

YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW

■ 特集 ■
陸・空・海

ブランドスローガン

Rev your Heart

Rev — エンジンの回転を上げるように。

心躍る瞬間、そして最高の体験を、YAMAHAと出会うすべての人へ届けたい。

私たちヤマハ発動機は、イノベーションへの情熱を胸に、

お客様の期待を超える感動の創造に挑戦し続けます。

ヤマハのモノ創り

「ヤマハらしさ」という、モノ創りの基準。

モノ創りの現場に、厳格に息づく「ヤマハらしさ」という価値観。

それをひと言で表すのなら、「人を基点としたモノ創り」と言い換えることができるかもしれません。

わたしたちヤマハ発動機は、発想、デザイン、性能や機能に至るまで、そのすべてにおいて、

人間の感性に訴える高品質なモノ創りを目指しています。

Contents

2013 No.49

巻頭言

3 --- コンセプト、マーケティングセンス、そして起業家精神

Concepts, Marketing Sense and Entrepreneurial Spirit

滝沢 正博

特集 陸・海・空

陸

5 --- 2014 年モデル XVS950CU BOLT

2014 model XVS950CU BOLT

都澤 大樹 大達 康弘 鷹野 好秀 森本 高弘 前谷 直紀

空

11 --- 産業用無人ヘリコプタ "FAZER" の紹介

Introducing the "FAZER" industrial-use unmanned helicopter

吉原 正典 林 隼之

海

17 --- HELM MASTER- 高度統合操船制御システム

The Helm Master – Fully Integrated Boat Control System

菅野 功

技術紹介

- 22 --- 車イス用電動化ユニットの開発コンセプトと今後の展開**
Development Concept and Future Possibilities of Electric Power Units for Wheelchairs
伊藤 孝史
- 25 --- 産業用無人ヘリコプタ FAZER 用 4 サイクルエンジンの開発**
Development of a 4-stroke engine for the FAZER industrial-use unmanned helicopter
村松 浩義
- 30 --- YAMAHA DRIVING MONITOR SYSTEM の開発**
Development of the YAMAHA DRIVING MONITOR SYSTEM
山谷 正貴 大城 郡二 望月 靖之
- 34 --- PAS 用「トルクセンサ」の開発**
Development of the PAS Torque Sensor
松井 太憲 永田 俊彦 小林 秀之 堀内 慎高 竹山 弘晃 佐藤 和生 高野 行康 片渕 喬大 久木野 史宣 辻村 拓 渡邊 俊幸 大谷 晋哉 鈴木 康祐
- 39 --- 無人者開発用環境シミュレータの開発**
Development of an environment simulator for use in developing unmanned vehicles
平松 裕二 藤井 北斗 神谷 剛志 望月 靖之 大沼 和樹
- 43 --- 鉛フリーはんだ接合部の熱疲労寿命予測**
Estimating the thermal fatigue life of lead-free solder joints
意眞 哲也

製品紹介

- 48 --- 2013 年モデル Spark115i**
The 2013 model Spark115i
吹田 善一
- 53 --- クラス最軽量 4 ストローク大型船外機 F200F の開発**
Development of the F200F, the lightest 4-stroke large outboard model in its class
平岡 徳由 渡辺 敏英 鈴木 賢明 大谷 佳邦
- 58 --- E028 軽量二焦点型可搬式投光器**
The E028 lightweight bifocal type portable floodlight
鈴木 春博
- 61 --- 2014 モデル スノーモビル SRViper**
The 2014 snowmobile model SRViper
鈴木 豪仁 窪田 隆彦 宮崎 政直 中村 明彦 澤淵 敦志 衣笠 健 松土 真一 Jim Vizanko Jeffrey Stoxen Patrick Trapp
- 67 --- 2014 モデル ROV VIKING**
2014 model ROV VIKING
鈴木 孝典 新堀 雅秀 望月 茂弘 Todd Booth

技術論文

- 72 --- TIGMIG ハイブリッド溶接の開発と実用化**
Development of a TIGMIG hybrid welding process for aluminum chassis welding application
阿曾 秀明
- 80 --- 復興和船 2 段積み輸送方式の開発**
Development of a two-boat stacked transport method to support the restoration of tsunami-afflicted areas with utility boats
野村 佳孝
- 88 --- 画像による無人車の不整地自律走行技術と果樹農業への活用提案**
Image-based autonomous navigation technology for unmanned vehicles on uneven ground and a proposal for use in orchard operations
石山 健二 吉田 瞳 深尾 隆則 村上 则幸
- 98 --- 有効視野を用いたメンタルワークロード推定手法の基礎検討 - ドライビングシミュレータ操縦を題材として -**
Basic study on a method to estimate mental workload using useful field of view - Based on operating a driving simulator -
森島 圭祐 大本 浩司 山中 仁寛
- 107 --- Support Effects of the Haptic Throttle Grip by the Friction Circle on the Driving Wheel**
Manabu Fujito Kouji Sakai Yasunobu Harazono

滝沢 正博

What you felt the instant you gave the bicycle's pedal a good push with your right foot was more than just a feeling of lightness. It was the *Kando** of having found a new type of vehicle that completely overturned existing preconceptions of what a bicycle can be. This year, we celebrate the 20th anniversary of this Yamaha's PAS electrically power assisted bicycle.

Our corporate mission is to be a "Kando Creating Company." To achieve this, one of our management principles states our dedication to "Creating value that surpasses customer expectations" in order to bring this *Kando* to people all over the world.

The real meaning of "surpassing customer expectations" carries great weight, and it cannot be expressed simply in terms of performance, price, or product specifications. Furthermore, it does not necessarily require using state-of-the-art or innovative new technologies to be achieved. However, it is important that we possess the ability to understand the target customers in depth, the sensitivity to recognize needs that even the customers themselves can't express in words and the perceptiveness to be able to visualize how to create a something that fulfills those needs.

In other words, in creating concepts, it is crucial that we ask ourselves in our thought processes what kind of customer expectations we should meet and how we surpass those expectations in a way that brings them *Kando*. Although it is possible to acquire technology and know-how that you may not already possess, creating a particular product or business concept is something you must pursue by yourself, and will always have value that is unique and original.

There were no state-of-the-art technologies employed in our first PAS bicycle. What it did have was a novel product concept and the entrepreneurial spirit to overcome various hurdles and bring the world an entirely new product. There was no simple, straight path to success as a business. A combination of not only product evolution over these last 20 years but also an expanding user base, changes in the sales network, expansion of product categories, revising (relaxing) of legal restrictions, etc. have contributed to making the PAS a product that answers the needs of the times in Japan as well as European market today.

As the representative of YMC's Business Development Operations, I've put initiatives in place to aim for greater growth by expanding existing businesses and establishing new businesses. I believe the most fundamental factor for this challenge lies in the marketing sense and the entrepreneurial spirit of the people involved.

Early this year, Yamaha Motor established its new "Revs your Heart" Brand Slogan with the aim of encouraging shared awareness of our corporate philosophy and spreading the image of the brand we aspire to be. Our hope is that Yamaha Motor employees in Japan and around the world will nurture and refine this kind of marketing sense and work to foster this entrepreneurial spirit as one organization in order to elevate our ability to create concepts and our technical capabilities. The result will surely help us move a step closer to achieving the high ideals we have set for ourselves in our corporate mission.

**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.

右足をペダルに乗せ、ゲット踏み込んだ瞬間に感じるものは軽さだけではない。自転車の固定概念を打ち破る異次元の新しい乗り物に出会った「感動」だった。このPAS(電動アシスト自転車)が今年20周年を迎えた。

当社は企業目的に『感動創造企業』を標榜している。その達成のために経営理念の中で、「顧客の期待を超える価値の創造」により感動を提供することを宣言している。

「期待を超える」という表現の持つ意味は非常に重く、単なる性能や価格、スペックで表現できる性格のものではない。また、先端技術や革新的な新技術が無いと実現できないわけでもない。しかし、対象顧客の深い理解や顧客自身が言葉にできないレベルのニーズへの気付き、またそのニーズをどう実現するかをイメージできる感性などのマーケティングセンスを持っていることが重要である。つまり、顧客の持つどのような期待に応えるべきか、それをどう超えると感動に繋がるのか、というコンセプト構築が非常に重要な思考プロセスだといえる。技術やノウハウは、仮に自分で保有していなくとも獲得可能であるが、この製品・事業コンセプト構築は自らが生み出していくべき常にオリジナルな価値である。

PASには先端技術は使われていない。あったのは、製品の新コンセプトと様々なハードルを乗り越えて、顧客の期待を超える製品を世の中に最初に出す、という起業のスピリット。決して一本調子ではなかった事業内容だったが、この20年内に製品の進化だけでなく、顧客層の拡がり、販路の変化、カテゴリの拡張、また法規制の改訂(緩和)などが起こり、海外市場も含めまさに時代がPASに同期してきたようである。

現在、事業開発本部を率いて、新たな成長を目指した既存事業の拡張や新規事業立ち上げに取り組んでいるところであるが、既存・新規を問わず、この事業・製品コンセプトの構築が肝であり、そのために最も必要となるのが関わる人間のマーケティングセンスと起業家精神だろうと考える。

今年の初めに企業理念をグローバルに共有し、るべきブランド像の浸透を目的として新しいブランドスローガン「Revs your heart」を策定した。内外の従業員がこのマーケティングセンスに磨きをかけることと、組織として起業家のスピリットの醸成に取り組むことで、コンセプト構想力と技術力の向上につなげ、企業目的で謳う高い理想に一步でも近づけていけたらと考えている。

■著者



滝沢 正博
Masahiro Takizawa

取締役

2014年モデル XVS950CU BOLT

2014 model XVS950CU BOLT

都澤 大樹 大達 康弘 鷹野 好秀 森本 高弘 前谷 直紀



Abstract

The Yamaha Motor group sells cruiser motorcycles in the North American market under the "Star" brand name. From the models for 2006, there has been a renewal of Star brand model development around key words of "Emotional" "Advanced" and "Performance." Centering on three engines with displacements of 1900cc, 1300cc and 950cc, the "Roadliner," "V Star 1300" and "V Star 950" Star brand models were introduced on the market as our Classic line of models.

In answer to recent trends in the market, we developed the Raider and Stryker, two chopper-style models released as additions to our Custom line that feature more dynamic and unique styling, and use the same type of engines in our Classic line.

The new Bolt model has been developed as the final piece to fill out our Custom line of models. It mounts the lowest-displacement 950cc engine in the line, and has a different styling direction from the other two previously mentioned models with the aim of answering the growing preference for bobber-style machines among younger users.

Bobber-style machines are defined by minimalism and slimness. These traits match well with the preferences of young users for easier to handle under-1000cc machines and make this model one that offers both the styling and functionality they want.

1

はじめに

ヤマハ発動機(以下、当社)は、北米市場では「Star」というブランド名でクルーザーを販売している。

2006年モデルからは、新生「Star」として、エモーショナル/先進性/パフォーマンス等をキーワードにモデルの刷新を始め、1900cc/1300cc/950ccの3エンジンを核に、Roadliner、V Star 1300、V Star 950のクラシックライン3モデルを市場に投入してきた。

最近では市場の変化に対応して、よりダイナミックで個性的なスタイリングのカスタムラインとして、チョッパースタイルのRaider、Strykerの2モデルをクラシックラインと同系統のエンジンを使用して開発し、市場に投入してきた。

Bolt(以下、本モデル)は、カスタムラインの最後のピースを埋めるべく開発された最も排気量が小さい950ccのエンジンを使用したカスタムモデルで、前述の2モデルとはスタイリン

グの方向性が異なり、若者の間で盛り上がりを見せているボバースタイルを採用した。

ボバースタイルの特長であるミニマム/スリムが、扱いやすさを求める排気量1000cc以下のユーザニーズとも合致して、スタイリングと機能が融合したモデルとなっている。

2 企画概要

本モデルは、*<Star original Bobber, Best for Urban Fun Ride!>*を開発コンセプトに掲げた。Bobberとは、何かを短く切るという意味の「Bob」を語源とする、無駄なものを取り外しコンパクトな車体構成が特徴のカスタムスタイルである。1940年代のダートトラックレーサーに起因することから、走るために機能以外であるカバーなどを極力取り外して、短いホイールベースでスリムな車体に仕上げることが特徴となっている。

本モデルは都市部で気軽にBobber Rideを楽しむことを目指し、以下5項目を開発目標に掲げた。

2-1. 市街地ショートライドに適したエンジン、車体

市街地での使用に必要十分な動力性能や快適性、軽快なハンドリングを重視した(後述)。

2-2. 塊感のあるエンジン&ボディ

パワーを生むエンジンから地面を蹴るリヤホイールまで

のパワートレインの塊と、それを支えるボディという構成で、V twinのパワーユニットの存在を強調するデザインコンセプトとした(図1)。



図1 塊感のあるエンジン&ボディ



図2 メリハリ&スリムコンパクトなボディ



図3 フィーチャーマップ

2-3. メリハリ&スリムコンパクトなボディ

タンクからシートにかけてのくびれと大きなV型エンジンの対比、高いフロント周りと低いリヤ周りなど、メリハリ、スリムコンパクトを重視した(図2、図3)。

2-4. Raw Metal感のあるボーススタイル

エンジンフィンやバッテリーホルダ、エキパイプロテクタ、エアクリーナなど、アルミやステンレスの素の魅力を表現するシンプルな外観を採用した(図4)。



図4 Raw Metal感を表現した部品群

2-5. 機能部品の性能を可視化できるコンポーネント

ボバーという昔からの概念に、最新のコンポーネントを織り込むことで、新しさと性能を表現した(図5)。



図5 性能を可視化する部品群

3 開発概要

3-1. エンジン

V Star 950の排気量942ccエンジンをベースに、本モデルの開発のねらいを達成するために下記の変更を施した。

3-1-1. 吸気系小容量化

ボーススタイル具現化のため、車両幅方向にエアクリーナーを薄くして必要最小限の容量とすることを目指し、流体解析・ブリ評価を重ねた結果、85%の容量にてベースエンジンと同等の性能を達成した。

3-1-2. 排気系取り回し変更および小容量化

市街地で多用される低速からの加速性能を重視するためには、後気筒のエキパイの取り回しを前回しにすることにより前後気筒のエキパイ長を等長化した(図6)。

また、デザインの要望からベース車に対してエキパイおよびマフラの長さを短縮したため排気系の容量が減ったが、FIセッティングを最適化することで排ガスと騒音規制をクリアし、高速道路での十分なエンジン性能を達成した。

さらにマフラの排気経路を調整することで、耳に届きやすい低周波成分を増加させ、心地よい排気音とパルス感も併せて達成することができた。

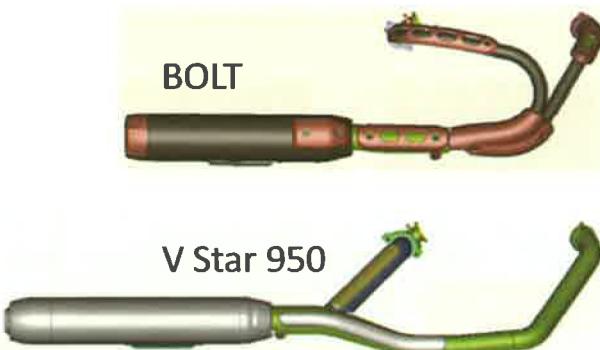


図6 排気系取り回しと全長比較図

3-1-3. クラッチゴムアブソーバ採用

開発目標である『アクセル操作でのギクシャクの少なさ』は、クラッチのアブソーバを金属スプリングからゴムに変更することで達成した。ベース車に比べ車重が30kg以上軽いため、アクセル操作でのギクシャクはより出やすいが、ゴムアブソーバの採用により目標レベルを達成した。

3-2. 車体

商品コンセプト達成のため、車体関係は主要機能パーツのほとんど全てを新作した。“跨った時”と“ライディング時”両方で扱いやすさを感じ取れるよう、コンパクト&スリム、軽量化を念頭に開発した。

3-2-1. 跨っただけで感じられる「扱いやすさ」

店頭で車両に跨っただけで、扱いやすさを感じ取って頂くため、以下の点に留意した。

・足つきの良さ

シート高そのものを下げるために、最低地上高を実機検証を交えつつ、機能上の許容下限まで低く設定(130mm)した。その上で、フレームのシートレール部と共にシート前側部をタイトに絞り込むことで、良好な足つき性を確保した(図2)。

・自然で無理のないライディングポジション

足付き性の良いシートを基本に、ハンドル位置はフルロックでも腕が伸びきらずに操作でき、フートレストの位置はヒザの曲がり角に適度な余裕を持たせることで、バンク角を確保(34°)しながらリラックスして操作できる位置を成立させた。

・取り回し(引き起し&押し歩き)のしやすさ

商品コンセプトに基づき、無駄を削ぎ落として各部品をシンプルに設計することで、ベースモデル(V Star 950)に対して30kg以上の軽量化に成功した。先述の低い最低地上高と合わせて、車両の引き起しと押し歩きのしやすさを実現した。

3-2-2. 都市近郊ショートライドの楽しさ

市街地および都市近郊でのショートライドが楽しめるよう、以下の点に留意した。

・軽快でナチュラルなハンドリング

ショートホイールベース化のために、リヤサスペンションは2本タイプを選択した。バネ定数と減衰力特性の作り込みにより、51mmの短いクッションストロークの中で初期作動性と腰のある減衰力を両立させ、リヤ周りの低いシルエットを達成した。

ダブルクレードルフレームと丸断面のリヤアーム(図7)には、硬過ぎず適度なしなりを持たせることで、軽快でナチュラルなハンドリングを実現した。



図7 フレーム、リヤアーム

・Vツインのパルス感&加速感

エンジンをリジット懸架し、フレームの強度メンバとして活用することで、パルス感がダイレクトにライダーに伝わるようとした。また、車体の軽量化と合わせて、街中でも十分な加速感を味わえるものとなっている。

3-2-3. スリムな車体

その他、スリムな車体を達成するために採用した主な技術を以下に紹介する。

・当社最小幅カーボンドライブベルト

左側のリヤクッションを車体内側へ追い込むためにドライブベルトを最小幅(21mm)とし、強度確保のためにカーボン芯線を採用することで、ダイレクトな駆動特性を向上させた(図8)。



図8 幅狭カーボンベルト

・当社初採用ピストンタイプフューエルポンプ

スリムなフューエルタンクを実現するために、ピストンタイプのフューエルポンプを新規に採用した。タンク内に装着してインペラが回転する通常タイプに対して、タンクの外に取り付けて三つのピストンの往復動により燃料を押し出す構造にすることによって、取付座面を小さくすることができるため、タンク幅のスリム化が実現した(図9)。



図9 ピストンタイプフューエルポンプ

3-3. 純正アクセサリによるカスタマイズ

お客様の趣向に合わせたカスタマイズの幅を広げるために、多数の純正アクセサリの開発を車両と同時に進めた(北米向け)(図10)。

車両側の設計においては、アクセサリによるカスタマイズの可能性が広がるように各パーツはクリーンな造形とし、構造的にもシンプルな構成となるように心がけた。例えば、フレームは製品状態で見えない部分についても細部までこだわった作り込みをすることで、形状が異なったアクセサリが取り付けられても外観を損なうことなくカスタマイズを楽しむことができる。

4 おわりに

本モデルは北米発信のクルーザーではあるが、ボバースタイルは世界的に受け入れられている価値観であり、北米のみならず世界の市場において、お客様のライフスタイルに合わせて着こなし、走りも楽しんで頂ける車両に仕上げることができた。

外観だけではなく、中身をしっかりと作り込む当社のモノ造りに対する姿勢をお客様にも十分感じていただけるものと確信している。

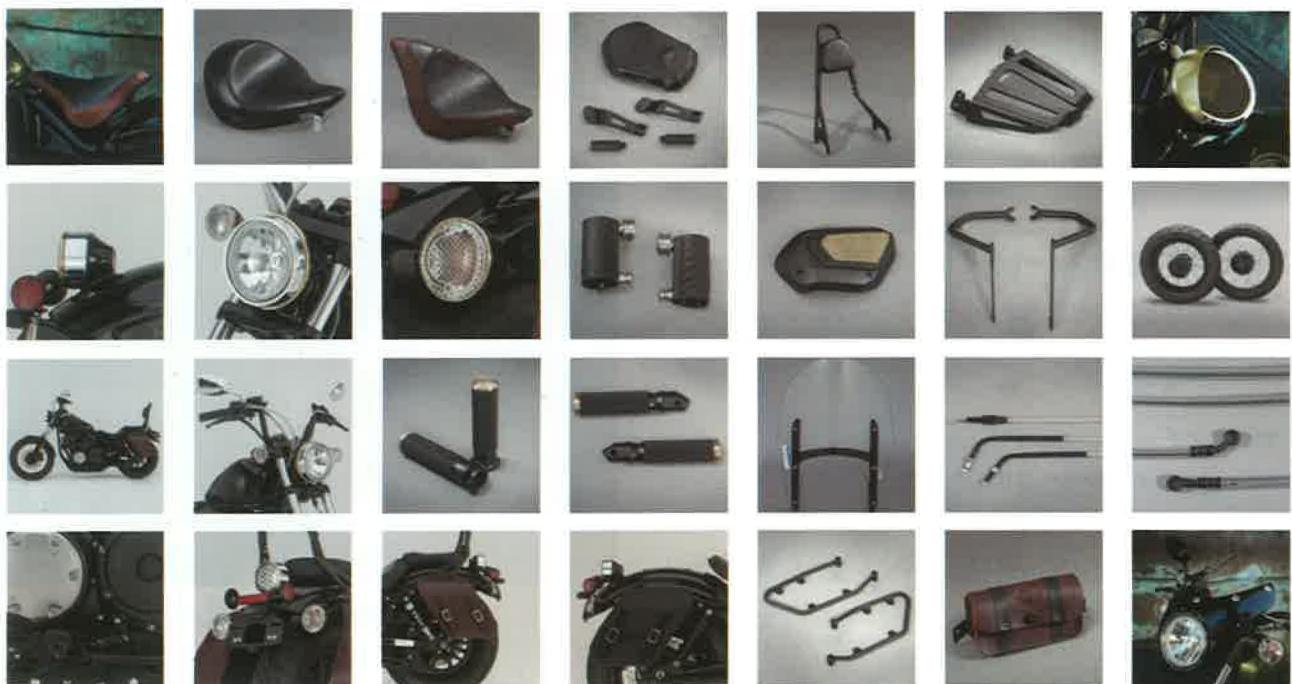


図10 アクセサリ部品

■著者



左から

森本 高弘

Takahiro Morimoto

MC事業本部

技術統括部

電子システム開発部

鷹野 好秀

Yoshihide Takano

MC事業本部

MC第2事業部

車両開発部

都澤 大樹

Ooki Miyakozawa

MC事業本部

MC第2事業部

車両開発部

大達 康弘

Yasuhiro Oodachi

MC事業本部

MC第2事業部

車両開発部

前谷 直紀

Maetani Naoki

MC事業本部

MC第2事業部

企画推進部

産業用無人ヘリコプタ "FAZER" の紹介

Introducing the "FAZER" industrial-use unmanned helicopter

吉原 正典 林 隼之



Abstract

Currently, there are more than 2,400 units (number registered in 2013) of the Yamaha "RMAX" industrial-use unmanned helicopter in use for crop dusting in the Japanese market alone. The total area of rice paddies dusted by these helicopters for pest control has grown in scale to represent more than one-third of the country's total rice paddy area under cultivation, proving the necessity of these industrial-use unmanned helicopters in Japan's agricultural industry. However, despite the strong reputation of the existing RMAX, 15 years have passed since the model's release and it has only undergone numerous minor specification changes over this period. There are limitations in areas like the various systems employed, the platform and the weight of payload it can carry, and these limitations do not leave sufficient room for advancement of its capabilities for the future. Due to these conditions, we undertook a full model change to develop a next-generation unmanned helicopter. In this report, we introduce the new "FAZER" industrial-use unmanned helicopter and its development.

1 はじめに

現在、農業散布分野で活躍するRMAXは、日本市場だけで2,400機(2013年度登録台数)を越えており、水稻防除における無人ヘリコプタの防除面積は、日本全国における水稻の3割以上を担う市場規模に達し、産業用無人ヘリコプタの必要性を確固たるものにした。しかし、好評を博している現行のRMAXも初期リリースからマイナーチェンジを繰り返しながらも15年を経過しており、各種システム・プラットフォーム・積載重量などの制限があり、今後の発展に対し、十分な対応ができない状況である。そのため、フルモデルチェンジを行い、次

世代の無人ヘリコプタを開発するに至った。本稿では、その産業用無人ヘリコプタ"FAZER"について紹介する。

2 開発の背景およびねらい

農薬散布として広く出回っている無人ヘリコプタは、離陸総重量が100kg未満で、航空機製造事業法の適用を受けない領域である。そこで、薬剤等の搭載量を増やすためには、プラットフォームとなる機体重量はできるだけ軽くする必要が

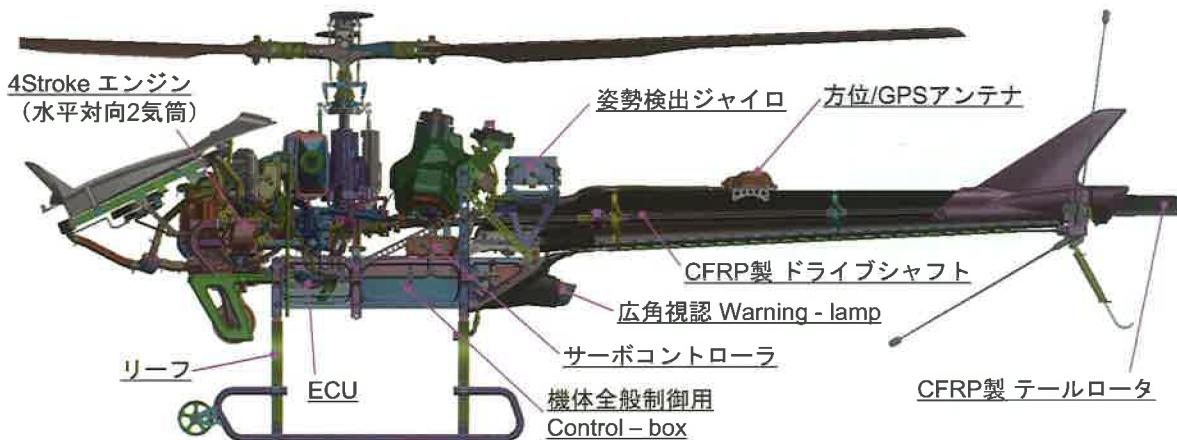


図1 略レイアウト / フィーチャーマップ

ある。具体的には、24kg(現行RMAXは、最大16kg)の薬剤を搭載して環境(高度、気温他)変化に対しても、安定飛行ができる性能が求められる。また、利用領域を広げるためのプラットフォームは、様々な用途拡大に合わせた外部アプリケーションへの対応能力や、次世代のフライト安定性を有することが望まれる。環境面では、今後適用が予定される日本陸用内燃機関協会の「非携帯機器用エンジンのクラスII」への排ガス対応が必要となる。

このような背景から以下の4項目を開発主眼とした。

- ・安定したペイロード(離陸重量)の確保
- ・汎用性の高い次世代機体プラットフォームへの進化
- ・今後の環境規制への対応
- ・機体の軽量化

これらを実現するために、以下の開発方針(手段)を設定した。

- ・動力源を4サイクルFI(4stFI)化し、排気量UPにより出力を向上させることで、安定的ペイロードの向上、環境対応を進める。
- ・CAN通信を採用し、電装レイアウトを最適化するとともに、拡張性とメンテナンス性に優れたソフトウェアを用い、外部アプリケーションとのアクセス環境を整備する。
- ・機体構成と制御システムを一新し、今後の発展性を確保しながら、フライト安定性を向上させたプラットフォームとする。
- ・軽量化のプライオリティを高く掲げ、エンジンの重量増分(2st→4stFI排気量UP)以上の軽量化を達成する。

フィーチャーマップを図1に、主要緒元を表1に示す。

表1 主要緒元

項目	諸元値
寸法	全長/ロータ含む全長 2,782mm / 3,665mm
	全高 1,078mm
	全幅 770mm
	メインロータ径 3,115mm
原動機	テールロータ径 550mm
	原動機種類 水冷・水平対向・OHV2気筒
	総排気量 390cc
	最高出力 19.1kw以上/6,000rpm
性能他	燃料種類/容量 市販レギュラーガソリン/5.0L
	最大離陸重量 100kg/1,000m、30°C
	実用搭載重量 33kg
	フレーム方式 Quint-Trapezoid CF Frame
	テール駆動方式 CF shaft drive + VR-Damper
	電装システム YEN-UV
	制御方式 YACS II
重量	機体通信方式 CAN
	騒音 (50m、4方向平均) 69dB (- 3dB) ※
	原動機系 20.2kg (+ 41%) ※
	駆動系 13.4kg (- 8%) ※
	機体系 12.9kg (- 24%) ※
	電装系 13.9kg (- 22%) ※
	液体類 6.2kg (+ 1%) ※
	総装備重量 66.7kg (- 5%) ※

※ (RMAX比)

3 エンジン概要

エンジンは、4stFI化し、振動特性に優れている水平対向2気筒を採用した。ペイロードを確保するため、現行RMAXより排気量を増加させ、出力を約25%向上させた。また、燃費は約20%向上させることで、燃料タンク容量と装備重量の削減が実現した。

図2にエンジン外観を示す。なお、詳細については、別稿の「産業用無人ヘリコプタ FAZER用 4サイクルエンジンの開発」を参照されたい。



図2 エンジン外観

4

機体開発

“FAZER”の中で開発した幾つかのアイテムを以下に紹介する。

4-1. 多台形カーボンフレーム構造: Quint-Trapezoid CF Frame

台形状のカーボン製左右パネルフレームとテールボディを適正な位置で接合し、運搬、点検時に必要なテールボディ脱着を容易にしながら、全てのモードに対して高い剛性と変形ムラの無い強度バランスを確保した(図3)。特に横剛性が改善されたことで、テールロータからの高周波域の応答特性が向上し、それにより機体の制御性が向上した。また、内部の電装コントロールBOXをフレーム下部より容易に取り出すことができる構造にすることで、汎用性を向上させた。本構造により現行機種同部位比で、25%の軽量化を達成している。

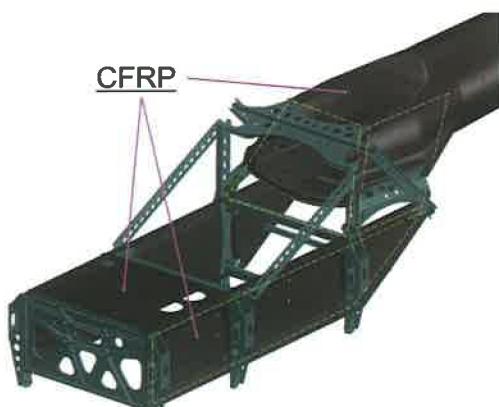


図3 フレーム構造

4-2. 可変応答ダンパー付きドライブシャフト: VR-Damper (Variable Response Damper)

テールロータ駆動のための伝達部材は、カーボン素材のシャフトを採用した(図4)。それにより軽量化だけでなく、機体を回転させないように姿勢を保つために必要な(テールロータピッチ角変化に応じて生じる)早いトルク変化に対しても、非常に速い応答性を発揮している。一方で、ヨー軸の姿勢を保つ上で発生しやすい高周波での自励的な振動に対しては、シャフトを2つに分割した中間部にVR-Damperを挟むことで、一定回転を保ちながら高いトルク域のみの発生を抑え、定常的に必要なトルク領域は早い応答を損なうことなく伝えている。図5にVR-Damperの効果を示す。



図4 VR-Damper ドライブシャフト

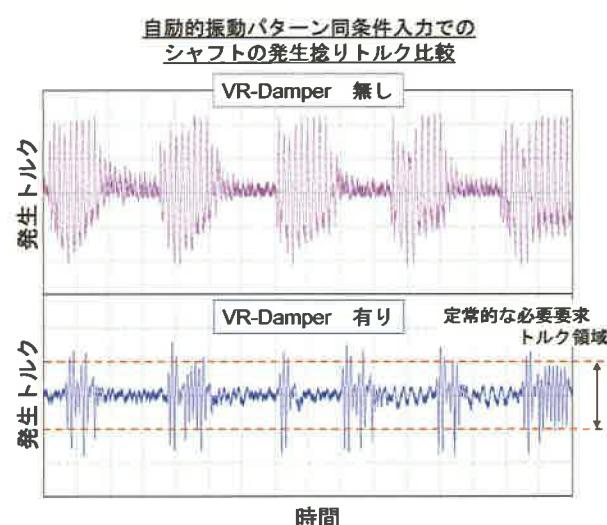


図5 VR-Damper 有無比較結果

4-3. リーフのCFRP化

リーフには、離着陸時の衝撃吸収、接地状態でロータ共振しない剛性特性、落下時に本体への破損を極力防ぐエネル

ギー吸収等の機能が要求される。ガラス素材からカーボンへの材料の置き換えによって高剛性化と軽量化は可能となるが、しなりの部分が十分取れず、離着陸時の衝撃を吸収することができない。また、フレームとの接合部に応力が集中することで、接合部での層間剥離が早期に発生し、フレームに大きなダメージを与えててしまう。そこで本機では、断面形状と積層構成について部分毎に適正化することで、カーボン素材を使ったリーフを開発に成功した。図6に変形の様子と変形時の応力解析結果(青→赤:低い→高い)を示す。

4-4. 冷却効果とデザイン性の融合デザイン

全体にシャープエッジを用いたデザイン性と内部冷却性を両立したカバー形状とした。これにより、ホバリング時(空中停止状態)や前・後進時における飛行パターンでも、図7のイメージのように内部へ適正に送風することで、冷却性能を高めている。

5

新電装システム:YEN-UV

(YAMAHA Electrical Network for Unmanned Vehicle)

システム全体のコントロールとして、ニューラルネットワーク型の最適判断制御を採用している。各々の基板は制御情報のほか異常情報を共有し、万一異常が発生した場合は共有情報を基に最適な処理を選択することで、信頼性を高めている。

図8にシステム構成を示す。センサ・サーボモータ等の入出力装置に対しそれらを制御するための基板ユニットを配置している。ユニット間はCANによる通信ネットワークを形成することにより、情報共有の簡略化のほか通信の信頼性向上を図り、様々な追加アプリケーションの接続に対応する汎用性も高めている。全ての機器類は、耐水性(JIS D 0203 S1 or R2)の

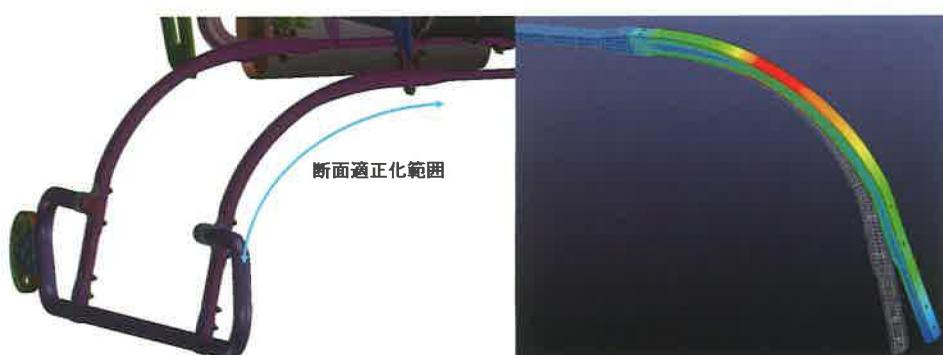


図6 リーフ形状 / 変形 / 応力イメージ

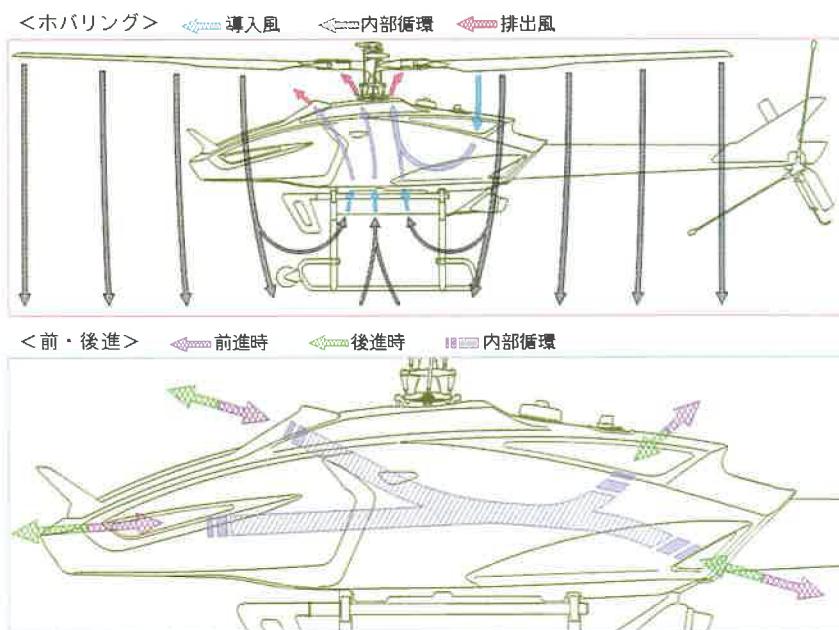


図7 冷却風の導入 / 排出イメージ図

確保など耐久性と整備性を向上させるために専用設計されている。

サーボモータにはコアレスモータを採用して応答性の向上を図り、温度センサを搭載した。アンプ基板はサーボ近傍に配置し、モータ制御のほか電流の監視を行っている。

ノイズの影響を受けやすいGPSアンテナと方位センサの2部品は一体型とし、お互いのノイズ要素を含んだ状態でキャリブレーションを行い、これを遮蔽物の少ないテールボディに配置することで、安定したGPS電波の受信と地球磁場の測定が可能となった。

新設計された送信機は人間工学を考慮した持ちやすい形状に変更し、軽量化することでオペレータの負担を軽減している(図9)。電波発信方式は、従来のクリスタル方式からPLL(位相同期回路)シンセサイザ方式に変更した。また、通信データにIDを設定することにより、送・受信機間での1対1通信が可能となり、通信障害への信頼性とセキュリティ性を向上させた。さらにリチウムイオンバッテリの採用により長時間使用を可能としている。

ワーニングランプは、赤・黄・青のLEDを採用し、色と点灯パターンの組み合わせにより、オペレータに燃料警告や速度維

持モード等の情報を伝える。また、周囲の明るさに合わせて輝度を自動コントロールしており、朝夕の眩しさを低減しながら、昼間での見易さも両立した。図10にレンズ効果を加えて視野角を広げたワーニングランプの点灯パターンの一例を紹介する。



図9 送信機写真

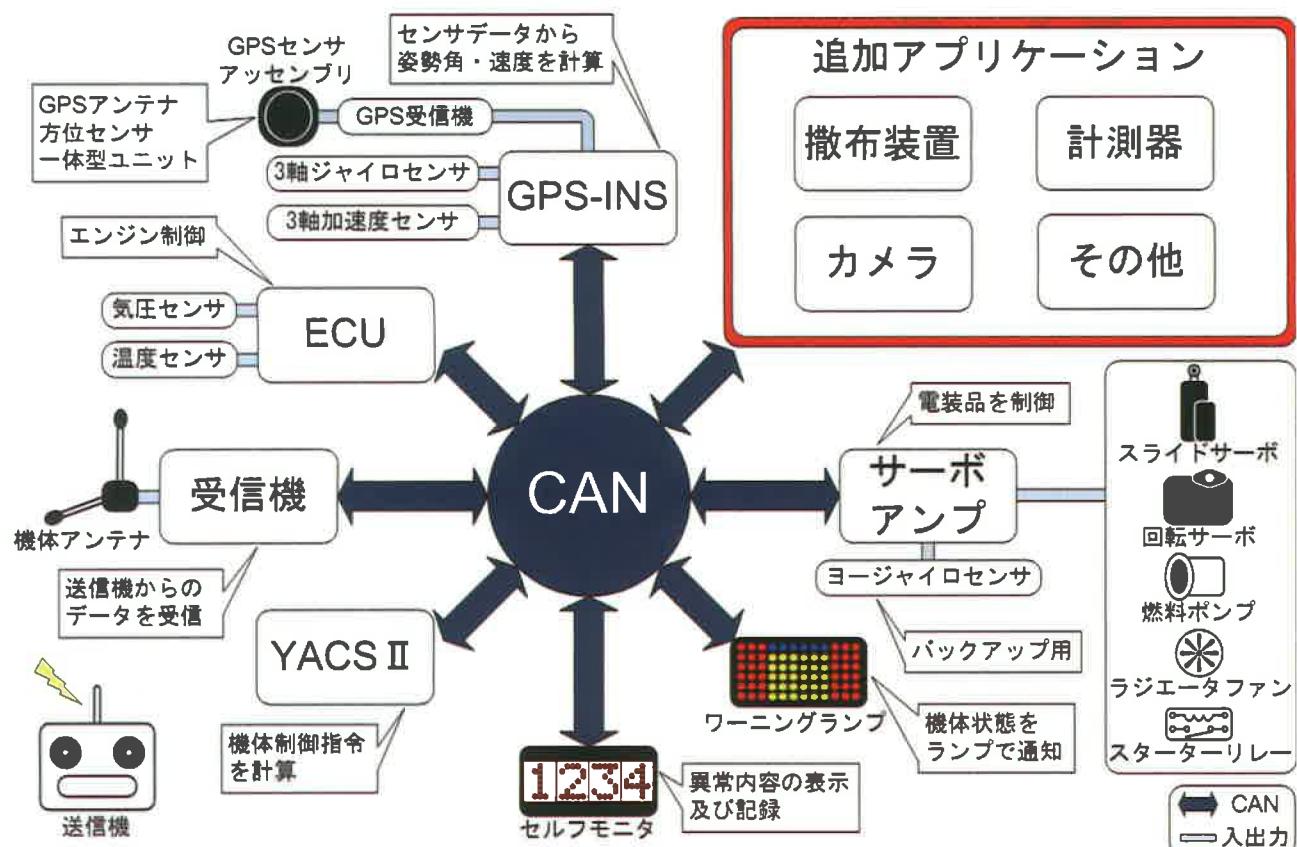


図8 YEN-UV システム全体図



図 10 ワーニングランプ

7

おわりに

FAZERは、「安定したペイロード確保(出力向上)」、「汎用性の高い機体プラットフォーム(付加アプリケーションの簡便化、高剛性シャーシ)」、「今後の環境規制対応に順応(4stFI採用)」を満たし、最新の技術を搭載した機体を開発することができた。また、本機は現行の2stモデルRMAXよりも3.4kg(-5%)の軽量化を4stモデルで達成した。軽量化を進める中で得た教訓は、最適なレイアウトと機能、役割の集約化がいかに大切であるかということである。既存の機能領域の垣根を越え、全体最適で考え尽くされた本機FAZERは、重量はもちろん、レイアウトもシンプルでコストや耐久性にも優れた商品に仕上がった。

今後は、用途拡大に向けて様々なアプリケーションの開発・展開を進めるとともに、より多くのお客様から支持されるよう一層の利便性向上を図っていく予定である。また、無人機ならではの厳しいシチュエーションにおいても、社会的使命を遂行できるように進化し続け、期待を超える価値を創造していく所存である。

■著者



吉原 正典
Masanori Yoshihara
事業開発本部
U M S 事業推進部
開発部



林 隼之
Toshiyuki Hayashi
事業開発本部
U M S 事業推進部
開発部

6 新制御システム:YACSII

(YAMAHA Attitude Control System - Cruise control)

新たに開発した制御システムYACSIIを搭載することにより、様々な環境での操縦安定性を向上させた。また標準搭載したGPSによる「速度維持モード」では、熟練者でも難しかった一定速度での飛行を初心者でも容易に行うことができるようになった。農薬を均一に撒布するためには、高度と速度を一定に保って直線飛行させる必要がある。風などの影響により速度や進行方向がずれた場合でも自動で修正をする機能を搭載した本機の速度維持モードを活用することによって、指定速度まで加速した後に一定速度で飛行を続け、減速操作によりホバリングする。その結果、オペレータの疲労を大きく低減するうえ、均一撒布による作業の品質向上につなげることができる。

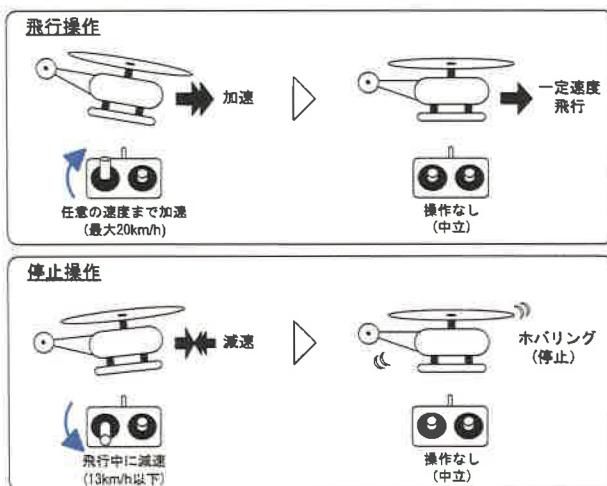


図 11 速度維持モード

HELM MASTER- 高度統合操船制御システム

The Helm Master – Fully Integrated Boat Control System

菅野 功



Abstract

North America has a well-established boating culture and enjoying marine leisure in motorboats or sailboats, etc., is a common way to spend free time on the weekends and holidays. For spending leisure time on the water, large boats with spacious onboard living accommodations and proportionately large, powerful engines are very popular. However, the larger the boat, the more difficult it is to maneuver in and out of docking areas. This is a part of boating that proves challenging not only for boat operators with little experience but also for more experienced operators.

To help facilitate the complex and often stressful task of maneuvering and docking/undocking a large boat in marinas, the "Helm Master" boat control system has been developed for large-class 4-stroke Yamaha outboard motors (225-350 hp) mounted in twin- or triple-engine configurations.

This system supports boat operation when maneuvering through particularly narrow areas like during docking/undocking and navigating tight waterways and marinas by integrating the outboards' steering, shifting and throttle functions as well as enabling 360-degree directional motion of the boat that includes direct sideways movement and pivoting in place.

In this report, we introduce the Helm Master integrated boat control system with its functions designed to support a wide range of boat operation in ways that greatly reduce the demands placed on the operator.

1

はじめに

北米ではボーティング文化が根付いており、余暇にボートやヨットなどのマリンレジャーを楽しむことは珍しくなく、広い居住空間とパワーを併せ持つ大型ボートの人気が高い。その

一方で、ボートサイズが大きくなるほど離着岸操作が困難になることが、経験の浅い操船者だけでなく熟練者をも苦しめている。

このような複雑でストレスの多い離着岸時の操船を支援するため、今回大型4ストローク船外機(225~350馬力)を2機あるいは3機搭載する大型ボートを対象とした操船制御システム「HELM MASTER」(以下、本システム)は開発された。

本システムは、ステアリングやシフト、さらにスロットル操作など船外機の操船に加えて、真横移動、その場回頭など、360度のボート操作が可能となり、離着岸や狭水路、マリーナなど特に狭いスペースでの操船をサポートする。本稿では、多岐に渡るボート操船をサポートする機能を織り込み、操船者の負担を大幅に軽減できる統合操船制御システム「HELM MASTER」を紹介する。

2 開発のねらい

離着岸操作の難しさが故、特に経験の浅い操船者はボートを購入する障壁となっていた。海水域で使用される大型船外機艇シェアで他社を圧倒している当社であるが、このようなニーズを何とかして打破し、更に裾野を広げ、多くのお客様に満足して頂きたいと考えていた。

一方、超大型の船内エンジンシステムでは、船の離着岸を容易にする操船システムが既に導入されており、船外機艇のお客様の中には、船外機システムへの展開を希望する方も多かった。当社としては、すでに情報系機器での共同開発を行っており、船内エンジンにおける操船制御システム技術で先行しているVolvoペント社と、操船システム領域での共同開発を実現すべく開発契約を締結し、早期導入を目指した。共同開発を行う中で、Volvoペント社の操船制御システムと当社が持つ船外機特有の条件や挙動を持ち寄り融合し商品開発を行った。

3 開発課題と対応

3-1. 船外機特有の課題

Volvoペント社が保有している技術は船内エンジンシステムであり、船外機特有の課題は新規開発が必要である。特に船外機艇では最高速が110km/h以上になり、Volvoペント社の搭載艇である船内エンジン艇の64km/hを大きく上回る。本システムでは、油圧電動ポンプと油圧シリンダをアクチュエータとしたバイワイヤ制御を適用しているため、操船レスポンスにタイムラグがある。そのため操船者が許容可能なレベルにするためのレスポンス向上や、高速でも安心して操船できるためのステアリングのフリクション荷重設定等の開発が新たに必要となる。

3-2. 初めての操舵制御

当社としては、初めての操舵システムであり、社内評価者のスキル向上も開発に合わせて行ってきた。また、評価基準を作成するためには北米の経験者の意見を吸い上げるために、平水面高速航走テスト・外洋荒波航走テスト・離岸着岸テスト等、何回もテストを繰り返し、舟艇事業部の協力を得ることで開発は進められた。さらに、当初の目的である初心者や女性の操作性を確認するため、社内ペーパードライバによる航走確認テストも行い、完成度を見極めた。

3-3. ヤマハらしさ

ベースであるVolvoペント社の操船支援技術は船内エンジン艇では業界トップであるが、それに加え、当社ならではの詳細なテストパターンでの改良を行った結果、マリン業界の中では最高水準の技術の製品に仕上がった。デザイン面でもコストを考慮しつつ、ヤマハらしいデザインに仕上げた(図1)。



図1 デザイン部品

3-4. ボートビルダーとの協業

船外機システムは完成品ではなく、ボートビルダーが製造するボートと組み合わされてはじめて商品となる。船外機艇はボートビルダーの設計により特徴が異なり、多種多様な船外機艇が市場に存在する。

多種多様な船外機艇でお客様に満足していただける操船性に達しているかを確認するため、主要ボートビルダーに開発途中のシステムを使用した作動確認、改良要望抽出等のコンサルト活動も行った。

3-5. 統合操船システムのインフラ開発

本高度操船システムを運用するためには、ソフトウェアおよびシリアル番号管理データベースシステムとサービスツールの構築など新しい仕組みも必要であり、その開発には多大な時間を投入した(図2, 3)。



図2 サービスツール

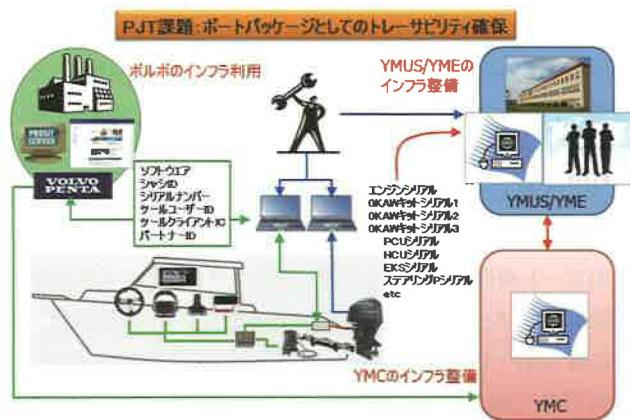


図3 サービスデータベース

4 製品の特徴

エンドユーザーの快適性を向上させるために採用した本システムの各機能(図4)について以下に示す。

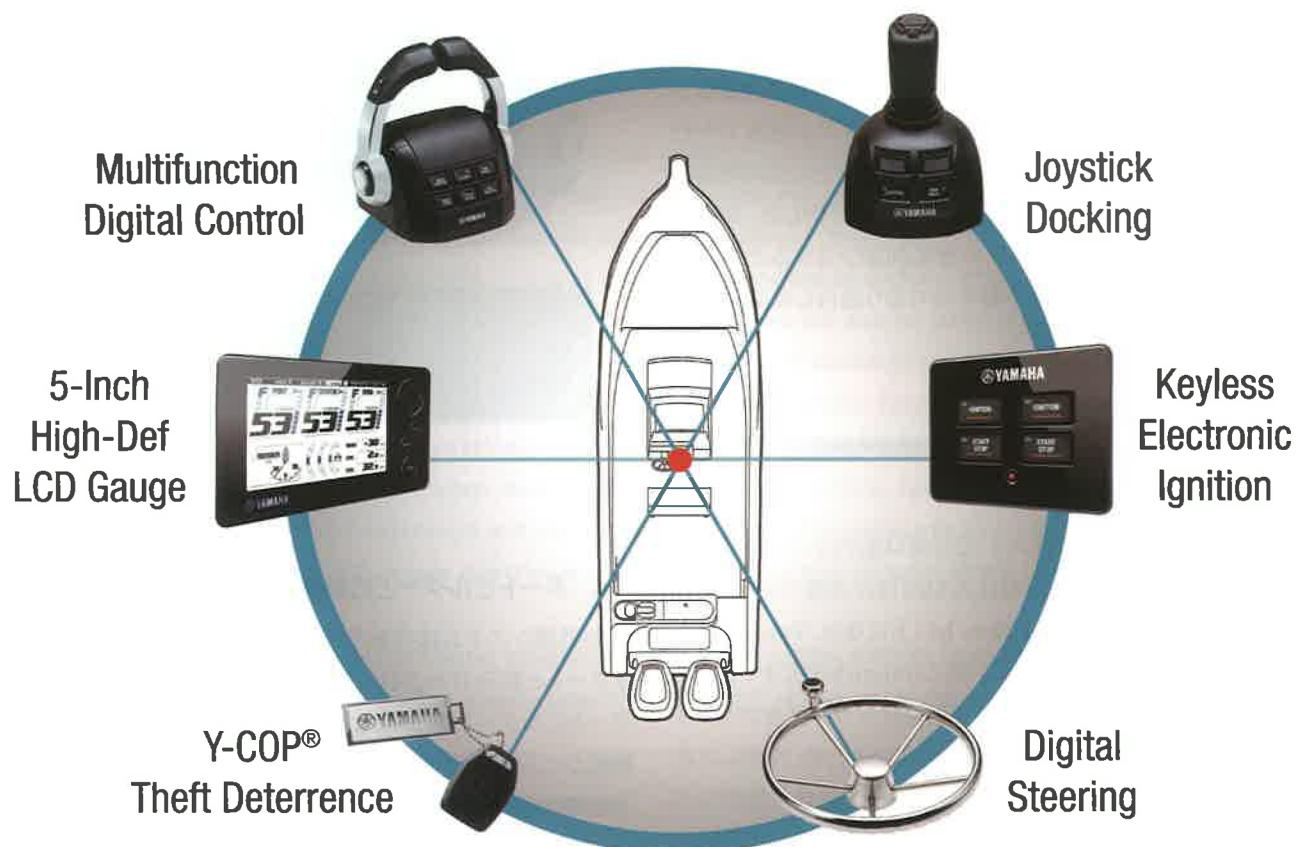


図4 HELM MASTER システム

4-1. Joystick Docking

レバーを倒した方向にボートは移動する。レバーをひねるとボートは回転する。両方の複合操作も可能であり、直感的にボートを操船できる(図5)。また、操船が困難とされている真横移動に関しては、自動的に2台の船外機をハの字にし、スラストをボートの抵抗中心に合わせる機能を搭載することで操船者の負担を軽減させた(図6)。さらに、風が吹いている場合に移動力を増幅させるHI-MODEの機能もある。

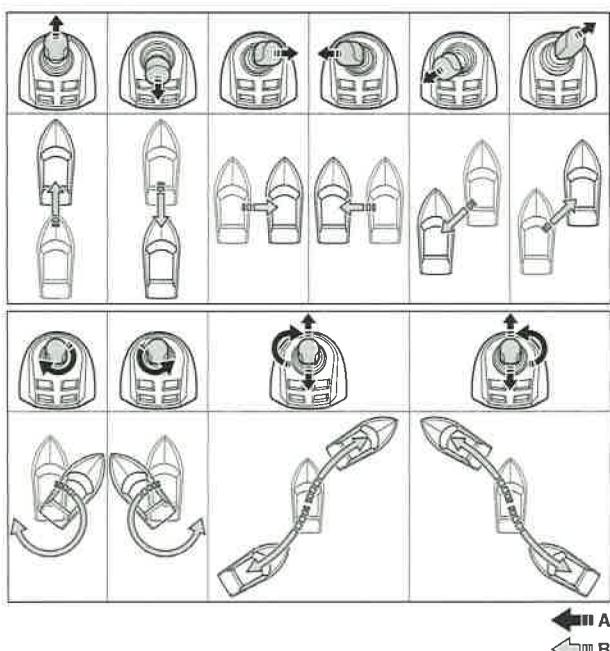


図5 ジョイスティック操作方法

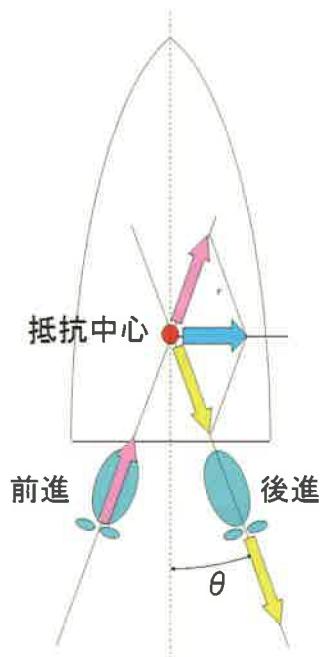


図6 横移動の原理図

4-2. Multifunction Digital Control(リモコン)

リモコンの主な機能3つを紹介する(図7)。



図7 リモコンの各機能

- Trim Assist

走行中のボートの姿勢を走りやすくするために、船外機の角度を変えるトリム機能というものがあり、従来は操船者が手動で行っていた。本システムでは、統合メータで回転数ごとのトリム角度を設定することにより、自動制御が可能である。操船者はハンドル操作に集中でき、特に初心者に有効である(図8)。

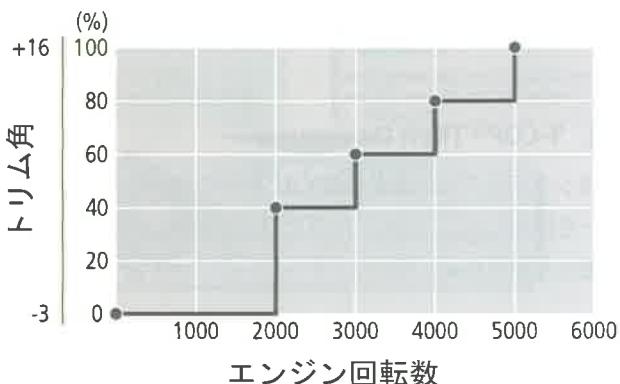


図8 トリムアシスト図

- Single Lever

2機掛けの場合、左右のエンジン制御用に2本のレバーがあるが、通常同時に操作する。本システムでは、そのわずらわしさ解消と操作力低減のため、1本のレバーで2台(3機掛けでは3台)の同時操作が可能となる。この機能は初心者・ベテラン共に好評である。

- Speed Control

リモコンでのスロットル開度操作の補助機能として、ボタン操作により速度を微調整する。

4-3. Digital Steering

本システムはバイワイヤシステムであり、ステアリング荷重はハンドル部のアクチュエータによって任意に設定できる。

ボートは速度に応じてそのハンドル荷重を変えた方が操船者にとっては好ましい。本システムでは、速度が早くなると自動で荷重が重たくなるように設定されており、低速時には軽い操作が可能となっている。また、荒波時には、統合メータのスイッチ操作により、更に重たくなるような設定をユーザが選べるようになっている(図9)。

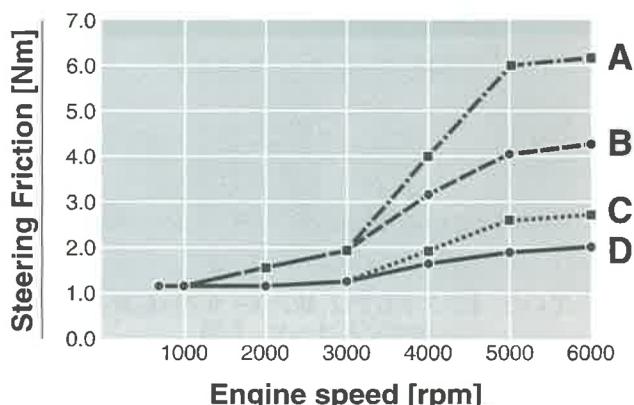


図9 ハンドルフリクション

4-4. Y-COP® Theft Deterrence

本システムでは、従来の鍵の代わりに、RFID方式の電子キーを採用した。この電子キーには認証機能があり、盗難防止機能を標準搭載している。

4-5. 5-Inch High-Def LCD Gauge

5インチのカラー液晶画面にはエンジン情報表示のほか、前出のような様々な操船サポート設定や、ワーニング表示が可能である。

的なセッティングとテストを繰り返していた。本システムは統合制御システムであり、様々な設定がボタン操作だけで行え、ボートビルダーの負荷を低減している。

代表的な設定項目を以下に示す。

- ・ハンドルを切った角度と実際の舵の角度の比:6段階より選択
- ・ハンドルフリクション:通常時と荒波時各々100段階より選択
- ・船外機のデフォルトの舵角(ト一角):20段階より選択

6 おわりに

本システムは、結果的に他社に先行して商品導入することができ、先行者利益を確保できる値付けや取引ボートビルダーとの関係において優位に立つことができている。ボートビルダーからは艇体の価値を高め、新たな顧客層を開拓できる商品であるとの評価も頂いている。

全社の各部門が各課題を明らかにして対策を織り込むなど一丸となって成果を上げたことも評価できる。

業界に先駆けて市場投入した利点を生かし、次の顧客要求を早く吸い上げ、更に他社を一步先ゆく商品を提供し続けていく所存である。

■著者



菅野 功
Isao Kanno
マリン事業本部
M E 事業部
開発統括部

5 ボートビルダーの負荷低減

5-1. 船外機在庫管理低減

本システムは、既存の船外機が使えることを目標とし、船外機側の変更がなくても成立するように開発した。このため、船外機の仕様が増えて管理が増えることはない。

5-2. ボートセッティングの容易化

船外機艇は多種多様であり、ボートビルダーの適合の好みも異なる。従来は、ボートビルダーは新艇を作ることごとに、機械

Abstract

Making use of its advanced electronic control and drive unit technologies accumulated from the development of products such as our industrial robots and electrically power assisted bicycles, Yamaha Motor Co., Ltd. (YMC) introduced in 1995 its "JW-I" electric power unit for wheelchairs as a product that meets the needs of welfare and aging societies. Since the release of the JW-I, YMC has continued to command a large share in the electric wheelchair market category in Japan for modifying users'wheelchairs to use electric power units. Together with the successor model "JWX-1" launched in 2006, Yamaha wheelchair products have been used and loved by many people. This paper describes the background to the development of these products, their development concept and future possibilities.

1 はじめに

ヤマハ発動機(以下、当社)は、産業用ロボットや電動アシスト自転車の開発で培った高度な制御技術や駆動技術などを活用することで、福祉・高齢化社会に対応できる商品のひとつとして、車いす用電動ユニット「JW-I」を1995年に市場に投入した。JW-Iは発売以来、簡易型(手動兼用型)電動車いす市場で常に高いシェアを維持し、2006年に発売した後継モデル「JWX-1」とあわせて多くの人々に愛用されている^[1]。本稿では、開発の経緯を振り返り、開発コンセプトと今後の展開について述べる。

2 開発の経緯

当社は、福祉社会への貢献を目標に掲げ、1989年から電動車いすの開発に取り組んでいる。しかし、福祉分野は当社にとって未知の領域であるため、開発は順調に進まなかった。電動車いすには、高い性能だけではなく、利用者個々に合わせたオーダーメードの考え方方が求められたのである。

そこで、「電動車いす全体を開発するのではなく、すでに使用されている手動車いすを電動化しよう」と発想を転換し、そこから「電動化ユニット」のコンセプトが生まれ、6年後の1995年に、そのコンセプトを実現した車いす用電動ユニット「JW-I」を発売した^[2]。

3 開発コンセプト

電動化ユニットの開発コンセプトについて述べる。

3-1. 電動化

車いすにはいろいろな種類があるが、大きくは「手動」と「電動」に分けることができる。それぞれに長所、短所があるが、両者の長所を併せ持つ「手動兼用型電動車いす」という新しい車いすの世界を提案した(図1)。



図1 手動兼用型電動車いすのコンセプト^[3]

車いすの最も大きな領域を占めるのが手動車いすである。しかし、障がいの種類や程度が多岐にわたるにも関わらず、その選択肢は基本的にひとつしかなかった。JWシリーズはこの領域に新しい選択肢を提案するものである(図2)。

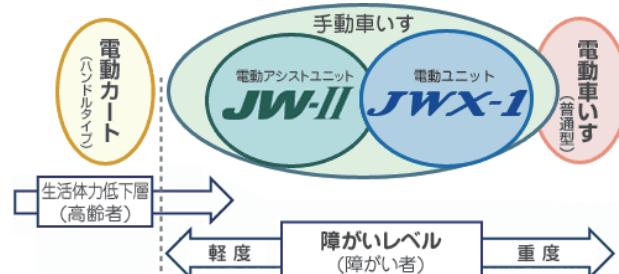


図2 JWシリーズのターゲット^[3]

3-2. ユニット

車いすを生活のパートナとして利用する障がい者や高齢者にとって車いすは身体の一部のようなものであるため、一人ひとりの利用者に合わせたオーダーメードが欠かせない。車いすの椅子の機能を果たしているフレーム部分はユーザの体格や身体の状況、生活環境に合わせて1台1台オーダーメードで設計・製作されている。

JWシリーズは、こうして製作されたオーダーメードの車いすの機能をそのまま活かし、駆動輪だけを電動化ユニットに交換する。(図3、4)。



図3 車いす用電動化ユニットの構造^[3]



図4 JWX-1 ユニット構成^[3]

4 特徴

当社の電動化ユニットには大きく分けて、

- (1)電動ユニット
- (2)電動アシストユニット

の2つの種類がある。(1)の電動ユニットは、主にジョイスティックにより操作される。(2)の電動アシストユニットは、車輪

に取り付けられているハンドリムの操作の負荷に応じて電動の補助力がはたらく「電動アシスト」の機能を手動車いすに追加するユニットである。それぞれの特徴について述べる。

4-1. 電動ユニット

手動車いすに後付けで「電動」の機能を付加する装置であり、ジョイスティック1本で電動走行を可能とする。車体の折畳みが可能、電動／手動の切り替えが可能、等の特徴がある。

4-2. 電動アシストユニット

手動車いすに後付けで「電動アシスト」の機能を付加する装置であり、手動による操作と同じ動作や走行を小さな力で実現できる。当社が世界で初めて開発した電動アシスト自転車PASの「パワー・アシスト・システム」を応用したものであり、車いすのハンドリムを漕ぐ力とそれに応じて出力されるモータの力を融合して車輪を回し、車いすの走行をアシストする(図5)。

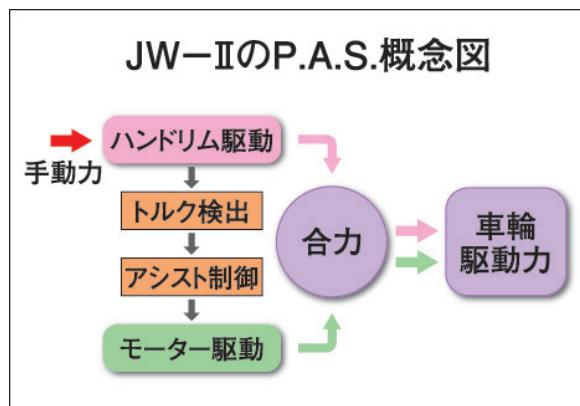


図5 パワーアシストシステムの概念図^[3]

5 今後の展開

5-1. 研究開発用途への展開^[4]

当社には、電動車いすを研究開発用に使用したい、という要望が多く寄せられてきた。それらの要望に応えるために電動車いすを外部制御機器から操作できる研究開発用キット「アカデミックパック」を2011年6月に発売した。

アカデミックパックは、外部制御機器(パソコン等)と電動車いすの走行制御装置とをシリアル通信で接続する。外部制御機器からコマンドを送信することで、電動車いすを走行させることが可能となり、電動車いすの内部情報(車輪回転速度、ジョイスティック操作量等)が取得できる(図6)。



図6 研究開発用キット「アカデミックパック」^[3]

発売以来、多くの大学、研究機関へ納入し、ロボットコンテスト参加のためのベース車両として、また、自律移動ロボット、新たな福祉機器や障がい者の操作入力装置、などの研究に利用されている。

5-2. 新電動アシストユニット開発^[5]

電動アシストユニット「JW-II」は、1996年の発売以来国内外で高い評価を得てきた。2013年、これをフルモデルチェンジし「JWX-2」として販売を開始した。

車いすを操作する腕力や握力が左右の腕で異なるなど、車いすユーザの身体状況は様々である。また、身体状況は症状の進行により時間の経過と共に変化する。

当社では、「JWX-2」の発売に合わせてパソコン用アプリケーションソフトウェア「JW Smart Tune」を開発した。「JW Smart Tune」を用いれば、ユーザの身体状況を測定し、個々の症状や使用環境などに合わせてアシスト力や左右バランスなどを調整することができる。ユーザの様々な身体状況、および、その変化に柔軟に対応することができ、より快適に、長期間にわたって、「JWX-2」を利用していくことが可能になる。

開発、計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、2010

[5]後付け型車いす用電動アシストユニットの開発、日本機械学会 交通・物流部門 ニュースレター No.45、2013

■著者



伊藤 孝史

Takashi Itoh

事業開発本部

IM事業部

JWビジネス部

6 おわりに

本論文では、当社が開発した車いす用電動化ユニットの開発経緯、コンセプト、および今後の展開について述べた。今後多くのユーザの声に応えられるように努力したい。

■参考文献

- [1]谷垣聰、車いす用電動ユニット「JWX-1」と軽量型電動車いす「JWアクティブ」、ヤマハ発動機技報、No.42、2006
- [2]Times of YAMAHA –挑戦と感動の軌跡 ヤマハ発動機50周年記念誌、pp 248-249、2005
- [3]ヤマハ発動機 製品サイト(電動車いす) <http://www.yamaha-motor.jp/wheelchair/>
- [4]藤本勝治、斎藤友也、藤田晴康、田端伸章、田中哲朗、藤本猛志、高間和志、研究用途としての電動車いすシステムの

産業用無人ヘリコプタ FAZER用 4サイクルエンジンの開発

Development of a 4-stroke engine for the FAZER industrial-use unmanned helicopter

村松 浩義



図1 EG 外観

Abstract

For the full model change of Yamaha Motor Co., Ltd.'s "FAZER" industrial-use unmanned helicopter, a 4-stroke engine (Fig. 1) newly developed by Yamaha Motor Engineering Co., Ltd. is used as its power unit.

We adopted this 4-stroke engine to improve environmental performance, and developed various techniques to reduce aircraft weight to achieve a stable operating payload (loading capacity). Various weight-reducing measures were implemented in order to clear the regulations set for industrial-use unmanned helicopters.

In this report, we introduce the 4-stroke engine developed for the FAZER with a particular focus on our approach to reducing weight.

1 はじめに

フルモデルチェンジを果たしたヤマハ発動機(株)の産業用無人ヘリコプタ「FAZER」には、ヤマハモーターエンジニアリング(株)(以下、当社)で新たに開発した4サイクルエンジン(図1)が搭載されている。

2サイクルエンジンを搭載した現行モデル「RMAX」に対し、安定したペイロード(離陸重量)の確保と環境性能の向上を達成するために4サイクル化と排気量の拡大を進めるとともに、様々な軽量化施策を織り込むことで、産業用無人ヘリコプタとして法規上の重量の制約もクリアした。

本稿では軽量化施策を中心に「FAZER」用4サイクルエンジンについて紹介する。

2 開発のねらい

「FAZER」用エンジンは現行モデル「RMAX」に対し、基本性能の向上を図ると共に、社会環境の変化に対応した次世代の産業用無人ヘリコプタ用エンジンとして、次の3項目を開発目標とした。

- ① 安定したフライトの実現
 - ・気温、標高、天候の変化に左右されないエンジン
 - ・高地高温下でのフルペイロードの確保
- ② 散布作業効率の改善
 - ・機体重量軽減による薬剤搭載量24Lの実現
 - ・燃費向上(現行比20%向上)
- ③ 周辺環境への配慮

・低騒音(70dB以下 50m先ホバリング時)
 ・排気ガス排出量の低減(自主規制値のクリア)
 これらの目標を達成するために加え、今後予想される環境規制対応も見据え、重量面では不利になるものの、FIを搭載した4サイクルエンジンを採用した。

3 エンジン概要

3-1. エンジン諸元

エンジンレイアウトは「RMAX」同様、左右の重量バランスに優れ、エンジン全高を抑え、かつ全長が短くメインマスト寄りにエンジン重心を近づけることができる水平対向水冷2気筒を採用した。外観寸法を図2に示す。

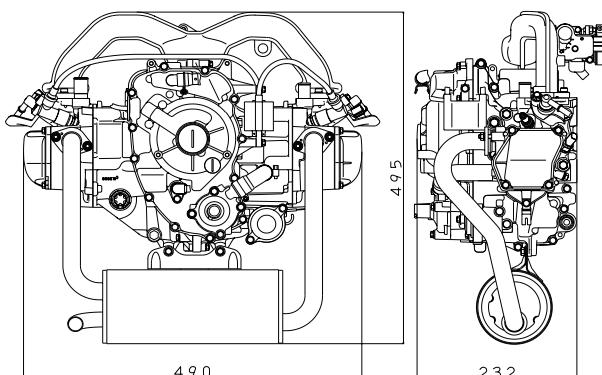


図2 外観寸法

産業用無人ヘリコプタはスロットルサーボにより、エンジン回転数は6000rpmで一定に保たれるように制御される。そのため、特に高回転域の性能は要求されないことから、動弁系システムはOHV2バルブを採用することで部品点数の増加を抑えた。

また、性能シミュレーションの実施などにより、ボア×ストロークは 66×57 (排気量は390cc)、圧縮比は10.1:1とし、6000rpmにて出力19.1kw以上を発揮することで、「RMAX」に対し約25%の出力を向上させるとともに、目標とする高地高温下(1000m、30°C)でのフルペイロードを達成した。

さらに水平対向エンジンのレイアウトを活かした長い吸気管と排気管の長さを最適化することによりフラットなトルク特性を実現することで、瞬間的な回転変動に対するフライト時の安定性を確保した。

諸元表を表1に示す。また、性能特性を図3に示す。

表1 諸元表

原動機種類	水冷4ストロークOHV2バルブ
気筒数配列	水平対向2気筒
総排気量	390cc
ボア×ストローク	66.0 x 57.0 mm
圧縮比	10.1:1
出力	19.1kw 以上 / 6000rpm
始動方式	セル式
潤滑方式	ウェットサンブ
点火方式	TCI
燃料供給方式	FI
燃料	レギュラ - ガソリン

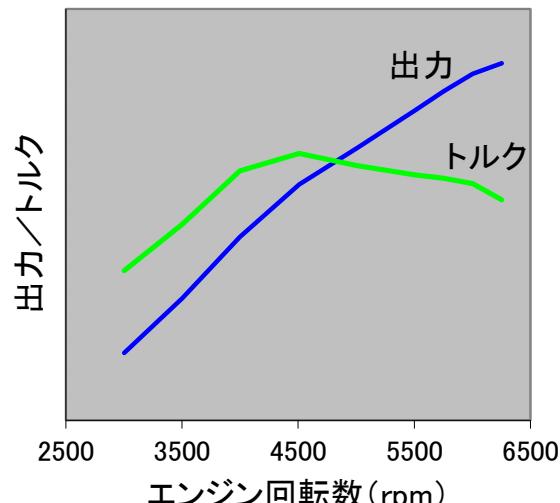


図3 性能特性

3-2. 環境性能

「FAZER」用エンジンは将来の環境規制対応を見据えて、4サイクル化と共にFIシステムを採用した。

その結果、「RMAX」に対し排気量の拡大と出力の向上(ペイロードの向上)を図りながら、目標とする20%の燃費向上を実現した。

また、排気ガス排出量についても日本陸用内燃機関協会の自主規制値「非携帯機器用エンジンのクラスII」をクリアした。

3-3. エンジン重量

産業用無人ヘリコプタは、最大装備重量が100kg以上となると航空機製造事業法の適用範囲となり、有人機と同等の製

造工程管理などが要求される。そのため「FAZER」は最大装備重量100kg未満をMUST目標として開発を行った。

上記エンジンレイアウトの採用や、次項以降に示す各部品仕様の採用により、高価な軽量材料を多用すること無く重量の増加は最小限にとどめ、4サイクルエンジンを搭載しながら「RMAX」に比べ機体全体で軽量化を実現し、目標としていた24Lの薬剤搭載を可能とした。

4 エンジン各部仕様

4-1. ヘッドシリンダ、クランクケース

コンパクトなOHV2バルブのヘッドシリンダはアルミ製LP鋳造品、クランクケースは左右割のメッキシリンダ一体のアルミダイカスト製である。

これら大物鋳造部品について、本エンジンでは開発初期からデジタルエンジニアリングを活用した。プロト試作段階から製品3Dデータを製造部門と共有し、解析ツールを用いることで強度面だけでなく製造面からも軽量化に主眼を置いた形状最適化を行った。

図4にヘッドシリンダの凝固解析の一例(温度分布状況)を示す。

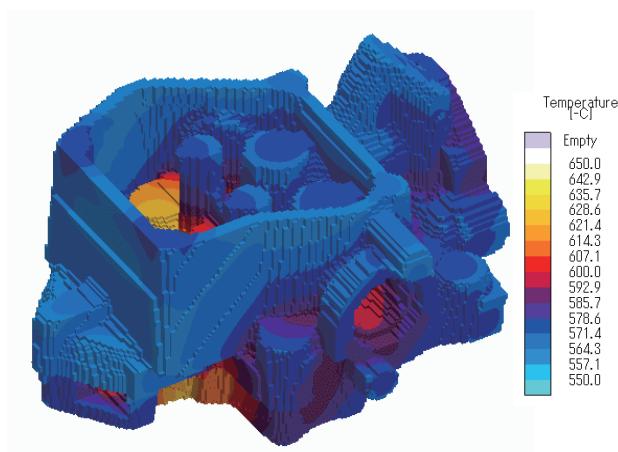


図4 ヘッドシリンダ凝固解析

4-2. 動弁系

OHVのカムシャフト駆動はギヤ駆動とし、中間アイドラギヤを設けることで、ギヤサイズを最小とした。

カムシャフトは水平対向のレイアウトを活かし、吸気および排気のカム山を左右気筒で共用し、カムシャフトの全長を短くした。また、カムシャフトにはオートデコンプを装備し、エンジン始動時の負荷を軽減することによりスタータモータを小型化した。

バルブを駆動するプッシュロッドは、軸部をアルミにすることで軽量化すると共に、熱膨張によるバルブクリアランス変化を少なくした。

ロッカーアームは小型船外機や汎用エンジンなどで実績のある球面ピボットによる板金製を採用することにより、ロッカーシャフトやシャフトを支持するボスが不要となり、部品点数の削減やシンプルなヘッドシリンダ形状とすることができた。

動弁系部品のレイアウト図を図5に示す。

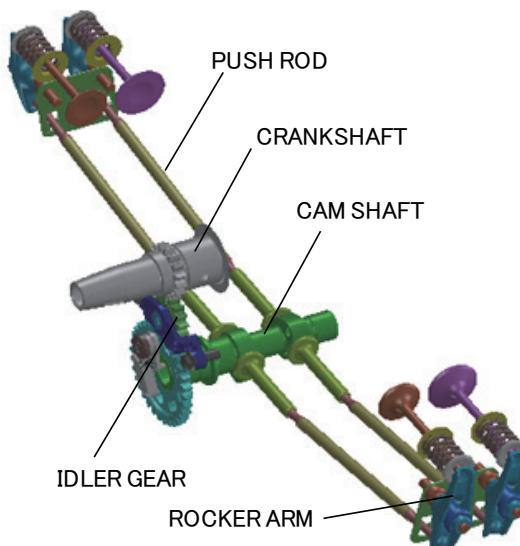


図5 動弁系レイアウト図

4-3. クランクシャフト

水平対向エンジンは左右のシリンダを360°間隔で爆発させ、お互いの慣性モーメントを相殺することで、低振動を実現すると共に、クランクウェブを小さく(軽く)できるメリットがある。さらに「FAZER」のエンジンでは左右シリンダのオフセットによる偶力振動を最小限とし、クランク重量をさらに軽量化するため、センタージャーナルレスのクランクシャフト(図6)を採用した。センタージャーナルを無くすることでクランク軸の撓みが課題となつたが、センターウエブ形状やクランクピン径、クランクジャーナル径を最適化することで十分な剛性を確保した。またクランクシャフトの材料をSCM420とし熱処理を浸炭焼入れ焼き戻しの熱処理を施すことで必要強度を確保した。

なお、ピストンはアルミ鍛造製とすることで重量の軽減を図った。

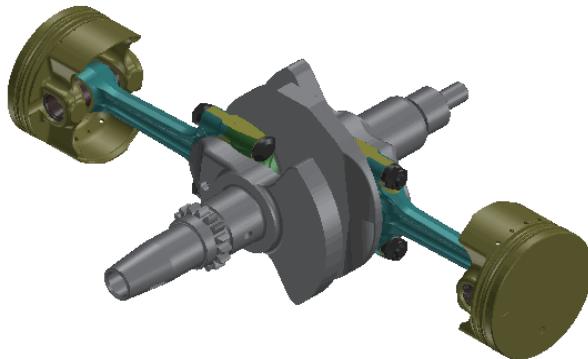


図6 クランクシャフト

4-4. 潤滑

クラシクシャフトの軸受けは重量を考慮しプレーンメタルの採用を検討したが、ヘリコプタのフライト中の機体姿勢変化に対し安定した油圧供給を確保できるかが課題であった。軽飛行機用エンジンなどで実績のあるドライサンプ方式を採用すれば油圧確保は比較的容易であるが、その半面、部品点数やエンジンオイル量の増加で重量が増すため、ウエットサンプ方式を採用した。

そのために、「RMAX」を用いてフライト時の姿勢変化量とGの発生方向や大きさなどの関係を確認し、それらを基に油面挙動解析などを実施することで、クラシクケース内連通路やオイルパン形状を最適化するとともに、バッフルプレートなどを追加した。その結果、ウエットサンプ方式で要求機能を満たす潤滑システムを開発することができた。

図7に油面挙動解析の一例を示す。ロール時にヘッドシリダへのオイルの流れ込みが少なく、少ないオイル量(1 L)でもオイルパン内の油面高さが確保されている。

評価においても、前後左右に自在に傾斜できるエンジン評価台を作成し、台上での信頼性を確認した上で、実機でのフライト評価に移行することで評価時の安全性にも配慮した。

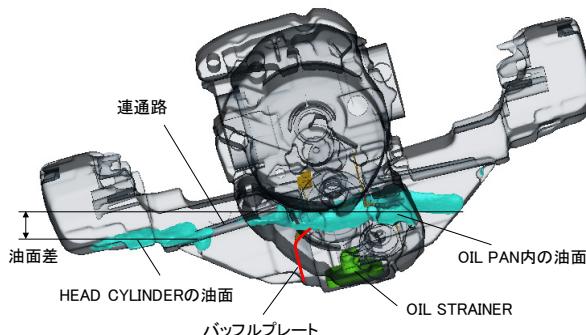


図7 油面挙動解析

4-5. 吸気廻り

FIシステムは、スロットルボア径 ϕ 32のスロットルボディを専用設計とし肉厚などを最適化した。その他のFIコンポーネントはモーターサイクルの生産品を基本流用した。

管長の長いインテークマニホールド(図8)は樹脂(ガラス繊維入りナイロン)製とすることで軽量化を図った。



図8 インテークマニホールド

4-6. マフラ

近年、住宅が水田などの近隣に存在することも多く、騒音の低減は重要なテーマである。

そこで3段膨張構造のマフラ(図9)を採用し、膨張室容積、およびテールパイプ径を最適化することで目標とする騒音値を達成した。

またヘリコプタはホバリング時など、マフラへの風当たりが少ない中での耐熱信頼性が必要である。「FAZER」ではマフラ材質にチタン合金を採用することで、大幅な軽量化と、耐熱信頼性を確保した。

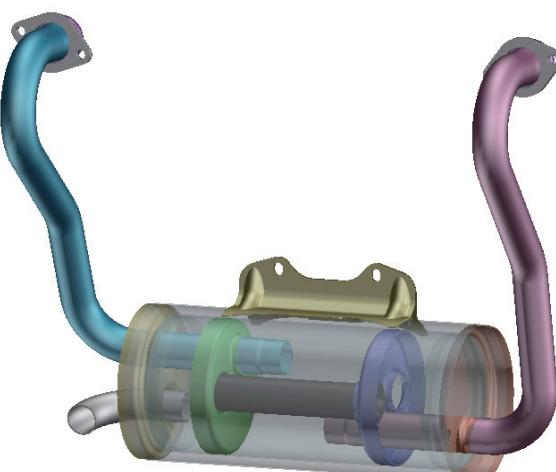


図9 マフラ

5 おわりに

本エンジンの開発は、ヤマハ発動機グループのエンジニアリング機能を担う当社において初めて経験する領域であった。また産業用無人ヘリコプタ用としては、ヤマハ発動機においても15年振りの新規開発ということで、過去の事例も少ないと、要求機能や市場での使われ方を一つ一つ検証し、設計指標に落とし込み、評価してまたフィードバックと、開発メンバーにとっては苦労を要すると共に大きな挑戦であったが、モーターサイクルやマリンエンジンなど様々なエンジンの技術要素を取り入れ、ヤマハらしいモノ創りができたと考える。

「FAZER」は次世代の無人ヘリコプタとして飛躍的な進化を実現できたと確信しており、その利便性についてより多くのお客様の支持を得て、国内農業を始め、多用なシーンで活躍することを期待している。

■著者



村松 浩義
Hiroyoshi Muramatsu
ヤマハモーター
エンジニアリング株式会社
エンジン設計部

山谷 正貴 大城 郡二 望月 靖之

Abstract

In recent years, motorcycle makers in Japan and abroad have been supplying police bike models for police forces all around the world. Police bikes for overseas markets have to comply with the regulations of the country they are used in. For this reason, the function and equipment mounted on police bikes have become similar and it is increasingly difficult for makers to differentiate the features of their products from those of the competitors. On the other hand, because police bikes may be used for emergency operations such as the pursuit of suspected criminals, etc., there is a need for their functions and performance to always be maintained in top condition.

In answer to these needs, we explored the possibility of employing the type of device now commonly used on automobiles to record and monitor data about the vehicle's running conditions. We developed the "YAMAHA DRIVING MONITOR SYSTEM" with the aim of mounting a device with these functions on the next version of the "FJR1300AP" police bike (Fig. 1) destined for overseas use. The system we introduce in this report is a specialized accessory for the FJR1300AP and will only be available to overseas Yamaha Motor group bases.

1 はじめに

昨今、海外におけるポリスバイクは国内、海外の各社から販売されている。海外で使用されるポリスバイクは、各国のレギュレーション対応が要求される。そのため、車両に搭載されている機能は類似しており、各メーカーの特徴は薄れているのが現状である。一方、被疑者の追跡など緊急走行をするポリスバイクには、車両の機能・性能を常に最良の状態に維持しておくことが求められている。

そこで、四輪車向けに広く普及している車両の走行状態を記録、閲覧する装置に着目し、これらの機能を海外で使用される予定の次期モデルFJR1300APに搭載することを目的としてYAMAHA DRIVING MONITOR SYSTEMは開発された(図1)。

本稿で紹介する本システムは、FJR1300AP専用のアクセサリ部品であり、海外拠点のみの取り扱いである。



図1 FJR1300AP

2 開発のねらい

四輪車には既に「OBD (On-board diagnostics:自己故障診断) コネクタ」が標準搭載されており、OBDコネクタに広く普及している専用端末を接続することで、容易に位置情報や車両情報を取得できる。

しかし、二輪車には四輪車用のOBD端末を接続することができないため独自のシステム開発が必要となる。そこで、GPSデータや運行状況を知るための車両情報およびポリス機能情報(パトライトやサイレン稼働有無)を用いた支援ツールの開発を目指した。

3 システム構成

YAMAHA DRIVING MONITOR SYSTEMは、データ記録用の車載記録ユニットとデータ閲覧のためのビューソフトウェアで構成される。

3-1. 車載記録ユニット(図2)

車載記録ユニットは、車両のメインスイッチと連動して作動し、データはメインスイッチが投入されている間記録される。

本ユニットはISO 11989 CAN通信に対応し、車両のCANバスから走行データを取得する。また、GPSを通して日時・位置データを取得する。さらに汎用デジタル入力ポートを2ch備え、ここにサイレン、パトライト等のポリス装備の操作履歴を記録する。

CAN、GPS、汎用デジタル入力から取得したデータはSDカードに記録される。なお、使用量が多量となった場合には、古い記録を自動で削除して記録を継続する。

以下に車載記録ユニットのブロック図を示す(図3)。



図2 車載記録ユニット搭載位置

3-2. ビューソフトウェア

記録したデータは、Windowsパソコンで動作する専用のビューソフトウェアで閲覧する。ビューソフトは、ログビューアとイベントビューアがある。

ログビューアでは、SDカード内の車両データとイベントデータの記録内部に含まれる日時情報を読み取って、カレンダ上

にその日の走行距離や走行時間などの運行情報が表示される(図4)。

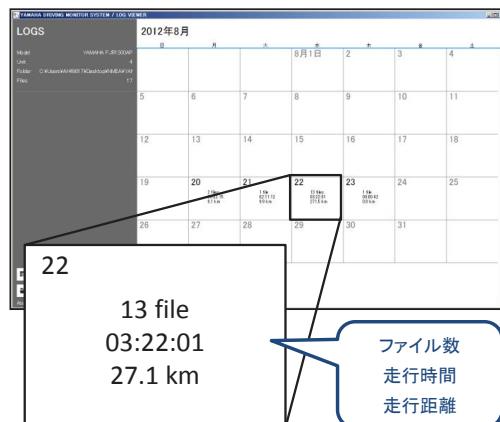


図4 運行情報のカレンダ表示

この表示されたデータを選択することでエンジン回転数や各種センサの出力信号をグラフ表示させることができる。表示項目はユーザが任意に設定でき、走行軌跡はMAP表示モードで地図上に表示することもできる(図5)。

なお、走行軌跡表示においてポリス特有機能としてパトライタやサイレン使用時の軌跡を個別に表示すること也可能である。

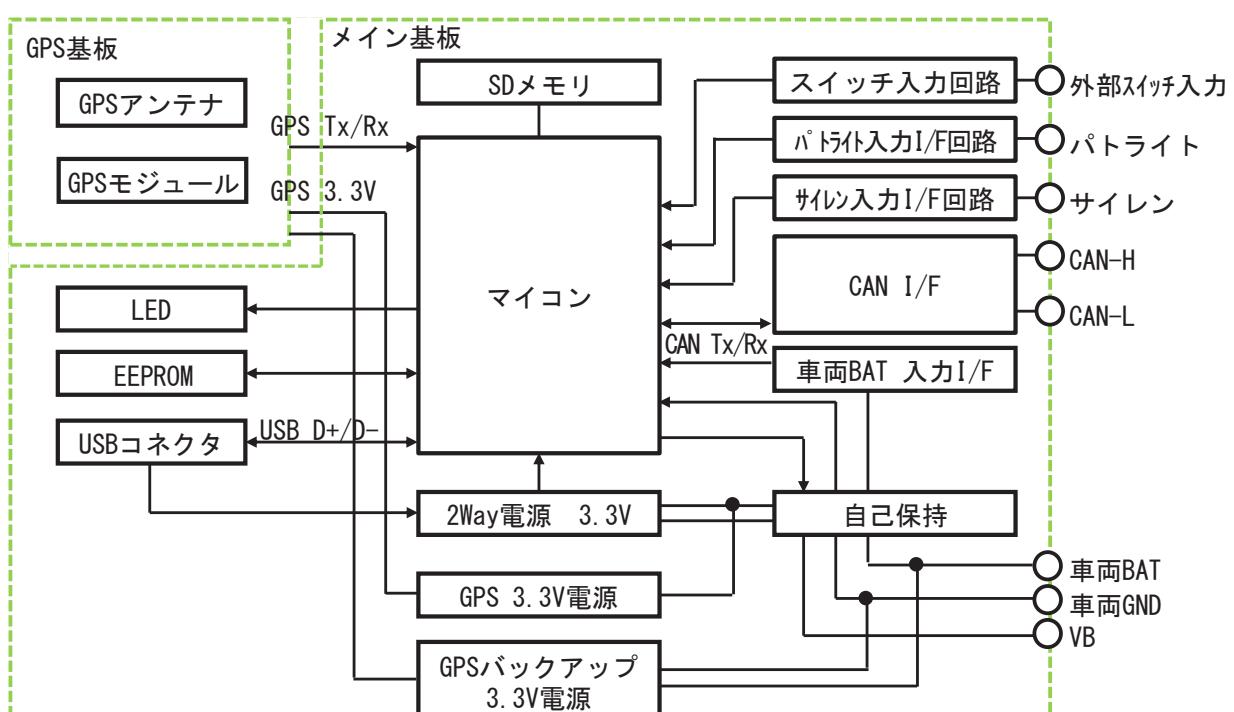


図3 車載記録ユニットブロック図



図 5 車両データと走行軌跡の表示

イベントビューワでは転倒や冷温時過回転などの故障につながる事象を日時情報と同期させ、カレンダ上に表示させる。例えば、以下の例では、8月22日に冷温時過回転が発生していることがわかる(図6)。

カレンダ上に表示されたアイコンを選択することで事象の履歴を閲覧することができる。確認できる内容はイベントアイコンと発生日時であり、回数はデータの数で表示される。



YAMAHA DRIVING MONITOR SYSTEM / EVENT VIEWER				
EVENTS		2012年8月22日		
Model	YAMAHA FJR1300A	Date Time	Event	Note
Unit	O:\Users\VAH-030\Downloads\YDM\YDM_20120822_184805.mif	2012/08/22 09:44:28	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<24.4°C] [Maximum engine speed]>8100[rev/min]
Created	2012/08/22 10:00:00	2012/08/22 09:44:30	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<24.4°C] [Maximum engine speed]>7125[rev/min]
Last Update	2012/08/22 09:37:30	2012/08/22 09:44:33	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<24.4°C] [Maximum engine speed]>7605[rev/min]
		2012/08/22 09:44:37	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<24.4°C] [Maximum engine speed]>8100[rev/min]
		2012/08/22 09:44:40	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<24.4°C] [Maximum engine speed]>7125[rev/min]
		2012/08/22 09:44:41	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<24.4°C] [Maximum engine speed]>7475[rev/min]
		2012/08/22 09:44:43	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<24.4°C] [Maximum engine speed]>7175[rev/min]
		2012/08/22 09:44:52	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<24.4°C] [Maximum engine speed]>6545[rev/min]
		2012/08/22 09:44:53	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<24.4°C] [Maximum engine speed]>7645[rev/min]
		2012/08/22 13:44:30	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<78.7°C] [Maximum engine speed]>7645[rev/min]
		2012/08/22 13:45:10	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<78.7°C] [Maximum engine speed]>8335[rev/min]
		2012/08/22 13:46:27	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<78.7°C] [Maximum engine speed]>7145[rev/min]
		2012/08/22 13:46:30	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<78.7°C] [Maximum engine speed]>7215[rev/min]
		2012/08/22 13:47:35	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<78.7°C] [Maximum engine speed]>6115[rev/min]
		2012/08/22 13:47:45	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<78.7°C] [Maximum engine speed]>7805[rev/min]
		2012/08/22 13:48:12	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<78.7°C] [Maximum engine speed]>7215[rev/min]
		2012/08/22 13:48:35	Engine over-speed when the engine is cold	Temperature<78.7°C] [Maximum engine speed]>6105[rev/min]

図6 イベント内容のカレンダ表示

4 開発のポイント

4-1. 日時対応

車載記録ユニットには、記録する全ての項目に対して時系列でデータが記録される。

車載記録ユニット内部での日時管理は、GPSとRTC (real time clock: 基板上に実装される計時専用チップ)を組み合わせたハイブリッド構造となっている。車載記録ユニットの起動後、GPS測位が正常な状態でGPSから初めて得た日時情報をRTCを初期化し、以降はRTC単独で日時をカウントする。データに付与する日時はRTCに由来する日時としている。

これによりGPSが非測位の際にも日時は正しく管理される。ただし、メインスイッチ投入後、GPS測位が行なわれるまでの間はRTCに日時が設定されていないため、RTCは車載記録ユニットの起動後の経過時間を表す。この際、記録データにも日時が付与されず車載記録ユニットの起動後に経過時間が代替情報として付与されるが、ビューアソフトウェアでGPS日時に基づく日時を復元して表示できるようにした。

4-2. 多言語対応

ビューウェアの実行環境としてWindowsパソコンを用いることから、Windowsが対応するあらゆる言語圏・文化圏に向けたサービスが可能な構造となる。現在は英語とフランス語に対応している。

4-3. ユーザエクスペリエンス

ユーザエクスペリエンス(以下、UX)とは、単に使いやすさだけでなく、ユーザが真にやりたいことを「楽しく」「心地よく」行える点を提供価値として重視する概念である。

当システム開発においてもUXに関する検討を重ねてきた。データやファイルの物理的な区切りを感じる事なくシームレスな時系列データとして扱うことで、自然にシステムと対話し、容易でありながら心地よく作業ができる事を目指した。実際の記録データは車両の状態にあわせて細かく分断されているわけであるが、表示上はデータの区切りを意識せず自然な操作感を実現した。例えば記録データは一覧表示することはせず、車両走行した日と、その時の走行距離がすぐわかる様にカレンダ内に表示させる事とした。閲覧時は、走行日を選択する操作とし、ファイルの存在を意識させない様にした。

5 おわりに

今回開発されたYAMAHA DRIVING MONITOR SYSTEMは、2013年末より生産が開始され、その後欧州にて運用される予定である。また本システムは、今年10月に開催されたITS世界会議2013にデータ活用製品として出展され、多くの来場者から高い評価を得た。

今後は映像や音声などの情報を取得する機能を付加するとともに多種多様な分野と協調することで二輪車ユーザの利便性向上に努めたい。

■著者



山谷 正貴
Masaki Yamaya
ヤマハモーター
エンジニアリング株式会社
電装制御部



大城 郡二
Gunji Oshiro
ヤマハモーター
エンジニアリング株式会社
電装制御部



望月 靖之
Yasuyuki Mochizuki
ヤマハモーター
エンジニアリング株式会社
電装制御部

松井 太憲 永田 俊彦 小林 秀之 堀内 慎高 竹山 弘晃 佐藤 和生 高野 行康
片渕 喬大 久木野 史宣 辻村 拓 渡邊 俊幸 大谷 晋哉 鈴木 康祐



図1 今回開発したトルクセンサを搭載したPAS Ami（2013年モデル）

Abstract

In 1993, Yamaha Motor developed the “PAS” electrically power assisted bicycle, the world's first product that provided a power assist for a human pedaling from an electric motor. Since then, development work has focused for the drive units more compact and lightweight, improving the performance of the battery and achieving higher levels of maturity in the feeling of the ride. In this report, we discuss the development of the torque sensor component of the “triple sensor system” adopted for the first time in Japan that provides a more natural feeling to the power assisted ride.

1 はじめに

人のこぐ力を「電動モータ」がアシストする自転車として、1993年に世界で初めて電動アシスト自転車PASを開発・発売して以来、ユニットの小型軽量化やバッテリ性能の向上に加え、乗り心地の熟成を重ねてきた。今回、国内初の自然な乗り心地を実現した「トリプルセンサシステム」に搭載されている「トルクセンサ」について紹介する。

2 開発のねらい

初期の電動アシスト自転車に搭載されていた「トルクセンサ」は、クランクと同軸上に設置した遊星歯車機構を用いて踏力が検出されていた。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ウイークポイントが指摘されていた。

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出することで機械的なロスがない「トルクセンサ」が採用された。さらに2013年モデルでは、乗り心地を向上させるために、トルクセンサにスピードセンサとクランク回転センサを加えたトリプルセンサシステムが搭載された（図2）。

本稿では、トリプルセンサシステムを構成するトルクセンサの改良について紹介する。本トルクセンサは、以下3点に狙いを絞って開発された。

- ① 軽量化
- ② 耐ノイズ性の向上
- ③ 長時間の安定した動作



図2 PAS トリプルセンサシステム

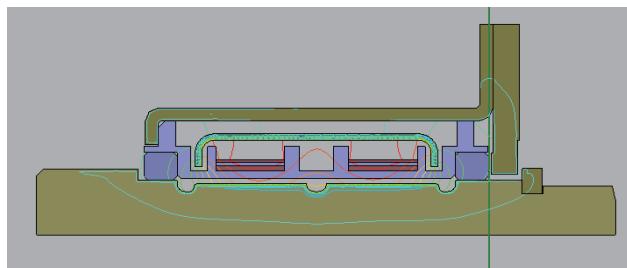


図4 電磁気解析例

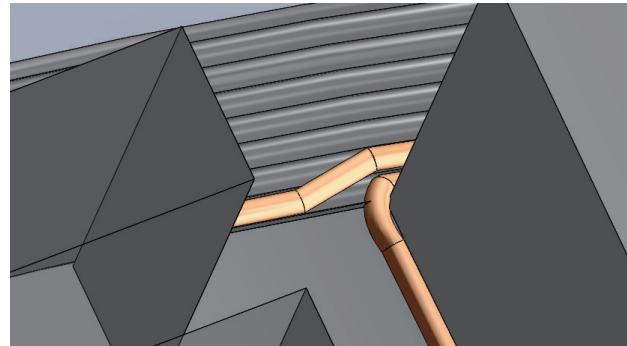


図5 コイル巻き線仕様開発例
整列巻き線と巻き溝干渉検討

3 製品の特徴

基本的な「トルクセンサ」の構成は、2003年からの方式と同じとなり、図3のように、磁歪効果を持つ「シャフト」と「検出用コイル」、検出された電気信号を增幅かつノイズを除去して、デジタル信号化する「制御基板」で構成される。



図3 新トルクセンサ外観

3-2. 耐ノイズ性の向上

「制御基板」の電子回路部を変更し、「検出用コイル」に以前より多くの電力を印加することで、センサ全体の耐ノイズ性を向上させた(図6)。

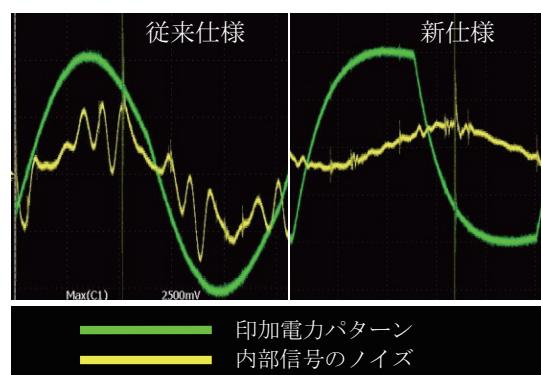


図6 印加電力仕様差とノイズ性向上例

3-1. 軽量化

軽量化を実現するために、シャフト肉厚と全長とのバランスを検討した上で磁界解析を用いて最適化し、さらにその理想状態に近似したコイル内の巻き線仕様を検討することで構成部品を簡素化し、重量を25%低減させた(図4、5)。

ただし、電力強化、電子部品の高速化による電圧降下や新たなノイズ発生等が懸念されるため、電源インピーダンスの解析を用いて電子部品配置、接続方法を最適化した(図7)。

この結果、「検出用コイル」を構成する部品削減につながり、さらなる重量低減が図られた。

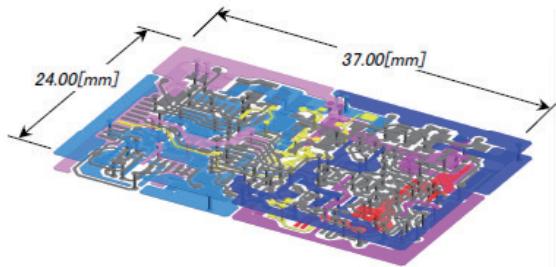


図7 制御基板解析イメージ

3-3. 長時間の安定した動作

電力を強化するために、従来と比べ50倍以上の速度で印加でき、かつ損失の少ない電子部品を選択することで、印加指令に対する遅延を無くした。

そのため、新たな開発手法を取り入れつつ、各構成部品ごとに見えない磁歪効果によるペダル踏力検出機能を向上させ、激坂と呼ばれる負荷の高い登坂や信号待ちなどの様々な走行環境下でも長時間、安定して動作させる設計手法や評価条件、評価装置等の開発環境も並行して開発を行った。これらのプロセスは、2011年に市場投入した「電動モータ」の開発を通じて得られた技術を適用している。

4 開発への取り組み

形状が大きく変更されることから、従来センサを並行し生産しながら段階的に切り替えていくことが困難なため全社横断のコンカレントな開発体制を要素開発段階から推し進め、

森町・大須賀町と2つの工場間で連携を取りながら取り組んだ。

また量産段階での更なる生産性向上のため、サイクルタイムの50%短縮と平滑化を狙った工法を採用した。

5 品質への取り組み

「トルクセンサ」の品質を評価するためにQFD(Quality Function Deployment)を活用した。トルクセンサは機能構成部品であるため、部品単品で品質を担保する部分と組み合わせて担保する部分を明確にした上で、図8に示すように各階層ごとに評価した。

また、FMEA(Failure Mode and Effect Analysis:故障モード影響解析)を、仕様・工程設計段階から実施し、2003年から新たにわかった課題に対しては、新規に評価方法や目標値を設定した。

さらに、予想される量産時の不具合に対し、今回の開発で知り得た結果を整理して作成した特性要因図を用い、部品レベルの重要項目を抽出して、図9のようにX-R管理で可視化することで不良低減を図った。

これらの取り組みの結果、「トルクセンサ」の品質向上だけでなく、現在、オートバイ電装品を含めた新たな製品開発にて、横展開を計画または着手しつつあり、他製品領域において、有効な活用ができると考えている。

NO.	構成部品名(部位)	変更点と変更内容(変更目的)	YEPとしての新規性	機能	変更に関する心配点(故障モード)		心配点はどんな場合に生じるか		お客様への影響	重要度	心配点を除く為にどんな対応をしたか(設計遵守事項、設計構造、チェックリスト等)
					変更がもたらす機能の障害、高品質の欠如	他に心配点は無いか(DRBFM)	要因・原因	他に考えるべき要因はないか(DRBFM)			
1	センサユニット	ユニバーサル版(材の打ち抜き)からPOM射出成形品に変更	実装変更	ポピンとシャフトの静止角位置関係を保つ(クリアランス確保)	破損によりポピンを保持できなくなる		クリープ破損	T/R出力の荷重が変化しアシスト制御電圧を越え、自走する	有りでトルクセンサの力覚感度を21μm以上確保	高	パリにより力覚感度が減少するため、パリが出やすいE.P.部を、力覚感度に關係しない位置に配置した。
							衝撃破損	「	衝撃荷重250gに対し、引張強度に対する安全率14倍確保	中	

図8 QFD実施例

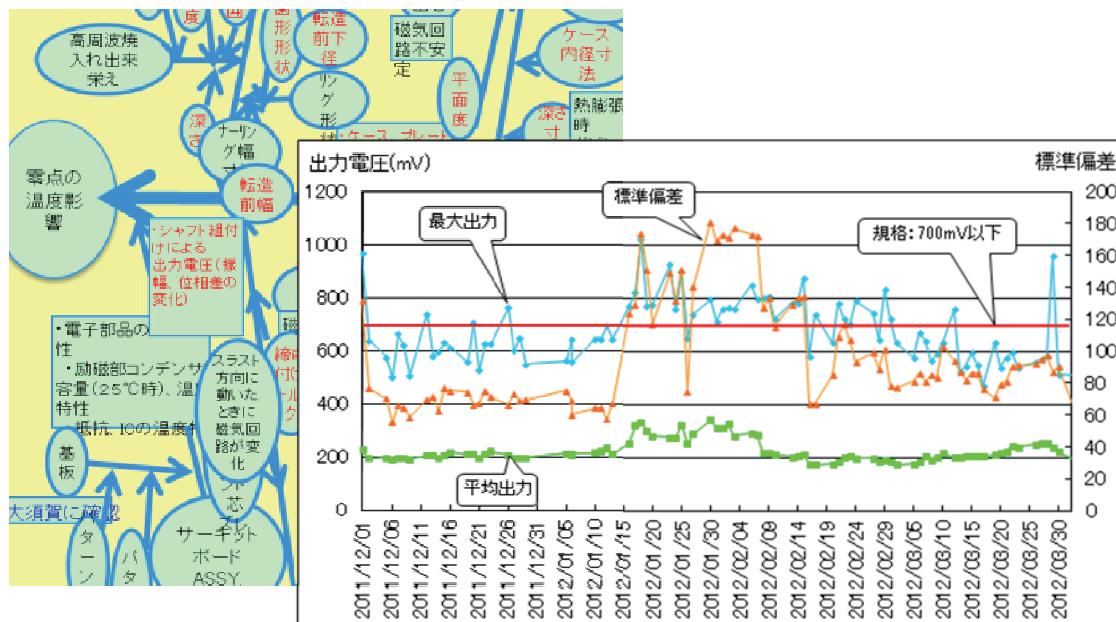


図9 特性要因図とX-R管理例

6 おわりに

今回の新「トルクセンサ」は、従来品に比べ、より自然な乗り心地の実現に寄与できたと確信している。

また、多数の若手技術者や作業者が、取引先・関連部署とのコンカレントな開発プロセスを体験できたことは、PAS製品開発者育成の面からも非常に効果があった。今後も国内外で、競争がいっそう厳しくなると予測される電動アシスト自転車市場の中で、その経験を活かし、顧客満足度の高い製品開発にチャレンジしていきたい。

■著者



松井 太憲
Taiken Matsui
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



永田 俊彦
Toshihiko Nagata
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



小林 秀之
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



堀内 慎高
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



竹山 弘晃
Hiroaki Takeyama
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



佐藤 和生
Kazuo Satoh
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



高野 行康
Yukiyasu Takano
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



片渕 喬大
Takahiro Katabuchi
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



久木野 史宣
Hitonori Kukino
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



辻村 拓
Taku Tsujimura
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



渡邊 俊幸
Toshiyuki Watanabe
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部

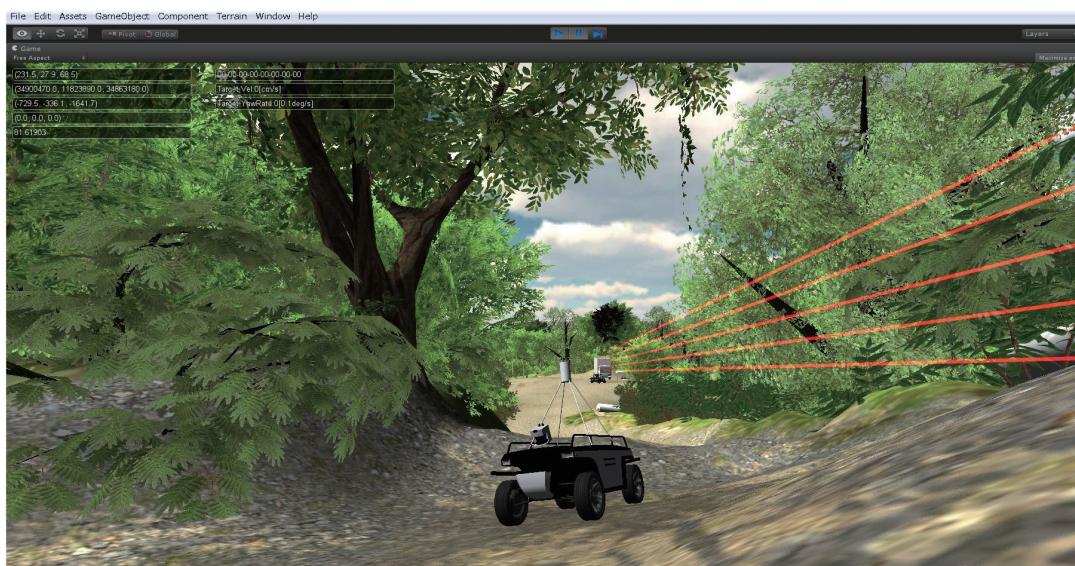


大谷 晋哉
Shinya Ootani
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
調達部



鈴木 康祐
Kousuke Suzuki
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
品質保証部

平松 裕二 藤井 北斗 神谷 剛志 望月 靖之 大沼 和樹



無人車開発用の環境シミュレータ

Abstract

Yamaha Motor Co., Ltd. has been developing unmanned vehicles (UVs) designed to perform outdoor surveying and observation in the place of humans (Yamaha Motor Technical Review, 2008-12 No. 44, pg. 49). These UVs travel on suitable routes by using GPS positioning data and perimeter data from a laser sensor (Fig. 1). Among these vehicle functions, it is effective to use computer simulation to develop the laser sensor's recognition capability (accuracy). Therefore, we utilized programming tools for game development and succeeded in the development of an environment simulator complete with previously unavailable functions like a virtual 3D environment of an off-road course comparable to an actual test course, and a "vehicle eyes" function (recreating the laser sensor's function for obtaining large volumes of data about the surrounding terrain and distances on the virtual course).

1 はじめに

ヤマハ発動機(以下、当社)ではこれまで、屋外で人の代わりに測量や監視などを行う無人ビークルを開発してきた^[1]。無人ビークルはGPSによる位置情報とレーザセンサによる周辺情報にもとづいて適切なルートを選択して走行する(図1)。その中でもレーザセンサによる認識機能を開発するためには机上検証可能なシミュレータの活用が必要になる。

そこで今回は、ゲーム開発に用いられるツールを活用して、「実際のテストコースに相当するバーチャルな3次元オフロードコース環境」や、「車両の目となる機能(レーザを飛ばし周囲の地形距離情報を大量に取得する機能をバーチャルコース内で再現)」といった、従来にない機能を搭載した環境シミュレータを開発した。



図1 オフロード環境と無人車

2 開発のねらい

一般的なドライビングシミュレータの活用も考えられるが、それらの多くは今回の無人車両の開発へそのまま適用することはできない。なぜなら、一般的なドライビングシミュレータは舗装された道路環境を想定しているからである。さらに、図2のような走路環境を判断するための大量の距離情報を取得する機能は搭載されていない。

そこで、以下2つの機能の作りこみを目指した。

- ①複雑なオフロード環境の再現
- ②実機に搭載されているレーザセンサ機能

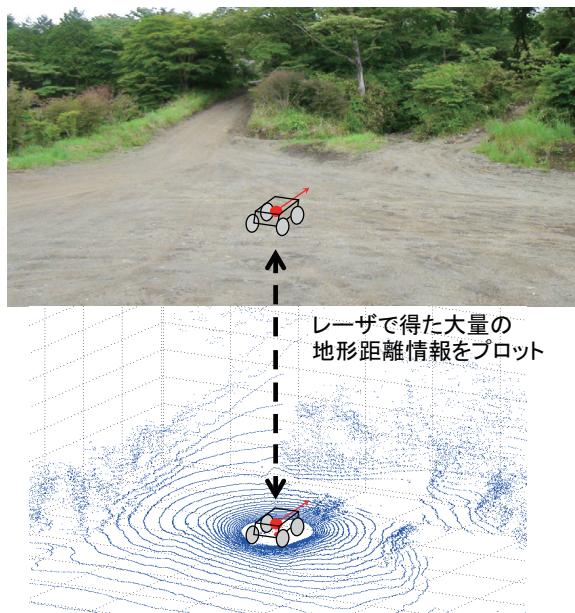


図2 無人車がレーザセンサで見ている周囲の走行環境

3 環境シミュレータの特徴

3-1. ゲーム開発ツールの活用

今回目指した環境シミュレータは、ロボットカーが走るオフロードレースゲームのような舞台である。我々はこの舞台を作るため、ゲームエンジンと呼ばれているゲーム開発に用いられるツールを活用した。着目した理由は主に2点ある。

①ゲームのリアル志向と計算機能力の向上

特に欧米系のゲームは3D表現でのリアル志向が高く、コンピュータの進化とゲーム業界の飽くなき表現力追及により、描画処理や物理演算(リンゴが木から落ちる、といった物理法則をゲーム内で再現する計算)等の能力は、実環境そのものを再現するようなレベルになってきている。つまりリアル志向のゲームを作るということは、シミュレータ開発そのものという捉え方ができる。

②開発自由度の高さ

プログラミング言語を用いれば、ゲームエンジンの機能をカスタマイズすることができる。今回我々は、後述するレーザセンサや通信の機能を独自に開発し、無人車開発に応用した。

3-2. 従来の無人ビークル開発用シミュレータとの比較

表1に、従来の開発用シミュレータの機能比較を示す。

事例1は無人小型船の運動や障害物検知を、事例2は無人車の3次元環境での走行をそれぞれ再現している。

表1に示すとおり、今回の環境シミュレータでは、表現力や車両運動、障害物検出などの機能が著しく向上している。

表1 従来の開発用シミュレータとの機能比較

	事例1(無人船用)	事例2(無人車用)	今回の環境シミュレータ事例
実行イメージ			
用途	船の運動、障害物検出	3次元地形上の運動	3次元地形上の運動、障害物検出など
表現力	△ (一部対応) 2次元平面のみ	△ (一部対応) 3次元の簡易地形のみ	◎ 3次元の任意地形、物体配置など
車両運動	○ (対応) 力学計算あり	△ (一部対応) 幾何学計算のみ	◎ 力学計算、3次元空間に対応
障害物検出	△ (一部対応) ログデータのみ	✗ (未対応)	◎ レーザセンサ相当の機能搭載

4 環境シミュレータの機能

開発した環境シミュレータの主な特徴を以下に紹介する。

4-1. コース環境編集

図3のようなコース環境は、実際のオフロードコースに近いものを再現するため、簡易的に測量したデータを基にまず地形を作成し、その後コース上の草木や岩場に相当するデータを配置した。

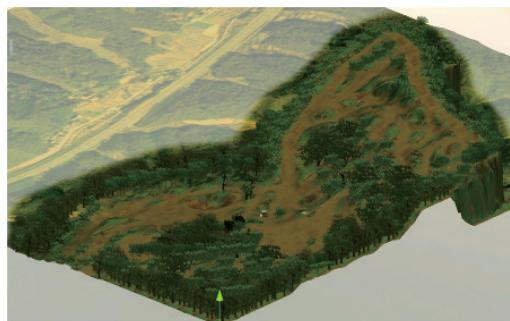


図3 コース全体像

コース環境の作成は、3次元の編集画面でマウスを操作して、土木工事感覚で土を盛ったり減らしたり、また草木や岩場などは造園感覚で適当な場所に配置したり大きさを変えたりしながら作業を進められる。オフロードコースなので、走路となる部分で路面摩擦に相当する数値を調整して、すべりやすい路面などを再現することもできる。

図4に実際のコースのコブ地形と、環境シミュレータの同様な地形を並べる。



図4 地形表現の例（上：実環境、下：シミュレータ）

4-2. 車両運動

環境シミュレータ内部には高度な物理演算機能が備わっており、3次元地形環境で、4輪車両モデルを運動力学に基づいて動かすことができる。本シミュレータでは、勢いをつけて路面凹凸部に突進させるとジャンプしたり、重い車両は軽い車両に比べて急に止まらないなどの状況を再現できる。

高額なセンサを積んだ実機では困難な、きわめて過酷な状況下における走行も、環境シミュレータ上なら可能である（図5）。

今回我々は実機の走行性能データを用いて車両モデルの改良とチューニングを行い、環境シミュレータ上の加減速や旋回性能を実際の車両に近づけた。

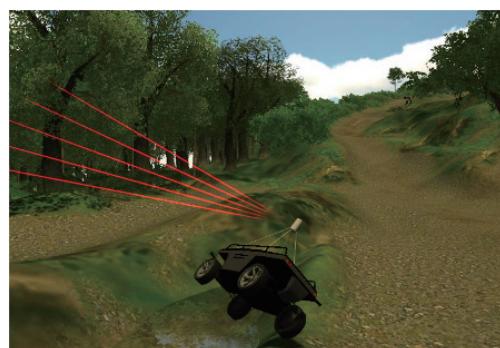


図5 過酷な状況下における走行例

4-3. レーザセンサ

環境シミュレータ内でも、車両の目に相当する機能を実現する。実際のレーザセンサと同じように大量のビームを飛ばして、車両周囲の数万ポイントという地形距離情報を取得する。レーザの出し方は、実機に搭載するセンサと同じである。

このような用途は無人車開発特有であり、プログラミング言語によりバーチャルなテストコース内で大量に距離情報を取得できるようにした。

結果的に市販のドライビングシミュレータ等では実現されていないような機能を実現することができた。本機能が動作する様子を図6に示す。



図6 レーザセンサ機能イメージ
(赤い表示がレーザの当たっている所)

4-4. その他機能

環境シミュレータ上で取得した車両の位置姿勢やレーザセンサによるポイントデータを、通信ケーブル上で送受信できる機能も開発した。

通信先は実機に搭載する車両のアタマ(コンピュータ)である。これにより、車両の賢さ(コンピュータ上で動かす無人車のソフトウェア)を、まず環境シミュレータのテストコース内で確認し、問題がなければそのまま実車両と実環境でのテストができるようになる。

5 おわりに

無人車の実際のテストは1日掛かりで行う。走行回数は限られ、テスト中の安全確保や監視なども大変な労力を必要とするが(図7)、環境シミュレータにより、オフロード環境でレーザセンサを扱うソフトウェアの動作確認を机上で行えるようになった。測量や監視などの屋外作業では、人の手間を軽減するため、無人ビークルが周囲の状況を判断し、より賢く動くことが望まれている。シミュレータ環境を有効活用し、車両の自律度向上に対する期待に応えていく所存である。



図7 実環境でのテスト走行風景

■著者



平松 裕二

Yuji Hiramatsu

技術本部

研究開発統括部

イノベーション研究部



藤井 北斗

Hokuto Fujii

技術本部

研究開発統括部

イノベーション研究部



神谷 剛志

Tsuyoshi Kamiya

技術本部

研究開発統括部

イノベーション研究部



望月 靖之

Yasuyuki Mochizuki

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

電装制御部



大沼 和樹

Kazuki Oonuma

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

電装制御部

■参考文献

- [1]石山健二、神谷剛志:ロボットカーによる建設現場における無人測量、および経路追従制御のための位置・姿勢推定技術;ヤマハ発動機技報 2008-12 No.44

意眞 哲也

Abstract

The use of electronic devices in engine control systems, safety systems and telecommunications is increasing. Compared to home electronics, electronic devices for motor vehicles are often exposed to a more severe environment, such as higher temperatures, thumping vibration and higher humidity. Furthermore, considering the longer product life expected for a motor vehicle, these electronic devices are expected to have a high level of reliability that lasts over a longer period. The method largely used for attaching electronic components like resistors and condensers to the circuit boards of electronic devices is soldering.

Circuit boards and electronic components for motor vehicles are subjected continuously to large temperature fluctuations due to changes in environmental temperature, radiant heat around the engine, the heat generated by the electronic components themselves, etc. Generally, the circuit boards and the electronic components mounted on them have different coefficients of thermal expansion, and the difference in the amount of expansion and contraction they undergo causes thermal stress in the solder connecting them (Fig. 1). This results in "solder cracks" forming in the joint and eventually breakage that leads to defective electrical conductivity (Fig. 2). The thermal fatigue characteristics and reliability of solder can be evaluated by means of temperature cycle test that subjects the solder to repetitive cycles of high and low temperature conditions, but even accelerated test cycles can often require several months. On the other hand, there is a need to shorten development time and reduce the number of rework tasks involved. Reducing cost by optimizing product quality is also an important issue, and all of these increase the need for technology that can estimate the thermal fatigue life of solder joints.

In response to these needs, we have been developing reliability technology for solder joints in electronic devices for motor vehicles, focusing on the temperature fluctuations in such devices. In this report, we introduce technology that uses simulations employing the finite element method for estimating the thermal fatigue life of solder joints in thermal cycle conditions.

1 はじめに

エンジン制御を始め、安全・通信などの分野で車載用電子機器は今後さらに増加傾向にある。車載用電子機器は、温度・振動・湿度などの面で、家電製品と比較して過酷な環境で使用されることが多く、また耐用年数が長いことから高い信頼性が要求される。電子機器を構成する抵抗およびコンデンサなどの電子部品と配線基板を接合する方法として、はんだ付けが多く用いられる。

車載用の配線基板および電子部品には、環境温度の変化並びにエンジン周辺の輻射熱および電子部品の自己発熱などによって、大きな温度変化が繰り返される。一般的に配線基板と電子部品の熱膨張係数は異なることから、膨張収縮量の差によってはんだ接合部に熱応力が発生する(図1)。その結果、はんだ接合部に疲労亀裂(はんだクラック)が発生し、破断することで導通不良を引き起こす(図2)。はんだの熱疲労特性は、高温・低温を繰り返し印加する温度サイクル試験によって

その信頼性が検証されるが、加速試験でも数ヶ月を要する場合が多い。一方、開発期間の短縮および手戻り工数の削減が求められ、最適品質によるコストダウンも重要な課題となっていることから、はんだ接合部に関する寿命予測技術の必要性が高まっている。

このような背景から、車載用電子機器における温度変化に着目して、はんだ接合部の信頼性技術について開発を進めている。今回は、有限要素法シミュレーションを用いた温度サイクル環境下におけるはんだ接合部の寿命予測技術について紹介する。

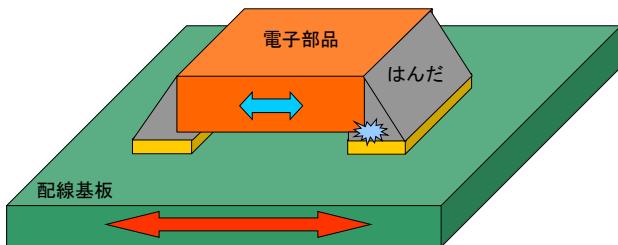


図1 熱膨張係数差によるせん断応力

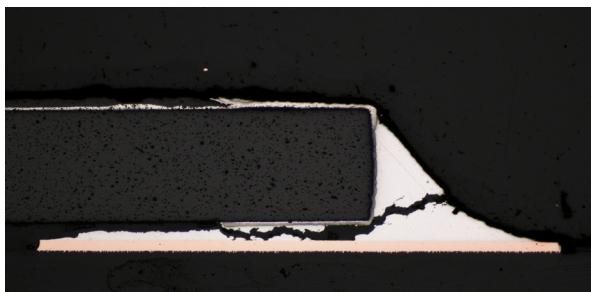


図2 疲労亀裂による導通不良

2 はんだの鉛フリー化

2006年以降、環境保護を目的として環境負荷物質である鉛を規制する動きが欧州を中心に拡大している。配線基板と電子部品を接合するはんだは、これまで中心となってきたSn-Pb系鉛入りはんだから、規制に伴いSn-Ag-Cu系鉛フリーはんだへの切り替えが進んでいる。鉛フリーはんだは、鉛入りはんだと比較して硬く伸びにくい特性を持っているため、鉛入りはんだで接合した場合と比較して疲労特性が低下し寿命が短くなる場合がある。鉛フリー化の面でも寿命の見極めが重要となり、はんだ寿命予測技術の必要性が増している。

3 はんだの寿命予測技術について

はんだ接合部に大きな温度差の温度サイクルが印加されると、はんだには非線形ひずみによる低サイクル疲労が発生し、最終的に破断に至る場合がある。はんだの疲労寿命サイクル数は、式(1)に示すCoffin-Manson則に従うことが知られている^[1]。

$$N = C \cdot (\Delta \varepsilon)^{-n} \quad (1)$$

ここで、Nは疲労寿命サイクル数、Cおよびnは実験から求まる材料固有値であり、 $\Delta \varepsilon$ は1温度サイクル中に発生するはんだ接合部の非線形ひずみ振幅を示す。事前に(1)式のCおよびnが導出できれば、非線形ひずみ振幅 $\Delta \varepsilon$ を有限要素法シ

ミュレーションにて算出し、はんだ接合部の疲労寿命サイクル数Nを予測することが可能になる(図3、図4)。

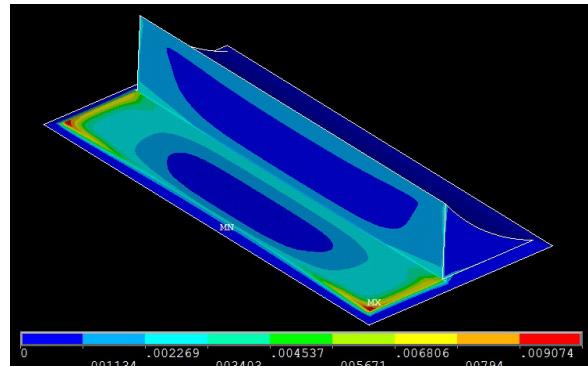


図3 有限要素法シミュレーション

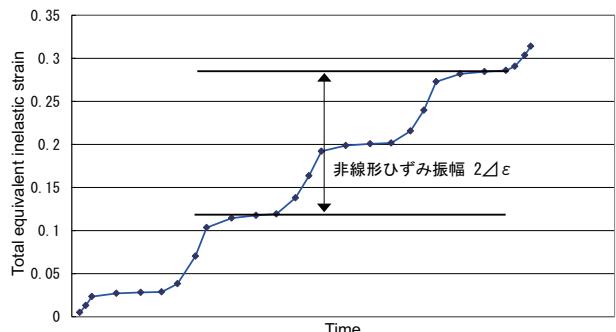


図4 温度サイクル時の累積相当非線形ひずみ

4 鉛フリーはんだ寿命予測式の導出

4-1. 寿命予測式の導出方法

(1)式の材料固有値Cおよびnの導出には、疲労寿命サイクル数と非線形ひずみ振幅の関係を求める必要がある。試験サンプルは、はんだ単品を用いる方法および配線基板と電子部品をはんだ付けした実装基板を用いる方法が一般的であり、疲労寿命サイクル数の取得には回転曲げ試験に代表される機械的疲労試験および温度サイクル試験が中心となっている^{[1][2]}。

今回は実使用状態に近いことを重視して、実装基板を試験サンプルとして用い、温度サイクル試験によって疲労寿命サイクル数を取得し、有限要素法シミュレーションを用いて、非線形ひずみ振幅 $\Delta \varepsilon$ を算出した。評価対象は、はんだの疲労亀裂が発生しやすい電子部品の一つであるチップ抵抗とし、構造を単純化した配線基板を用いた(図5)。本評価では、材料固有値の算出に重要な疲労寿命サイクル数の誤差低減および非線形ひずみ振幅の精度を中心に検討を進めた。



図5 チップ抵抗実装基板



図6 はんだ接合部に発生したボイド

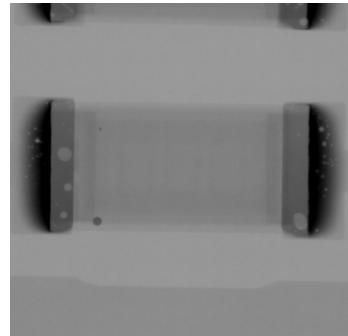


図7 X線透視によるボイド

4-2. 疲労寿命サイクル数の誤差低減

疲労寿命サイクル数の誤差要素の一つとしてボイドが挙げられる^[3]。ボイドとは、はんだ接合部に空洞ができる現象で、接合面積低下による強度劣化の原因となる(図6)。鉛フリーはんだは、鉛入りはんだと比較して表面張力が高く、はんだ付け時に発生するガスが抜け難いことから、ボイドが増加傾向にある。ボイドによる疲労寿命サイクル数の誤差を低減するため、低ボイド試験サンプルの検討を行った。

ボイドの低減には大きく2種類の方法が考えられる。1点目ははんだ付け時に発生するガスを低減すること、2点目は発生したガスを排出することである。ガスの主要因ははんだ中に含まれるフランクスや酸化物除去反応時に発生する水の気化と言われている。ガスの低減にははんだ材の変更が有効となるが、使用実績のあるはんだ材料の変更は困難である。そこでガスを排出する方法として近年実用化が進められている真空はんだ付け装置に注目した。真空はんだ付け装置とは、はんだ付け工程中に真空ゾーンを設けることで、溶融はんだ中のガスを気圧差によって外部に排出しやすくなる工法である。通常の大気はんだ付けおよび真空はんだ付けの両装置では、はんだ内部に発生するボイド量を比較し、真空はんだ付けの効果を検証した。

評価サンプルはチップ抵抗実装基板のX線透視画像から電極下部のボイド量を測定し、電極面積に対するボイド面積をボイド率と定義した(図7)。図8に示すとおり、真空はんだ付け装置はボイド率が低く、バラツキも小さいことから、ボイドに起因する疲労寿命サイクル数の誤差低減に有効であることが分かった。

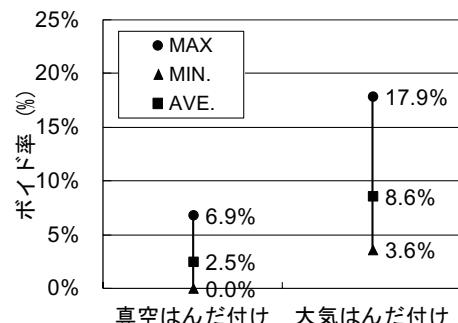


図8 はんだ付け方法によるボイド率の違い

4-3. 疲労寿命サイクル数の取得

真空はんだ付け装置を用いて試験サンプルを作製し、疲労寿命サイクル数を取得した。試験条件は $-40 \sim 105^{\circ}\text{C}$ 、 $-10 \sim 105^{\circ}\text{C}$ 、 $-30 \sim 85^{\circ}\text{C}$ の3条件とし、高温・低温時の保持は15分とした。実装用はんだは組成比Sn-3.0Ag-0.5Cu鉛フリーはんだを用いた。疲労寿命サイクル数は、試験槽からサンプルを定期的に抜き取り、はんだ接合部の外観観察により判定した。ワイブル解析を行い、尺度パラメータ(η)を各温度条件における疲労寿命サイクル数とした(表1)。

表1 温度サイクル試験結果

温度サイクル試験条件	$-40^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 105^{\circ}\text{C}$	$-10^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 105^{\circ}\text{C}$	$-30^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 85^{\circ}\text{C}$
温度変化幅	145°C	115°C	115°C
疲労寿命	36サイクル	59サイクル	73サイクル

4-4. シミュレーションによる非線形ひずみ振幅 $\Delta \varepsilon$ 算出

はんだ接合部の非線形ひずみ振幅 $\Delta \varepsilon$ は実測が困難なため、有限要素法シミュレーションにより算出した。シミュレーション精度に影響を及ぼす主要なパラメータの一つとして材料物性値が上げられる。前述のとおり、はんだクラックは構成部品の熱膨張係数差によって発生するはんだへの応力が要因となることから、正確な熱膨張係数を把握することが重要である。熱膨張係数の測定は一般的にTMA法を用いることが多い。しかしサンプルサイズに制限があり実使用状態での測定が難しいこと、また反りの影響を考慮することが難しいことから、精度の高い測定が困難な場合がある。

これらの課題を考慮した測定手法として、ひずみゲージおよび画像相関法(図9)による熱膨張係数の取得を進めた^[4]。またこれらの方法は試験サンプル表面ひずみの測定が可能であることから、シミュレーションの妥当性検証へ活用を検討した。前述のとおり非線形ひずみ振幅 $\Delta \varepsilon$ は実測が困難であり、シミュレーションの妥当性を直接検証することが難しい。そこで温度サイクル試験中の電子部品表面ひずみを対象に実測し、シミュレーションとの比較を行い妥当性を検証した。実測にはひずみゲージを用い、シミュレーションは有限要素法解析ソフトANSYSを用いた。

試験条件は−40～105°C、−30～85°Cの2条件とした。高温、低温保持中のひずみ比較結果を図10に示す。全ての温度帯で実測との差異は10%弱であることから、解析の妥当性が確認できる。この結果および前述4-3疲労寿命サイクル数より、寿命予測式Coffin-Manson則の材料固有値Cおよびnを式(2)のとおり導出した(図11)。

$$N = 0.44 \cdot (\Delta \varepsilon)^{-1.54} \quad (2)$$

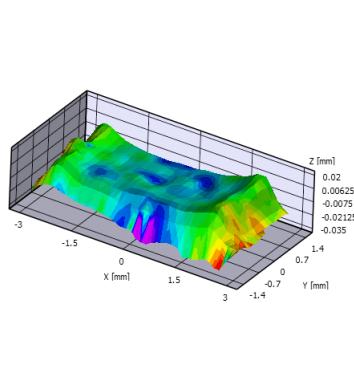


図9 画像相関法によるチップ抵抗のひずみ

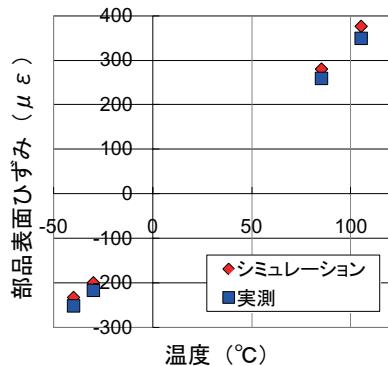


図10 チップ抵抗の表面ひずみ

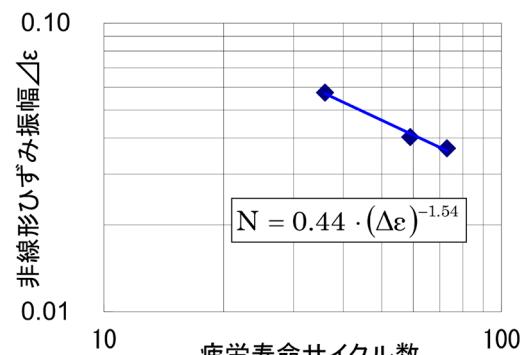


図11 材料固有値の導出

5 寿命予測式の妥当性検証

導出した寿命予測式の妥当性を検証した。解析対象は材質がFR4の6.3mm*3.1mmサイズのチップ抵抗実装基板とし、シミュレーションにてはんだ接合部の非線形ひずみ振幅 $\Delta \varepsilon$ を算出した。

温度サイクル試験−40～105°C、−30～85°Cの2条件について予測寿命と実寿命の比較を行った結果、図12のとおり最大誤差19%となり、良く一致していることが分かる。

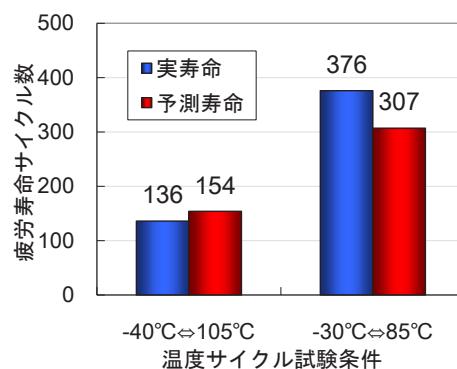


図12 はんだ接合部の実寿命と予測寿命

6 鉛フリーはんだの信頼性試験条件設定

前述のとおり、はんだの熱疲労特性は温度サイクル試験によって検証されるが、市場の要求品質を考慮したサイクル数の設定が重要である。そこで、今回導出した寿命予測式およびシミュレーション解析を用いた試験サイクル数の設定方法について紹介する。

一般的に長期の信頼性を検証する温度サイクル試験は、試験期間の短縮を目的とした加速試験を用いる場合が多く、実際の使用温度に対して厳しい温度にて試験を行う。N_fを保証すべきサイクル数、N_tを試験サイクル数、AFを加速係数とすると、試験サイクル数N_tは式(3)で表すことができる。また実使用温度に対する試験温度の加速係数AFは、本評価にて導出した寿命予測式(2)を用いて式(4)で表すことができる。ここで、△ε_fは実使用温度における非線形ひずみ振幅、△ε_tは試験温度における非線形ひずみ振幅を示す。

$$N_t = \frac{N_f}{AF} \quad (3)$$

$$AF = \left(\frac{\Delta\epsilon_f}{\Delta\epsilon_t} \right)^{-1.54} \quad (4)$$

上記のとおり、製品ごとに市場および試験温度における非線形ひずみ振幅△ε_f・△ε_tをシミュレーションにより算出して、保証すべきサイクル数N_fを設定すれば、各製品に応じた適正な試験サイクル数N_tを導出することができる。

7 おわりに

Coffin-Manson則および有限要素法シミュレーションを用いてチップ抵抗実装基板に対するはんだ接合部の寿命予測技術を構築することができた。また、これらの技術を用いて、各製品の使われ方に応じた温度サイクル試験条件の設定が可能となった。モーターサイクル用の電子ユニットは、振動・被水の観点から電子基板を樹脂で埋める製品も多い。そのため、温度サイクル時に発生する各電子部品に対する応力が複雑化し、樹脂埋めしていない製品と比較して熱疲労特性が異なることが分かってきている。また、樹脂埋めした電子基板は熱容量が大きいことから、温度サイクル試験の長期化が課題となっている。このような理由から、寿命予測技術および温度サイクル試験の最適化がより重要になる。現在、様々な製品形態に対応できるよう、部品形状や構造を変化させた場合についても検証を進めている。これまではんだ寿命は、実機をベースにした試行錯誤による開発が中心となってきた。引き

続き開発を進めてシミュレーション精度を向上させ、開発の効率化へ繋げていきたい。

■参考文献

- [1] 于強、白鳥正樹:「BGAはんだ接合部の形状を考慮した疲労寿命評価」、エレクトロニクス実装学会誌、Vol.1 No.4、pp.278-283(1998)
- [2] 海老原理徳、李ハオ:「鉛フリーはんだマイクロ接合部の熱疲労強度評価に関する研究」、東京学芸大学紀要自然科学系、Vol.58、pp.229-236(2006)
- [3] JEITA ETR-7024:鉛フリーはんだ接合部の信頼性に対するボイド許容規準の標準化に関する調査報告、(社)電子情報技術産業協会(2007)
- [4] 貫野敏史、宍戸信行、池田徹、宮崎則幸、田中宏之、畠尾卓也:「デジタル画像相関法と有限要素法を用いた多層基板中のはんだ接合部の熱サイクル疲労強度評価」、Mate2009、Vol.15、pp.159-164(2009)

■著者



意眞 哲也

Tetsuya Ima

技術本部

研究開発統括部

システム安全技術研究部

吹田 善一



Spark 115i

Abstract

Thailand's annual motorcycle sales smoothed out at approximately two million units (Yamaha Motor survey, 2011 results). About half of demand is for manual transmission (MT) moped type models and the other half for automatic transmission (AT) scooter models.

Despite the growing percentage of these AT models in recent years, there is still steady demand for mopeds thanks to their practicality and fuel economy, and the affordability of basic mopeds particularly in regional cities and rural areas. Among such moped models, Yamaha's current Spark Nano has been well received in the market for its good performance and high level of utility. However, calls from the market for even better fuel economy, ease of use and other qualities led to the development of the new "Spark 115i" model (hereafter "this model") (Fig. 1) introduced here.

This model is designed and engineered with exacting detail throughout with a fundamental focus on providing higher levels of comfort, familiarity as a vehicle that makes it easier to ride for more people and enjoyable drivability for practical uses like daily shopping or commuting.

The power unit consists of a newly developed air-cooled 114cc, SOHC, fuel-injected engine with a 4-speed automatic clutch. This unit achieves both excellent power delivery characteristics and fuel efficiency. Furthermore, the adoption of a number of newly designed chassis components contributes to this model's excellent handling characteristics, comfort and enjoyable performance from low speeds all the way up to the high-speed range.

1 はじめに

タイの二輪車市場は年間販売台数200万台(ヤマハ調べ/2011年)で推移しており、その半数がマニュアルトランスマッシュションのモペットタイプで占められている(残りの半分はオ

トマティック車)。近年オートマティック車の割合が増えているが、実用性や燃費に優れるモペット、特に価格が手ごろなベシックモペットは地方都市を中心に安定した需要がある。そ

の中で現行モデル「Spark Nano」は、走りと実用性で高い支持を得ているが、燃費向上や扱いやすさなどの要望を受けて、「Spark 115i」(以下、本モデル)は開発された。

本モデルは、日々の買い物や通勤などの実用面における「快適さ・気軽に乗れる親しみやすさ・気持ち良い乗り心地」をベースとして、きめ細やかな設計を施した商品である。エンジンは新設計の空冷114cc・SOHC・4速オートクラッチ式、燃料供給はFIを採用することで、抜きん出た出力特性と低燃費との両立が図られた。また、新設計された車体部品を搭載することで、低速から高速まで優れた操縦性と快適な乗り心地を実現した。

2 開発の背景・ねらい

本モデルは「熟成の次世代ベーシックモペット」をコンセプトとし、都市部に住む30歳以下の男性と郊外に住む20代後半の女性を主なターゲットとして以下の3項目を開発目標とした。

- 求めやすい価格に加え、燃費と走行性能の両立
- 便利・快適、日常生活における使い勝手の良さ
- 飽きの来ないシンプルスポーツキーな外観

3 開発の取り組み

3つの開発目標を実現するため、主に以下の開発に取り組んだ。

3-1. 新設計FIエンジン

- ・低速トルクが豊かで、高回転まで力強くスムースに回るエンジン特性の作りこみ
- ・耳障りな音が無く静かで快適、スムースなギヤシフトなど、上質なフィーリングの実現
- ・長時間の運転でも安定したエンジン性能の実現

3-2. 新設計の車体

- ・軽量、コンパクトで乗りやすい車体サイズとライディングポジション
- ・剛性バランスを最適化した軽量新設計フレームとリヤアームの採用による優れた操縦性の実現
- ・クラス最大の大容量収納ボックスによる高い利便性
- ・スマートな外観デザインと水はねプロテクション性能、エンジン冷却性能の両立

4

技術の解説

本モデルに採用した技術について概要を解説する。

4-1. エンジン関連

以下に示す様々な改良設計により、現行モデルに対してEU3モード燃費で25%、最大トルクで18%向上し、高い燃費性能と走行性能を両立した(いずれも当社測定データ)。

4-1-1. エンジン特性の作りこみ

燃費が良く、静かで快適なエンジン特性を得るために、減速比を小さくし、エンジンの回転数を低くすることが必要となる。一方、低速時にも十分な加速性能を実現させるためには低速トルクの向上が不可欠となる。このため、本モデルでは、燃焼状態を最適化した新設計のシリンダーヘッドを採用し、吸排気系を最適化することにより、最大トルクを現行モデル比で18%向上させた。また、エンジンの総減速比を調整することで、走行時のエンジン回転数を従来比で10%低く設定した。その結果、静かで力強い特性が得られた(図1)。

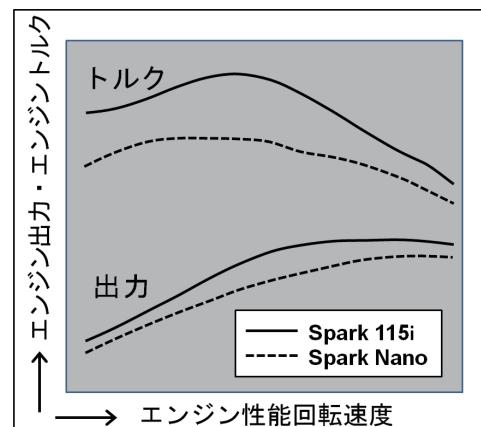


図1 エンジン性能

4-1-2. 低フリクション、軽量設計

吸排気バルブのロッカーアームはローラータイプを採用した。加えてピストンは軽量なアルミ鍛造製、ピストンリングには低張力タイプを採用するなど、エンジンの低フリクション化と慣性重量の低減にも取り組み、低燃費で低振動かつ高回転までスムースに回転上昇する上質で快適なエンジンの回転フィーリングを実現した。

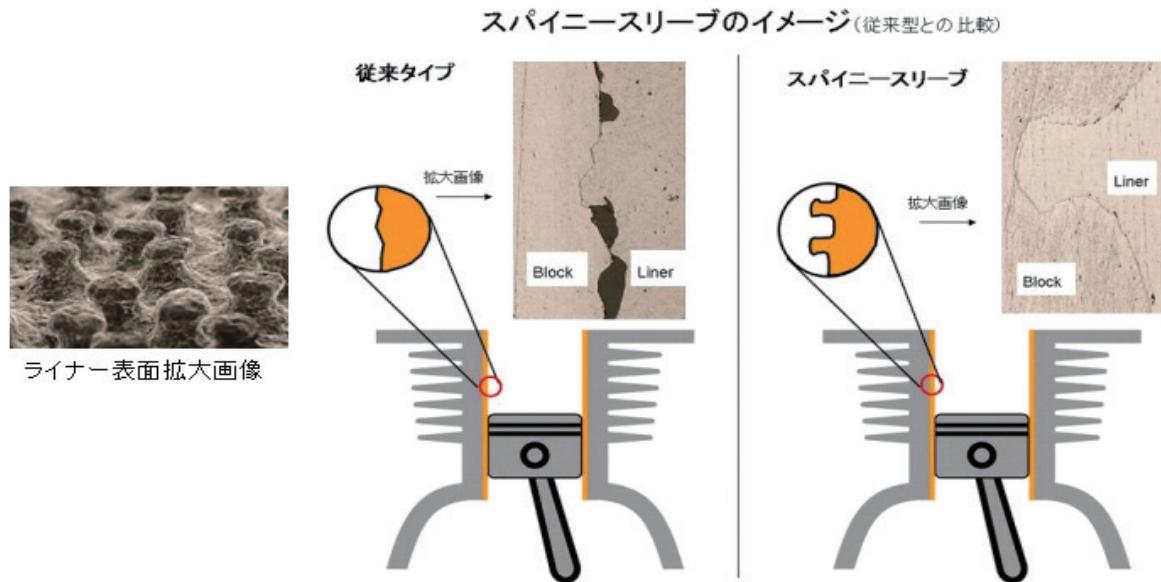


図2 スパイニーシリンダスリーブ

4-1-3. スパイニーシリンダスリーブの採用

シリンダスリーブには、放熱性に優れ、エンジン性能の安定化やオイル消費の低減に有利な鋳込み式“スパイニースリーブ”を採用した(図2)。

4-1-4. 排気マフラーの作り込み

新設計の排気マフラーは3段膨張タイプを採用し、音響解析と官能評価を繰り返した。さらに膨張室をつなぐパイプの径や長さを最適化することで、耳障りな高周波域の音圧レベルを下げて、適度なパルス感を与える低周波域の音圧レベルを上げることで、疲れにくく心地良い排気音を実現した(図3)。

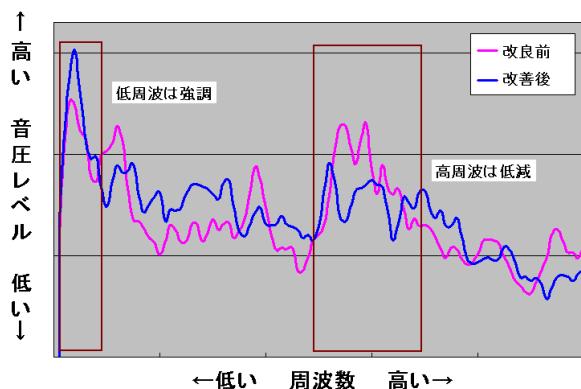


図3 排気音の音響解析

4-2. 車体関連

4-2-1. 新設計フレーム(図4)

新設計のフレームは、アンダーボーン型(ダイヤモンド型)を採用した。また、エンジンはリジットマウントとし、リヤアームもあわせて新たに設計した。さらに、エンジンマウントも含めた車両全体の剛性バランスをコンピューター解析と、走行実験により最適化した。これにより、市街地(低中速走行時)での

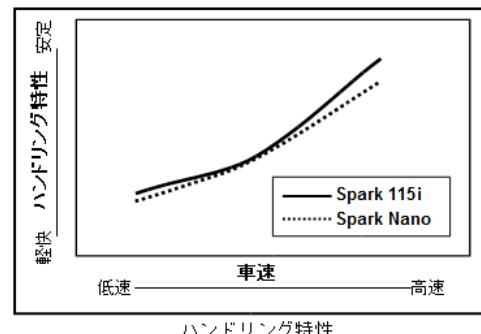
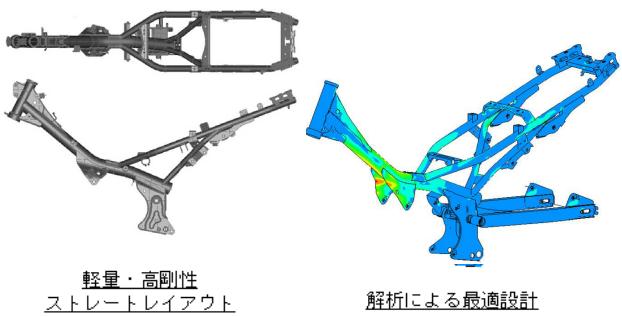


図4 新設計フレーム

軽快さと郊外などの高速走行時での安定性を確保し、軽快かつ快適な乗り心地を実現した。

また、ステアリングヘッドパイプ、エンジンマウント、リヤアームピボット、シートの荷重発生部などを直線的かつ最短で結んだ形状にし、薄肉高張力鋼管を使用しないことで、エンジンやその他の部品を含めた全体の装備重量は、従来モデルと比べ4.4kgの軽量化を実現した。

4-2-2. 大容量収納ボックスとロングシート、ライディングポジション

本モデルでは、コンセプトを小柄な女性にも乗りやすいシート高さや幅、車体の大きさしながらも、フレーム形状の見直し、バッテリーやECUなどの電装部品のレイアウト最適化など、全体のレイアウトを刷新し、シート下の収納ボックスはハーフタイプのヘルメットとレインウェアが同時収納可能な、現行モデル比で約2倍の9.2ℓの容量を実現した(図5、当社調べ)。

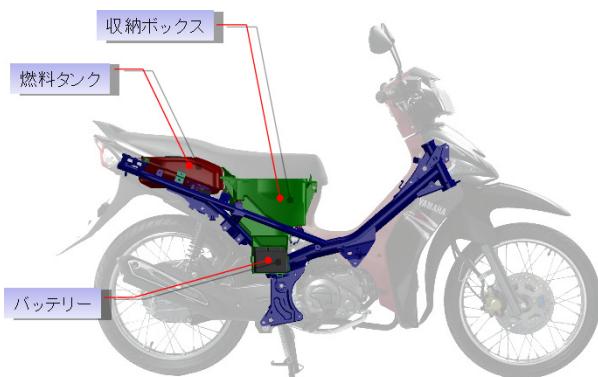


図5 車体レイアウト

一方、シートは現行モデル比で40mm延長し、前後差面の高さ方向の段差を最小とすることで、2人乗りでの快適性を向上させ、着座位置に自由度を持たせた。さらに、フレームの新設計にあわせてハンドル位置も見直し、コンパクトで自由度の高い乗車姿勢を得られるようにした。

4-2-3. エアマネジメント・水はねプロテクション

ボディデザインの目標は「モペットならではのスリムさを活かし、コンパクトで女性にも扱いやすいこと」であり、そのためにフロント&リヤまわりのボリューム感は、必要最小限でシンプルにする必要がある。

一方で、コミュニケーションとして必要な、泥や水から足元を守る

プロテクションや、エンジンを効率よく冷却するための機能要件はこれと背反するものである。このため、本モデルでは、コンピュータ解析と実車による風洞実験をスタイリングデザインと並行して実施することで、コンパクトでありながらも高いプロテクション性能と冷却性能を実現した(図6)。

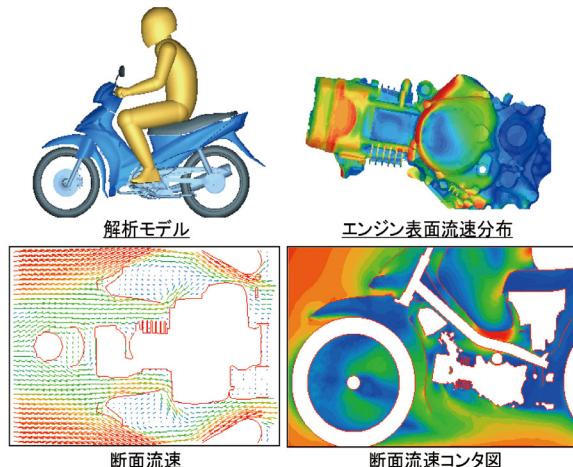


図6 流れ解析によるエアマネジメント設計

4-2-4. その他

ベーシックモペットとしての日々の利便性を考え、ヘッドライトには大光量のHS1球を採用した。また、大容量のシート下収納には、シートの背面に書類入れスペースを設け、さらにシートオープナーはメインスイッチ一体式とすることでより一層使い勝手を向上させた(図7)。

5 おわりに

本モデルの開発は、ベーシックモペットの必要最低限の機能を見つめながら進められた。この商品は、主として生活のパートナーとして、毎日の仕事や生活の足として使われる。そのため大容量の収納ボックスや大光量のヘッドライトの採用といった機能を進化させながらも軽量、コンパクト設計に徹底的にこだわった。当然ながら燃費や走行性能についても妥協無く、最新の技術を投入しながら開発し、高いレベルの商品になったと自負している。また、心地の良い排気音やエンジンフィーリング、力強くスムースな加速、快適な乗り心地と意のままに安心感の高い操縦性能を実現した上で、使い勝手の良い収納ボックスを備えた本モデルは、現時点で最高の「生活の足」であると考えている。

タイでの発売以降、お客様からの評価も上々ではあるが、本当の意味でベーシックモペットを定着させるためには、市場

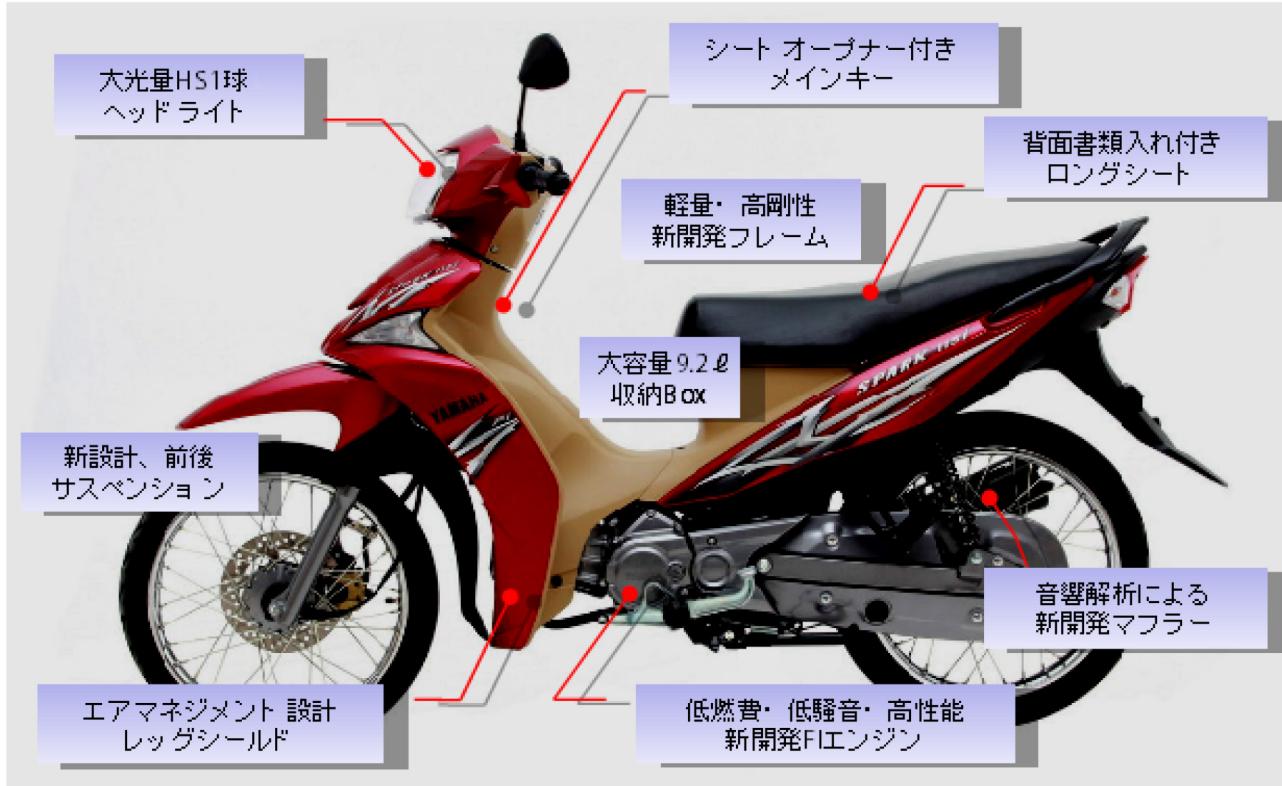


図7 フィーチャーマップ

の細かな問題や要望に対し、素早く的確に応えることが重要と考える。本モデルは自信を持って提供できる商品ではあるが、それゆえにさらなる熟成を目指すことで、より多くのお客様に喜んでいただける商品に育てたいと考えている。

■著者



吹田 善一

Yoshikazu Saita

MC事業本部
第1事業部
車両開発部

クラス最軽量 4ストローク大型船外機 F200F の開発

Development of the F200F, the lightest 4-stroke large outboard model in its class

平岡 徳由 渡辺 敬英 鈴木 賢明 大谷 佳邦



F200F



VMAX-SHO

Abstract

Since the introduction of emissions regulations throughout North America in 1995, it has become a necessity to develop engines with environment-friendly performance.

Conventional carbureted 2-stroke gasoline engines, with their compactness, light weight and simple structure, were replaced by direct [combustion chamber] fuel-injected 2-stroke gasoline engines and eventually to the intake duct fuel-injected 4-stroke gasoline engines that are becoming mainstream today.

Advances environmental performance major improvements in emissions, fuel economy and noise reduction at lower speeds, but weight and cost increased. In this report, we discuss the development of the "F200F" large-class outboard motor that achieves weight and propulsion performance on par with a 2-stroke outboard motor as a result of a thorough pursuit of a lightweight, compact design and more.

1 はじめに

1995年以降、北米の環境排気ガス規制が導入されてから、環境へ配慮したエンジンの開発が求められている。

従来の小型軽量・シンプルな構造の2ストロークキャブレタガソリンエンジンから、2ストローク筒内直接燃料噴射ガソリン方式へと変わり、そして現在の主流は4ストローク吸気管燃料噴射ガソリン方式へと変遷してきている。

この変遷にともない、排気ガスの清浄化と燃費・低速の静肅性は大幅に改善されたが、その一方で重量およびコストが増加した。

本稿では、軽量・コンパクト設計の徹底などにより2スト

ローク船外機と同等の重量と航走性能を達成した大型船外機F200Fの開発について紹介する。

2 開発の経緯とねらい

当社の生産モデルでは、4ストロークV6-3.4Lの200馬力モデルが存在しているが、従来の2ストローク200馬力のモデルに対して重量が重く搭載できる船が限られるため、軽量艇から重量艇まで搭載できるより軽量で安価な200馬力クラスの船外機が求められていた。

この市場の要求に応えるために、「2ストロークモデルへの代替が可能な重量・大きさと航走性能をもつ4ストローク200馬力船外機」を開発のねらいとした。併せて航走燃費、静肅性の向上にも取り組んだ。また、今回開発したF200Fとその派生モデルのバスポート搭載モデル、VMAX-SHO150馬力仕様も並行して開発した。

3 概要・諸元

3-1. 製品概要

本モデルではクラス最軽量をねらうべく当社の現行モデルF150A（L4-2.7L、150馬力）をベースに排気量をアップするとともに、VCT（可変バルブタイミング）やノックセンサなどの搭載による性能向上に加え、構造や材質変更による軽量化手段を織り込んだ。

3-2. 仕様諸元

仕様諸元を表1に示す。

表1 仕様諸元表

エンジン型式	4ストローク L型4気筒
動弁機構	DOHC 16弁 VCT タイミングベルト駆動
ボア×ストローク	96×96.2mm
排気量	2,785cc
圧縮比	10.3
プロペラ軸出力	147.1kW (200ps) /5500rpm 110.3kW (Vmax) /5500rpm
燃料供給方式	MPI
推奨燃料	Ron94
潤滑方式	ウェットサンプ
オイルパン容量	5.2L
オイルポンプ	トロコイド
点火方式	フルトラマイコン制御
発電性能	50 A
トリム&チルト	-4~16° & 65°
ステアリング角度	左右 32度
トランサム高	25、20インチ (STD) 20インチ (VMAX)
ギヤシフト	F-N-R
減速比	1.86 (26:14) (STD) 2.00 (28:14) (VMAX)
乾燥重量 (プロペラ付き)	227kg (STD 25インチ) 223kg (VMAX)

3-3. 性能

航走性能は、既存の2ストローク直噴モデルZ200同等レベルを達成した。重量はクラス最軽量をねらった結果、ベースモデルのF150A同等以下の軽量化を実現した。また、外観サイズについてもV6→L4化により、2ストロークモデルと同等もしくはそれ以下のエンジン幅が実現した。その結果、十分に2ストロークモデルへの代替が可能なモデルとなった。

各モデルの主要性能の比較表を表2に示す。

表2 性能比較表

モデル	排気量	重量	エンジン型式	出力
F200F	2,785cc	227kg	4ストローク L型4気筒	200
F150A	2,670cc	228kg	4ストローク L型4気筒	150
F200A	3,352cc	283kg	4ストローク V型6気筒	200
Z200N	2,596cc	220kg	2ストローク V型6気筒	200

4 各ユニットの構造概要と特徴

4-1. エンジンユニット

現行のF150Aの基本諸元を踏襲しながら、現行モデルF300B(V6-4.2L 300馬力)と部品共通によるモジュール設計を踏襲した。ボアは94mm→96mmとし、排気量を2,785ccにアップした。また、吸排気バルブ、スプリング、リフタ等の動弁系及びピストンリング、コンロッドはF300Bと共に部品を適用した。さらに、出力向上の手段として排気量アップに加え、VCTの採用、ノックセンサによる点火時期の適正化、クランクケース内のフリクション低減等を取り入れた。フリクションを低減するために、攪拌されるオイルを効率的に回収するための空間をボデーシリンダに設定した(図1)。

また、回収部に冷却通路を設けることでオイル冷却機能(クランクケース下部にも冷却構造を付与している)も併せ持たせた(図2)。

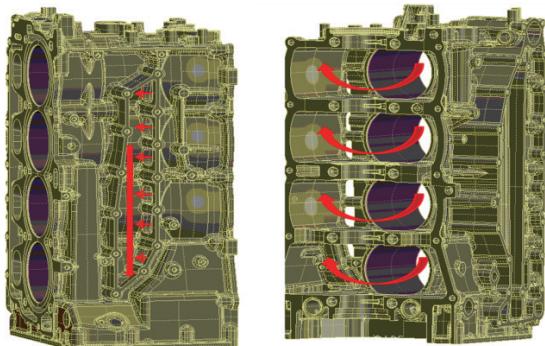


図1 オイル回収通路

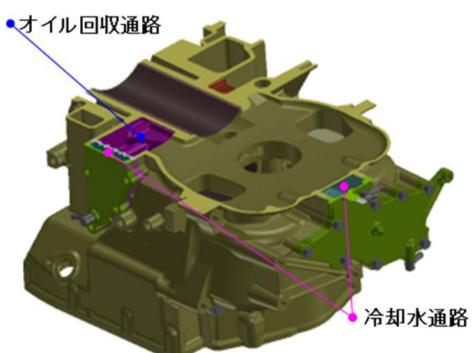


図2 オイル冷却

軽量化対策としては中空カムシャフトを採用するとともに、タイミングベルト関連の部品をコンパクト化した。タイミングベルトは、ベースとなるF150の市場実績に基づいて、ベルトの耐久性を再検討することによりプーリーやテンショナのサイズダウンを図った。また、内製3C部品（ヘッドシリンダ、ボデーシリンダ、クランクケース）は、コンカレント活動や強度解析を通して肉厚の最適化を図った。さらに、铸造湯流れ解析に基づいて湯道を確保するとともに、强度対応を兼ねたリブ配置を行った。

また、エンジン内冷却水通路は水流解析にて水温バランスの最適化を図った。アノード（海水中等の電気腐食環境下で自身が消失していくことで周辺金属の防護をするもの）は、防食シミュレーションにより配置を最適化することでその数を半減させることができた。

4-2. 吸気・燃料ユニット

従来の4連スロットルボディから単スロットルボディの電子スロットルに変更した。また、ベーパセパレートタンクも既存モデルと共に通化することにより開発コストが削減された。さらに、CAE解析を活用することで樹脂製インテークマニホールドの軽量化も図った。

4-3. 電装ユニット

トーションアルダンパーを廃止し軽量化を図った。また、最適発電性能はボート装備品の調査や競合他社製品の性能も踏まえ、低速性能に重点を置いた50Amp/6000rpmとした。

4-4. 艤装

従来に比べ電装部品の大型化に対応するため、電装プラケットを2分割化することで型トン数を下げ、型投資の低減を図った（図3）。

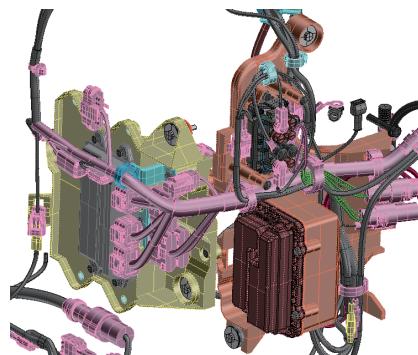


図3 電装ブラケット

制御の複雑化に伴うワイヤハーネスの重量増加を抑えるために、全長を短縮させるとともにレイアウトを見直すことで軽量化を図った。また、電線間における中間ジョイントを廃止することでワイヤハーネスの防水スペックを向上させた。

4-5. カウリングユニット

カウリングボトムをアルミダイキャスト製から樹脂製に変更することで5.4kgの軽量化を実現した。樹脂ボトムは既存モデルに採用しているが、強度解析と成型解析の結果に基づき成型方案を最適化した（図4）。

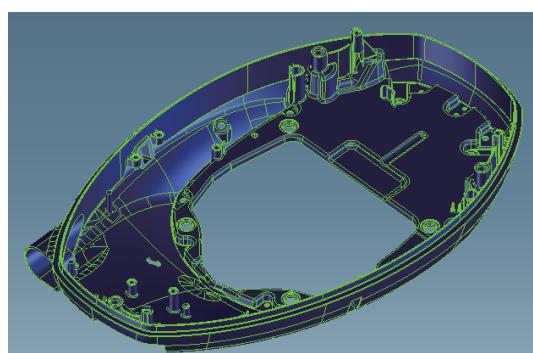


図4 樹脂カウリングボトム

VMAX-SHO バスモデルのトップカウルには、今回初採用となる 2 色塗装を採用した（図 5）。2 色の境目はぼかし塗装とし、場所によりぼかし幅を変更することで、前に進む動き、すなわち「スピード感」を表現した。

上記の 2 色塗装により、F200F と同形状のトップカウルを流用しながら VMAX-SHO としての外観を実現した。



図5 VMAX-SHO 150 塗装仕様

4-6. マウントユニット

マウントユニットにおいては、機能優先の設計手法を適用し、F150 に対して 16% の軽量化を実現した（図 6）。



図6 マウント形状比較

4-7. アッパーケース

25 インチトランサムは専用のアッパーケースを新設することで、低速での静肅性向上と 20 インチトランサム並みの重量実現を達成した。

軽量化の取り組みとしては、2 部品で構成したアッパーケ

ースを 1 部品に集約することで、締結に伴う合面ボルト類を排除した。

また CAE 解析を用いた機能重視の軽量化設計により、スタイリングと強度を高い次元で両立した。

4-8. ロワーユニット

本モデルにおいてプロペラは、弊社純正オプション部品である Reliance Series (M シリーズ) を推奨している。このプロペラは、「Shift Damper System (SDS)」構造（図 7）を採用することで、シフト IN 時の騒音が低減することを確認している。

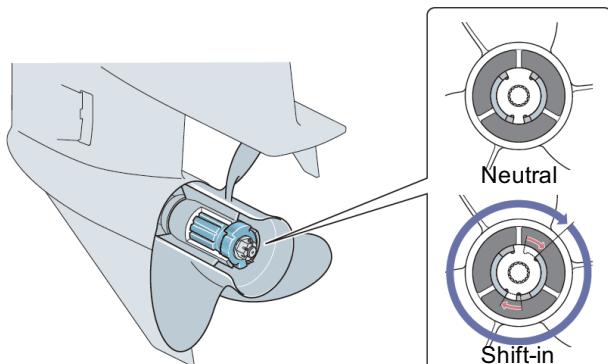


図7 プロペラ SDS構造

5 おわりに

本モデルは昨年 12 月より生産を開始し、現在北米をメイン市場として多くのお客様に使正在していただいている。

当初の開発のねらい通り、軽量化と高い航走性能でお客様から好評を得ている。

今後もお客様の声を真摯に聞き、市場の環境変化をしっかりと捉えながら、お客様の期待を超える商品を開発し続けたいと考える。

クラス最軽量 4ストローク大型船外機 F200F の開発
Development of the F200F, the lightest 4-stroke large outboard model in its class

■著者



平岡 徳由
Noriyoshi Hiraoka

マリン事業本部
ME事業部
開発統括部

渡辺 敬英
Takahide Watanabe

マリン事業本部
ME事業部
開発統括部



鈴木 賢明
Yasuaki Suzuki

マリン事業本部
ME事業部
開発統括部

大谷 佳邦
Yoshikuni Ootani

マリン事業本部
ME事業部
開発統括部

鈴木 春博



Abstract

Yamaha Motor Engineering Co., Ltd. (hereafter “the company”) has continued to supply products for fire departments since the marketing of an electric hose layer unit (a wheeled fire hose laying unit used for laying extension hoses from the fire truck to the fire) in 1985.

This ride-able electric hose layer unit is the only one of its kind in Japan and has won approval as a product that reduces the workload of firefighters and enables them to focus more on extinguishing the fire. Other products supplied by the company include a hand-pulled hose cart and a motorcycle for fire station work and patrols (nicknamed *Akabai* or “red bike”).

The lightweight bifocal type portable floodlight introduced in this report is the product of a joint research and development project between the company and the Tokyo Fire Department, begun in 1996 at their request for a brighter and lighter floodlight unit.

1

はじめに

ヤマハモーターエンジニアリング株式会社（以下、当社）では、1985年に消防自動車へ積載する電動式ホースレイヤー（消防自動車から火災現場まで消防ホースを延長する消防用資機材）の販売を始めてから、今日まで消防機関向けの製品を提供している。

乗用運転できる電動式ホースレイヤーは国内唯一の製品

であり、消防隊員の負担を軽減して消火活動に専念できるとの評価を得ている。そのほかにも、手引きホースカーや消防活動二輪車（通称：赤バイ）などの製品化にも取り組んでいる。

今回紹介する軽量二焦点型可搬式投光器（以下、軽量投光器）は、東京消防庁からの、「もっと明るく・軽くできない

か」との要請を受け、1996年に実施した当社との共同研究の成果にもとづいて製品化された。

2 信号器付投光器とは

消防活動の中で、濃煙内の人命検索は非常に困難な作業である。投光器は発動発電機からの電源供給を受け、電源ケーブルを延長して使用する。従来の検索現場では検索員が持つ投光器用電源ケーブルと命綱(ロープ)が延長され、発電機側の確保員との連絡方法はロープの引っ張りによる合図によって行われていた。そのためロープが障害物に引っ掛けた場合には、合図が伝わらず連絡が取れないという問題が指摘されていた。

そこで、投光器用電源ケーブルに引張強度を持たせることで命綱(ロープ)と兼用させ、投光器側と発電機側に信号器を設けて、表示灯とブザーによる視覚・聴覚の信号で、検索員と確保員の相互間の連絡を可能にした信号器付投光器が考案された。

3 開発のねらい

現行の信号器付投光器に対し、「より明るく・より軽く」との観点で以下3項目を重要開発項目に設定した。

3-1. 軽量化

投光器本体および三脚の形状・材質を見直し、軽量化を図った。

投光器本体は、少数ロットの生産性および重量・強度の面から筐体の材質にCFRP(カーボンファイバー繊維強化プラスチック)を採用した。

一方、三脚は転倒防止のために、軽すぎるCFRPの採用を見送り、スチールカメラ用を基本としたアルミニウム合金製を採用した。

3-2. 二焦点化

照明装置に、集光・拡散の二つの機能を持たせた。

一つの照明装置で、集光・拡散の二つの機能を持たせるための機構として、様々な方法が提案されているが、その中から今回はWフィラメント切替方式を採用した。

Wフィラメントのランプとしては、①鉄道用シールドビームランプ(AC100V)、②自動車用H4ハロゲン電球(DC24V)、③自動車用シールドビームランプ(DC24V)などがある。今回①と②を評価した結果、②の明るさや配光パターンが優れ

ていることが分かった。

しかしながら、この自動車用H4ハロゲン電球を投光器用としてそのまま採用するには課題があった。自動車用のすれ違いビーム(Lo)では、対向車が眩しくないように上方の光をカットしているため、部分的に照射できない範囲が発生する。これは電球内のLo側フィラメントに、シェード(カップ状の覆い)があるためである。そこで、このシェードを取り除いたハロゲン電球を新たに開発することで、全方位の照射が可能となった。



図1 新作したハロゲン電球

3-3. 照度性能の向上

電源装置の電圧・構造・形状などを見直し、より明るいランプを開発した。

100Wハイワッテージのフィラメントを2個並べ、集光・拡散(自動車でいうHi・Lo)の切り替えを容易にできるようなシェードレスのハロゲン電球を開発した(図1)。

主電源は発動発電機のAC100Vであるが、ハロゲン電球は直流であるため、DC24Vに変換する電源装置を発電機側の信号器BOX(以下、信号器)内に設けた。投光器と信号器間は50mの延長ケーブルを標準とするため、電源装置の出力電圧が一定であると、短いケーブルをつないだ場合にハロゲン電球への電圧が高くなり、電球が破裂してしまう。そこで電源装置に定電流電源回路を搭載することで、ケーブルの長さに関わらず一定の照度を確保できるようにした。

4 商品化に向けて

4-1. 専用ハロゲン電球の製造

当社が求める専用のハロゲン電球(24V100/100W)は、年間200～800個程度の発注量のため、一般市販品のように製造ラインで生産することが困難である。そこで製造メーカの協力を得て「手作り」で製造している。

4-2. 販売について

東京消防庁から開発要請を受けた「明るく・軽く・二焦点化」に対する研究の成果を評価され、消防車の標準積載品として1998年から販売を開始した。また、さいたま市消防局や北九州市消防局を始め、全国190を超える消防局・消防本部で活躍している。これまでの販売台数は1,300台を超え、年々増加している。

4-3. 蓄光ストライプケーブルの採用

命綱と兼用させる延長ケーブルには、強度と剛性・耐衝撃性に優れたポリアミド繊維を編み込み、緊急脱出用のロープとして活用できる強度を持たせた。

また、暗所での被視認性を考慮してケーブルは黄色としたが、さらなる被視認性向上のため2003年から、蓄光剤を練り込んだゴムをストライプ状に配置した。蓄光ストライプ素材の延長ケーブルは、太陽光や照明で蓄光させることで、暗所で発光してその存在を視認できる。

4-4. 電気用品安全法への適合

2011年までは、電気用品安全法(以下、PSE)の例外承認を経済産業省から受けて販売していたが、PSEに適合した電源回路を新たに開発することで、2012年から適合製品に全面的に切り替えた。販売先に制限がないPSEに適合させた「E028 軽量投光器」は、消防団や一般企業にも広範な採用が始まった。

4-5. 商品サイクル

消防自動車はおおよそ15年が更新のサイクルであり、今の財政からその使用期間も伸びつつある。軽量投光器は消防自動車の積載品であり、ライフサイクルは消防自動車同様に約15年とされている。ハロゲン電球やスイッチの交換、ケーブルの修理などは当社が必要に応じてメンテナンスを行っている。また、綺麗なカーボン目も当然ながら傷だらけになるが、性能・機能に劣化がないことが確認されている。

表1に「E028 軽量投光器」の諸元表を示す。

表1 仕様諸元

型 式		E028
入力電源		交流100V(発電機300W以上)
使用電球		直流24V100/100W ハロゲン電球(専用品)
投光器	筐体材質	炭素繊維強化プラスチック
	寸 法	281×195×201(mm)
	重 量	1.7kg
ケーブル	構 成	高強度
	寸 法	50m(ポリアミド 繊維強化ケーブル)
	引張強度	7,845N
	重 量	7.0kg
照度性能	集 光	600ルクス以上(10m前方)
	拡 散	70ルクス以上(10m前方平均)
機 能	信号連絡	○
	断線警告	○
	緊急脱出 ロープ	○
	蓄光 ストライプ	○
電源側	構 成	信号器
	寸 法	251×80×165(mm)
	重 量	2.6kg
三 脚	材 質	アルミニウム合金
	高さ調整	890～1,600(mm)
	重 量	2.0kg

5 おわりに

消防機関向けは息の長い製品である。年間の販売数量は多くないが、モデル寿命は長くリピート率も高い。この軽量投光器も発売開始から16年目であり、PSE対応で一部変更はあるものの、モデルチェンジはしていない。また、新規に採用してくださる消防機関も増えている。今後は電球切れの心配がなく、ランプ寿命の長い「LEDランプ」の採用などさらなる機能性の向上を目指す。

当社では、今後も消防活動の最前線で働く人に貢献する製品の提供を通して、地域に暮らす人たちの安心・安全に少しでも役立てるよう取り組んでいく所存である。

■著者



鈴木 春博

Haruhiro Suzuki

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

事業推進部

鈴木 豪仁 窪田 隆彦 宮崎 政直 中村 明彦 澤淵 敦志 衣笠 健
松土 真一 Jim Vizanko Jeffrey Stoxen Patrick Trapp



Abstract

Over the past ten years, the demand for new snowmobiles had been decreasing in the North American market. However, since 2011, we have finally begun to see signs of market recovery. In light of this, we decided to expand our lineup of model variations via a product supply agreement in a new style of business. The new SRX120 youth category model launched last year is the first model released under this new business style.

This year, we released the SRViper in the sports category as the second model under this business style. The model adopts the Yamaha-built 3-cylinder, 4-stroke engine that has such a strong reputation in the market, and a chassis supplied by the collaborating company under the product supply agreement, and will be marketed as a Yamaha brand snowmobile.

1 はじめに

過去 10 年に渡り、北米におけるスノーモビル（以下、SMB）の新車需要は減少傾向にあったが、2011 年以降はようやく回復の兆しが見え始めている。そのような中で、相互商品供給という新たなビジネススタイルを取り入れることにより、モデルバリエーションの拡充を図ることとなった。その第 1 弾として、昨年 SRX120 という Kids カテゴリのモデルをリリースした。

そして今年、第 2 弾としてスポーツカテゴリのモデルである SRViper（以下、本モデル）をリリースした。本モデルは、市場で評価の高い当社製の 3 気筒 4 サイクルエンジンと相互商品供給先のシャシをベースに開発したヤマハブランド SMB である。

2 開発のねらい

SMB のスポーツモデルは、圧雪路でのツーリングユースが主体の “Groomed Trail”、ギャップ路でのスポーツ走行が主体の “Rough Trail”、山岳地帯での新深雪、登坂走行に使用される “Mountain” の 3 つのカテゴリに分類される。

本モデルは、2007 年にリリースした FXNytro の後継機種として “Rough Trail” をメインユースに “Groomed Trail” までカバーするモデルとして開発した。

エンジンは、FXNytro に搭載されているスポーツ走行に適した 3 気筒エンジンを使用し、これに相互商品供給先のスポーツ走行性能に定評のあるシャシを組み合わせている。完成車両は両社で販売するため、外装と一部機能部品を専用部品とすることで当社のアイデンティティを生み出している。

表 1 に、諸元表を、図 1 にフィーチャーマップを示す。

表1 主要諸元表

全長	2,927mm
全幅	1,219mm
前高	1,180mm
原動機	種類 水冷、4ストローク、DOHC
	気筒数 並列3気筒
	排気量 1,049cc
	ボア×ストローク 82mm×66.2mm
	点火方式 TCI
1次減速機	Vベルト変速機(YVXC)
リバース	電動切替リバース
ブレーキ	ラジアルマスターシリンダ 油圧ディスクブレーキ
フロントサスペンション	ダブルウイッシュボーン
スキースタンス	1,067-1,092mm
リヤサスペンション	スライドレール式 コイル／トーションスプリング
トラックベルト幅	381mm
トラックベルト周長	3,277mm
トラックパターン高さ	31.7mm
トラックベルト種類	Ripsaw II
フューエルタンク容量	38リットル
ヘッドライト	60/55W、H4ハロゲン、2灯
テールライト	LED

3

開発概要

3-1. ラインナップ

雪面の走路は、圧雪車による整地の有無だけでなく、地形や環境の変化等により、多種多様なパターンが存在する。SMBはそれらに対応するために、スキーの種類やトラックベルトの長さ、パターン違いのラインナップを揃えてユーザの要求に応えている。

本モデルにおいては、トラックベルト違いで3種類のラインナップを揃えている。ラインナップごとの特性は、大まかに以下のように分類される。

- SRViper R-TX (リヤトラックベルト周長: 3277mm)
トレール走行向きモデル
- SRViper L-TX (リヤトラックベルト周長: 3480mm)
トレール走行主体でオフトレールもカバーするモデル
- SRViper X-TX (リヤトラックベルト周長: 3581mm)
オフトレール走行向きモデル



図1 フィーチャーマップ

3-2. デザイン

現行モデルからの戦略的な進化を狙い、以下のキーワードに基づいてデザインを行った。

- Evil Expression
- Aggressive Stance
- Agile Attitude

最終的なイメージは図 3、4 に示すように、ノーズ前端の強い絞り込みによる贅肉の無い軽量感、肩部を高めたダウンフォースの強調から、軽やかで躍動感溢れるアグレッシブなアピアランスを表現している。



図3 ノーズ前端の軽量感



図4 ダウンフォースの強調

デザイン開発にあたっては、アンダーフードやシートのウレタン形状のような、機能要件の占める割合の大きい部品については、開発効率向上や投資低減を考慮して、カラーリング変更のみという制約がある中での作り込みという難しさがあった。そのため、共用する部品のデザイン要素と調和を図りながら、シュラウド、ヘッドライト、ウィンドシールド等の最小限の専用部品を特徴的にデザイン変更することと、カラーリンググラフィックを従来のヤマハモデルとシナジー効果を持たせることにより、一目見てヤマハの SMB と分かるスタイルリングを成立させることができ、当社のアイデンティティを表現できたと考えている。

3-3. エンジン

SRViper のエンジンは、FXNytro に搭載されているスポーツ走行に適した 3 気筒 1,049cc エンジンとフェューエルインジェクションを採用している（図 5）。これに新設計の吸気サイレンサと排気マフラーを組み合わせることで、相互商品供給先のベースフレームにマッチングさせている。



図5 エンジン外観

3-4. Vベルト変速機

エンジンと共にパワートレインのキャラクタを決定する V ベルト変速機は、専用部品として当社製の YVXC クラッチ（図 6）を採用することで、当社の独自性を生み出している。

YVXC クラッチは、4 サイクルエンジンの出力特性に合わせて熟成を重ねており、本モデルにおいても 4 サイクルエンジンの持つ低中速トルクを有効に活用することで、ヤマハ車らしい加速フィーリングを達成している。



図6 YVXCクラッチ

3-5. 軽量、高剛性シャシ

SRViper では、スポーツ性能の向上を目的として軽量、高剛性という相反する 2 つの課題達成のため、以下の構造を採用している。

3-5-1. トライアングル形状の梁構造体

フロントショックアブソーバ取り付け部とリヤサスペンションのアーム取り付け部から伸びるトライアングル形状の梁(図7)をステアリング保持部で連結させることにより、路面からの入力をパイプ部品の圧縮で受け持つことができる梁構造を構築している。

3-5-2. シェル構造のパネルフレーム

リヤサスペンションの前後アームが取り付けられるパネルフレームサイド面にアルミ板材を二重に配置し、シェル構造としている。

上記構造の採用により、フレーム剛性を向上させつつ軽量化も両立させている。結果として、応答性の良いシャシによるハンドリング、乗り心地、安定性向上を実現している。また、主要コンポーネントを上記のトライアングル形状の梁の中に収納するレイアウトにより、マスの集中化を促進している。

3-6. フロントサスペンション

特徴的なハイマウントアッパー・アームの採用により、フロントサスペンション全体の剛性アップを実現し、ハンドリングの応答性を向上させている(図8)。

また、上面視で車両前後軸から30度の角度を持つアッパー、ローワーアームの取り付けディメンジョンにより、不整地走行時の衝撃吸収をよりスムーズにしている(図9)。それと共に、ショックアブソーバの反力を、前述のトライアングル形状の梁で受け止める構造とすることで、車体の振れを低減し、外乱の少ないハンドリングを実現している。

車両前後軸から30度の角度を付けることの背反事項として、コーナリング時のロール剛性の低下や、ストローク時のホイールベースの変化が大きくなる傾向はあるが、雪上走行というSMB特有の要求性能を検証し、総合的にメリットの大きい仕様となっている。



図8 フロントサスペンション前面斜視

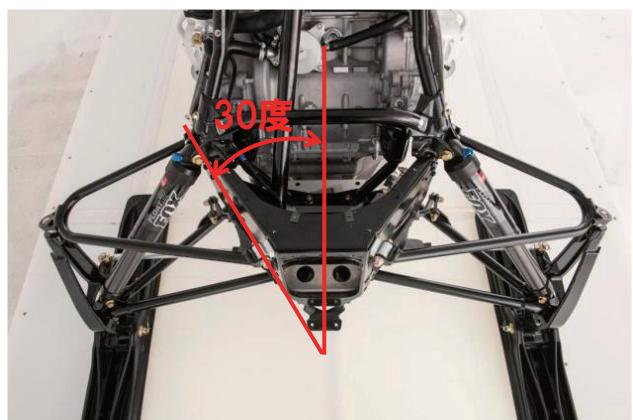


図9 フロントサスペンション上面視



図7 高剛性、軽量シャシ

3-7. ブレーキ

ラジアルマスタシリンダ（図 10）の採用とブレーキディスクを最終軸であるフロントアクスル軸に配置（図 11）することにより、よりダイレクト感のあるブレーキフィーリングを実現している。



図10 ラジアルマスタシリンダ



図11 ブレーキディスク

3-8. 大容量フューエルタンク

シート下にフューエルタンクを配置することで、センターマスを維持しながら 38 リットルの大容量フューエルタンクを搭載し、4 サイクルエンジンとの組み合わせによりロングツーリングを可能としている（図 12）。

レイアウト上、前後に細長くなるタンク形状であるため、フューエルポンプは 2 つのフィルタを持つタイプとし、ポンプ直下のフィルタ部はガソリンを貯めておくことができるカップ内に配置することで、不整地走行時のガソリン利用効率を高めている。

また、フューエルタンクはシートとバッテリの保持を兼ねており、部品点数削減による軽量化に加えコスト低減も実現している。



図12 フューエルタンク

3-9. 冷却装置

従来モデルでは、リヤフレーム後部まで配置された雪冷式のヒートエクスチェンジャーが採用されていた。それに対し、本モデルでは大型のラジエタをフロントに搭載（図 13）し、ヒートエクスチェンジャーを小型化することで冷却系の簡素化が実現した。

ラジエタは冷却ファンを備えているため、低速走行時やアイドリング時などの冷却効果を発揮し難い場面においても安定した冷却性能を確保できる。



図13 ラジエタ

3-10. シートヒータ

ツーリング走行に適したバリエーションモデルには、シートヒータを標準装備することで厳冬期の使用での快適性を高めている。

4

おわりに

本モデルは、相互商品供給先との協働という形態の中でのモデル開発であり、両社の業務プロセスの違いから、調整が難航する事も多かったが、新たな視点を得る良い機会でもあった。最終的には、両社の強みを合わせ、新しい価値を創出できたと考える。

市場での評価はこれからとなるが、当社にとっても業界他社との協働を通して、より市場要望に沿ったモデル作りを行うことができたと考える。

■著者



左から

宮崎 政直

Masanao Miyazaki

事業開発本部 RV事業部 開発部

衣笠 健

Takeshi Kinugasa

事業開発本部 RV事業部 開発部

澤淵 敦志

Atsushi Sawabuchi

事業開発本部 RV事業部 開発部

鈴木 豪仁

Takehito Suzuki

事業開発本部 RV事業部 開発部

窪田 隆彦

Takahiko Kubota

事業開発本部 RV事業部 開発部

中村 明彦

Akihiko Nakamura

事業開発本部 RV事業部 開発部



左から

松土 真一

Shinichi Matsudo

YMUS Minocqua
R&D Center

Jeffrey Stoxen

YMUS Minocqua

R&D Center

Patrick Trapp

YMUS Minocqua

R&D Center

Jim Vizanko

YMUS Minocqua

R&D Center

鈴木 孝典 新堀 雅秀 望月 茂弘 Todd Booth



Abstract

Currently, the North American Recreational Off-Highway Vehicle (ROV) market has an annual demand in the range of 200,000 units and forecasts predict that this level will grow in the future. From agriculture and hunting to trail riding, ROV uses vary widely. The "VIKING" was developed to cover this wide range of uses. It provides both the practical functionality required for utility use and the enjoyable running performance and on-board comfort desired in leisure use.

In 2012, wholesales of Yamaha ATVs (All-Terrain Vehicles) and ROVs totaled approximately 70,000 units, and our medium-term management plan calls to raise that total to 110,000 units by 2015. In this report, we introduce the VIKING, the first model in this plan.

1 はじめに

北米の ROV (Recreational Off-Highway Vehicle) 市場は現在、年 20 万台規模の需要があり、今後も伸長していくことが予想される。その用途は農業やハンティングさらにトレール走行まで多岐に渡っている。それら広範な用途をカバーするために開発されたのがこの VIKING である。業務用途に必要な実用性と共にレジャー用途で求められる快適な走行性や居住性を兼ね備えている。

当社 ATV (All Terrain Vehicle)、ROV の 2012 年の出荷台数は約 7 万台だったが、今後 2015 年までには 11 万台に規模を拡大していく予定である。本稿ではその先陣となる VIKING (以下、本モデル) について紹介する。

2 開発のねらい

市場で要求されている多人数乗車での快適性、実用性を実現するために、下記 3 項目を主要なねらいとした。

- 1) 快適性：3 人が快適に乗車できるホールド性能の確保
- 2) エンジン特性：極低速域から高速域まで滑らかなエンジン特性の実現
- 3) 利便性：大きくフラットなリヤカーゴベッドの採用

3 製品の特徴

3-1. パワーソース概要

本モデルは、当社ユーティリティ ATV のフラッグシップモデルである GRIZZLY 700(2014 年モデル) の水冷 4 ストローク SOHC4 バルブ単気筒エンジンをベースに ROV 車両用エンジンとして要求される性能、耐久性を満足させるため、以下のモディファイを行った。

- ・エンジン：中低速を重視したエンジン性能特性（図 1）。
- ・駆動系：ATV にて実績あるウルトラマチックトランスマッキンション（全速度域で滑らかな走行とエンジンブレーキの作動を可能とする駆動、変速システム）を踏襲しつつ、CVT 変速比を拡大 (L/T 比 6.5%UP) することで低速からの十分な駆動力と最高速確保との両立を実現した。
- ・信頼性：水冷オイルクーラーの追加およびラジエタの大型化により冷却性能を強化した。さらに CVT については、プライマリ側に加えセカンダリ側への換気ファンの設置により、ベルト室冷却能力を向上させることでベルトの耐久性を確保した。

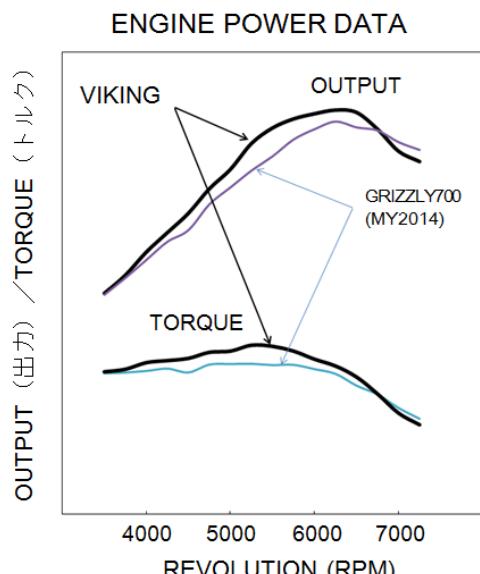


図1 エンジン性能特性

3-2. 車体概要

実用性とファンライドを両立する本モデルでは、頑丈で屈強さと高い走破性を予感させる「Real Off Roader」をコンセプトとするデザインを表現した。外装部品は特にトレールでのオフロード走行中でのボディへのダメージを考慮し、配置場所、素材、部品点数などに配慮してダメージ回避を高めると共に、損傷した場合でも機能損失を抑え、修理・交換がしやすい設計とした。

3-2-1. 車体サイズ・レイアウト

車体サイズは乗員 3 人が快適に過ごせるキャビンサイズとワークユースに有効なカーゴベッドサイズを中心とし、トレールでの走破性を損なわない適度なバランスの車格を目指した。また詳細寸法については市場の声を反映し、利便性とのバランスに配慮した。例えば、北米農業ユースを想定して、広大な農地を移動する際に作物を跨いで移動できるように、耕地の轍幅を考慮したトレッド内寸法とした。

図 2 に車体レイアウトを示す。車体レイアウトは各積載時の挙動変化を抑えるため、重量配分に配慮した。特に重心位置は乗車位置近傍とすることで、乗車人数による影響が少ない操縦性能の実現を目指した。エンジンはメンテナンス時の利便性やアクセスに配慮し、リアカーゴベットの下に、またエアクリーナーボックスをセンターシート下に配置することでメンテナンス性を確保すると同時に、エンジン熱のシート座面への影響を排除することで、快適な居住空間も実現した。また、電装品はフロントフード内に一括してレイアウトをすることで、メンテナンスの利便性を向上させた。さらに電装品収納ボックスは泥浸入防止に配慮した構造とし、そこに吸気口を配置することで様々なオフロード環境での影響を受け難くした。

リヤカーゴベッドは頑丈なスチール製のフラットフロアとし、ガスダンパー付きダンプ方式を採用した（図 3）。信頼性の高い左右レバーラッチを装備し、開口幅が広いテールゲートを採用することで 48 インチサイズパレットの搭載と、600 ポンドの積載重量を可能とした。その他タイダウンフックの装備やアクセサリーの取り付けに配慮したベッドサイド形状などの採用に加え、2 インチヒッチレシーバーを標準装備することで拡張性を高めた。

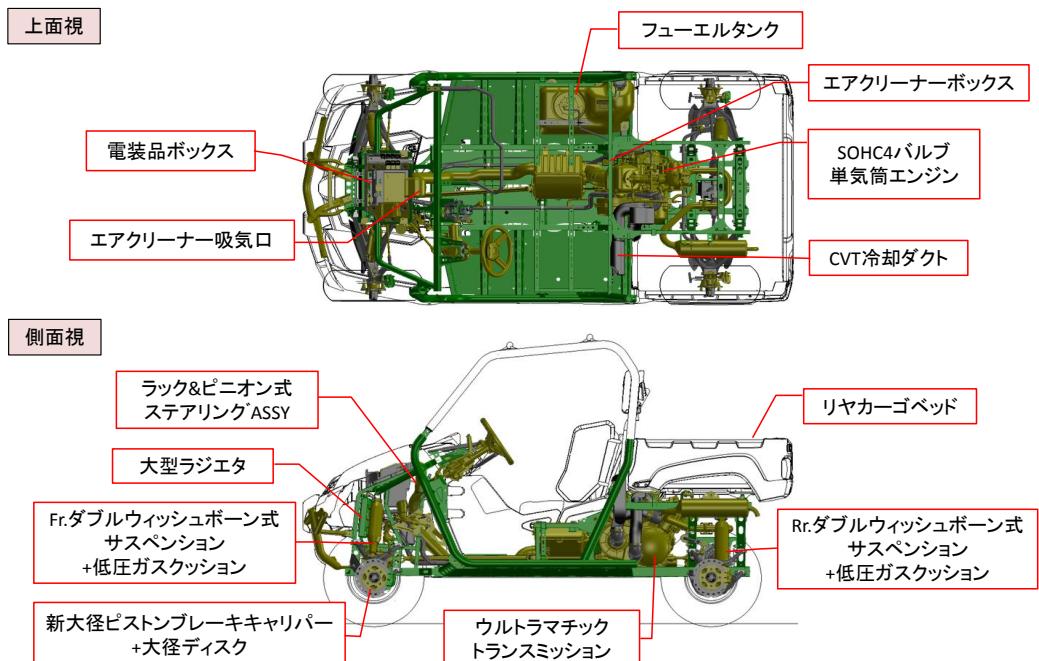


図2 レイアウト図



図3 積荷の上げ下ろしに便利なダンプ式リヤカーゴベッド



図4 フィット感、ホールド感を確保する分割シート

3-2-2. キャビンレイアウト

シートはフィット感とホールド感に優れるセパレートシートを採用した(図4)。さらに中央のシートバックを左右に対しで5度後方へオフセットし、乗員同士の肩が触れにくくすることで、3人乗員でもゆったりと座れる快適な居住空間を実現した(図5)。また全席3点式シートベルト、握りやすく位置調整が可能なパッセンジャーグラブバー、走行中の姿勢キープを支援するフートレスト、ショルダーボルスターなど、オフロードを快適に走行する様々な機能を採用した。フロア及びシートボトム面はフラット配置により、乗員のフロア内ウォークスルーを実現。農作業など幅広いシーンでの実用性を向上させた。



図5 3人が快適に過ごせるキャビン

インパネ部にはシフト／パーキングレバー類をハンドル右側に集中配置することで、良好な使い勝手を実現した（図6）。また大型グローブボックスと、カップホルダーを左右2個ずつ装備した。



図6 使い勝手に優れたインストルメントパネル

3-2-3. 走行性能

悪路走破性を向上するため、最低地上高を300mm確保し、加えて車体下面はなめらかな形状のスチール製スキッドプレートを採用した。またキャビン底面の左右を切り上げ端部の地上高を更に60mm切り上げることでスタックの抑制と優れた脱出性を達成した（図7）。

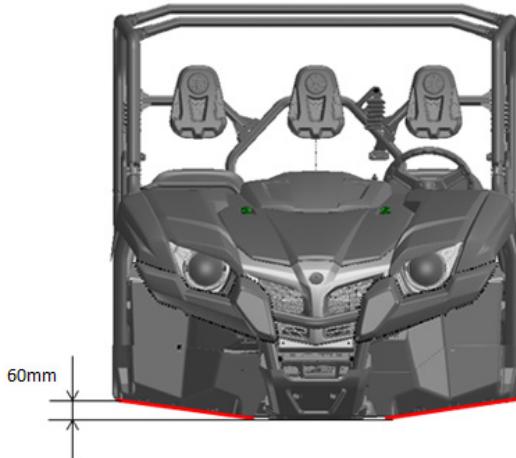


図7 悪路走破性を高めるボディデザイン

ステアリングシステム／Fr.サスペンションシステム全景を図8に示す。

ハンドリングの特性は、軽い操舵力、正確な応答性、自然な復元性などをバランスさせることで、ワークユースだけでなく、トレールでのライディングを楽しめるようにチューニングした。ステアリングシステムはラック&ピニオン式を採用了。特にステアリングギア比やレバー比、ステアリングア

ライメントの相互関係を最適化し、意のままに操れる軽くて自然な操舵感を実現した。また軽快なハンドリングを更に支援するために電動パワーステアリング装着仕様車を初めて採用した。

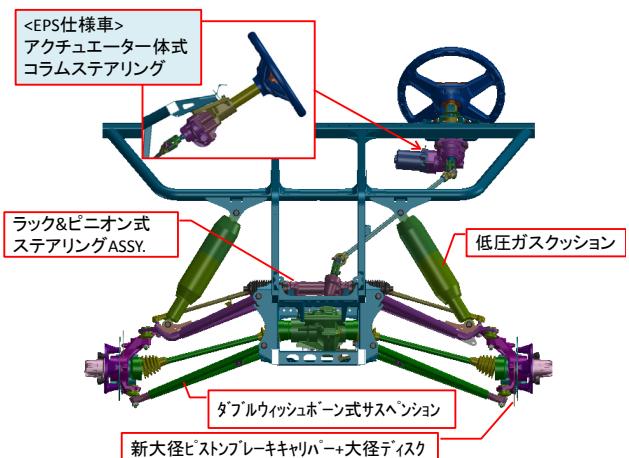


図8 快適な走行を実現するステアリング／サスペンションシステム(フロント)

前後サスペンションはダブルウイッシュボーン式とし、大型バンプラバーを備えた低圧ガスクッションの採用と、トラクション性能の高い新パターンタイヤの各部剛性をチューニングすることで、1名乗車時から最大積載時まで底付き感を緩和した快適な乗り心地と軽快な操舵感を実現した。また、積載条件に関わらず安定した充分な制動力を確保するために、ブレーキは前後油圧式ディスクブレーキとし、フロントに新大径ピストンブレーキキャリパーと大径ディスクを新規採用した。

4 おわりに

本モデルは、当社米国子会社であるYMMC (Yamaha Motor Manufacturing Corporation) 開発陣と協働により北米市場調査や現地テストなどを通し、常にお客様視点での開発を進めることでこれからのスタンダードROVとして魅力的なモデルとなった。また冒頭に記載した主要な開発のねらいを達成しながらも、魅力的な価格で市場へ提供できたことで、より幅広いお客様にご満足いただけると確信している。引き続き市場変化に対応し進化を重ねることで、お客様の期待を超える商品となるよう開発を継続していく。

今後の毎年の新製品および改良モデルに期待をしていただきたい。

■著者



当社開発担当者

鈴木 孝典 (後列左端)

Takanori Suzuki

事業開発本部

RV事業部

開発部

新堀 雅秀 (後列右端)

Masahide Shinburi

事業開発本部

RV事業部

開発部

望月 茂弘 (後列左から2番目)

Shigehiro Mochizuki

事業開発本部

RV事業部

開発部



YMMC Product Development一同

Todd Booth (右端)

YMMC (Yamaha Motor Manufacturing Corporation)

PD (Product Development)

<Message from YMMC-PD>

The 2014 Viking is a milestone vehicle for the global Yamaha RV team. Just as Yamaha created the side by side market in 2003, we will again reinvent the market in 2014 by offering top-class occupant comfort, functionality, terrainability, style and value. The Viking is just the first of what will be a new ROV (Recreational Off Highway Vehicle) launched each year for the next five years. The Yamaha RV team is made up of equal parts YMC and YMMC design and testing staff that have formed a special partnership that blends the best skills, experiences and resources of both sites to develop products that exceed customer expectations. This special YMC/YMMC partnership reaches back to 1996 during the development of the Beartracker ATV. The YMMC Product Development team is passionate about off-road products and is motivated by the pride we feel when meeting satisfied customers at various riding venues. YMMC PD, together with our partners in YMC RV, will never lose sight of our customers.

阿曾 秀明

当論文は、日本プラントメンテナンス協会（JIPM）の2013年度TPM優秀論文賞を受賞した内容に基づくものです。

要旨

モーターサイクルのアルミ車体フレーム溶接をロボット施工する際、種々の要因で「手直し」と呼ばれるハンド修正が行われる。本研究ではこの手直しの削減を目指し、アルミMIG溶接に共通する原理課題である、溶接始点の溶け込み不足に着目した。

TIGアーケによる事前溶融池形成を行うTIGMIG複合プロセスを検証し、複雑な形状の車体フレームに適用できるコンパクトなハードウェアの開発と、安定生産のための施工条件作り込みを行うことで、オンロードモデルにおいて68%の手直し工数削減が実現した。

Abstract

Arc welding is a widely used method in motorcycle chassis construction, from its joint strength and design/application flexibility. Though, in a mass-production robot process of a complex shaped chassis welding, there has always been a need for re-work by hand, due to multiple reasons, including lack of start-point penetration in MIG welding. This project focused on this start-point penetration, and developed a TIG/MIG hybrid welding process that forms a molten pool prior to MIG start, along with a compact tool suitable for motorcycle chassis application. The result was a 68% reduction in re-work time on an on-road type chassis.

1 はじめに

モーターサイクルの車体フレームの接合には、継手設計の自由度、および接合強度の観点からアーケ溶接が広く用いられている。アルミ車体フレームの場合、一般的に適用されるアーケ溶接工法は固定電極方式のTIG溶接と、消耗電極方式のMIG溶接がある。TIG溶接の特長はその美麗な溶接ビード外観や、入熱に対する溶着金属量の調整幅にあり、MIG溶接の特長は高速性や合面精度に対する許容度にある。ヤマハ発動機では量産フレームのロボット溶接に後者を採用している（図1）。

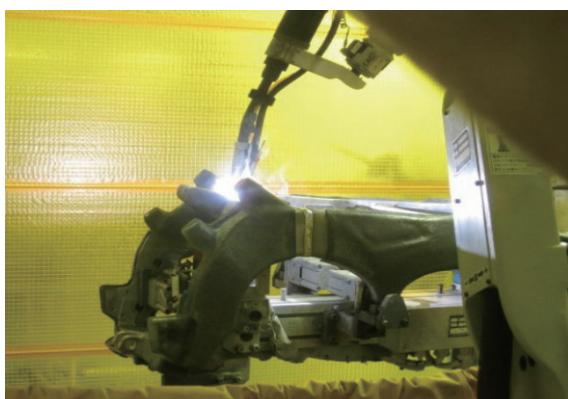


図1 フレームのロボットMIG溶接の模様

しかし、比較的許容度の高いMIG溶接であっても、ロボット施工においては要求品質を100%満たすには至っておらず、現状ではハンドTIG溶接による補溶接（以下、手直し）を定常工程とせざるを得ない。手直しの原因となる各種の溶接不良現象には、部品精度・ロボットの軌跡精度・アーケの安定性など多様な要因が複合的に絡んでおり、日々様々な改善が進められているものの、アルミフレームの溶接において手直しを必要としない手法は確立されていない。それは、前述の各種バラツキ要因の他に、解決しなければならないMIG溶接の原理的な課題があるためである。

本稿では、このMIG溶接の原理課題に対する設備側からのアプローチとしてTIGMIGハイブリッド溶接工法を開発するとともに、それを実機生産に適用した際の手直し削減効果を評価した結果について述べる。

2 アルミMIG溶接の原理的な課題

アルミ材料は熱伝導率が高く、溶接加工点への入熱は急速に周囲へと拡散していく。鉄と比較して融点の低いアルミの溶接において、鉄溶接よりも高いアーケ熱量が求められるのはこのためである。アルミMIG溶接の特徴は、溶着金属ワイヤ

(以下、ワイヤ)の先端と母材の間でアークを発生させ、ワイヤ先端と母材がともに溶融しながら進行する点にある。すなわち、アーク熱量とワイヤ送給量はバランスしているため、加工点に対してアーク入熱のみを加えたり、溶着金属のみを加えたりすることはできない。

従って溶接部近傍の母材温度が低い時、すなわち溶接開始点(以下、始点)においては、母材溶融がワイヤ供給に追いつかないために、溶着金属が母材と融合しない(図2)。この状態は母材の板厚によって始点から10~15mm程度の溶接長に渡って継続し、溶接強度の低下を招くだけでなく、過度に凸形状となった始点ビード端部への応力集中の原因となる。溶接構造一般においては、このような品質不良部位を溶接後に製品から切除する手法が用いられる。しかしモーターサイクルの車体フレームは多くの場合、閉断面の全周溶接構造であるため、加工後に切除する方法は採用できない。そのため、始点ビードの凸形状をハンドTIGで炙ることにより、なだらかな形状に修正する「手直しロス」が生じる。



図2 従来 MIG 溶接始点のビード外観と溶け込み

3 始点品質向上のための ハイブリッド溶接

3-1. 既存ハイブリッドMIG溶接の種類と特徴

前章で述べたように、MIG溶接の原理課題は始点に充分な母材溶融プールが形成されないことによる溶け込み不良にある。つまり、溶着金属を供給せずに熱のみを母材に与えることができる付加熱源を用いれば、始点から母材に充分な溶融プールを形成することが可能である。

MIG溶接に付加熱源を与える考えは従来から存在し、目的に応じてTIGアーク/プラズマアーク/レーザなどが使い分けられている(図3)。しかし多くの場合、そのトーチサイズの大きさにより狭小部への進入が求められるフレーム溶接への適用は困難である。

開発の狙い (用途)	TIGMIG ハイブリッド	プラズマMIG ハイブリッド	レーザMIG ハイブリッド
始点溶け込み への有効性	○	△ (付加熱の集中性不足)	△ (付加熱の集中性過多)
フレーム溶接 への適用	✗ (トーチサイズ)	✗ (トーチサイズ)	✗ (トーチサイズ)

図3 各種ハイブリッド MIG の特徴

3-2. 始点溶け込み向けTIGMIGハイブリッドの原理

通常「TIGMIGハイブリッド」呼ばれる工法は、MIG溶接加工点に付加熱量を加えることで速度と溶着量を向上させることが目的であるが、ここでは前述の「初期溶融プール形成」にTIGアークを用いる工法について述べる。まず、MIGアークのシールドガス雰囲気中にTIGのタンゲステン電極を挿入し、MIGスタート直前にTIGアークにより溶融プールを形成する初期実験を行った(図2)。その結果、以下2点が確認された。

- ・TIGアークを消弧した直後にMIGアークに点弧すると、凝固した後のTIG溶融プール上にMIGビードが形成され、始点ビードと母材は融合しない(図4a)。
- ・TIGアークを消弧する前にMIGアークを点弧することで、定常溶接部と同等の溶け込みとビード高さを始点から得られる(図4b)。



図4a TIG 消弧後に MIG スタート



図4b TIG 消弧前に MIG スタート

3-3. 生産適用可能な複合トーチの開発

3-3-1. トーチヘッドのコンパクト化

初期実験では、ブラケットを介してMIGトーチとTIGトーチの両方をロボットに装着した(図5)。しかしこれでは、製品や拘束治具の奥まった狭所への適用が困難である。そこで、TIGとMIG両方の電極を持ちつつ可能な限りコンパクトな複合トーチを新たに製作した(図6)。複合トーチの特徴としては、

TIG電極ホルダー(i)をMIGガスノズル(ii)のサイドにマウントして、TIGパワーケーブル(iii)およびTIGガスホース(iv)をMIGトーチネックの外部に這わせている点があげられる。TIGパワーケーブル端子はTIG電極ホルダーの上部に直接取り付けられ、TIGガス経路はノズル先端付近でMIGガス経路と合流する。この構造により、互いに絶縁された2つの電極への給電構造と2つのシールドガス経路の簡素化を図った。さらに、従来MIGトーチとの互換性を確保できるため、従来MIGロボット設備を大きく改造することなくハイブリッドトーチを使用することが可能となっている。

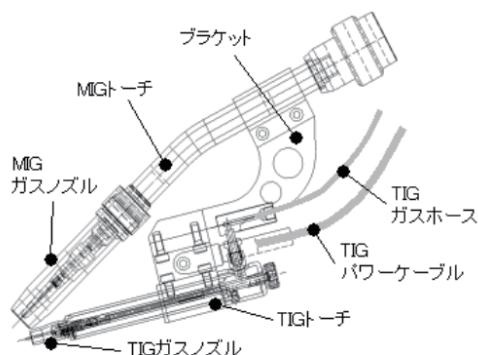


図5 初期実験に用いた試作トーチ

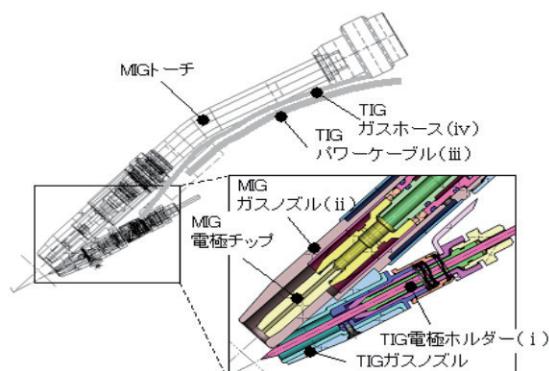


図6 小型化を図った複合トーチ

3-3-2. TIG電極メンテナンス工数への対応

母材とワイヤ先端の間でアークを発生させるMIG溶接の銅製給電チップ(以下、チップ)自体には、アーク熱による消耗は起きず、主にワイヤとの摺動によりチップ内径が過大になることで交換が必要となる。すなわち、チップ寿命は比較的長く、生産ラインのロス工数としての影響度は低い。その一方で、TIG電極それ自体がアークの発生点であるため、高融点のタンゲステン製であるにも関わらず溶融・蒸散によって消耗し、

生産中に定期交換が必要となる。これはTIGMIGハイブリッドにおいても同様で、TIG電極を備えたために従来MIGにはなかったロス工数を生むことになる。そこで、電極寿命および交換工数の2つの観点でこの電極交換ロスを抑制した。

電極寿命に対しては、アルミ溶接に通常用いられる交流TIGと比較して電極消耗の少ない直流TIGを用いることで寿命アップを図った。通常、電極が常時マイナス電位となる直流TIGでアルミを溶接することはできない。これは、アルミ溶接には電極がプラス電位のアークが持つ酸化膜クリーニング作用が必要なためである。しかし、TIGアークで始点に溶融プールを形成しその上にMIGアークを放つ本工法においては、プール上の酸化膜はMIGアークのクリーニング作用で除去され、母材と溶着金属の融合に影響を与えないことが分かった(図7)。



図7 交流TIG(左)と直流TIG(右)の場合の溶け込み比較

交換工数に対しては、TIG電極およびトーチネック外部を這うTIGパワーケーブルの固定機構に工夫を施すことで対応した。TIG電極の交換には、電極の着脱の他に電極先端位置の突き出し量調整作業も必要となる。そこで、電極の固定と給電を兼ねるコレットボデーを着脱式とすることで突き出し調整作業を外段取り化するとともに、コレットボデーのトーチへの固定にはバヨネット機構を用いた。さらに、TIGパワーケーブルの端子をC型の開放形状とし、バヨネット機構のバネ反力を一部利用して摩擦固定する方式をとることで、片手での容易なTIG電極・パワーケーブル着脱を実現しつつ、トーチサイズを抑制することができた(図8)。その結果、TIG電極交換工数は、内段取り・ネジ式固定の3.4分/回に対して1.0分/回まで削減された。元々の従来MIGにおいても、溶接長にして1000mm程度の使用でノズルに付着したスパッタの清掃(0.5分/回)が必要になるため、ノズル清掃と同時に電極交換を行えば、停止ロス増を最小限に抑えることができる。

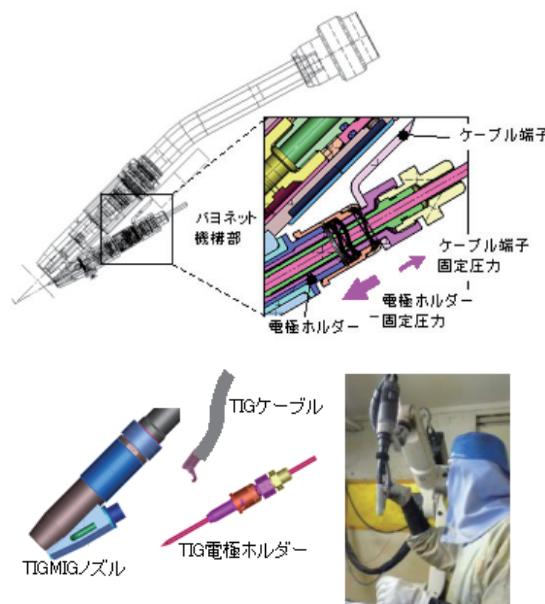


図 8 バヨネットを応用了した片手での TIG 電極着脱機構

3-4. 安定生産のための施工条件開発

3-4-1. 溶接始点ビード品質の安定化

ハイブリットトーチ開発の初期段階においては、始点ビード品質が安定しないことが多かった。乱れのパターンには2つあり、ビード表面が酸化物に覆われる外観不良と、ビード形状の乱れであった。

前者の根本原因是、TIG電極をマウントした異形MIGノズル形状にあり、MIGガス経路にTIGガス経路が合流する際にシールドガスが乱流化されることが、シュリーレン撮影の結果明確になった。異形ノズルからシールドガスを安定供給するために、ノズル形状の作り込みとTIGMIG各シールドガス経路の流量バランスを調整した。(図9a,b,c)。

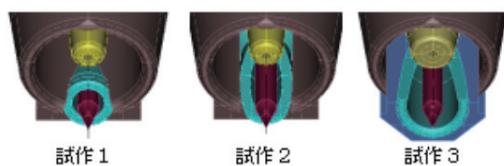


図 9a シールドガス経路仕様の変遷

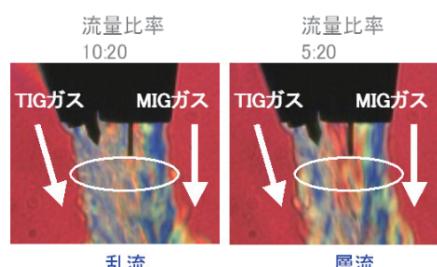


図 9b シュリーレン撮影でのガス流観察の例

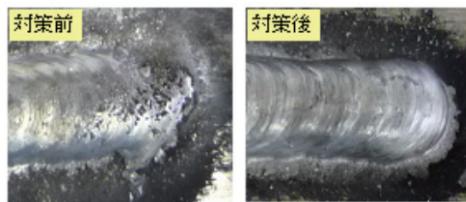


図 9c シールド性対策結果

後者はTIGMIGアーケの相互干渉に起因するものであった。3-2で述べたように、始点からの充分な融合を得るにはTIGMIGの両アーケが同時にONしている期間が必要である。この時、逆極性のTIGMIGアーケはそれぞれ反発し合う。この相互作用時にMIG溶滴が溶融プールの外に弾き出されていることが直接の原因であると予想された。相互作用は2電極の挟み角を広げることで緩和できるが、挟み角拡大はトーチサイズとのトレードオフとなる。従ってまずは、MIGアーケを点弧する直前にTIGアーケ電流を数十アンペアまで降下させることでアーケ相互作用の影響の低減を図ったものの、効果としては不充分であった。

続いて、始点ビード形状に大きく影響するMIG初期溶滴の移行形態に着目した。通常MIGのアーケ点弧は、母材にタッチさせたワイヤ端と母材との間の微小スパークをきっかけにアーケを誘引する。これに対し、TIGアーケ中のMIGスタート時には、TIGアーケによる空間電位の変動によりワイヤ端が空中にあるにも関わらず母材短絡したとMIG電源が判断する。また、TIGアーケがMIG点弧の着火材のように作用し、空中にあるMIGワイヤ端からアーケが発生することなどが、高速度撮影による観察から分かった。つまり、MIGの初期溶滴の落下開始位置が高いために、母材へと落下するまでの間にTIGアーケからの反発を受ける時間が長くなり、大きく軌道を反らす要因となっていた(図10a)。これを対策するためには、スタート時にMIGワイヤ端が必ず母材から1~2mmの低い位置にあるように制御する必要がある。ワイヤ端調整には一般的にワイヤカッターが用いられるが、アーケスタート毎にワイヤカッターまで移動していくにはロボットの空走時間を増やすことになる。そこで、TIGアーケ点弧の前にMIGワイヤを空送りして母材短絡させ、そこから一定時間リトラクトさせることで、母材とワイヤ端の距離を短く一定に保つ動作を行うようにした。このようにスタートシーケンスに工夫を施すことで、安定した初期溶滴移行と良好なビード形状を得ることができた(図10b)。

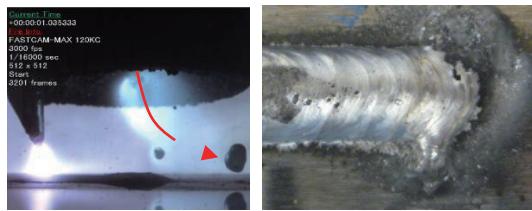


図 10a TIG アークにより弾かれる初期溶滴とその時のビード外観図



図 10b 対策後の初期溶滴落下とその時のビード外観

3-4-2. TIG点弧性向上への取組み

TIGMIGハイブリッドによる連続生産にあたって直面した問題のひとつに、TIG点弧不良によるチョコ停があった。ここではチョコ停のない安定稼動を目指して行った施策について述べる。

本工法でのTIG電極は、常にMIG加工点からのスパッタにさらされており、使用に伴い表面にタンゲステンとアルミが合金化した層が形成され(図11)、点弧性を悪化させる。これはTIG電極の格納機構などを設ければ回避できるが、それによりトーチサイズが肥大化してはフレーム溶接に適用できない。そのため、前述のようにノズル清掃と同期した電極交換を行う運用方法を当初より検討していたものの、ノズル清掃タイミングより先に点弧不良が発生する頻度が高く、ラインの安定稼動を妨げる原因となった。



図 11 TIG 電極へのスパッタ付着による合金層の形成

TIGアーカーは母材・電極間の空間絶縁破壊を行うことで点弧されるのが一般的である。絶縁破壊の方法には、高周波を用いる方法と直流高電圧を用いる方法の2つがある。TIGMIG各電極の近接配置を避けられない本工法では、MIG電源やロボットへの高周波ノイズ流入防止が困難であることから、直流

高電圧スタート方式のTIG電源を採用した。そこで点弧性向上策としては、電圧をそのままに絶縁破壊性能を高める方法と、4.5kVに達する直流高電圧出力を加工点まで分流損失なく伝達する方法の2通りを検討した。

電極間の火花電圧の指標として参照したパッシュエンの法則によると、平行な平板電極間で火花放電の生じる電圧は、ガス種およびガス圧と電極間隔の積の関数であることが示されている(図12)。対象が平板ではなく尖った電極であることから火花電圧の絶対値は異なるものの、大気圧下・電極～母材間距離(以下スタンドオフ)2～5mmの間では、標準的なシールドガスであるArよりもHe雰囲気の方が火花電圧を下げることが期待できる。TIGMIGハイブリッドはシールドガスを2系統持っているため、例えばTIGアーカー点弧時ののみTIGノズルからHeを供給することも可能である。しかし、後述のように直流高電圧の分流損失に関する調査を行ったところ、Heガスによる火花電圧の降下は対策として不適当であることが分かった。

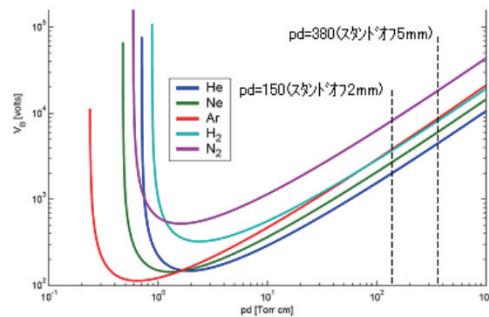


図 12 パッシュエンの法則が示す火花電圧の特性

暗所での観察と高電圧プローブでの測定の結果、トーチ構造内でのスパーク(図13a)をきっかけにTIG電極に印加される電圧が低下していることが観測された(図13b)。

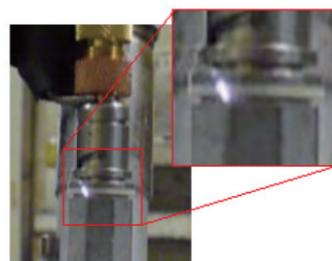


図 13a 高電圧印加時に絶縁層を飛び越えるスパーク

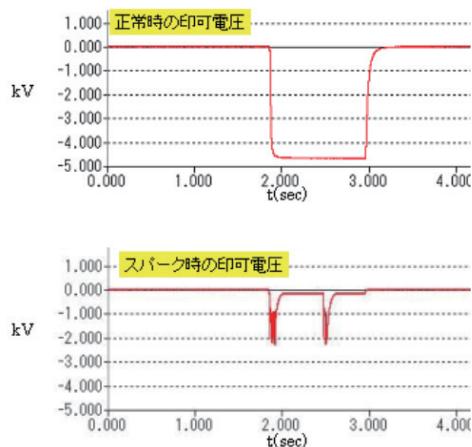


図 13b スパーク発生時の TIG 電極への印加電圧

スパークによる分流損失を抑制するには、絶縁を強化する方法と、分流経路を遮断する方法が考えられる。絶縁を強化していくと、次々と違う箇所からのスパークが起き、最終的にはAr雰囲気中にてTIG電極からMIGワイヤへとスパークするようになる(図13c)。つまり、He雰囲気を用いて火花電圧を下げる、スパークによるMIG溶接回路への分流を促進するだけで、TIG点弧性の向上には繋がらない。



図 13c TIG 電極から MIG ワイヤへのスパーク

次に、多岐に渡る分流経路のうち最も影響の大きいMIG溶接回路を、TIG点弧時にのみ大容量リレーで遮断する機構を組み込んだ(図14a)。また、TIGスタート成功時は必ず電圧印加から0.3秒以内に点弧していることと、リトライ回数が多いほど点弧成功率は上がることから、TIG点弧の際の高電圧印加を0.3秒周期で高速リトライするスタートシーケンスとした(図14b)。

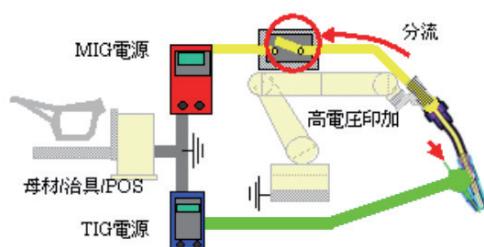


図 14a MIG 回路遮断機構

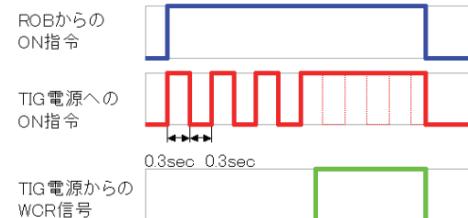


図 14b 高速リトライシーケンス

これらの対策の結果、TIG点弧性は著しく向上し、それはスタンドオフ余裕度として表すことができる(図14c)。スタンドオフ7mmまでは1秒以内に点弧する確率が100%で、TIG電極とMIGワイヤの間隔は8mmである。つまり、TIG電極消耗と製品バラツキから想定されるスタンドオフ2~5mmの範囲では、MIGワイヤへのスパークを起点にした分流損失によるTIG点弧不良は発生しないことになる。

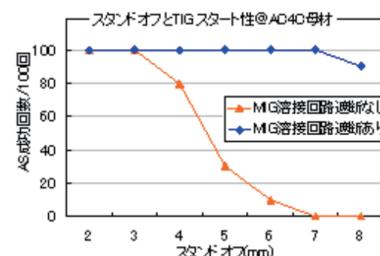


図 14c MIG 回路遮断機構による点弧性改善

4 実機生産への適用

4-1. TIGMIGハイブリッド溶接による効果

ここでは、あるオンラインモデルのフレーム生産に、TIGMIGハイブリッド溶接を適用した結果について述べる。このフレームは2点の大物鋳造部品で構成され、溶接始点は4箇所である。効果測定の指標として、2回に分けておよそ700台を生産する間の手直し長さ(ハンドTIGでビードを引いた長さ)および工数(手直しオペレーターがTIGトーチを手に取ってから置くまでの時間:溶接ビードの目視検査を含む)を測定した。

手直し長さの推移を図15aに、手直し工数の推移を図15bに示す。TIGMIGが手直し量に対して明確なインパクトを与えることが分かる。通常MIGに対し、TIGMIGハイブリッド1回目の生産検証では平均手直し長さ▲67%、作り込みの進んだ2回目の生産検証では▲88%、となった(図15a)。

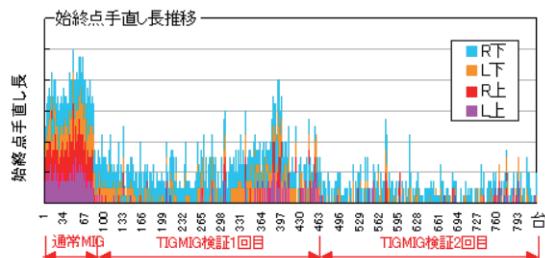


図 15a 手直し長さの推移

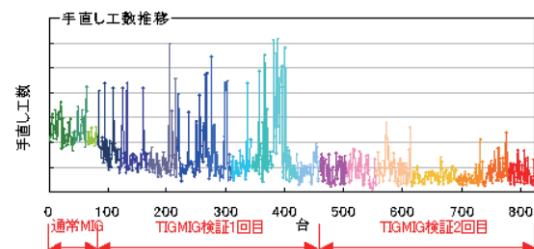


図 15b 手直し工数の推移

また、平均手直し工数については、TIGMIG1回目では▲39%、2回目では▲68%となり(図16a)、従来は生産数の80%以上を占めた1.0~2.0分の手直し発生が1.9%にまで減少した(図16b)。

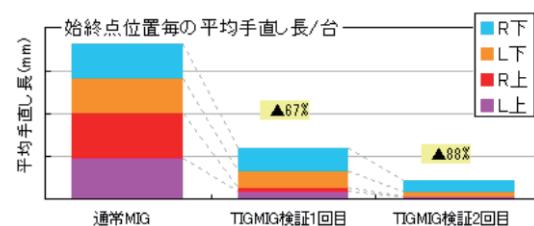


図 16a TIGMIG導入による平均手直し長さの変化

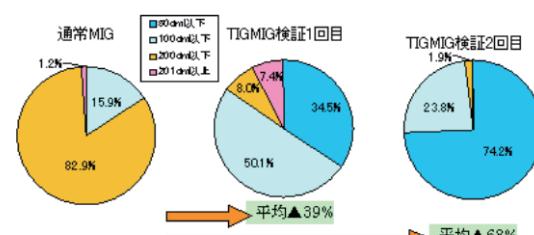


図 16b TIGMIG導入による平均手直し工数の変化

今回検証を行った国内小規模ラインの場合、配員1名の時には手直し工数削減がそのままサイクルタイム短縮に繋がり、およそ14%の溶接コストダウン効果が得されることになる。

この取組みの本質的な課題である「手直しゼロ」の達成率

に関しては、従来MIGでは0%であった割合が、TIGMIGハイブリッド検証1回目では1.6%、2回目では30.7%に増加した(図17)。



図 17 手直しレスフレームの割合

4-2. TIGMIGハイブリッド溶接の課題と対策

従来MIGに対して増加するロスとして、TIG電極の交換工数があることは先に述べた通りである。この他に、アーカスター時の各種シーケンスに伴うロボット工数増がある。この工数増により、手直しを完全にゼロ化して定常工程から排除しない限り、導入効果がライン出来高に明確に現れない場合がある。具体的には、ライン配員1名での低負荷操業時には平均手直し工数の削減値と同等のCT短縮効果が得られるのに対し、配員2名での高負荷操業時にはロボットネックにより僅かながらCT増となる。すなわち、TIGMIGハイブリッドのメリットは、前述したその他手直し要因の改善との相乗効果になって表れる。

また、本稿ではオンラインモデル1機種に適用した結果について述べたが、実際の溶接ラインには多種多様な製品形状・部品構成のフレームが流れる。MIGトーチの汎用性を可能な限り損なわないコンパクトな複合トーチの開発を目指したが、トーチ進入性の不足でTIGMIGハイブリッドを適用できないモデルが複数存在している。TIGMIGハイブリッドの持続的な運用のためには、製品形状および治具構造・ロボットシステム等も視野に入れた、総合的な取組みが必要となる。

5 おわりに

TIGMIGハイブリッド溶接の効果測定結果は、工法の有効性を示すだけではなく、始点溶け込みというアルミMIG溶接の原理課題を取り除いた際に残存する手直し要因とその影響度を浮き彫りにしている。項目としては、ワーク精度などに起因する狙いズレの手直しと、铸造ガスによるブローの修正などが挙げられる。これらを改善するには製品設計や前工程からの技術的インプットが必要であり、それら単体の及ぼす改善効果を量量化することも、本取組みの目指すところである。

溶接始点品質向上のためのTIGMIGハイブリッド溶接は、工法・設備としては一定の完成度に達した。本格的な生産運用のためには各種課題が山積しているが、溶接の技術理論値向上は中長期的視点においては必須であり、効率的なモー

ターサイクル車体製造を達成するための総合的な取組みのひとつの要素として、今後も周辺技術を含めた工法の開発を続ける。その他、燃料タンクの溶接など、車体フレーム以外への応用も視野に、基礎的な加工技術として根付くように取組みを継続していきたい。

■著者



阿曾 秀明

Hideaki Aso

技術本部

生産技術統括部

生産技術部

野村 佳孝

当論文は、日本プラントメンテナンス協会（JIPM）の2013年度 TPM 優秀論文賞を受賞した内容に基づくものです。

要旨

東日本大震災の復興支援として、ヤマハ発動機（以下、当社）では和船の大増産を展開したが、それと同時に増産した舟艇の輸送能力の強化が求められた。

そこで、3次元 CAD や CAE 解析を活用し、新たに2段積みラックを3ヶ月という短期間で開発した。その結果、輸送能力は2倍になり、商品のタイムリーな供給が可能になっただけでなく輸送コストの50%削減も同時に実現した。

Abstract

As a form of support for the restoration of the regions stricken by the Great East Japan Earthquake and Tsunami, Yamaha Motor Co., Ltd. greatly increased production of utility boats in order to replace those lost or destroyed in the disaster. To accommodate this increase in production, there was a concurrent need to strengthen boat transport capabilities.

In response to this need, we employed 3D CAD and CAE analysis to develop a new transport rack for transporting two boats stacked one upon the other, within a short period of three months. As a result, transport capacity was doubled, and the method not only enabled timely supply of the products but also reduced transport cost by 50% at the same time.

1 はじめに

東日本大震災の後、船舶需要が急増し、当社では復興支援として通常の生産規模の10倍前後の「空前の大増産」を行うこととなった。

それに伴う生産工場の再編で、生産工場を北海道から西日本に移管した製品もあり、輸送量の増大・長距離化・高コスト化に対応した輸送能力の強化が求められた。



図1 生産工場の変更と輸送の長距離化

その中で大型和船は、生産数の大幅な増加に加え、輸送距離も2倍になった(図1)。その一方で、輸送には特殊なト

レーラーを使用するために、機材確保などに課題があった。

輸送効率を向上させるためには、大型和船を2隻同時に運ぶことが有効であるが、従来のプロセスでこのようなシステムを開発するには多くの時間を必要とする。そこで今回、3ヶ月という短い開発期間で機材を開発するために、3次元CADやCAE解析を活用するとともに、工場担当者・輸送担当者へ早い段階で設計レビューを徹底することで、新たな2段積みラックの開発を目指した。

2 輸送方法の検討

2-1. 大型和船W35の緒元と輸送機器

今回輸送する和船は、W35と呼ばれる重量1.6トン、長さ10.5mの大型舟艇(図2)で、輸送は大型のトレーラーを使っている。

2-2. インフラの状況と荷扱いの制約

大型和船の積み下ろしには、フォークリフトかクレーンが必要であるが、現地の港湾は津波で破壊され、クレーンが使用できない。また、大型のフォークリフトも使えないために、3トン

クラスのフォークリフトの適用が前提となる。

さらに、現地で荷扱いの担当者が不在の場合を想定し、トレーラーの運転手がひとりでオペレーションできる方法を考える必要がある。



図2 大型和船W35の主要諸元

2-3. 輸送機材

四国からは、復興和船W35以外の舟艇も出荷されており、その一部はトレーラーによって輸送される。そのため、荷台の

構造が異なる複数のトレーラーを活用できる輸送方法を考える必要がある(図3)。

2-4. 輸送方法選択

これまで、船の輸送能力を向上する方法として、段積輸送が採用してきた。

主な方法は以下2種類がある。

① 専用ラック方式

段積み用の専用ラックに船を入れる方法(図4 左・中)

② 門柱方式

トラックに門型の柱を立てて2段に積む方法(図4 右)

大型和船を段積みする上で、①の専用ラック方式は、船を高く吊るし、上側からラックに入れる必要があるので、クレーンや大型のフォークリフトが使用できない今回のケースでは、採用できない。一方、②の方法は、荷台の柱用の穴を使うことができ、トレーラーの荷台の構造の違いに影響されないことからこの方法を採用した(図5)。

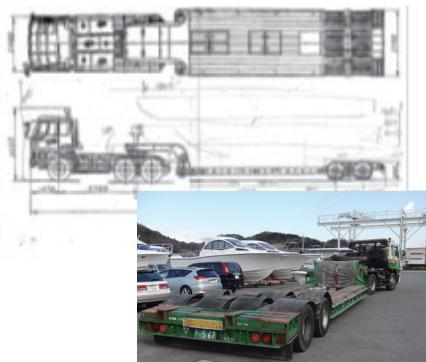
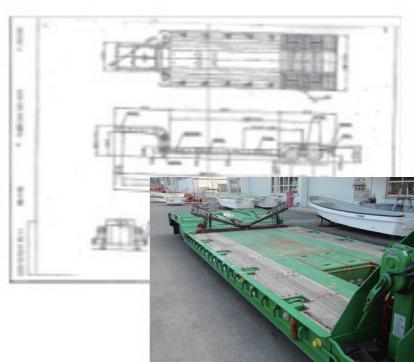
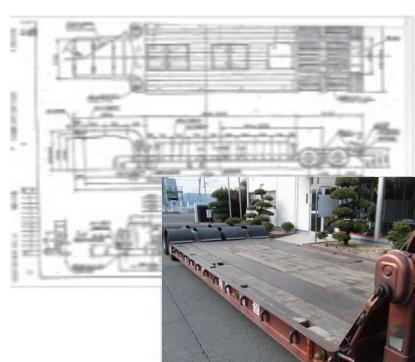


図3 使用予定のトレーラー3種



図4 段積み方法

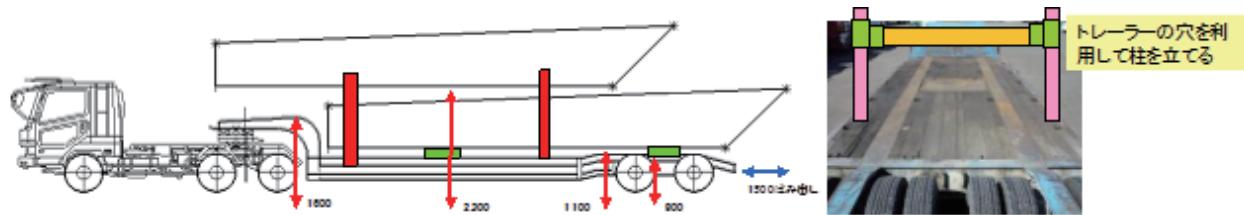


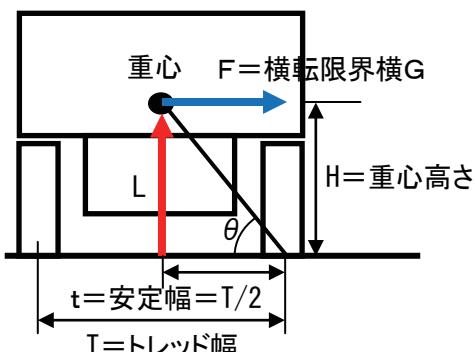
図5 門柱方式

【トレーラー輸送実験のコンテナ床面での発生加速度基本統計値】

	上下方向	前後方向	左右方向
最大値	11.24	3.73	3.74
最低値	1.06	0.15	0.26
平均値	2.29	0.36	0.54

単位 G: 重力加速度

表1 トレーラーにかかる加速度



重心高さ(全体):モーメント法

$$H = \frac{\text{トラクター重心} \times \text{トラクター重量} + \text{トレーラー重心} \times \text{トレーラー重量} + \text{積載物重心} \times \text{積載物重量}}{\text{トラクター重量} + \text{トレーラー重量} + \text{積載物重量}}$$

転倒限界横G

$$\text{横G}(V^2/R) = \frac{\text{重量加速度}}{\tan\theta} = \text{重力加速度}g \times \frac{\text{安定幅(トレッド幅/2)}}{\text{重心高さ}}$$

図6 転倒限界横G

3 開発目標

3-1. 強度基準

輸送機材を設計する上で、機材の耐荷重値・耐衝撃値を決める必要がある。

今回は、設計の条件として、国土交通省が行ったトレーラーの輸送試験^[1]のデータを元に耐衝撃値を設定した(表1)。

3-2. 輸送の安全性

大型の和船を段積みするために、重量の増大に加え、重心も高くなることで、横転事故の危険性が高まることが考えられる。一般的に、横転のしにくさは、「転倒限界横G」(図6)で評価されており、これを基準に走行安定性の評価を行った。比較対象としては空の40ft HC(フィートハイキューブ)のコンテナを積んだトレーラーを設定し、トレーラーの「転倒限界横G」を上回ることを目指した。

3-3. 輸送コスト削減

対象となる和船の生産拠点工場は、北海道から西日本に移管されたため、輸送コストが2倍となることから、輸送コストの半減を目指した。

4 開発のポイント

4-1. 強度の作りこみ

4-1-1. 機材の構造と諸条件

門型の構造で、道路交通法の車両の寸法規定をクリアするには、図7のような積載が必要である。船体幅が広いため、積載時のクリアランスを考慮すると、柱の幅方向の厚みは50mmしか確保できず、柱は細くなり、剛性面で不安がある。

また、機材には和船重量の静的な荷重に加え、加減速の加速度や、コーナーリング時の横方向の加速度による動的な荷重、さらに、路面の荒れなどによる衝撃がかかる。そこで、必要な機材の強度を知るために、設計の初期段階から構造解析を行った。

4-1-2. 構造解析を使った設計検討

設計の第一段階として、一般的に入手できる鋼材を使用し、門型を作った場合の静的荷重と動的荷重を評価した。柱の断面は、トレーラーの取り付け穴の断面サイズをもとに、L100mm×W50mmとした。

構造解析の結果、角柱の厚みを最大の6mmにすれば、安全率を見込んだ静的荷重は満たすが、動的荷重は確保でき

ないことがわかった(図8)。

そこで、前後方向の加減速に関しては、輸送車両の進行方向にワイヤーを張る張力構造にすることで、耐荷重を向上させた。

左右方向の加速度に関しては柱側面に厚いパネルを貼って、剛性を上げることで必要な強度を確保した(図9)。

上下方向には、左右方向に比べ大きな加速度が発生することで(表1)、柱が中央に向かってたわむ力がかかるため、そのための強度が必要であるが、先ほど行った柱側面へのパネルの追加によって、必要な強度が確保されていることが確認できた。

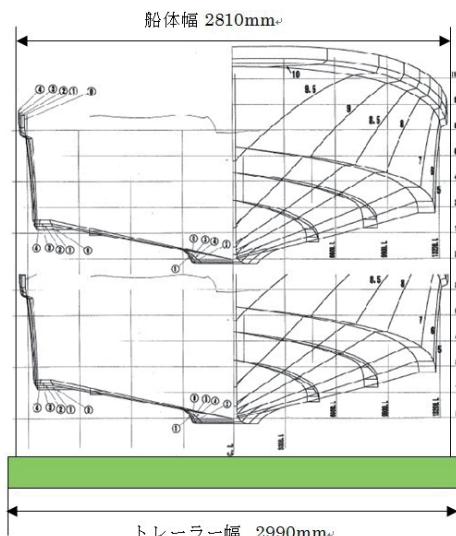


図7 柱の寸法制限

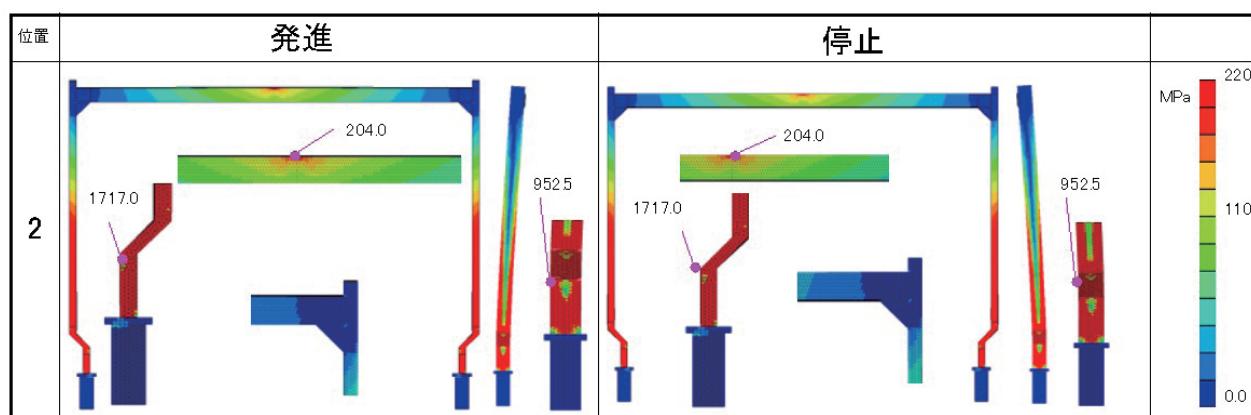


図8 初期の検討結果 水平方向の加速時の応力

復興和船 2段積み輸送方式の開発

Development of a two-boat stacked transport method to support the restoration of tsunami-afflicted areas with utility boats

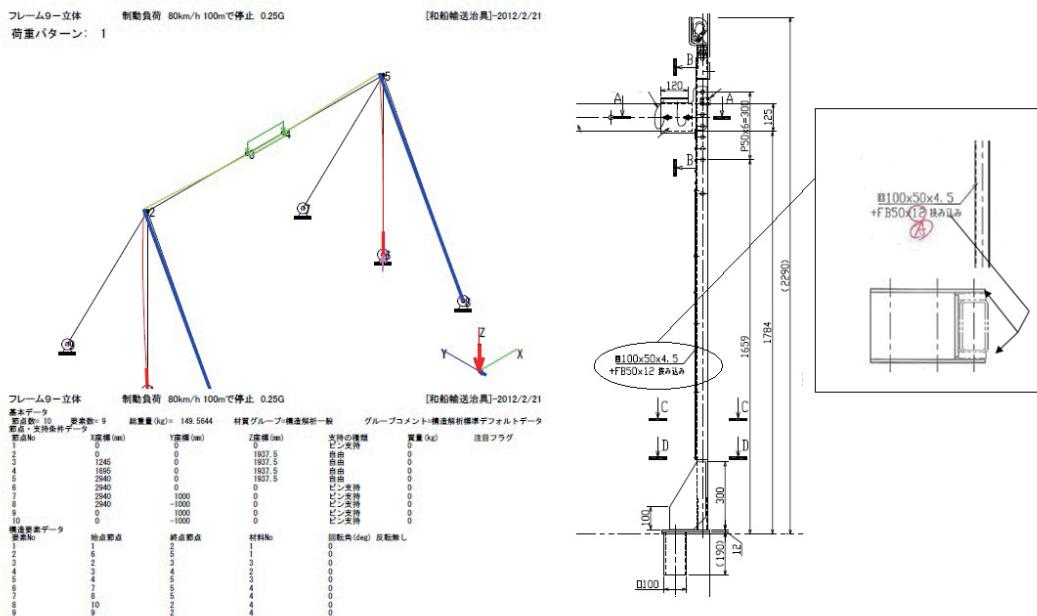


図9 最終の設計検討結果

柱の左右にパネルを
張り付け強度を上げる

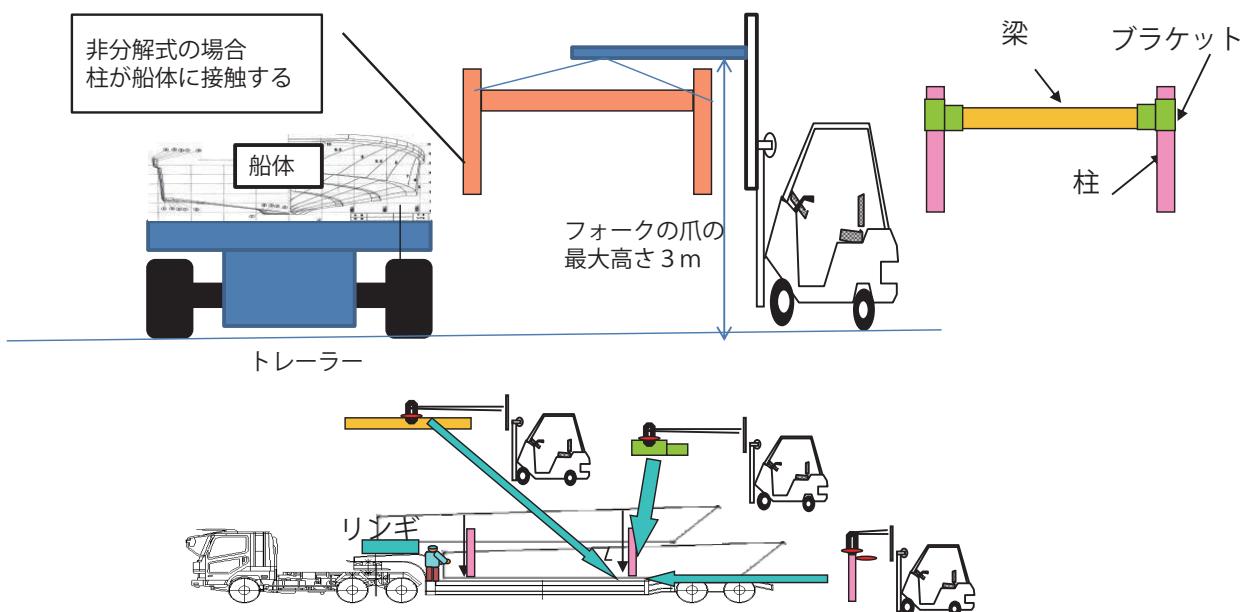


図10 分解可能な構造にする必要性

4-1-3. 分解構造

作業性の検討の中で、荷扱作業で3トンのフォークリフトでオペレーションを行う必要があることが分かった。

しかし、3トンのフォークリフトは、爪の最大高さが3m程度であり、船をまたいで門柱を取り付けられないので、分解可能な構造にする必要がある(図10)。

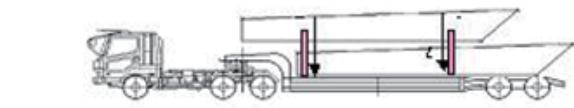
分解可能な構造の問題は、柱と梁にガタが生じ、剛性を確保するのが難しくなることである。そこで今回は、柱と梁の取り付けを強化するために、柱と梁の間にチェーンブロックで張力をかけて柱と梁の固定強度を増すことで必要な剛性が確保できた(図11)。



図 11 梁と柱の固定



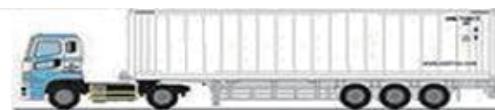
図 12 一人作業用吊治具



$$H = \frac{0.87m \times 6860kg + 0.8m \times 1200kg + (1.1+1.375)m \times 3200kg}{6860kg + 1200kg + 3200kg} \\ = 1.30m$$

横転を起こす横G

$$\text{横G} = \frac{1.25}{1.3} G = 0.96G$$



$$H = \frac{0.87m \times 6860kg + 0.8m \times 1200kg + (1.1+1.448)m \times 3920kg}{6860kg + 1200kg + 3920kg} \\ = 1.41m$$

$$\text{横G} = \frac{1.25}{1.41} G = 0.84G$$

図 13 横転の起こしやすさの比較

4-2. 作業性向上

被災地で和船を積み下ろしする場合、工場のようにサポートがない場合があり、ドライバー 1名で柱や梁の取り付けを行う場合がある。

その際の作業性を向上させるために、一人作業で、吊り下げ、位置決めが可能な吊治具を作成した(図12)。

4-3. 安全性の評価

3-2. 輸送の安全性の章で述べたとおり、「転倒限界横G」を基準に、空の40ftハイキューブのコンテナを積んだトレーラーを比較対象に評価を行った。評価の結果、大型和船を2段積みしたトレーラーの「転倒限界横G」は、40ftハイキューブのトレーラーを上回ることがわかった(図13)。

5 効果測定

3月23日に四国 志度において第1回輸送試験(100キロ)、4月11日～14日にかけて北海道から四国(1400キロ)への第2回輸送試験を行った。輸送試験は、実際に製作した棚で大型和船を運搬し、問題点を洗い出すことを目的としている。

5-1. 第1回輸送試験(四国 志度)

第一回試験では、船体の積み下ろしの作業性、走行中の棚の強度や船体の固定(ズレの有無)などを確認し、問題ないことを確認した。加えて、輸送環境記録計による衝撃の計測を行い、トレーラーに加わる衝撃が、基準値を下回っていることが確認できた(図14)。

この結果から、長距離の試験に進んで問題ないと判断した。

5-2. 第2回輸送試験(長距離 北海道-四国区間)

試験中は、運送会社とヤマハ発動機の物流関係者が、車両と船体を観察しながらトレーラーを追尾し、気付いた点があればトレーラーを停止し、対策を行った。

実輸送試験では、以下の3つの問題が発生したが、適切な対策を実施し、その効果が確認された(図15)。

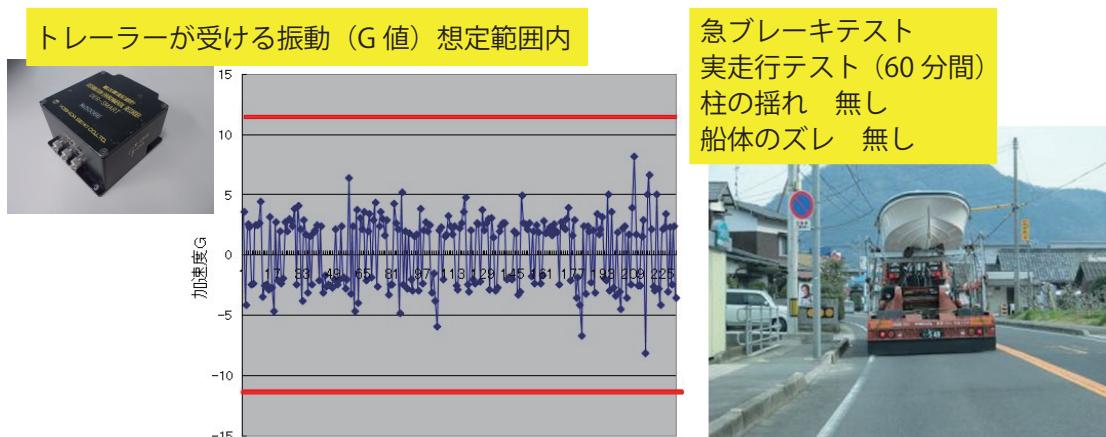


図14 第一回輸送試験

	問 題	対 策
1	船体の移動 車体前側 後方向 20mm 左方向 50mm	   船体を固定するロープを増やす。
2	船体と機材の接触 1の船体のズレの発生により、車体前側の柱のビーム固定用レバーブロック(破線位置)と船体が干渉し、傷がつく。	 問題のレバーブロックを廃止し、別のレバーブロックでビームを固定する。
3	船体固定ベルトと ガンネルの接触 ガンネルとベルトが接触し、接触部が白化する。	 A. 平ベルト+レバーブロックをラックの柱に張る。(2箇所) B. 平ベルト+レバーブロックを車体のフックに張る。(1箇所)

図15 長距離輸送試験で判明した問題と対策

6 導入効果

今回開発した2段積のラックにより、輸送能力は2倍になり、商品のタイムリーな供給が可能になった。加えて、1台当たりの輸送費が50%削減できた。

7 おわりに

3次元CADとCAE解析を用いて初期に設計を熟成させ、工場・輸送担当者に設計レビューを行い、早期に設計成熟性を高めることで、3ヶ月という短期間でコストを含めたすべての開発目標値をクリアした輸送システムを開発することができた。

当社では、普段はモーターサイクルやATVの梱包設計を手がけているが、今回のような大型の商品の運搬について経験が少ない。しかし、3D-CADや構造解析を積極的に使用し、デザインレビューを繰り返すことにより、やり直しが少なく、短期間で効果的な成果をあげることができた。

当社の商品は多岐に渡っており、今回のプロジェクトで得たノウハウを、様々な商品の安全かつ効率的な運送方法の開発に生かしていきたい。

■参考文献

[1]国土交通省 東北地方整備局：環日本海沿岸地域におけるロシア及び北東アジアとの経済交流連携を通じた地域活性化方策の検討調査(東北) ,p63-180,2008.3

■著者



野村 佳孝

Yoshitaka Nomura

生産本部

生産戦略統括部

物流・安全貿易部

画像による無人車の不整地自律走行技術と 果樹農業への活用提案

Image-based autonomous navigation technology for unmanned vehicles on uneven ground and a proposal for use in orchard operations

石山 健二 吉田 瞳 深尾 隆則 村上 則幸

要旨

車輪が路面から受ける外乱が大きく、草や樹木の枝葉などが車両周囲状況の安定した計測を阻む不整地において、実用的な無人車の自律走行技術は確立されていない。我々は果樹園での農作業支援を想定し、比較的安価でシンプルな構成により、厳しい不整地環境に対応した技術を開発し実機検証してきた。

本稿では上記取り組みの1つである、全方位カメラ画像による無人車の直接制御方法について提案する。また応用例として調査用カメラを搭載した無人車システムと果実検出手法について紹介する。

Abstract

As of yet, there is no established technology for practical, autonomous navigation of an unmanned vehicle through rough terrain where external disturbances like slopes, slippage and uneven ground in particular greatly affect the tires, and elements like overgrown weeds and tree branches/leaves make it difficult to obtain constantly reliable detection of conditions around the vehicle. With intent to support agricultural work in orchards, we have developed and performed verification tests of an autonomous navigation technology in a system that has a simple structure, is comparatively inexpensive and capable of operation in severe uneven ground conditions.

As one part of the pursuit described above, in this report, we propose a method for direct control (steering) of an unmanned vehicle based on images from an omnidirectional camera. As an example of practical use, we introduce the autonomous navigation system for an unmanned vehicle with a surveillance camera and a method for detecting the fruit of trees.

1 はじめに

農業従事者の減少、高齢化、耕作放棄地の拡大といった問題を抱える中、我が国の果物の品質や生産性を維持する手段の1つとして、無人車を活用した作業支援が挙げられる。

我々は作業の性質に応じて下記2つの手法を提案した^[1]。いずれもコストや果樹の枝葉といった遮蔽物の影響を考慮し、無人車の制御で一般的なRTK-GPSや慣性計測装置(IMU)、方位センサを用いず、比較的安価なカメラまたは2次元レーザーレンジファインダ(以下、LRF)のみを用いる。

【手法1】運搬支援や薬剤噴霧、施肥など、直線的な移動を伴う作業を想定し、櫛形経路(図1)を比較的高速(最大5m/s)で走行する。速度が高いのである程度離れた木の情報が必要であり、事前マップとLRFを用いて自車両の位置と向きを推定し制御する。また速度が高くなるほど路面から受ける外乱の影響も増大するので、それに対応した制御手法を採用する。

詳細^[2,3,4,5,6]は割愛するが、取組みの一部を図2~5に紹介する。図2は下草や枝葉が茂る果樹園での自律走行の様子を、図3,4はそれぞれ、このような厳しい環境で自己位置推定し、

高速走行およびジグザグ走行した結果を示す。図5は線形口バスト制御^[4]を適用し、厳しい凹凸環境で経路追従している様子である。

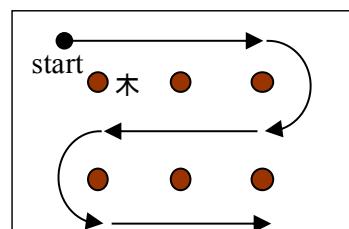


図1 手法1による走行経路



図2 下草や枝葉が茂る果樹園で樹幹との位置関係を認識し自律走行(最大5m/s)

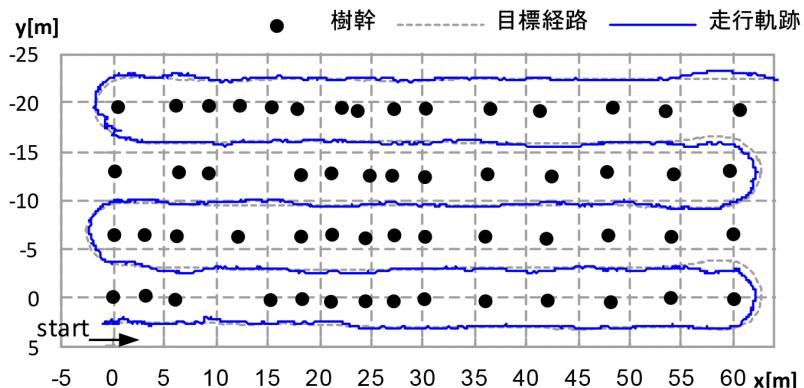


図3 図2の果樹園櫛形経路で5m/s自律走行
(軌跡は樹幹マップと LRF を用いた推定値。一部ぎざぎざしているが実際は滑らかに走行)

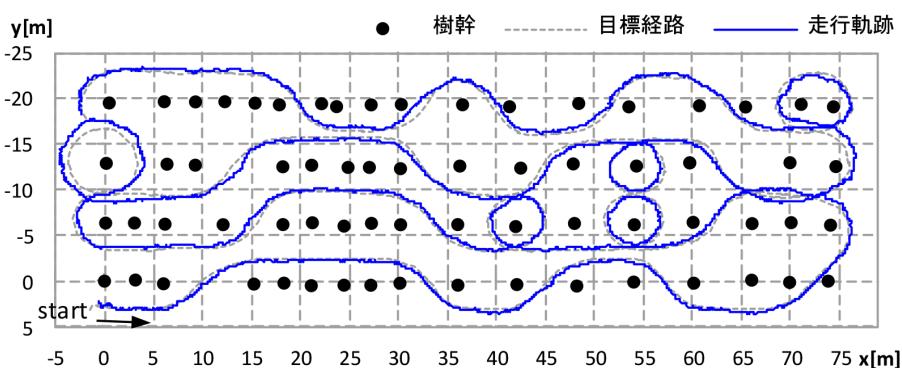


図4 図2の果樹園ジグザグ経路で2m/s自律走行
(軌跡は樹幹マップと LRF を用いた推定値)



図5 左右輪で位相が異なる深さ15cmの
凹凸路面で経路追従実験(最大3.5m/s)

【手法2】生育調査や薬剤スポット散布などを想定し、円旋回を中心とした経路(図6)を低速(1m/s前後)で走行する。果樹に対し直接的かつ高精度に作業を行いたいので、位置情報を介さず画像上で直接制御を行う“Image-based 制御”を採用した。2~3章で手法の詳細と実験結果を、4章で果実検出カメラと組み合わせた応用例を紹介する。

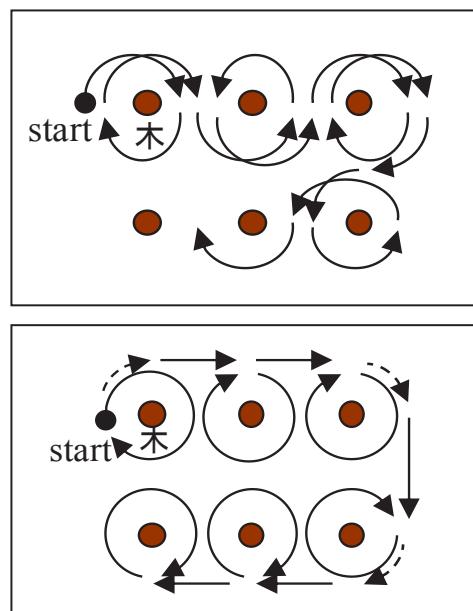


図6 手法2による走行経路

2 Image-based制御

Image-based制御は位置情報を介さず、画像内の対象物の見え方が目標状態になるよう直接制御する手法である。位置を取得する際に生じる誤差の影響を受け難く、対象物に対して直接作業を行いたい場合に適している。

本研究では作業対象の木を中心に旋回し、木から木に移り渡りながら巡回走行する。車両の動作を決定する際、対象の木だけでなく周辺の木を見る必要があるので、それらが視野から外れないよう、表1に示す全方位カメラをその光軸が鉛直上向きになるよう搭載した(図7,8)。全方位画像を用いて、ある木を中心に旋回する場合の概念を図9に示す。



図7 無人車に搭載した全方位カメラ
(左図の番号は表1に対応)

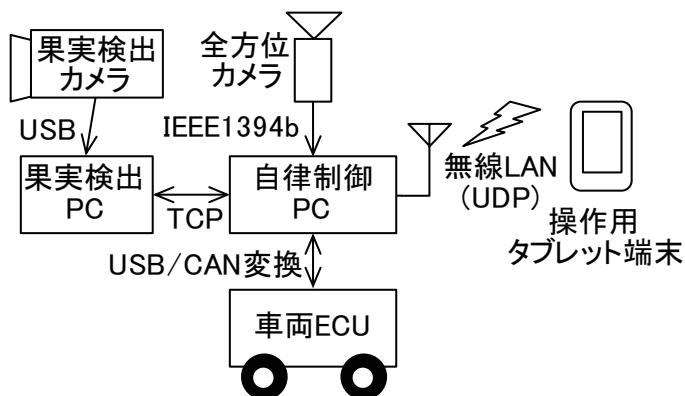
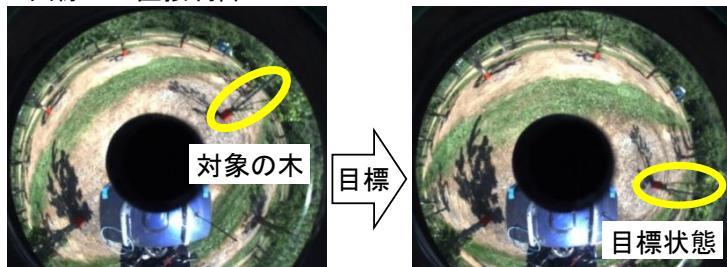


図8 無人車の構成

表1 全方位カメラの構成

構成品	メーカー	型式と主な仕様
①全方位ミラー	(株)映蔵	Hyper70 : ミラー径 70mm
②レンズ	富士フィルム(株)	フジノン HF12.5SA-1
③カメラ	Point Grey Research, Inc.	Grasshopper GRAS-50S5C-C カラー, 500万画素, 15FPS

1. 画像上で直接制御



2. その結果、車両が目標軌道上を走行する。

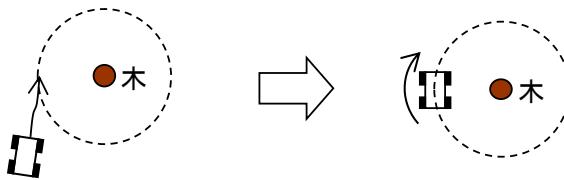


図9 Image-based 制御の概念

2-1. 制御器の導出

図10に示す前輪操舵型の車両モデルを考える。車両が平面内を移動し横滑りがないと仮定すると運動学モデルは式(1)で表される。以下、車両モデルに関する記号の意味を表2に示す。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、

$$\omega = \frac{v}{L} \tan \phi \quad (2)$$

である。

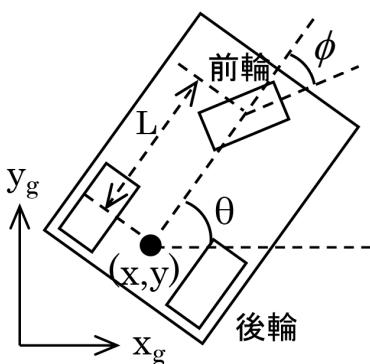


図 10 車両モデル（前輪を集約し 1 輪で表現）

表 2 本文中の記号（車両モデル）

記号	意味
x, y	グローバル座標系 $O_g - x_g y_g$ における車両後輪軸中心座標
θ	x_g に対する車両の向き
ω	車両角速度
v	車両進行方向速度
ϕ	操舵角
L	ホイールベース

我々は地面に固定された目標点 $P_t(x_r, y_r)$ を中心に車両を一定半径で円旋回させたい。そこで車両後輪軸中心と P_t を結ぶ線分に直交し、 P_t を通る仮想的な直線Aを導入すると、この状態は車両座標系 $O_v - x_v y_v$ から見て、直線Aを x_v 軸と平行かつ原点との距離を一定に保つことと同じである(図11)。以下、車両と直線の関係を表す記号の意味を表3に示す。

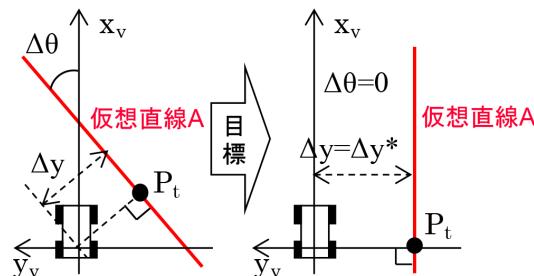


図 11 旋回時、車両座標系から見た仮想直線

表 3 本文中の記号（車両と直線の関係）

記号	意味
x_r, y_r	グローバル座標系 $O_g - x_g y_g$ における目標点 P_t の座標
X_t, Y_t	全方位画像座標系 $O - XY$ における目標点 P_t の座標
$\Delta x, \Delta y$	それぞれ車両中心と直線 A との前後方向、横方向誤差
$\Delta \theta$	x_v 軸と直線 A のなす角
θ_r	直線 A とグローバル座標系の x_g 軸とのなす角
ω_r	直線 A の角速度
Δy^*	目標旋回半径
h	カメラの地上高にあたるパラメータ

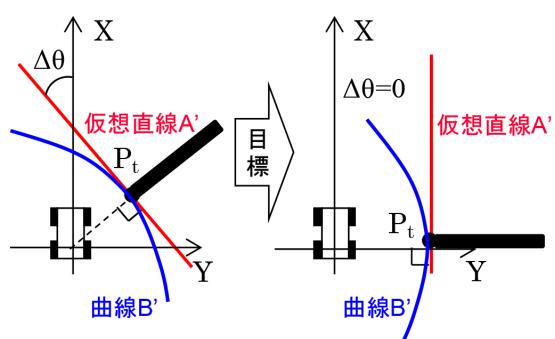


図 12 旋回時、全方位画像座標系から見た仮想直線

次に車両座標系での目標を全方位画像座標系での目標に置換えることを考える。全方位画像座標系 $O\text{-}XY$ から見て、地面上の直線は次の二次方程式で表される^[7]。

$$B_0 X^2 + B_1 Y^2 + 2B_2 XY + 2B_3 X + 2B_4 Y + 1 = 0 \quad (3)$$

ここで $B_i(i=0,\dots,4)$ はカメラパラメータを含む係数である。直線Aが全方位カメラにより画像平面上に投影される曲線をB'とする。曲線B'は式(3)の二次曲線で表される。また画像座標系での目標点 $P_t(X_t, Y_t)$ における曲線B'の接線を直線A'とする。全方位カメラの性質により、車両座標系での直線Aと画像座標系での直線A'の傾きは一致する。つまり画像座標系から見た目標は、直線A'を画像座標系のX軸と平行かつ原点との距離を一定に保つことになる(図12)。

次に状態方程式の導出について考える。車両と直線Aとの間に以下の幾何学関係が成立つ。

$$\begin{aligned}\Delta x &= (x - x_r) \cos \theta_r + (y - y_r) \sin \theta_r \\ \Delta y &= -(x - x_r) \sin \theta_r + (y - y_r) \cos \theta_r \\ \Delta \theta &= \theta - \theta_r\end{aligned}\quad (4)$$

ここで車両は P_t から見て常に直線Aと垂直な方向にあるので、 $\Delta x = 0$ である。一方、 B_3, B_4 は次式で表される^[7]。

$$B_3 = -(h \cdot \sin \Delta \theta) / \Delta y \quad (5)$$

$$B_4 = -(h \cdot \cos \Delta \theta) / \Delta y \quad (6)$$

式(5)(6)より次式が成立つ。

$$\Delta y = h / \sqrt{B_3^2 + B_4^2} \quad (7)$$

$$\Delta \theta = \tan^{-1}(B_3 / B_4) \quad (8)$$

画像平面上の直線A'は P_t を通過することと式(8)より、次式で表される。

$$Y = -\frac{B_3}{B_4}(X - X_t) + Y_t \quad (9)$$

この傾きと式(3)による曲線B'上の P_t における接線の傾き $\left.\frac{dY}{dX}\right|_{X=X_t, Y=Y_t}$ が一致するので、 B_3, B_4 は次のように画像から得られる X_t, Y_t を用いて表すことができる。

$$B_3 = -\frac{X_t}{2(X_t^2 + Y_t^2)} \quad (10)$$

$$B_4 = -\frac{Y_t}{2(X_t^2 + Y_t^2)} \quad (11)$$

最終的な状態方程式は、式(4)を用いて式(5)(6)を時間微分することにより次式で表される。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} = \frac{v}{h} \begin{bmatrix} B_3^2 - B_4^2 \\ 2B_3 B_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_4 \\ -B_3 \end{bmatrix} \quad (12)$$

画像座標系での制御目標は、車両座標系での目標 $\Delta \theta \rightarrow 0, \Delta y \rightarrow \Delta y^*$ と式(5)(6)を用いて、次のように置き換えられる。

$$B_3 \rightarrow 0, B_4 \rightarrow B_4^* = -h / \Delta y^* \quad (13)$$

次に式(13)の目標状態を達成する制御入力をリヤブノフ関数に基づいて決定するが、その関数の候補として次式を与える。

$$V = \frac{1}{2} B_3^2 + \frac{1}{2} (B_4 - B_4^*)^2 \quad (14)$$

これを時間に関して微分すると

$$\dot{V} = \frac{v}{h} B_3 (B_3^2 + B_4^2 - 2B_4 B_4^*) + B_3 B_4^* \omega \quad (15)$$

ここで $\dot{V} \leq 0$ となるよう制御入力 ω を次式で与える。

$$\omega = -\frac{1}{B_4^*} \left\{ kB_3 + \frac{v}{h} (B_3^2 + B_4^2 - 2B_4 B_4^*) \right\} \quad (16)$$

この時

$$\dot{V} = -kB_3^2 \leq 0 \quad (17)$$

である。ここで k は任意の正数でありチューニングパラメータである。これに式(10)(11)より求まる B_3, B_4 および式(2)を合わせ、車両ECUに与える指示操舵角が決まる。

念のため、式(16)で与えられる制御入力により安定性が保証されることを確認する。 V が有界かつ \dot{V} が一様連続なので、Barbalat's lemma^[8]より $\dot{V} \rightarrow 0(t \rightarrow \infty)$ となり、式(17)より、 $B_3 \rightarrow 0(t \rightarrow \infty)$ となる。したがって式(16)より、

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \omega = -\frac{v}{hB_4^*} (B_4^2 - 2B_4 B_4^*) \quad (18)$$

となる。 $\dot{B}_3 \rightarrow 0(t \rightarrow \infty)$ となることと、式(12)、(18)から、

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \dot{B}_3 = -\frac{v}{h} B_4^2 \left(1 - \frac{B_4}{B_4^*} \right) = 0 \quad (19)$$

$B_4 \neq 0$ なので、式(19)より $B_4 \rightarrow B_4^*(t \rightarrow \infty)$ となり、 B_3, B_4 がそれぞれ目標値に収束することが保証される。

なお式(13)の目標状態になっている場合の制御入力は式(16)より、 $B_4^* v / h$ となるが、操舵特性のばらつきや路面滑り等により、実際に必要な入力と一致しない場合がある。そこで一定の補正係数を乗じるか、適応制御を導入^[9]するなど対応している。

2-2. Image-based 制御を用いる際の巡回手順

無人車はその真横を通過する木をカウントしながら、巡回走行のための次の動作を決定する。例えばある木を中心に旋回する場合、旋回中心木と反対側にある4近傍の木をカウントする。所定のカウント数に達したら目標を次の木へ移し、旋回方向を逆に切替えるだけであり、旋回のための上記制御則のみを用いて巡回走行を実現できる(図13)。この手法は樹木がある程度整った格子状に並んでいることが前提であるが、事前に木の正確な位置を計測する必要がないというメリットがある。

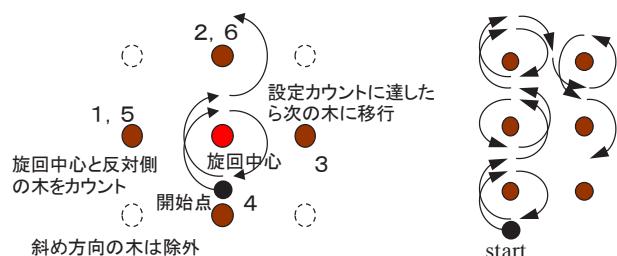


図 13 Image-based 制御による巡回手順

2-3. 全方位カメラによる木の検出

時間帯や天候によるコントラストの変化に対して安定的に木を検出するため、果樹園環境中に少ない赤色のシートをマーカとして木の根元に巻きつける(図14左)。RGB情報(赤緑青)のRの比率に基づいてマーカを抽出、さらにラベリングによって面積を求め、遠方のマーカやマーカ以外のノイズを除去する(図14右)。

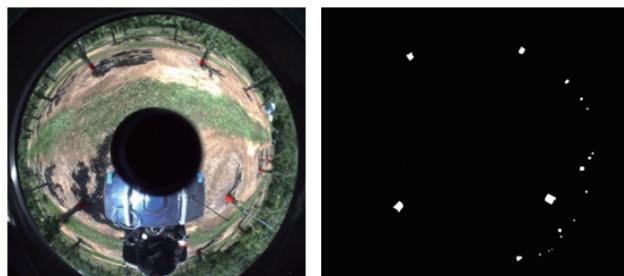


図 14 全方位カメラによる木(赤マーカ)の検出

3 果樹園での自律走行実験

前章の手法による果樹園(図15)での走行軌跡を図16に示す。目標旋回半径は2.5m、設定車速は1m/sである。参照データとして1周波RTK-GPS(20cm精度)を用いた。また画像上の状態量 B_3, B_4 から計算した横偏差 Δy を図17に示す。図16, 17中の数字はスタートから順に数えた切返し地点の番号である。切返し地点の誤差がピークになっているがプログラム上の問題で無視して構わない。

誤差は概ね20cm以内で、参照軌跡から分かる通り9回目の切返し地点まではきれいな円を描いて安定走行している。画像など情報収集を行うには十分な精度といえる。それ以降で軌跡が乱れている原因として、低速で切返しを繰り返したことによる操舵モータの過熱等が考えられる。

なお、現在はスライディングモード制御や適応制御を導入し、路面凹凸や車両特性の変動への対応力を高めている^[9]。またカメラの代りにLRFによる点群を直上から見た仮想的な画像に対して上記手法を適用^[10]することでマーカを用いず、高精度かつ障害物回避^[11](図18~21)を含む自由度の高い自律走行を実現している。

画像による無人車の不整地自律走行技術と果樹農業への活用提案
**Image-based autonomous navigation technology for unmanned vehicles on uneven ground
 and a proposal for use in orchard operations**



図 15 実験を行った北海道農業研究センターの果樹園(洋梨)

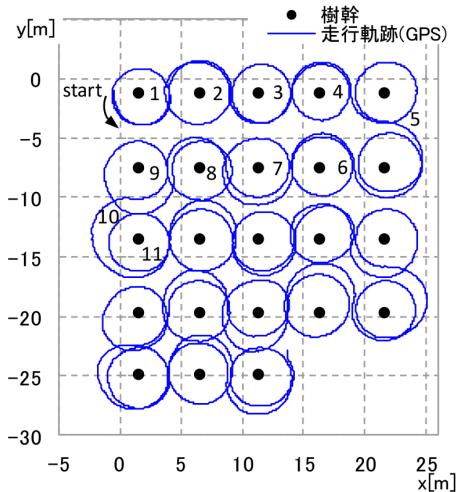


図 16 Image-based 制御による
果樹園走行軌跡

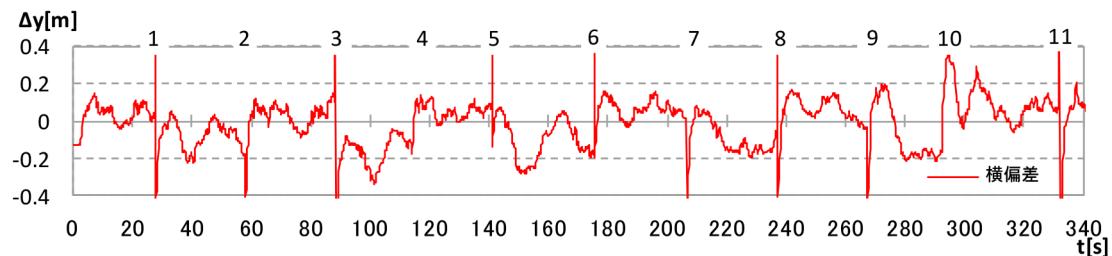


図 17 果樹園走行時の横偏差
(画像上の状態量 B_3, B_4 から計算)

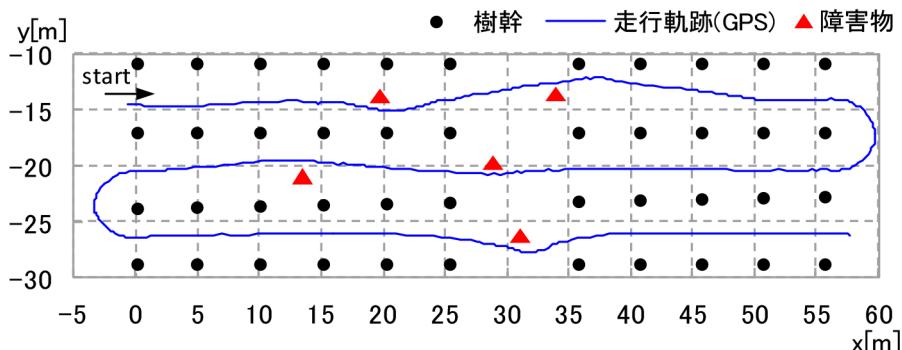


図 18 橫形経路で障害物回避
(3.5m/s. レーザ点群 Image-based 制御)



図 19 橫形経路で障害物回避

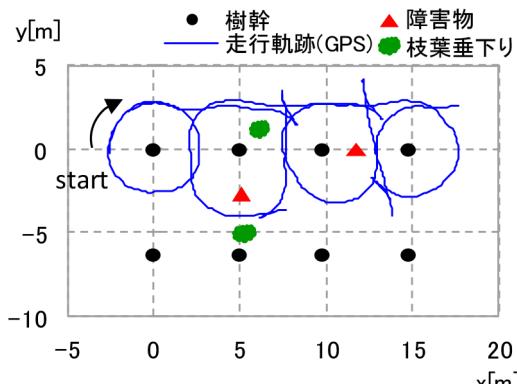


図 20 旋回経路で後退を含む障害物回避
(枝葉垂下りによる誤回避含む。
レーザ点群 Image-based 制御)



図 21 後退による障害物回避
(注: 図 20 に対応する写真ではない)

【第1段階】Haar-like 特徴量^[12,13]により果実の候補領域を特定する。Haar-like 特徴量は近接する矩形領域間の明暗差を表すもので、顔検出によく用いられる。今回は、1つの学習モデルで検出できなかった果実の画像を新たな教師画像群として別モデルを生成し、最終的な出力はこれら2つのモデルで検出した領域とする。

【第2段階】第1段階で検出された梨の候補領域に対して、HOG(Histograms of Oriented Gradients)特徴量^[14,15]と SVM(Support Vector Machine)^[16]を用いた識別をおこなう。HOG 特徴は局所的な勾配方向ヒストグラムにより対象物の形状を大まかに表すもので、人の全身像など、よりクラス内変動の大きい対象の検出によく用いられる。また学習用の非梨画像には、前段のHaar-like による検出器が誤検出するものを与える。

4 カメラ画像による果実検出

無人車が自動巡回しながら収穫対象の果実を検出し、着果数や状態を把握できれば、栽培管理や出荷計画策定、保険調査などに役立つと期待される。無人車に搭載可能な調査カメラの画像による果実検出の手法と実験結果について述べる。

4-1. 画像処理の手法

北海道農業センターで栽培されている洋梨を検出対象とする。サンプル中には果実と葉が同系色の品種が多く、色による識別が困難なため、形状的な特徴に着目した認識手法を採用した。また洋梨は近赤外(NIR)域で果実部の反射率が葉など他の部分と比較して高い。そこでNIR画像に対して下記2段階の処理を行うことで、着果位置や葉との重なりなどにより、形状がばらついている画像からの検出精度向上を目指した。これら処理の概略を図22に示す。

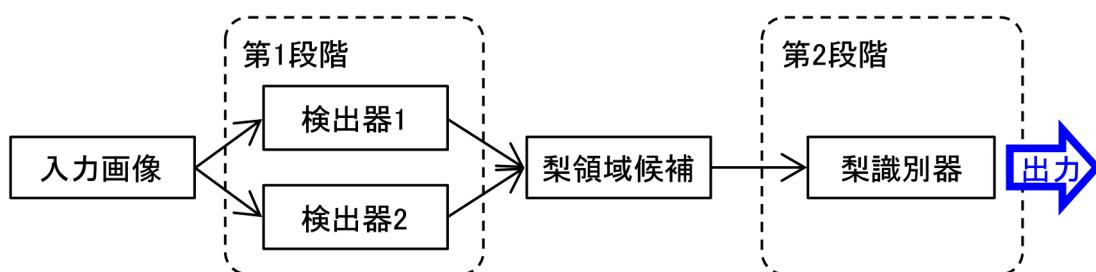


図 22 果実検出処理の概略

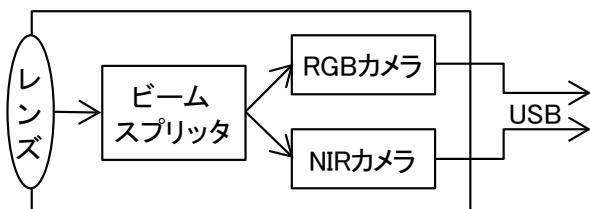


図 23 果実検出用 RGB-NIR カメラ

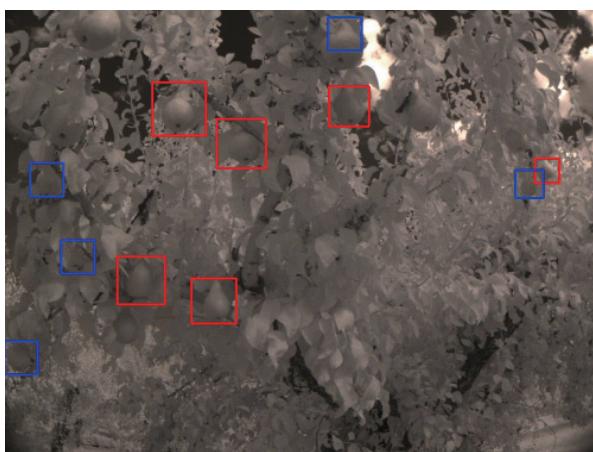


図 24 果実検出用カメラを搭載した無人車

4-2. 果実検出実験と結果

実験には図23,24に示すRGB-NIR カメラを用いた。これは画角78度のレンズにより至近距離から果樹全体を撮影でき、カラーおよび近赤外画像を同時に取得できる。学習用に梨画像、非梨画像それぞれ2000枚、評価用に教師画像以外の1803個の梨が含まれる画像を用いた結果、最終的な検出数は1069つつまりトータルでの再現率は6割であった。識別結果の例を図25に示す。

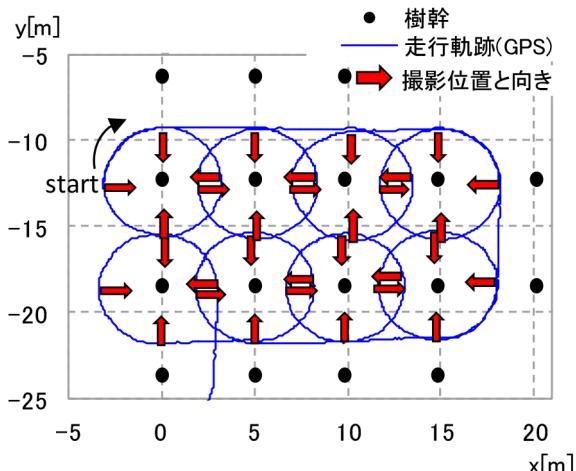
引き続き調査と検討が必要であるが、本手法は色情報に依存しないので、今後改善が進めば梨だけでなく広く果実全般への応用が期待できる。

図 25 梨領域候補に対する識別結果の例
(赤：梨と識別、青：非梨と識別)

4-3. 無人車との連動システム

今回の評価用画像は全て人手により撮影したが、果実検出用PCは車両制御用PCとLAN接続され(図8)、車両の動と連動してシャッターを切ることも可能である。例えば図26のように木の周囲を旋回しながら90度毎に正確に停車し撮影することができる。停車する理由は凹凸による振動でぶれるのを防ぐためである。

今後無人車から撮影した画像でも評価し、生育状況の把握や収穫のために広く果樹園で活用できるよう改善したい。

図 26 果実検出カメラ撮影位置の例
(レーザ点群 Image-based 制御による実走行軌跡を示すが、この時果実検出カメラ非搭載)

5 おわりに

比較的安価な構成で不整地の路面外乱や計測の不確かさ、車両特性の変動に対応した自律走行技術を開発してきた。今回紹介した手法を含め実環境で評価し、作業タイプや走行環境に応じどのような手段を取るべきか知見が得られている。さらに果実検出といった応用実験と合せて、管理や作業支援への活用可能性を示した。

課題として、今回紹介した無人車は当社製大型バギー車をベースとしており、必ずしも農業用途に適しているとは言えない。当社では様々なタイプの車両をラインアップしており、将来的に目的に応じた無人車システムを提案していくたい。また農業用無人ヘリとのプロトコルやUI(ユーザインターフェース)の共通化、情報システムの整備などを通じて当社無人ビークルのさらなる発展を目指す。

■謝辞

本共同研究において多大なご協力を頂いた神戸大学大学院の深尾隆則准教授、同研究室学生の皆様、北海道農業研究センターの村上則幸上席研究員、他関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

■参考文献

- [1] 深尾, 石山, 青木, 村上, 果樹園UGV, 第55回自動制御連合講演会 (2012)
- [2] 石山, 神谷, 深尾, 倉舗, パーティクルフィルタによる自己位置同定とロバスト制御を組合せた果樹園におけるUGV巡回走行, ヤマハ発動機技報, No.46 (2010), <http://global.yamaha-motor.com/jp/profile/craftsmanship/technical/publish/no46/pdf/gr04.pdf>
- [3] 倉舗, 深尾, 永田, 石山, 神谷, 村上, レーザレンジファインダによる自己位置同定と逆最適制御を用いた果樹園UGVの巡回走行, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.4, pp.428-435 (2012)
- [4] 加藤, 深尾, 青木, 石山, 村上, UGVのゲインスケジュールドH ∞ 制御による不整地での経路追従, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (2012)
- [5] 吉本, 深尾, 青木, 石山, 村上, ゲインスケジュールドH ∞ 制御によるUGVの速度制御, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (2012)
- [6] 関田, 深尾, 石山, 神谷, 村上, Path Following手法による牽引車両の後退制御, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (2012)
- [7] H. H. Abdelkader, Y. Mezouar and P. Martinet, Image-Based Control of Mobile Robot with Central Catadioptric Cameras, Proc. of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3353-3358 (2005)
- [8] J-J. E. Slotine and W. Li, Applied nonlinear control, Prentice hall (1991)
- [9] 関田, 永田, 倉舗, 深尾, 石山, 神谷, 村上, 果樹園における全方位カメラ画像に基づく適応スライディングモード制御, 日本機械学会論文集C編, Vol.78, No.789, pp.546-558 (2012)
- [10] 関田, 倉舗, 深尾, 石山, 神谷, 村上, 果樹園UGVのレーザレンジファインダを用いた巡回制御系の一設計法, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (2011)
- [11] 深尾, 石山, 青木, 村上, 果樹園UGVの実用化に向けて, 第57回システム制御情報学会研究発表講演会 (2013)
- [12] Viola, P., Jones, J. M., Robust Real-Time Face Detection, International Journal of Computer Vision, 57(2), pp.137-154 (2004)
- [13] Lienhart, R., Maydt, J., An Extended Set of Haar-like Features for Rapid Object Detection, Proc. of the 2002 IEEE International Conference on Image Processing, Vol.1, pp.900-903 (2002)
- [14] Dalal, N., Triggs, B., Histograms of Oriented Gradients for Human Detection, Proc. of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.886-893, (2005)
- [15] 藤吉 弘亘, 動画像理解技術基礎講座, <http://www.vision.cs.chubu.ac.jp/VU/pdf/VU6-FeatureExtraction.pdf>
- [16] Chih-Wei Hsu, Chih-Chung Chang and Chih-Jen Lin, A Practical Guide to Support Vector Classification, http://www.cs.sun.ac.za/~kroon/courses/machine_learning/lecture9/guide.pdf

■著者



石山 健二

Kenji Ishiyama
事業開発本部
UMS事業推進部
開発部



吉田 瞳

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



深尾 隆則

Takanori Fukao
神戸大学大学院
工学研究科
機械工学専攻



村上 則幸

Noriyuki Murakami
北海道農業研究センター
水田作研究領域

有効視野を用いたメンタルワークロード 推定手法の基礎検討 —ドライビングシミュレータ操縦を題材として—

Basic study on a method to estimate mental workload using useful field of view
- Based on operating a driving simulator -

森島 圭祐 大本 浩司 山中 仁寛

要旨

近年、自動車において運転中に利用される情報通信サービスの普及が始まっている。この安全な利用のために、運転者の情報処理の負担レベル（メンタルワークロード）に応じて運転者に提供する情報量をコントロールする必要がある。これを実現するためには、運転者のメンタルワークロードを推定する手法が不可欠である。そこで、本稿では運転者の有効視野に着目し、運転者のメンタルワークロードと有効視野との関係を明らかにした上で、ドライビングシミュレータの操縦を題材として、運転者の運転行動を妨げずに有効視野を推定する手法について検討を行った。その結果、メンタルワークロードの増加により有効視野が狭窄することを定量的に示すことができた。また、頭部を固定せず自由な視線移動が可能な状態において有効視野を計測する手法を確立した。さらに、処理の深さと広さを表す眼球運動関連パラメータを用いることで、運転者の有効視野を推定できる可能性があることを示した。これらより、視線情報を用いて運転者の運転作業に影響を及ぼさずにメンタルワークロードを推定できる可能性を示すことができた。

Abstract

In recent years, the use of telecommunication services while driving automobiles has begun to spread. In order to ensure safe use of these services, there is a need to control the amount of information provided in accordance with the mental workload (MWL) imposed on the driver to process the information. To achieve this task, a method for estimating a driver's MWL is essential. In this report, we discuss how we focused on the driver's "useful field of view (UFOV)" and clarified the relationship between the driver's MWL and UFOV as a working premise, and then explored methods to estimate a driver's UFOV without obstructing the driver's vehicle operation based on operating a driving simulator. Our results showed that it is possible to quantitatively show how an increase in MWL causes the UFOV to become narrower. We also succeeded in developing a method for measuring the UFOV without fixing the head. Furthermore, by using parameters related to eye movement that indicate the depth and breadth of information processing, we were able to show that it may be possible to estimate the driver's UFOV. Based on these results, we were able to show the possibility of estimating MWL without affecting driver operation by using eye movement.

1

はじめに

情報通信技術の進展により、4輪車や2輪車等の自動車においてもITS (Intelligent Transport Systems)やASV (Advanced Safety Vehicle)など、情報通信技術を応用した技術の普及が推し進められている。特に近年では、スマートフォンの普及と共に伴い高速モバイル通信規格(LTE等)の普及が進んでおり、自動車においてもこれらを活用した情報通信サービスの普及が進むと予想される。一方、自動車の運転者は、安全のために常に目や耳から情報を取得し、これをもとに他車両や歩行者の動き、信号や標識など、道路交通環境に存在する様々な情報に注意を払いながら運転を行わなければならない。しかしながら、運転者が処理できる情報の量には限

界があり、運転中の情報通信サービスの利用により運転者が処理しなければならない情報が増えると、安全な運転のために注意を払うべき情報に対する見落としや見誤り、誤判断、誤操作といったヒューマンエラーを誘発し、交通事故の一因となる可能性もある。そのため、自動車の運転時に利用される情報通信サービスを設計する際には、その利用が運転者にとって過剰な負担とならないよう考慮する必要があることはもちろんのこと、運転中においては、その負担レベルに応じて運転者に提供する情報の量をコントロールする必要がある。そこで、本稿では運転者が上述のような情報処理を行う際の負担レベルをメンタルワークロード(以下、MWL)と定義し、運転中

においてこのMWLを定量的に推定する手法について検討する。

ところで、前段において情報通信サービスの利用が交通事故の一因となる可能性について指摘した。交通事故のうち人身事故は実に83%が認知の欠如と反応の遅れに由来していることが知られているが、その認知の約90%が視覚情報によるものであるといわれている^{[1][2]}。そのため、運転者は見落としや不注意をなくすため歩行者や信号等の適切な視対象を速く正確に捉えなければならない^[3]。これらのことから、運転者が視対象をどの程度の範囲において捉えることができてかを理解することは、自動車の運転時に利用される情報通信サービスを設計する際に必要不可欠であるといえる。運転者が視対象を捉えることのできる視野の範囲を有効視野という。具体的には有効視野とは、視覚認知作業をするときに有效地に活用されている視野内における視覚情報収集可能範囲のことである^{[4][5]}。この有効視野の範囲は絶対的に規定されるものではなく、視対象の種類(大きさ・形状など)や作業環境(周辺の明るさなど)によって変化する範囲であるため、現在までのところ有効視野の標準的な評価法は定まっていない^[5]。そのため、自動車運転時のMWLと有効視野の関係を調べた先行研究は存在するものの、両者を定量的に取り扱ったものは少ない^{[6]-[9]}。また、従来の有効視野評価法は、頭部を固定する必要があるもの、視野内に視標を提示する必要があるものなど、運転作業そのものに影響を与えるものであり、運転作業に影響を及ぼさずに有効視野を評価する手法は確立されていない^{[10]-[12]}。

そこで本稿では、MWLと有効視野範囲の定量関係を明らかにした上で、ドライビングシミュレータの操縦を題材として運転作業に影響を及ぼさずに有効視野を推定する手法を検討する。これを通して、運転者のMWLを有効視野より推定する手法の提案を目指す。

2 有効視野計測・評価法

本稿では、有効視野計測・評価法として山中ら^[13]の手法を採用する。これは、注視点からの視対象までの距離を刺激の強度ととらえ、その距離における視対象の検出確率を心理測定曲線を推定することで求める方法であり、定量的に有効視野を測定することができる。

2-1. 心理測定曲線に基づく有効視野計測法

心理測定曲線で評価される刺激閾値を結んで形成される包絡線内の領域を有効視野と定義する。いま、図1に示すように、注視点S₁から認知対象物S₂への距離をxとする。

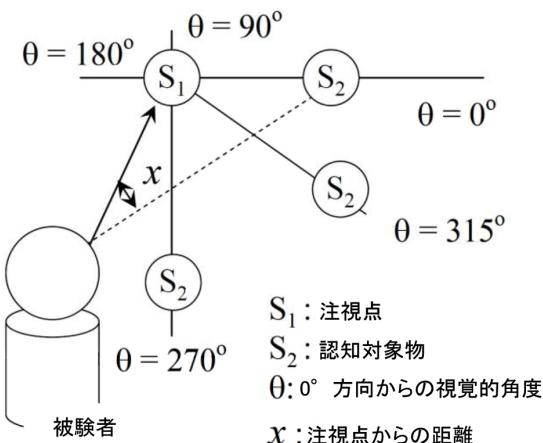


図1 注視点と視覚刺激の距離ならびに方向

xは刺激強度を表す心理物理量であり^[14]、xが小さいほど刺激は強く、xが大きいほど弱い。このため、xを小さい値から大きくするとき認知できなくなる値が存在する。この認知できなくなるxの値は、刺激閾値(stimulus threshold)であり、それを有効視野の縁と考える。この刺激閾値と検出確率の間には関数関係が成立し、その関数を表す曲線は心理測定曲線と呼ばれ、図2に表すような曲線になる^[15]。なお、図2に表す縦軸は非検出確率を表している。いま、図3に示すように固視点S₁から各方位における心理測定曲線が得られるとき、それぞれの方位における刺激閾値を結んだ包絡線によって得られる領域を本研究では有効視野(UFOV)と定義している。ここでの刺激閾値は、心理測定曲線が刺激強度(ここでは注視点からの距離)を引数とする非検出確率の累積分布関数であることより、非検出確率を指定したときの累積分布関数の逆関数で得られるパーセント点に相当している。非検出確率が50%の場合の刺激閾値は主観的等価値(PSE)に相当し^[16]、特に断らない限り本研究の有効視野は各方位でのPSEからの包絡線によって形成される。

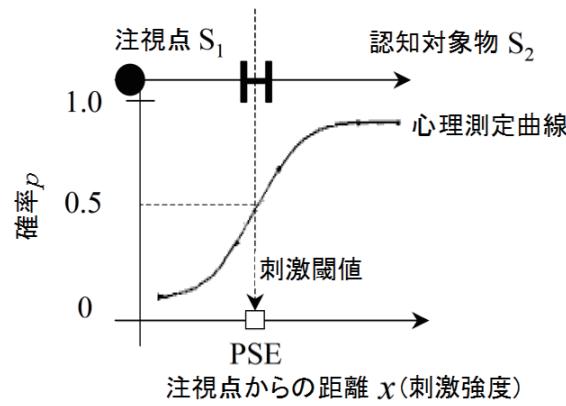


図2 刺激の強度と心理測定曲線

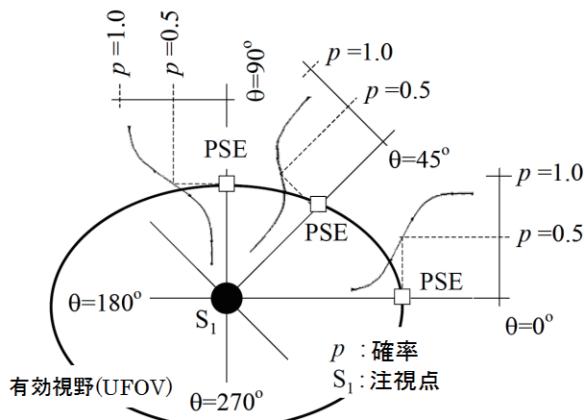


図3 有用視野の定義

ところで、心理測定曲線は刺激強度(あるいは知覚閾値) x の関数として次式で表すことができる。

$$P = f(x) \quad (1)$$

式(1)の左辺は確率であり、一般に次式のような正規分布の累積分布関数による確率で与えられている^[15]。

$$P = \Phi(y) = \int_{-\infty}^y \phi(y)dy, \quad y = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x}, \quad \phi(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} \quad (2)$$

ここに、 μ_x 、 σ_x は x の平均と標準偏差を表し、 $\Phi(\cdot)$ 、 $\phi(\cdot)$ は正規分布の確率密度関数と累積分布関数である。本研究では、視対象の検出が可能な範囲を有用視野と定義していることから、注視点 S_1 から認知対象物 S_2 までの距離 x を変化させて2件法^[15]による“検知できる”もしくは“検知できない”反応を被験者の持つ押しボタン情報として記録することで、図2のような心理測定曲線を描く。これは実際には式(2)の確率分布のパラメータを推定することであり、後述の実験に応じて異なる手法を用いてパラメータの推定を行う。

3 MWLと有用視野範囲の定量関係の検討

ここでは、第2節にて述べた手法により得られる定量的な有用視野範囲とMWLの関係を検討する。これにより有用視野範囲によるMWL推定の可能性を明らかにすることを目的とする。

3-1. 実験内容

図4に実験概要図と実験風景をそれぞれ示す。

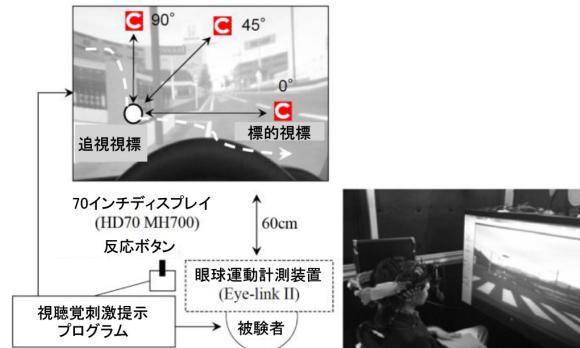


図4 実験概要図

被験者は70インチのディスプレイ表示面の60cm前方に頭部非固定の状態で着座し、2つの課題を同時に遂行する。主課題はディスプレイに提示された視標の検出課題である。被験者は画面に提示された運転映像上をランダムに10°/sの速さで移動する大きさ直径1°の白色円形の追視視標に視覚的注意を集中させ、眼球、頭部運動により追従作業を行う。被験者は、白色円形視標の周辺に出現する標的視標を検出し、手元のスイッチの押下により反応する。この標的視標はランドルト環の周辺に赤色の領域を設けたものであり、大きさは追視視標と同等である。標的視標の提示位置はステアケース法^{[17][18]}に従って被験者の反応により決定される。即ち、被験者が標的視標を検出できたときには一定の距離だけ視標を遠ざけ、検出できないときには視標を近づける。この手法を用いて、各方向における視野計測(1実験)につき30試行繰り返し出現するように構成した表示プログラムにより標的の刺激を提示する。実験では水平、垂直、斜め(注視点から時計の3時方向をθ=0°として反時計回りにθ=45°、90°)の3方向の視野計測を行う。視標検出課題では、標的課題の提示時間は1.0s、表示間隔は3.0s±50%であり、1実験は約2分から3分程度である。一方、視標検出課題と同時に遂行する副次課題として、数的課題(一桁の数字の読み上げ、加算作業)を課す。この数的課題は先行研究^[19]において、事象関連電位との同時計測によりMWLの定量化が既に行われており、負荷の低いものから、「課題なし」、「読み上げ」、「加算」である。数的課題は、一桁の数値が音声により3.0s間隔で被験者に伝えられ、被験者がその数値を復唱する課題を「読み上げ」、連続する2つの数値を加算し答える一桁目のみを回答する課題を「加算」とし、各課題の正答率を評価指標とする。数的課題の提示はディスプレイ上に設置したスピーカーにより行い音量は70dB(乗用車内における通常会話に相当)程度とした。

以上、本実験は視標検出課題が3方向(水平、垂直、斜め)、

数的課題が3条件(なし、読み上げ、加算)の2因子3水準の実験であり、実験順序はランダムである。

なお、被験者は、21~23歳(平均21.8歳、標準偏差0.75歳)の運転免許証を所有している健康な男子学生21名とし、実験内容について十分な説明を行い、書面にて同意が得られた後、実験を行った。

3-2. 実験結果

図5に数的課題の正答率を示す。図中の値は、各条件における全被験者の平均であり、図中のエラーバーは標準偏差を示している。なお、以後の図も同様の表記とする。図より、「読み上げ」より「加算」で正答率が顕著に低下しており($p<0.01$ 、t検定)、「読み上げ」でほぼ100%、「加算」では約85%であった。この結果より、「なし」と「読み上げ」のMWLの差は小さく、「加算」になるとMWLが顕著に増加していることがわかる。このことは、本研究で用いたMWL課題条件は段階的にMWLが増加していることを示しており、研究目的を達成するために適切な課題設定であったといえる。

次に、各数的課題条件における3方向の視野計測結果を用いて梢円近似で推定した有効視野領域を特性値とし、数的課題条件と視標出現方向を要因とした二元配置分散分析を行った。その結果、数的課題($p < 0.05$)、出現方向($p < 0.01$)とも有効視野の影響因子であることが統計的に示された。出現方向について多重比較検定(Holm法)を実施した結果、「水平」と「垂直」($p < 0.05$)、「斜め」と「垂直」($p < 0.05$)の間に有意な差がみられ、垂直方向で視野が最も小さい結果となった。この結果は、先行研究^{[6][7][9]}において報告されている垂直方向で狭く、水平方向で広いといった視野形状と一致しており、本研究における有効視野計測が精度よく行われていることが確認できた。

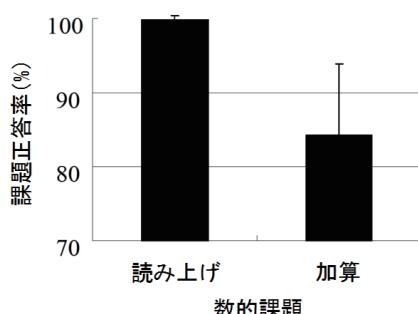


図5 メンタルワークロードと数的課題正答率の関係

続いて、数的課題条件と有効視野の関係を図6に示す。また、図中のデータを用いた多重比較検定(Holm法)の結果も

併記する。図より最もMWL負荷の大きい「加算」において有効視野が最も小さくなり、多重比較検定の結果、「なし」と「加算」($p < 0.05$)、「読み上げ」と「加算」($p < 0.05$)間に有意な差がみられた。これはMWL負荷が大きくなるほど有効視野が狭窄することを示している。のことにより、MWLの推定に有効視野範囲を用いることは妥当であると考えられることから、次節では運転者の運転作業に影響を及ぼさない有効視野範囲の推定法を検討する。

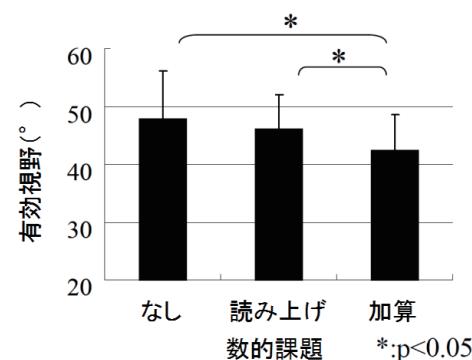


図6 メンタルワークロードと有効視野の関係

4

運転作業に影響を及ぼさない 有効視野推定手法の検討

本節では、頭部・眼球運動に全く制限を課さない完全自由視状態で、運転者に反応課題を課すことなく、有効視野の計測ならびに推定が可能な手法についての提案を行う。具体的には、完全自由視の状態での有効視野計測実験により得られる有効視野範囲(目的変数)と、運転者を拘束することなく計測可能な眼球運動を計測することで得られる関連パラメータ(説明変数)の関係を明らかにし、有効視野範囲を眼球運動計測により推定することができる実験式を提案することが本研究の目的である。

4-1. 実験内容

本実験はドライビングシミュレータ(以下DS)により実施する。図7に実験機器構成図を示す。被験者には眼球運動計測装置を装着し、角膜反射法により眼球運動ならびに瞬目を、DSの運転席後方ならび側方に被験者からの距離60cmの位置に設置したハイスピードカメラにより頭部運動をそれぞれ計測する。被験者は完全自由視状態でDSの運転作業を遂行する。走行するコースについては、図8に前方映像の一例とともに示すものである。走行は一般的に自動車教習所での危険予測教習に採用されている事故を誘発するような危険

イベントを除いた市街地走行とする。被験者には、速度制限を40km/hとし、交通法規を遵守した運転を行うよう教示する。被験者はDSの運転作業と同時に視標検出課題を遂行する。視標検出課題とは、DSスクリーン上の水平80°、垂直22°の範囲内に3秒間隔で2秒間出現する検出視標にハンドルに取り付けたボタンで応答するものである。検出視標は前述の第3節における実験に用いたものと同様であり、DSの画面上空間にランダムな位置に提示される。この反応課題の成績を用いて第2節に示した手法により有効視野の計測を行う。なお、心理測定曲線の推定にはプロビット法^[13]を用いる。本実験ではDSの視標表示領域が垂直方向で小さいため、十分な広さを確保でき、精度の良い視野領域の計測が可能である水平方向の有効視野のみを計測する。具体的には、検出視標出現時の注視点に対して左右いずれかの水平方向(水平方向を0°として0°±15°の範囲)に検出視標が出現した場合のデータで有効視野を算出する。

また、被験者には副次課題(以下MWL課題)として、第3節における実験にて用いたものと同様の数的課題(なし、読み上げ、加算)を課す。

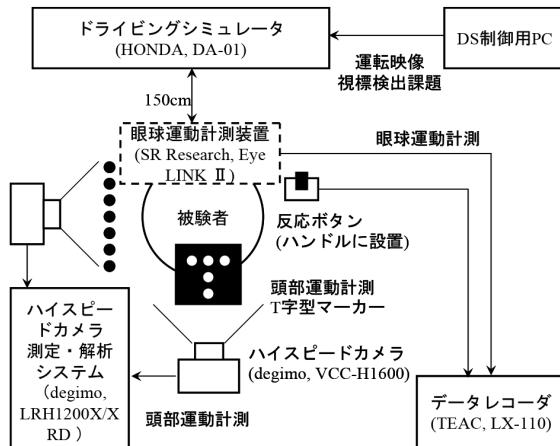
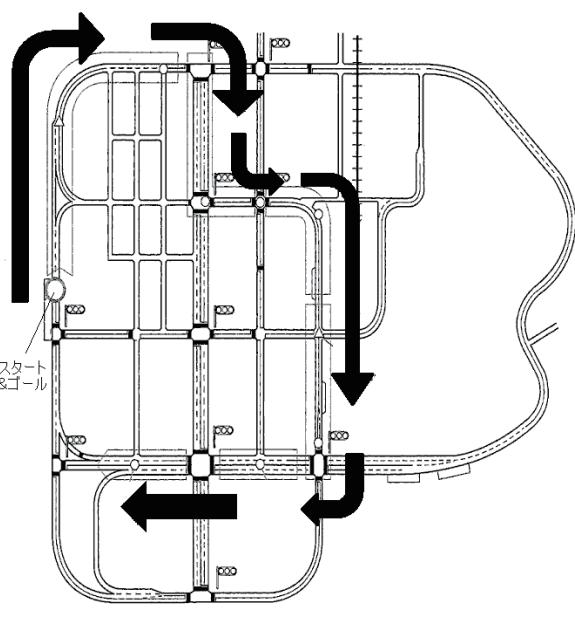


図7 実験機器構成図

実験スケジュールを図9に示す。被験者は一日につき1種類のMWL課題条件下にて実験を行い、各日の最後には被験者にNASA-TLX^[20]評価シートへの回答を求め主観的評価指標とする。なお、MWL課題の実施順序はランダムとし、視標検出課題有りと検出課題無しの2種類の走行の下で課題を遂行する。これにより、視標提示の無い一般的な運転条件にて計測された眼球運動に関するパラメータと有効視野範囲の関係性について検討を行うことができる。また、視標検出課題有りの条件はDSの走行コース2周(3分×2)を繰り返し行うため、

計4周(12分)の走行における検出視標への応答から1つの有効視野を算出する。

なお、被験者には課題遂行の優先度が、DSの運転課題、視標検出課題、MWL課題の順であることを教示する。被験者は、21~25歳(平均22.9歳、標準偏差1.05歳)の運転免許証を所有している健康な男子学生9名とし、実験内容について十分な説明を行い、書面にて同意が得られた後、実験を行った。



(a) 走行コース



(b) 運転映像のスナップショット

図8 走行コースと運転映像のスナップショット

練習走行 30分	休憩 10分	実験走行18分 (3分×6周)			NASA-TLX
MWL課題(なし) 視標検出課題(無)		視標検出 課題(有)	視標検出 課題(無)	視標検出 課題(有)	
		コース2周	コース2周	コース2周	
MWL課題: なし、読み上げ、加算のいずれか					

図9 一日の実験スケジュール

4-2. 完全自由視状態における注視点計測手法

図10に実注視点算出の概要を示す。図に示すように、実験で視標を提示するDSの前方スクリーンの中心を初期点 f_0 、ある時間 t における眼球回転角 e と頭部回転角 h により得られる注視点がそれぞれ f_{et} , f_{ht} とすると、その和が実注視点 f_{eht} となる。眼球、頭部それぞれの回転角の算出については、事前に図中の写真に示すように前方スクリーン上の9点に対してキャリブレーションを実施して求める。あらかじめ被験者毎に初期点における計測値ならびに実際の回転角あたりの計測値の変化量を求め、ある時点の計測値から初期点の計測値の差分をとり、これを回転角あたりの計測値の変化量で除算することで f_{et} , f_{ht} をそれぞれ算出する。

眼球運動の回転角の算出には眼球運動計測装置による計測値を用い、頭部運動の回転角は以下に示すハイスピードカメラの映像を用いた手法により算出する。図11に示すように、被験者の後頭部に白色の紙粘土製の5つの球体を黒色のアクリル板上にT字型に配置して作成したマーカーを設置する。このマーカーを被験者の背面よりハイスピードカメラで撮影し、各キャリブレーション点を注視している際のピクセル値による座標点と初期点を注視している際の座標点を輝度差分により画像処理で抽出し、その差を算出する事で単位距離あたりの回転角度を算出する。

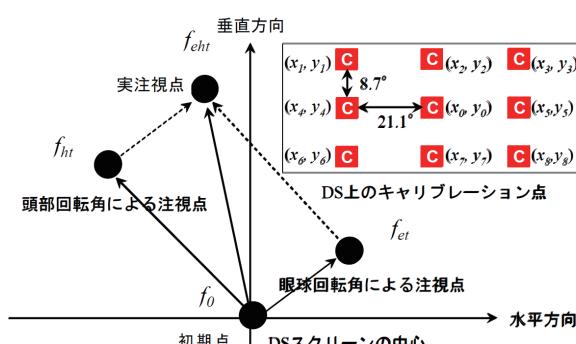


図 10 注視点算出法



図 11 ハイスピードカメラによる頭部計測

図12に初期点、左上のキャリブレーション点を注視している際のT字型のマーカー座標点を示す。図中黒色のプロットは初期点を、白色のプロットは左上のキャリブレーション点を注視している際のマーカーの位置である。T字型のマーカーに設置された5つの球体の座標点それぞれにおいて、各キャリブレーション点と初期点を注視している際の差をとり、その平均値を水平、垂直方向の変化量として扱う。なお、頭部の前後動も計測される回転角に影響を及ぼすため、被験者の側面からハイスピードカメラによる撮影を行い、前後運動量に応じて1°刻みの補正を行うこととした。

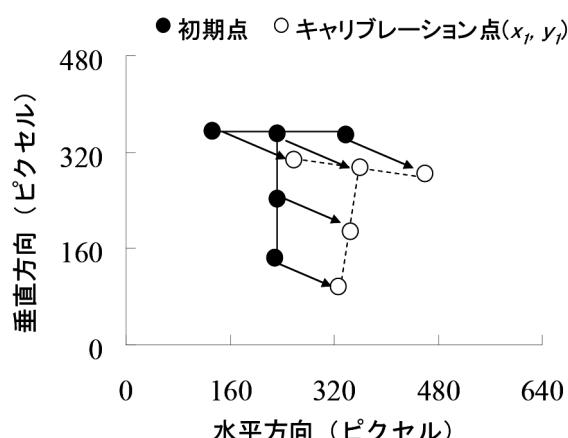


図 12 頭部運動によるマーカー座標の変化

4-3. 実験結果

図13に主観的評価指標として採用したNASA-TLXに対する回答を用いて算出したAWWL得点^[20]を示す。AWWL得点は高い順に加算条件(約70点)、読み上げ条件(約40点)、なし条件(約30点)であり、分散分析、多重比較検定の結果MWL課題なし条件と加算条件間、読み上げ条件と加算条件間で有意な差が認められた($p<0.05$, Holm 法)。このことは、本研究で用いたMWL課題条件は段階的にMWLが増加していることを示しており、研究目的を達成するために適切な課題設定であったといえる。

図14には、水平方向における有効視野の計測結果を示す。図より、MWL課題が加算条件の場合に最も有効視野が狭くなり、なし条件で最も広くなっている。図の値を特性値として、分散分析、多重比較分析(Holm 法)を行ったところMWL課題の要因($p<0.01$)が影響因子であることが明らかとなり、多重比較ではMWL課題なし条件と加算条件($p<0.05$)、読み上げ条件と加算条件($p<0.05$)においてそれぞれ有意な差が認められた。この結果は、MWLが大きくなると有効視野が狭窄することを示しており、加算条件のように非常に大きな負荷にな

ると視野の狭窄が顕著になることがわかる。この結果は第3節における結果と同様であることから、本研究で得られた完全自由視での有効視野計測結果が妥当であるといえる。

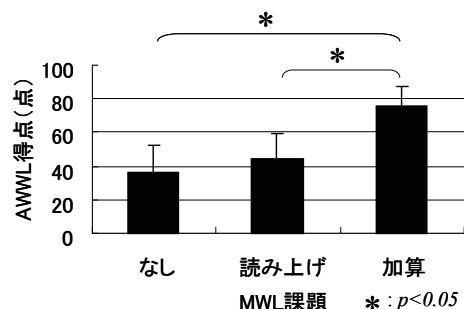


図 13 メンタルワークロードと AWWL 得点の関係

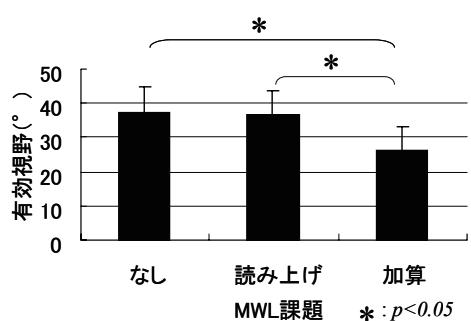


図 14 メンタルワークロードと有効視野の関係

4-4. 眼球運動関連パラメータを用いた視野推定

本研究では眼球運動に関連する各種パラメータから有効視野の推定を行う。本研究では、被験者ごとに各MWL課題条件につき1つの有効視野が得られている。そこで、これに対応する眼球運動関連パラメータも被験者ごとに各MWL課題条件を代表する値を1つずつ算出する。

具体的には、実験にて得られた眼球運動ならびに瞬目の計測から、サッカード運動と瞬目における回数、時間および頻度を抽出した。抽出した回数とは1分間に各眼球運動が発生する回数であり、時間とは各眼球運動が1回発生するのに要する時間である。サッカード時間については、1回のサッカードの発生から終了までの平均持続時間である。頻度については、停留・追従運動も加えて各MWL課題条件時に発生するサッカード運動、停留・追従運動、瞬目の発生割合とした。また、サッカード運動については、1回のサッカード運動により移動する注視点間距離の平均値をサッカード距離として抽出した。なお、本研究では眼球回転角速度30°/sec以上、かつ移動距離が3.5°以上の眼球運動をサッカード運動、サッカード運動で

も瞬目でもない眼球運動を停留・追従運動と定義する。なお、サッカード運動とは視対象の方向に視線を向けるために生じる急速な眼球運動のことであり、この運動状態では視覚から得られる情報の認識能力が極端に低下することが知られている。また、停留状態は一点を注視している状態であり、追従運動は視野内を動く視対象を追従・認識する際に生じ、双方とも視覚情報の認識が可能な状態である^[16]。

さらに、Miura^[21]やBartmann^[22]らは様々な道路状況(混雑した道路や高速道路)での実走行中の眼球運動計測を行った結果、道路状況が混雑しているほど眼の移動頻度が高くなるとともに停留時間が短くなることを示しており、その結果を図15に示すドライバーの情報処理資源の一定則と処理の深さと広さの関係により説明している。

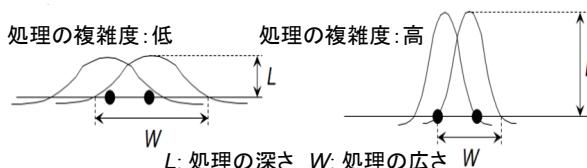


図 15 処理の深さと広さの関係^[5]

情報処理資源の量が一定であるとすると、深い処理が必要となる状況下においては、周辺に対して配分できる注意の量が低減し、注視点周辺での情報を処理できる範囲が小さくなる。一方、浅い処理で対応できる状況下では、周辺に対して配分できる注意の量が増え、情報を処理できる範囲が大きくなり、これが処理の広さに相当する。このように、処理の広さと深さにはトレードオフの関係があると指摘している。ここで、視覚による情報取得について考えてみる。視覚情報を取得する際には、視覚対象に次々と注視点を移動させて情報を取得する。注視点の移動は眼球を高速で大きく回転させるサッカード運動であり、この距離が処理の広さに、サッカード運動の時間間隔、つまり停留・追従運動に要する時間が処理の深さにそれぞれ影響を受けていると考えられ、本研究で用いている眼球運動関連パラメータの中では、サッカード距離と、停留・追従頻度が処理の広さと深さに強く関係していると考えられる。また、サッカード運動には視覚対象に注視点を合わせる際に若干のズレが生じる場合がある。この場合には、サッカード発生後100-150 msecの間に発生する眼球回転角速度30°/sec以上、かつ移動距離が1.0-3.5°の眼球運動と定義される修正サッカード^[16]が発生し、ズレた注視点が補正される。つまり、修正サッカード発生後の注視点に視覚情報を取得している視覚対象が存在するといえる。また、修正サッカードの発生後から次のサッカード運動までの時間が視覚情報の取得に要する

時間であると考えることができる。そのため、被験者ごとに各MWL課題条件における修正サッカード発生後の注視点の分布から重心を求め、各注視点と分布の重心までの距離の平均が処理の広さ(処理できる範囲)を、修正サッカードの発生後から次のサッカード運動までの平均時間が処理の深さ(情報処理時間)をそれぞれ表す眼球運動パラメータと考え抽出した。

以上より、視標検出課題有り条件で得られた有効視野を目的変数に、視標検出課題無し条件で得られた表1に示す眼球運動パラメータを説明変数として全組み合わせで重回帰分析を行った。

表1 説明変数のパラメータ

説明変数	眼球運動関連パラメータ
x_1	サッカード回数
x_2	サッカード時間
x_3	サッカード頻度
x_4	サッカード距離
x_5	停留・追従頻度
x_6	瞬目回数
x_7	瞬目時間
x_8	瞬目頻度
x_9	処理できる範囲(修正サッカード発生後の注視点分布の重心からの距離)
x_{10}	情報処理時間(修正サッカード発生後からサッカードまでの時間)

なお、個人差による影響を考慮し、分析には被験者毎の標準化値(z-score)を用いた。重回帰分析の結果、有意な偏回帰係数が得られた組み合わせはサッカード距離(x_4)、停留・追従頻度(x_5)、処理できる範囲(x_9)、となり、これらの説明変数により(3)式のような有意な実験式が得られた。

$$Y = 0.649x_4 - 0.604x_5 - 0.549x_9 \quad (3)$$

図16に実験式((3)式)による有効視野推定値と実験により得られた有効視野の相関図を示す。図より、有効視野の値が大きいほど、実験式((3)式)による推定値も高値を示す傾向がみてとれ、実験式による有効視野の推定が可能であることを示唆している。また、実験式を構成する3つの説明変数は前述のとおり処理の広さと深さに関連が強いと考えられることから、

処理の広さと深さを示す眼球運動関連パラメータを用いることで有効視野が推定可能であることを示唆している。

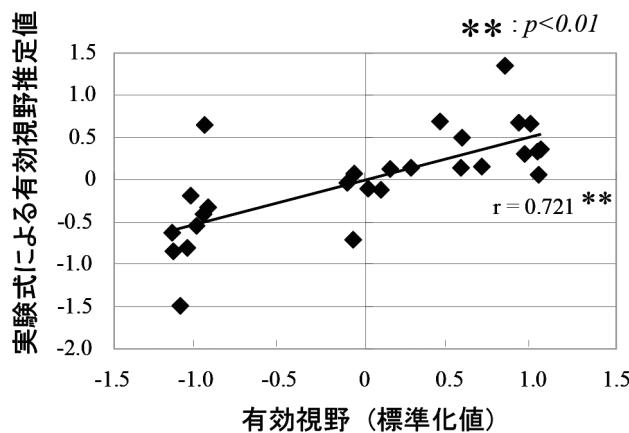


図16 実験式による有効視野推定値

5 まとめ

本稿では、運転者のMWLを推定する手法を探索するため、MWLと有効視野範囲の定量関係を明らかにしたうえで、ドライビングシミュレータの操縦を題材として運転者の運転作業に影響を及ぼさずに有効視野を推定する手法について検討を行った。結果は以下のとおりである。

1. メンタルワークロードの増加により有効視野が狭窄することを定量的に示した。
2. 完全自由視(頭部非固定)状態での実注視点と、運転者の視野の内外に提示した視標との視覚的距離から有効視野を計測する手法を確立した。
3. 処理の深さと広さを表す眼球運動関連パラメータ(サッカード距離、停留・追従頻度、修正サッカード発生後の注視点分布)を用いることで、運転者の運転作業に影響を及ぼさずに有効視野を推定できる可能性があることを示した。

これらより、運転者のメンタルワークロードの推定可能性を示すことができたといえる。今後、推定精度の向上を図った上で、実運転環境さらには自動2輪車への展開を進めていきたい。

■謝辞

本研究は首都大学東京との共同研究であり、同大学の学生の方々から多大なるサポートをいただきました。この場を借りて、厚くお礼申し上げます。

■参考文献

- [1] Hollnagel, E.: Human Reliability Analysis Context and Control, Academic Press, 145(1993).
- [2] 藤森充, 上迫宏計, 川村幹也, “高速道路における頭部運動を考慮した運転者の視線計測”, 計測自動制御学会論文集, Vol.35, No.4 (1999), pp.473-479.
- [3] Vivek,D. B., “Ergonomics in the automotive design process”, Taylor & Francis Group, LLC, (2012), pp. 105-126.
- [4] 萩阪良二, 現代基礎心理学3 知覚Ⅱ, 東京大学出版会, (1982), pp.183-231.
- [5] 三浦利章, 行動と視覚的注意, 風間書房, (1996), pp.36-52.
- [6] Ball, K., Owsley, C.: The useful field of view test: A new technique for evaluating age-related declines in visual function; Journal of the American Optometric Association, Vol.64(1993), No.1, pp.71-79.
- [7] Owsley, C., Ball, K., Keeton, D.M.: Relationship between visual sensitivity and target localization in older adults; Vision Research, Vol.35(1995), No.4, pp.579-587.
- [8] 水内淳, 高嶺恭平, 山中仁寛, 森島圭祐, 大本浩司:覚醒度と検出視野の関連性; 人間工学, Vol.48特別号(2012), pp.192-193.
- [9] 阿山みよし, 松澤麻紀, 目加田慶人, 春日正男: 動的背景上の有効視野に対する音声情報の影響; 照明学会誌, Vol.85(2001), No.2, pp.105-112.
- [10] 瀬谷安弘, 八木理, 中易秀敏, “リアルタイム視線移動解析による運転作業時の有効視野計測”, 電子情報通信学会技術研究報告. MBE,ME とバイオサイバネティックス, Vol.107(2008), No.460, pp.43-46.
- [11] 中易秀敏, 青木大和, 三好哲也, 中川雅央, “運転状況の変化に基づく運転作業者の知覚と認知特性の実験的分析”, 構造物の安全性及び信頼性 (JCOSSAR2011), Vol.6 (2011), pp.506-511.
- [12] 青木大和, 中易秀敏, 三好哲也, “ドライバーの視線移動解析に基づく自動車運転時の知覚認知と信頼性”, 信頼性シンポジウム講演論文集, Vol.25(2010), pp.124-129.
- [13] 山中仁寛, 中易秀俊, 三好哲也, 前田多章: 視覚認知作業時の有効視野評価法に関する研究; 日本機械学会論文集(C編), Vol.72(2006), No.719, pp.244-252.
- [14] 大山正, 今井省五, 和氣典二: 新編感覚・知覚ハンドブック, 誠心書房, (1994), pp.185-193.
- [15] 日科技連官能検査委員会: 新版・官能検査ハンドブック, 日科技連出版社(1999), pp.395-443.
- [16] 日本視覚学会: 視覚情報処理ハンドブック, 朝倉書店(2004), pp.390-397&563-571.
- [17] 日本機械学会基準: 統計的疲労試験方法, JSME S 00-2(1994), pp.27-37.
- [18] Dixon, W. J., Mood, A. M., and Ameri, J., : A Method for Obtaining and Analyzing Sensitivity Data, Journal of American Statistical Association, 43(1948), pp.109-126.
- [19] 大本浩司, 高橋勵也: 事象関連電位によるメンタルワークロードの評価, 人間中心設計, 5(1)(2009), pp.29-37.
- [20] 芳賀繁, 水上直樹: 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定-各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度; 人間工学, Vol.32(1996), No. 2, pp.71-79.
- [21] Miura, T.: Visual search in intersections — An underlying mechanism —; IATSS RESEARCH, Vol.16 (1992), No.1, pp.42-49.
- [22] Bartmann, A., Spijkers, W., Hess, M., : Street environment, driving speed and field of vision; Vison in Vehicles-III(1991), pp.381-389.

■著者

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



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



山中 仁寛
Kimihiro Yamanaka
首都大学東京
システムデザイン研究科

Support Effects of the Haptic Throttle Grip by the Friction Circle on the Driving Wheel

Manabu Fujito Kouji Sakai Yasunobu Harazono

当論文は、SAE2013-01-0084 / TSAE-13AP-0084として、バンコク(タイ)にて行われたAPAC-17(Asia Pacific Automotive Engineering Conference)にて発表され、Best Paper Awardを得たものです。

Copyright (c) 2013 SAE International and TSAE. Reprinted with permission from Paper 2013-01-0084.

要旨

ライダーに対する運転支援システムの開発を目的として、モーターを接続することで操作反力を可変としたスロットルグリップを作製し、触覚・力覚を通して減速要求の情報を伝達することができるシステムを構築した。この情報伝達のための基本的な考え方として、タイヤの限界摩擦力を全方位でプロットしてつなげるとできる円(摩擦円)を使用した。これに対してエンジンから出力される駆動力と旋回によって発生する横力との合力が摩擦円の大きさに近づいた場合、それ以上駆動力を上げるとスリップする可能性があると判定して、このスロットルグリップの操作反力を増すことで減速要求を提示することとした。本システムを搭載した試験車両にて走行試験を行った結果、全てのテストライダーがこの操作反力の増加を試験車両からの減速要求として感じることができ、さらに駆動力と横力の合力が摩擦円を越えないように操作を導く運転支援効果があることが分かった。

Abstract

Recently, there have been many reports about development of Human Machine Interface (HMI) which used a visual or auditory display to improve driver assist. For a motorcycle, it is suitable to use a haptic display for rider assist, since there are many disturbances in open-air situation such as sunshine and surrounding noise. Therefore, a test vehicle based on a large motorcycle equipped with the haptic throttle grip that is connected to a motor by gear, an original ECU to control the motor, and a lean angle sensor to calculate the lateral force of the motorcycle was developed. To inform surplus driving force warning, the throttle grip, a haptic display outputs additional return torque estimated by the friction circle and ellipse with the lateral force of the motorcycle. One of the purposes of this torque is that it informs the rider to decelerate when the motorcycle state of movement is around the limit of tire grip, and another purpose is that it leads to return the throttle grip to decelerate. For both purposes, the intuitive signal which adds return torque was selected to avoid misunderstanding. As the result of riding tests, all of the riders were able to recognize the signal and understood the request from the motorcycle. It became clear that this system was able to offer the information of surplus driving force warning, and to support the throttle grip operation.

1

INTRODUCTION

There are many HMI inside the cabin on production automobiles, such as meters, indicators and navigation system with audio assist. There are also many reports on haptic devices, which were tested with modified production automobiles or a simulator such as a haptic gas pedal to make deceleration [1]-[5] and a haptic steering wheel to inform lane departing with vibration or with additional steering torque [6]-[8]. These reports clearly state that the drivers can perceive the haptic signals and there are few disturbances to communicate on the channel between the driver and the car. Therefore,

a haptic display was considered to match to motorcycle than applying a visual or auditory display.

To make a haptic device on a motorcycle, it is the most reasonable to use hand and throttle grip as a communication interface between the rider and the motorcycle from the following reasons. The rider's hand and the throttle grip are always in contact while riding, and there are many sensory receptors on a hand than the other parts of the body. But haptic displays have less information than visual or auditory displays. Therefore,

as a haptic display, letting the throttle grip output only intuitive information to avoid misunderstanding. To use an intuitive signal is important for perception and usability from HMI point of view [9]. In addition, it became more difficult for the riders to operate the throttle grip of large displacement motorcycles like super sport models, due to increasing of engine torque year by year with technology innovation. To improve throttle grip controllability around the limit of tire grip, it is necessary to add some of function.

In order to satisfy two purposes mentioned previously, the haptic throttle grip equipped with a motor which is connected by the gear was developed; it is able to add the return torque to communicate between the rider and the motorcycle, and to improve the throttle grip controllability. In this paper, the detail of the haptic system on the motorcycle and its riding test results are reported.

2 HAPTIC SYSTEM

Haptic Throttle Grip

Figure 1 shows the haptic throttle grip which is used in this research. It consists of a throttle grip with a return spring to close itself, a gear, a one-way clutch, and a motor. This throttle grip is connected to the motor by the gear and the one-way clutch, it can output haptic signals to the rider by controlling the motor.

The one-way clutch is set between the motor and the gear, and the motor can only add torque to closing direction of the throttle grip for a safety reason. Therefore, even if the motor is locked due to breakdown, the rider can close the throttle grip to decelerate.

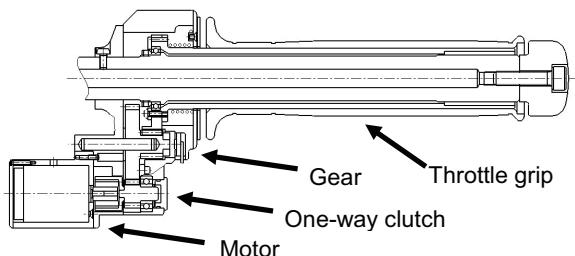


Figure 1 Haptic throttle grip

Test Vehicle

The haptic system is constructed with the haptic throttle grip, an original sensor to calculate the lean angle of the motorcycle, and an original ECU to control the motor of the haptic throttle grip. Figure 2 shows our company's large displacement motorcycle (equipped with the system), and the location of its components parts.

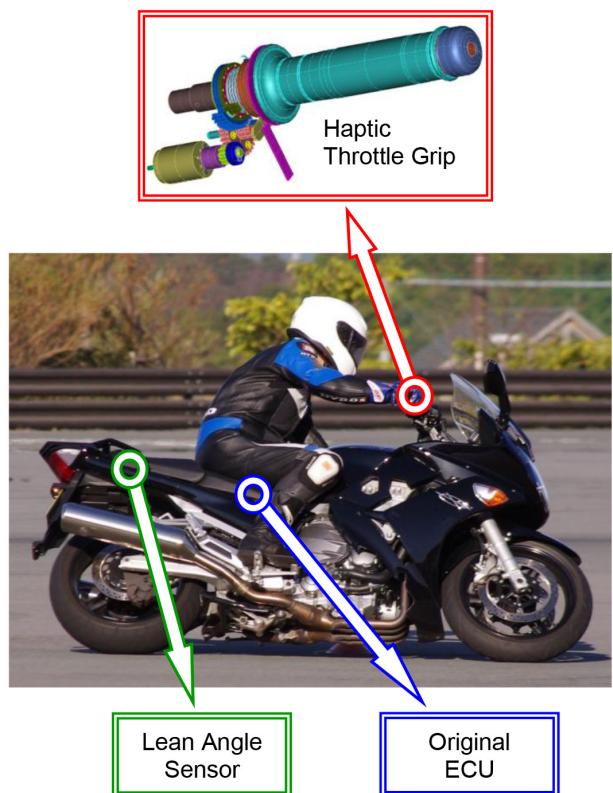


Figure 2 Test vehicle and parts

In addition to these parts, a permission switch and a mode switch are equipped. The permission switch allows the rider to activate or deactivate the control, and the mode switch allows the rider to change the level of additional return torque in five steps while riding. It is effective to use these switches for the development of the system. A logger is also equipped to the motorcycle to log data such as throttle grip position named accelerator position, engine speed, gear position, lean angle, vehicle speed, and additional return torque of haptic throttle grip. It became easy to analyze test results and to develop the system by using this system.

Friction Circle & Ellipse

One of the purposes of this system is to inform the rider to decelerate when surplus engine torque is at the edge of tire grip. The theory of friction circle is used to estimate the surplus engine torque. Figure 3 shows the image of friction circle, ellipse, and the forces on the driving wheel.

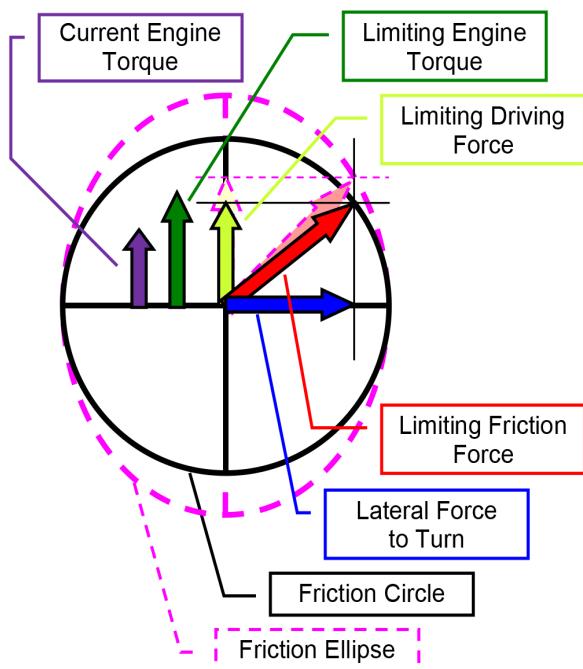


Figure 3 Image of friction circle & ellipse

As a premise, if the total force on the driving wheel does not exceed the friction circle, the wheel will not lose the tire grip. There are two forces on the driving wheel; lateral force and driving force. The lateral force is calculated from the acceleration which is created by turning movement of the motorcycle, the limiting friction force is calculated with the lateral force and the friction circle, and the limiting driving force is calculated as a longitudinal component of the limiting friction force.

In the software of this system, all data are calculated based on the engine torque, since the additional return torque is estimated from the quantity of the difference of the limiting engine torque and the current engine torque. For this, first the current engine torque must be calculated from the engine speed and throttle

valve position, and the limiting engine torque must be calculated from the limiting driving force and the reduction gear ratio each gear positions. If the difference becomes small, it means that the total of friction forces on the driving wheel is becoming close to the friction circle. In this condition, there is a possibility of slipping down with losing the tire grip. Therefore, it informs the rider to decelerate by increasing the return torque of the haptic throttle grip.

In different research of our company shows the friction circle of a same test motorcycle is estimated that the longitudinal axis is about 8% bigger than the lateral axis. From this, the haptic system control is made with the friction ellipse of dashed line in addition to the friction circle in figure 3.

Based Torque Control

This haptic throttle grip is equipped with a motor to make haptic signals. Rotating the motor by the throttle grip creates counter electromotive force: V_{emf} (1) and inertia torque: T (2) of the rotor. These forces give negative influences in operation of the throttle grip, such as becoming heavy or a delay. These forces are calculated with the following equations in order to compensate.

$$V_{emf} = K_t \frac{d\theta_1}{dt} \quad (1)$$

$$T = J_1 \frac{d^2\theta_1}{dt^2} + J_2 \frac{d^2\theta_2}{dt^2} \quad (2)$$

$$V_I = \frac{R}{K_t} T \quad (3)$$

- | | |
|------------|--|
| K_t | : Motor Constant |
| J_1 | : Moment of Inertia of the Rotor |
| J_2 | : Moment of Inertia of the Gear |
| θ_1 | : Rotating Angle of the Rotor |
| θ_2 | : Rotating Angle of the Gear |
| R | : Electric Resistance of the Motor |
| V_I | : Voltage equivalent to inertia torque |

The total voltage of Vemf and V_1 is added to reverse direction in which they are generated by the motor. As the result, it can neutralize the negative influences, and the haptic throttle grip can offer natural feeling equivalent to a production motorcycle.

Additional Torque Control

Proportional Control

Figure 4 shows the relation between the additional return torque of the proportional control and the difference between the limiting engine torque and the current engine torque. The difference of the limiting engine torque is estimated from the friction circle or ellipse minus the current engine torque which is indicated in the solid line, the additional return torque is proportional to the difference which is indicated in dashed line. If the difference comes bigger than the margin or when the current engine torque is negative, the system outputs no additional return torque on the throttle grip. In this situation, there is no wheel spin coming from the acceleration, and therefore, it is not necessary to inform any caution. If the difference comes smaller than the margin and when the current engine torque is plus, the system adds some return torque on the throttle grip to inform only the surplus engine torque. The point where the margin is same as the difference is the control starting point, the torque is estimated from there with the proportional coefficient: a/margin . The limit of return torque is provided to prevent harder throttle grip operation for the rider. This strategy is presented in (4). From this strategy, the rider can perceive the modulation and is led to decelerate to create the margin.

$$\text{ART} = (\text{CET} + \text{Margin} - \text{LET}) \times \text{PC} \quad (4)$$

ART : Additional Return Torque

CET : Current Engine Torque

LET : Limiting Engine Torque

PC : Proportional Coefficient

control. The conventional throttle grip is linked to the throttle body by the wire, and it has the base character which is indicated with the parallelogram of solid line by operating the throttle grip. This base character consists of the slope which is made by the return spring and the hysteresis which is made from the friction of the wire and others. To add the additional return torque to the base character, the proportional control character is formed in dashed line.

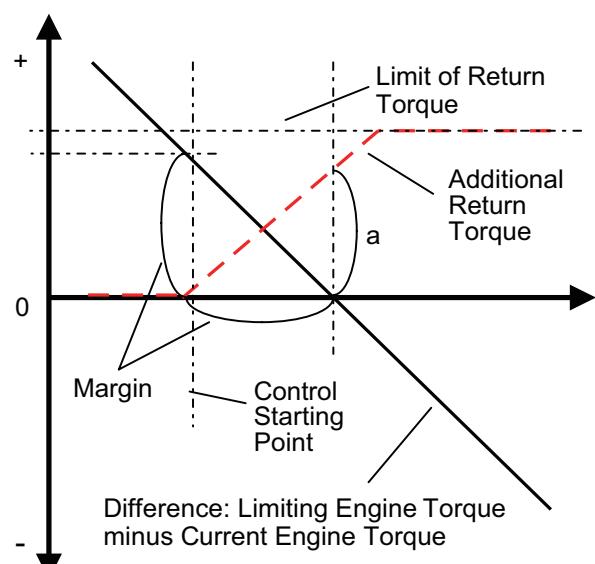


Figure 4 Relation between driving forces and additional return torque of proportional control

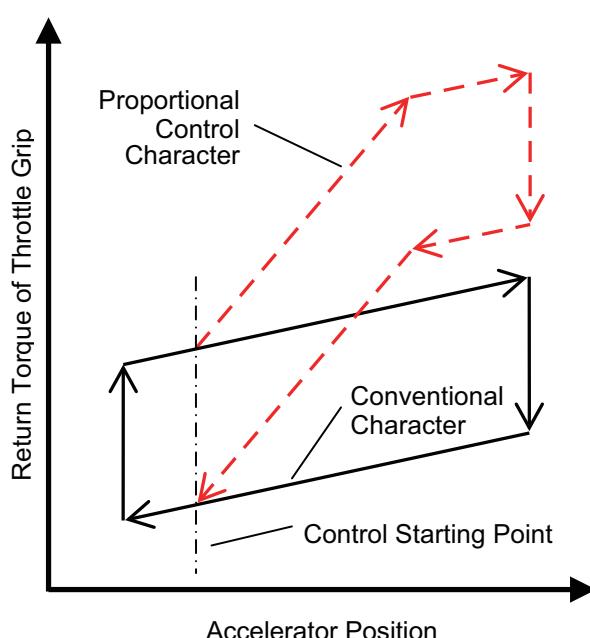


Figure 5 Return torque character of throttle grip

Figure 5 shows the example of return torque character of a conventional throttle grip and the proportional

Differential Control

The proportional control has the functions that communicate to the rider and leads to decelerate at the edge of tire grip. Addition to the function of the proportional control, the differential control is prepared to restrain acceleration at the edge of grip, outputs the additional return torque for operation of opening the throttle grip. This control is based on the Weber-Fechner law which states that human sense is proportional logarithm of input stimulation. In addition, there are some sensory receptors which react modulation, therefore it is thought that the differential control which makes the perceptible modulation of return torque on the throttle grip is useful.

Figure 6 shows return torque character of differential control. Dashed line indicates the accelerator position, dotted line indicates accelerator speed which is the speed of operating the throttle grip, and solid line indicates the additional return torque of the differential control. This strategy becomes active when the difference is smaller than the margin in figure 4 and also when the current engine torque is plus. This additional return torque is proportional to the accelerator speed. When the speed is positive, the torque is estimated to multiply it by a constant coefficient. If the speed is smaller than 0, the torque is reduced to 0 with a time constant. The purpose of this strategy is to make the rider perceive acceleration operation of the throttle grip around the limit of tire grip, and is not to perceive keeping or deceleration operation. Even if the rider operates the throttle grip intermittently, like repeating opening and keeping, the rider can perceive the return torque on every opening operation with this strategy.

Furthermore, the PD control which is the total of the proportional control and the differential control is made to let the rider perceive the torque in every situation. These controls are tested with the test vehicle, and its results are shown in the next section.

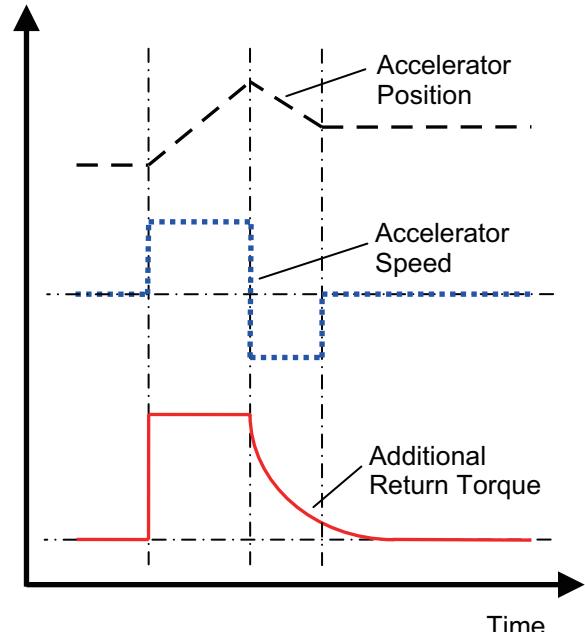


Figure 6 Return torque character of differential control

3 RIDING TESTS

All of the following riding tests had been held in closed circuits and the riding tests were done by the engineers for developing the strategy.

Proportional Control Tests

Figure 7 and 8 shows the time series data of riding tests. The horizontal axis indicates time and the vertical axis indicates each measure; the data indicate lean angle, velocity of the motorcycle, throttle valve position, additional return torque on the throttle grip, limiting engine torque and current engine torque from the top respectively. The additional return torque is limited to $70\text{cN}\cdot\text{m}$ for a restriction of the system in these tests. Both of the data were taken at the same series of two tight turns.

The proportional coefficient which was used in the test of figure 7 is $30\text{cN}\cdot\text{m}/20\text{N}\cdot\text{m}$ as a small gain, which means the additional return torque against the engine torque conversion of driving force. The bottom graph of figure 7 shows the current engine torque comes over the limiting engine torque.

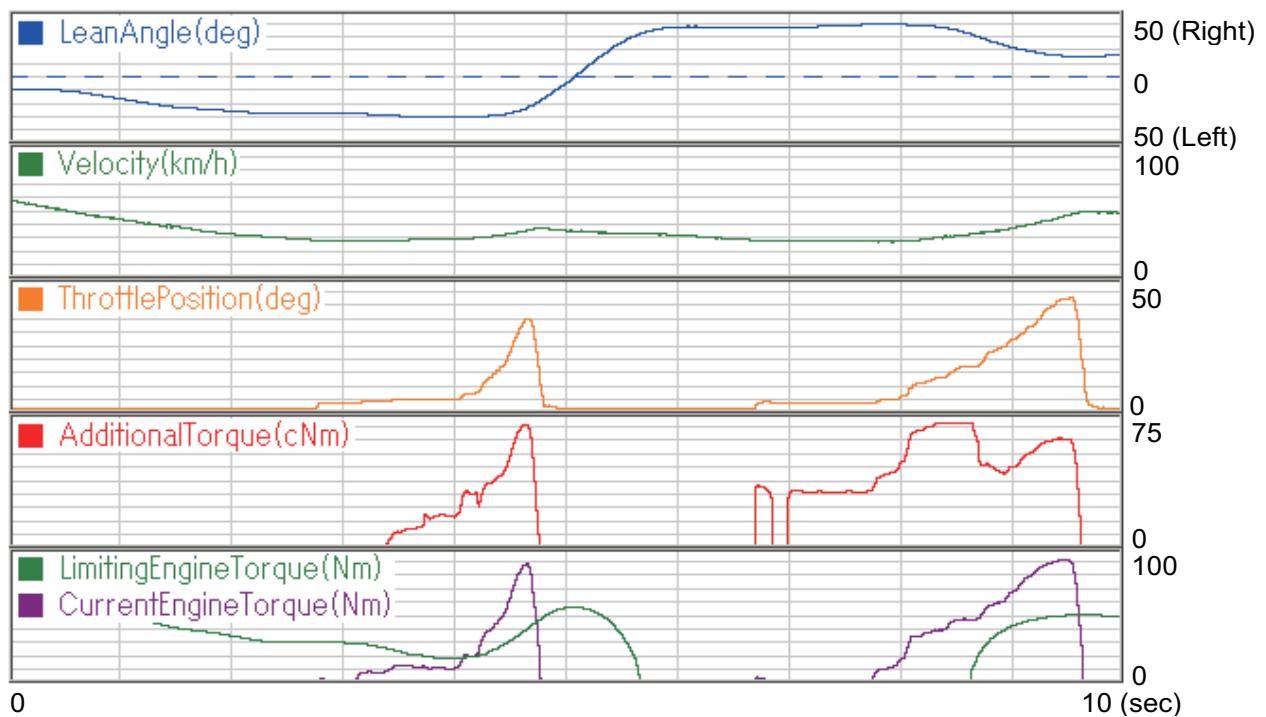


Figure 7 Time series data of proportional control with SMALL gain

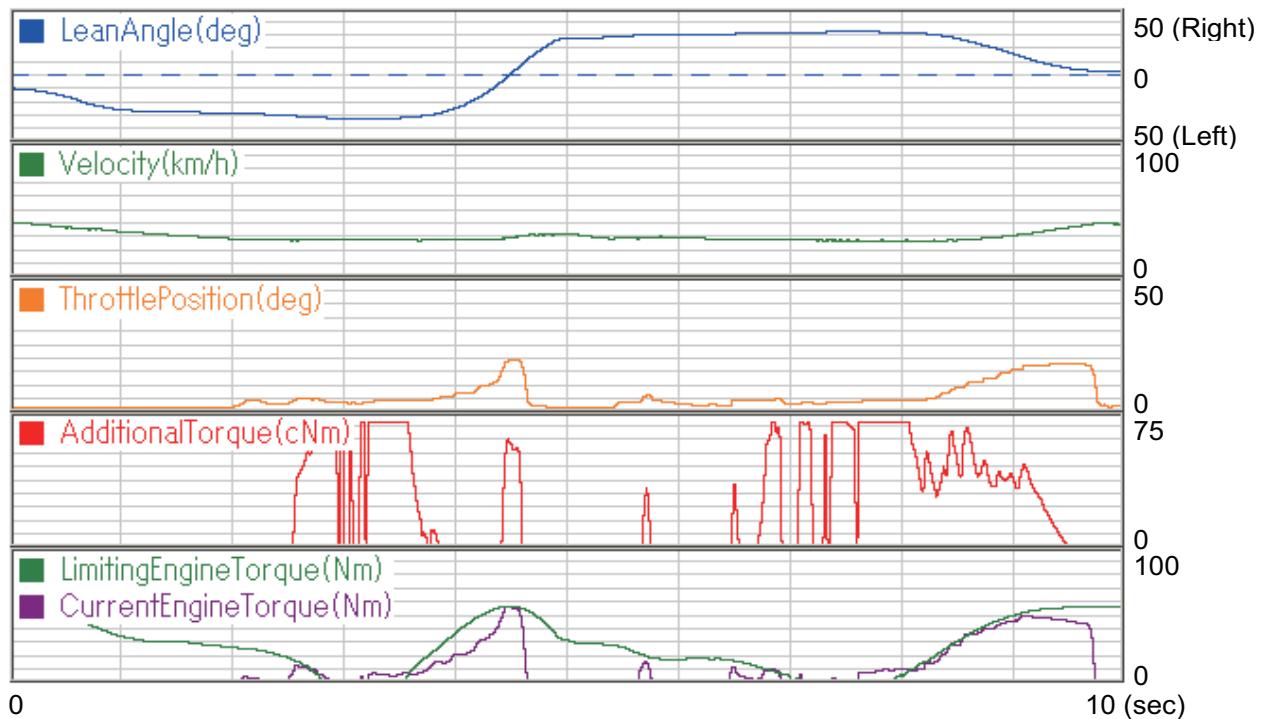


Figure 8 Time series data of proportional control with BIG gain

From this, it finds that the additional return torque does not give the rider enough information about the surplus engine torque. In this case, there was no wheel spin since the real coefficient of friction, μ_r , was higher than the μ_c which was used as a radius of friction circle. The test riders pointed out that there was no negative influence on operation of the throttle grip but they could not perceive the torque well as a warning signal. The data and their comments indicated matched matter, increasing the additional return torque to the signal as a warning method was needed.

Figure 8 shows the data with the proportional coefficient $60\text{cN}\cdot\text{m}/10\text{N}\cdot\text{m}$ which is 4 times bigger than the small one. With this setting, the tests riders could perceive the limit of tire grip easily with rapid increase of the additional return torque. On the bottom graph of figure 8, the current engine torque does not come over the limiting engine torque, and increases along with the limiting engine torque from 8 to 9 seconds. This shows the rider can perceive the limit. But there were some comments that it was difficult to operate the throttle

grip since it was too heavy to operate input what they required. It is obvious that degree of the throttle position with the big gain is less than the small gain in figure 7 which agrees with the comments.

From both data, the best gain value for the riders is set between small and big one. As the result of the balance between capability of transmitting the information and the controllability, the best one became $60\text{cN}\cdot\text{m}/20\text{N}\cdot\text{m}$.

Differential Control Tests

Figure 9 shows the time series data of the differential control with the same format as figure 7 and 8. To easily understand the character of the strategy, some of the data is added and exchanged. The data indicate lean angle, velocity of the motorcycle and gear position, accelerator position which indicates the degree of the throttle grip, additional return torque on the throttle grip, limiting engine torque and current engine torque respectively from the top. Also in this case, the current engine torque comes over the limiting engine torque but there was no wheel spin.

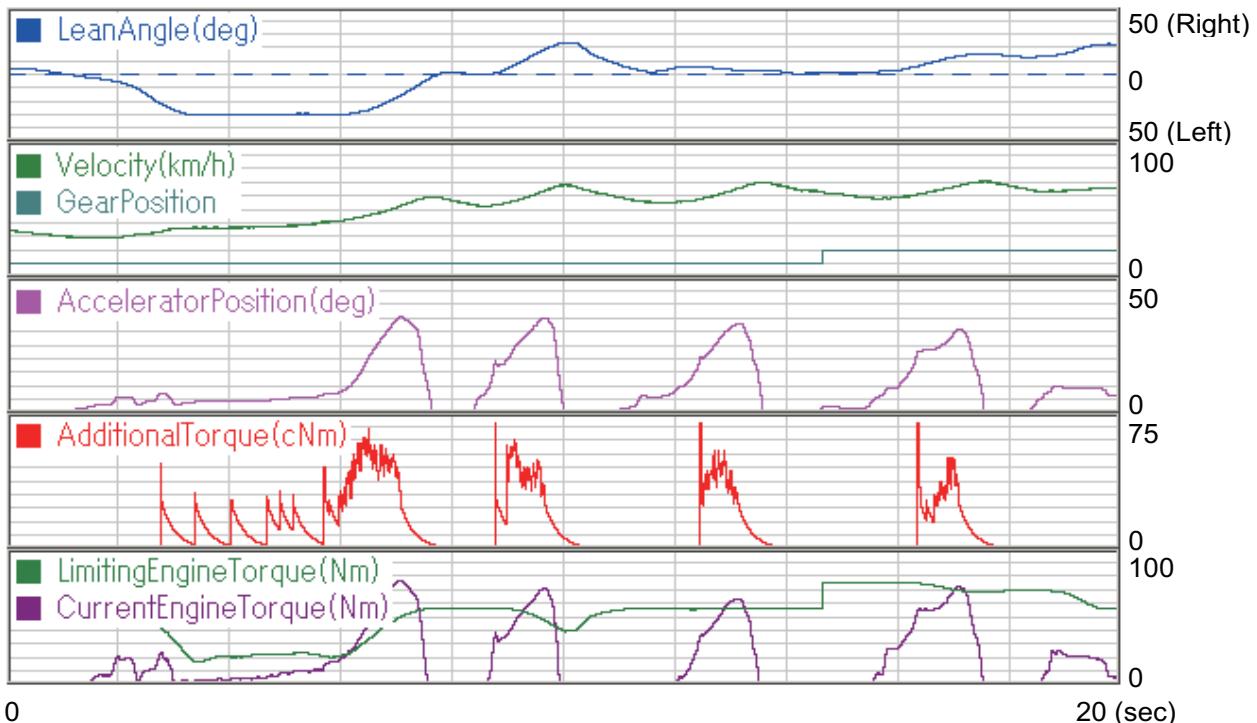


Figure 9 Time series data of differential control

On this strategy, the additional return torque is estimated from the differential of time variation of accelerator position. If the differential is positive, the torque calculated to multiply the differential by a gain is added to the throttle grip. Moreover, when the current engine torque comes close to the limiting engine torque, and the current engine torque which added the margin comes over the limiting engine torque as shown in the figure. Step change of the limiting engine torque comes from the gear position change, which uses the gear ratio to convert to the limiting engine torque from the limiting driving force. If the differential becomes under 0, the torque is reduced with a time constant to 0.

The settings which are used in figure 9 are as follows; the gain is $1\text{cN}^*\text{m}/(\text{deg/sec})$, the time constant is 300ms, the maximum additional return torque is $70\text{cN}^*\text{m}$, and the margin is same as figure 7. The result of riding tests shows that the strategy had high capability of transmitting the information with quick acceleration and could control it. But there is less capability of transmitting the information than the proportional control with slow acceleration, since the additional return torque becomes less than the torque of the proportional control.

PD Control Tests

Friction Circle

Both positive and weak points were found from the test results of two controls. The positive point was all of the riders were able to recognize the signal and understood the request from the motorcycle. The weak point on the proportional control is that, it is difficult to increase the gain for keeping operativity. And for the differential control, it is difficult to perceive the signals with slow acceleration. Therefore, the PD control was made to compensate these weak points which enabled both of the two controls to control at the same time.

Figure 10 shows the friction circles plotted with the μ value converted from the running state of the motorcycle, with the throttle grip controlled by the PD control with

friction circles. The shading dots indicate the amount of the additional return torque, and the darker dots shows more torque than the lighter dots. For the coefficients of friction: μ_c , 0.5 and 0.6 are selected as the typical values of wet and dry condition. Since this control enables both controls at the same time, the additional return torque became too large. Therefore, each gain of the proportional and the differential control are reduced to $40\text{cN}^*\text{m}/20\text{N}^*\text{m}$ and $0.6\text{cN}^*\text{m}/(\text{deg/sec})$, and the maximum additional return torque is limited to $70\text{cN}^*\text{m}$.

The results of these data shows that the running states of the motorcycle are in the selected friction circles, since the rider can limit the degree of the throttle grip position. Left circle is a riding data without the control and it shows that the dots are scattered and has bigger circle than others. The other circles are rounded shape and from the result of the additional return torque. From these shapes, this system can transmit the information of the tire grip limit to the rider, and from the comments of test riders there are the ability of throttle grip operation assist for turning and accelerating. In addition, this system is found useful for helping the rider to perceive the position of the running state of the motorcycle in friction circle, which was difficult for the riders.

Moreover, the circles controlled by the system are wider to the lateral direction. This is because this system does not transmit any information when the rider keeps the throttle grip closed, and creates big lateral force over the friction circles during a turn, which results the system to output big additional return torque when the rider opens the throttle grip at the running state.

Friction Ellipse

Figure 11 shows the friction ellipse which is the same format as figure 10. The coefficient of longitudinal friction is μ_{cx} and the coefficient of lateral friction is μ_{cy} . This longitudinal axis of a friction circle on the driving wheel of the motorcycle is 8% longer than this lateral axis. From the result of the research, these values on the center circle are 0.54 and 0.5, and on the right circle are 0.648 and 0.6.

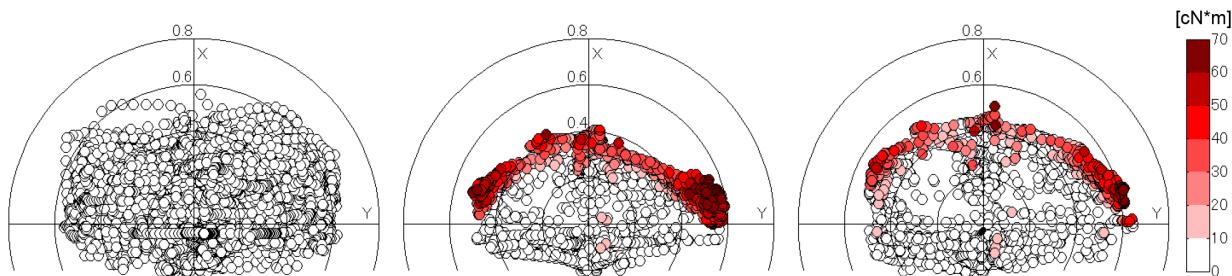


Figure 10 Plots of running state on friction circles. Left: without control, Center: PD control with friction circle of $\mu_c = 0.5$, Right: PD control with friction circle of $\mu_c = 0.6$.

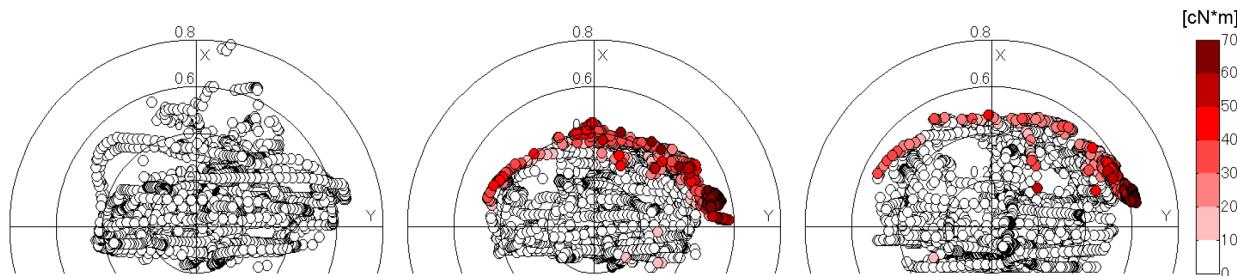


Figure 11 Plots of running state on friction ellipse. Left: without control, Center: PD control with friction ellipse of $\mu_{cx} = 0.54$ and $\mu_{cy} = 0.5$, Right: PD control with friction ellipse of $\mu_{cx} = 0.648$ and $\mu_{cy} = 0.6$, (μ_{cx} : longitudinal axis, μ_{cy} : lateral axis).

Comparing with the shapes of friction circles figure 10, the shapes of the running state of friction ellipses are a little longer on the longitudinal axis. From the comments of the riders, friction ellipse has better feeling than friction circle, since the coefficient of friction of the ellipse is close to the real coefficient. The riders can perceive the difference clearly, in spite of not being so big on their feeling. Therefore, they can accept the PD control of the friction ellipse without an unnatural feeling.

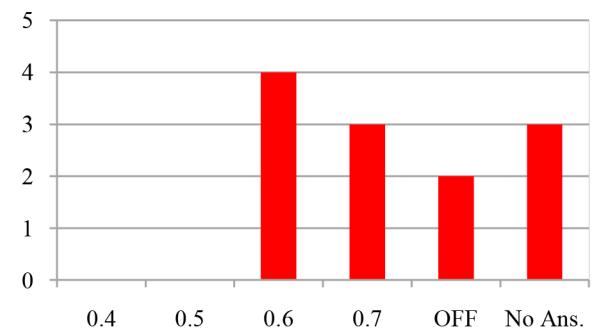
of friction circle, the maximum additional return torque is increased to 100cN*m in order to check the upper limit. The riders can choose the coefficients of friction: μ_c from 0.4 to 0.7 in steps of 0.1 by the mode switch while test riding. The following are the questionnaire results of the evaluation test of this system.

Figure 12 (a) indicates the favorite μ_c which is prepared in the mode switch. Most of the riders selected 0.6 or 0.7 for μ_c , which are the value assumed for dry condition. From the result, the differences between the timing of the control intervention and the feeling of the riders are small, and the unnatural feeling from the intervention is restrained. There are the other opinions that it needs higher μ_c since the intervention timing is a little bit early, and it was difficult to select only one μ_c since several μ_c are wanted according to the road condition. Figure 12 (b) indicates the feeling of quantity of the additional return torque. "Good" was selected the most, half of the riders chose answers heavier than the best.

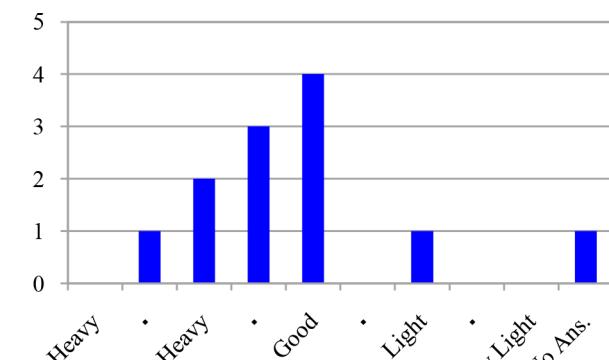
4 EVALUATION TESTS

Twelve test riders evaluated the system with the PD control of friction circle on our test course in dry condition. The contents of the tests had been explained to all of the test riders prior to the tests, and they were asked to fill out the questionnaires of this system after the tests. Thus the results are with the informed consent.

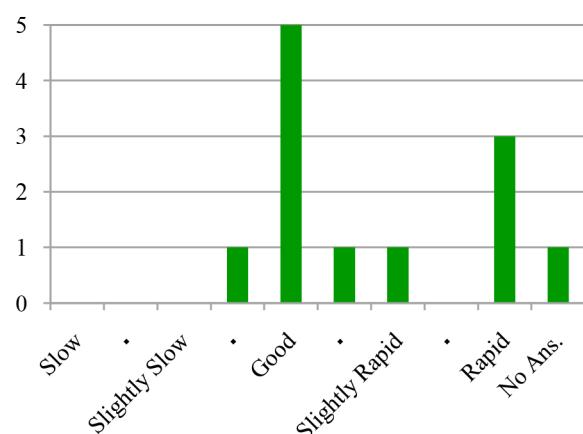
The gain settings are the same as the test of PD control



(a) Favorite μ_c



(b) Quantity of additional return torque



(c) Fluctuation speed of additional return torque

Figure 12 Questionnaire results of riding tests

From the results, the maximum additional return torque for the evaluation tests is a little higher than they want, and therefore, the maximum value is valid around 70cN*m, or needs adjustment of the gain settings for reducing the overall torque.

Figure 12 (c) indicates the feeling of the fluctuation speed of the additional return torque. This question also has the most number of "Good", and half of the riders chose answers rapider than the best. From this result, adjustments of the gain settings are needed to fit with the feeling of riders, by reducing the torque of the differential control which depends on the operation speed of the throttle grip and the torque of the proportional control from a changing direction or a quick turn.

Besides the questionnaire, there were it was got some comments from the riders. All of them were able to understand the purpose of this system, the gaps of the coefficient of friction between the mode switch were just proper, and they were able to perceive them, and use properly. Thus, it is possible to communicating with the system by force sense using intuitive information. But one of the rider commented that this system should not have the intervention on an operation system, and needs to improve to be more natural.

5

SUMMARY/CONCLUSIONS

Recently, there have been many reports about development of HMI which used a visual or auditory display to improve driver assist. A haptic display which has few disturbances was thought to suit for motorcycle even if it has less quantity of information than a visual or auditory one. The test vehicle, which has the haptic throttle grip as a haptic HMI and the logic which transmit the surplus engine torque information with friction circle was made, and the data was collected from the riding tests. The following states the conclusions.

This haptic system can transmit the limit of tire grip on the driving wheel or the surplus engine torque to the rider using a haptic signal of force sense. This system has an effect as a riding support system since this intuitive haptic signal intervening to the operation system feels like an operation support. Using the PD control from the results of the riding tests is valid for the control strategy for an operation support system of throttle grip. It is suitable to limit the maximum additional return torque 70cN*m for riders. The PD control with friction ellipse

has better feeling for riders than with friction circle, and therefore, it is good to use friction ellipse for this system in the future.

Imaginary coefficients of friction decided by development engineers are used in this system, therefore, to estimate the real value is one of theme to be considered in the future. Some of riders had unnatural feelings which were made by the quantity and timing of the additional return torque. Adjustment of the gains of both controls to improve the system will also be considered. And last, improving the strategy of this system will be considered since this system cannot transmit any information when only the lateral force becomes big beyond the friction circle at acceleration. In spite of improvements to be considered, this system can transmit the information and support the rider.

REFERENCES

- [1]Kim, D., Kim, S., Kim, H., and Son, B., "Development of Road Safety Information System for Active Accelerator Pedal at Curves," SAE Technical Paper 2007-01-3580, 2007, doi:10.4271/2007-01-3580.
- [2]Kobayashi, Y., Kimura, T., Yamamura, T., Naito, G. et al., "Development of a Prototype Driver Support System With Accelerator Pedal Reaction Force Control and Driving and Braking Force Control," SAE Technical Paper 2006-01-0572, 2006, doi:10.4271/2006-01-0572.
- [3]Takae, Y., Seto, Y., Yamamura, T., Sugano, T. et al., "Development and Evaluation of a Distance Control Assist System with an Active Accelerator Pedal," SAE Int. J. Passeng. Cars - Electron. Electr. Syst. 2(1):46-55, 2009, doi:10.4271/2009-01-0161.
- [4]Várhelyi, A., Hjälmdahl, M., Hydén, C., and Draskóczy, M., "Effects of an active accelerator pedal on driver behaviour and traffic safety after long-term use in urban areas," Accident Analysis & Prevention, Vol.36, Issue5, pp.729-737, 2004.
- [5]Martens, M. H., and Van Winsum, W. "Effects of speech versus tactile support messages on driving behaviour and workload," presented at 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Amsterdam, June 4-7, 2001.
- [6]Ihara, T., Wingert, A., and Yamamoto, K., "A Study on a Lane-keep-assistant-system for Trucks," Review of Automotive Engineering, Vol.27, No.4, pp.601-605, 2006.
- [7]Pohl, J., and Ekmark, J., "Development of a Haptic Intervention System for Unintended Lane Departure," SAE Technical Paper 2003-01-0282, 2003, doi:10.4271/2003-01-0282.
- [8]Suzuki, K., and Jansson, H., "An analysis driver's steering behaviour auditory or haptic warning for the designing of lane departure warning system," JSAE Review Vol.24, No.1, pp.65-70, 2003.
- [9]Bruder, R., Abendroth, B., Didier, M., Schreiber, M. and von Wilamowitz-Moellendorff, M., "Safe and Pleasurable Human Machine Interfaces for Automobile," presented at Convergence 2008, October 2008, Detroit, MI, USA, No. 2008-21-0005.

ACKNOWLEDGMENTS

The author would like to thank his colleague SAWADA Ai for assistance to this paper.

■著者



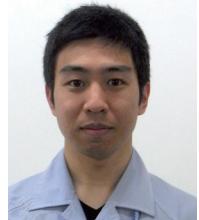
藤戸 学
Manabu Fujito

技術本部
研究開発統括部
システム安全技術研究部



坂井 浩二
Kouji Sakai

技術本部
研究開発統括部
システム安全技術研究部



原薗 泰信
Yasunobu Harazono

技術本部
研究開発統括部
システム安全技術研究部

編集後記

MC 事業本部の編集委員として各商品部門の責任者に技報のテーマ選出の相談をさせて頂き、候補に上がったテーマの責任者に原稿執筆依頼をしたところ、一度のお願いで承認して頂けたのが 2 月。初稿投入からメールだけでなく、時には同じ文面を眺めながらの確認を重ねて原稿が仕上がったのは 9 月末。この間のやりとりは、技術的な専門分野の内容は執筆者、文言、用語、表現の統一などの表面的な内容は小生、との役割分担で進捗を図り、その回数は後半になるに連れ事務局の参入もあり、増加していった。

振り返ってみれば、執筆者の方々とは、リアルなコミュニケーションをとることができたことを嬉しく思うし、感謝している。そして、技報の読者の方々にはブランドスローガンにあるように“エンジンの回転を上げるように心躍る瞬間”を文面から感じて頂けたならば、何よりも幸せに思う。

(伊藤 英敬)

編集委員を担当して早くも 3 年が経過しようとしている。製造技術分野の技術論文を編集しているが、専門分野ではないことが多いため、新たな知見が得られて大変勉強になると共に一編をまとめあげることの難しさも実感している。10 年ほど前に私自身も技報に技術論文を寄稿した経験があり、社内外から執筆した論文の問い合わせをいただいことがある。異動して間もない頃に名刺代わりに寄稿したつもりだったが、いろいろな方に読んでいただいていることが分かり、思わず反響への喜びと執筆の責任を感じた記憶が残っている。

技術論文は研究の成果をまとめる手段の一つだが、研究の成果を公表することで、技術交流の機会を得ることができる。第三者に文章で研究の成果を分かり易く伝えるのは容易なことではないが、執筆の機会があれば、是非、積極的に手を挙げて自己研鑽していただきたい。技術者相互の交流手段としても本技報が活用されることを期待している。

(濱田 忍)

ヤマハ発動機 技報編集委員会

委員長

金子 和佳 技術本部 技術企画統括部 技術管理部

委員

伊藤 英敬	MC 事業本部 技術統括部 技術戦略部
今井 浩久	事業開発本部 UMS 事業推進部 開発部
岡田 弘之	事業開発本部 RV 事業部 開発部
奥村 英之	マリン事業本部 ME 事業部 開発統括部
小野 朋寛	事業開発本部 SPV 事業部 第 1 開発部
菅野 秀昭	ヤマハモーターハイドロリックシステム(㈱) 第 1 開発室
末森 勝	マリン事業本部 ボート事業部 舟艇製品開発部

鈴木 正人	技術本部 研究開発統括部 イノベーション研究部
田中 大二郎	AM 事業部 AM 第 1 技術部
登澤 幸雄	ヤマハモーターエンジニアリング(㈱) 経営企画部
濱田 忍	技術本部 生産技術統括部 生産技術部
松井 太憲	ヤマハモーターエレクトロニクス(㈱) 第 2 技術部
馬場 尚人	ヤマハモーターパワープロダクツ(㈱) PP 事業推進部
吉本 幸弘	事業開発本部 IM 事業部 ロボットビジネス部

事務局

池田 厚司	人事総務本部 人事総務統括部 法務・知財部
望月 範久	人事総務本部 人事総務統括部 法務・知財部
三宅 英典	人事総務本部 人事総務統括部 広報宣伝部

水野 康文	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 49 号

YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW 2013 No.49

印 刷 2013 年 11 月 30 日

発 行 2013 年 12 月 1 日

発行所	ヤマハ発動機株式会社 〒 438-8501 静岡県磐田市新貝 2500
発行人	木村 隆昭
印刷所	(㈱)スタジオコバ 〒 437-1196 静岡県袋井市松原 2455-2
お問い合わせ	技報編集事務局 TEL 0538-32-1171 (技術本部 技術企画統括部 技術管理部)
ホームページ	http://www.yamaha-motor.co.jp/profile/craftsmanship/technical/index.html

※無断転載を禁じます。

※落丁本・乱丁本は、小社技報編集事務局宛てにお送りください。
お取替えいたします。

表紙デザイン

陸空海を自由に動きまわるモノを通じて人々の心を動かすヤマハ。そんなのモノづくりのベースになる技術はアクティブでクールな技術者達の思いがあるからです。そんな思いと新しいブランドスローガン「Reves your heart」をイメージし、シンプルに表現してみました。



仲村 拓哉
デザイン本部 デザイン推進部



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