し、取り付け基部の一部を切削除去し、足裏の接触面の形状が、元の形状と同等となるように荷重センサを設置した。

フットレスト元形状



荷重センサ設置後形状

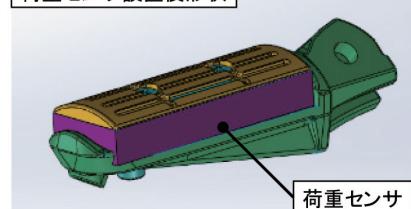


図3 フットレストへの荷重センサの設置状況

2-4. 車両状態の計測

本研究では、車両にモーションキャプチャカメラを設置し、身体姿勢の計測を行っているため、計測した身体姿勢は車両座標系上での計測値となる。

自動二輪車は、運転状態により車体姿勢が変化するため、身体姿勢を全体座標系に変換する際に、車体姿勢を把握する必要があり、車体にモーションセンサ（東京航空計器社製CSM-MG100）を設置し、車体姿勢の計測を実施した。

また、アクセル操作量、ハンドル操作角度、ブレーキ操作などのライダーが自動二輪車の操縦のために行った操作についても、同時に計測を実施した。

これらのセンサ値と、荷重センサの計測をデータロガーで収集し、車載したPCのDhaibaWorksで集約して計測した。

2-5. 計測値からの演算項目

ライダー・車両の計測値から、身体質量中心位置の演算を実施した。

身体質量中心位置は、デジタルヒューマンモデルをリンク情報に基づき分割し、分割した各部位ごとに質量・重心位置を計算し、全体を推算した。

3 計測方法の定量的検証(屋内での静的検証)

屋外における走行中の動的状態での計測に先立ち、2章で示した6台の車載カメラを利用した身体姿勢の計測方法の精度について、屋内の静的状態での検証を実施した。

検証方法は、研究室内にて据置型モーションキャプチャを使用した計測（計測方法A）を目標値として、同時に計測した本研究の計測手法（計測方法B）とを比較した。計測方法Aは、15台の据置カメラから構成されるモーションキャプチャシステム（VICON社製 VICON MX-13〈130万画素〉×10台、VICON T160〈1600万画素〉×5台）を用いて、被験者の体表に添付した反射マーカーから身体座標位置を計測し、ヒューマンモデルにフィッティングさせた。反射マーカーは、Visual 3D（C-Motion社製）のガイドラインに基づく全身57箇所に貼付した。

また、本研究の計測手法となる計測方法Bは、6台のモーションキャプチャカメラ（OptiTrack社製 Slim3U）を車両に設置し、同様に被験者の体表に添付した9箇所の赤外線自発光マーカーから身体座標位置を計測した。

被験者は、車両と同形状の擬似車両に乗車し、ライダーが取りうる様々な姿勢（基本乗車姿勢→前傾→後傾→上体を左寄り→上体を右寄り→ハンドルを左に操作→ハンドルを右に操作→左側にハングオン→右側にハングオン）を再現し計測した。なお、一連の動きは連続して計測した。

本検証計測での被験者へのマーカー貼付は、以下の2通りの方法にて実施した。

- ・被験者の体表に直接、マーカーを貼付
- ・被験者がライダースーツ・手袋・ライダーブーツ（革製）、ヘルメットを装着し、装具上に貼付

本項では、社内テストライダー1名（男性・身長165cm・体重60kg）に対する計測結果を示す。

3-1. 分析手順

被験者の体表へ、反射マーカー（計測方法Aで使用）および自発光マーカー（同Bで使用）を貼付した状況を図4に示す。計測データの分析は、以下の手順で行った。

- ① 被験者にマーカーを貼付した位置に対応するデジタルヒューマンモデル上の位置に、マーカー点（特徴点）を設定する（図5参照：反射マーカー〈計測方法A〉57点、自発光マーカー〈計測方法B〉9点）。
 - ② 計測方法A・Bそれぞれにて計測したマーカー座標位置と、デジタルヒューマンモデル上の特徴点を一致させるようにヒューマンモデルの姿勢を調節する（計測方法Bは、2章で示した手足の拘束条件も利用する）。
 - ③ それぞれの方法で調節後のデジタルヒューマンモデルを比較し、差異を確認する。
- なお、本研究では図6に示す二輪車の座標系を使用し、本報ではライダーの運動もこの二輪車の座標系上で表している。



図4 マーカー貼付状況(体表上)

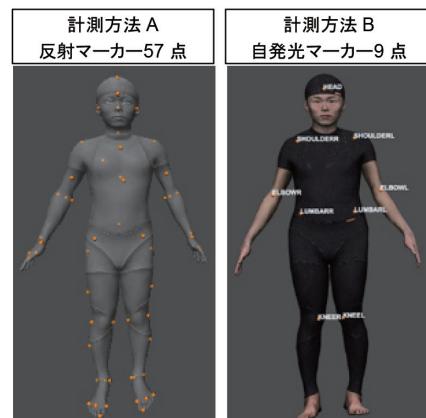


図5 ヒューマンモデル上のマーカー位置



図6 二輪車座標系

3-2. 検証結果

図7に、計測方法によるモデル全体の姿勢の差異の一例を示す。この姿勢は上肢を右に傾けている状態にて比較しており、計測方法A・Bどちらも概ね同様の姿勢を再現できている。

ライダーが擬似車両上で様々な姿勢を取った際の全身の身体質量中心位置を図8に示す。図は、計測方法Aと計測方法Bの差を各軸で表している。Z(上下)・Y(左右)方向では計測範囲において、概ね±10mm以下の範囲となっている。身体位置が左右に偏ったときのYの差は小さい。一方、X方向(前後)では誤差が大きくなり、特に上体を左に傾けたときと、右に旋回したときに大きい。計測範囲全体での全方向の平均誤差は12.9mmとなった。

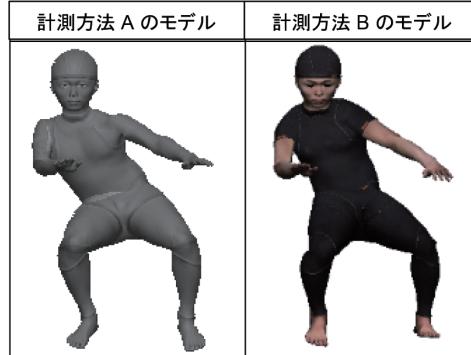


図7 計測結果例(計測方法A・Bによる差異)

4

屋外での動的計測

開発したライディング運動計測システムを搭載した車両を用いて、社内テストライダー2名(男性・身長165cm・体重60kg、男性・身長167cm・体重54kg)の走行を計測した。

4-1. 試験車両

試験車両は、排気量688cm³、計測車両重量208.0kg(計測器を含む)、ホイールベース805mm、全幅745mmである。計測機器は、パソコン・データロガーをタンデムシート上に、モーションセンサをフューエルタンク上にそれぞれ配置した。車両状態として、前後・横方向加速度、ピッチ・ロール・ヨー角度、操舵角度、スロットル開度、前後ブレーキ操作等を計測した。

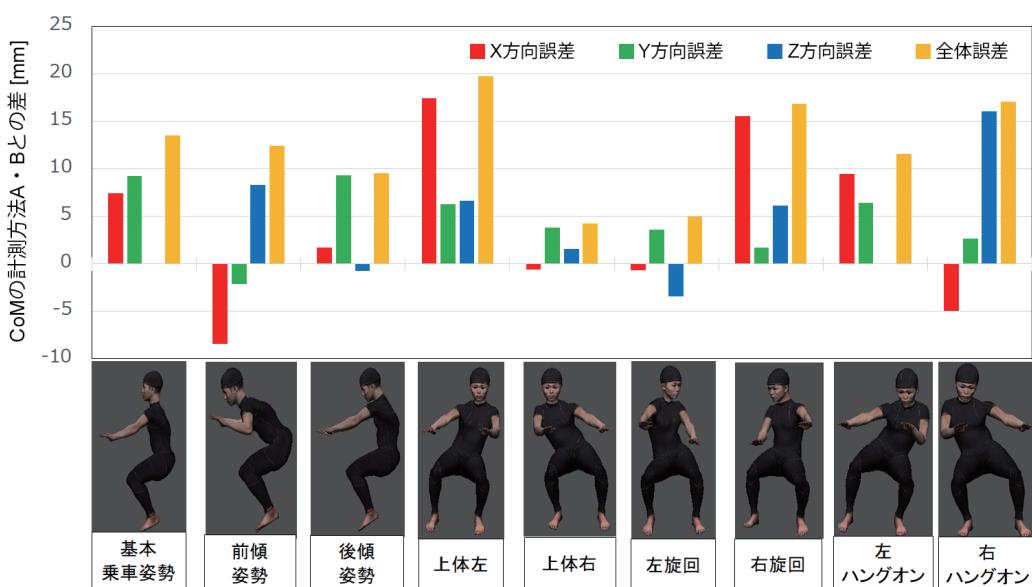


図8 身体質量中心位置(CoM)の計測方法A・Bの差

4-2. 走行課題

計測時の走行コースは「千鳥走行」にて実施した。千鳥走行は、左右交互に設置されたパイロンに接触しないように走行する課題で、低速走行のため車体バランスを崩しやすい。そのため、身体位置や荷重操作が重要となり、ライディング技量の差異の計測に適した課題である。

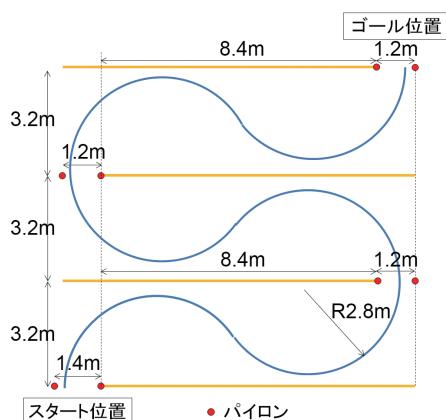


図9 千鳥走行コース

図9に、本試験で走行した千鳥走行コースを示す。赤丸はパイロンに相当し、パイロン・黄色線に接触しないようにパイロン間を通過した。スタート位置ではパイロン通過前、ゴール位置ではパイロン通過後に一旦停止を行った。走行路が狭いため、車速は10km/h以下の低速走行となり、走行中は車体をほぼ直立させた状態で走行する。本試験では、ライダー間の比較のため、コース上に半径2.8mの円弧をつないだ走行路を設定し、車両の前輪が走行路を通るように走行した。

4-3. ライディング運動の計測結果

前項の走行課題を社内テストライダー2名が走行し、各ライダーの計測を行った。ライダーAは、社内テストライダー一資格の上級資格保持者で、ライダーBに比べて走行技量が高い。

計測の結果、ライダーごとの身体姿勢・車両に与える荷重の差異などが分かった。代表的な差異を図10に示す。

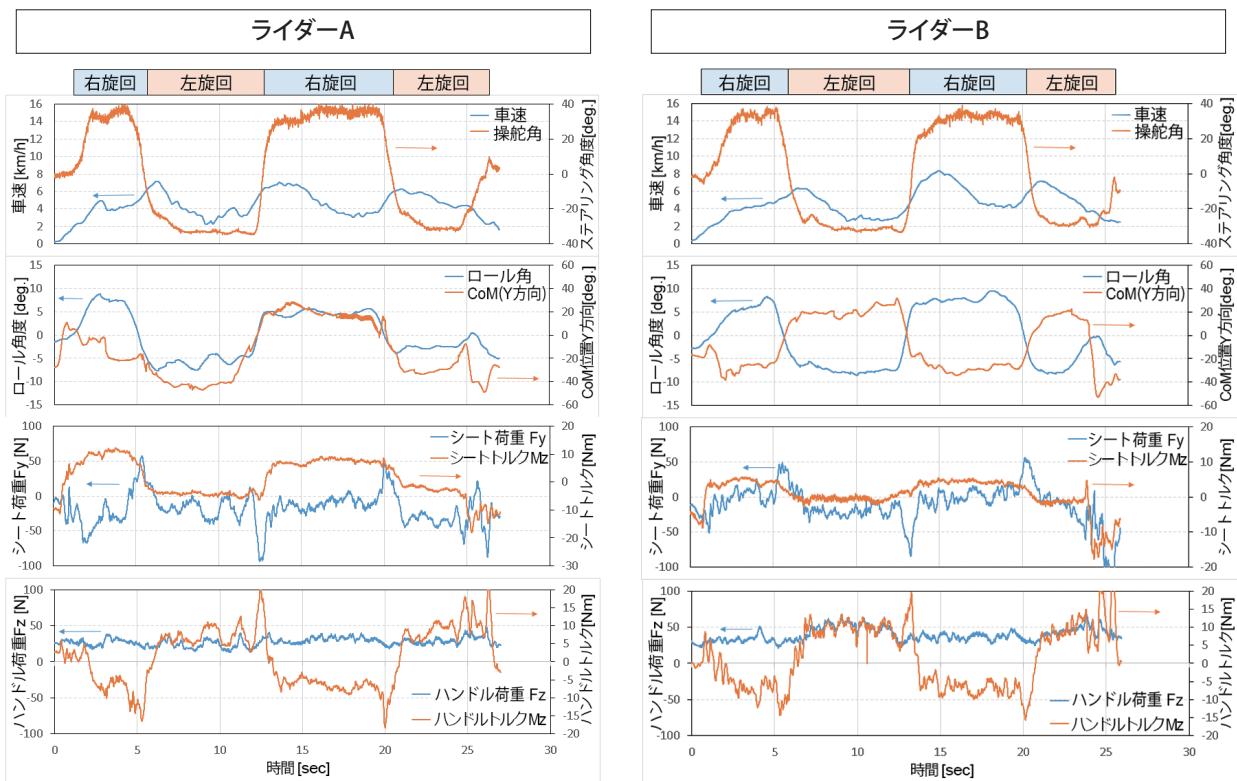


図10 千鳥走行でのライディング運動の違い

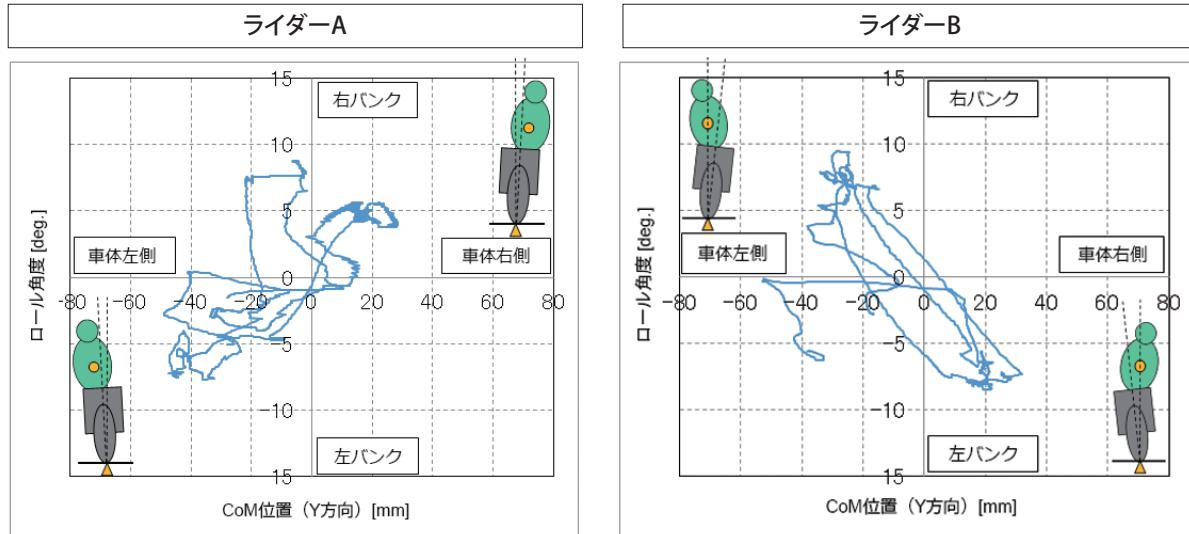


図11 千鳥走行でのライディング運動の違い(車体傾斜と左右CoM位置)

図10の最上段のグラフより、走行時の車速は両ライダーとも同等であり、停止状態から発進し、旋回時は5km/h程度で走行している。本試験では、円弧状の走行路を走行したため、常にどちらかに旋回している状態となっているが、旋回後半の直線走行に近い走行時に、6～8km/h程度まで加速し車体の安定性を確保している。

図10の2段目のグラフは、走行中のロール角度（左右方向の車体傾き:0度が直立状態・右への変位が正方向）と、車体位置に対する全身のCoM位置（Center of Mass: 質量中心、車体中央が0mm・右への変位が正方向）の変化を示したものである。旋回中のロール角度は、ライダーAは約5°、ライダーBは約8°で、その時のCoM位置に差異がみられた。ライダーBは、旋回中に車体を傾けた方向と反対側にCoMが変化しているが、ライダーAは、車体の傾き方向と同じ側にCoM位置が変化している。図11は、横軸に左右CoM位置、縦軸に車体ロール角度をまとめたもので、図中の模式図を表すように、ライダー間で車体傾斜と身体質量中心位置に明確な差異が見られる。

ライダーが車両に与える荷重は、図10の3段目に示すとおり、シート部では両ライダーとも旋回方向を切り替える際に、傾斜する車体を起こすように、車体外側方向に向けて瞬間に荷重をかけている。ライダーAは旋回中に車体が右に傾いているときは左回り、左に傾いているときは逆方向のトルクを明確にかけており、旋回中の荷重のかけ方に差異がみられる。

図10の4段目に示すハンドルについてのグラフでは、ライダーAはZ方向荷重が全域で30N程度だが、ライダーBは概ねその1.5倍程度の荷重をハンドルにかけており、上

級者はハンドルに力をかけないとの通説を裏付ける結果を得た。ハンドル回転軸周りのトルクは、両者同等となっている。

このように、ライダーの運動を計測することにより、従来は困難であった運転技量の異なるライダーの比較を定量的に行うことが可能となった。一方、技量の差が最終的な車両挙動に与える影響を明らかにするためには、マンマシン系全体の力学系を考慮し解析する必要がある。

5

まとめと課題

本稿では、ライダーの運動が二輪車の車両全体の運動特性に与える影響を把握するため、屋外走行時のライディング運動を定量的に計測する技術を開発し、以下の結果を得た。

- (1) デジタルヒューマンモデルと新規開発の荷重計測装置を利用することで、少數の計測点で、走行中のライダーの身体姿勢を計測する技術を確立した。
- (2) 開発した計測技術では、ライダーの身体質量中心位置を計測した動作の範囲内において12.9mmの誤差で推定できた。
- (3) 身体姿勢に加えて、ライダーが車両に与える荷重を計測することで、ライダーの運動を把握し、運転技量の異なるライダーの違いを定量的に示すことができた。

今後は、デジタルヒューマンモデルのフィッティングアルゴリズムの改良により、システム全体の計測精度を向上させ、さらに詳細な運動比較を行っていく。また、抽出した差異をライダーにフィードバックすることで、運動を的確に誘導する技術開発についても検討していく。

■参考文献

- [1] “2015年度二輪車市場動向調査”, 日本自動車工業会, 2016
- [2] “ライディングスクールYRA(ヤマハライディングアカデミー)”, <https://www.yamaha-motor.co.jp/mc/yra/index.html>
- [3] 森島圭祐, 大本浩司, “自動二輪車ライダーの操縦技量定量化に関する基礎検討”, Yamaha Motor Technical Review, 2012-12, No.48, p.71-80
- [4] “スマートライディングアプリ”, <https://www.yamaha-motor.co.jp/mc/life/apps/smartriding/>
- [5] 景山一郎, “二輪車の運動解析における人間の取り扱いについて”, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.961, p.255-258, 1996
- [6] 横井元治, 青木和夫, ”大型自動二輪車の低速走行における人体の挙動に関する研究～熟練度による上体挙動の違いについて～”, 平成25年度日本大学理工学部学術講演会論文集, p.285-286, 2014
- [7] 手塚良孝, 玉島勉ほか, “ライダー挙動を含む二輪車の走行シミュレーション技術の構築”, Honda R&D Technical Review, Vol.19, No1, p.142-148, 2007
- [8] 遠藤維, 多田充徳, 持丸正明, “DhaibaWorks:デジタルヒューマンモデルを利用した人間中心設計支援ソフトウェアシステム(第1報)：機能概要およびシステムデザイン(デジタルヒューマン)”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集2013, 1A2-L03(1)"-1A2-L03(3)", 日本機械学会
- [9] 持丸正明, “人間中心設計を支援するデジタルヒューマン「Dhaiba」の開発”, 人間生活工学, Vol.11, No.1, p43-46, 2010

■著者



石井 航(左端)

Wataru Ishii

技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部

椎 典子(左から2番目)

Noriko Shii

技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部

原田 佳典(左から3番目)

Yoshinori Harada

技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部



多田 充徳

Mitsunori Tada

国立研究開発法人
産業技術総合研究所

宮田 なつき

Natsuki Miyata

国立研究開発法人
産業技術総合研究所

村井 昭彦

Akihiko Murai

国立研究開発法人
産業技術総合研究所

Investigation of the behavior of three-wheel vehicles when they pass over a low μ road surface

Keisuke Terada Takayuki Sano Takao Togawa

当論文は、SAE2016-32-0051 / JSAE20168051として、SETC2016(Small Engine Technology Conference)にて発表されたものです。

DOI: 10.4271/2016-32-0051

Reprinted with permission Copyright © 2016SAE Japan and Copyright © 2016SAE International
(Further use or distribution is not permitted without permission from SAE.)

要旨

近年、高い安定性と2輪車並の運動性能から前2輪、後1輪の3輪キャンバ車両が普及しつつある。我々はこのような車両を Leanin Multi Wheel 車両（以下 LMW 車両）と呼び、研究と開発を進めている。LMW 車両は様々な特徴を持つが、その中の一つとして旋回中に前輪片輪が路面摩擦係数の低い箇所を通過しても安定して走行可能な点があげられる。ただ、なぜそのような特性になるか調査はできておらず、車両理解の観点からも理論的に現象を明らかにすることが求められている。そこで、本報告では計測とシミュレーションにより LMW 車両が旋回中に低 μ 路を通過した際の挙動に注目して検討を行う。初めに確認のため、実機での計測を実施した。その結果、車両姿勢の変化が小さいことと、もう一方の前輪が減った横力を補うようにタイヤ力を発生していることを確認した。次に要因調査を行うため、機構解析上で検討を行った。その結果、解析上でも実機と同様の現象を確認することができた。以上の検討を通じて現象を明らかにすることにより、LMW 車両が持つ旋回安定性の一因を示すことができた。

Abstract

In recent years three-wheel camber vehicles, with two wheels in the front and a single rear wheel, have been growing in popularity. We call this kind of vehicle A “Leanin Multi Wheel category Vehicle” (hereinafter referred to as a “LMWV”). A LMWV has various characteristics, but one of them stands out in particular. When a LMWV is cornering, if one of the front wheels passes over a section of road surface with a low friction coefficient, there is very little disturbance to the vehicle’s behavior and can continue to be driven as normal. However, there has been no investigation into why these vehicles have this particular characteristic. Consequently, in this paper an investigation was carried out in order to determine the behavior of a LMWV in this situation. First, measurements were taken using an actual vehicle to confirm the situation described above. As a result, it was confirmed that there is only a small change in the vehicle’s posture and also that the other front tire generates tire force that appears to compensate for the decrease in lateral force. Next, a multibody dynamics analysis was carried out. The results of this simulation indicated that the cause of this phenomenon is the steering turns toward the inside of the corner and the other front tire develops a slip angle which in turn generates a lateral force. The investigation and analysis described above clarified this phenomenon and demonstrated one of the factors that gives a LMWV its cornering stability.

1 INTRODUCTION

If we take a look back at the evolution of personal mobility, there is a long history of various vehicles being proposed all around the world. In recent years there has been an increase in the number of three-wheel vehicles, particularly in Europe, that have two wheels in the front, a single wheel in the rear, and that feature large camber angles. These vehicles possess a mechanism that is different from both automobiles and motorcycles, but they keep stability and motorcycle-like handling. We call this kind of vehicle a “Leaning Multi Wheel category Vehicle” (hereinafter referred to as a “LMWV”) and have been pursuing their development as well as investigating their characteristics^{[1][2][3]}. LMWV are known to possess a number of characteristics^[4], but the riders of these vehicles have indicated that one noteworthy characteristic is the vehicle’s stability when cornering. One concrete example that has been reported was the case where one of the front wheels passed over a low μ road surface, such as a wet manhole cover, while the vehicle was cornering. Despite these conditions, the vehicle remains stable throughout the turn and can continue to be driven as normal because of little roll angle change. However, there has not been a thorough examination of this particular characteristic and so there is a need for a theoretical study from the standpoint of understanding these vehicles better. In addition, there are very few other examples of research into these types of vehicles, so this is another factor that is preventing a better understanding of LMWV.

Therefore, in this paper an investigation was carried out to examine the phenomenon that occurs when one of the front wheels of a LMWV passes over a low μ road surface during cornering. The purpose of this investigation is to determine the factors that contribute to the turning stability of these vehicles. First, measurements were taken using an actual vehicle during the situation where one of the front wheels passes over a low μ road surface during cornering to confirm the phenomenon. Next, a multibody dynamics analysis was carried out by simulating the same situation to investigate the cause of the abovementioned phenomenon. This paper reports

the results and new knowledge that were obtained from these analyses and examinations.

2 ACTUAL MEASUREMENT TEST

First, an actual measurement test was carried out to investigate and confirm this phenomenon. Fig.1 shows the LMWV with 155 cm³ of displacement that was used for the test. Table 1 lists the vehicle specifications. Furthermore, in this paper, in order to focus on the vehicle characteristics, theoretically, when the vehicle is cornering, the examination was carried out using a geometry in which the difference in the left and right wheel steering angles was 0 degrees at the time of roll. The vehicle was equipped with an inertial GPS sensor, a steering torque sensor, and tire six-component force meter wheels on the left and right front wheels. Please see the references for more details about the measuring instruments^[5]. The coordinate system uses the ISO coordinate system, as shown in Fig.2 and the origin point is located in the center of the right and left Fr.tire road contact point. It is a right-handed orthogonal coordinate system and the axis of rotation is positive in the direction of the right-hand screw. Fig.3 shows the tire force coordinate system. The origin point is located in the each Fr.tire road contact point and the coordinate axes follow along the road surface. α in Fig.3 indicates the direction of slip angle.



Fig.1 External Appearance of LMWV

Table 1 Vehicle Specifications

Vehicle spec					
Wheelbase	1350	mm	Overall length	1980	mm
Caster angle	20	deg	Trail	67	mm
Curb weight	165	kg	Engine displacement	155	cm ³
Fr tire	90/80-14M/C	-	Max power	11.1	kW
Rr tire	130/70-13M/C	-	Max torque	14.4	Nm

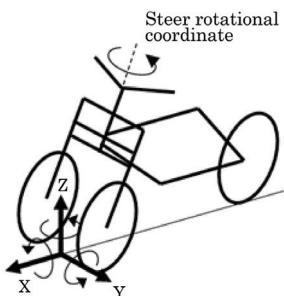


Fig.2 Coordinate system

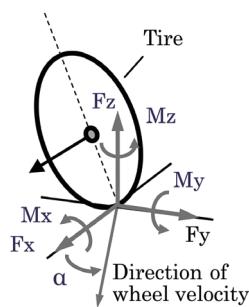


Fig.3 Tire Force Coordinate System

Outriggers were attached to the vehicle during measurement in consideration of the rider's safety. Fig. 4 shows the external appearance of the test vehicle. A smooth, steel plate ($670 \times 670 \times 2.5$ mm) in a wet state was prepared to be the low μ road surface. A skid resistance tester was used to take measurements in advance and as a result it was confirmed that the BPN(British Pendulum Number) was 13.9. The test was then conducted on a circular test course with a radius of 30 meters. The vehicle was driven counterclock-wise around the course in a steady state circular turn and only the right front wheel passed over the low μ road surface. Rider always keeps a steady circular turn. The vehicle velocity was a constant 30 km/h. Fig.5 shows the roll angle measurement results. All measurement data was passed through a 10 Hz low pass filter. The area where one wheel passed over low μ road surface was determined from the tire force measurement data. The roll angle changed by approximately 1 degree when one of the front wheels passed over the low μ road surface. This amount of fluctuation in the roll angle is small in respect to that found during a steady state circular turn and so it was concluded that the vehicle was maintaining its stability. This result matched the comments received from the vehicle's riders. Next, as a distinguishing characteristic of the data measured by

using the tire six-component force meter, Fig.6 shows lateral force measurement data which is shown as F_y in Fig. 3 from the front tires. The graph indicates that when one of the front tires passed over the low μ road surface, as the lateral force of the tire on the low friction surface decreased, the other tire appeared to compensate for it. Next, Fig.7 shows the steer angle result. The result shows the steering angle changed on the inside of turn. Consequently, this verification testing and the actual measurement data that was obtained made it possible to confirm that this phenomenon, which occurs when only one of the front wheels of the LMWV passes over a low μ road surface while cornering, does in fact exist.



Fig.4 External View of the Test Vehicle

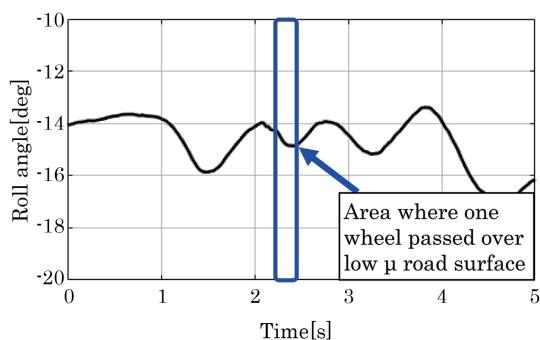


Fig.5 Roll Angle Measurement Data at Left Turn

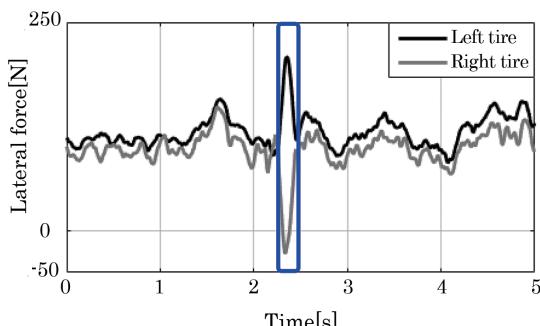


Fig.6 Tire Lateral Force Measurement Data

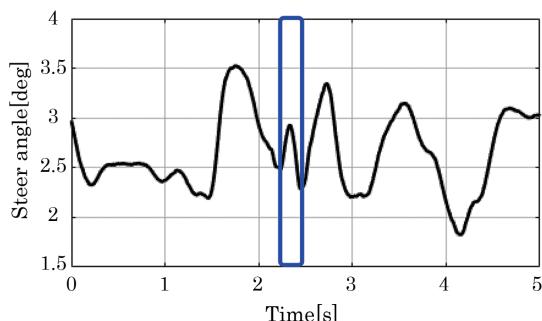


Fig.7 Steer Angle Measurement Data

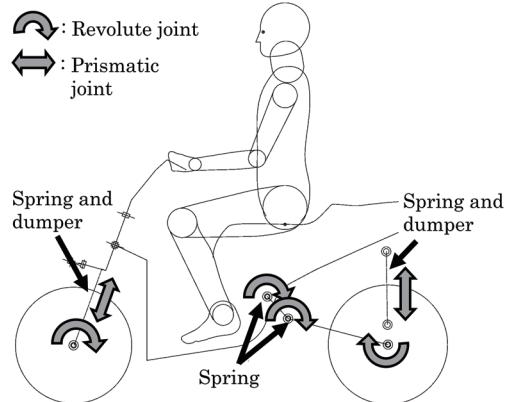


Fig.8 LMWV Simulation Model

3 SIMULATION

3-1. SIMULATION MODEL

There is a limit to the number of items that can be measured using the actual vehicle, so this phenomenon was investigated further by using a simulation. A simulation model of the same vehicle used in the actual measurement test was created for this investigation. The analysis software that was used was SimMechanics. The simulation model of the vehicle was composed of 20 rigid bodies, 18 revolute joints, and two prismatic joints for the left and right front suspension. In addition, non-linear springs and dampers were established for the left and right front forks and the rear suspension, while torsion springs corresponding to rubber bushings were established in rear arm and engine rotation axis. The rider was coupled to the main frame as a rigid body. The main frame of the vehicle possesses six degrees-of-freedom as a reference point, but the other portions of the simulation model, the rotation of the left and right front wheels and of the rear wheel, the rotation of the front lean mechanism, the elasticity of the left and right front suspension, the rotation of the handle bars, the rotation of the rear arm, and the rotation of the engine all possess 15 degrees-of-freedom. The Magic Formula model was used as the tire model. Each rigid element has mass property, moment of inertia, and coordinates at connecting points, and the springs and dampers have the values for the physical properties. Figs.8,9 and 10 show the simulation model in more detail.

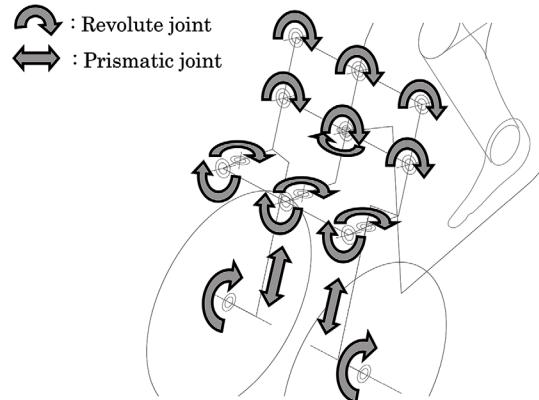


Fig.9 Lean Mechanism of the Simulation Model

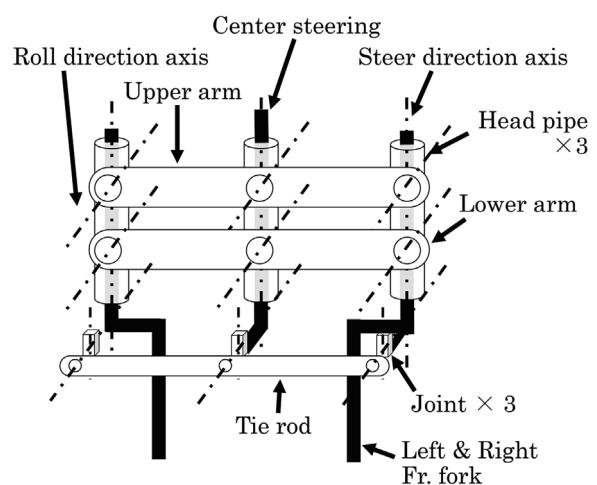


Fig.10 Detailed Drawing of the Lean Mechanism

3-2. RIDER CONTROL MODEL

A simulation of the vehicle being driven was carried out by having a maneuvering model control the vehicle model in the state described in the previous section. In the maneuvering model the drive torque of the rear wheel, τ_d , and the steering torque, τ_s , were found from the following equations.

$$\begin{aligned}\tau_d &= -K_{p1}(v - v_{ref}) \\ \tau_s &= -K_{p2}(\varphi - \varphi_{ref}) - K_{d2}\dot{\varphi}\end{aligned}\quad (1)$$

Where,

τ_d = drive torque

τ_s = steering torque

v = vehicle velocity

φ = roll angle

K = gain

In other words, proportional (and differential) control was carried out so that the velocity and roll angle would approach the target velocity, v_{ref} and the target roll angle, φ_{ref} . In this paper, this rider model was used to conduct the investigation^[6].

3-3. VERIFICATION OF THE MODEL

Prior to using the simulation to investigate the phenomenon, the simulation results were compared to the actual measurement data as a means of validating the suitability of the analysis model. The comparison was made when the vehicle was in a steady state circular turn in order to confirm the basic characteristics. The turning conditions for both the actual vehicle and the analysis were a radius of 30 meters, a vehicle velocity of 30 km/h and the target roll angle of 14.3 degrees. Furthermore, weights equivalent to the measurement instruments on the vehicle were added to the analysis model for the purpose of this comparison. All measurement data was passed through a 10 Hz low pass filter. Fig.11 shows the comparison results for the roll angle, steering torque, vertical force of the left front tire, and the lateral force. There is some fluctuation in the actual measurement data, but the figure shows that in all of these cases the simulation data largely corresponds to the measurement data. Consequently, the suitability of the simulation model was able to be confirmed from these results.

3-4. ANALYSIS OF VEHICLE BEHAVIOR

The vehicle model was used to carry out an analysis of the vehicle behavior when one of the front wheels passes over a low μ road surface. The target velocity was a constant 30 km/h. The vehicle would run straight forward for 10 seconds after the start of the simulation and then run in a steady state circular turn with a radius of 30 meters in a counterclockwise direction at the target roll angle of 14.3 degrees. Next, the situation where one of the front wheels passes over a low μ road surface while the vehicle is running in this constant turn was simulated. Once the turning stabilized after 20 seconds from the start of the simulation, the tire friction coefficient parameter was reduced to a friction coefficient equivalent to the one obtained from the actual vehicle meas-

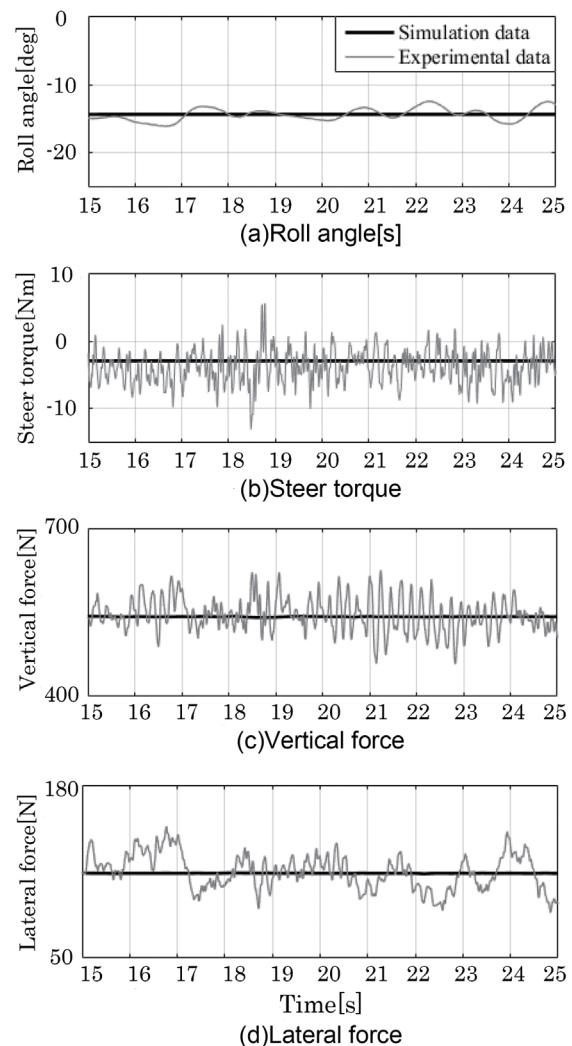


Fig.11 Comparison of the Simulation Data to the Actual Measurement Data

urement test, for 0.2 seconds on the front right wheel only (the wheel on the outside of the left turn). It is said that 1/100th of the BPN value has a correlation with the friction coefficient, so in this case the friction coefficient (μ_y) of the low μ road surface was set to 0.14 by changing lateral friction parameter in Magic Formula model.

The conditions described here were used to simulate and analyze the vehicle behavior. Fig.12 shows the analysis results. The results in this figure indicate that the change in the roll angle was small, approximately 0.4 degree, the same as in the results obtained from the actual measurements.

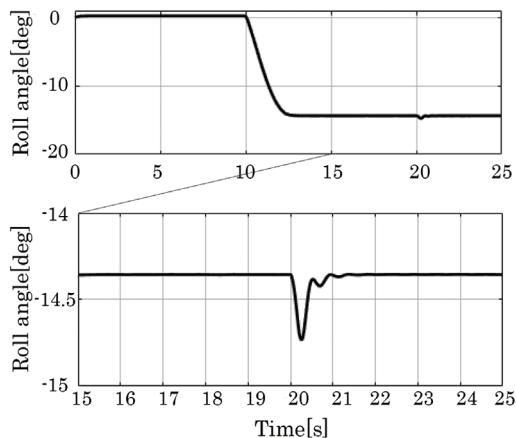


Fig.12 Roll Angle when the Friction Coefficient of One Wheel Changes

Fig.13 shows the left and right front tire forces obtained from the vehicle simulation. Focus on the vehicle behavior starting from the 20-second mark. The lateral force of the right tire tended to decrease when μ_y was reduced. In response to this, the lateral force of the left tire tended to increase. Consequently, a phenomenon in which the other tire (not passing over the low μ road surface) appears to compensate for the decrease in lateral force caused by the reduction in the friction coefficient was observed. Although some fluctuation in the vertical force can also be seen after the tire passed over the low μ road surface, the amount of change during the pass is very small and no other movements were seen that appears to show a difference in load on the left and right tires. In order for the tire to generate the lateral force to compensate for the shortfall of the other tire,

for the most part, this would require changes in the tire vertical force, roll angle, and tire slip angle. In this case, there is little change in the tire vertical force and the roll angle, so the examination continued with a greater focus on the tire slip angle. Fig.14 shows the tire slip angle and steering angle. Slip angle direction is shown in Fig.3. These results show that the front tires have a positive slip angle when the vehicle is turning, but that these change to negative direction at the same time that the friction coefficient of the right tire changes. In other words, the change in the slip angles of the front tires causes the generation of a cornering force on the inside of the turn and so the tire lateral force increases. The steering angle also increases on the inside of the turn at the same time that the friction coefficient of the tire changes. This indicates that the slip angle of the front tires has changed. In this way, the front tires develop a slip angle at the same time that the friction coefficient of one of the front tires decreases and this in turn compensates for the decline in lateral force. The result of steer angle also shows that the same trend can be recognized on steer angle measurement data in Fig.7. This indicates the rider control model works almost same as the steer control of actual rider in this situation.

As a means of comparison, Fig.15 shows the results when the μ_y of both the front tires becomes 0.14 for 0.2 seconds after the 20-second mark of the simulation. The analysis actually stops in this case because of a very large change in the vehicle posture. However, in comparison to the results obtained when the tire friction coefficient is changed for only one front tire, it is obvious that there is a much larger change in the vehicle posture. As a result of this investigation, it is thought that when the friction coefficient of a single front tire declines, the other front tire generates a lateral force and this restrains the change in the vehicle posture.

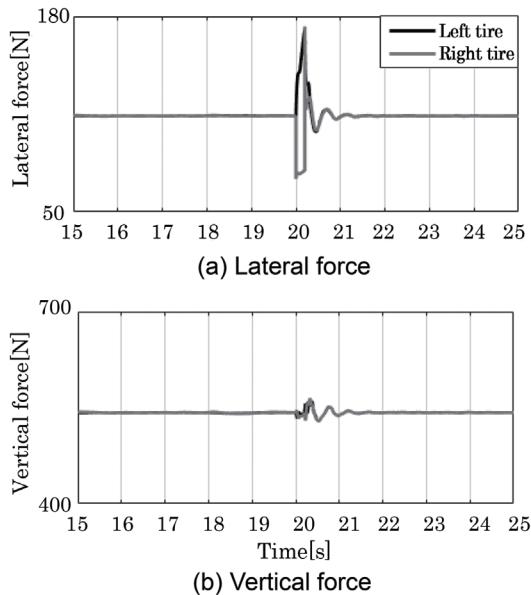


Fig.13 Tire Force when Friction Coefficient of One Tire Changes

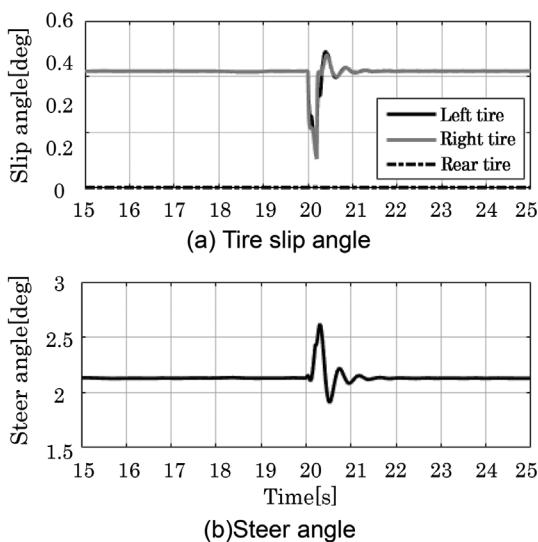


Fig.14 Tire slip Angle and Steering Angle when Friction Coefficient of One Tire Changes

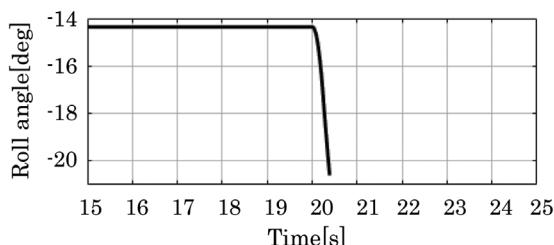


Fig.15 Roll Angle when Friction Coefficient of Both Front Tires Changes

3-5. EFFECT OF THE OTHER FR.TIRE PASSES OVER A LOW μ ROAD SURFACE

Next, Fig.16 shows the results of a simulation using the same conditions described above, except that this time it was only the front left wheel (the wheel on the inside of the left turn) that had its μ_y changed to 0.14. In the same fashion as when the outside front tire's μ_y was decreased, the change in the roll angle was small and the front tire appears to generate a lateral force to compensate for the decrease in the lateral force of the other front tire. This result demonstrated that the same result was obtained no matter which of the front tires suffers a sudden decrease in its friction coefficient.

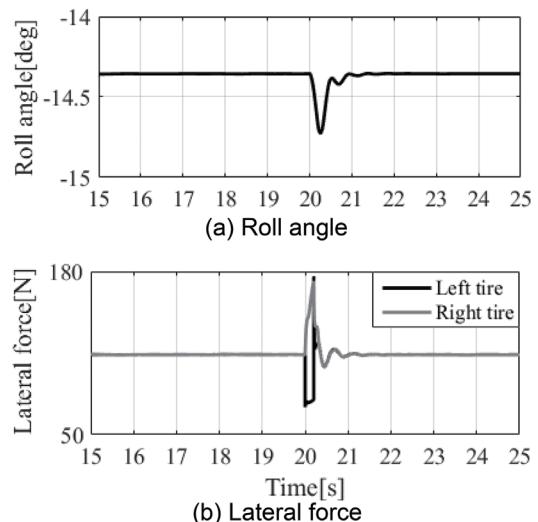


Fig.16 Analysis Results when the Friction Coefficient of the Inside Tire Changes

3-6. EFFECT OF THE LARGE ROLL ANGLE CONDITION

All of the investigations described above were carried out under conditions in which the roll angle was about 14.3 deg. Therefore, the roll angle was changed to 30 deg by increasing vehicle velocity and another analysis was run in order to confirm whether or not the same phenomenon would occur under the conditions. Fig.17 shows these analysis results. The results confirm that both the roll angle and tire lateral force show the same tendencies under these conditions as they did in the analysis results obtained when the roll angle was 30 deg.

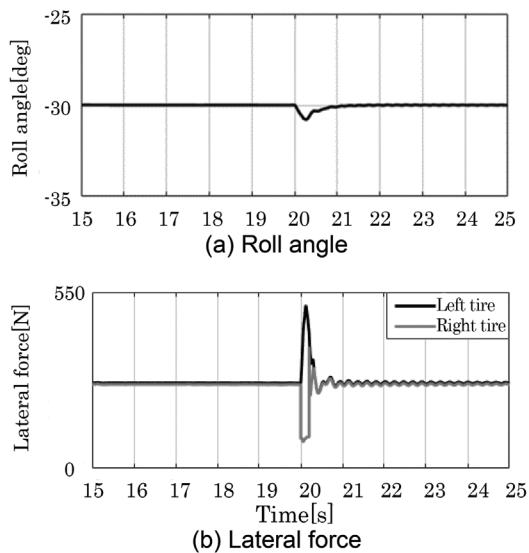


Fig.17 Analysis Results When the Roll Angle was Changed

3-7. EFFECT OF THE RIDER CONTROL MODEL

In the simulations and analysis described in this paper up to now the phenomenon that occurs when one front wheel of a LMWV passes over a low μ road surface while cornering has been investigated. However, these analysis results included steering torque control that simulated a rider. It is conceivable that in reality the rider would react too slowly and there would be no steering intervention. Consequently, the simulation was carried out again, except that this time steering torque control was not applied to reach the target roll angle when one of the front wheels passed over the low μ road surface so that the effect this has on the vehicle behavior could be isolated. Specifically, a constant steering torque of -2.9 Nm was added instead of the steering torque control of the target roll angle starting from 17 seconds after the simulation began. This constant value is the average steering torque from the simulation analysis that was obtained under the following conditions: a steady state circular turn at a target roll angle of 14.3 degrees and a vehicle velocity of 30 km/h. Under these conditions it was possible to examine the behavior of the vehicle when the friction coefficient decreased and there was no steering torque control to reach the target roll angle. A simulation was run in which only the front right tire of the vehicle had its μ reduced to 0.14 for 0.2 seconds under the conditions described above. Figs.18 and 19

show these simulation results. The steer rotational coordinate in Fig.2 is used as steer torque coordinate. The results in Fig.18 indicate that the steering torque of the rider model does not change when the friction coefficient of one of the front tires decreases. This means that it is possible to carry out this examination of the vehicle behavior even when the steering torque is constant. Furthermore, the results in Fig.19 indicate that the vehicle is still running stably, even though the change in the roll angle has increased. The results also demonstrate that the tire lateral force, slip angle, and steering angle have the same tendencies as in the case where target roll angle control was applied. It is thought that this suggests that even when the steering torque is held constant, the front tire slip angle and steering angle are changing and this causes the steering to turn toward the inside of the corner due to the torque from the vehicle body side. This in turn causes the front tire slip angle to change and a force is generated to compensate for the amount of decrease in the lateral force. In other words, it can be said that LMWV possess characteristics that reduce the steering control load on the rider that is necessary to stabilize the vehicle posture. These results confirmed that, regardless of rider control, a tire force is generated that compensates for the decrease in lateral force when one front wheel passes over a low μ road surface and this suppresses the change in the vehicle's posture.

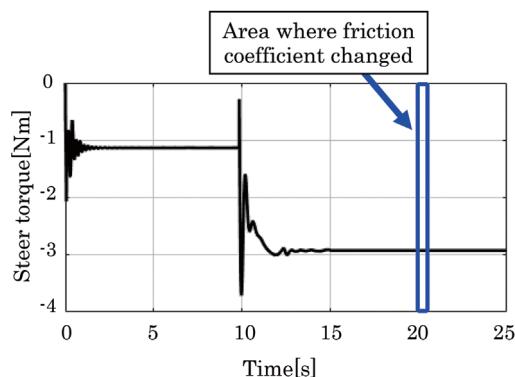


Fig.18 Steering Torque during Analysis

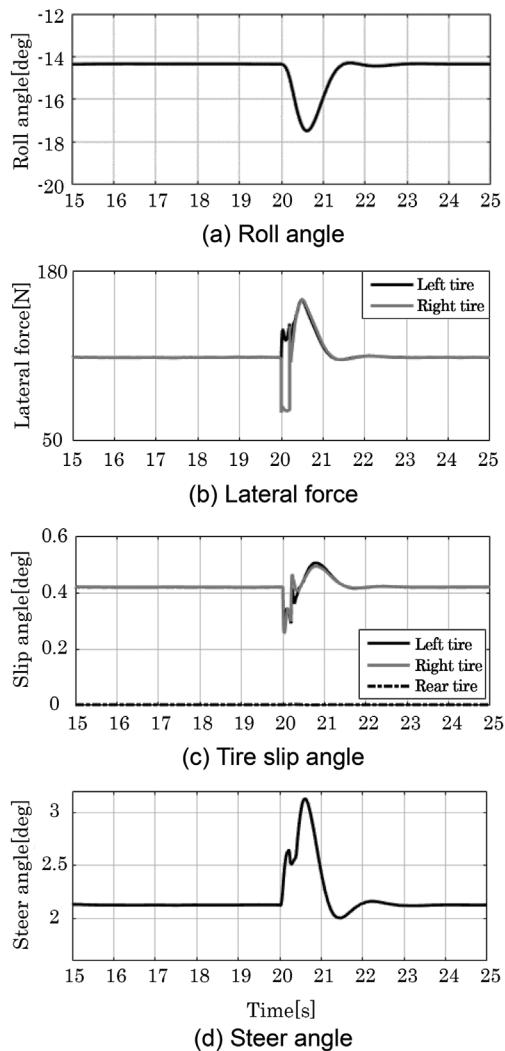


Fig.19 Analysis Results with No Steering Torque Control

4

SUMMARY

The following conclusions about LMWV were able to be drawn from the analysis and examinations that were carried out using actual measurement tests and simulation models.

- Measurements were taken using an actual LMWV when one of the vehicle's front wheels passes over a low μ road surface while the vehicle is cornering and rider keeps a steady state turn. The measurement results clearly indicated that in reality the change in the vehicle posture under these conditions is very small and the decrease in lateral force on one front tire when it passes over the low μ road surface is compensated for by the other front tire.

2. A simulation of a LMWV was created to confirm the existence and cause of this phenomenon by the vehicle behavior when one of the vehicle's front wheels passes over a low μ road surface while the vehicle is cornering. The simulation results were analyzed and it was shown that the change in the vehicle posture was also small when the friction coefficient of one front tire of the LMWV decreased. The results clearly indicated that when the slip angle of one front tire changes, the other front tire compensates for the decrease in lateral force. In addition, further analysis of the simulation vehicle was also carried out under conditions in which the target roll angle control of the rider model was removed. This confirmed that the same phenomenon also occurred regardless of rider control.

- The investigation described above was able to show one of the main causes that contributes to the stability of LMWV during cornering.

REFERENCES

- [1] Kazuhisa Takano: The Development of Tricity, Yamaha Motor Technical Review, 2014-12 No.50
- [2] Takayuki Sano, Keisuke Terada, Kenichi Watanabe, "Investigation of the braking performance of Three-wheel Vehicles" Proceedings of the 2016 JSAE Autumn Convention, No.1-107, p.241-246
- [3] Yuto Koshi, Ichiro Kageyama, Keisuke Terada, Takayuki Sano, "Study on vehicle characteristics of three wheel vehicle having camber angle", Proceedings of the 2017 JSAE Spring Convention, No.18-17, p.506-511
- [4] Sponziello, A., Frendo, F., and Guiggiani, M., "Stability Analysis of a Three-Wheeled Motorcycle," SAE Int. J. Engines 1(1):1396-1401, 2009, doi:10.4271/2008-32-0062.
- [5] Shigeru Fujii, Souichi Shiozawa, Akinori Shinagawa, Tomoaki Kishi: Steering Characteristics of Motorcycles, Proceedings of the Society of Automotive Engineers of Japan, No.125-09, 21-24P (2009)
- [6] Kishi, T., Uchiyama, T., and Fujii, S., "Relation between the Weave Mode in Low Speed Range and Slalom

Running of Motorcycles," SAE Int. J. Passeng. Cars -
Mech. Syst. 5(4):1316-1323, 2012, doi:10.4271/2012-
32-0122.

■著者



寺田 圭佑
Keisuke Terada

技術本部
NPM事業統括部



佐野 貴透
Takayuki Sano

技術本部
研究開発統括部
基盤技術研究部



外川 高男
Takao Togawa

PF車両ユニット
PF車両開発統括部
車両実験部

マグネシウム真空ダイカスト 鋳造ホイールの開発

Development of Magnesium Vacuum Die-cast Wheels

塚本 健二 小倉 純一 稲村 隆義 下位 誠

要旨

マグネシウムは実用金属中の材料比強度がもっとも高く、密度は鉄の約1/4、アルミニウムの約2/3と非常に軽いことから、近年求められている車両の軽量化には欠かせないものとなっている。また、二輪車のホイールには軽量化とともに高い意匠性も要求される。材質をアルミニウム合金からマグネシウム合金へ置換し、従来の重力鋳造法ではなく、当社の固有技術である真空ダイカスト鋳造法を採用することにより、商品性と量産性を高次元で両立させたマグネシウム真空ダイカストホイールの開発に成功した。これにより、従来の重力鋳造法によるアルミホイールと比較して、フロントホイールで530g、リヤホイールで340gの軽量化に成功した。また、フロントホイールで4%、リヤホイールで11%の慣性モーメントの低減を達成し、操縦安定性の向上に大きく寄与している。

Abstract

Magnesium has the highest material strength among all practical metals, and is extremely light, with a density of approximately 1/4 of steel, and 2/3 of aluminum. It is an essential part of the weight reduction demanded of vehicles in recent years. In addition, motorcycle wheels are required to be both light in weight and have excellent designability. By changing the materials used from aluminum alloy to magnesium alloy, and changing the technology used from the conventional gravity casting method to Yamaha Motor's proprietary vacuum die-cast method, we have succeeded in developing magnesium vacuum die-cast wheels with both highly-attractive product attributes and excellent mass producibility. Compared to aluminum wheels made with the conventional gravity casting method, we have produced magnesium vacuum die-cast wheels which are 530g lighter for the front wheel and 340g lighter for the rear wheel. By doing so, we have also reduced the moment of inertia by 4% for the front wheel and 11% for the rear wheel, significantly contributing to increased handling stability.

1 はじめに

当社は、2008年型「YZF-R6」向けにマグネシウム真空ダイカストリヤフレームを開発し、市場に投入して以来、スーパースポーツのカテゴリーでは積極的にマグネシウム合金を採用している。車両の戦闘力が飛躍的に進歩を遂げたフラッグシップモデルである2015年型「YZF-R1」(図1)には、いくつもの軽量化技術が織り込まれている。「特にホイールを軽くしたい」という開発陣の熱意を強く感じ、その熱意に応えるためにマグネシウムダイカストの生産工場がある森町工場にちなんで付けられた、我々チーム「MORIMACHI ● JAPAN」は、当社の固有技術であるマグネシウム真空ダイカスト法を熟成させることにより、従来量産が困難であったリム幅6インチ、リム径17インチの大径かつ幅広なマグネシウム真空ダイカストホイールの量産を可能にした(図2)。従来品との比較表を表1に示す。本報告では、マグネシウム真空ダイカストホイールの開発に際し直面した技術課題と解決手法について述べる。



図1 2015年型「YZF-R1」



図2 マグネシウム真空ダイカストホイール
※完成品のスポークには、我々の自信と誇りを示す「MORIMACHI ● JAPAN」の文字を施した。

表1 従来品と開発品との仕様比較

	従来品 Previous product 2014 YZF-R1	開発品 Developed product 2015 YZF-R1
製品形状 Product form		
材質 material	AC4CH-T6	AM60B-F
工法 method	金型重力鋳造 Gravity casting	真空ダイカスト High vacuum Die casting
表面処理 surface treatment	塗装2コート 2coat Painting	塗装3コート 3coat Painting
重量 weight	3995g(Fr)/4928g(Rr)	3465g(Fr)/4588g(Rr) ▼530g / ▼340g
慣性モーメント internal moment	0.133(Fr)/0.129(Rr)Kg·m ²	0.108(Fr)/0.114(Rr)Kg·m ² ▼4% / ▼11%

2 安定生産に向けた工法確立

2-1.3枚型構造

マグネシウム真空ダイカストホイール用の金型は、3枚型温調構造を採用している。製品のリム形状部は4方向スライドにより形成し、ガス抜きのためのベントも2方向に設置している。型構造が複雑なため、開発段階では金型の温調温度を高温側に設定すると、中間停止位置で中間型と可動型の温度差や中間型の自重による垂れもあり、ガイドピンの摺動不良やスライドの固着が発生して金型が開かず連続鋳造ができない課題があった。

そこで、中間型と可動型のガイドピンを丸型ガイドピンから角型ガイドブロックに変更することで、中間型と可動型が開くときに抵抗がかかる方向を限定し、中間停止位置で金型が開かなくなる現象を対策した。これは、ダイカストマシンに対し、スリーブインロー部分で固定された金型が固定型と可動型がそれぞれ温度差を持って熱膨張したときに、スリーブを中心として放射状に膨張すると考えた場合、図3に示すように一般的なガイドピンの配置をすると、ガイドピンとガイドブッシュは熱膨張の差分で寸法差が生じそれらが線状に接触するため、固着が発生しやすくなる。そこで、図4に示すようにガイドピンを角型ガイドブロックとし、金型の伸縮方向と直角となる側へガイド板を取り付けることにより、金型の膨張に逆らわずガイドとしての役割を面状の接触とすることで、面圧を低下させ固着を防止した。また、中間型が自重で垂れてしまう現象に対しては、固定型の下面に中間型の重さを支えるためのガイドレールを設置して対策した。

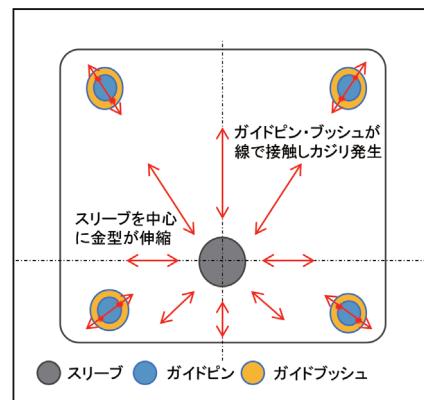


図3 金型の熱膨張モデル(ガイドピン仕様)

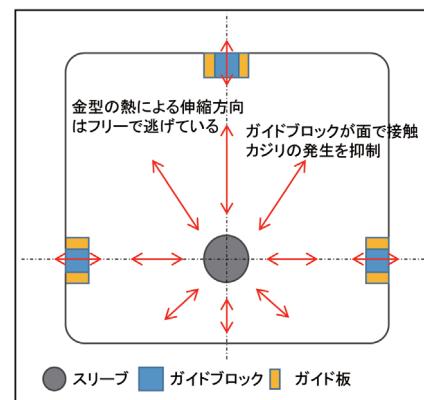


図4 金型の熱膨張モデル(角型ブロック仕様)

また、リヤフレーム開発時の知見より金型真密度と機械的性質に関係があることがわかっているため、金型真密度を確保し、製品全体で安定して強度を確保できる構造を検討した。金型真密度と強度の関係を図5に示す^[1]。3枚型の真密度

イカスト金型を設計するにあたっては、必要な部分に耐熱シールを配置、真空系統を複数用いて真空度を確保し、シール位置の最適化を重ねた。さらに真空引き体積を最小化するように、金型の可動部分を小さく設計して真空引き時間の短縮も行っている。金型の構造を図 6 に示す^[2]。

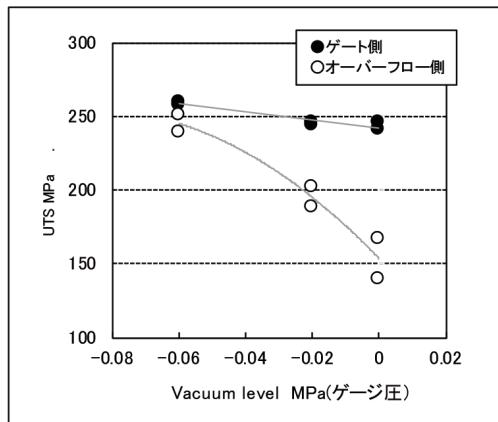


図5 AM60B真空ダイカスト材の真空度の違いによる機械的性質

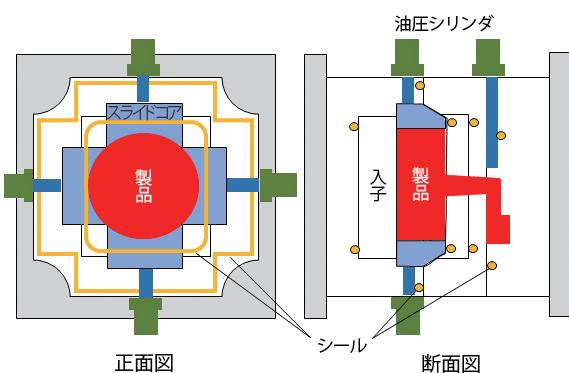


図6 マグネシウム真空ダイカストホイール金型の3枚型構造

2-2. 温調経路設計^[3]

一般的にマグネシウム部品を生産するダイカスト金型では、熱媒体油を加熱し、金型内部へ循環させて金型を昇温する方式が採用されている。マグネシウム真空ダイカストホイールは複雑な3枚型構造であるため、熱解析を併用した温調経路の最適な配置により、金型全体の温度バランスを保つことでアルミニウムと比べて体積比熱の小さなマグネシウムダイカスト合金でも同等の流動長を確保している。また、温調機により鋳造開始前に金型温度を昇温しておくことで、捨て打ちの数を減らすことができるとともに品質の安定化につながる。一方で、金型の構造や製品形状によっては温調経路に制約がでてしまうため、金型全体を均一に温度調節

することが困難となる場合がある。そのような状況を未然に防ぐことが重要であり、そのためには解析による予測を行い、計測による検証結果をフィードバックすることで金型の各部の温度予測精度を上げておくことが役立つ。

今回開発したホイール金型は構造が複雑であったため、温調経路の決定には多くの労力を費やした。第一世代の金型ではスポット温調を多用したが、鋳造中の金型温度をバランスよく制御できなかった。そこで、温調経路の本数や位置、深さ、穴径を改善し、ライン温調やバッフルプレートを使用して可能な限り均一な温度バランスになるようにした。一部には水冷却を採用して金型温度の均一化を図った。特に、鋳造方案上のゲートとなるセンターピンの冷却では、冷却水流量、入り側、戻り側の冷却水温度を測定し、1ショットあたりの抜熱量を測定している。図7に示すように、第一世代の金型では一部300°Cを超える部分がある一方で、150°C以下の部分も存在しているが、改善後は入子全体が220°C～260°Cの範囲となり、適温とされる温度域に保つことができている。

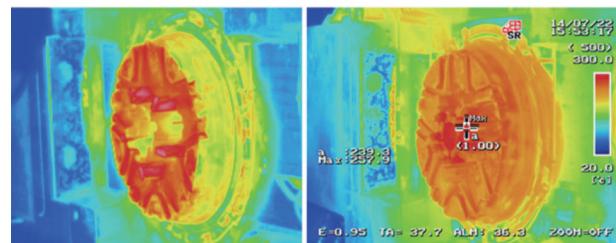


図7 鋳造中の金型温度の測定結果
(左:改善前 右:改善後)

2-3. 安全への取り組み

マグネシウムは燃えやすく、危険であるという先入観がある。一般的な性質として、大気中でマグネシウム合金を溶解すると、湯面より自然に燃焼して酸化マグネシウムを形成する。仕上げ工程で出る乾燥した微細なマグネシウム粉末は、着火源があると容易に着火し、緩やかに燃焼する。また、適度の水を含んだ加工切粉は着火源があると容易に着火し、水を分解して水素と酸素を発生し激しく燃焼する。このように、マグネシウムはその形状や保管方法によっては燃えやすく、取り扱いを間違えると火災のリスクがある合金であるため、我々は細心の注意を払って工程設計を行っている。

鋳造工程では、ダイカストマシンより取り出した製品の方案部分をプレス機や手作業によって除去しなくてはならない。アルミニウムダイカストホイールのセンターゲート方案部分

はコンターマシンにより鋸切断で除去しているが、マグネシウムで同様に鋸切断した場合、大量のマグネシウム切粉が発生してしまい安全上好ましくない。そこで、鋼製パイプを切断するパイプカッターをヒントに、切粉をほとんど出さずにセンターゲート方案部分を切断できるゲートカッターを開発した（図8）。センターゲート部分にカッター刃を押し当てながらカッター刃自体を回転することにより、製品をクランプすることなく切断箇所も隠れ、安全性が確保できる。また、切断した方案部分と少量の切断屑がリターンパレティーナへ自動回収されるため、安全にマシンサイドで切断することが可能となった。今回開発した切断機とコンターマシンとの性能比較を表2に示す。



図8 ゲートカッター

表2 切断機とコンターマシンの性能比較表

		今回開発した ゲート切断機	コンターマシン
安全性	1個切断あたりの 切削屑発生量(g)	0.02	2.32
	オペレーターの 怪我のリスク	なし	あり
作業性	清掃頻度	1回/1直	1回/10shot
	サイクルタイム(s)	15	25
	切断位置ズレ(mm)	±1	±2
	刃の耐久性(個)	約 8000	約 5000

また、後述するが、離型剤塗布方法を油性離型剤による静電塗布に変更するにあたっては、スプレーノズル先端へ高電圧をかけることから、離型剤に引火することができないように生産の状況を想定した安全性の確認を行った。実際に油性離型剤を塗布している状況下で、静電塗布装置によるスパークを近づけたが引火はしなかった。さらに、バーナーによる裸火を近づけたが引火はしなかった。このように、引火する危険性がないことを確認できたが、量産時は、段取りごとに

金型のアースチェックを実施して帶電防止を図っている。また、設備側でも静電ガスに異常がないかを常時確認しており、過電流の発生や出力電流変化量に異常がないかを監視している。

仕上げ工程では、乾燥した微細なマグネシウム粉末が発生するため数々の安全対策を施している。基本的な考え方である「微細なマグネシウム粉末を溜めない」を念頭に置いている。休み時間、終業時の清掃を徹底して行うことで、仕上げにより発生する微細なマグネシウム粉末を溜めないよう管理している。また、静電気には注意を払っており、仕上げエリアゲート、作業台にそれぞれイオナイザーを設置して帶電防止を図っている。また、ツールにはアース線を繋ぎ、仕上げ作業中にツールが当たったときに火花が出ないよう、作業台や治具類をゴム板や木材、アルミ材で構成している。このように、安全のリスクレベルが高い部位は事前に対策を行っている（図9）。その結果、仕上げエリアでの火災などによる事故は工場立ち上げ以来「ゼロ」を継続している。

加工工程では、クーラントの水分が付着している切粉が多く発生するため、着火源があると容易に着火し、激しく燃焼してしまう危険性が高い。水分の付いた切粉は、水素を発生するため、反応して発生した水素が溜まらないようにチップコンベアの上部に孔を開けている。チップコンベアから出した切粉を回収するのは、帶電防止のボックスとしている。また、回収された切粉は、一定量溜まった段階で加熱遠心分離装置により水分を除去して安全性を確保している。

安全教育として、生産部門では実際にマグネシウムの乾燥切粉やバリ、クーラントが付いた湿った切粉を燃焼させてマグネシウムの形状や状態による燃焼の仕方を確認し、それを水や乾燥砂、金属消火器、フラックスを使用して消火する訓練を定期的に実施している。少ない切粉でも水を使って消火した場合、激しく燃焼することを体験させ、注水厳禁であることを確認している（図10）。また、金属消火器や乾燥砂を使い窒息消火させた場合は、完全に鎮火するまでに時間を要することを体験させる。このような訓練を行うことで、適切な初期消火の大切さを実感させて安全への意識を常に高めている。



図9 仕上げ作業台



図10 放水による燃焼体験の様子

3 品質課題への対策

3-1. 湯じわ対策

ホイールは、かねてから生産していたリヤフレームと比較して流動長が長く製品形状が複雑なため、離型剤を塗布する面積が広く、スプレーロボットを教示するポイントも多かった。そのため、開発当初は油性離型剤を 20cm³ 以上塗布し、部分的に水による外冷を併用しないと製品にトラレやカジリが発生して連続して鋳造することができなかった。このため、リム部の湯じわの発生率が高かった。対策として、離型剤の量を減らして塗布しようとすると、ノズルの調整が難しく塗布量が安定しなかった。このように、湯じわ対策のためには離型剤の塗布方法を改善する必要があった。

そこで、まずは塗布ノズルの変更を行った。加工精度がよく、バネレートが改良された流量の微調整が可能な GP ノズルへ変更して少量塗布時の塗布量を安定させた。さらにピンポイントで離型剤を塗布できるように、ノズルの先端部分を形状変更して 10cm³ 程度まで塗布量を減らすことができた。

しかし、リム部の湯じわの発生率は依然高く、外観不良や湯ジワの貫通による圧漏れ不良につながる恐れがあった。また、湯ジワ対策としてやみくもに離型剤の塗布量を減らしてしまうと、塗布したい金型の縦壁部分へ十分に離型剤を付着させることができず、カジリや変形等の弊害も発生して両立させることが難しかった。そこで、離型剤の塗布方法を、金型の縦壁へ有効に離型剤を塗布することができる静電塗布に変更して、さらに塗布量を減らすことを試みた。離型剤塗布量の推移を図 11 に示す。

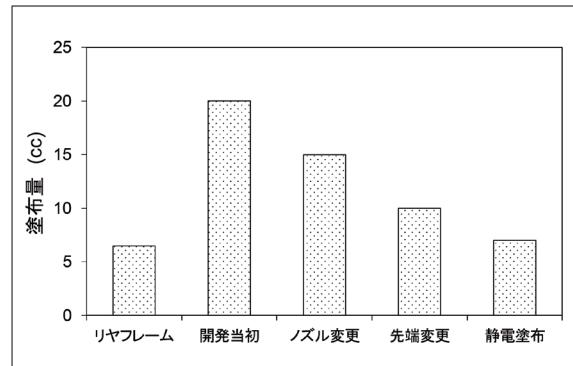


図11 離型剤塗布量の推移

塗布方法を静電塗布に変更することにより、塗布量を減らすことができたが、湯じわの発生メカニズムを完全には把握できていなかった。その原因を調査した結果、静電塗布に変更すると、塗布しなくていいところにも離型剤が塗布されてしまい、そこに付着した離型剤が弊害となり湯じわを発生させていることがわかった。そこで、離型剤内の有効成分量を減らしたところ、湯じわの発生を抑制しつつカジリや変形の発生をなくすことができた（図 12）。さらに、どの位の塗布回数で品質に影響が出るのかを調査し、定期的な金型の清掃を実施している。このように、塗布方法の改善と離型剤成分の調整、金型の定期清掃を実施することで、必要な場所へ必要な量の離型剤を塗布し、その状態を維持管理することにより安定した生産が可能となった。

また、湯じわ対策のもうひとつの手段として、オーバーフロー一体積の適正化を実施した。アルミニウムダイカスト合金と比較し、凝固速度が速いマグネシウムダイカスト合金は、より短時間で充填をする必要がある。オーバーフローは本来、製品の品質に悪影響を及ぼすスリープ潤滑剤や離型剤を多く含む先湯が製品内へ留まることを避け、湯じわの原因となるキャビティ内で発生する溶湯合流部を製品から外へ排出する役目を担っている。開発当初は最終充填部位にオーバーフローを設置して試作を行っていたが、充填時間短縮による

鋳造圧力の立ち上がりを早くすることで湯じわの対策となることがわかり、ガス抜きランナー以外のオーバーフローをすべて止めることで可能な限り2次充填を抑制して湯じわを対策することが可能となった。

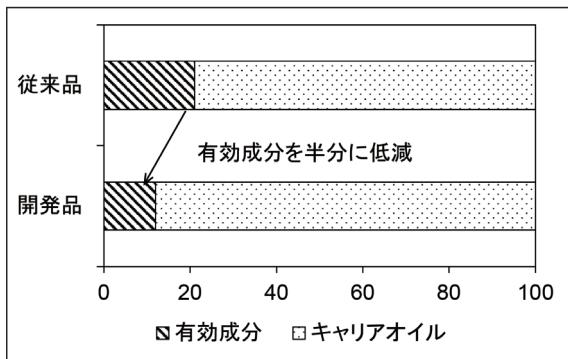


図12 縮尺図：離型剤内の有効成分量

3-2. 製品設計

マグネシウム鋳造の品質にとって重要な要素となる製品設計では、軽量化や強度といった設計要件だけでなく、流動性や凝固温度のバランスを考慮した製品形状の作り込みが必要となる。マグネシウム真空ダイカストホイールの材質であるAM60B合金は凝固温度範囲が比較的広いため、凝固割れの発生が予測された。そのため、製品設計の段階ではCAE解析により凝固温度バランスの最適化を図り、テスト型による形状の作り込みを実施した。湯口に近いハブ部分のテスト入子を製作、5方向に分岐する部分のリブ形状やRをそれぞれ変更し、どのような形状が凝固割れに対して有効であるかを検証した。その結果、湯口ゲート付近で広い平面形状となる部位には、収縮応力を緩和させるため、図13に示す収縮防止リブを設置した。これにより、湯口ゲート付近の凝固割れを防止している。スミR部には、シボ加工により突起形状を付与して表面積を増やしている。突起形状を付与することによるアンカー効果と表面積増加による凝固時間の短縮で、スミR部の凝固割れを防止している。ゲートから遠いリムに関しては、流動性向上を目的にディンプル形状を付与している。

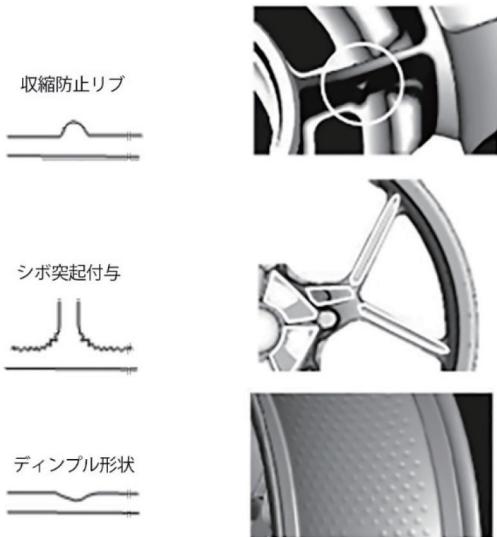


図13 ホイール設計時に採用した製品形状

製品設計でもうひとつ重要な要件として、寸法精度が上げられる。高速で回転するホイールの寸法精度や重量バランスは走行性能に直結するため、車の性能を決める重要な要素のひとつである。従来の重力鋳造で生産されるアルミホイールは、リムからビードシート形状は素材に加工代を設け機械加工により成形されるため、設計寸法通りの精度が確保できるのに対し、マグネシウムダイカストホイールの場合は加工面からの圧モレのリスクが懸念されるため、ビードシート部分は機械加工せず素材のまま使用する。よって、鋳造品の寸法精度がそのまま完成品の寸法精度となる。このため、素材の段階で寸法精度を確保する必要がある。ビードシート部の寸法精度を確保するためのポイントは、適正な縮み代の設定と4方向スライドの合わせ調整の2点が挙げられる。ダイカストの縮み代は、製品取り出し時の金型温度と製品の温度、製品の金型への拘束状態などによって決まる^[4]。ダイカストホイールの場合は、先に型が開き、金型への拘束が開放される中間側と最後まで金型で拘束される可動側とで製品取り出し時の温度と拘束状態の違いによる寸法差の発生が予測されるため、それに縮み代を設定する必要がある。今回開発したマグネシウム真空ダイカストホイールでは、試作型の作り込み段階で中間型側と可動型側のビードシート部分の寸法差は直径でおよそ0.3mmであった。これは、ビードシート部分の周長が約1mm相違することとなる。試作品の作り込み段階において、金型の温度と型の開くタイミングで寸法精度を確認し、生産型製作時に金型へ補正値を織り込むことで量産品の寸法精度を確保している。また、製品のリム肉厚を形成する4方向のスライド入れ子部分は、金型製作時の公差の積み上げや製作時の合わせの調整を経て

鋳造を行うと、通常の鋳物の公差範囲内で肉厚差が発生する。この肉厚差はそのまま重量バランスとなって走行性能に直結する。そのため、鋳造品の寸法を測定し、各入れ子を1/100mm単位で再度合わせて調整を行った。これによりホイール単品での重量バランスを改善し、操縦安定性を向上させた。

4 まとめ

マグネシウム真空ダイカストホイールの開発に際し、商品性と量産性を両立させる上で直面した技術課題と解決手段について述べた。

- ・大型真空マグネシウムダイカストホイールの3枚型構造は、温度による伸縮に追従できる金型構造とすることが重要である。
- ・最適な温度バランスを保つことのできる温調経路設定により、安定した型温で連続鋳造が可能となる。
- ・マグネシウムダイカスト製品の工程設計において、安全性が確保できる設備選定、教育体制が安定した生産活動の一助となる。
- ・マグネシウムダイカストの湯じわ対策として、離型剤の少量塗布とオーバーフローの最適化が有効であった。
- ・マグネシウムダイカストの製品設計において、凝固温度バランスを考慮した製品形状の作り込みと寸法精度を担保する金型設計が重要である。

5 開発の成果

今回の開発により、リム幅6インチ、リム径17インチという大型のマグネシウム真空ダイカストホイールの量産化に成功した。従来のアルミ重力鋳造品と比較して、フロントホイールで530g、リヤホイールで340gの軽量化を達成した。また、慣性モーメントはフロントホイールで4%、リヤホイールで11%の低減を達成している。これらの結果は、車両の操安性向上に大きく寄与すると同時に、目標であった車両重量200kg以下の達成に貢献している。

最後に、本プロジェクトでは多くの方々の情熱にふれ、多大なるご協力、ご指導をいただきました。ここに改めてお礼申し上げます。

■参考文献

- [1]鈴木 貴晴、稻波 純一、小池 俊勝:Development of the Magnesium Die-Cast Motorcycle Chassis IMA2008 pa-per (2008)
- [2]鈴木 貴晴、久保田 剛、橋内 透、浅野 峰生、高橋 一浩: Development of Motorcycle weight reduction technologies as World No.1
- [3]塙本 健二、鈴木 貴晴、小倉 純一、:アルトピア カロス出版 (2017 8) 10p
- [4]軽合金鋳物・ダイカストの生産技術 軽合金の生産技術教本編集部会 (1993) 394p

■著者



塙本 健二
Kenji Tsukamoto
エンジンユニット
コンポーネント統括部
生産技術部



小倉 純一
Junichi Ogura
エンジンユニット
コンポーネント統括部
生産技術部



稻村 隆義
Takayoshi Inamura
生産本部
EG製造統括部
EG製造部



下位 誠
Makoto Shimoi
生産本部
EG製造統括部
磐田第1製造部

ダイカスト湯口方案のノンパラメトリック 最適化技術

Non-parametric optimization technique for die-casting gating system concept

山崎 吾朗 川谷 龍勢

要旨

近年、輸送機器業界では軽量化のためにアルミニウム合金の使用が進められている。当社でも二輪車部品等にアルミニウムが広く用いられており、それらの多くは薄肉化や高意匠化を実現するためにダイカスト鋳造で作られている。ダイカスト鋳造の主な不良の一つに鋳巣不良が挙げられる。これは鋳造時のアルミニウムの凝固収縮や空気の巻き込みによって発生する不良である。本研究では空気の巻き込みを低減する活動を行った。まずダイカストマシンを模擬した水モデル実験装置を作成し型やスリーブ内部の可視化を行い、空気巻き込み現象のメカニズムを解明した。その後、汎用熱流体解析ソフトウェアを用いて空気巻き込み量を定量評価し、遺伝的アルゴリズムを用いて鋳造条件や形状を最適化することで空気巻き込み量を低減した。最後に、最適化された条件を用いてダイカストマシンで鋳造を行い空気巻き込み量の低減を確認した。以上より提案手法の有効性が確認できたため本稿で報告する。

Abstract

In recent years, aluminum alloy has been widely used in the automobile industry in order to promote vehicle weight reduction. Yamaha Motor extensively uses the aluminum die-casting manufacturing process in particular to create thin motorcycle components with complex designs. One major cause of defects in die-casting is porosity, which occurs due to solidification shrinkage or air entrapments during casting. This research proposes an initiative to reduce air entrapment. First, water model test equipment was constructed to simulate the die-casting machine and visualize the filling inside the sleeve and die cavity, which in turn enables clarification of the air entrapment phenomenon mechanism. Next, quantitative evaluation of the air entrapment volume was carried out using computational fluid dynamics (CFD) simulations, followed by reduction of the air entrapment volume by optimizing factors such as the casting conditions and gating shape using a genetic algorithm. Finally, casting experiments were performed on the die-cast machine using the optimized factors, and reduction of the air entrapment volume was successfully confirmed. The results and effectiveness of the proposed method are presented in this report.

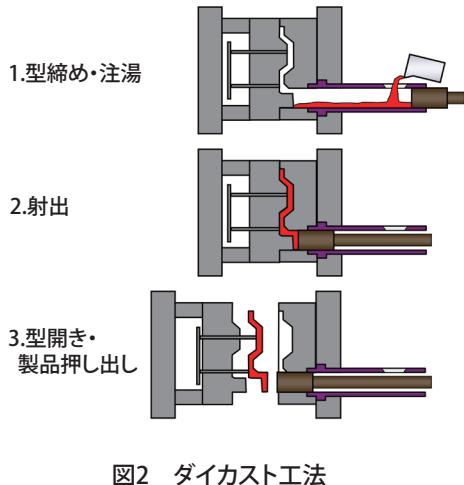
1 はじめに

アルミニウム合金（以下、アルミ）は、軽量な強度部材として、四輪車や二輪車等に広く利用されている。当社でも二輪車部品の多くにアルミが用いられており、中でもフレームやリヤアーム、クランクケースは、軽量かつ高強度、高意匠性を実現するために、高圧ダイカスト鋳造（以下、ダイカスト）によって作られている。図1に当社モーターサイクルのアルミフレームの一例を示す。

ダイカストとは高温に熱し溶かしたアルミ（以下、溶湯）を短時間で金型内に充填し圧力を加えたまま凝固させる工法である。形状転写性に優れ、表面が滑らかにでき、かつ複雑な形状を薄肉で実現できる特徴を持つ。また、短時間で成形できるので、生産性が高いこともメリットの一つである（図2）。



図1 モーターサイクルのフレーム例



一方、高速で充填する際に製品部に混入した空気が気泡の形で空隙となり、強度低下やオイル漏れの不具合を引き起こす問題がある。製品部の空隙は鋳巣と呼ばれ、金属が凝固するときの収縮を起因とする鋳巣をヒケ巣、空気等の気体を起因とする鋳巣を巻き込み巣と呼ぶ。空気以外にも、製品を金型から離すために使われる塗布剤（以下、離型剤）や充填機構の潤滑剤が気化して発生するガスが巻き込み巣の原因となることが知られている。これらの現象は、金型内部の製品および方案部分と充填機構のスリーブ内で発生しているが、通常は金属に囲まれており、実物における溶湯の挙動を把握することは非常に困難である。

生産準備においては、方案の形状変更やプランジャの動作設定等で不具合対策を行っているが、熟練技術者の勘・コツや実機での試行錯誤に頼る所が大きく、限られた期間内で対策を完了させる難しさがある。鋳造品質向上のために、事前に効率的な対策検討ができる仕組みが必要とされている。

そこで本研究では、三重大学と共同で空気の巻き込みを低減する活動を行った^[1]。まず、スリーブおよび方案部を対象に実験装置による可視化およびシミュレーションによる溶湯の挙動予測を行い、最適化手法を用いたプランジャ動作設定および方案形状変更を行った。それにより空気巻き込みを低減し、実鋳造試験での品質向上が確認できたので、本稿ではその内容について報告する。

2 ダイカスト各部名称および動作

ダイカストマシンの各部の名称を図3に示す。また、充填時の基本動作を簡単に説明する。

溶湯を溜めている保持炉から、ラドルにより溶湯をすくい

出し、スリーブ上に移動する。ラドルを縦方向に回転（以下、傾動）し、溶湯をスリーブ内に流し込む（以下、注湯）。プランジャを前進（以下、射出）し、溶湯をキャビティ内に流し込む。

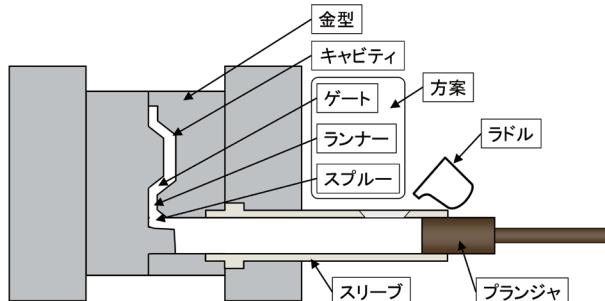


図3 ダイカストマシン各部名称

3 実験方法

3-1. 実験装置による可視化

実際のダイカストマシンを模擬した水モデル実験装置（以下、水モデル）を用いてスリーブおよび型内部の可視化を行った（図4）。

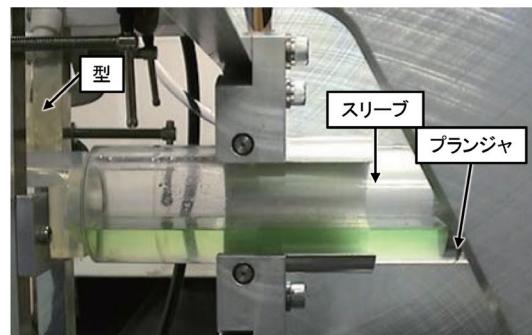


図4 水モデル実験装置各部名称

アクリル製のスリーブを用い、その先端に繋がるように光造型で作成した透明樹脂製の型を取り付けた。このスリーブの内径は4.8[cm]、スリーブの長さは21.6[cm]である。溶湯の代わりに水を用い、水には視認性をよくするために着色を行った。静水状態からプランジャを射出し、スリーブと型内部における水の挙動および空気巻き込みを、高速度ビデオカメラを用いて撮影し観察した。

3-2. 実鋳造評価試験

評価試験用ダイカストマシンの諸元を表1に示す。本研究では検証用の金型と生産用の金型それぞれで試験を実施した。

表1 ダイカストマシンの諸元

		検証用金型	生産用金型
マシン本体	製作	東芝機械	東芝機械
	型番	DC135J-T	DC800J-T
	型締め力	135[t]	800[t]
	スリーブ内径	6.0[cm]	10.0[cm]
	射出入力	低速のみ	低速+高速
注湯機	製作	東芝機械	東芝機械
	型番	DAL-SVSH	DAL800SVSH
	注湯入力	一定速	インバーター制御
	ラドル容量	1[kg]	8[kg]
材料	アルミ	ADC12類似	ADC12類似
	保持温度	670[°C]	670[°C]
潤滑剤	製作	MORESCO	MORESCO
	型番	RCP-1	B200R
離型剤	タイプ	粉体	油性黒鉛
	製作	MORESCO	MORESCO
	型番	NS-500	NS-500
	タイプ	エマルジョン	エマルジョン

本研究では、注湯時のラドルの傾動速度を、90[deg] 回転するときに必要な時間と定義する。

参考として検証用ダイカスト金型の内部形状を図5に示す。

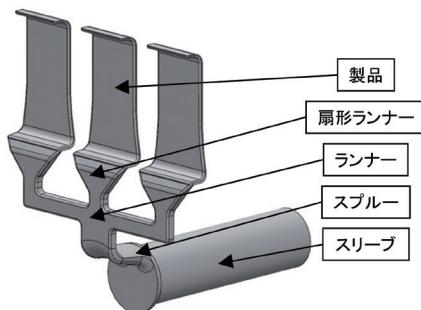


図5 検証用ダイカスト金型の内部形状

検証用金型において空気の巻き込み量は、三枚ある板形状を製品部とみなし、3つの項目で評価した。

- ① 密度：鋳巢割合を評価、高いほど良好。
- ② フクレ量：巻き込み巣の量を評価、低いほど良好。
製品部を530[°C]の熱処理炉内に4時間置き溶体化（以下、熱処理）し、内部で圧縮されている気体を膨張させた。
- ③ ガス量とガス成分：原因となる気体を推定、N₂は空気、CO₂は離型剤や潤滑剤、H₂は水と推測、少ないほど良好。製品部を熱し溶解して内部のガスを取り出した。

これらの密度およびフクレ量はワーク10個の平均、内部ガスはワーク1個を評価結果とした。

また、生産用金型では、製品部を2つの項目で評価した。

- ① フクレ量
- ② ガス量とガス成分

フクレ量はワーク10個の平均、内部ガスはワークから切り出した2箇所の試験片を評価結果とした。

評価に用いる機器の諸元を表2に示す。

表2 評価機器諸元

		検証用金型	生産用金型
密度・フクレ量	計測器	電子比重計	医療用 CT
	製作	アルファミラージュ	Siemens
	型式	MDS-3000	SOMATOM-E16
ガス量	計測器	ガス量測定装置	ガス量測定装置
	製作	共立	共立
	型式	GV-700	GV-700
ガス成分	計測器	ガスクロマトグラフ	ガスクロマトグラフ
	製作	島津製作所	島津製作所
	型式	GC-8APT	GC-8APT

4 シミュレーションによる溶湯の挙動予測

空気の巻き込み量を定量的に評価するために、汎用熱流体解析ソフトウェア、FLOW-3Dを用いる。水モデルと同様に静水状態から水の挙動を予測した。さらに、実際のダイカストマシンでは注湯動作があり、これによって発生する波も考慮する必要があるため、ラドルによる注湯機構を追加して、水の挙動を予測した。

5 最適化手法

5-1. 遺伝的アルゴリズム

空気の巻き込みには様々な要因があり、実際のダイカストマシンを用いて鋳造条件や方案形状などのパラメータを適切に設定して空気巻き込みの最小化を狙うことは困難である。そこで、FLOW-3Dと遺伝的アルゴリズム（以下、GA）を用いて空気巻き込み量の最小化を行った。

GAとは、自然界における生物集団の遺伝と進化の過程における自然淘汰や突然変異をモデル化した、確率的な最適化手法である。この手法のステップを以下に示す。

- ① 初期個体の生成
- ② 各個体の評価
- ③ 評価に基づいた次世代個体の生成（②へ）

このステップを設定した世代数や収束性などの条件に達するまで繰り返す。本研究では、個体とは鋳造条件や方案形状などのパラメータであり、評価は空気巻き込み量である。

このアルゴリズムの終了時に最も評価の良い個体を最適個体とする。

5-2. ノンパラメトリック形状最適化

従来の形状最適化では、自由曲線による形状表現をする際、複数の制御点を設定してパラメータにより変更を行っていた。しかしながらこの手法では、制御点個数の選定が困難なことや、表現できない曲線が存在する問題点があった。そこで本研究では、有限個の制御点は用いずに、曲線を関数式として表現する最適化手法を採用した^[2]。この手法はGAに基づいており、曲線同士の数学的合成によって新たな曲線を生成する。理論上ではあらゆる曲線を表現できるため、方案部における複雑な流れに対し、より評価の良い形状を得られると考えた。

6 スリーブ内の空気巻き込み低減

6-1. 水モデル実験結果

プランジャ射出速度が 12.5[cm/s]、15.0[cm/s] の 2 パターンで、スリーブ内の空気巻き込み挙動を観察した。スリーブの充填率は 22%、水の体積は 85[cm³] とした。プランジャの射出完了直前での結果を図 6 に示す。15.0[cm/s] の入力ではプランジャの移動によって発生した波がスプルー側にあり、スリーブ内での空気巻き込みが見られた。12.5[cm/s] の入力では、同様の波がプランジャ側にあり、空気巻き込みが見られなかった。プランジャ射出速度の変更によって、発生した波の位置が変化し、スリーブ内の空気巻き込み量が変化することが確認できた。

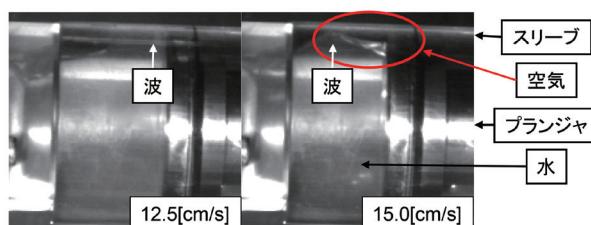


図6 スリーブ内の空気巻き込み現象

6-2. シミュレーション結果

水モデルと同じタイミングでのシミュレーション結果を図 7 に示す。シミュレーションにおいても、水モデルと同様の挙動が確認できた。そこで、スリーブ先端が流体で満たされた時点でのスリーブ内の空気残留量を空気巻き込み量と定義し、定量的に判断できるようにした。

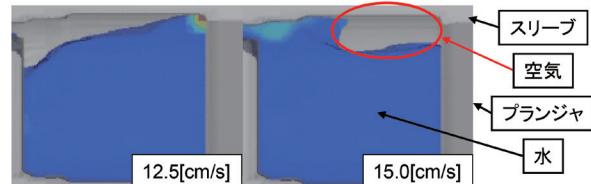


図7 シミュレーションを用いた現象の再現

6-3. 最適化による空気巻き込み量の最小化

注湯機構を追加したシミュレーションで、注湯完了時の溶湯の挙動を確認すると、波が発生していることが確認できた(図 8)。

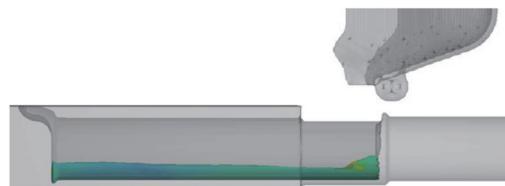


図8 注湯によって発生する波

このシミュレータと GA を用いて、スリーブ内の空気巻き込み量を最小化した。ここでは注湯時のラドル傾動時間、ショットタイムラグ、プランジャの射出速度の 3 つを変更している。ここでショットタイムラグとはラドルが傾動を完了してからプランジャが射出を開始するまでの時間である。

最適化された铸造条件は傾動時間 2.83[sec]、ショットタイムラグ 1.1[sec]、低速速度 32[cm/s] で、シミュレーション上の空気巻き込み量は 2.7 [cm³] であった。この铸造条件でのシミュレーション結果を図 9 に示す。プランジャの移動によって発生する波と注湯によって発生する波の合成波が、射出完了直前にプランジャ側にあるため、スリーブ内で空気巻き込みの少ない射出となることを確認した。

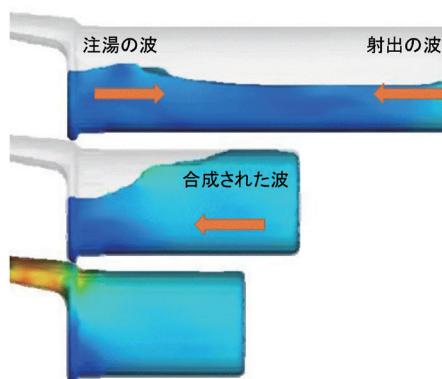


図9 スリーブ内で空気巻き込みのない射出

7

方案内での空気巻き込み低減

7-1. 水モデル実験結果

方案内の空気巻き込み現象解明のために、直角に曲がる流路を持つ水モデル型を作成し、可視化実験を行った。スリーブ内で空気巻き込みが発生しないよう、スプルーパまで水が充填した状態から 1.25[m/s] の一定速でプランジャ射出を行った。射出開始から $0.08[\text{sec}]$ 後と $0.20[\text{sec}]$ 後の水の様子を図 10 に示す。方案の角部で空気が取り残されていることが確認できる。これは方案の角部で外側から先に流体が流れるために内側に空気が取り残されるためと考えられる。

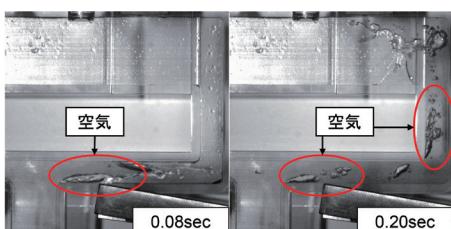


図10 方案内での空気巻き込み現象

7-2. シミュレーション結果

水モデルと同じく、射出開始から $0.08[\text{sec}]$ 後と $0.20[\text{sec}]$ 後のシミュレーション結果を図 11 に示す。方案の角部で水モデル実験と同様の挙動が確認できた。方案部においても、空気残留量を空気巻き込み量と定義し、定量的に判断できるようにした。

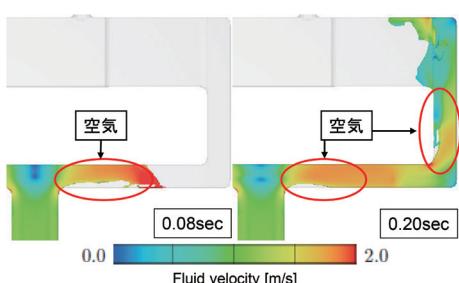


図11 シミュレーションを用いた現象の再現

7-3. 最適化による空気巻き込み量の最小化

方案部においてもシミュレータと GA を用いて空気巻き込み量を最小化した。ここでは方案形状を変更している。最適化されたシミュレーション結果を図 12 に示す。角部を滑らかに繋げることで水の流れる方向を変え、外側を若干膨らませることで外側を水が先に流れることを防いでいる。

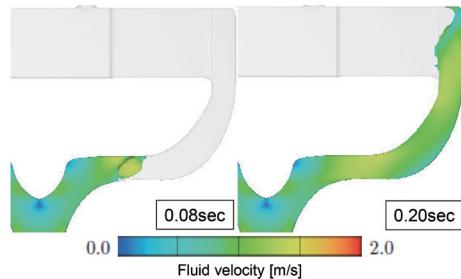


図12 空気巻き込みのない方案形状

この最適形状で水モデル型を作成し、可視化実験を行った結果を図 13 に示す。シミュレーションと同様に水モデルでも方案内の空気巻き込みが低減することを確認した。

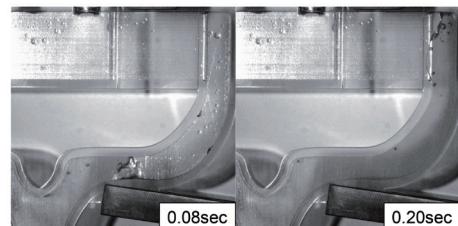


図13 水モデルでの再現

8

検証用金型での空気巻き込み低減

8-1. スリーブ内巻き込み試験

ダイカストマシンを用いて、鋳造条件の最適化によるスリーブ内の空気巻き込み量の低減効果を検証する。空気巻き込みが発生する条件としては、傾動時間 $2.83[\text{sec}]$ 、ショットタイムラグ $1.6[\text{sec}]$ 、低速速度 $20[\text{cm/s}]$ で、シミュレーション上の空気巻き込み量が $107.1[\text{cm}^3]$ となる。この条件下実鋳造評価試験を行った所、熱処理後の製品部で多くのフクレが見られた。三枚中、中央上部に多く発生していることから、スリーブからの空気は方案中心部を通って、分岐部を直進していると推測できる（図 14）。



図14 热処理後製品部(中央)

铸造条件を最適化し、空気巻き込みが少ない条件を用いた場合は、製品部の密度が高くなり、フクレ量と内部ガス量が少なくなった。空気は内部ガスの N₂ で 59% 低減しており、最適化の有効性が確認できた（図 15）。

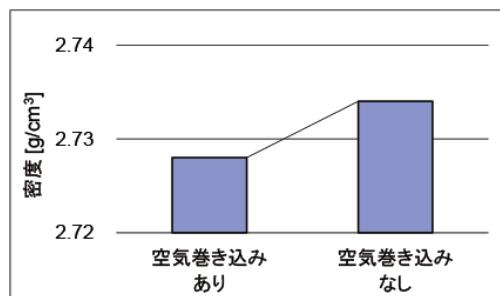


図15-1 密度の比較結果

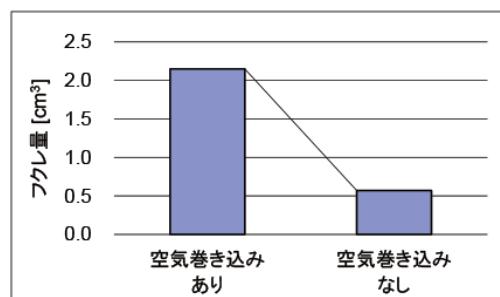


図15-2 フクレ量の比較結果

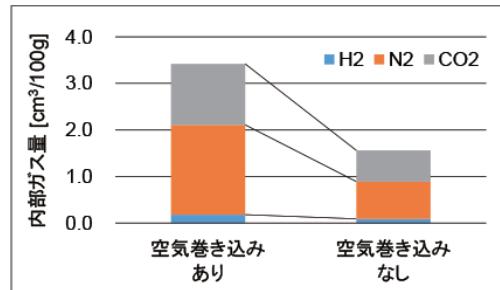


図15-3 内部ガス量の比較結果

8-2. 方案部形状の最適化

スプル、ランナー、扇形ランナーの 3箇所を対象に方案形状の最適化を行った。これによって導出された方案形状を図 16 に示す。

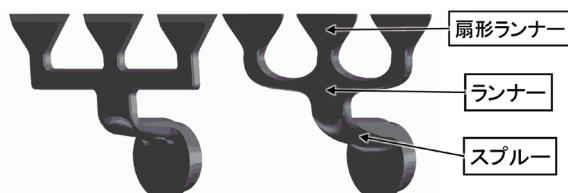


図16 初期方案形状(左)と最適方案形状(右)

最適方案形状ではスプルが大きく膨らんでいることが確認できる。これは流路の断面積を徐々に縮小することにより空気の巻き込みを防止している。次にランナーの角部が滑らかに繋がれていることが確認できる。これは角部の巻き込みを防止している。次に扇形ランナーでゲート付近に勾配を付けることによって流体の流入方向を調整しゲート通過後の製品内部での巻き込みを防止している。

これらの形状を用いた場合のシミュレーション結果を図 17 に示す。方案部の空気巻き込み量は初期方案形状で 4.27[cm³]、最適方案形状で 0.02[cm³] となった。シミュレーションから特に左右の製品部で空気巻き込みが低減していることを確認した。反対に中央部では、方案部の空気巻き込み量が初期形状で 0.39[cm³] と少なく、最適形状で 0.02[cm³] となったが、低減効果は限定的になるとえた。



図17 初期方案形状(左)と最適方案形状(右)のシミュレーション結果(流体表示と空気表示)

8-3. 方案最適化形状の評価試験

実铸造評価試験にて、方案形状の最適化による空気巻き込み量の低減効果を検証する。最適方案形状の金型を新作し、初期方案形状と比較した。熱処理後の製品部において、中央部のフクレでは変化が見られないが、左右のフクレが低減しており、シミュレーションと同様の傾向が見られた（図 18）。



図18 热処理後製品部(右)

内部品質では、最適方案形状において製品部の密度が高くなり、フクレ量と内部ガス量が少なくなった。内部ガスのN₂は34%低減しており、こちらでも最適化の有効性が確認できた(図19)。

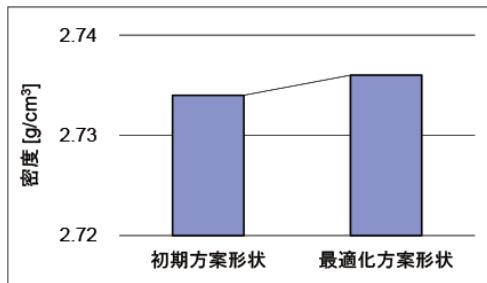


図19-1 密度の比較結果

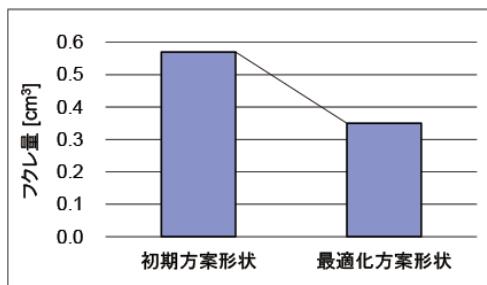


図19-2 フクレ量の比較結果

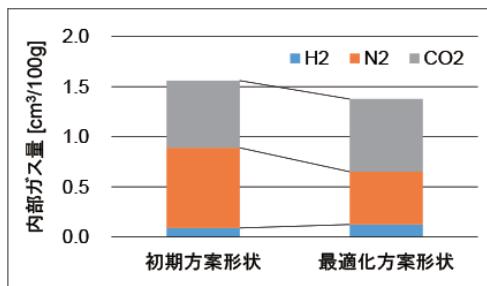


図19-3 内部ガス量の比較結果

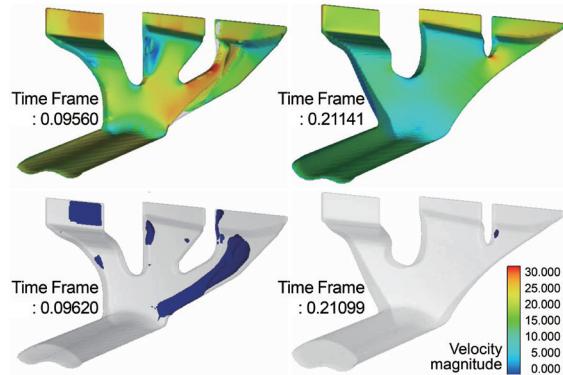


図20 初期方案形状(左)と最適化方案形状(右)のシミュレーション結果(流体表示と空気表示)

9-2. 方案最適化形状の評価試験

実鋳造評価試験にて、空気巻き込み量の低減効果を検証する。型更新により遊休となった金型を最適化方案形状に改造し、初期方案形状と比較した。製品および切り出し試験片の位置を図21に示す。

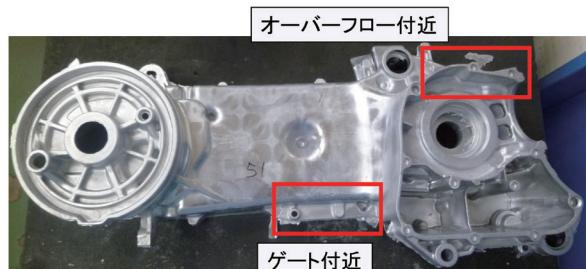


図21 製品および切り出し試験片の位置

熱処理後の製品をCT撮影し、得られた鋳巣形状分布を図22に示す。ここでは10個分を重ね合わせて表示している。ゲート付近およびオーバーフロー付近で鋳巣が減少していることを確認した。

内部品質では、最適化方案形状においてフクレ量と内部ガス量が少なくなった。フクレ量は8%低減しており、複雑な製品形状においても最適化の有効性が確認できた。ゲート付近のガスはN₂よりもCOやCO₂、CH₄の減少幅が大きいことから、スリープ内で気化した潤滑剤のランナー内巻き込みが改善できていると考えられる(図23)。

9

生産用金型での空気巻き込み低減

9-1. 方案部形状の最適化

生産用金型にて、ランナーを対象に方案形状の最適化を行った。これにより導出された方案形状およびそのシミュレーション結果を図20に示す。

検証型と同様に、最適化方案形状ではスプルの膨らみが確認できる。また、初期方案形状で大きく空気を巻き込んでいる箇所で、形状が特に変化していることが確認できる。

方案部の空気巻き込み量は初期方案形状で27.1[cm³]、最適化方案形状で0.41[cm³]となった。

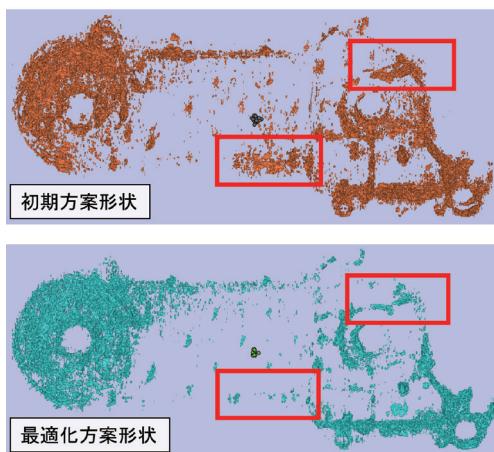


図22 鋳巣形状分布

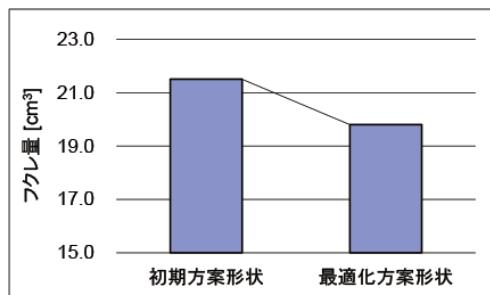


図23-1 フクレ量の比較結果

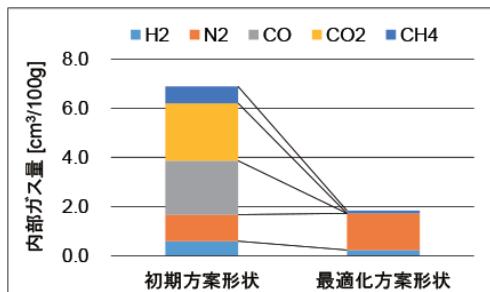


図23-2 内部ガス量の比較結果(ゲート付近)

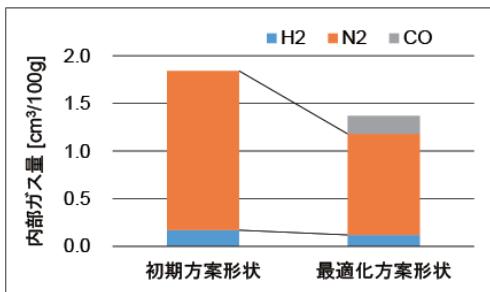


図23-3 内部ガス量の比較結果(オーバーフロー付近)

10

おわりに

本研究により、以下の知見を得た。

- 可視化実験により、スリーブや方案内部での空気巻き込み挙動を確認できた。
- シミュレーションを用いてスリーブや方案内部での空気巻き込み量を予測し、ラドルやプランジャーの動作条件および方案形状を最適化することで、これを低減できる手法を開発した。
- 上記手法にて実鋳造試験での空気巻き込みを低減し、実製品形状においても品質改善ができる事を確認した。しかしながら依然として製品部には巻き込みが発生している。内部ガスのN2は空気であり、製品部や注湯時の空気巻き込みを低減する必要がある。ダイカストマシンとシミュレーションのズレを少なくし、精度を向上することも重要である。CO2は潤滑剤や離型剤が気化したものであり、金型の表面処理や内部冷却の強化によって使用量を低減し、発生するガスそのものを少なくする必要がある。

本稿で紹介した方案形状の最適化は現在、複雑な製品形状内で発生する巻き込み巣の低減を対象とし、継続して研究を進めている。

最後に、今回の研究に携わった三重大学および社内外の関係者各位に深く感謝致します。

■参考文献

- [1] 金澤,矢野,小倉:流路内空気巻き込みの低減を目的としたダイカストランナー形状最適化, 鋳造工学 87(1), 29-38, (2015), 公益社団法人 日本鋳造工学会
- [2] 金澤ら:New Curve Optimization Method and Its Application to Shape Design for Die Casting Using a CFD Simulation (2013)

■著者



山崎 吾朗
Gorou Yamazaki
PF車両ユニット
コンポーネント統括部
生産技術部



川谷 龍勢
Ryuusei Kawatani
エンジンユニット
コンポーネント統括部
ユニット技術部

ヤマハ発動機 技報企画委員会

委 員 長 海野 敏夫 技術本部 技術企画統括部 技術管理部
 委 員 荒木 治 ヤマハモーターエンジニアリング(株) 経営企画部
 今井 浩久 ビークル＆ソリューション事業本部 UMS 事業推進部 開発部
 小野 朋寛 ビークル＆ソリューション事業本部 SPV 事業部 開発部
 木村 隆 ヤマハモーターハイドロlickシステム(株) 第2開発室
 近藤 巧 PF車両ユニット 技術統括部 企画推進部
 沢渕 敦志 ビークル＆ソリューション事業本部 RV 事業部 開発部
 澄谷 啓之 デザイン本部 プロダクトデザイン部
 田阪 嘉章 マリン事業本部 ME 事業部 開発統括部 技術企画部
 田中 大二郎 AM 事業部 AM 第1技術部
 土居 航介 エンジンユニット エンジンコンポーネント統括部 材料技術部
 中本 剛広 ヤマハモーターエレクトロニクス(株) 開発統括部 第1技術部
 長森 基樹 ビークル＆ソリューション事業本部 IM 事業部 FA 統括部 開発部
 二木 善希 マリン事業本部 ボート事業部 製品開発部
 宮田 彰一郎 ヤマハモーターパワープロダクツ(株) GC 事業推進部 開発部
 村松 恭行 技術本部 EM 開発統括部 コンポーネント技術部

編集事務局 池田 厚司 人事総務本部 法務・知財部
 望月 範久 人事総務本部 法務・知財部
 三宅 英典 企画・財務本部 コーポレートコミュニケーション部
 中村 淳 デザイン本部 コーポレートデザイン部
 村松 恭行 技術本部 EM 開発統括部 コンポーネント技術部
 神野 裕文 技術本部 技術企画統括部 技術管理部
 久米 裕子 技術本部 技術企画統括部 技術管理部

ヤマハ発動機 技報 第53号

YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW 2017 No.53

印 刷 2017年11月30日

発 行 2017年12月1日

発 行 所 ヤマハ発動機株式会社

〒438-8501 静岡県磐田市新貝 2500

発 行 人 木村 隆昭

デ ザ イ ン (株)スタジオコバ (監修:デザイン本部コーポレートデザイン部)

印 刷 所 (株)スタジオコバ

〒437-1196 静岡県袋井市松原 2455-2

お問い合わせ 技報編集事務局 TEL 0538-32-1171

(技術本部 技術企画統括部 技術管理部)

ホーメルページ <https://global.yamaha-motor.com/jp/profile/technical/>

※無断転載を禁じます。

※落丁本・乱丁本は、小社技報編集事務局

宛てにお送りください。お取替えいたします。



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