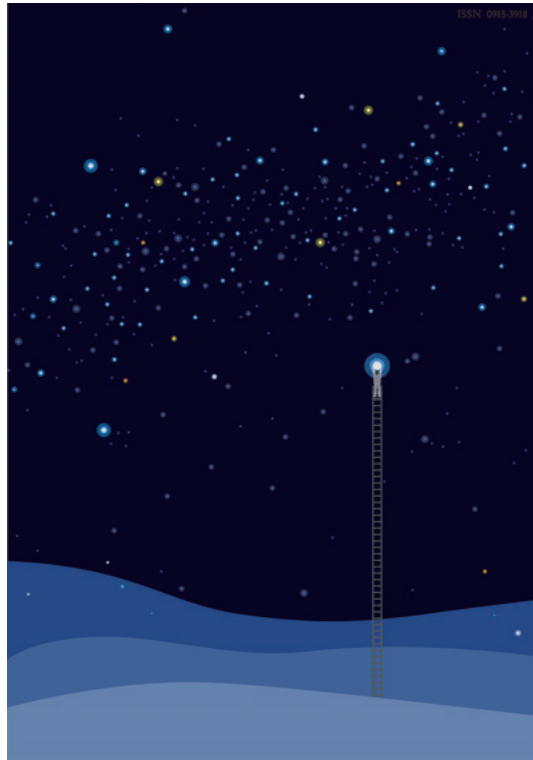


Honda R&D

Technical Review Vol.30 No.1

April 2018





表紙の言葉

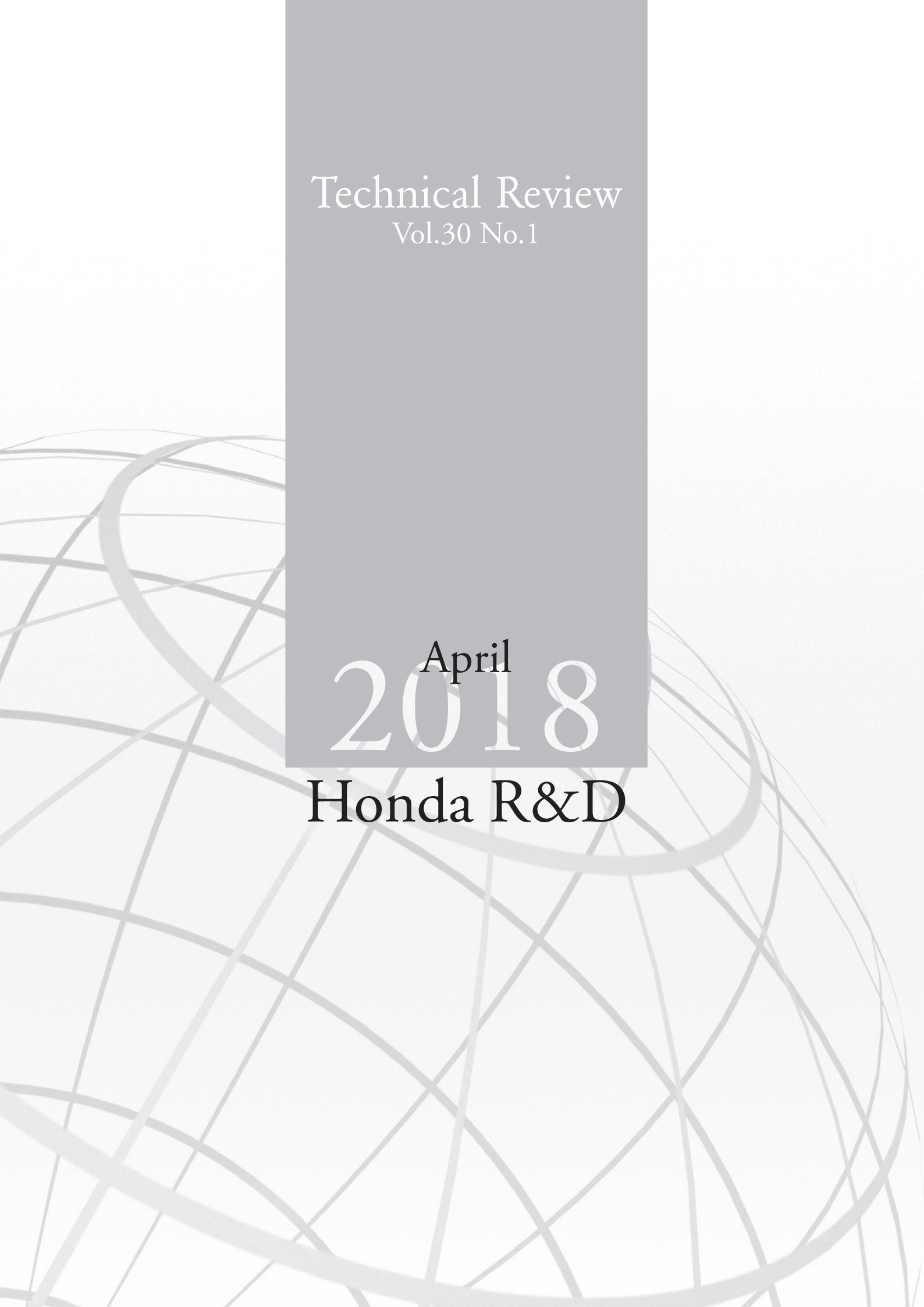
古代の人々は夜空に光る星をつないで星座を描くことで、天体を把握し、進むべき方角を知りました。

私は技術のひとつひとつが星のようだと考えています。

我々が日々研究している成果である技術が集まり、製品というひとつの星座になり、それらが世界を形作ることによって人類の進む方角をしるすことができるのではないかと信じ研究開発に携わっています。



パワープロダクツR&Dセンター
才津 優

The background features a light gray wireframe sphere. A solid gray vertical bar is positioned in the upper center, containing the text 'Technical Review' and 'Vol.30 No.1'. Below this bar, the word 'April' is written in a smaller font, followed by the large year '2018'. At the bottom, the text 'Honda R&D' is displayed in a bold, serif font.

Technical Review
Vol.30 No.1

April
2018
Honda R&D

目 次

◇ Honda イノベーションラボ Tokyo の紹介.....	上山雅樹・関口正敏.....	1
----------------------------------	----------------	---

技術紹介

◇ X-ADV におけるコンセプトの創出とスタイリングデザイン	飯田王海・Daniele LUCCHESI・Maurizio CARBONARA.....	14
◇ 蓄電機 LiB-AID E500 の開発.....	中田泰弘・藤川 昂・縄田慶陽 甲斐大志・山名康介・加藤雄也.....	29
◇ 新型アコード ハイブリッド用 2.0 L エンジンの開発.....	若松 健・吉本康時・坂口元康 石神佳治・赤石伸行・久保田賢司 泉 慎介・中村賢治.....	35
◇ スクータ用空冷エンジンの燃費向上を目的とした可変冷却システムの開発....	小林友和・高姓一行・飯塚智司.....	41
◇ マウントラバーによる船外機 BF4/5/6 の振動低減技術.....	小橋保方・岡田 毅・原田義弘.....	49
◇ 熱可塑性 GFRP を適用したリヤバンパビームの開発.....	彌武朋也・安原重人.....	55
◇ 量産車のモデルベース開発における横風安定性評価シミュレーション技術....	豊島貴行・畔勝良友・池田直史.....	61
◇ ホットスタンプ材における溶接時の熱影響による構造体強度低下.....	大岡久康・野村友大・河津政裕.....	69
◇ 鷹栖プルービンググラウンド 新設 US コース.....	浅田隆二・松倉剛克・唐崎英史 工藤博之・加藤 紘.....	77

論文

◇ CFRP RTM 成形におけるギャップ金型技術の開発.....	菅野大行・清本 弘・西野文悟・梶浦陽平 高塚隆行・安斎正広・松本恒平.....	83
-----------------------------------	--	----

CONTENTS

- ◇ Introduction of Honda R&D Innovation Lab Tokyo Masaki UHEYAMA・Masatoshi SEKIGUCHI 1

Introduction of new technologies

- ◇ Concept Creation and Styling Design in the X-ADV
 Omi IIDA・Daniele LUCCHESI・Maurizio CARBONARA 14
- ◇ Development of Rechargeable Power Source LiB-AID E500
 Yasuhiro NAKADA・Go FUJIKAWA・Yoshiharu NAWATA
 Masashi KAI・Kosuke YAMANA・Yuya KATO 29
- ◇ Development of 2.0 L Engine for New Accord Hybrid
 Takeshi WAKAMATSU・Koji YOSHIMOTO・Motoyasu SAKAGUCHI
 Yoshiharu ISHIGAMI・Nobuyuki AKAISHI・Kenji KUBOTA
 Shinsuke IZUMI・Kenji NAKAMURA 35
- ◇ Development of Variable Cooling System Aimed at Fuel Economy Improvement of
 Air-cooled Engine for Scooters
 Tomokazu KOBAYASHI・Kazuyuki KOSEI・Satoshi IJIMA 41
- ◇ Vibration Reduction Technology with Mount Rubber for Outboard Motors BF4/5/6
 Yasukata KOHASHI・Takeshi OKADA・Yoshihiro HARADA 49
- ◇ Development of Rear Bumper Beam Using Thermoplastic Glass Fiber-reinforced Plastic
 Tomoya YABU・Shigeto YASUHARA 55
- ◇ Crosswind Stability Simulation Technology for Performance Design in
 Model Base Development of Mass-production Vehicles
 Takayuki TOYOSHIMA・Yoshitomo AZEKATSU・Naofumi IKEDA 61
- ◇ Degradation of Structure Strength by Welding Heat Effect for Hot-stamped Material
 Hisayasu OOKA・Tomohiro NOMURA・Masahiro KAWAZU 69
- ◇ Development of New US Evaluation Course in Takasu Proving Ground
 Ryuji ASADA・Takekatsu MATSUKURA・Eiji KARASAKI
 Hiroyuki KUDO・Ko KATO 77

Technical papers

- ◇ Development of Gap Mold Technology for RTM of CFRP Parts
 Hiroyuki KANNO・Hiroshi KIYOMOTO・Bungo NISHINO・Yohei KAJIURA
 Takayuki TAKATSUKA・Masahiro ANZAI・Kohei MATSUMOTO 83

Honda イノベーションラボ Tokyo の紹介

Introduction of Honda R&D Innovation Lab Tokyo

上山 雅樹*
Masaki UEYAMA

関口 正敏**
Masatoshi SEKIGUCHI

要 旨

人工知能技術に関連した新しい領域の商品開発のために、Honda イノベーションラボ Tokyo を赤坂 Biz タワーに設立した。

このラボを創るにあたり「研究開発する者の立場で」を第一義に、建築設計会社や工事業者各位を巻き込んだオープンマインドなコラボレーションによって、様々なアイデアや想いを込めた。

それらは、色彩や音響、照明設計に加え、空間の有効活用のためのディスカッションワゴンやどこでもホワイトボード、それらを囲むスマートフレームと水備蓄をかねたスツールなどの什器や、刺激を得るためのホンダの本棚とガラス壁のディスプレイ、取組の方向性を示すオブジェクト、発想支援システムなどにより具現化している。

この結果、一般社団法人ニューオフィス推進協会からニューオフィス推進賞を受賞した。

ABSTRACT

The Honda R&D Innovation Lab Tokyo in Akasaka Biz Tower was established for product development in new areas related to artificial intelligence technology.

The standpoint of the people engaging in research and development was put first in creating this lab facility. A variety of different thoughts and hopes were therefore incorporated through open-minded collaboration that involved the architectural design firm and construction contractors.

Those thoughts and hopes were given concrete form in various ways. In addition to color, acoustics, and lighting design, there are discussion wagons and Dokodemo White Boards for a more effective use of space, smart frames surrounding them, stools with built-in storage space for water containers and other furniture, the displays of Honda items on bookshelves and glass walls for stimulating creativity, objects used to indicate the directions being taken in initiatives, idea generation-support systems, and other such implements and furnishings.

As a result, the Honda R&D Innovation Lab Tokyo received a New Office Promotion Award from the New Office Promotion Association.

1. まえがき

近年、人工知能の発展がめざましい⁽¹⁾。このように急激に進展している技術領域では、社外の企業や大学の研究者らとの心を開いた交流を通じた協創が有効と考えられる。そこで人工知能技術に関連した新しい領域の商品開発のために、交通の便の良い赤坂に Honda イノベーションラボ Tokyo (以下 HIL-TK と記す) を設立した。このラボを創るにあたっては建築設計会社や工事業者各位をまきこんだオープンマインドのコラボレーションを行い、働きやすい環境を実現するための様々なアイデアを織り込んだ。それが評価されニューオフィス推進賞を受賞した⁽²⁾。本稿では、今後、新しい研究所創りの参考にしていたくために、前半に HIL-TK を実現するまでの経

緯を示し、後半にはラボの紹介とそこに込めた想いを紹介する。



Fig. 1 Entrance to Honda R&D Innovation Lab Tokyo

* R&D センターX

** 和光管理室

2. コンセプト

2.1. キーワード、方向性、イメージ

HIL-TK を設計するにあたって込めた想いは「ここから Honda の研究所を変える」である。最初に HIL-TK を表現するキーワードを抽出した。

没頭

出島

オープン

無から有

ムーブファースト

イノベーション

無謀にも思えるチャレンジ

明るく元気に

次に、社内外に示したいことをまとめた。

- ✓ 今までのハードウェア売り切りビジネスから脱却して、イノベーションを行う会社に変革していく
- ✓ ソフトウェアのベンチャー企業と同じスピード感を持ってイノベーションを起こしていく
- ✓ 自社のみの開発から、オープンイノベーションで開発をしていくオープンかつフレキシブルさ

さらに、それらをもとに空間を設計するための考え方を整理した。

事務処理は今後コンピュータ (AI) に移ってゆく⁽³⁾と考えられることから、研究者としては、新しい価値を創造していくことがより重要となる。そのためには自分自身で働く場所を創り、時代に合わせて変化していく柔軟性が必要となるであろう。これを表現したのが Fig. 2 である。

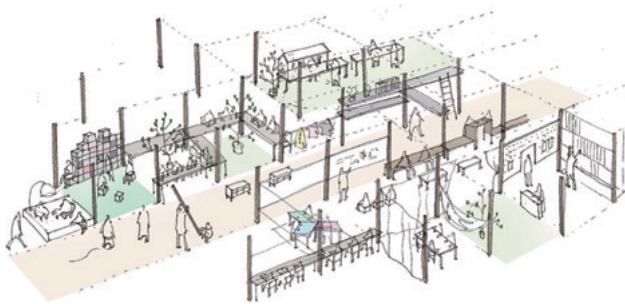


Fig. 2 A laboratory that we create ourselves and upload, and that continues to grow

2.2. 立地

新しい技術を商品化するためには、社内外の人々が活発に交流する場所に身を置いて、開発者自身が世の中の動きや様々な刺激を自らの肌で感じ、吸収してゆくことが望ましい。様々な人々と活発な意見交換を行い、新しい発想を生み出すためには、情報通信が発達した現代においても、実際に顔を合わせて議論することが重要である。その

ため、ラボのロケーションは人と情報の集積する東京都心の、赤坂 Biz タワーの 27 階が選定された。

2.3. 制約条件と仕様への反映

Table 1 に示す高層ビルゆえの制約条件を仕様へに反映した。他の入居者に迷惑をかけないように、騒音や振動の出る工事は平日の深夜から早朝までと土日に限られた。そのため、工事にかかる時間を短縮する工夫として、現場作業が必要な床、天井、壁は既存を活かし、人が日々直接触れる什器を専用設計して、全体の特徴とコントラストを生み出すこととした。

Table 1 Constraints imposed by a high-rise building and responses to those constraints

Constraints	Responses
Low ceilings and limited floor load capacity	Use existing laboratories for large objects. Take visual steps to address oppressive ceiling feeling.
Building entry through flapper gates feels bothersome	Leave door to entrance area open
Feel out of touch with the changing time and seasons	Use lighting to represent the changing time and decorative plants that also function as partitions to produce a sense of the seasons
Area is limited	Use equipment and fixtures creatively for conferences, experiments, and other such functions

(1) 視界

蛸壺にはまらず視線を遠く未来に向けられるよう、立てば窓の外まで見通せるように、壁をつくらずに空間を一体とするとともに、什器の高さを揃えた。また天井の低さを意識しないよう視線誘導を行う構造とした。

(2) 色彩

新しいことに挑戦してゆくには不安がつきものである。日々接する色彩が気持ちを左右する重要な要素と考え、活気がでるよう空間全体を明るく暖かい色調とした。うまくいなくて減入ったときも気分が減入らない空間をイメージしたものである⁽⁴⁾。

(3) 音響

所員が仕事に没頭できる空間をめざした。普通の声で会話できるように、かつ、会話が反響して聞き取りにくくならないよう吸音を意識した素材を多用した。

(4) 照明

コンピュータディスプレイへの光の映り込みを防ぐために、窓に近い席はフリーアドレスやリフレッシュコーナーとした。さらに一日の時間変化を感じられる照明とした。

(5) 会議室、テスト室

オープンさを表現するために、壁やドアは視線を遮らない透明ガラスで構成した。

(6) 気づき誘発のためのしかけ

異なる雰囲気での議論や雑談ができるようフリーアドレス席やリフレッシュコーナーを複数設置した。

こぼれ話 - デザイナは暗い色が好き

高級品を扱う店の内装や富裕層向けの住宅はカッコいいとか高級感が大切。灰色や暗い色で埋め尽くされている。たしかにカッコいい。でも、ぐるりと取り囲む窓から自然光が降り注ぐ HIL-TK で、まさか窓を塞ぐのか。そもそも HIL-TK は新しいモノコトを生み出す場所である。暗いと落ち着くかもしれないが、落ち着いてしまっちゃ困るのである。新しい物をどんどん生み出すために、心が活発に動くような空間が欲しい。デザイナーには灰色出入り禁止を言い渡した。

2.4. 推進体制

HIL-TK を立ち上げるに際して準備プロジェクトが組織された。情報の錯綜を防ぎ意思決定を速めるために全ての情報が HIL-TK 準備プロジェクトに集まるよう Fig. 3 に示す推進体制が整えられた。

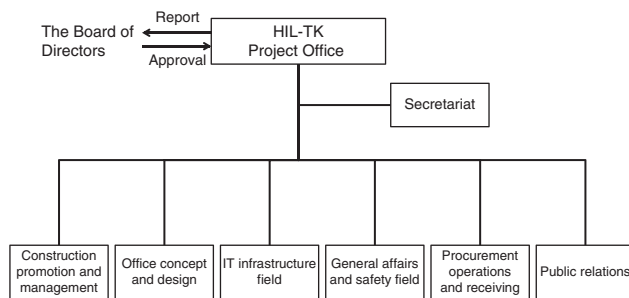


Fig. 3 Structure for promoting HIL-TK

2.5. 三現主義による工事

工事前のフロアの一部を仮間仕切りし、仮オフィスを開設して、通常の研究開発業務を進めながら HIL-TK の仕様検討を行った。工事を行う、まさにその場所に陣取って、場所の特徴をどう活かすかを検討したわけである。日程を Fig. 4 に、工事前後の様子を Fig. 5、Fig. 6 に示す。

検討や工事の確認は以下のように進めた。

定例会:設計会社や工事業者と週 1 回

分科会:IT 系と電力、什器検討、各々週 1 回

確認会:購入什器、試作の現場確認をその都度実施

工事現場で仕様検討することで、物の配置の位置関係などをすぐに確認し、即断即決することができた。その結果、極めて短期間で工事を完成させることができた。まさに現場、現物、現実の三現主義の実践にほかならない。

2.6. HIL-TK の全体構成

HIL-TK は Fig. 7 に示すように、お客様との打ち合わせなどに使うエントランスエリアと、機密管理が必要な執務エリアにわかれる。各場所の特徴を Table 2 に示す。

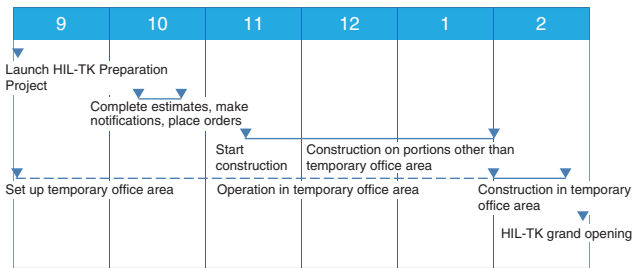


Fig. 4 Schedule leading to grand opening



Fig. 5 On-site study location before construction

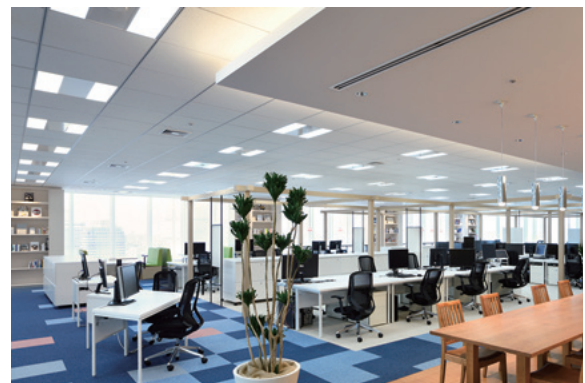


Fig. 6 Same location after construction

Table 2 Entrance area and work area

Location	Name	Overview	Figure
Entrance area	East Meeting Room	Meeting room for about 10 people at windows on east side	Fig. 10
	Green Meeting Room	Meeting room for 10 people	Fig. 11
	Collaboration Room 1, 2	Rooms fit about 4 people each	Fig. 13
	Presentation Area	Space that can be enclosed in glass	Fig. 14
	East Cafe	Space usable for simple meetings and briefings	Fig. 9
Work area	Work desks	"Free address" trapezoidal desks open for use by all in the office and rectangular desks with assigned seats	Fig. 21, 22
	Central Cafe	Refreshment area located in central area	Fig. 36
	West Cafe	Refreshment area at northwest corner	Fig. 30
	High Counter	Free space along windows on north side	Fig. 23
	Sofa Seat	Free space along windows on north side	Fig. 24
	West Meeting Room	Meeting room for 12 people at windows on west	Fig. 26
	Small Meeting Room	Meeting rooms for about 6 people on west side	Fig. 26

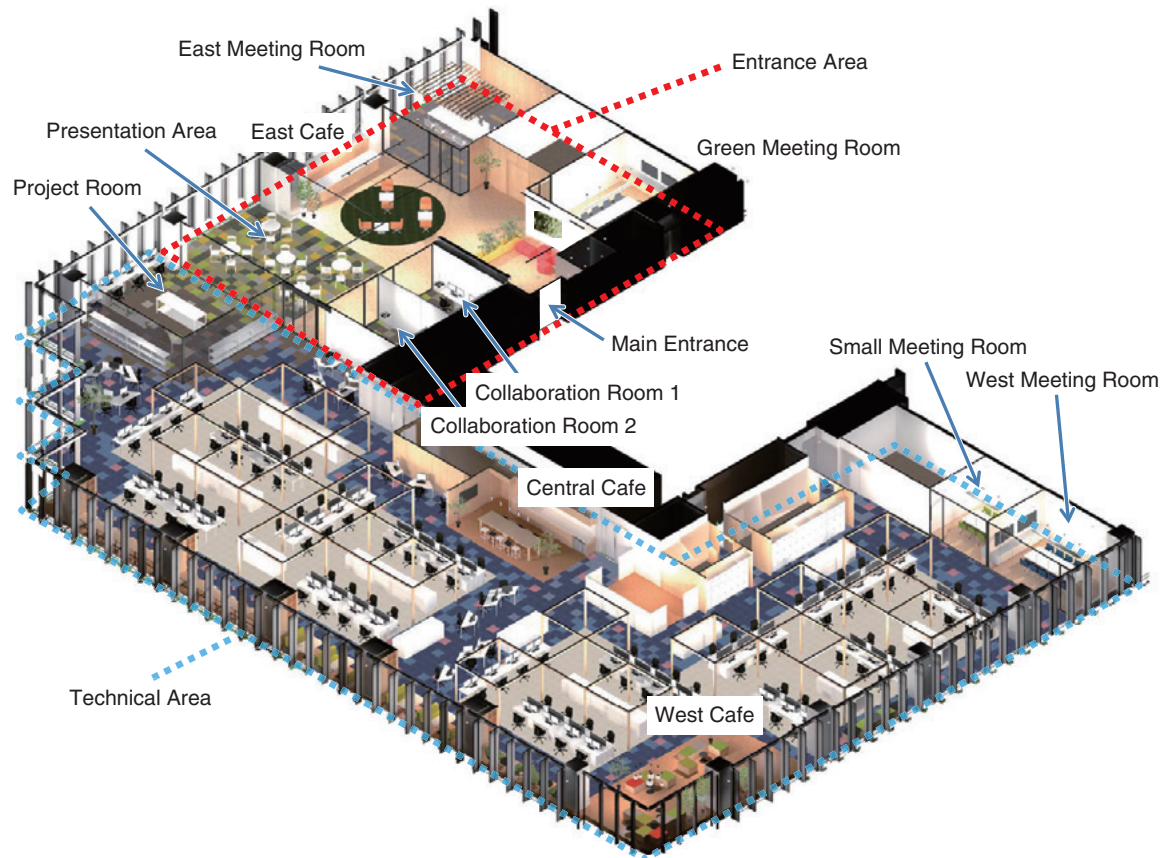


Fig. 7 Overall layout

3. エントランスエリアの紹介

3.1. エントランスとオブジェ

Fig. 1 に示す Honda イノベーションラボ Tokyo のエントランスの扉はオープンマインドを示すために 9 時から 18 時まで開放している。来訪者がエントランスで最初に目にする Honda R&D Innovation Lab Tokyo のネームプレートの向かいの壁に HIL-TK で成し遂げたいことを示すオブジェを展示した。Fig. 8 に示す。



Fig. 8 Objects in entrance

「フェイク」を使うのは本物の代用ではない。「フェイク」でしか実現できないことをやるべきとの考えから、今世の中に無いことを世に出してゆこうとの心意気を表すオブジェである。

右端の白い壁から現れるブドウ畑の写真は、今は存在していないものを生み出したいとの意志を表現する。写真から「フェイク」のブドウの樹が立体的にあふれだす葉や枝は、それを実際に世の中に出すことを意味している。そしてそのブドウの木には、桃、リンゴ、柑橘類が実っていて、自然界ではありえないものを表現している。

3.2. East Cafe 光るリングと抜き天井

エントランスの真正面には、East Cafe と名付けたお客様の飲み物を準備するカウンタを設置した。その上には光るリングを吊り下げている。

HIL-TK からは眼下に国会議事堂や皇居が望めることから、窓際で我が国の将来に思いを馳せることが多い。とても重要なことである。が、我々はもっと遠くを見て欲しいと考え、光るリングを吊り下げることによって視線を上を誘導した (Fig. 9)。

この窓は東向きなので上に誘導された視線は東京湾を超え太平洋を渡り、シリコンバレーを見据え、さらに米国

を横断し、大西洋を経由してヨーロッパに、そしてインド、中国を経由して地球を一周するグローバルなまなざしで外を見たい。そんな思いが込められている。

天井の一部を抜いているのは、おしゃれな店のマネをしたものではない。今日の続きが明日と、世の中が大きな変化もなく続いていくと思いがちな自分たちに対し天井が抜けるかもしれない、明日は何が起きるかわからないと変化に意識を向けるために、あえてここだけ天井を抜いている。

3.3. 会議室

白くて磁石がくっつく会議室の壁は、すべてホワイトボードとして使用することができる。これは、議論に熱中すると床にまで図面を書いたという創業者本田宗一郎のエピソードにヒントを得たもので、いつでも議論しやすい環境をつくるためである。

また、Collaboration Room 1, 2 の間の間仕切りは可動式にしており、一つの部屋として使うことができる。この部屋は、社外のクリエイターや研究者たちがいつもこの部屋にいてコラボレーションしている状態を想定して名付けた。

3.4. ガラスの仕切り

社外との境界から世の中の動きを肌で感じ、いまだ存在しない、人々の心の奥底の求めを読み解いて、これこそが欲しかったんだ、と驚きとともに喜んでもらえるモノコトを創り出す。そのためには自分達だけで取り組むのではなく、オープンマインドで社外との協創が必要であろう。そこでオープンマインドを表現するために、Fig. 12 で執務エリアのイスが鮮明に見えることが示すように、HIL-TK はお客様が自由に入れるエリアと所員の執務エリアの境の壁すら透明にしている。

見られて真似されたらどうするのか。今まで誰よりもよく考えてきたことを、ちらりと見られたくらいで先を越されるわけがない。先を越されたなら見られた側が遅すぎるからである。オープンでやるからには仕事のやり方を見直し、とてつもなくスピードを上げてやるぞという決意表明でもある。

3.5. 逆さまのグラフィック

さらに HIL-TK 内の会議室の扉と壁も透明ガラスとした。とはいえ会議の様子が外から丸見えでは落ち着かない。さらされ感を減ずるために、目線の高さのガラスにグ



Fig. 9 East Cafe with glowing rings and open ceiling



Fig. 11 Green Meeting Room



Fig. 10 East Meeting Room



Fig. 12 Transparent glass wall

ラフィック処理を施した。

ただの目隠しではなく、いろいろな違った視点で観ることの大切さを示唆するために、上下逆の世界地図と北極中心の地図をディスプレイした (Fig. 13)。



Fig. 13 Graphics on walls of Collaboration Rooms 1 and 2

3.6. Presentation Area

イベントを行うためのスペースである。普段は打ち合わせスペースであるが、ガラス可動壁で囲うことができ、窓に遮光カーテンとスクリーンを下すことでプロジェクタを使ったプレゼンテーションを可能とした。丸テーブルをかこんで 20 人、イス席だけで 35 人が、ガラス可動壁を解放すれば、100 人規模のイベントが可能である。2017 年 2 月 28 日の HIL-TK のグランドオープンでは、マスコミやジャーナリストを招いて会見を行った。AI のエキスパートシステムで著名な Prof. Edward Albert Feigenbaum を招いた講演会の様子を Fig. 14 に示す。



Fig. 14 Scene of a talk being given in the presentation area

4. 執務エリアの紹介

執務エリアには、二つの会議室とプロジェクトルームを除いて扉を設置していない。これはだれがどこにいるか見渡せるようにすることで所員の交流を促すことと、フラットな組織として風通し良くするためである。

4.1. 執務エリアの仕様

フローリングは歩行音が気になる上に会話の声が反響する。また、補修時には大掛かりな張り替え工事が必要となるため、執務エリアの床は、カーペット仕上げにした。

カーペットは吸音性の高いものにすることで所員が気兼ねなく会話ができ、議論するざわめきが適度な音環境を醸し出し、まるで森の中を抜けるような開放的な空間でオープンなコミュニケーションが可能となっている。このカーペットはひどく汚れた場合を考慮し、Fig. 15 でわかるように 50 cm × 50 cm 単位で交換が可能なものを使っており、将来の補修費用の低減も考慮した。



Fig. 15 Work area scene

こぼれ話 - 挑戦者たちの物語

新しい世界を創り上げようとの無謀にも思える取り組み。

従来の研究所を豪華客船に例えるなら HIL-TK はちっぽけな手漕ぎ船。しかしその船は新たなビジネスのブルーオーシャンを目指して大海原に乗り出した挑戦者たちのものである。

たどりついた生命の源である海に囲まれた無人島では、木が生え、枝が伸び、緑が育ち、花が咲いている。砂浜に辿り着いた流木で自分たちの住处をつくる。

そんなストーリーによって執務エリアの素材・カラーを構成した。通路は海を表す青のカーペットを敷き、所員が働く場所は砂浜を表すアイボリーとしている。

4.2. Project Room

HIL-TK には、過去の研究成果や商品を展示するスペースを設けていない。このプロジェクトルームはこれから世にだしてゆく商品、すなわち将来のレガシーとなるものを、あえてお客様に見えるところで研究開発する実験室である。

Fig. 16 を見ていただければわかるが、エントランスエリアからは遮るものがない。透明ガラス壁を通して、その先の執務エリアまでが見通せる。ここにも HIL-TK のオープンとイノベーションの思想が込められている。実験している様子を社外の人が見て、さらに発展させるアイデアをもたらしてくれることも期待している。

4.3. Smart Frame

執務エリアにはスマートフレームと名付けた木柱で構成した境界を設置し、自由に空間を区切れるようにした。内側は没頭できる領域、外側は移動や気分転換をする領域と、空間を感覚的に仕切ることでチーム一体感を醸している。また Fig. 17 を見ていただければわかるように、高さをそろえて目立つ木目の柱を連ねることで視線が誘導され、天井の低さから意識をそらす効果もねらっている。

スマートフレームは鉄骨を構造体としたものに突板を貼り、表面を樹脂でコーティングした。本物の木を感じつつ汚れを最小限に抑えるためである。仕事の変化に対応して机

の配置を変えることを想定して、スマートフレームは床に固定しないラーメン構造で、ひとつのユニットを構成する 3 m スパンの単位で増設や撤去が容易に可能な構造とした。

4.4. どこでもホワイトボード

自由な高さにホワイトボードを磁石で取り付ける構造の 5 kg の軽量フレームを考案し、スマートフレームのどの位置にも容易にホワイトボードをとりつけ可能とした。我々は「どこでもホワイトボード」と呼んでいる。これによってどこでも議論しメモがとれる空間を実現した。

4.5. ディスカッションワゴン

席の傍にディスカッションワゴンを配置した。収納を備えた作業台であり、表面は多少手荒に扱っても傷のつきにくいメラミン樹脂とし、気兼ねなく作業台として使うことができる。容易に移動できるようキャスタをつけ、ラボの変化に対応できる構造である。立ってパソコン作業を行ったり、取り囲んでミーティングが可能な天板高さとした。議論の際には余計なことに気を遣わないで済むよう、引き出しは出っ張りを無くし服が引っかからない構造とした。さらに爪先が入る空間を下部にもうけて、爪先が当たる不快感がないようにした。議論が活発になるよう、向かい合う人と人の距離や収納容積と外寸、引き出しの手がかりの



Fig. 16 Project room viewed from the reception area



Fig. 18 Dokodemo-white board



Fig. 17 Smart frame



Fig. 19 Discussion wagons

形状などを決めるために試作と議論を積み重ねた。離れて見ることが中心の建築デザインと、近くで触ることが多い自動車のデザインが融合したコラボ作品の実現である。

机に向かってプログラミングをしていて、くると後ろを向けば物を取り出したり作業をしたり議論ができ、思考を途切れさせずにスピード感をもって集中できる配置としている。このためか、会議室が空いているにも関わらずディスカッションワゴンを囲んだミーティングを行う姿が見受けられる。



Fig. 20 Meeting scene taking place around discussion wagons

4.6. Desk

HIL-TK ではディスプレイを 2 面使い、足元にコンピュータを複数置く場合が多く、横幅の広い机が必要である。机の上がすっきりするよう配線や電源アダプタ等を落とし込む構造も欲しい。しかし市販の机は配線カバーの隙間が狭く指をはさんでしまう場合があり、また使いやすく質感が高い机が見つからなかったことから、配線カバーの形状やクリアランス、エッジの処理に気を使って、会議室と併せて机を製作した。仕事に集中できるよう色を極力少なくした。ディスプレイやコンピュータ本体は黒が多いの

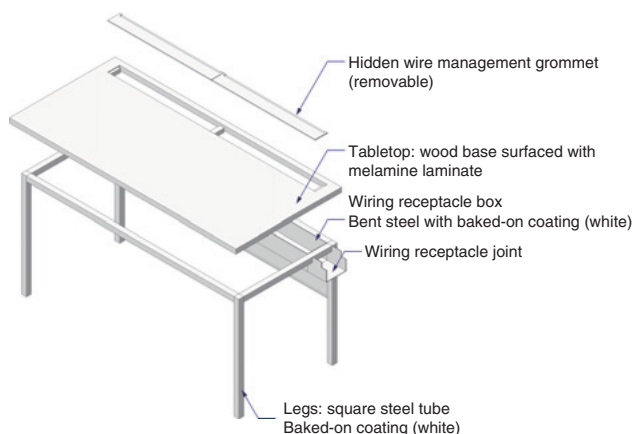


Fig. 21 Schematic drawing of desk

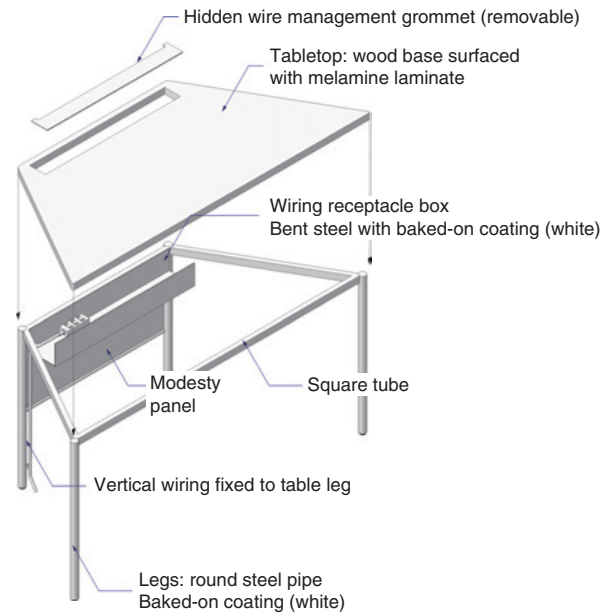


Fig. 22 Schematic drawing of trapezoidal desk

でイスも黒とし、机は明るい雰囲気を出すために白としている。またまわりのディスカッションワゴンの天板も机と同じ材質、厚みを使用し、さらにどこでもホワイトボードも同じ白で統一し、様々な色が氾濫しないようにしている。

一方、ノートパソコンひとつですむ業務を担当している企画部門や管理職に向けて、机の上に物があふれないよう手の届かないところをカットした台形の机を製作した。

単体で設置することもあるが、Fig. 7 に示すように三つを半円となるよう配置するなど変化のあるレイアウトが可能である。HIL-TK 内の机は会議室も含め、配線カバーや天板の仕様を共通化し製作コスト削減をはかった。

4.7. Free Address Area

北の窓に面したところをフリースペースとした。気分を変える場として窓に面してハイカウンタと高さを簡単に調整できるカラフルなイスを配置した。座った人の膝元が窓の外から見えにくいような膝隠しや、窓側にペンなどが転が



Fig. 23 High counter

り落ちないようにカウンタの奥端に盛り上がり部分を設けるなど、余計なことに気を使わずに仕事に没頭できるよう工夫を凝らしている。

ハイカウンタのとなりにはソファ席を設置した。落ち着いた雰囲気でも議論ができる窓際のフリースペースは、打ち合わせにリフレッシュにと、空席のあることがまれな状態である。座面の中には、後述するカラフルスツール同様に、防災備蓄として水のボトルを収納し、スペースの有効活用にも寄与している。

4.8. ホンダの本棚

北の窓側の5本の太い柱を取り巻いて本棚を設置した。

著者や編集者の目を通じてふるいにかけられた言葉で構成された本には、知りたいことの周辺のことも自然に目にすることができる良さがある。研究開発では目にしない文化と美意識、過去と未来の横断、コミュニケーションの形、身体と食、自然と人、といったテーマを設定して知の集積と言える本を集めた。そのなかには Whole Earth Catalog といった歴史的と言えるような本や様々な新書、大判の本、コミックや絵本、写真集も交じっている。「ホンダの本棚」は600冊以上の偶発的な刺激により新しいアイデアをつかむきっかけを促すしかけである。

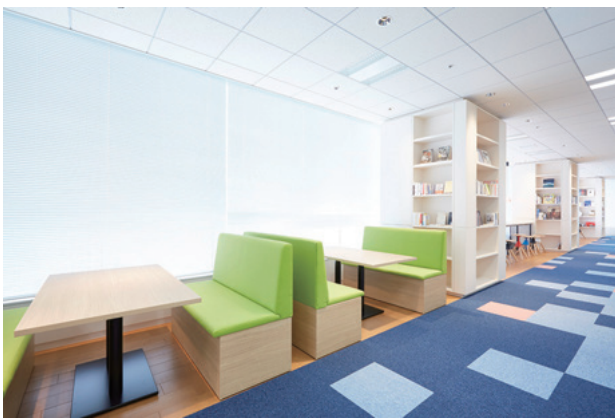


Fig. 24 Sofa seats



Fig. 25 Bookshelves

4.9. 所員専用の会議室

エントランスエリアから遠い西の窓側に West Meeting Room, その横に Small Meeting Room を設置した。(Fig. 26 の右が西側である)。Small Meeting Room のイスはオレンジ色, West Meeting Room のイスはライトグリーンと、議論が活発になるよう明るい色調にしている。

この二つの会議室のガラスには、先人たちの生み出してきた物に尊敬の念を込め、そして我々自身が刺激を受けることを期待して、道具の歴史をディスプレイしている (Fig. 27)。

左端には人類が創った道具として最古の部類である「石器」を配した。この石器は後に岩宿遺跡と呼ばれる場所で、たった一人の執念ともいえる努力で発見され、考古学の教科書を書き換えた相澤忠洋記念館所蔵の石器である⁽⁵⁾。我々も常識や学会の定説にとらわれず、「不常識」で挑戦してゆきたいとの思いでこれを最初に掲げた。

直火での調理は表面が焦げて中も生だったりして大変難しいものである。しかし土器に水をいれて煮れば 100℃ 以上に温度は上がらない。時間だけを管理すればよいので、極めて調理が簡単になった。そこで二つ目には調理の



Fig. 26 Small Meeting Room and West Meeting Room

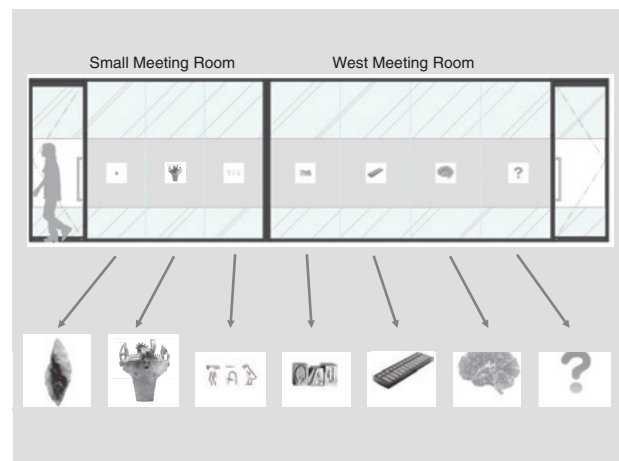


Fig. 27 Stone tools, earthenware, hieroglyphics, printing type, abacus, AI, ?

革命を起こした道具と言える土器を配した。

人が情報を伝える場合、しゃべり言葉はその人がいなくなったら消えてしまう。人を介すと変質しやすい。文字はそれを正確に残すことができる、いわば時間を超越できる道具である。そこで三つ目の道具として文字、ここではエジプトのヒエログリフで「知能」をあらわす文字を配した。

印刷技術は知識の伝達を一部の者のものから大衆へ広げ、大量の印刷物は世界中に情報を伝えることができるようになった。インターネットに匹敵するルネサンス期の情報革命であり、空間を超える道具と考え四つ目として印刷の活版を配した。

R&D センターX のアドバイザーになっていただいた Prof. Edward Albert Feigenbaum はシリコンバレーのコンピュータ歴史博物館のフェローでもある。この博物館には初期の計算機としてソロバンが展示されている。そこで五つ目は計算する道具であるソロバンを配した。

計算する道具と情報を記録する道具が組み合わさったもの、すなわち演算素子とメモリーから成るのがコンピュータや人工知能である。そこで六つ目には、人工知能をイメージしたイラストを掲示している。

そして最後に示すものは、「？」である。先人たちが創造した革命的な道具の次に、さて我々はなにを創りだしてゆけばいいのだろうか、と、この会議室に出入りするたびに意識することを期待している。

4.10. カラフルスツール

West Cafe やエントランスオブジェの前などにカラフルなスツールを配置している。今存在していない、あり得ないようなモノコトを実現しようとする、並大抵な苦労では済まない。数えきれないくらいの失敗を重ねなければならないかもしれない。そういった「困難に立ち向かう」には明るい雰囲気のほうが良からうと考え、カラフルな布を座面に貼ったスツールをあちこちに配置している。

このスツールには仕掛けがある。災害時に帰宅困難者が発生した場合の備えとして3日間の水や食料を備蓄している。水だけで約 1.5 ton にも達するため、保管する場所の確保が大変である。そこでこのスツールの中にウォーターサー



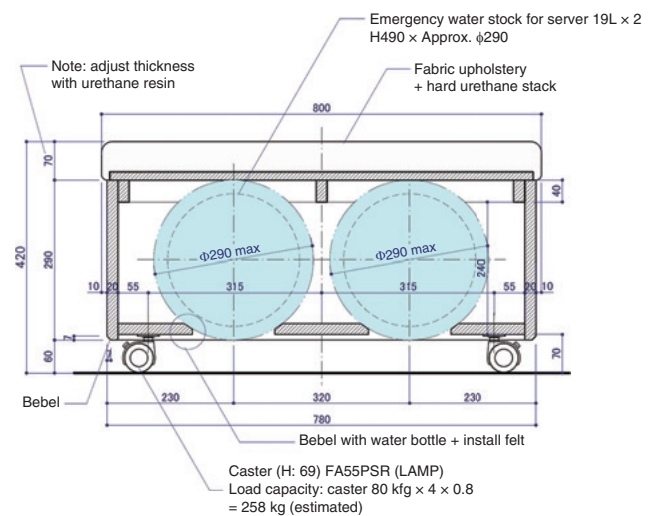
Fig. 28 Water bottle being replaced

バ用の水を備蓄することにした。しかし都合よくこんなものが市販されているわけではなく、これも製作した。

スツールの仕様は次のように定めた。

- (1) 座面の高さは寛ぐに適した高さ
- (2) 座り心地を良くするための厚く重ねたクッション
- (3) 心が明るくなるようカラフルな色
- (4) 移動を容易にするためのキャスタ
- (5) 容易に備蓄水ボトルを出し入れできる構造
- (6) 備蓄水ボトルの表面に傷をつけない構造

φ 290 mm の水ボトルを収納しているが、くつろげるよう座面の高さを 420 mm に抑えた。青、緑、オレンジ、黄の 4 色のスツールは空間の有効活用とともに、目に触れるところにあることで防災意識を高めるきっかけとなっている。



Source: NOMURA Co., Ltd., design drawings for Honda R&D Innovation Lab Tokyo

Fig. 29 Stool structure

4.11. West Cafe

北西の角からは迎賓館や赤坂御用地の緑が見渡せるので緑をつなげるように植栽を配置し、床を一段上げカラフルなスツールを多数配置してカフェコーナを設置した。

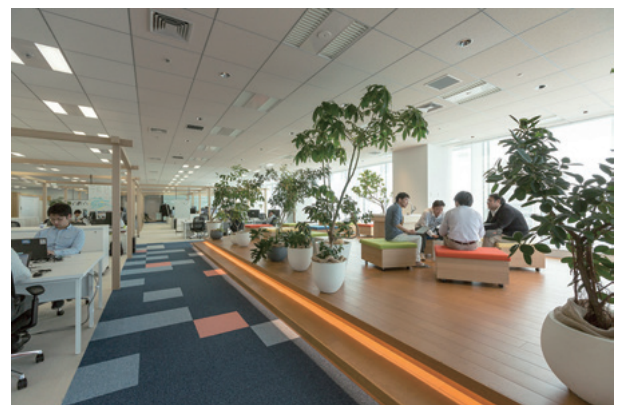


Fig. 30 Meeting scene in West Cafe

リフレッシュのためにつくった場所であるが、実際にはここで打ち合わせを行うことが多々見受けられる。会議室とは異なり、開放的な雰囲気を生かした会議が自発的に行われているのは、うれしい誤算である。

こぼれ話 - プロのテクニックに気をつける

デザイナーはカッコ良い絵を描く。実際は狭くても、パースは広々した空間に見える。さすがである。実物を見て「こんなに狭いの？」とがっかりすることになる。Fig. 32 のパースは広々と見えるが、現場で検討していた我々は騙されない。図面片手に床にガムテープを張ってすぐ検証。これぞ現場で検討するメリットである。

ところがプロの写真家が撮った West Cafe は、これまた実にカッコいい。パースと遜色ない。プロの腕、おそろべし。



Fig. 31 West Cafe



Fig. 32 Perspective view of West Cafe

4.12. 照明

窓のない空間で人工照明のもとで一日中過ごしていると、体内時計への影響が懸念される。このサーカディアンリズムの制御機構の解明で2017年のノーベル生理学・医学賞を受賞⁽⁶⁾しているように極めて重要なものである。サーカディアンリズムは光に強く影響を受ける。深夜まで

強く白い人工光を浴び続けると、帰宅後にイライラしたり、睡眠障害を誘発する可能性も指摘されている⁽⁷⁾。そこでHIL-TKでは、自然光の変化を活用した照明とした。

昼間から夕方、夜と、色合いが変化している様子をFig. 33 から 35 に示す。

北側の窓べりやカフェの床を木目フローリングにし、窓に近い天井を赤っぽい色にしたうえで、電球色の照明を配置している。太陽光が強い昼間は気づかないが、日が落ちる頃になると夕日のような色調が強調されることによって、一日の終わりを自然と感じられるようにしている。



Fig. 33 As seen in the daytime



Fig. 34 As seen in the evening



Fig. 35 As seen at night

4.13. Central Cafe

執務スペースの横にカフェを設置し、集中と開放の場をわかりやすく配置した。執務スペースのモノトーンに対し、水をイメージする青いカーペットの向こうに広がるカフェは、照明を電球色とし木を多用することで自然と立ち寄りたくなる雰囲気を演出した。HIL-TK で作り出していく商品は優れた質感を持つものでありたいとの思いから、直接触れる机やイスは無垢の木を使ったものを購入した。気分を変えた打ち合わせにも人気のスポットとなっている。

ここには冷蔵庫やコーヒーメカ、給茶機を設置した。ここで休憩することもあるが、West Cafe にもっていった外の景色をながめながら休憩することも想定している。あえてここから飲み物をもって少し歩くことで、業務でつながりのない所員同志でも、休憩という心のタガがゆるい状態で自然に会話を交わすことを期待している。

4.14. ひらめきエンジン

AI の社会実装により記憶や分析が人から AI に置き換わってゆく中で、人が発想することへの価値が高まってゆくと考えられる。そこで、HIL-TK では気分転換をはかれるようカフェや様々なフリースペースの配置に加え、Central Cafe には実験的な試みである発想支援システム「ひらめきエンジン」を仕込んだ。

ひらめきは三上に在りという⁽⁸⁾。三上とは、馬上・枕上・厠上、つまり乗り物にのっているとき、寢床、お手洗いといった、集中から解放されているときにひらめきが得られることがあるとの説である。ひらめきのメカニズムはそれまで考え続けていた事と頭の中にある様々な概念を無意識にランダムに組み合わせを行って、良いアイデアが思いついたと無意識が判断した場合にだけ意識にのぼるのではないかと考えた⁽⁹⁾。

ひらめきエンジンは、いつも頭の片隅にある事柄を示す単語を一つのグループとして入力し、それに無関係な単語をランダムにぶつけて一つの言葉として表示するもので、

偶発的な組み合わせによって自分では思いつかないような「驚きのある組み合わせ」として発想のきっかけを得られる仕組みである。この無関係な概念は自分の頭の中にあるものや散歩などをしているときに見聞きしたこと限定されているが、ひらめきエンジンは単語をネット検索でもっと幅広くランダムに抽出することで、発想の幅を広げるものである。ひらめきエンジンを Central Cafe でながめているときにひらめきが訪れることを期待している。

5. 社外からの評価

以上で述べてきたように様々な工夫をこらした HIL-TK はグランドオープン以来、国内外から多数の見学申し込みを受けている。企業とのコラボレーションのために各国の大使館や、新しいラボ作りの参考にと様々な企業や学術団体の訪問を受けている。

また、HIL-TK は一般社団法人ニューオフィス推進協会から第 30 回日経ニューオフィス推進賞を受賞した。これはラボがほぼ完成した段階で、社外の一人のコラボレーション仲間の「こんなにすばらしい空間が実現したのだからデザイン賞に応募してはどうか」との一言がきっかけである。どうせなら権威のある賞に応募しようと、経済産業省後援の一般財団法人ニューオフィス推進協会主催の全国規模で行われるオフィスに関わる唯一の顕彰事業に応募し、見る建築と操作する自動車デザインの融合によるディスカッションワゴンなどの什器は、審査員から販売を勧められたほどの高い評価を頂き、受賞することができた。

このニューオフィス推進賞は書類審査に加えて、建築学会の会長や建築、デザインの大学教授や名誉教授らの専門家 12 名の 1 時間 30 分に及ぶ厳格な現地審査による極めて質の高い賞である。ねらってもそう簡単に受賞できるような賞ではない。単なる見栄えではなく、そこで働く者が快適で精神的にゆとりを感じるような場となっていることや、感性を刺激し創造性を高める働き方を誘発する場となるような新しい工夫が織り込まれていることが審査の視点である。

まさに我々のねらいが実現していることを評価されたのだと受け止めている。

6. まとめ

人工知能技術に関連した新しい領域の商品開発のために、Honda イノベーションラボ Tokyo を赤坂に設立した。

ここから生み出すものの方向性を示すオブジェや水備蓄機能をあわせもったスツール、空間を仕切るスマートフレーム、どこでもホワイトボード、ディスカッションワゴン、ホンダの本棚、違ったものの見方を誘うガラス壁や、我々は何を創りだすべきかを考えるきっかけとなる道具



Fig. 36 Central Cafe and Hirameki Engine

の歴史のディスプレイ、発想支援システムであるひらめきエンジンなど、様々な新しいアイデアをこめたものを、社内外をまきこんだオープンマインドのコラボレーションによって創り上げた。

その結果として一般社団法人ニューオフィス推進協会からニューオフィス推進賞を受賞した。

短い工期にも関わらず、株式会社乃村工藝社様、株式会社高千穂プロダクツ様、株式会社ユニバーサル園芸様、at light laboratory 様、株式会社カヤック様、有限会社BACH様と、我々が構成されたプロジェクトチームは、良い物を創り上げようと徹底的に議論し、試作や確認を繰り返すことで信頼関係が築かれ、関わった全ての者が「御社、弊社」の関係ではなく、個人名で呼び合い意見をぶつけ高めあう関係となって推進したことにより、初期の構想からは想像しえないほどの進化を遂げた空間を創り上げた。

その姿は、Honda イノベーションラボ Tokyo がめざし、実行された最初のオープンイノベーションである。

参考文献

- (1) <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/pdf/n4200000.pdf>
- (2) <http://www.nopa.or.jp/prize/contents/youkou03.html>
- (3) https://www.nikkei.com/article/DGXLASDC19H2B_Z10C17A9EE9000/
- (4) <http://adec.gr.jp/wp-content/uploads/2014/03/text-hen-2.pdf>
- (5) <http://www15.plala.or.jp/Aizawa-Tadahiro/>
- (6) https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2017/
- (7) <http://www.jlma.or.jp/anzen/chui/pdf/ledBlueLight.pdf>
- (8) <https://kotobank.jp/word/%E4%B8%89%E4%B8%8A-513767>
- (9) <https://lineblog.me/mogikenichiro/archives/8329218.html>

■ 著 者 ■



上山雅樹



関口正敏

X-ADV におけるコンセプトの創出と スタイリングデザイン

Concept Creation and Styling Design in the X-ADV

飯田 王海*
Omi IIDA

Daniele LUCCHESI** Maurizio CARBONARA**

要 旨

X-ADV は、欧州のお客様をターゲットとした、新たな 750 cc クラスのモーターサイクルモデルとして開発された。本モデルでは、欧州の成熟した市場のお客様に対し、移動の喜びをさらに拡大することを目指した。そのコンセプトとスタイリングデザインは、開発着手以前に自発的に検討が始められた。まず、欧州の顧客を対象とした調査をおこない、「Go Everywhere with Excitement」という商品コンセプトを導き出した。その意図は、平日は都会でスマートな移動を可能とし、休日は冒険へと誘う「アドベンチャー・スピリット」を持つコムータということである。スタイリングデザインの方向性は、タフさを表現すると共に、乗り手を保護するという、四輪 Sport Utility Vehicle が持つ属性を表現することに設定された。本方向性の検証のため、コンセプトモデルを作成した。その中で、ライダーの体格やポジションを考慮し、バイクがライダーを守っているようなプロテクション性を表現した。さらに、設定された方向性が、お客様に受け入れられるかを検証するため、欧州モーターショーにコンセプトモデルを展示し、ヒアリングを実施した。その結果、お客様の理解を得ると共に、高い評価を得ることができた。さらに、この結果を踏まえ、このモデルの製品化が決定し、量産車のためのデザインが施された。開発された X-ADV は、これまでにないコンセプトとスタイリングでお客様の心をとらえ、市場において好感を得ている。

ABSTRACT

X-ADV was developed as a new 750 cc class motorcycle model targeting European customers. In this model, we aimed to further expand the joy of movement for customers in the mature market in Europe. The concept and styling design were begun to be investigated voluntarily before the development started. First, we conducted a survey targeting customers in Europe and derived the product concept “Go Everywhere with Excitement.” The intention is that it is a commuter motorcycle with ‘Adventurer spirit’ that allows smart movements in the city on weekdays and invites them to adventure on holidays. The direction of the styling design was set to represent the attributes of the four-wheel sport utility vehicles, expressing toughness and protections for the rider. A concept model was created for verification of this direction. In that model, taking into consideration the riders’ physiques and postures, the attributes of protection that makes it looked like the motorcycle is protecting the rider was expressed. Furthermore, in order to verify whether the set directionality is acceptable to customers, the concept model was exhibited at European motor shows and hearings were conducted. As a consequence, we could get customers’ understanding, and we gained highly favorable evaluation results as well. Furthermore, based on this result, the commercial production of this model was decided and styling designs for mass-produced cars were implemented. The developed model of the X-ADV captures the customers’ mind with the unprecedented concept and styling and is favorably accepted in the market.

1. はじめに

X-ADV は、スクーターのように気軽で快適に扱えるコムーティング機能と、荒れた路面や長距離を楽しく走破できる走行性能を兼ね備えた、新しいコンセプトの 750 cc クラスのモーターサイクルとして開発したモデルである (Fig. 1)。

* 二輪 R&D センター

** Honda R&D Europe Italia s.r.l.

このモデルは、自動二輪車を日常的に使用し、楽しむ文化が根付いている欧州のお客様をターゲットとして、移動することの喜びをさらに拡大することを目指して開発された。X-ADV のスタイリングの解説に入る前に、当モデルの開発に至る前の背景について説明する。

まず最初に、欧州自動二輪車市場の概要と、現在主要な

市場を占めるクロスオーバーモデルについて述べる。欧州の自動二輪車市場は、通貨統合後の好景気で大きく拡大してきたが、2008年の欧州債務危機後は市場が縮小し、その影響は、本モデルの企画を開始した2012年まで続いていた。2008年まではオンロードやサーキットでスポーツ走行するのに適したスーパースポーツモデルや、長距離を快適に高速走行できるツーリングモデルといった、高額で、高出力エンジンを備えた走りを楽しむための二輪車と、日常のコミューティングに使用するスクータモデルを複数保有する余裕のあるお客様が増加し、二輪車の保有台数は上昇を続けていた。

しかし、2008年以降の経済の悪化に伴い、スーパースポーツ、ツーリングモデルの市場が大きく減少し、走りを楽しむことと日常のコミューティングの利便性を兼ね備えた、汎用性の高い「クロスオーバーコンセプト」のモデルを望む声が強まっていった。Hondaはこの環境変化をとらえて、通勤での市街地走行で使用しやすく、オンロード、オフロードどちらも楽しく走破できるVFR1200X (Fig. 2) に代表されるマルチユースモデルを開発、市場に投入し始めていた。

以上、モーターサイクルカテゴリーで起きている変化に



Fig. 1 The X-ADV (production model)

ついて述べてきたが、もう一方の大きな市場を持つスクータカテゴリーには同様の変化は起きていなかった。

その理由として、日常の使い勝手に優れ、通勤で多く使用されるスクータカテゴリーには、高い汎用性を備え、市街地走行も高速走行も快適にこなせる500 ccクラスのマキシスクータモデルが既に存在しており、2008年の経済危機後においても、市場規模が大きく減少しなかったことが挙げられる。

イタリア、ローマに拠点を置く欧州域内の市場調査および企画立案の拠点、Honda R&D Europe Italia s.r.l. の調査企画チーム（以下、HRE-I チーム、またはチームと呼称する）は、現状において変化の起きていないスクータカテゴリーにおいても、環境変化の影響を受けて新しい価値観が生まれている可能性があると考え、新たな移動の喜びをスクータユーザに提供しようという自発的な思いから、市場の調査を開始した。

2. 顧客調査

2.1. モデルの方向性 ユーザーターゲットユーザへの聞き取り調査

まず、HRE-I チームはマキシスクータの主要市場であるフランスとイタリアのスクータユーザに対して、彼らが既存のモデルを使用するときに、必要なものとして重要視している、あるいは魅力を感じている機能や性能が何であるかについて聞いた。さらに、今回のユーザ調査においては、既存モデルには備わっていない、これまでに提供されてきたものとは異なるものに対する要望があるかについても、聞き取りをおこなった。

その結果、日々の通勤主体に使っている街乗りのユーザー層は、現行のマキシスクータの機能やデザインで満足していた。

この層は、今後も既存のモデルと同じ特徴が踏襲されて



Fig. 2 The VFR1200X

いるマキシスクータに乗り替えたいと考えており、目新しい要望は見られなかった。

一方、日常の通勤以外に、余暇のツーリングにマキシスクータを使っているユーザは、既存のモデルでは行けないような、もっといろいろな場所へ行動範囲を広げたいと考えていることが分かった。舗装路や高速道路をただ単調に走れるだけではなく、スポーティーな走りの楽しさに加えて、荒れた山道、砂浜などを越えた先にあるホテルやキャンプ場にスクータで行ければ、さらに出かける喜びが増すという答えが多く返って来た。

さらに、こうしたツーリング指向のマキシスクータユーザに対して、スタイリングの嗜好性についても聞き取りを進めた。

今まで行けなかったところへ足を延ばせるのであれば、スタイリングもアドベンチャーバイク風の、新しい形がふさわしいとの答えが多くを占めた。

これらの調査の結果から、マキシスクータユーザにも二つの層があり、どこにでも行けるという新しい価値を持つスクータという、新しい市場ニーズが存在することが明らかになった。

2.2. デザインの方向性

上記調査を終えた後、ユーザから得た意見をまとめると共に、デザイン全体が目指す方向性について検討をおこなった。

先に述べたように、ターゲットとするスクータは、日常の使用における、快適なコミューティングを実現する機能と、スポーティーなライディングを可能とする性能を備えながら、余暇の使用においては、海岸や山道を駆け抜けて走ることができるなど、自然の中を楽しく走れる機能を提供できるスクータである。検討の結果を基にして、ターゲットとなるスクータのデザインに求められる要素を明らかにした。

(1) だれでも、どこにでも行けるという夢を抱かせるような、頑丈さを感じさせるボデーデザインとすること。

(2) ロングストロークのサスペンションや、しっかりした足まわりと、ライダーに対するプロテクタを備えた車体にふさわしく、荒れた路面でも安心した走行ができることを想像させるディテールデザインであること。

以上二つの要素を実現しつつ、スクータの要素とオフロードバイクの要素をクロスオーバーさせることで、マキシスクータとは異なる、新しいスクータを提案することを、デザインの方向性として定めた。

3. コンセプトとパッケージングの決定

3.1. コンセプト <Go Everywhere with Excitement>

上述したデザインが目指す方向性は、モーターサイク

ルやスクータを使って通勤し、余暇のツーリングを楽しむ HRE-I チームにとって、日常の経験上、共感を覚える要素を多数含んでいた。オフロードバイクのようにしっかりした足まわり装備があれば、毎日走る荒れた路面の通勤路で、スクータでは得られない余裕と安心感を持って走れ、なおかつツーリングでの行動範囲が大きく広がる。だれでも、どこへでも行くことができる移動の自由度向上という価値を、ワクワクする冒険心を感じられるデザインで表現しよう、という想いを込め、<Go Everywhere with Excitement>をコンセプトとして決定した。

さらに、コンセプトを具体的に表す言葉として「平日は都会をスマートに移動でき、休日は日常を離れて冒険へいざなう“アドベンチャースピリット”を持つコミュータ」を設定して、車両デザインの検討に着手した。

3.2. パッケージング

HRE-I チームは、スクータの機能要素に加えて、走破性の良さを併せ持たせるというコンセプトに沿って、オフロードバイクらしさを感じさせる要素が、機能的にも視覚的にも表現されるよう、以下に示す三つの事柄を車両設計上の欠かせない要素として設定した。

(1) ライディングポジションは、高い視点を確保するために上体を起こした姿勢とし、ハンドルを握るポイントは幅広に配置して、ライダーによる車体挙動の制御をしやすくすること。

(2) 荒れた路面でも安心して走行できる足まわり装備を備えること。

a. クロスオーバーモーターサイクルにふさわしい最低地上高とサスペンションストロークの確保。

b. オンオフタイプのトレッドパターンを有する大径タイヤの採用。

c. しなやかな走りと容易なメンテナンス性を併せて実現するチューブレス仕様のスポーク式ホイールの採用。

d. 力強さを象徴する 41 mm 径の倒立フロントフォークと、ラジアルマウントキャリパ仕様のダブルディスクフロントブレーキの採用。

(3) 軽快さを感じさせながらもタフさを印象付け、「どこへでも行ってやろう」という気にさせるスタイリング。

これらに加え、荒れた路面に対しても特別な技量を要せず、運転しやすさを提供するために、エンジンは低重心で大きなトルク発生ができる力強い特性を備えた前傾 2 気筒 750 cc エンジンを選択し、また、トランスミッションにはオートマチックトランスミッション (Dual Clutch Transmission) を装備した。一方、収納スペースについては、フルフェイスヘルメットをシート下に格納可能とした。これらの特性を組み合わせた結果、ツーリング性能に加え悪路走破性能をも兼ね備えた、新しいカテゴリーのコミュータパッケージを提案することが可能となった。

4. スタイリング

4.1. スタイリングコンセプト

完成車パッケージングの構想検討と並行して、従来のカテゴリーにない新しい魅力を生み出す、スタイリングのコンセプト検討を進めた。スタイリングには、マキシスクータの快適性、オフロードバイクの軽快さ、アドベンチャーバイクのタフでワイルドな特徴という、三つの二輪車カテゴリーが持つ互いに異なる特徴を一つに融合したいと考えた。以下の項目をスタイリングのコアバリューとして定めた。また、このコアバリューをまとめたものを Fig. 3 に示す。

- (1) マキシスクータの特徴表現 —快適さを提供する要素の反映—
 - a. 車体中央部の跨ぎ部分とフロアステップの寸法を NC750D INTEGRA⁽²⁾ 相当とする。
 - b. 車体にフルフェイスヘルメット収納スペースを確保する。
- (2) オフロードバイクの特徴表現 —軽快さを感じさせる車体プロポーション—
 - a. 足まわり部品を車体で覆うこと無く、タイヤが前後にむき出しになるよう配置し、しっかりと大地を掴んでいるイメージを表現する。
 - b. ボデーは前後長を短くし、かつ高い位置にフローティ

ングしているように見せ、台形型のプロポーションを形成する。

- c. 軽快なライディングを可能とし、ライダーの空間的自由度を好適に確保する。

(3) アドベンチャーバイクの特徴表現 —ワイルドさ、タフさの表現—

- a. ハンドルとメータを覆う樹脂カバーを装着せず、機能パーツをそのまま見せる構成とする。
- b. アドベンチャーバイクを象徴する二眼ヘッドライトを採用する。
- c. フロアステップとフロントカバーにかけて金属調のプロテクタを配置する。

これらに加え、車両全体を貫くスポーティーさを表現するために、アドベンチャーモーターサイクルにおけるデザイントレンドである、メカニカルでゴツゴツとした形状を取り入れることとした。

以上のデザイン要素を踏まえて、スタイリングスケッチ作成を試みた。

4.2. スタイリングスケッチ

先に述べたように、設定されたスタイリングのコアバリューは、アドベンチャーバイクが持っている危険に立ち向かうワイルドな性格と、それを支えるタフさの表現を強く意識している。スタイリングスケッチを展開するに当



Fig. 3 Styling concept board

り、具体的なアプローチとして、既存のクロスオーバーモデルである VFR1200X のデザインでおこなわれたように、コアバリューを表現するデザイン要素を新しいパッケージに盛り込むことによって、所期のデザインを試みた。

このようにして作成されたスタイリングスケッチの一つは、モーターサイクル型の二輪車の構成要素であるアップカウル、エンジンハンガー、タンク、リアカウルなどの機能部品を、それぞれ他のパーツとは独立させた形でデザインし、ボデー全体を構成することによってデザインされた。このスケッチ案を A 案 (Fig. 4) とした。

さらに、もう一つの試みとして作成されたスケッチでは、軽快さを印象付けるために前後長を短くしたボデー形状とした。また、躍動感を演出するためにヘッドライト下にくちばし状のアップフェンダを設けた。さらに、エンジン部分にカバーを配置することでボデーフレームを隠し、ボデー外面を構成するパーツ同士のつながりを強めたデザインとした。このスケッチ案を B 案 (Fig. 5) とした。

A 案、B 案共に、軽快さとワイルドさの表現には成功しているものの、フロント周辺部分とシート間の間隔が大きいために、各構成部品がバラバラに配置されている印象を与え、まとまりが感じられないデザインとなっていた。

これらの案に共通する最大の課題は、クロスオーバーモーターサイクルからデザインモチーフを取り入れてデザインを構成したため、どうしても見る人に既存の二輪車の

デザインを彷彿させてしまい、新しいコンセプトにふさわしいデザインに見えなかったことである。

その後も、さまざまなアプローチを試みながらスケッチを描き続けたが、「これまででない新しい形を生み出す」という壁を打ち破ることができなかった。そこで、オフィスの中で検討を重ねるという発想手法をいったん離れ、このバイクに求められるものをもう一度原点に帰って見つめなおすこととした。そのために、ツーリングやオフロード走行が実際におこなわれる環境に身をおいて、発想を転換することを計画した。具体的には、イタリアにおけるツーリングエリアとして著名な、アルプスの山麓に仮設のスタジオを借り、その場所の風景、空気、そして、人々に接しながら、スケッチを生み出すためのアプローチ手法を練り直すことにした。

さらに、デザイナー自身も、実際に山道を越えて走るツーリングを体験することで、ライダーをワクワクさせるためにスタイリングに求められる要素は何かについて、これまでにない新たな気付きを得ようと模索した (Fig. 6, 7)。

荒れた路面をツーリングしている途上で、最も印象に



Fig. 4 Proposed sketch A



Fig. 5 Proposed sketch B



Fig. 6 Wide- area farm road in central Italy



Fig. 7 Gravel road leading to a town in central Italy

残る光景に出会った。それは、四輪駆動車を操る地元のドライバの様子を見たときである。荒れた路面にもかかわらず、ドライバは普段着で楽々と運転し、我々を追い抜いて行った。

出会った車両は、スポーツユーティリティービークル（以下 SUV モデルと呼称）であり、市街地走行や高速走行での運転しやすさに加え、悪路走破性能を兼ね備えた四輪車のカテゴリーの車両である。欧州においても、他のいくつかの市場と同様に SUV カテゴリーは大きな市場の一つとなっている。今回、我々が新しい二輪車に求めた、「平日は都会をスマートに移動でき、休日は日常を離れて冒険へいざなう“アドベンチャースピリット”を持つコミューター」というコンセプトに基づくスタイリングデザインに対して、その造形のヒントを SUV のスタイリングが持つ要素の中に求めることができるのではないか、と気付いた。

アルプス山麓のスタジオにおけるディスカッションの結果、新しい方向性を持ったデザイン展開を試みることにした。その方向性は、オフロードバイクやアドベンチャーバイクのように、ライダー自身がライディングギアに身を固め、危険に身をさらしながら走るといったハードな走行をイメージさせるデザインではなく、四輪 SUV モデルのように、バイク本体がライダーを守っていると感じさせるデザイン要素を取り入れることであった。

具体的には、フロントバンパ、サイドバンパやハンドル

プロテクタでライダーを守り、頑丈な鉄板で形作られているボデーの塊感を表現する一方で、都会でもスタイリッシュに見えるモダンさをスケッチで表現すべくトライした。このようにして、創出されたスケッチを Fig. 8 に示す。

近年の SUV のデザインでは、エンジンフードに対してアンダーガードやバンパを際立たせるように、ボデーパーツを構成している。この手法を我々の二輪デザインにも反映し、エンジン上部を覆うカバー、メータ、ハンドルからヘッドライトまで、車体前後のつながり感を表現した。このつながり感を阻害しないようにするために、スクリーンは独立して取り付けることとした。

さらに、四輪 SUV モデルが持つタフさを表現するために、ボデーを形作る面を連続させて構成し、これらがあたかも一枚の金属のパネルによって作られているように表現することによって、ボデー面全体の塊感を強調した。

車体フロント部分のデザインにおいては、二眼ヘッドライトを採用し、ライトの間のグリル形状とフロントバンパを模して形付けられたライト外側のフレームの形状によって、独特のフロントマスク表情が創造されている。

これらのデザイン検討に基づき、HRE-I チームは Fig. 9 に示す素描を最終スケッチ案として選択した。さらに、次ステップとして、立体造型モデルの作成をローマの拠点オフィスに戻って推進した。

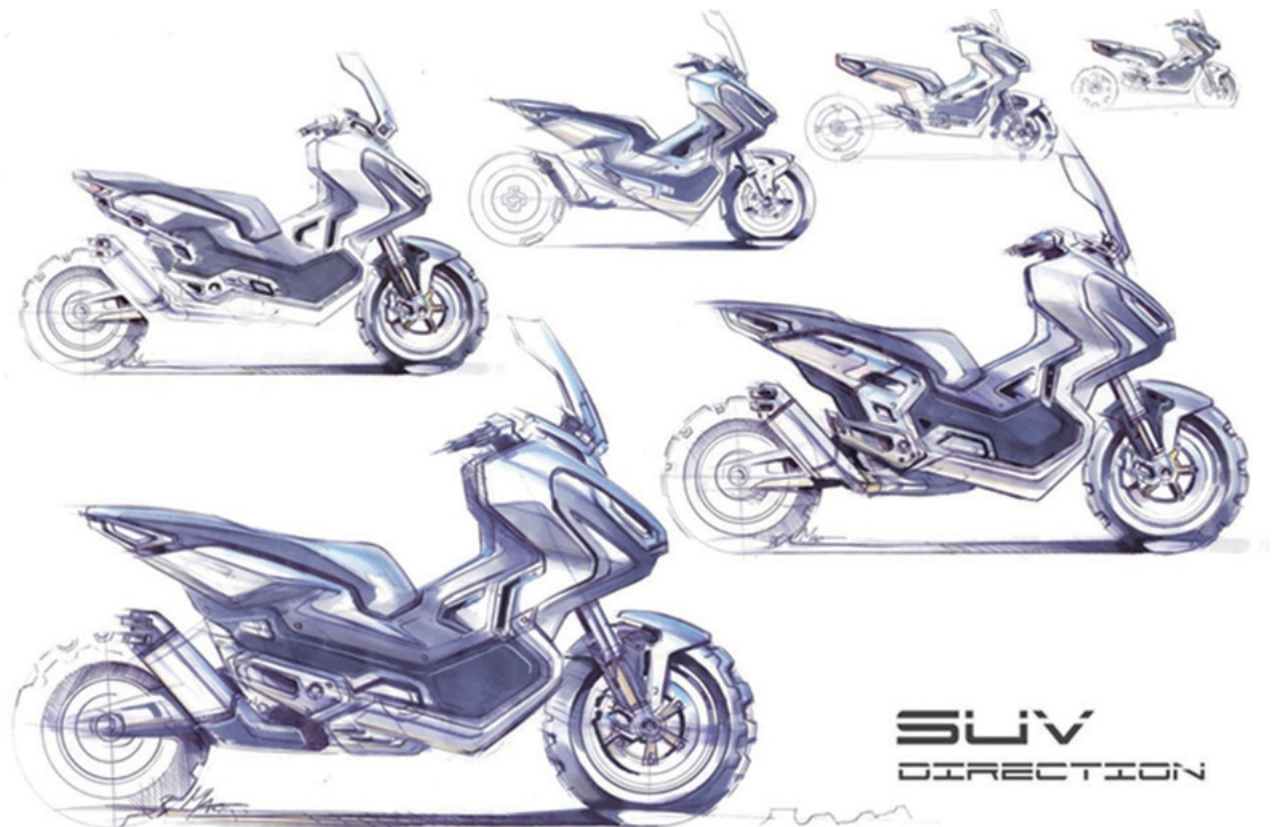


Fig. 8 Key sketches inspired by styling designs of SUVs



Fig. 9 Final sketches

5. モデル作成

5.1. クレイモデルによる SUV デザインの立体化

二輪車はライダーの体がむき出しであるため、車体はライダーが跨った状態でバランスが取れるようにデザインされるが、特に今回のデザインテーマは、バイクがライダーを守っているような一体感を出すことが重要であるため、ライダー

が跨ったときの見え方を全方位から見ながら立体を構成し、しっかりしたプロポーションを創作しなければならなかった。

スケッチから読み取って、大まかな車体ボリュームをクレイで盛り付けた後、度々ライダーを乗車させて居住性や手足の位置から必要な機能要素を反映して造形作業を進めていった (Fig. 10)。

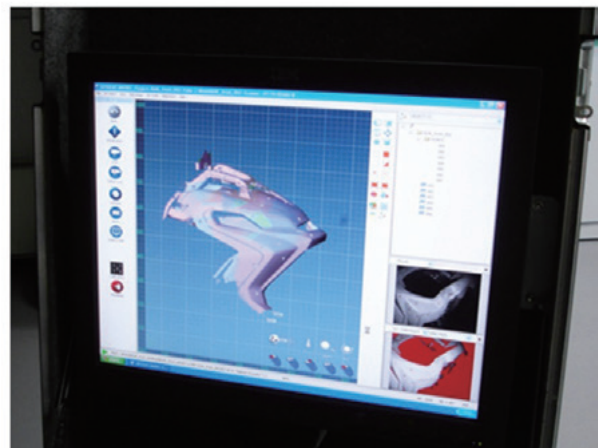


Fig. 10 Riding position checks using clay model before its final finish to investigate dimensions of each part

造形の初期段階で、特に留意した点はオフロードバイク開発のテスト専門家の知見を取り入れて、荒れた路面の走行時にライダーが操りやすく、体が動きやすいライディングポジションとボデー、シート形状とすることである。

また、190センチの大柄なライダーの足、膝、臀部の位置関係を確認して大柄な欧州人ライダーでも窮屈に感じさせないように全体のバランスを取ったことである。

さらに、ツーリング走行に対する快適性を確保するために、ライダーの臀部や肩幅に合わせてボデーやシートの幅を広げつつ、フロントクォーターから見たときに鈍重に見えないよう、フロントカウル部分にスクリーンを可動させるフレームを組み合わせて、見た目の軽さも追求した。

以下の写真はクレイモデル決定時のものであるが、前後に短いボデーパーツと跳ね上がったマフラが軽快さを表現し、フロントカウルからフロア、ピリオンステップに跨るプロテクタ状のゴツゴツとした部品デザインと可動式スクリーンがタフさとメカニカルさを表現している。

塊感のあるボデーの面構成も、多面体を連続的にスムーズにつなげることで表情豊かで力強い形状とすることができた (Fig. 11)。

5.2. ハードモックアップモデル

クレイモデルが完成したことによって、これまで検討してきたデザインコンセプトが三次元形状によって評価できるようになった。

チームは、この新しいデザインをショーモデルとして対外的に発表し、市場におけるコンセプトの理解と共感の度合いを検証したいと考えた。そこで、各部品に対して細部にわたりデザインを見直し、提案するコンセプトをより高

いレベルで表現できるハードモックアップモデルの製作をおこなった。

まず、クレイで造形された部品の外形を測定し、三次元データを作成した。このデータを用いて、ファイバーグラスやプラスチック、金属を素材とする部品をパーツごとに製作した (Fig. 12)。

次に、クレイでは造形しきれなかった部品について、デザインをおこなった。

これらの部品のうち、コンセプト表現の上で特徴的な部位の例としては、スクリーンとメータが挙げられる。スクリーンを稼働させるための構造はパンタグラフ式のリンクを用い、また、メータには7インチの大型液晶を使用し、四角くシンプルなものとした。また、スクリーンとメータステータをつなぐステータリンク機構によって、メカニカルな印象を表現した。同時に、ステータを構成するフレームに



Fig. 11 Completed clay model

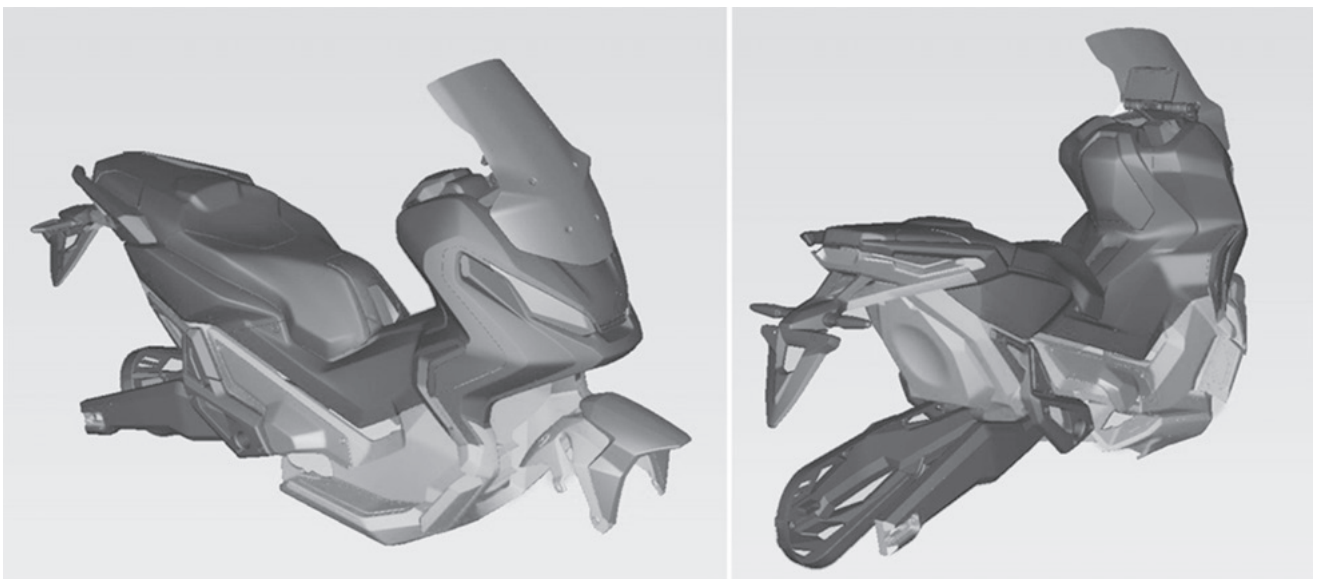


Fig. 12 Three-dimensional data of vehicle body

よって囲まれた空間によって、鈍重になりがちな構造物に軽さを感じさせる要素を取り入れている (Fig. 13)。

さらに、アドベンチャーモデルを印象づけるアルミ製テーパーハンドルを採用した。そのハンドルを固定する左右一体型のハンドルホルダーの中央に、メータとは別体のインジケータユニットを配置し、ライダーへの情報提供の充実を図った。すなわち、このインジケータユニットには、ウインカやパーキングブレーキ作動/解除状態表示、ABS ブレーキの警告灯など、日ごろ、市街地でのライディングにおいて、利便性と安心感につながる情報が、ライダーから見やすい位置に集合して提示される (Fig. 14)。完成したハードモックアップモデルの写真を Fig. 15 に示す。

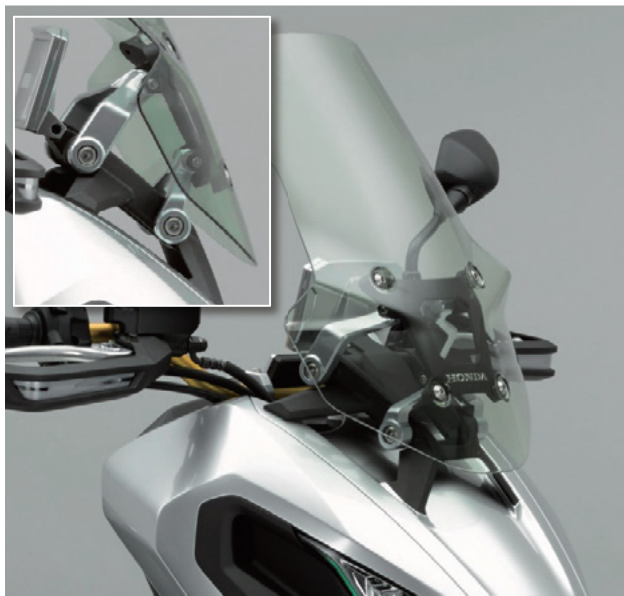


Fig. 13 Movable windshield with pantograph linkage

6. 欧州モーターショーでの展示と聞き取り調査

対外発表の場として選んだのは、コムータ市場の規模が大きい、イタリアとフランスのモーターサイクルショーであった。すなわち、イタリアのミラノで開催されるEICMAショーと、フランスのパリでおこなわれる Salon de la Moto Paris の二つである。先に述べたように、これらのショーでの展示とそこに訪れた人たちへの聞き取りは、チームが提案しようとしているコンセプトに対する、顧客評価を検証するための重要なステップであった。

展示ブースは、コムーティングでは都会を快適に移動でき、レジャーでは自然の中を自由に駆けまわれるという、二つの側面を持つ二輪車としての世界感を伝えることに重点を置いて設計された。展示ブースの一方には街中を象徴する石畳の路面を配し、もう一方には大型の玉砂利を敷き詰め、キャンプシーンを再現したジオラマを仕立て、さらにそれぞれのシーンに対するふんい気を強調するため



Fig. 15 Hard mockup model



Fig. 14 Display and adjacent area with visibly arranged mechanical parts convenient for commuting

に、展示用の小物も併せてデザインした (Fig. 16)。

街中の情景に対しては、トローリーバッグとしても使用できる着脱式のトップボックスを準備した。このトップボックスの中央には、クロスオーバーというコンセプトを象徴する、アルファベットの“X”を記した。アウトドアの情景側に対しては、テントと収納バックパックをデザインし、配置した。これらには、“Adventure”という言葉から三文字を採って決められた“ADV”というロゴタイプを、展示モデルの車体色に合わせたシルバーとグリーンの配色を用いてあしらった (Fig. 17)。

このようにデザインされた展示ブースの中に、車両のハードモックアップモデルを展示することによって、“Go Everywhere with Excitement”という所期のコンセプトが示す、コミューティング時のクールさとアウトドアでのタフな印象を与えるスタイリング持つ二輪車であることを理解し、好感を持って受け取っていただけるかどうかについて検証をおこなった。

展示を見た人たちに対する調査は、モデルを展示したブースを訪れたユーザを対象として、インタビューをおこ



Fig. 16 Diorama type of exhibition booth expressing Belgian pavement in city and the scene of outdoor



Fig. 17 Exclusively designed trolley top case and touring tent with storage case

なう形式で実施した。具体的にはコンセプトについての理解の度合い、デザインに対する好感度、見た人が想定する価格について聞き取りをおこなった。

調査の結果を以下にまとめる。

(1) コンセプトへの理解度

コミュータとしての利便性、遊び心を感じるスタイル、オフロードバイクのようなスポーティーさなどについて理解を示し、多くの人が新しいクロスオーバーモーターサイクルとして認知していた。

(2) デザインに対する好感度

ビジネススーツ、アドベンチャーライディングジャケットのどちらを着て乗っても似合う、魅力的なスタイリングとして、多くの人から高く評価された。

(3) 想定される価格

既存のマキシスクータと比較して、より高い所有価値と存在感を感じられるため、800 ccから1000 ccクラスのモーターサイクル並みの価格設定が可能との答えが多かった。

以上の結果から、本モデルのコンセプトとスタイリングデザインは、「新しいクロスオーバーモーターサイクルモデル」として、欧州の二輪車ユーザから認知され、高い評価を得られることが検証された。

本コンセプト提案プロジェクトは、現在のマキシスクータカテゴリーの二輪車に乗っているユーザに対して、新たな移動の喜びを提供する二輪車を模索し、その中で得た、以下に示す二つの仮説が正しいことが証明された。

(1) マキシスクータの利便性を備えながらも、オフロードを含むさまざまな道を走破できる、これまでにないカテゴリーのクロスオーバー二輪車モデルの市場が存在すること。

(2) 四輪SUVモデルが有する、乗員の快適性を確保しつつモダンなふんい気とタフさを併せ持つデザインを適用することによって、都会のクールさと休日の冒険心のいずれをも満たすデザインを、二輪車においても実現できること。

7. 量産化に向けたデザイン

前章で述べたように、欧州モーターサイクルショーにおける、本コンセプトモデルの展示、調査に対して、ユーザから高い評価を得ることができた。また、同時に、このモデルを量産車としてリリースしてほしいという強い要望が寄せられた。これら前向きな市場反応に基づき、このモデルの量産化に向けたプロジェクトがスタートすることとなった。

7.1. 機能部品の詳細デザイン

コンセプトモデルに対して、高い顧客評価が得られ、また、提案されたコンセプトへの共感度が高かった理由とし

て、このコンセプトモデルの仕様や装備が、設定された車格やデザインの方向性などと好適な連携性を持ってマッチングしていたことが挙げられる。これによって、提示されたコンセプトが、見る人によって直感的に理解され易かったと考えられる。

そのため、本モデルの量産化に伴うデザインをおこなうに当っては、コンセプトモデルで提示したデザインイメージや仕様装備を、できるだけ忠実に守り、量産車に反映することに重点をおいた。そうすることによって、コンセプトモデルを通じて描かれたお客様の期待に、なるべく沿った量産車を提供したいと感じたからである。

Fig. 18 にハードモックアップモデル、Fig. 19 には量産モデルを示す。これらの写真から、オリジナルのイメージがほぼ忠実に反映されていることがわかる。

オリジナルのデザインを維持しつつ、機能に対する要件を成立させるのが最も難しかった部品として、可動式スクリーンが挙げられる。

このスクリーンは、パンタグラフ式の可動ステーで支えられ、車体フロント面からフローティングされた状態で保持されるが、ハードモックアップモデルでは、一番高い位置と低い位置の二段階においてのみ固定が可能であり、最終的に適用される固定機構が決められていなかった。これを、最終的な量産モデルにおいては、五段階の高さで固定できるように、ボデーとスクリーンの間に装着される固定用パーツや可動ステーなどを、新たにデザインした。なお、これらのパーツは、ライダーの体格差やシミュレーションによって得た乗車時の空気の流れを考慮に入れてデザインされている (Fig. 20)。

量産車デザインにおいては、ハードモックアップモデルにおいて表示内容の詳細が提示されていなかったメータ表示部も併せてデザインされた。ハンドル周辺についても、日常の通勤・通学における使用を想定し、利便性の高い機能を数多く盛り込み、新たにデザインを施した。

メータユニットは、中央に速度表示を、その周囲に回転



Fig. 18 Exhibited hard mockup model



Fig. 19 Production model

計を配し、さらにその外側には各種情報を提供する表示を備え、表示部全体にスポーティーなふんい気を漂わせるようにデザインした。また、特に通勤時の使用に対して実用性の高い、時計やカレンダー機能、燃費計、外気温計を配置した。この際、これらの情報をなるべく大きく液晶面内に表示できるよう、表示面の限られたエリアを有効に活用するようなデザインを心がけた。なお、外気温度計は、路面凍結の警告表示機能も備えている (Fig. 21)。

さらに、鍵を用いずにエンジンの始動ができ、また、給油口やシートの開閉操作もできるスマートキーが装着され、車両コンセプトにふさわしい新たなデザインが施された。このノブ式メインスイッチは、車体の中心軸上に左右対称な形状を持ってレイアウトされ、ノブには細く描かれたクローム色のリングを添えることによって存在感を強めた。こうしたデザインにより、あたかも四輪車の運転席に座っているような高級感を醸し出すことに成功している (Fig. 22)。

7.2. カラーリングデザイン

本モデルは、そのコンセプト設定により、都会でのクー



Fig. 20 Windshield in production model



Fig. 21 Gauge unit in production

ルさとオフロードでのスポーティーさという、二つのキャラクタを併せ持っている。カラーリングデザインにおいては、それぞれのキャラクタに沿った複数のカラーリングをデザインすることによって各々の特徴を際立たせ、お客様の嗜好性に合わせた幅広い要求に応えようと考えた。

具体的には、ビジネスジャケットを着て都会を走り抜ける情景に似合う、上質な高級感が漂うモノカラータイプと、アドベンチャーライディング用ジャケットを着てオフロードをワイルドに走行する情景に似合う、躍動感あふれるカラーリングのアドベンチャーカラータイプを設定した。カラーリングのバリエーションを Fig. 23 に示す。

都市での走行をイメージしたカラーリングには、2種類のモノカラータイプを設定した。コンセプトモデルのデザインアプローチ手法の中で、四輪車における SUV のデザイン要素を採用したが、モノカラーの採用により、このアプローチで生み出されたボデー形状が、より効果的に表現されている。モノカラータイプには、金属調で強い反射と光沢感のあるシルバー (Fig. 23, Type 1) と、力強さと共に落ち着いたふんい気を感じさせる艶消しグレー (Fig. 23, Type 2) の2色を設定した。これらの色は、ボデーラインの抑揚が強く立体的なボデー形状を有するこのモデルの持つ特徴を強調しつつ、高級感も同時に表現できる主体色という基準で選択された。

オフロード走行をイメージしたカラーリングには、ダカールラリーマシンのカラー⁽¹⁾をオマージュしたオフロードスポーツカラーを採用した。ダカールラリーは、Honda が 2013 年より参戦しており、本モデルにそのマシンカラーを取り込むことをおこなった理由は、この車両のコンセプトがスクーターモデルから引き継がれたものではなく、レジャー用モーターサイクルモデルが創出する世界から展開されていることをアピールしようというねらいによるものである。

この、ラリー車両のカラーリングイメージを継承するアプローチは、CRF1000L Africa Twin のカラーリング派生



Fig. 22 Knob type main switch with specification for mass production

の一つにも適用されている⁽¹⁾。欧州において、同モデルが好調な販売が続けていることに示されるように、ラリーをイメージさせるカラーリングは、欧州の顧客が好んで受け入れる配色の一つであると考えられる。

本モデルはオフロードバイクのようなプロポーションを有しないため、ラリーマシン (Fig. 24) や、そのイメージを表現している Africa Twin (Fig. 25) を彷彿させるようにする工夫として、白と黒のラインに大きくアレンジを加え、独自のカラーリングデザインを施した。赤と黒で強いコントラストを持たせたボデーカラーとし、そこに白いストライプを施し躍動感を表現した。また、エンジンサイドカバーとスキッドプレートには金属のパネルを使用した。エンジンサイドカバーは、ライダーブーツが擦れたり、路面からの飛び石を受けたりするために傷付きやすい。また、スキッドプレートはエンジン前部を守るために装着される。これらオフロード走行でのプロテクションに関連する部品に金属を使用することで、アドベンチャーマシンとしての印象をいっそう強調した。

さらに、オフロード走行をイメージしたカラーリングのタイプには、前記した赤を主体色としたラリーイメージのカラーリング (Fig. 23, Type 3) に加え、CRF1000L Africa Twin の定番カラーである白、青、赤で構成される

トリコロールカラーのバリエーションを設定した (Fig. 23, Type 4)。これら二つのカラーリングを設けることで、この車両が主張するアドベンチャーキャラクタをより強く訴求した。

また、新しいコンセプトを主張するのにふさわしいペッ



Fig. 24 The Dakar Rally machine

Monochromatic coloring type	 Type 1, Silver	 Type 2, Matte gray
Adventure color type	 Type 3, Rally color	 Type 4, Tricolor

Fig. 23 Variations of coloring

トネームの考案と、それを表すロゴタイプのデザインをおこなった。通勤としての快適な走りと、アドベンチャーバイクとしての走りの楽しさを、クロスオーバーさせていることを表現するために、ペットネームの頭に、アルファベットの“X”を冠した。この“X”は cross を意味し、これまでも、Honda のクロスオーバータイプのモーターサイクルに伝統的に使用されてきた。さらにアドベンチャースピリットを主張するために、“Adventure”の省略語として ADV を採択した。これら二つの言葉を組み合わせて、X-ADV (eks-ay-dee-vee) と命名した。

さらに、決定されたペットネームに対するロゴタイプのデザインをおこなった。“X”の文字は、道路の交差点に見立て、平行線と斜めの線を交差させることによって表現した。“ADV”の文字列は、シンプルで力強い印象を与えるために、黒色で力強いボールド書体を基調としたデザインを施した (Fig. 26)。



Fig. 25 The CRF1000L Africa Twin



Fig. 26 The X-ADV logotype

8. おわりに

経済危機後の欧州二輪車市場の環境変化を見据え、マキシスクータが対象とする市場の顧客に、新たな喜びを提供できる二輪車を創出しようと志して、新コンセプトの提案のためのプロジェクトがはじめられた。既存のマキシスクータユーザに対しておこなわれた調査の結果から、市街走行からオフロード走行まで対応し、どこにでも行けるという期待感を提供できる二輪車という、これまでにない価値を有するモーターサイクルに対する、顧客の欲求を感じ取ることができた。

さらに、この新しいクロスオーバーモデルに求められるスタイリングデザインは、四輪車における SUV モデルが持つ、洗練されたふんい気を保ちつつ、荒地に対するタフな走行に対応できる強さを持たせるというデザインアプローチを、二輪車に適用することによって実現された。これにより、都会に似合うクールな個性を持つと共に、休暇には冒険に出かけたくなるような、乗り手の心躍らせるスタイリングデザインを創出できた。本車両のコンセプトモデルは、イタリアとフランスにおけるモーターサイクルショーで顧客への提示の機会を得た。それらショーにおいて、チームが構想していたコンセプトに対する、顧客の理解と賛同が得られたため、本モデルは量産化されるに至った。

当モデルは、2017 年 3 月に欧州にてリリースされ、ジャーナリスト、お客様から好評をいただき、順調な販売が続いている (Fig. 27)。これら市場の反応と評価から、お客様の声を受け止め、独自の発想を盛り込んだコンセプトとスタイリングが、欧州の二輪車ユーザの喜びの拡大と市場の活性化につながったと確信している。

本モデルのコンセプトとスタイリングデザインは顧客視点を大切に生み出したものであり、今回のコンセプト創出と展開のアプローチ手法が、今後の商品とデザインの開発における新たな指標の一つとなることを願っている。



Fig. 27 The X-ADV running through in city and on rough roads

参考文献

- (1) 小松昭浩, 桂川碧: CRF1000L Africa Twin のスタイリングデザイン, Honda R&D Technical Review, Vol. 28, No. 2, p. 6-8
- (2) 工藤一浩: NC700 シリーズのスタイリングデザイン, Honda R&D Technical Review, Vol. 24, No. 2, p. 15-22

■ 著 者 ■



飯田 王海



Daniele LUCCHESI



Maurizio CARBONARA

蓄電機 LiB-AID E500 の開発

Development of Rechargeable Power Source LiB-AID E500

中 田 泰 弘*
Yasuhiro NAKADA
甲 斐 大 志*
Masashi KAI

藤 川 昂*
Go FUJIKAWA
山 名 康 介*
Kosuke YAMANA

縄 田 慶 陽*
Yoshiharu NAWATA
加 藤 雄 也*
Yuya KATO

要 旨

リチウムイオンバッテリーとインバータユニットを組み合わせることで、生活の中で使用されるさまざまな電気機器に対応可能な蓄電機 LiB-AID E500 を開発した。

本製品は、幅広いユーザ層に受け入れられるデザインと使いやすさを目標としている。電気性能はインバータ技術により、高品質な電力供給を可能とするとともに、並列運転やアシスト運転により起動電力の大きな電気機器にも対応した。また、モノコックフレーム構造による軽量樹脂フルカバー構成を採用し、強度を確保しつつ、小型かつ軽量を達成した。加えて、冷却構造の効率化およびファン配置の最適化により、高い静音性を実現した。

ABSTRACT

The rechargeable power source LiB-AID E500 was developed by combining a lithium-ion battery and an inverter unit to create a power source that can support various types of electrical equipment used in everyday life.

The goals for this product were a design and ease of use that can appeal to a wide range of users. The use of inverter technology provides an electrical performance that enables a high-quality power supply as well as parallel and assist operation support for electrical equipment with high-starting power. In addition, a lightweight resin full-cover configuration using a monocoque frame structure achieves a compact and lightweight form while at the same time securing strength. Furthermore, enhancement of the cooling structure efficiency and optimization of the fan layout realized a high level of quietness.

1. まえがき

近年、スマートフォンに代表されるモバイル端末の個人における普及状況は 80% を超え⁽¹⁾、人々の生活に欠かせないものとなっている。これらに搭載されているバッテリーは、より長時間の使用に耐えられるよう年々大容量化しているが、モバイルバッテリーを持ち運び、足りない電気を補うシーンも珍しくない。また、生活やレジャー等のさまざまなシーンにおいて、昼夜、屋内外を問わず電気が必要とされる時代を迎えており、気兼ねなく電気を使うことができる電源が欲しいという要望が顕在化している。

一方、LED 照明の普及や電気機器の省エネ化が進み、小電力でも使用できる機器は増加しており、少量でもいいから電気が欲しいと感じる機会が増えている。

本稿では、このような要望に応じて開発した LiB-AID E500 (以下 E500) について、小型、軽量ながら高品質な電気出力⁽²⁾やエンジン発電機との並列運転⁽³⁾などにより、ユーザのさまざまな使い勝手に対応した技術について紹介する。

2. 開発のねらい

2.1. 開発コンセプト

日本において従来の発電機ユーザは、建設現場などでの照明用や工具用電源、もしくは災害発生時のバックアップ用途として発電機を購入している。したがって発電機の使用は家庭用というよりも業務用としての意味合いが強かった。これに対し、趣味の多様化に伴いグランピングや

*パワープロダクツ R&D センター

軽自動車を利用したキャンピングカーでの車中泊や天体観測、音楽活動といった外出先で電気を必要とするシーンは広がる一方である。身近な生活に目を向けてみても、デジタルカメラやデジタルビデオカメラを使うことは日常的であり、中高年層を中心としたガーデニング領域でも電動工具が用いられている。しかしこのような場合でも、エンジン発電機は屋外での使用に限られること、燃料の持ち運びや、オイルなどのメンテナンスが必要となることなどから、使われるシーンには限りがある。

これら電気を必要とするさまざまなユーザの要望に応える電源は、小さく、軽く、静かで使いやすくする必要がある。また使用される環境もアウトドアや野外音楽活動をはじめとする屋外環境 (Fig. 1) だけでなく、リビングなどの屋内や狭所での使用に対しても使い勝手の良さが求められる。

本開発においては「持ち運べる新しい電源のかたち」をコンセプトに

- (1) 直感的に使える操作性
- (2) さまざまな電気機器に対応可能な高電気品質
- (3) 気軽に持ち運ぶことができる可搬性を開発のねらいとした。

2.2. デザイン

E500 は電気を供給する製品として、Fig. 2(a) に示す Honda の信頼性の高い初代発電機 E300 のイメージを利用し、「Neo Modern Compact Design」をデザインコンセプトとした。「Neo Modern」とは、古くからなじみのある形にモダンな形状処理を施すことで新しくも親しみやすい存在とすることである。これに構成部品の配色と形状による「Compact」デザインを加えることで、親しみやすく気軽に持ち出したい外観デザインをねらった。

先行デザインは Fig. 2(b) に示すように、E300 の形状をもとにシンプルな面質と構成で作成し、優しい丸みとエッジ

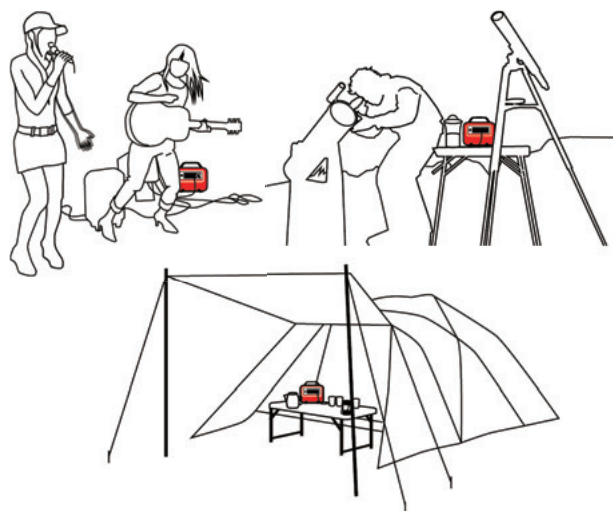


Fig. 1 Image of using the E500

を組み合わせたメリハリある端末処理をした。また、前後パネルのメインカラーと中心部のグレーの組み合わせと、角の丸みを大きくとる形状とし、「Neo Modern Compact Design」を表現した。

この先行デザインをもとに冷却性や量産性、コンセントパネルやハンドルの使いやすさを向上させ、Fig. 2(c) に示す E500 を仕上げた。

カラーバリエーションは Honda パワープロダクツの象徴である赤に加え、自己主張が少なく汎用性の高い白と黒を設定した (Fig. 3)。

これらの効果により幅広いユーザが、さまざまなシーンで E500 を使うことをイメージし、活用することをねらっている。

2.3. システム構成と特徴

E500 は Fig. 4 に示すように、主な機能として給電機能と充電機能を有する。給電部はさまざまな機器に対応できるよう交流出力コンセントを搭載するだけでなく、モバイル端末を充電できるよう直流出力 USB ポートも搭載した。充電部 (500 g) は、本体を軽量化するため別体とし、家庭用コンセント充電器だけでなく、自動車のアクセサリソケット充電器の両方が接続可能な構成としている。



Fig. 2 Design concept



Fig. 3 Color variations

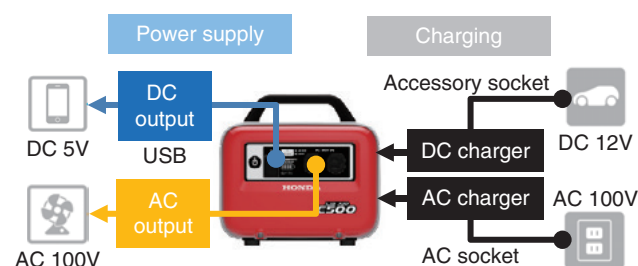


Fig. 4 E500 major functions

Table 1 Specifications of the E500

Item	Specification
Output AC voltage (V)	100
Frequency (Hz)	50/60
Rated output power (VA)	300
Maximum output power (VA)	500
Output DC voltage (USB) (V)	5
Rated output power (USB) (W)	10 (5 × 2)
Dimensions (L/W/H) (mm)	266 × 182 × 248
Mass (kg)	5.3
Sound power level (dB)	L _{WA} 42
Battery capacity (Wh)	377

E500 のシステムを Fig. 5 に、完成機諸元を Table 1 に示す。リチウムイオンバッテリーとインバータユニット、USB ユニットの組み合わせ、交流 100 V と直流 5 V を出力できる構成とし、室内や夜間でも使用可能な静音性の高い電源を実現した。E500 の具体的な特徴は以下である。

- (1) 直感でわかるインタフェース
- (2) 並列運転、アシスト運転によるさまざまな電気機器への対応

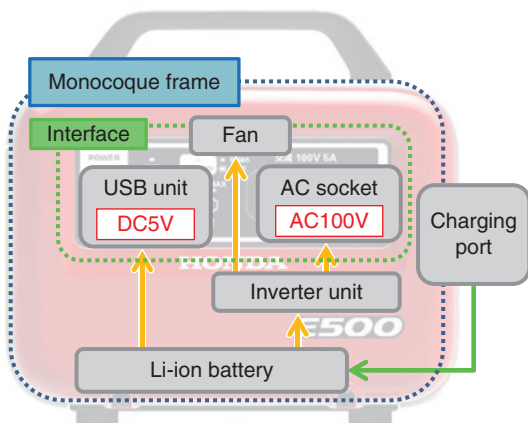


Fig. 5 System configuration

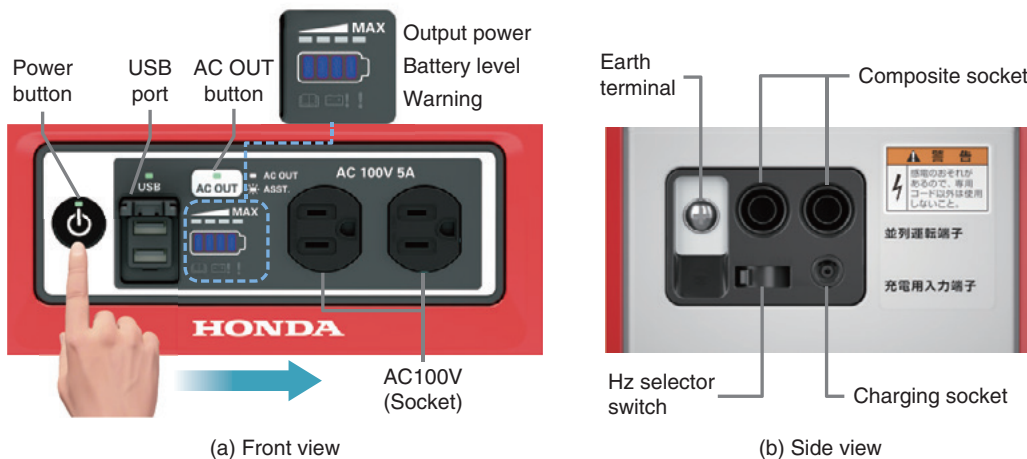


Fig. 6 Control panel design

- (3) 軽量 (5.3 kg) で強度の高いモノコックフレーム構造
- (4) 小型、低騒音化を実現した最適冷却機構

3. 技術紹介

3.1. ユーザインタフェース

コントロールパネルの外観を Fig. 6 に示す。Fig. 6(a) は給電時に必要なボタンと表示部を配置した正面パネルを示し、Fig. 6(b) は給電前のセットアップ時のみ使用するスイッチと接続端子を配置した側面部を示す。

ボタン配置は、ユーザインタフェースの原則⁽⁴⁾に基づき、操作順序にしたがって左から右へと配置することで人が認識しやすい構成としている。さらに迷いなくスムーズな給電動作が行えるよう、電源ボタン (円形) と AC OUT ボタン (四角形) のように外形形状に違いを持たせ、ボタンの間に USB ポートを配置することで、ユーザが直感的に操作できるようにした。

中央部には電池残量と電気の出力状況、異常を知らせる警告灯などを集中配置することで、一目で E500 の使用状況を確認できるようにした。

加えて Fig. 7 に示すように、コントロールパネル表面にエンボス形状を施したメンブレンとタクトスイッチの採用ですっきりとした外観と操作感を両立した。

3.2. さまざまな電気機器への対応

さまざまな電気機器に対応できるよう、E500 では並列運転、およびこれを拡張したアシスト運転、二つのモードで運転を可能とした。これらの二つのモードは、AC OUT ボタンの押し時間によって選択できる。

3.2.1. 並列運転

E500 で消費電力の大きな機器を使用する場合、供給電力が不足するケースがある。E500 は並列運転技術⁽³⁾を用いることで、Fig. 8 に示すように既販の専用コードを接続

するだけで二台分の電力を供給することができ、一台の E500 では電力が不足するケースにも対応した。

3.2.2. アシスト運転

電気機器の中には、モータのように始動時に機器に記載されている定格消費電力を超える電力を必要とするものが存在する。それらの機器を使用する発電機ユーザにとって、機器の始動電力はエンジン発電機の選定基準であり、場合によっては、より大きな出力のエンジン発電機を選ぶを得ない場合がある。これに対し E500 では、自社製エンジン発電機（インバータ内蔵）と並列運転をしながら、マスタとなるエンジン発電機の供給電力を補う、アシスト運転を可能とした。

E500 とエンジン発電機の並列運転時の出力分担を Fig. 9(a)、アシスト運転時の出力分担を Fig. 9(b) に示す。単純な並列運転では、機器の始動時だけでなくその後の機器の運転中にも E500 のバッテリーからの電力を消費することとなるが、アシスト運転を用いれば、E500 は始動時の短時間だけアシスト出力すればよく、バッテリーの電力を効率的に利用できる。

アシスト運転を実現するためには、先に述べた並列運転のほかに、アシスト開始のタイミング検出、供給電力の調整が必要になる。Fig. 10 に示すように電気機器が起動する際にはエンジン発電機の出力電圧の落ち込みが発生する。この電圧の落ち込みが、あるしきい値以下となったことを検出すると、E500 はアシスト出力をおこなう。アシスト運転時は通常の並列運転と異なり、E500 とエンジン発電機の供給電力バランスを均一にせず、機器に流れる電流値に応じて E500 の出力電圧を変化させ、エンジン発電機の不足電力分をアシストする。

出力 700 W のモータを内蔵した電気機器を、定格 900 VA の自社製エンジン発電機 (EU9i) に接続して起動

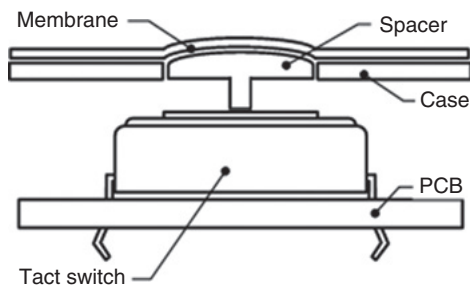


Fig. 7 Structure of buttons on front panel



Fig. 8 E500 parallel operation

した際の発電出力の変化を Fig. 11 に示す。ここではエンジン発電機の供給電力が機器の始動に必要な電力に到達しないため、エンジン発電機は過負荷により停止する。よってこのエンジン発電機だけではこの電気機器を使用できな

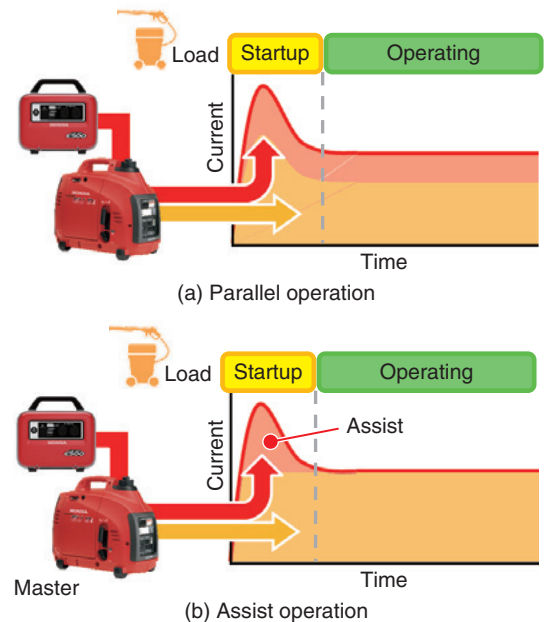


Fig. 9 Parallel operation and assist operation

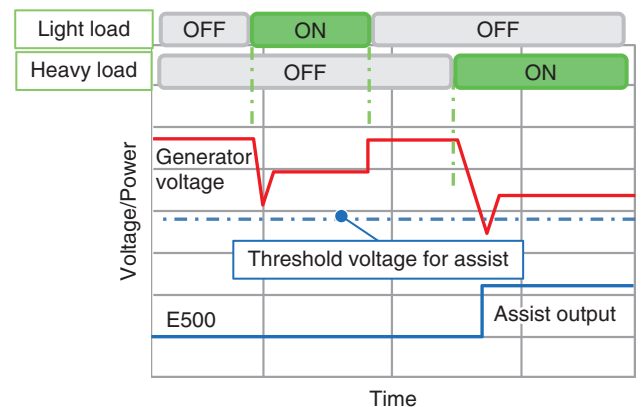


Fig. 10 Assist start timing

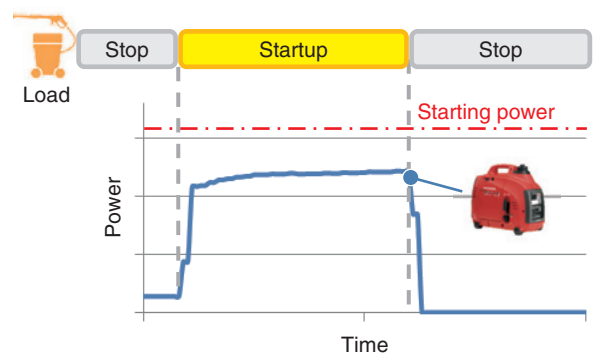


Fig. 11 Generator power shortage for 700 W load

い。次に、同じエンジン発電機を E500 でアシスト運転した結果を Fig. 12 に示す。アシスト機能により機器始動時の EU9i の不足電力を E500 がアシストすることで、機器の使用が可能になった。

3.3. バスタブ型モノコック構造

E500 のフレーム構造を Fig. 13 に示す。小型、軽量化をおこなう一方で、フレームは電子部品を守る骨格の役割を果たす必要がある。そこで、フレームをアッパーカバーとアンダーカバーの上下二部品で構成するモノコックフレーム構造（軽量樹脂フルカバー構造）とし、内蔵部品を保護しつつ強度を高めるために、形状をバスタブ型とした。この形状によって、電子部品はネジ等で固定される必要なく、自立が可能になり組立性も向上した。

さらに、モノコックフレームの形状にコントロールパネルやインバータ等を支持するための構造と、冷却風の通路を作りこんだ。その結果として、面剛性を高めることができたため、特殊な樹脂材を用いることなく、軽量かつ安価で入手性が良いポリプロピレンを採用することができた。

3.4. 冷却機構

E500 は、バッテリーの直流電圧を交流電圧に変換する際、バッテリーやインバータなどの内部損失により熱が発

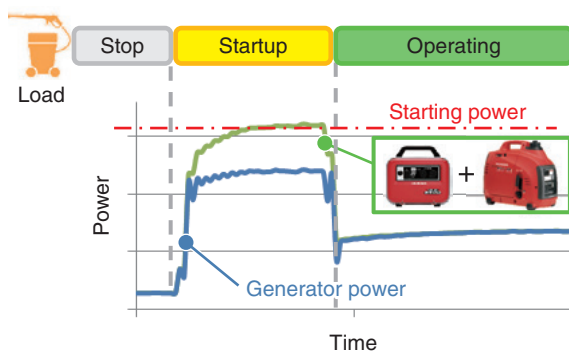


Fig. 12 Result of assist operation

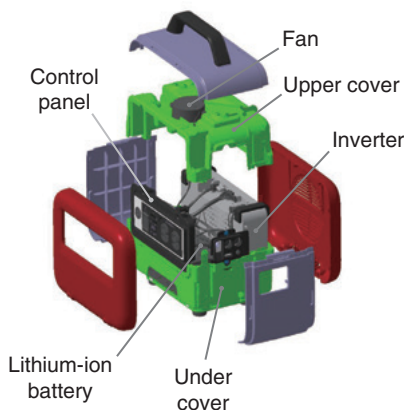


Fig. 13 Monocoque frame structure

生するため、冷却が必要となる。E500 ではフレーム構造による冷却とファンによる冷却の二種類の冷却手法を採用した。

3.4.1. フレーム構造による冷却

冷却構造を Fig. 14 に示す。冷却風の入口を下部に、出口を上部に設けることで、自然換気を促す煙突効果を利用した。さらには、インバータ部から発生した熱を金属ケースに伝えて放熱構造の一部とすることで、一般的に用いられるヒートシンクなどの部品を増やすことなく十分な冷却が得られ、小型化と軽量化に寄与した。

3.4.2. 冷却ファンによる冷却

効率的な冷却をおこなうため、下記三点を設計仕様に反映した。

- ・ 最も高温となるインバータ部品を冷却風入口に配置
- ・ インバータ高温部の局所的な冷却経路の形成
- ・ 狭い空間でも風量確保が可能なプロアタイプのファンを採用

ファン動作時の筐体内における流れ場について数値解析した結果を Fig. 15 に示す。インバータの局所的な高温部に集中的な流れを形成するとともに、バッテリー周囲の



Fig. 14 Cooling air flow

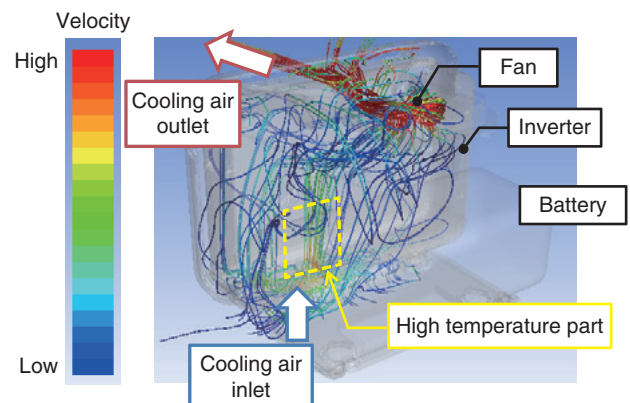


Fig. 15 CFD analysis of internal air flow

空気の滞留防止が図られ、一つのファンでねらい通りの冷却風の流れが実現していることがわかる。なお E500 では、ファンを内部温度が上昇した場合のみ作動させることにより、ファン動作による電池の消費を最小限に抑えた。

これに加えて、ファンを換気風出口から遠い筐体内中央に配置して、ファン動作時の作動音を遮蔽することで、Table 1 に示す騒音値 L_{WA} 42 dB の優れた静音性能を達成した。また Fig. 16, Fig. 17 に示すように、同程度の容量をもつバッテリーを搭載した他社製品と比較して E500 は約 50% の質量と容積を実現した。

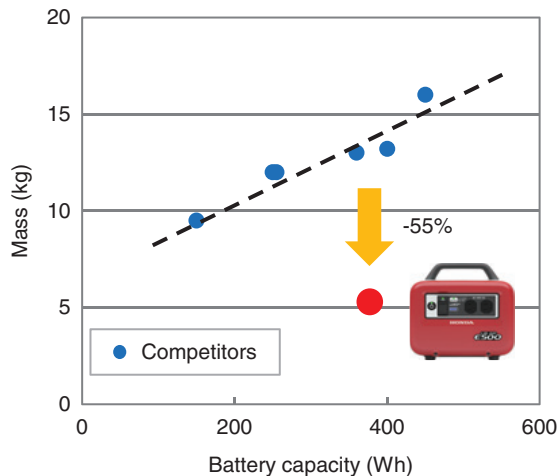


Fig. 16 Comparison of mass with competitors

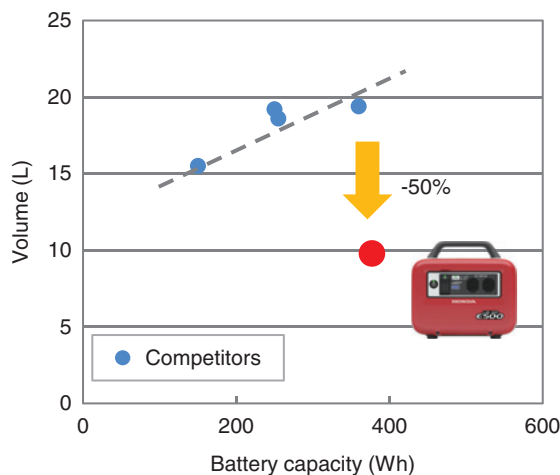


Fig. 17 Comparison of volume with competitors

4. まとめ

リチウムイオンバッテリーとインバータユニットの組み合わせによる蓄電機 LiB-AID E500 を開発した。デザインコンセプトを「Neo Modern Compact Design」とし、親しみやすいデザインとした。また、お客様の使われるシーンを

考慮し、使い勝手を踏まえた作り込みをおこなうことで以下を達成した。

- (1) 直感でわかるインターフェース
- (2) 並列運転, アシスト運転によるさまざまな電気機器への対応
- (3) 軽量で強度の高いモノコックフレーム構造
- (4) 小型, 低騒音化を実現した最適冷却機構

LiB-AID E500 が人々の生活に寄り添う商品として、また、お客様の生活そのものを広げる一助としてさまざまなシーンで活用されることを期待したい。

参考文献

- (1) 総務省:平成 28 年通信利用動向調査, p. 6, (2017)
- (2) 藤井茂, 清水元寿, 中村政史:正弦波インバータ発電システムの構築, HONDA R&D Technical Review, Vol. 8, p. 70-76
- (3) 田中良男, 河内敏文, 伊藤慶太, 中村政史:軽量, コンパクトな「GENE21 シリーズ」ポータブル発電機の開発, HONDA R&D Technical Review, Vol. 11, No. 2, p. 15-22
- (4) ヤコブ・ニールセン:ユーザビリティエンジニアリング原論, 東京電機大学出版局, p. 92-95, (1999)

■ 著 者 ■



中田 泰 弘



藤 川 昂



縄 田 慶 陽



甲 斐 大 志



山 名 康 介



加 藤 雄 也

新型アコード ハイブリッド用 2.0 L エンジンの開発

Development of 2.0 L Engine for New Accord Hybrid

若 松 健*

Takeshi WAKAMATSU

石 神 佳 治*

Yoshiharu ISHIGAMI

泉 慎 介*

Shinsuke IZUMI

吉 本 康 時*

Koji YOSHIMOTO

赤 石 伸 行*

Nobuyuki AKAISHI

中 村 賢 治*

Kenji NAKAMURA

坂 口 元 康*

Motoyasu SAKAGUCHI

久保田 賢 司*

Kenji KUBOTA

要 旨

新型 Accord ハイブリッド用に、Honda として初となる熱効率 40% 以上を目標とした 2.0 L のガソリンエンジンを開発した。前モデルと同様にアトキンソンサイクルとクールド EGR システムを採用した。さらなる理論熱効率向上のためにインテークバルブの鏡面化およびエキゾーストバルブにはナトリウムを封入することでノッキングを改善し高圧縮比化した。熱損失低減のためには高 EGR 化し、高流動タンブルポートを採用することにより高速燃焼を実現した。かつ、他エンジン骨格で採用している低フリクションプラトーホーニングや低フリクションバランスシャフト等の機械損失低減技術を導入し、エンジン単体での最小燃料消費率は 208.1 g/kWh (熱効率 40.6%) を達成した。

この新開発エンジンを用いて実車燃費性能を確認した結果、単体エンジン効果として US Combined mode 燃費で 1.96 mpg 改善した。

ABSTRACT

A 2.0 L gasoline engine for which the development target was the realization of thermal efficiency of 40% or higher (a first for Honda) has been developed for the new Accord hybrid. As in the case of the previous model, the developed engine employs the Atkinson cycle and the cooled EGR system. In order to further increase theoretical thermal efficiency, knocking has been reduced through the application of mirror finishing to the intake valves and the use of sodium-filled exhaust valves, and the higher compression ratio than the previous model. To reduce heat loss, high-speed combustion has been realized by increasing EGR amount and employing high-tumble-flow ports. Technologies for the reduction of mechanical loss, including low-friction plateau honing and a low-friction balance shaft, have been employed in the other engine framework, helping to enable the realization of a minimum fuel consumption rate of 208.1 g/kWh (thermal efficiency: 40.6%) in the engine unit in isolation.

The verification results of the fuel efficiency performance achieved in an actual vehicle through the use of the newly-developed engine demonstrated a reduction of 1.96 mpg in fuel consumption in the US Combined Mode as an effect of the engine unit in isolation.

1. はじめに

近年各自動車メーカーは車から排出される CO₂ 削減のため、燃料消費率向上を目的とし新型パワートレインを投入してきている。Honda は 2012 年末、2 モータハイブリッドシステム⁽¹⁾⁻⁽³⁾を備えた Accord プラグインハイブリッドを販売し、2016 年には排熱回収器システムを追加した。さらにより多くのお客様に商品を提供するために普及型であるハイブリッドシステムを備えた Accord ハイブリッドを 2018 年初に発表した。2 モータハイブリッドシステム (SPORT HYBRID i-MMD) は、走行モードが 3 パターンあ

り、パターン 1 はバッテリーに蓄えられた電気エネルギーを使用してモータを駆動する EV 走行モードである。パターン 2 は、バッテリーのアシストや充電により、エンジンによって生成された電気エネルギーを使用してモータを駆動するハイブリッド走行モードである。パターン 3 は、エンジン出力を使用して直接駆動するエンジン走行モードである (Fig. 1)。SPORT HYBRID i-MMD の開発にあたり、クラストップの高効率なハイブリッドシステムを目指し、エンジンとしてはさらなる燃料消費率向上のため、専用のガソリンエンジンを開発した。

* 四輪 R&D センター

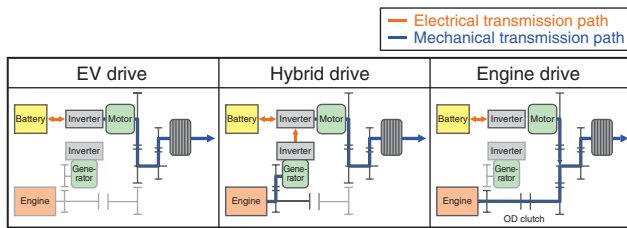


Fig. 1 SPORT HYBRID i-MMD system operations

2. 開発のねらい

ハイブリッド車の専用エンジンとして以下を目標に開発した。

- (1) 低燃費については、ハイブリッド走行時の使用領域における燃料消費率改善(熱効率 40% 以上)
- (2) エンジン動作線の最適化による実車燃費性能の向上

3. 燃費性能向上技術

熱効率 39.1% の量産 2.0 L full hybrid electric vehicle (FHEV) エンジン (前モデル) と対比した諸元表を Table 1 に示す。

3.1. エンジン単体燃費向上技術

前モデルの損失解析により、図示熱効率向上のために理論熱効率の向上と熱損失の低減、および機械損失の低減の 3 点を燃料消費率改善の主題とした。

3.1.1. 理論熱効率向上

理論熱効率の向上には圧縮比の向上が有効であるが、ノッキングの増加を伴う。その対策として排気再循環 (EGR) 導入量の増加とインテークバルブの鏡面化およびナトリウム封入エキゾーストバルブを採用した。これらにより、ノッキングの増加なく 13.0 から 13.5 まで圧縮比を向上させた (Fig. 2)。

3.1.2. 高流量 EGR システム

熱損失低減のため EGR 導入量の増加をおこなった。これはノッキング増加の抑制効果もあり、圧縮比の向上にも有効である。

EGR 導入量は前モデルの 17% から 23% へ増加することを目標とし、EGR システムの高流量化を検討した。これは、熱効率 40% に対して、算出した値である。

高流量化のために EGR バルブの大径化と弁座からのガス漏れ量の抑制、またバルブ応答性の両立した新規の EGR バルブを開発した。バルブ形状はポペットバルブとし、バルブ径の大径化をおこなった (Table 2)。駆動部はリニアソレノイドを採用し、大径化に必要な駆動力を確保するため、コイル体格と磁気回路は新規に設定した。

バルブ大径化の効果を引き出すため、EGR 通路圧損の

Table 1 Engine specifications

	Developed	Previous
Cylinder configuration	Inline 4	
Bore × Stroke [mm]	81 × 96.7	
Displacement [cm ³]	1993	
Valvetrain (intake)	VTEC and E-VTC	
Valvetrain (exhaust)	Finger rocker arm (with HLA)	
Number of valves	4	
Valve diameter [mm] intake/exhaust	33 (Mirror-surface) /26 (Na-filled)	33/26
Cylinder offset [mm]	6	
Crank journal diameter [mm]	50	
Crankshaft counterweight	Semi-8 (without dent)	4 (with dent)
Compression ratio	13.5	13.0
EGR system	Cooled	
EGR valve flow rate [L/min]	450	230
Water pump	Electric	
Thermostat open valve temperature [°C]	82	78
Fuel injection type	Port injection	
Fuel	Regular	
Maximum power [kW]	107	
Maximum torque [Nm]	175	
Emission regulation	SULEV30	

Table 2 EGR valve specifications

	Developed	Previous
Valve type	Poppet	
Valve seat diameter [mm]	12.5	8.3
Flow at 6.7 kPa [L/min]	450	230
Valve leak [L/min]	< 3	
Response time [msec] from closed state to fully open	≤ 80	

低減をおこなった。触媒後より導入された EGR ガスは、EGR パイプ、EGR クーラ、ウォータアウトレット内 EGR ガス通路を経て EGR バルブへ入り、その後再び、ウォータアウトレット、シリンダヘッド内通路を通り、インテーク

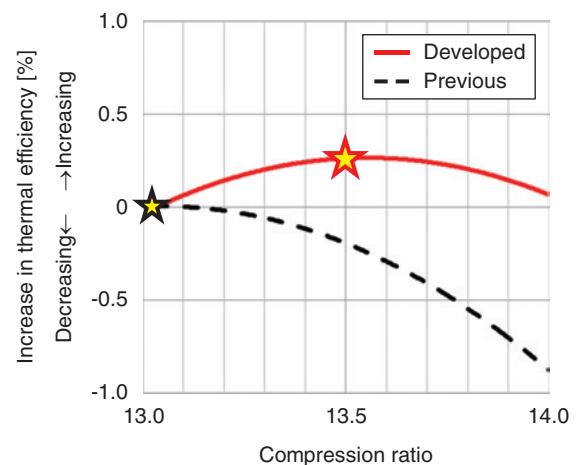


Fig. 2 Increase in thermal efficiency against previous model

マニホールドへ導入される。

圧力損失影響の大きかった EGR バルブ周辺の形状比較を Fig. 3 に示す。

前モデルの通路形状に対して、

- (1) 通路面積を $\phi 21$ に拡大
 - (2) デッドボリュームを削除
 - (3) ウォータアウトレットと EGR クーラの通路あわせ部のストレート化
 - (4) EGR バルブ内の通路曲がり半径拡大
- をすることで、通路圧損を 70% 低減した。

EGR 導入量の増加の際に発生する燃焼の緩慢化による時間損失増加に対しては、高流動タンブルポートを採用することにより高流量 EGR 条件においても高速燃焼を実現した。

採用したポート形状を Fig. 4 に示す。ポート形状は前モデルに対し、インテークバルブ手前部分の下側に膨らみを設けて、入射角をより鋭角にすることでタンブル流を強化した。これによりエンジン速度 2000 rpm、エンジン負荷 120 Nm の運転ポイントでのタンブルレシオは 25% 増加し、燃焼速度に相関のある乱流運動エネルギー (Turbulent Kinetic Energy: TKE) は 3% 向上した。改善効果を Fig. 5 に示す。

その結果、前モデルと同等の燃焼期間を達成し (Fig. 6) 、

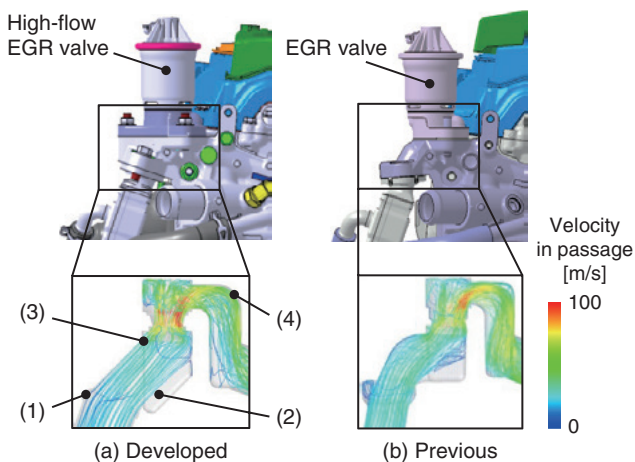


Fig. 3 High-flow EGR passage

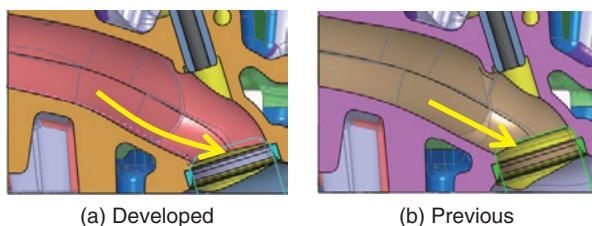


Fig. 4 High-tumble port shape

時間損失が増加することなく、熱損失の低減とノッキングの改善を可能にした。

3.1.3. ノッキング改善

ノッキング改善を目的として、インテークバルブには傘裏部の鏡面仕上げをおこない、エキゾーストバルブにはナトリウムを封入した。

インテークバルブについては、燃焼室内に露出するバルブの傘裏部表面を平滑化することで表面積を減らし、バルブとその周辺の気体間の熱伝達抑制をねらった。これにより熱伝達が減ることで、バルブを介してシリンダヘッドへ逃げていた燃焼ガスの熱量を減らすことが可能となり熱損失を低減することができる。またバルブ自体の温度も下がるので、吸気温度が低減しノッキング改善の効果も得ら

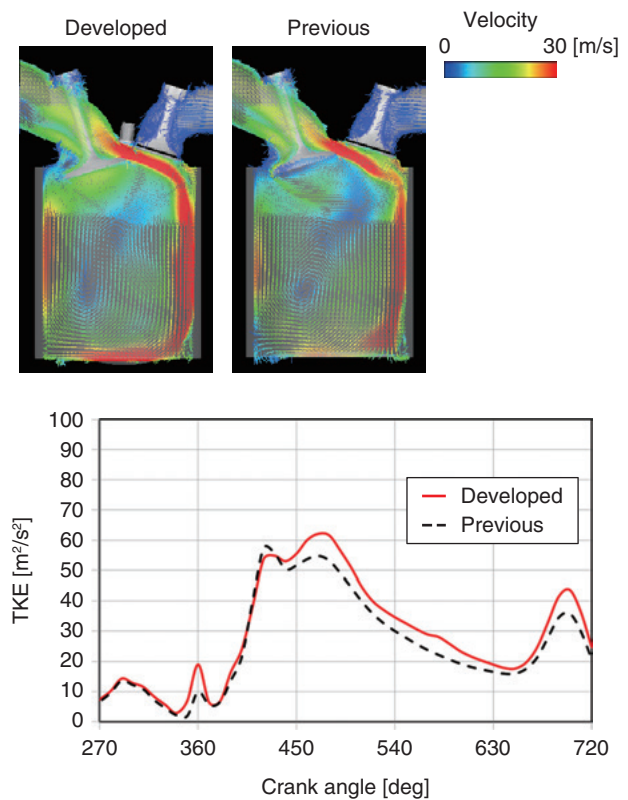


Fig. 5 Results of flow simulation

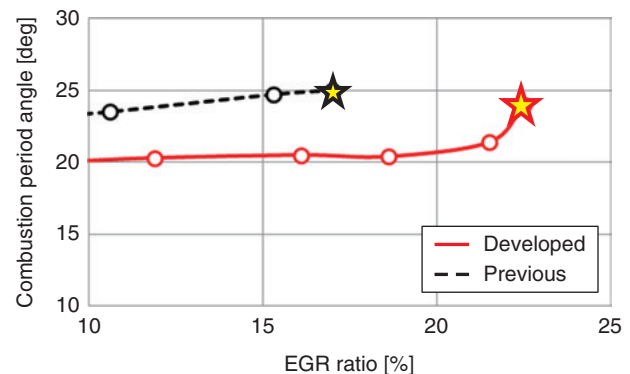


Fig. 6 EGR flow rate and combustion period

れる [Fig. 7(a)].

エキゾーストバルブについては、中空にした内部にナトリウムを封入したバルブを採用した [Fig. 7(b)]. 高温になりやすいエキゾーストバルブ周辺の熱を、バルブ内部で溶融したナトリウムの上下運動によりステム部分に速やかに伝え、バルブステムと接触しているバルブガイドを介して、シリンダヘッドのウォータージャケットに放熱することをねらっている。

この技術を適用し、エンジン速度 2000 rpm, エンジン負荷 120 Nm の運転ポイントにて 0.9 deg のノッキング改善の効果をを得ることができた。ノッキングの改善量を Table 3 に示す。

3.1.4. 機械損失低減

機械損失に関して、クランクシャフト、ピストンなどの主運動系、カムシャフト、ドライブチェーンなどの動弁系に対する低減化を主としておこなった (Table 4)。

シリンダブロックとしては、ピストンが高速でしゅう動するスリーブ表面の粗さの最大高さを低減しつつ、溝ピッチを拡大させることで平滑面を増やすことをねらい、プラトーホーニングの砥石仕様変更と加工条件を変更し、機械損失を低減した (Fig. 8)。また、バランスシャフトはオイルパン内にレイアウトされており、エンジン運転時にオイルパン内のオイルを掻き上げることによる機械損失が発生する。Fig. 9 に示すようにバランスウェイト形状を変更してバランスウェイト表面にオイルの流れを作ることでこの機械損失を低減した。

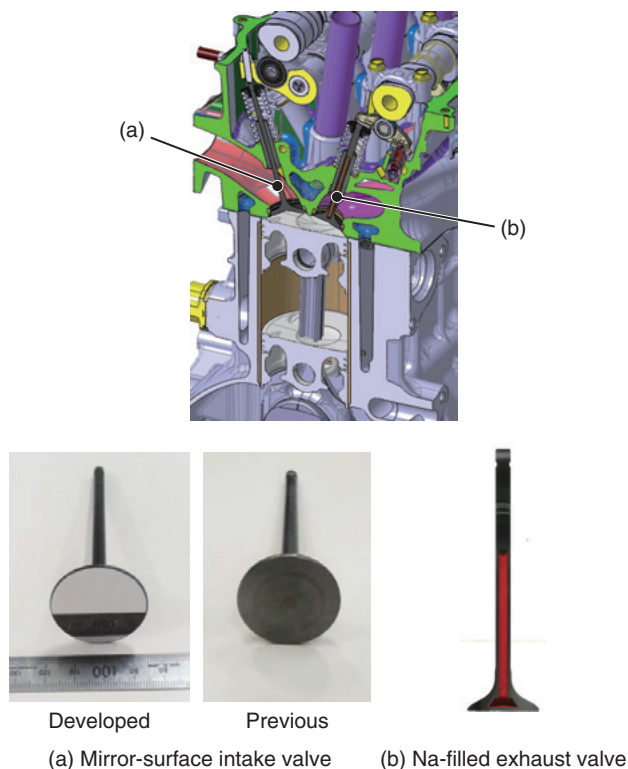


Fig. 7 Valve system

Table 3 Amount of mitigation of knocking

Amount of mitigation of knocking		
Valve cooling	Mirror-surface intake valve	+0.3 deg
	Na-filled exhaust valve	+0.6 deg

Table 4 Mechanical loss reduction technology

Part	Item
Cam shaft	Mirror-surface cam journal
Crank shaft	Mirror-surface crank journal Increased crank rigidity
Balance shaft	MoS ₂ shot to balance shaft metal Change in balance shaft weight and shape
Oil pump	Low-tension oil seal
Piston	MoS ₂ thick coat + Staggered coat Change in 2nd ring shape Change in land diameter
Chain	Cam chain (application R shape on back face and smoother surface roughness) Low-friction chain guide
Block	Low-friction plateau honing

冷却水については、水温を高めることで潤滑油の粘度を低下させ、機械損失を低減し燃費改善を図るため、サーモスタットの開弁温度を 78℃ から 82℃ に 4℃ 高めた。これは、3.1.3. 項で示したノッキング改善により可能となった。

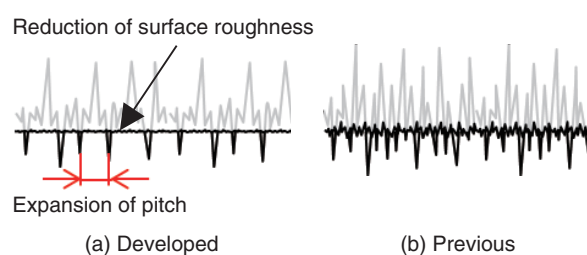


Fig. 8 Low-friction plateau honing

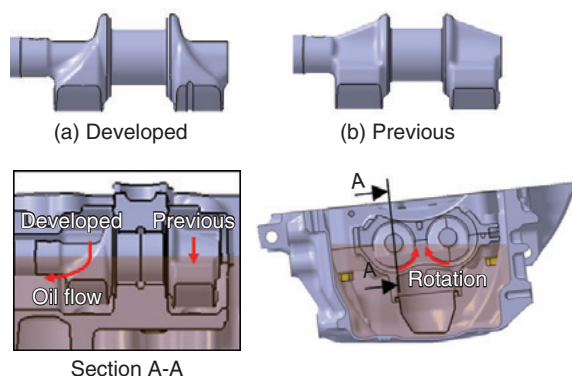


Fig. 9 Change in balance weight shape

開弁温度の変更により、低負荷走行時から中負荷走行時の水温が高く保たれ (Fig. 10)、機械損失が低減した。

その結果、エンジン速度 2000 rpm、エンジン負荷 120 Nm の運転ポイントにて前モデルに対し 6.4% の機械損失低減をおこなった。

3.2. エンジン動作線改善のための振動対策

急速燃焼により時間損失が小さく正味燃料消費率 (Brake specific fuel consumption: BSFC) の良い領域は、同時に圧力上昇率が高くなるため、エンジンの振動が増加する。前モデルではエンジン振動に起因する完成車でのゴロゴロというエンジン音の低減と燃費が両立する動作線を設定し、結果的に Fig. 11 に示すように動作線は BSFC の最も低い領域を使っていなかった。新開発エンジンは、燃費改善のために動作線が BSFC の低い領域を使うことができるよう

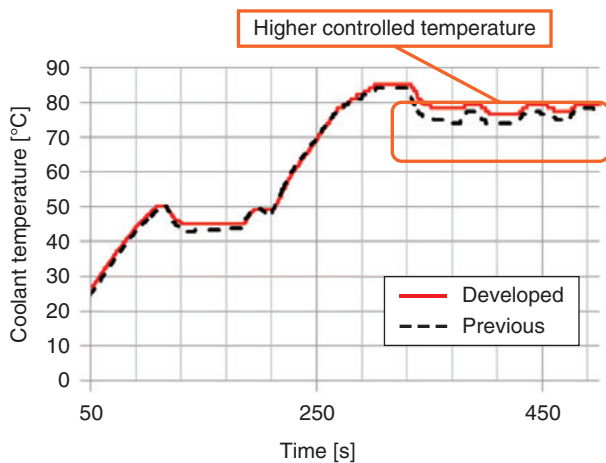


Fig. 10 Change in coolant temperature at cold start

に、かつ、さらなる BSFC の改善による振動増加を防ぐために、エンジンの骨格見直しによる低振動化を検討した。

振動低減のためにクランクシャフトの形状を変更した。クランクシャフトの対策形状を Fig. 12 に示す。前モデルは軽量化のためにショルダ部が肉抜き形状⁽²⁾であったがこれを廃止し、さらにウェブの肉盛りをおこなった。最終的にエンジンマウント取り付け点の振動レベルが、完成車のゴロゴロ感に影響する 200 Hz から 770 Hz にかけて、前モデルに比べ 5 dB 低減した。これを Fig. 13 に示す。以上の検討により、BSFC を改善しながら前モデルに対して振動レベルを低減することができた。

3.3. ハイブリッドモード性能

上記対応により、エンジン速度 2000 rpm、エンジン負荷 120 Nm の運転ポイントで、BSFC 208.1 g/kWh (熱効率 40.6%) を達成し、前モデルに対して 8 g/kWh の BSFC 改善を得た。BSFC の分布を Fig. 11 に示す。図中の白いラインはハイブリッドドライブモードにおける動作線を示し、黄色のラインは BSFC 220 g/kWh の範囲、オレンジのラインは BSFC 210 g/kWh の範囲を示す。

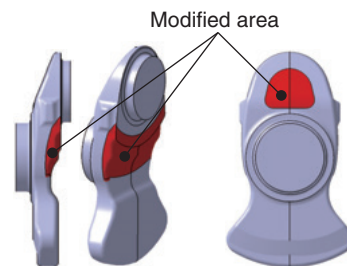


Fig. 12 Shape of modified crankshaft

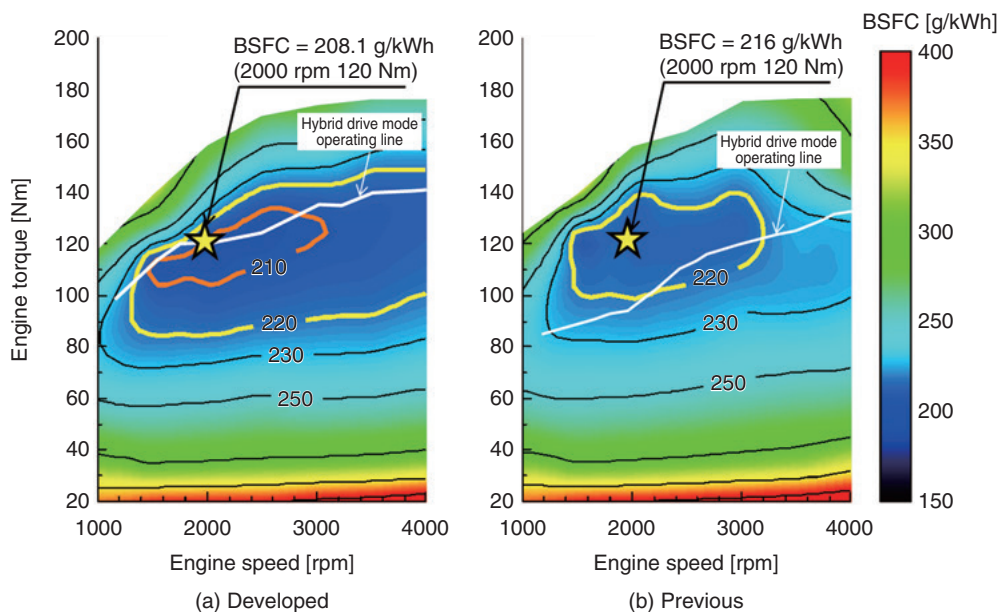


Fig. 11 Fuel consumption performance

3.4. 実車燃費性能

実車燃費性能については、コールドスタート時に冷却水の昇温速度を高めてEV走行モード (Fig. 1) 開始タイミングを早めるため、冷却回路に排熱回収器システム (Fig. 14) を適用し、US Combined mode 燃費で単体エンジン効果は 1.06 mpg の改善、および動作線見直し効果にて 0.90 mpg の改善となり、併せて 1.96 mpg の改善を達成した。

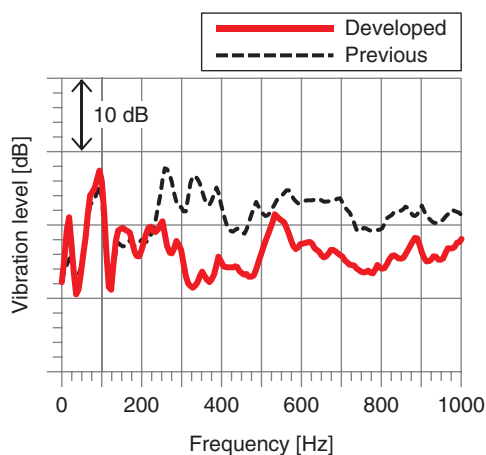


Fig. 13 Engine vibration level

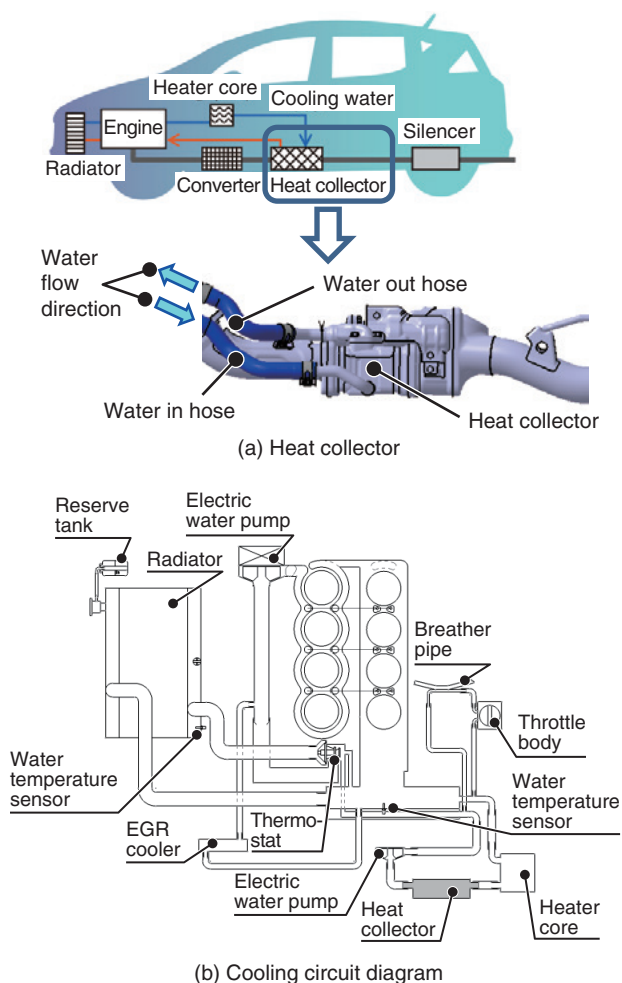


Fig. 14 Cooling system

4. まとめ

以上の技術を投入し、ハイブリッド用として普及型で競争力のあるエンジンを開発した。以下にまとめる。

- (1) 高圧縮比、高流動タンブルポート、高流量EGRシステムを採用することで、BSFC 208.1 g/kWh (熱効率 40.6%) を達成した。
- (2) エンジン動作線を見直し、実車燃費性能を改善させた。

参考文献

- (1) Higuchi, N., Sunaga, Y., Tanaka, M., Shimada, H.: Development of a New Two-Motor Plug-In Hybrid System, SAE Technical Paper, 2013-01-1476, (2013)
- (2) 米川明之, 渡辺修, 関谷明堂, 石川直宏: Accord ハイブリッド用 2.0 L エンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 25, No. 2, p. 26-31
- (3) Yonekawa, A., Ueno, M., Watanabe, O., Ishikawa, N.: Development of New Gasoline Engine for ACCORD Plug-in Hybrid, SAE Technical Paper, 2013-01-1738, (2013)

■ 著 者 ■



若松 健



吉本 康時



坂口 元康



石神 佳治



赤石 伸行



久保田 賢司



泉 慎介



中村 賢治

スクータ用空冷エンジンの燃費向上を目的とした 可変冷却システムの開発

Development of Variable Cooling System Aimed at Fuel Economy Improvement of
Air-cooled Engine for Scooters

小林 友和*

Tomokazu KOBAYASHI

高 姓 一行*

Kazuyuki KOSEI

飯 舘 智 司*

Satoshi IJIMA

要 旨

空冷4ストローク単気筒ガソリンエンジンを搭載したスクータ用の可変冷却システムの開発をおこなった。このシステムは、油温感応型のアクチュエータを使用して冷却風の吸入口上に配置されたルーバーの羽根板を開閉作動させる。この羽根板が、冷機状態や低負荷走行時に冷却風の吸入を遮断する。この動作が、低負荷走行時のエンジンオイル温度の上昇とクーリングファンの仕事量の低減をもたらす。これにより、機械損失の低減が可能となる。加えて、早期暖機による燃料噴射補正量の低減も可能となる。結果として、Urban Driving Cycle 走行時における3.3%の燃費向上を実現した。

ABSTRACT

A variable cooling system was developed for a scooter equipped with an air-cooled, four-stroke, and single-cylinder gasoline engine. In this system, slats of the louver, located at the inlet of cooling air, are opened or closed by an oil-temperature-sensitive actuator. These slats shut off the supply of cooling air when the engine is in cold state or is driven with a low load. These operations of the slats help the engine oil temperature increase and the workload of the cooling fan decrease when the vehicle is running with a low load. With those effects, reduction of the mechanical loss is made possible. In addition, shortened warm-up time enables reduction of the injection fuel amount. As a result, fuel economy improvement of 3.3%, when driven in Urban Driving Cycle, was realized.

1. まえがき

スクータはその車体構成により走行風がエンジンに直接当たらない。そのためスクータ用の強制空冷エンジンにおいて、シリンダヘッド周りはクランクシャフトに直結されたファンにより冷却される。すなわち、冷機から暖機の間、冷機から暖機の間、エンジンには常にエンジン回転数に比例した冷却風量が供給される。また、最も熱的に厳しい運転条件下においても十分な冷却能力が設定される。このため、冷機始動後や低負荷運転時には、エンジンは過冷却の状態になることが多い。また、過冷却状態での運転により燃費性能が低下する。この事象は、エンジンオイルの温度と粘度の関係により、運転時の温度が下がるほど、粘性抵抗が増すことで機械損失が増加することなどに起

因する。この課題を解決する手法として、エンジン温度によって冷却能力を変化させる可変冷却システムがある。このシステムは水冷エンジンでは既に一般的である。代表的なものではサーモスタットによる冷却水の循環経路の切替え、モータによるラジエータファン駆動の断続などがある。また、四輪自動車特有のシステムではフロントグリルに開閉式の羽根板 (slat) を設置することによりラジエータの放熱を抑制するシステムがあった⁽¹⁾⁻⁽³⁾。しかし、二輪車の強制空冷エンジンにおいて可変冷却システムは存在しなかった。

近年、小型二輪車の中心市場であるアジア地域において、スクータの普及が急拡大している。二酸化炭素の排出総量低減の観点から、スクータ用の強制空冷エンジンの燃費改善の要求は高まっている。以上の背景の下に、筆者ら

*二輪 R&D センター

は、まず、常時、強制冷却をおこなうことによる損失について調査した。その結果に基づき、エンジンオイルの温度により冷却風量を制御する可変冷却システムを考案した。このシステムはエンジンオイル温度が設定された値に達すると作動する感温型アクチュエータにより、冷却風の吸入口に設けた羽根板を開閉させる。このシステムによりエンジンの過冷却を防止することで燃費の改善をねらった。

2. 空冷スクータの冷却構造

Fig. 1 に空冷エンジンを搭載するモータサイクル (以降、空冷モータサイクル) の外観とエンジン搭載位置を、Fig. 2 に空冷エンジンを搭載するスクータ (以降、空冷スクータ) の外観とエンジン搭載位置を示す。

空冷モータサイクルでは、赤色で示したエンジンの前方にあるシリンダヘッドおよびシリンダに走行風が直接当たる構造となっている。そのため、走行風のみでの冷却が可能である。一方、空冷スクータでは、赤色で示されたエンジンの大部分がカウルやラゲッジボックスで覆われているため、エンジン前方にあるシリンダヘッドやシリンダの走行風による冷却が期待できない。この冷却風不足を解消するために、スクータ用の空冷エンジンはクランクシャフト



Fig. 1 Air-cooled motorcycle



Fig. 2 Air-cooled scooter

側方に直結されたファンによる送風で強制的に冷却される。冷却風は常時シリンダヘッドとシリンダに送り続けられる。送風量はエンジン回転数に依存している。Fig. 3 にクーリングファンの取付け構造を示す。

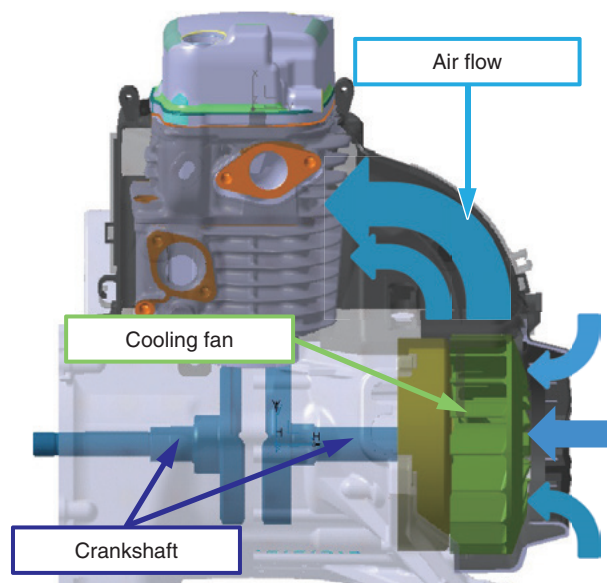


Fig. 3 Location and construction of cooling fan

3. 強制冷却構造がもたらす課題

空冷スクータは、常時、冷却風を送られることにより、空冷モータサイクルに対して低い油温の条件下で運転される。これにより、運転中のエネルギー損失は、空冷モータサイクルよりも大きいと推測される。この章では、強制冷却によりどのような損失が生じるのかを明確にしていく。

3.1. 供試車両

Table 1 に本研究で使用した空冷スクータと次節にて比較対象として使用した空冷モータサイクルの諸元を示す。両車両の排気量や出力、車両質量は、ほぼ同じ値を有する。

3.2. 冷却手法の違いによる走行中の油温

前節で述べた供試車両にてモード走行後の油温の比較計測をおこなった。走行モードはEU Directive 97/24/EC 改訂 2002/51/EC Chapter 5 Annex II 2.2.1.1.5 で定められた Urban Driving Cycle (UDC) でおこなった。本モードは市街地などを模した低負荷走行である。走行抵抗はISO 170 kg、走行実験はシャシダイナモ上でおこなわれ、室温は $25 \pm 5^\circ\text{C}$ である。

UDC の走行を終了した時の、空冷スクータのオイルパン内の油温 (T_c) は約 65°C であった。一方、空冷モータサイクルのオイルパン内の油温は約 85°C であった。このよ

Table 1 Specifications of experimental vehicles

Item	Forced air-cooled scooter	Air-cooled motorcycle
Engine type	4-stroke single-cylinder	4-stroke single-cylinder
Cooling system	Forced air-cooled	Naturally air-cooled
Bore × Stroke	50.0 mm × 55.1 mm	50.0 mm × 55.6 mm
Displacement	108.2 cm ³	109 cm ³
Compression ratio	9.5	9.3
Fuel supplying system	Fuel injection	Fuel injection
Transmission type	Belt drive (CVT)	4 MT
Maximum power	6.6 kW at 7500 rpm	6.5 kW at 7500 rpm
Maximum torque	9.2 Nm at 5500 rpm	8.8 Nm at 6000 rpm
Curb weight	99 kg	98 kg

Table 2 Experimental criteria

	With forced cooling	Without forced cooling	
	With cooling fan	Without cooling fan (a)	Shut off cooling air (b)
Fan diameter	130 mm		130 mm
Fan type	Centrifugal turbo fan		Centrifugal turbo fan

うに強制冷却の場合、油温が約 20℃ 低い。

この温度差は、空冷スクータでは、クーリングファンが過剰な冷却をおこなっていること、変速ギヤ機構とクラッチがオイルパン内に存在しないために、摩擦熱が発生しないことに起因すると考えられる。

3.3. 強制冷却がもたらす課題

強制冷却がもたらす課題を把握するために、まず、空冷スクータの走行中の油温が、強制冷却の有無により、どの程度の差が生じるかを確認した。強制冷却を止める方法として、クーリングファン取り外しと冷却風遮断の2通りの方法で実験をおこなった。冷却風の遮断には、冷却風の吸入口上に蓋をする方法をとった。Table 2 に空冷スクータの実験仕様一覧を示す。

Fig. 4 に UDC を走行した場合のオイルパン内油温の推移を示す。黒線はクーリングファン付き、赤線はクーリングファン取り外し、青線は冷却風遮断を示す。クーリングファン付きとクーリングファン取り外しについては、UDC を連続走行し、オイルパン油温の変化が十分小さくなった時の温度を確認した。

クーリングファン取り外しと冷却風遮断の場合、UDC の走行終了後の油温は約 79℃ であった。クーリングファン付きに対して約 15℃ 上昇している。また、UDC を連続走行した場合、油温はクーリングファン付きで約 70℃、クーリングファン取り外しは約 103℃ でほぼ安定している。すなわち低負荷条件の走行では、強制冷却の必要はないことがわかる。

次に、クーリングファンを取り外した状態で全負荷走行

(最高速での連続全負荷走行)をした場合のエンジン各部の温度を Fig. 5 に示す。赤線がプラグ座温度、青線がシリンダ温度、茶線がオイルパン内油温を示す。なお、実験は、プラグ座の温度が、緑色で示す空冷モータサイクルの最高プラグ座温度に到達した場合に、全負荷走行を中止する形でおこなわれた。

クーリングファンを取り外した状態で全負荷走行をおこなった場合、スパークプラグ座温度は約 250 秒で空冷モータサイクルの最高温度に到達する。このことは、全負荷走行時には強制冷却が不可欠であることを意味する。

以上の実験結果などから、強制空冷による燃費低下の原因として以下のことが推察される。

- (1) 低負荷走行時、オイル温度が低く機械損失が大きい状態で走行している。
- (2) 冷機時の燃料噴射量は暖機時に対して増加するように補正されている。そのため、冷機状態が長く保たれることで燃料消費量は増加する。
- (3) 低負荷走行時には不必要なクーリングファンの駆動損失が発生している。

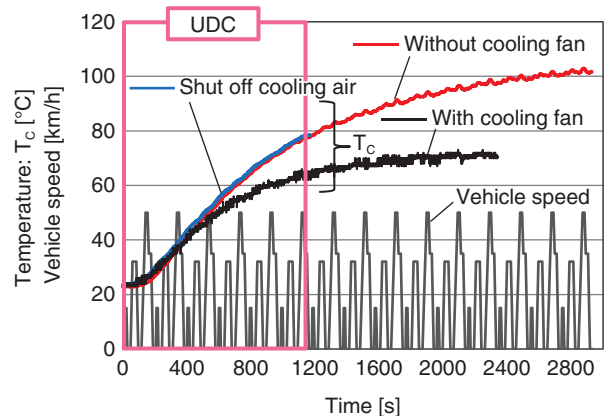
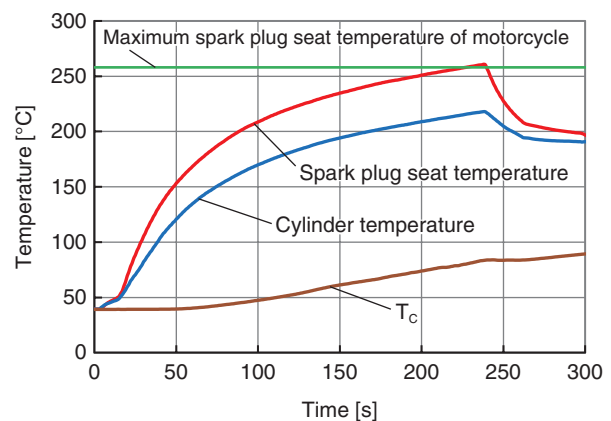
Fig. 4 Change in T_c when driving in UDC

Fig. 5 Temperatures of engine parts when driven at full load without forced cooling

4. 強制冷却による損失の把握

前述の推察される原因による損失がどの程度の燃費低下をもたらすかを把握するための実験をおこなった。以下に各項目に対する結果を示す。

4.1. 強制冷却の有無によるエンジン機械損失の差

Fig. 6 に油温と動粘度の関係を赤線で示す。使用したエンジンオイルは SAE 粘度:10W-30, API 規格:SJ グレードである。緑線はクーリングファンを取り外して UDC を走行した場合のオイルパン内油温と粘度の関係を青線はクーリングファン付きのそれを示す。強制冷却を停止させた場合の到達油温は 79°C、動粘度は 16.8 mm²/s であった。強制冷却の場合の到達油温は 65°C、動粘度は 26.2 mm²/s であった。

次に、この動粘度の差がもたらすエンジン機械損失の差を確認した。実験はモータリング法によりエンジン単体でおこなわれた。Fig. 7 に実験結果を示す。UDC を走行中のエンジン回転数 3500-5500 rpm で、機械損失は 60-110 W の差が生じていた。

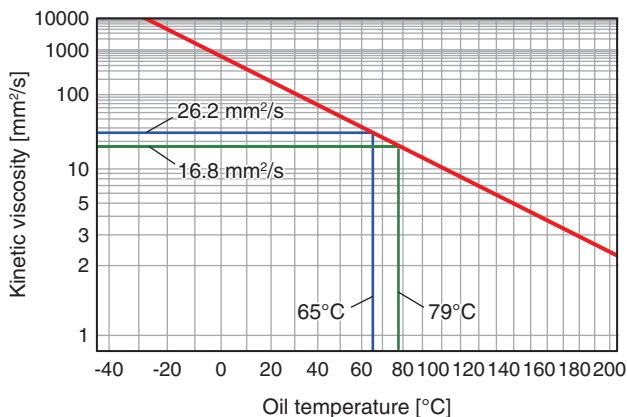


Fig. 6 Kinetic viscosity at various oil temperatures

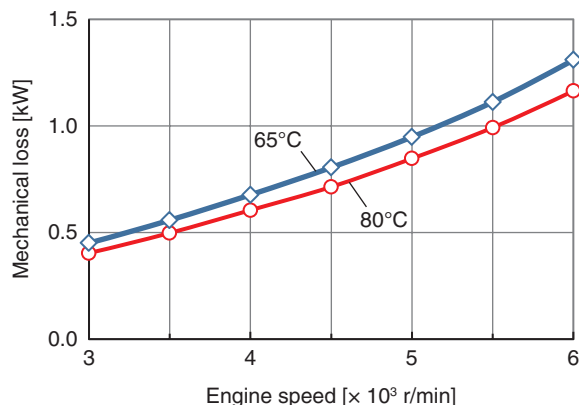


Fig. 7 Engine mechanical loss at various T_c

4.2. 低油温による燃料噴射量の増加

次に、油温の差が燃料噴射量に与える影響を確認した。

一般的に、水冷エンジンに搭載される燃料噴射システムでは、吸気温度や冷却水温度をパラメータとした燃料噴射量の補正制御を有する。空冷エンジンを搭載する供試車両では、油温をパラメータとして同様の補正制御をおこなっている。この制御に用いる油温 (以下、 T_H) は、シリンダヘッドに取り付けられたセンサによって測定される。Fig. 8 に UDC を走行中の T_c と T_H の推移を示す。青線は強制冷却あり、赤線は強制冷却なし、太線は T_c 、細線は T_H を示す。 T_H においても、 T_c と同様に強制冷却の有無で差が生じている。UDC の走行終了時点の到達油温で約 20°C の差が生じている。

次に T_H の温度差が噴射量補正係数 (correction coefficient of injected fuel: K_{TW}) にどの程度の差をもたらすかを確認した。Fig. 9 に T_H と K_{TW} の関係を示す。Fig. 10 に UDC を走行した場合の T_H と K_{TW} の推移を示す。太線が強制冷却なし、細線が強制冷却ありである。 K_{TW} は T_H をパラメータとした設定値である。強制冷却ありは強制冷却なしに対して、補正係数が 1 になるまで、すなわち、燃料の噴射量が設定値に達するまでの時間が長い。UDC を走行した時の両者の燃料噴射補正量を算出したところ、

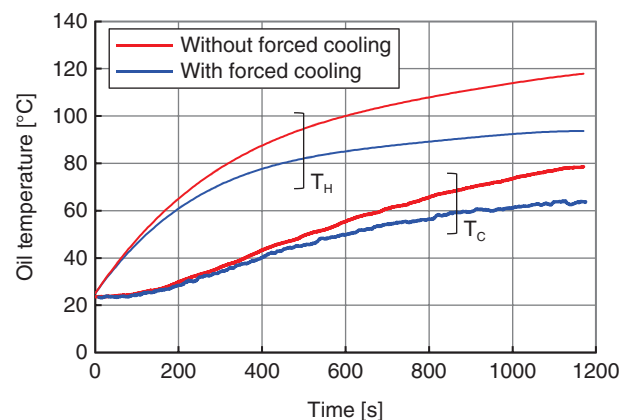


Fig. 8 Change in T_c and T_H when driving in UDC

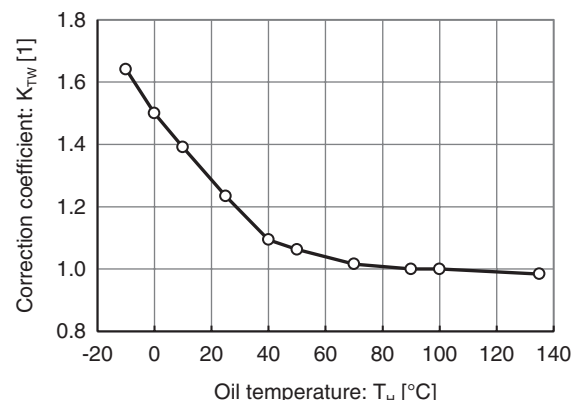


Fig. 9 Relationship between T_H and K_{TW}

0.92 mL の差が生じた。過冷却により冷機時間が長くなり、燃料噴射量が 0.92 mL 増加する結果となった。

4.3. クーリングファンの駆動損失

最後に、クーリングファンの駆動損失の確認をおこなった。この確認は、Table 2 に示す三つの条件のもと、モータリング法によりエンジンの機械損失を測定することからなる。クーリングファンを取り外した場合の機械損失を基準値として、クーリングファンを装着した残りの二つの条件で測定した損失値と基準値との差をクーリングファンの駆動損失と定義した。測定結果を Fig. 11 に示す。

黒線は、強制空冷時のクーリングファンの駆動損失を、赤線は、冷却風を遮断した場合のクーリングファンの駆動損失を示す。クーリングファンはエンジン速度 9500 rpm において、450 W の駆動損失を発生させている。

また、冷却風を遮断する方法ではクーリングファンはエンジン速度 9500 rpm において、200 W の駆動損失を発生させている。理由はクランクケースとファンカバーの隙間から空気を吸うこと、ファンカバー内が負圧になった時に冷却風の出口から空気を吸ってしまうことが原因である。

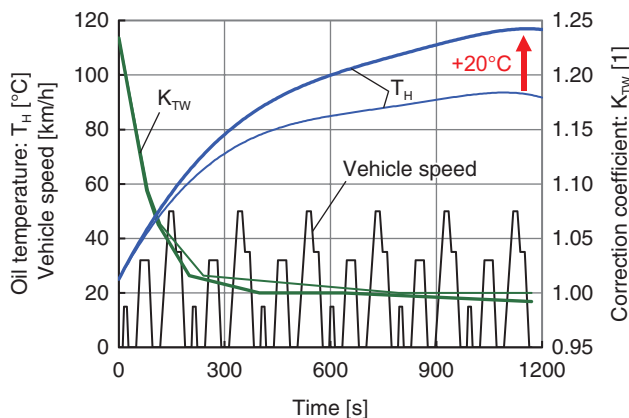


Fig. 10 Changes in T_H and K_{TW} when driving in UDC

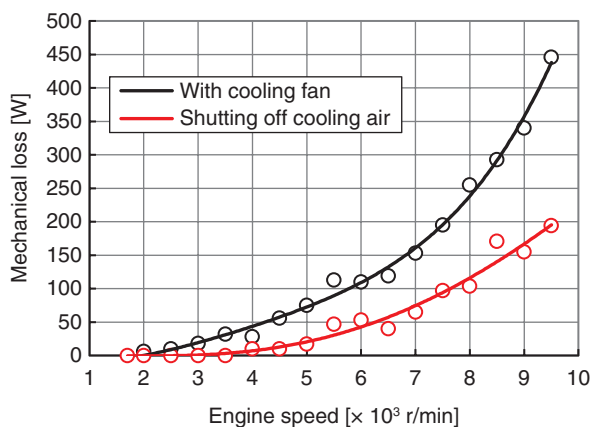


Fig. 11 Cooling fan driving loss at various engine speeds

Table 3 Calculations of fuel economy in UDC

Conditions	Fuel consumption (mL)	Fuel economy (km/L)	Improvement (km/L)
With cooling fan	103.20	57.80	-
Without cooling fan	99.28	60.10	2.30
Shutting off cooling air	99.75	59.80	2.00

しかしながら、強制冷却をおこなう場合に比べて、クーリングファンの駆動損失は半分以下に低減されている。

4.4. 損失低減による燃費改善効果の予測

前章までに算出された損失が低減された場合、どの程度の燃費改善効果があるかを予測していく。予測方法は、エンジン単体テストで得られたデータ（エンジン回転数、出力、燃料消費量）を用いて、UDC を走行した場合の燃料消費量を積算した。油温の上昇に起因するエンジン機械損失低減で改善される燃料消費量は 1.07 mL であった。前述したように、噴射量補正係数がもたらす効果が 0.92 mL であった。クーリングファンを取り外した場合、低減される燃料消費量 (fuel consumption) は 1.93 mL であった。また、冷却風を遮断した場合は 1.46 mL であった。

この結果を基にして、UDC を走行した場合の燃費改善効果を試算した。試算結果を Table 3 に示す。

まず、基準となるクーリングファン付きの場合、燃料消費量は 103.20 mL で、燃費 (fuel economy) は 57.8 km/L であった。

次に、クーリングファンを取り外した場合の燃料消費量は 99.28 mL で、燃費は 60.1 km/L で、4.0% の向上となった。冷却風を遮断した場合の燃料消費量は 99.75 mL で、燃費は 59.8 km/L で、3.5% の向上となった。Fig. 12 にクーリングファンを取り外した場合と冷却風を遮断した場合の燃費改善効果の内訳を示す。

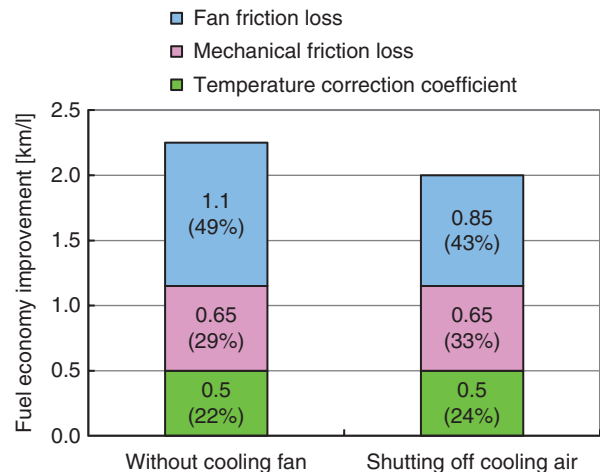


Fig. 12 Detailed fuel economy improvements

以上、今回の基礎実験の結果から、低負荷走行時には強制冷却は必ずしも必要とせず、全負荷走行時には必要となることがわかった。また、UDC 走行時の強制冷却によるエネルギー損失量も試算できた。

5. 可変冷却システムの検討

前章の結果を基に、我々は、必要時のみに強制冷却をおこなうことができる可変システムの検討をおこなった。このシステムにより、強制冷却不要時の燃費向上が期待できる。

5.1. 可変方式の選択

断続機構を用いてクーリングファンをクランクシャフトから切り離す方式と、可動式の羽根板を用いて冷却風を遮断する方式の検討をおこなった。クーリングファン駆動の断続については、モータ、電磁クラッチ、流体クラッチの適用が考えられる。いずれも、水冷エンジンのラジエータ冷却ファンの駆動の断続に用いられている。しかしながら、スクーター用のエンジンへこれらの機構を適用する場合、エンジン構造の変更が必要となるうえに、車体幅方向の寸法増加により走行中のリーン角に制約を受ける。一方、冷却風を遮断する方式は、基本的に、吸入口を備えたエンジンのサイドカバー部品の構造変更により適用が可能である。車体幅方向の寸法増加は生じるものの、リーン角に制約を受けない。このことから、本研究では、車両への搭載性の観点から冷却風遮断方式を選択した。

冷却風を遮断する方式においては、羽根板を可動させる動力源としてサーマルアクチュエータ、モータ、ソレノイドの適用が考えられる。サーマルアクチュエータは温度感応式であり電力を必要としない。また、比較的コンパクトであり車両レイアウトにおいても優位性がある。他の動力源と比較して最も安価である。モータとソレノイドは ON/OFF タイプの比較的安価なものが使用できる。しかしながら、制御用の CPU が必要になるためサーマルアクチュエータよりも高価になってしまい、廉価であることが求められる小型スクーターには適当でない。以上の検討結果より、可変冷却システムとしてサーマルアクチュエータを使用した可動式ルーバー機構を選択することとした。

5.2. 可変冷却システム概要

Fig. 13 にサーマルアクチュエータの構造を示す。

サーマルアクチュエータは感温部がエンジンオイルに浸った状態で使用される。オイルパン油温の上昇に伴いサーマルアクチュエータの感温部内に封入されたワックス(紫色部)が膨張しシャフト(青色)を押し出す構造になっている。

Fig. 14 に可変冷却システムの構造を示す。

サーマルアクチュエータ(黄色)はクランクケース側面に取り付けられる。押し出されたシャフトがリンク機構(ピンク色棒部)を介して冷却風の吸入口上に配置された羽根板を作動させる。各羽根板の作動角を同調させるためにロストモーションスプリングが設置されている。リンク機構部の材質は PP-GF20 である。

本システムにおいて、燃費改善効果を担保するために最も重要なのは、全閉時に羽根板の間に隙間がなく、密閉が保たれることである。しかしながら、樹脂製の羽根板ならびにその駆動部品の成形寸法誤差の集積により、密閉性が保てなくなる可能性がある。そこで、羽根板の間の隙間を変化させた時のクーリングファンの駆動損失を調べた(Fig. 15)。

隙間なしと隙間 0.5 mm では駆動損失に差は見られなかった。しかしながら、1 mm の隙間が生じるとエンジン回転速度 9500 rpm で約 23 W であった。また、前述の方法で燃費に与える影響を試算したところ、隙間 0.5 mm では影響はなく、隙間 1 mm では 0.02 km/L 低下する結果であった。この結果から全閉位置での羽根板間の隙間を 0.5 mm 以下にする必要があることが確認された。

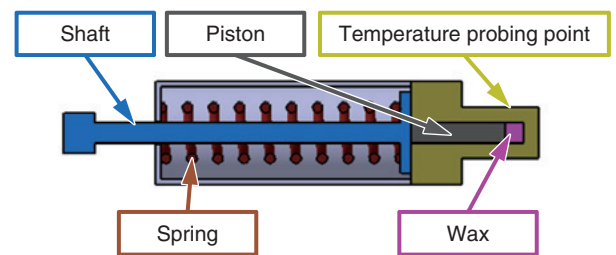


Fig. 13 Construction of thermal actuator

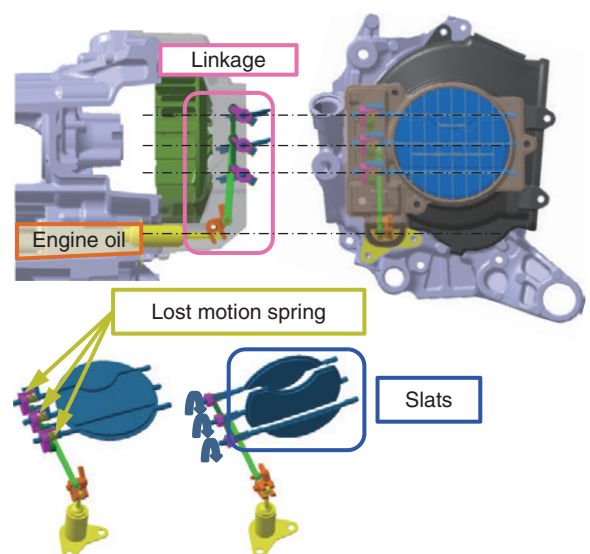


Fig. 14 Construction of variable cooling system

この課題を解決するために、ロストモーションスプリングを各々の羽根板に装着することで、それらが独立して全閉状態となる構造とした。これにより、アジャスト機構なしに3枚の羽根板の同調をとることが可能となった。

Fig. 16 に油温と羽根板作動角と送風量の関係を示す。赤線が羽根板作動角、青線が送風量、緑線が目標風量を示す。サーマルアクチュエータの作動開始温度は 97°C である。全負荷走行時の油温上昇速度に対するサーマルアクチュエータの応答遅れを許容できる設定とした。オイルパン内油温 110°C で羽根板作動角が 73° になり、目標風量を確保できる設定とした。

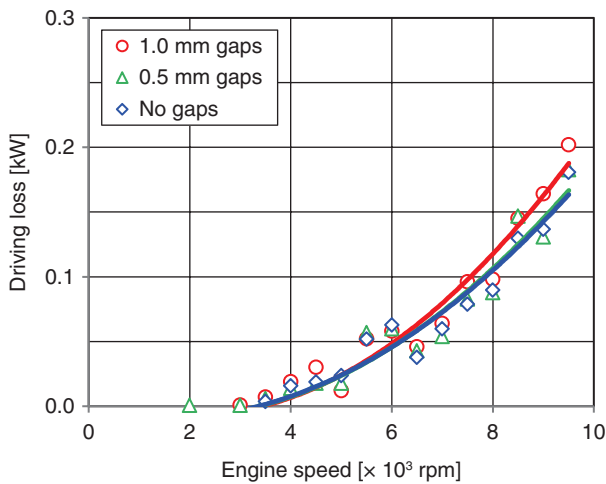


Fig. 15 Cooling fan driving loss at various slat clearances

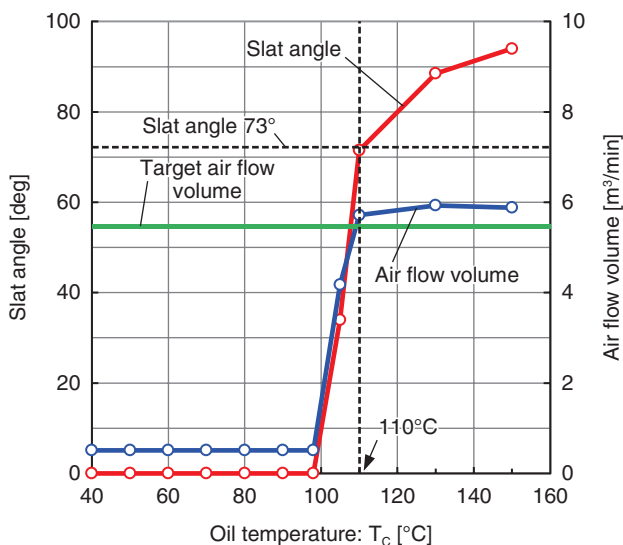


Fig. 16 Relationship among T_c , slat angles, and generated air flow volume at 7500 rpm

6. 可変冷却システムによる燃費改善効果の検証

可変冷却システムを搭載した車両で UDC を走行し、オイルパン内油温と燃費の計測をおこなった。Fig. 17 にオイルパン内油温の推移を示す。黒線は、ベース車両、赤線が可変冷却システム搭載車である。可変冷却システム搭載車の UDC 走行終了後の到達油温は 79°C で、Fig. 4 に示した結果と同じであった。このことから、羽根板機構が冷却風を遮断する機能がねらい通りであることが確認された。

また、本研究の目的とする燃費の改善効果は、 2.1 km/L (3.3%) であった。これは前述の試算結果とほぼ一致する。

さらに、可変冷却システムの燃費改善効果を WMTC (class 1) で確認した。燃費改善効果は 2.1 km/L (3.4%) であり、UDC と同様の効果が確認できた。Fig. 18 に WMTC 走行中の油温の推移を示す。

この可変冷却システムにおいて、UDC や WMTC モード走行中は、羽根板は閉じたままの状態にある。これはエンジン油温がサーマルアクチュエータの作動開始温度に達しないためである。そこで、アクチュエータが作動するまで市街

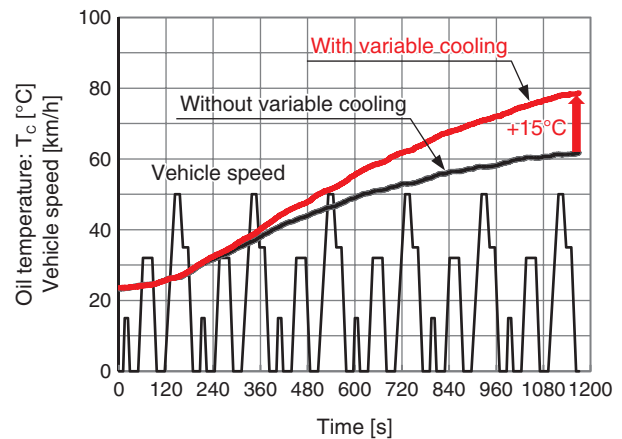


Fig. 17 Change in T_c with variable cooling system when driving in UDC

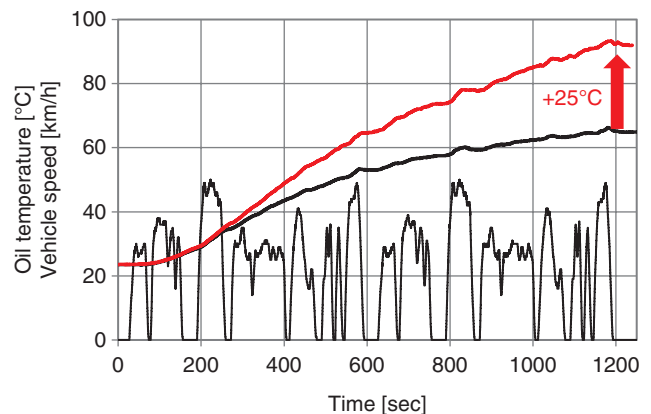


Fig. 18 Change in T_c with variable cooling system when driving in WMTC (class 1)

Table 4 Outline of in-house urban driving cycle

Distance [km/cycle]	1.0
Vehicle speed [km/h]	0-40
Engine speed [r/min]	1700-5500
Throttle opening [%]	0-50

地を想定した走行を続け、1サイクルごとの燃費を計測した。走行モードはASEANやインドの市街地を想定した社内走行モード（以下、IUDC）である。Table 4にIUDCの概要を示す。測定時の実験室温度は $25 \pm 5^\circ\text{C}$ に設定した。

冷機状態でIUDCを30サイクル（30 km）走行し、油温の時間変化と燃費をサイクルごとに計測した。Fig. 19に油温の推移を示す。Fig. 20に燃費値の推移を示す。

羽根板は9サイクル走った後で開き始め、油温は低下し始めた。しかしながら、可変冷却システムの有無によって30サイクル走り終わった後でも油温に 23°C の違いがあった。これによって可変冷却システムが搭載された車の燃費効果が保たれた。30サイクル走行の平均燃費は可変冷却システムの有無で58.6 km/Lと56.7 km/Lで優位性があった。燃費改善効果は1.9 km/L (3.4%)であった。この結果から、可変冷却システムは低負荷低速走行の市街地においても大きな効果があると言える。

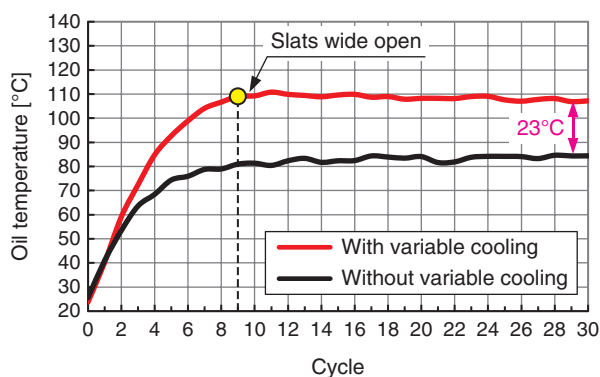


Fig. 19 Changes in oil temperature in oil pan in IUDC

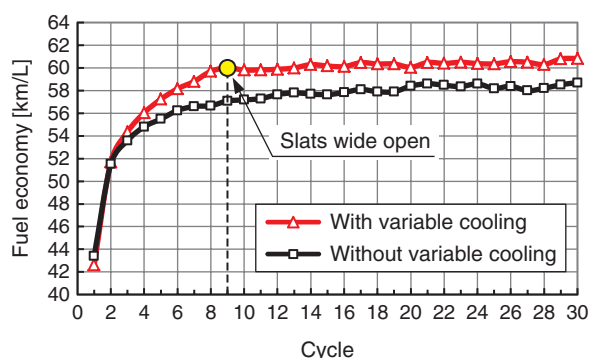


Fig. 20 Changes in fuel economy in IUDC

7. 結論

本研究では、スクータ用強制空冷エンジンのクーリングファンがもたらす損失を実験と試算により定量的に把握した。この結果を基に、燃費の改善を目的として、エンジンオイルの温度により冷却風量を制御する可変冷却システムを考案した。実車での検証の結果、ねらい通りの、冷却風の遮断機能と、UDCにおける2.1 km/L (3.3%)並びに、WMTC(class 1)における2.1 km/L (3.4%)の燃費改善が得られた。

参考文献

- (1) 実開昭 60-066824
- (2) 特許番号, 第 1760870 号 (1992)
- (3) 特表昭 62-501864

著者



小林 友和



高姓 一行



飯島 智司

マウントラバーによる船外機 BF4/5/6 の振動低減技術

Vibration Reduction Technology with Mount Rubber for Outboard Motors BF4/5/6

小 橋 保 方*
Yasukata KOHASHI

岡 田 毅*
Takeshi OKADA

原 田 義 弘*
Yoshihiro HARADA

要 旨

船外機 BF5 のモデルチェンジにあわせて、バランスレスエンジンやフレームの基本骨格を変えずに、エンジン高回転化と高圧縮比で出力を 20% 上げたモデルを追加設定した。この開発では、商品力向上として、ハンドル振動低減とアイドリング時に発生するヨーイング低減をおこなった。振動低減においては船外機の推力伝達と振動吸収を担う重要部品であり仕様変更可能なマウントラバーに着目し検討した。マウントラバー特性変更の結果、高出力化にも関わらず、ハンドル振動は最大回転域で同等レベルを維持し、同時にアイドリング時のヨーイングを半減させた。

ABSTRACT

When the BF5 outboard motor underwent a model change recently, a model was added with 20% more output, with faster engine speed and a higher compression ratio, even as it kept the same balancerless engine and the same basic frame structure. The development discussed in this paper enhanced the customer appeal of the outboard motor by reducing handle vibration and yawing while idling. The mount rubber is a critical component for reducing vibration, as it transmits the thrust of the outboard motor and absorbs vibration. The specs of the mount rubber can also be changed. As such, the mount rubber became the focus of this study. Changing the characteristics of the mount rubber resulted in maintaining about the same level of handle vibration at the greatest speed, with only half as much yawing while idling, even though the new outboard motor had greater output.

1. ま え が き

船外機 BF5 (5 馬力) を 30 年ぶりにモデルチェンジした。このモデルチェンジでは、ラインナップ拡充をおこない、5 馬力単一モデルから、4/5/6 の 3 種類の馬力を持つシリーズ化をおこなった。これに伴い、最大馬力モデルとなる BF6 は、127 cm³ の単気筒エンジンおよびフレームの基本骨格を変えず、従来モデルに対して 20% の出力向上をおこなった。エンジンの基本諸元を Table 1 に示す。

このクラスの船外機の主要な使われ方としては、小型の釣り船、大型船に付属する移動用小型船や大型船の補機があげられる。船外機は船体後端に取り付けられ、操舵とエンジン回転調節をおこなうためのティラーハンドルを握っ

てユーザは操船する。よって商品性を向上させるにはハンドル振動は小さい方がよい。従来モデルである BF5 では、他社を含む同出力帯の商品で唯一マウントラバーを有し、Fig. 1 に示すようにクラストップの低ハンドル振動であった。一方でこのマウントラバーの影響により、アイドリング時に船外機の見た目の揺動 (以下ヨーイングと記す) が大きかった。

このモデルチェンジでは、従来モデルの特徴であるマウントラバーの形状を新設計することによってマウント特性を変更し、ハンドル振動とヨーイングの低減を図った。

本稿では、この振動低減手法について紹介するとともに、マウントラバーのもう一つの機能である推力を受けた船外機を保持する機能を両立させた手法について述べる。

*パワープロダクツ R&D センター

Table 1 Engine specifications

	BF5 (previous)	BF6 (new)	BF4/5 (new)
Engine type	Single cylinder, 4-stroke		
Displacement (cm ³)	127		
Bore × Stroke (mm)	60 × 45		
Compression ratio	8.7:1	9.8:1	
Mass of reciprocating parts (g)	209.5	215.8	
Inertia force – 1st order (N)	646	958	805
Full throttle speed (r/min)	5000	6000	5500

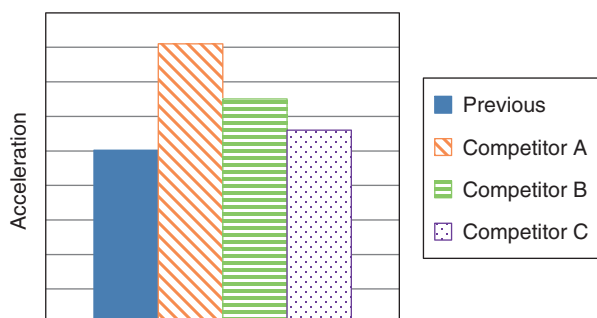


Fig. 1 Tiller handle grip vibration

2. 開発のねらいと目標

全体の骨格を Fig. 2 に示す。メインフレームは、縦置き単気筒バルンサレスエンジンとプロペラを動かすギヤケース部を連結する。マウントラバーはメインフレームと Fig. 2 の青色で示した懸架系と呼ばれる船体結合部品の間に与圧なく配置し、メインフレームを支持する。また、ティラーハンドルは懸架系に締結される。

本研究では、5点で構成されるマウントラバー特性の適正化により、ハンドル振動の低減、ヨーイングの低減および、マウントラバーの耐久性の確保を図った。

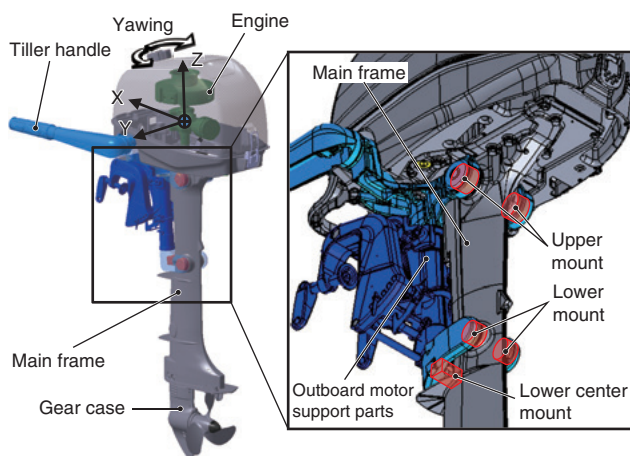


Fig. 2 Frame structure and mount rubber

最大馬力である6馬力モデルを設定するにあたり、従来モデルに対して、圧縮比の変更と、エンジンの上限回転数の変更をおこなった (Table 1)。圧縮比変更に伴う筒内圧上昇への対応として、主運動系部品の肉厚を上げるなどの変更をした。これに伴い、主運動系往復部質量が増加した。また、上限回転数は、従来モデルに対して1000 r/min 上げた。この結果、慣性起振力は従来モデルに対して、約1.5倍となった。その分振動が増加するためハンドル振動の低減が必須である。

次に、先述のように、マウントラバーを採用していることで、アイドル回転においてクランク軸の駆動トルク変動によって Fig. 2 に示すヨーイングが大きくなるという性質があった。このヨーイングについては、商品性の観点からより小さい方が好まれる。実機での検証の結果、従来モデルに対しヨーイングの振幅を半減させることで商品性が向上することを確認できたので、ヨーイングについても低減を図ることを開発のねらいとした。

さらに、出力向上によりプロペラが発生する推力が増加し、最大推力が560 N から700 N へ1.25倍となる。この推力は前述のマウントラバーを介して船体へと伝わり船の推進力となる。つまり、マウントラバーにかかる荷重が増加し変位量が増えることを意味する。そのため、マウントラバーの耐久性の低下と、マウントラバーで支持されるフレームの構造部材の接触についても検証する必要がある。

以上のように、起振力増加、アイドル回転時のヨーイング、マウントラバーの耐久性に対して、新6馬力モデルの開発目標として以下を設定した。

- ・ 6000 r/minでのハンドル振動は、従来モデル 5000 r/minのそれと同等レベルを維持する。
- ・ アイドル時のヨーイングは従来モデル比で振幅を半分とする。
- ・ マウント耐久性は、従来モデルに対し1.25倍の入力荷重でも破損や変形による機能損失なし。

3. マウントラバーの検討

本開発において、従来モデルの基本骨格を踏襲するため、マウントラバーの大きさや取付位置は現行同様とし、マウントラバーの形状変更を主として検討をおこなう。

マウントラバーの剛性変化とそれによって得られる効果を Fig. 3 に整理する。振動に対しては低剛性の方が優れ、最大変位量や耐久性の面からは高剛性の方が優れる。新モデルではその両方を実現する必要がある。弊社の船外機では過去に BF9.9 において、マウントラバー形状を工夫することでばね定数の非線形性を高め低振動化を成し遂げた⁽¹⁾。本開発もマウントラバーのばね定数を非線形化して振動と耐久性の両立を図る。低荷重では低剛性で、高荷重で高剛性となる非線形ばね特性のイメージを Fig. 4 に示

す。この非線形ばね特性を採用したことで得られる効果予測について、CAE を用いた検討結果と最終的に決定したマウントラバー形状について本稿で紹介する。

3.1. マウントラバーへの要求値

はじめに高回転域におけるハンドル振動要因の解析をおこなった。ティラーハンドルとメインフレームアッパマウント近傍の振動計測結果を Fig. 5 に示す。5000 r/min から 6000 r/min にかけて、メインフレームの左右の加速度が急激に上昇するのに伴い、ティラーハンドルの前後方向の振動が上昇する。つまり、メインフレームの左右振動により高回転時のハンドル振動が増大している。従ってハンドル振動を低減させるには、左右方向の振動を減衰させる必要がある。

そこでマウントラバーのばね定数とハンドル振動の関係を CAE 解析を用いて検討した⁽²⁾。CAE 解析のモデルの概念図を Fig. 6 に示す。船外機フレームおよびティラーハンドルを 1D 要素でモデル化し、アッパとローワーのマウントラバーをばね要素とした。エンジンのクランク軸に発生する各種起振力を与えてティラーハンドルの応答を評価した。

このモデルを用いて左右方向の振動を低減させるために、従来モデルのマウントラバーに対し左右方向のばね定数を小さくして検討をおこなった。CAE 解析結果を Fig. 7 に示す。左右方向のばね定数を従来モデルに対し 50% に下げると 6000 r/min でも従来モデルの 5000 r/min のハンドル振

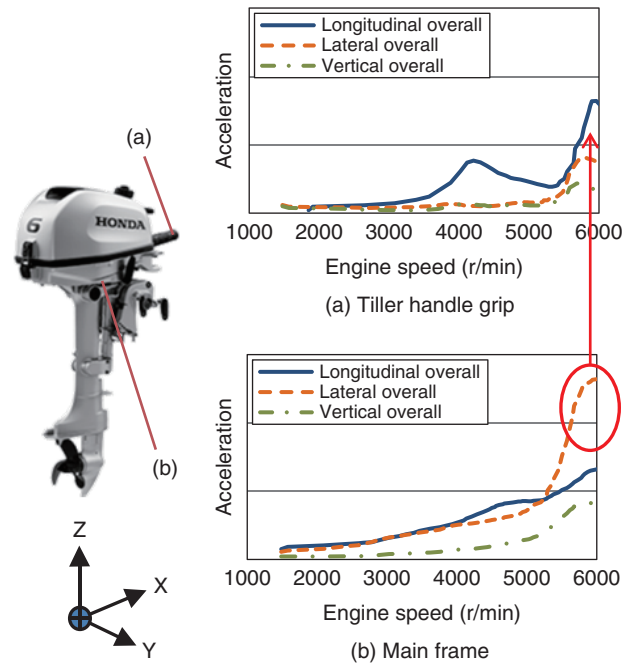


Fig. 5 Tiller handle and main frame vibrations

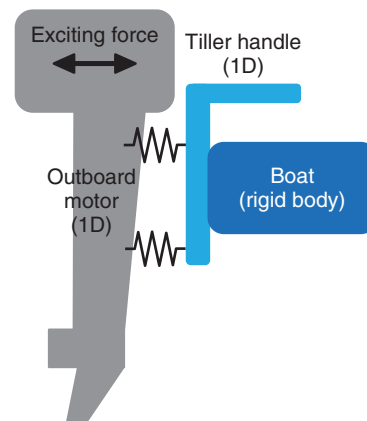


Fig. 6 CAE model

	Increase spring rate (increase resonance)	Decrease spring rate (decrease resonance)
Transfer function	Response Common use revolution Frequency	Response Common use revolution Frequency
Yawing	Good	Good
Tiller handle vibration	Poor	Good
Maximum displacement	Good	Poor
Durability	Good	Poor

Fig. 3 Effect of rubber from spring rate

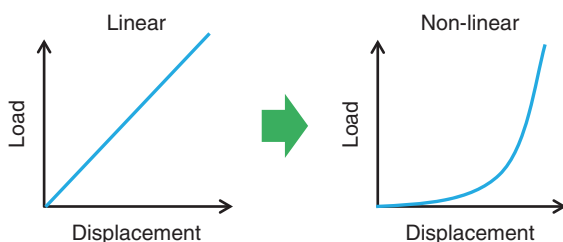


Fig. 4 Spring rate of mount rubber

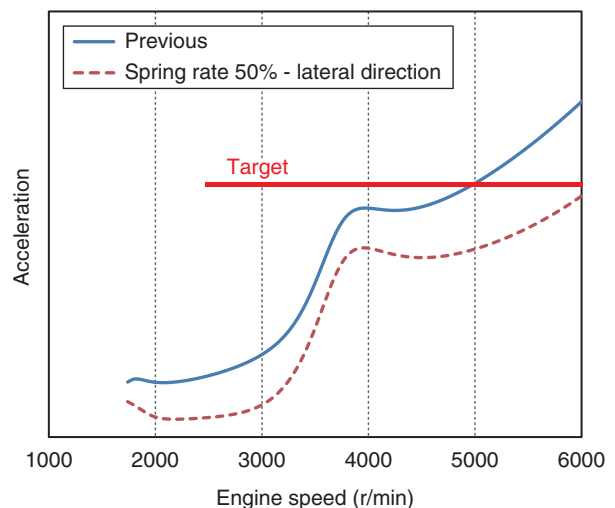


Fig. 7 Tiller handle vibration, by CAE

動より小さい結果となり目標値を満足する見通しを得た。

次にアイドリング時のヨーイングの検討をおこなった。目標は従来モデルに対し半分である。前述の CAE モデルを用いてマウントラバーのばね定数変更の効果を確認した。その結果を Fig. 8 に示す。従来モデルはマウントラバーの共振によってアイドリング回転域でヨーイングが大きくなっている。まず、ハンドル振動の検討結果から前後左右方向のばね定数を従来モデルに対し 50% としたところ、ヨーイングは目標値に対し 1500 r/min を下回る範囲で未達だった。そこでばね定数をさらに小さくしたところ 33% まで低減することで、ヨーイングが全アイドリング回転域でも半分となり目標達成の見通しを得た。

従ってハンドル振動とヨーイングの目標値達成のため、ばね定数は従来モデルに対し 33% 以下を要求値とする。

次に許容最大変位の検討について述べる。プロペラからの推力によりマウントラバーが変形する。その際 Fig. 9 に示すメインフレームと懸架系部品のクリアランスが小さい位置で接触が発生しないようにマウントラバーの変形量を制限する必要がある。各部位が接触しないようにするためのクリアランスの値からマウントラバーに許される最大変位量を決定した。その検討結果を Fig. 10 に示す。マウントラバーのばね定数を下げるため可能な限り変位量を大きく

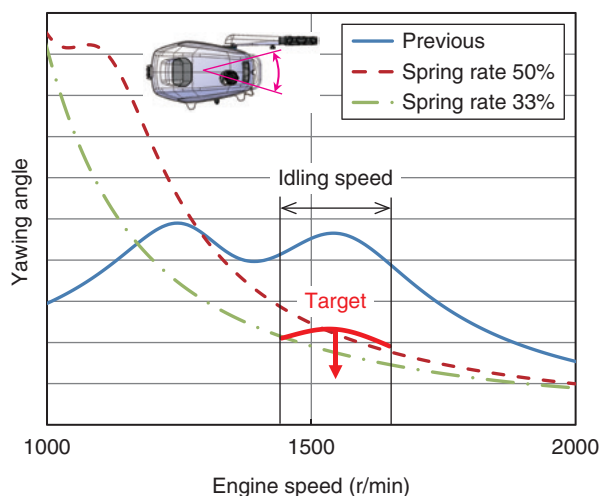


Fig. 8 Yawing while idling, by CAE

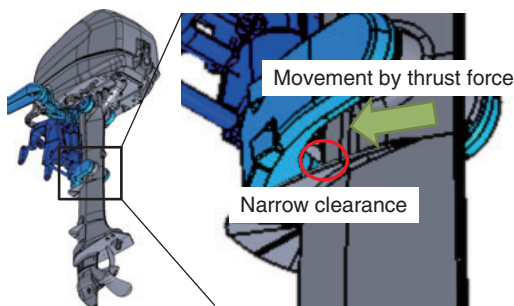


Fig. 9 Clearance between main frame and support parts

Table 2 Design targets for new mount rubber

Items	Direction	Upper	Lower
Spring rate at low load (comparison to previous)	Longitudinal	33% or under	
	Lateral		
Maximum displacement (mm)	Longitudinal	11.5 or under	4.5 or under
	Lateral	3.5 or under	2.0 or under
Strain	Longitudinal	Previous value or under	
	Lateral		

したいが、前後方向についてはアッパマウント、ロワーマウント共に従来モデルの 1.5 倍以内に抑える必要があることがわかった。よって前後方向の変位量を大幅に増加させることはできない。

最後にマウントの耐久性を左右する最大ひずみ量は CAE 解析にて確認をおこない、従来モデルのマウントの最大ひずみ値以内を要求値とする。

ここまでのマウントラバーの設計指針となる要求性能を Table 2 にまとめる。

3.2. 新形状マウントラバー

前述の要求性能を前提条件として検討した従来モデルと新モデルのマウントラバー形状を Fig. 11 に示す。

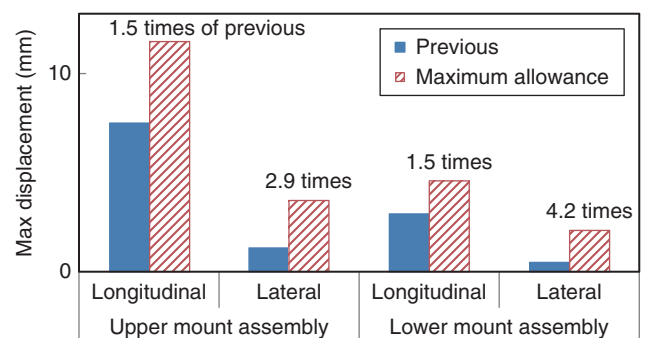


Fig. 10 Maximum displacement allowance to keep clearance

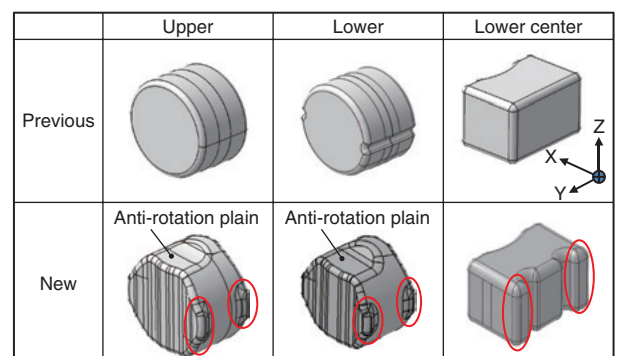


Fig. 11 Mount rubber shape

前後および左右方向に、赤丸で示す突起を設けることで低荷重域での剛性を大幅に低減した。また、アップおよびローのマウントラバーについては前後および上下方向に方向性を持つため円周方向に平面を設定し回転を規制した。

マウントラバーのばね特性を CAE にて確認した。アップマウントの前後方向ばね特性を Fig. 12 に、左右方向ばね特性を Fig. 13 に示す。低荷重域においては図中円弧で示したマウントラバーの突起部分が当たるように設定した。荷重が高くなるにつれて突起部分をつぶし、マウントラバー全体で荷重を受けるような構造としたことで、ねらい通りの非線形ばね特性を得た。また、許容最大変位は高出力化で増加した荷重においても要求値以下に収めた。

ローマウントのばね特性を Fig. 14, 15 に示す。アップマウントと同様に低荷重時に低剛性としながら、高荷重時の最大変位も要求値を満足させた。

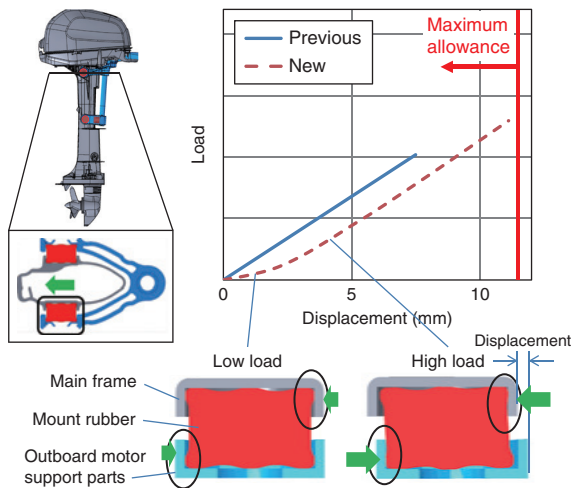


Fig. 12 Non-linear characteristic and deformation of new mount rubber (upper mount assembly, longitudinal)

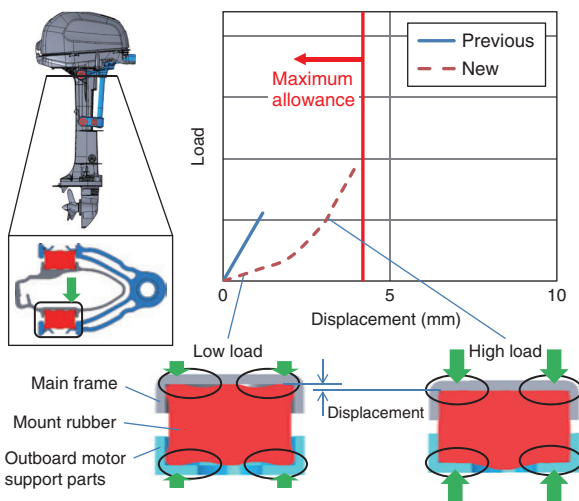


Fig. 13 Non-linear characteristic and deformation of new mount rubber (upper mount assembly, lateral)

また、耐久性を満足させるために、各荷重方向におけるマウントラバーのひずみ量を CAE 解析した。その結果を Fig. 16 に示す。新形状マウントラバーのひずみ量は最大変位が増えたにもかかわらず従来モデル以下に抑えた。

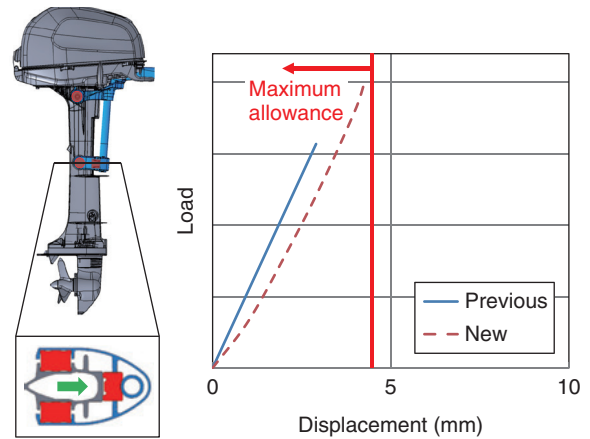


Fig. 14 Non-linear characteristic of new mount rubber (lower mount assembly, longitudinal)

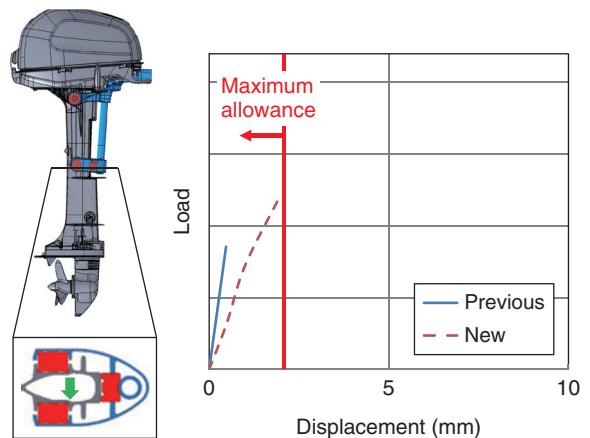


Fig. 15 Non-linear characteristic of new mount rubber (lower mount assembly, lateral)

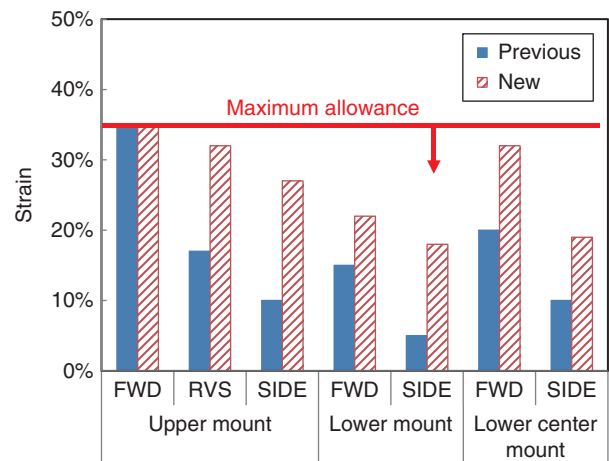


Fig. 16 Strain value, by CAE (each part and load direction)

4. テスト結果

Fig. 11 で示した新形状マウントラバーを組み込んで実機の振動テストをおこなった。

ハンドル振動のテスト結果を Fig. 17 に示す。新モデルの 6000 r/min の加速度は、目標に掲げた従来モデルの 5000 r/min と同等を実現した。また、低回転域から高回転域まで全域でティラーハンドル振動を大きく低減させた。同一回転数で比較すると加速度は最大 50% 低減した。

次に、アイドル回転時のヨーイングのテスト結果を Fig. 18 に示す。新モデルのヨーイングは、従来モデルに対し最大 75% 低減し目標を達成した。

最後に耐久性の確認結果を述べる。開発中の各種耐久テストや強度テストにてマウントラバーに破損やクラックの発生はなかった。マウントラバーに突起をつけ低剛性域を設定しても、最大ひずみ量を要求値内に収めることで耐久性を満足することを確認した。

以上の結果は、マウントラバーの特性を非線形化し低荷重では低剛性で、高荷重で高剛性となる非線形ばね特性による効果である。

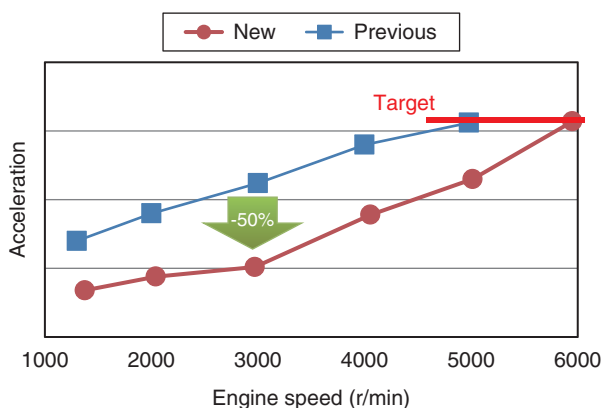


Fig. 17 Tiller handle vibration (experiment)

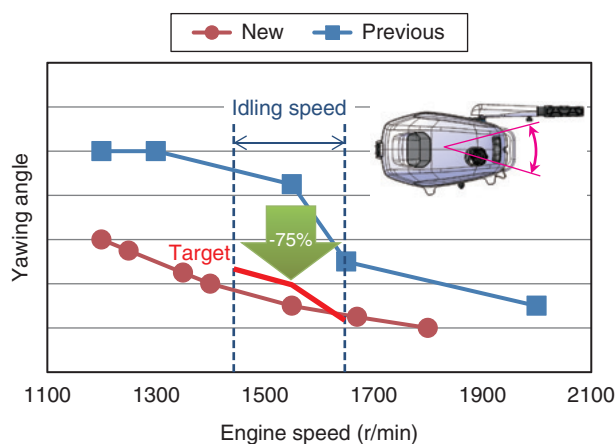


Fig. 18 Yawing (experiment)

5. まとめ

目標とする船外機の振動性能を満足させるために、テストと CAE によりマウントラバー単体の要求性能を明確化した。その性能を具現化するために、振動に対する低剛性と荷重に対する高剛性、相反する特性を併せ持つ非線形性の高いマウントラバー形状を新設計した。

その結果、高出力化、高回転化にも関わらず、目標とする振動性能を達成した。具体的にはハンドル振動は同一回転数で最大 50% 低減させ、最大回転数において従来モデルと同等とした。また、アイドリング時のヨーイングは従来モデルに対して振幅を最大 75% 低減させ、商品性の向上に大きく貢献した。

参考文献

- (1) Shiomi, K., Okada, T., Ohkawa, M., Ikeno, T.: Reducing vibration of a 2-cylinder outboard motor by the pendulum motion mount method, SETC Technical Paper 2001-01-1870
- (2) Okada, T., Shiomi, K., Ikeno, T., Tomatsu, T., Okuma, M.: Engine Mount Characteristics Identification of Large Outboard Motor Using Experimental Modal Analysis, SETC Technical Paper 2006-32-0083

■ 著 者 ■



小橋 保方



岡田 毅



原田 義弘

熱可塑性 GFRP を適用したリヤバンパビームの開発

Development of Rear Bumper Beam Using Thermoplastic Glass Fiber-reinforced Plastic

彌 武 朋 也*

Tomoya YABU

安 原 重 人*

Shigeto YASUHARA

要 旨

リヤバンパビームの軽量化に向けて、高い衝撃強度を有する熱可塑性ガラス繊維強化樹脂を用いた部品設計技術を構築した。耐衝撃性に有利な連続繊維と複雑形状の成形に有利な不連続繊維の両方を適用することで、リヤバンパビームに最適な対衝撃設計をおこなった。また部品の軽量化とコスト低減のため、繊維形態の異なる3種の材料を同一型内で一度に成形可能なショートプロセス成形技術を開発した。この成形工程においてリブ形状が製品の性能に及ぼす影響を明らかにし、その影響を低減する設計技術も同時に構築した。

この技術を量産車の骨格部品であるリヤバンパビームに適用することで従来モデルに対して46%の軽量化と締結部品を除いて1/9となる部品点数削減が可能となった。

ABSTRACT

Parts design technology that uses thermoplastic glass fiber-reinforced plastic with high-impact strength was developed to reduce the rear bumper beam weight. Both continuous fiber that provides good impact resistance and chopped fiber that is advantageous for molding complex shapes were applied to create the ideal impact-resistant design for the rear bumper beam. Short process molding technology was also developed that can simultaneously mold three types of materials with different fiber formats in the same mold in order to reduce parts weight and cost. In addition, the influence of the rib shape on product performance in this molding process was clarified, and design technology that reduces that influence was concurrently developed.

The developed technology was applied to the rear bumper beam that is part of the frame of a mass-production vehicle, and enabled a reduction of the weight by 46% and the number of parts, except for fastening parts, to 1/9 that of the previous model.

1. まえがき

地球温暖化対策のための車両走行時におけるCO₂排出量の規制が世界的に厳しくなっており、パワートレインの燃費改善だけではなく、車両の走行エネルギー全体の低減が急務である。その手法の一つとして挙げられるのは車体軽量化である。

特に車両の前後に搭載されるバンパビームは曲げやねじり変形によって衝撃吸収をおこなうビームと、軸圧潰によって衝撃吸収をおこなうクラッシュボックスで構成される重量の大きい部品である。また車両前後に配置されるため、燃費性能のみならず操安性能への影響も大きい。軽量化と低コストの両立のために自動車メーカ各社共に研究開発がおこなわれているが⁽¹⁾、鋼板(SP)やアルミニウム(AL)などの金属材料の使用を前提とした軽量化には限界がある。

軽量化材料として繊維強化樹脂(FRP)が適用される例

*四輪 R&D センター

もあるが生産性とコストの観点で適用される車種が限定されてきた。近年、熱可塑性樹脂を基材とする熱可塑性FRPは従来の熱硬化性に比べて生産性とリサイクル性に優れており、近年研究が盛んにおこなわれている⁽²⁾。

熱可塑性FRPは材料費に関してSPやALなどの金属材料や繊維強化の射出成形用ペレットよりも高い。また圧縮成形においては連続繊維強化材ではSPのプレス材と同程度の単純な形状しか成形できず、複数の部品で組み上げる必要がある。さらに熱可塑性FRPを成形する成形システムの投資が高くなるほか、SPと同じ部品構成では成形に必要な金型数が多くなる。それがコスト増加の要因となる。

そこで我々はバンパビームの要求性能に対してコストの観点から基材および強化繊維の組み合わせを検討することで材料費を低減し、かつ部品点数が削減可能な大型一体構造とそれを可能とする成形技術を構築した。それら技術を適用して開発した熱可塑性FRPバンパビームを燃料電池自動車CLARITY FUEL CELLに適用した。

Table 1 Performances and costs of various materials

Material	Molding method	Specific stiffness	Specific tensile strength	Specific energy absorption	Cost
		GPa/ ρ	MPa/ ρ	J/g	
SP (JSC270C)	Press	26	35	6	1
AL (A6063 T7)	Extrusion	26	89	17	3
GF/PA6 continuous FRP	Press	12	224	45	5
CF/PA6 continuous FRP	Press	38	560	61	30

ρ : specific gravity PA: polyamide

2. 材料選定

Table 1 に各種材料での軸圧潰試験の結果を示す。この Table から SP や AL よりも FRP が比強度と衝撃エネルギー特性で優れていることがわかる。特に炭素繊維強化樹脂 (CFRP) は性能が高いが高コストである。それに比べてガラス繊維強化樹脂 (GFRP) はコスト対効果の観点で優れている。そのため、本開発では熱可塑性 GFRP を選定した。

3. 構造と製法

3. 1. 構造コンセプト

熱可塑性樹脂を基材とした FRP も強化繊維の形態によって材料性能が異なる。FRP の繊維形態として、高強度かつ高剛性を有する連続繊維材と、繊維を切断することで成形自由度が大きく複雑形状に適した不連続繊維材が挙げられる。Fig. 1 に熱可塑性 FRP の繊維長と各種性能 (弾性率, 静的強度, 衝撃強度) の関係を示す⁽³⁾。繊維長は静的強度と衝撃強度の関係性が強い。しかし繊維長が長いほど成形自由度が低くなるため、用途に応じて材料を選択する必要がある。

バンパビームの要求特性を考慮して、強度と剛性が求め

られる主部材に連続繊維強化材を適用した。また強度よりも剛性が求められるリブなどの複雑な形状を有する補強形状部位に、繊維長が 30 mm 以上で圧縮成形が可能な不連続繊維強化材を適用する。この構造コンセプトにより、部材の要求特性をみたすことができるものと考えた。部材の曲げ変形に対して断面が開くことで剛性および強度が低下するため、通常閉断面化して 2 部品構成にするところを 1 部品に集約できると考えた。そのイメージを Fig. 2 に示す

3. 2. 成形コンセプト

構造コンセプトを具現化する成形プロセスとして、本開発では連続繊維強化材と繊維長 30 mm から 50 mm の不連続繊維強化材を同時に圧縮成形することでリブを含む部品一体成形を実現した (Fig. 3)。その後、部品端部に対して射出成形をおこなうことで連続繊維強化材では成形できな

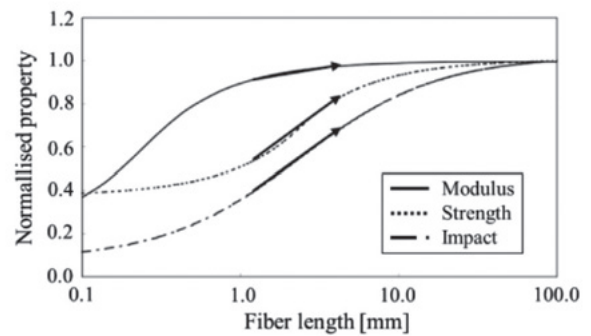


Fig. 1 Influence of fiber length on mechanical properties

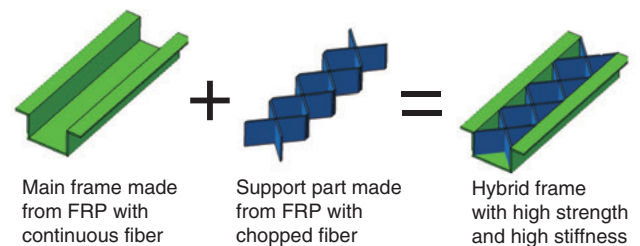


Fig. 2 Material composition concept

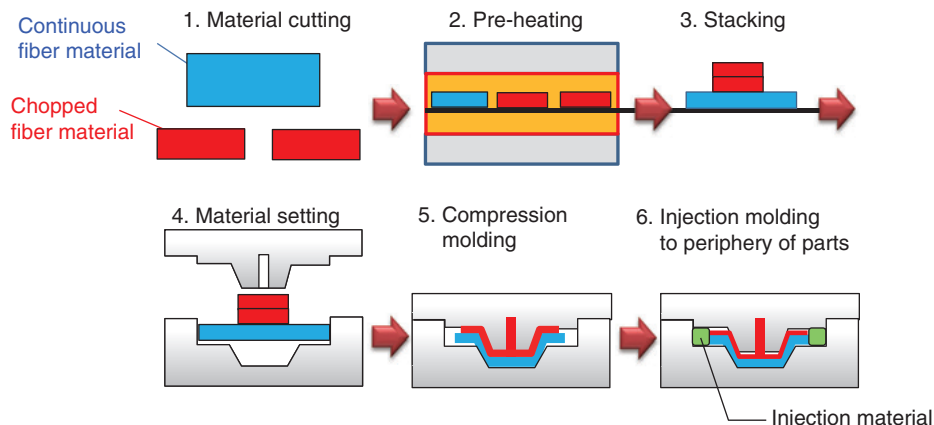


Fig. 3 Molding process

い材料の伸びを許容する形状を補完すると共に部品端部のバリ取りなどの後工程を廃止できる。

また従来の工法では3次元構造を成形する際はあらかじめプリフォームされた強化樹脂材を型内のリブ部に投入し再成形する必要があるが、この工法により、必要材料の投入後ワンショットでの成形、および一連の成形プロセス短縮や付随するプリフォーム用金型の削減によりコスト低減も実現できる。

3. 3. 要求性能と一体成形の課題

3. 3. 1. 不連続繊維材の圧縮成形後の物性変化

前述の成形コンセプトを達成するにあたっては不連続長繊維強化材の圧縮成形による流動について把握し、設計に反映する必要がある。そこで圧縮成形による不連続長繊維強化材の成形実験を実施した。Fig. 4 で示すようにリブの成形実験用の試験体を赤枠のように高さ違いで切り出して引張試験をおこなった。リブの先端と根元で比較すると引張試験片の密度はあまり差異が無いのにも関わらず、引張強度はリブ先端の方が小さい。試験体を加熱して樹脂を焼成し、残った繊維の様子を Fig. 5 に示す。リブ根元では長い繊維が残っているが、リブ先端では短くなった繊維が多くみられる。先ほどのリブの成形体を高さ違いで繊維長分布を調べた結果を Fig. 6 に示す。リブ根元から先端にかけて繊維長が 10 mm 以下の繊維が増加している。この試験結果から基材の性能を確保できるリブ高さを見出すことで形状の適正化を図ることができた。

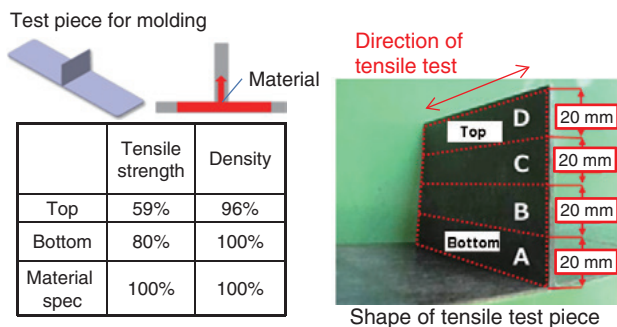


Fig. 4 Test of rib shape molded by compression molding

Table 2 Relationship between fillet R at bottom of rib and tensile strength

	No rib	Case 1	Case 2
t : thickness [mm]	-	2.5	2.5
θ : draft angle [°]	-	0.5	1.5
R : fillet R [mm]	-	0.5	2
Strength index	1.0	0.41	1.06

3. 3. 2. 連続繊維材と不連続繊維材の同時成形時の強度低下

本製法では連続繊維強化材と不連続繊維強化材を同時に圧縮成形するが、不連続繊維の樹脂を圧縮流動させる際に、樹脂の流れによって連続繊維が蛇行することがある。この現象は、連続繊維材の直線性が失われ、部品の強度と剛性の低下を引き起こす原因でもある。我々は不連続繊維強化材が圧縮成形によって流動する際に発生するせん断抵抗に着目して成形実験をおこなった。Fig. 7 に圧縮成形試験体と引張試験用試験片の切り出し方を示す。また Table

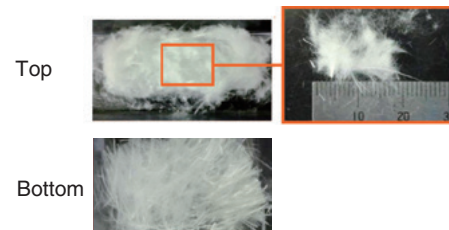


Fig. 5 Fiber distribution in rib after baking base resin

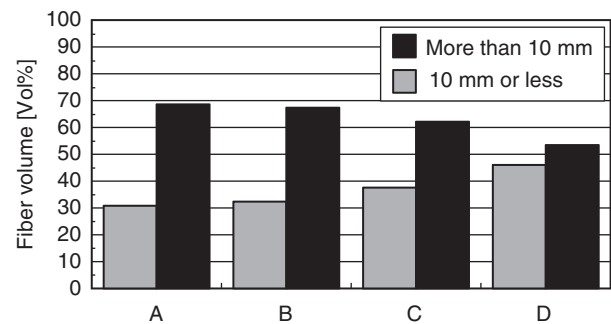


Fig. 6 Distribution of fiber contents in rib shape by compression molding

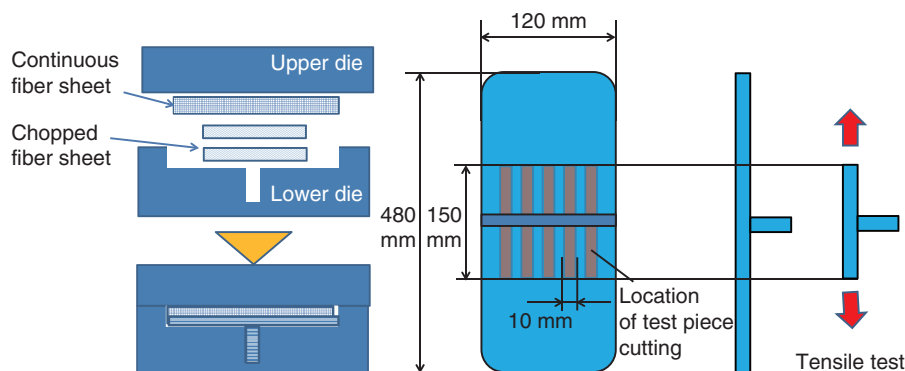


Fig. 7 Test piece molding method

2に2種類のリブ形状と引張強度の関係を示す。Fig. 8には2種類のリブ形状と破断の発生点を示す。Case 2のように抜き勾配とフィレットRを大きくすることで樹脂が流れやすくなり、連続繊維の蛇行を少なくすることができて、強度向上にも有効との結果を得た。このように製品形状の決定に際しては、流動と機械的特性双方から検討をおこない、バンパビームの形状設計に反映した。

4. リヤバンパビームへの適用

開発した技術を用いて構造設計をおこなった CRARITY FUEL CELL の熱可塑性 GFRP リヤバンパビームとその搭載位置を Fig. 9 に示し、構造と材料構成を Fig. 10 に示す。

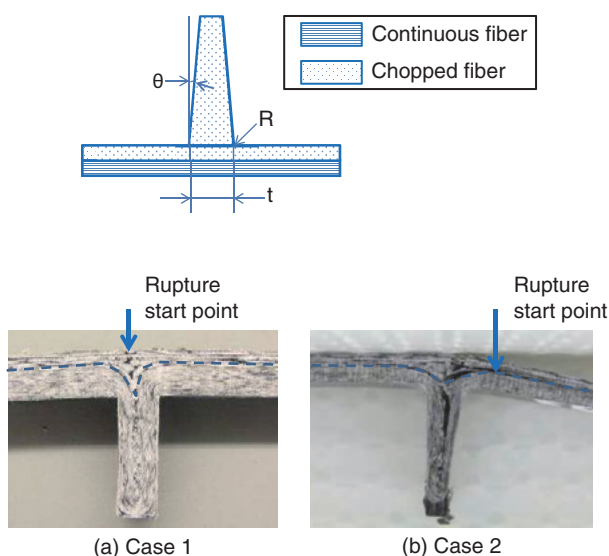


Fig. 8 Shape of rib test piece and location of rupture start in tensile test



Fig. 9 Thermoplastic GFRP rear bumper beam and location in CLARITY FUEL CELL

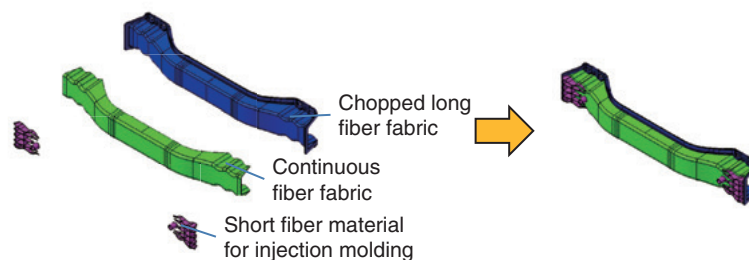


Fig. 10 Material composition of rear bumper beam

Fig. 11 に北米の軽衝突法規 FMVSS の Part 581 試験におけるバンパビームと試験治具の位置関係を示す。構造としては曲げモーメントが発生する部位に高強度の連続繊維強化樹脂と繊維長の長い不連続繊維強化樹脂のハイブリッド構造を配置した。車両外側より荷重を付加される試験モードについてはモーメントではなく部材の圧縮性能で対応できる。そこで、低強度のガラス繊維フィラー含有の射出成形材によって形状を補えば、連続繊維材の歩留りを改善できることからコスト低減に貢献できる。

部品一体化をおこなったことでバンパビームの基本断面は開断面のハット形状となった。開断面の梁で曲げモーメントを受けた場合、入力荷重によって断面が開くことにより、剛性および強度の低下が発生する。Fig. 10 に示すようにビーム背面側に不連続繊維材を配置し、リブを設定することでそれに対応している。Fig. 12 に静的荷重試験の試験状態、Fig. 13 に最大荷重発生時の破断部位を示す。3.3. 節でのリブの検討結果から形状を最適化したことで、リブ根元の強度低下が要因となる最終破断が起きていないことが確認できた。

Fig. 14 に実車における Part 581 試験を示す。Fig. 15 および Fig. 16 に CAE 結果と試験結果を示す。グラフが示す通り、目標の変形量以下に必要な衝突エネルギー吸収量を

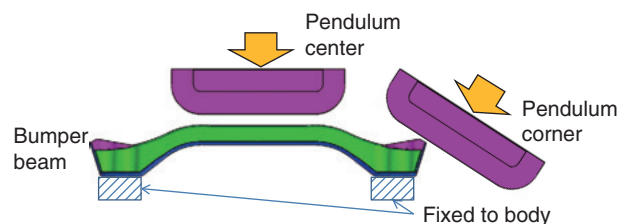


Fig. 11 Position of bumper beam and Part 581 pendulum test

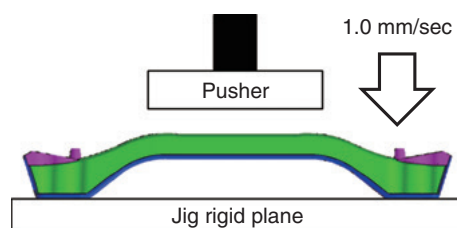


Fig. 12 Test condition of static load test

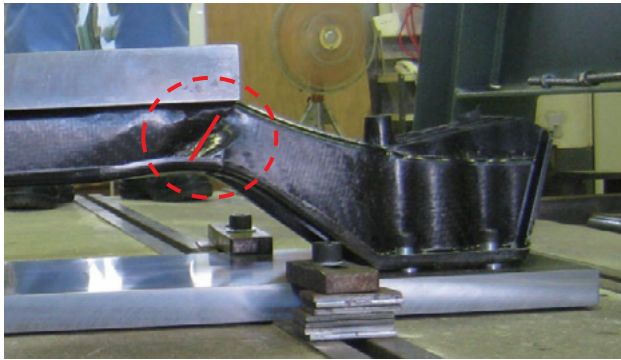


Fig. 13 Location of rupture at the peak load

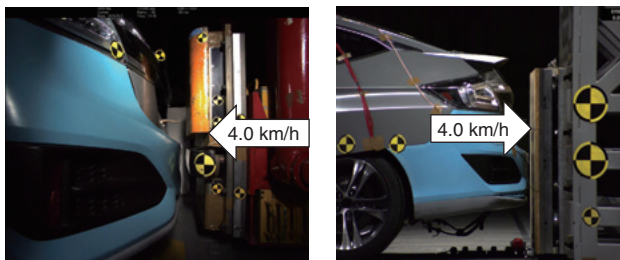


Fig. 14 Part 581 test

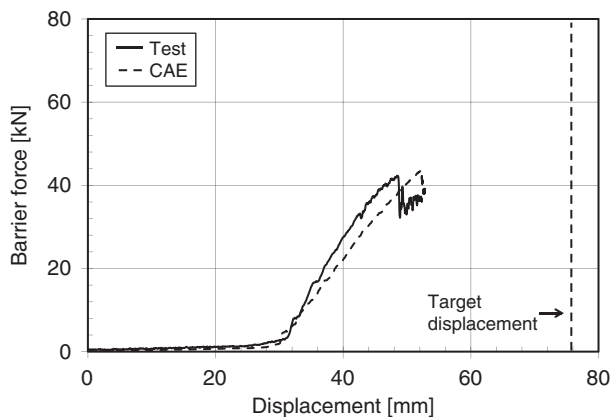


Fig. 15 Comparison of actual test and CAE simulation in Part 581 20-inch pendulum test

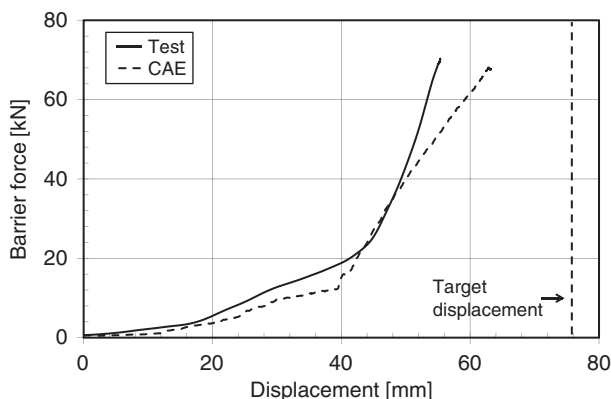


Fig. 16 Comparison of actual test and CAE simulation in Part 581 flat barrier test

確保できており、従来品と同等の性能が得られたことが確認できた。

従来品に対しての部品点数の比較を Fig. 17 に示す。本開発の熱可塑性 GFRP リヤバンパビームは従来構造に対して部品点数を 1/9 に削減すると共に 46% の重量軽減を達成した。

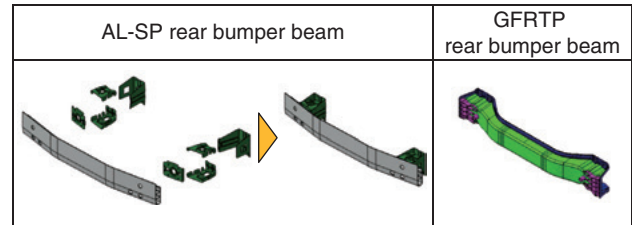


Fig. 17 Comparison of GFRTP rear bumper beam and AL-SP rear bumper beam

5. まとめ

リヤバンパビームの熱可塑性ガラス繊維強化樹脂を用いた軽量化に向けた部品設計技術の構築により下記の知見を得た。

- (1) 連続繊維強化材と不連続長繊維強化材を同時に圧縮成形し、リブに対して不連続長繊維強化材を流動させる、新たなハイブリッド成形を開発した。この工法により、材料投入後のワンショットでの成形を実現し一連の成形プロセス短縮や付随するプリフォーム用金型の削減によりコストを低減した。
- (2) 不連続繊維強化材の圧縮成形実験をおこなった結果からリブの高さと含有繊維長の関係を明らかにし、形状の適正化を図った。
- (3) 連続繊維強化材と不連続繊維強化材を同時に圧縮成形した時に、樹脂の流動によって連続繊維材の直線性が失われ、部品の強度と剛性の低下を引き起こすことがわかった。そこでリブ根元部で樹脂が流れやすい形状とすることで性能の低下を緩和することができた。
- (4) 繊維形態が異なる 3 種類の材料を適材適所に配置すると共に樹脂特有の成形自由度を活かして部品を一体化することにより、北米の軽衝突法規を満足しながら従来のリヤバンパビームに対して 46% の軽量化と部品点数を 1/9 に削減することができた。

参考文献

- (1) 大宮良信, 佐野豊和, 箕浦忠行:自動車車体用材料の現状と動向, 神戸製鋼技報, Vol. 57, No. 2, p.2-7, (2007)

- (2) 石川隆司:自動車構造部品への炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の応用の展望 (CFRTP を中心に), 精密工学会誌, Vol. 81, No. 6, p. 489-493, (2015)
- (3) Thomason, J. L.: The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 5. Injection moulded long and short fibre PP, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 33, p. 1641-1652, (2002)
- (4) 安原重人, 彌武朋也:熱可塑性複合材料の車体構造適用における温度依存性の影響低減構造の提案, 自動車技術会論文集, Vol. 46, No. 1, p. 207-212, (2015)
- (5) 彌武朋也, 安原重人, 柏木正和:熱可塑性 GFRP シートによるバンパービームの開発, 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 50-16, p. 1216-1220, (2016)
- (6) 彌武朋也, 安原重人, 柏木正和:熱可塑性 GFRP クラッシュボックス設計手法の研究, 自動車技術会論文集, Vol. 48, No. 4, p. 945-952, (2017)

■ 著 者 ■



彌 武 朋 也



安 原 重 人

量産車のモデルベース開発における 横風安定性評価シミュレーション技術

Crosswind Stability Simulation Technology for Performance Design in
Model Base Development of Mass-production Vehicles

豊島 貴行*

Takayuki TOYOSHIMA

畔勝 良友*

Yoshitomo AZEKATSU

池田 直史**

Naofumi IKEDA

要 旨

横風安定性について、さまざまなタイプの車両の性能設計で運用できるシミュレーション技術を構築した。量産車のモデルベース開発で使用する車両モデルと、横風安定性評価の実車テストを規定する走行条件のモデルを組み合わせることで、横風安定性の性能評価に対する計算精度を必要十分に保持したまま計算時間を短縮することができた。考え方の妥当性の検証を2014年モデルFITで実施したこのシミュレーション技術により、その他の量産車開発においても横風安定性シミュレーションによる仕様検討が可能になった。2018年モデルN-BOXの開発でその有用性を検証した。

ABSTRACT

A simulation technology was developed that can be used in performance design with respect to crosswind stability for various vehicle types. This involves computation that takes the vehicle model used in the model base development of mass-production vehicles, and combines it with the model of driving conditions used to define actual vehicle tests for evaluation of crosswind stability. For the modeling of driving conditions, in particular, the time when the vehicle is entering the crosswind section and the time when the vehicle is exiting the crosswind section are treated separately, so both a continuous crosswind model, for a crosswind with continuously changing influence on the vehicle, and a discontinuous crosswind model, for discontinuously changing influence, were developed respectively. Combining these to define a half-continuous crosswind model enabled computation time to be shortened while still maintaining the necessary accuracy in calculations for performance evaluation of crosswind stability. The validity of this conceptual approach was verified using a 2014 model year FIT, and this simulation technology has enabled the study of specifications by means of crosswind stability simulation, for the development of other mass-production vehicles as well. The effectiveness of the technology was verified in development of the 2018 model year N-BOX.

1. まえがき

モデルベース開発(以下MBD)は、複雑化が進む昨今の自動車の開発を効率よく進める有効な手法である。Fig. 1はMBDをV-Modelで表現した図であるが、このV-Modelの中央赤枠で囲まれたフェーズが性能設計および性能検証である。MBDにおける性能設計ではシミュレーションの活用が前提であり、そのためには開発スケジュールの限られた時間の中でさまざまな性能項目の計算結果を出力できるシミュレーション環境が必要となる。そこで我々は量産

車のMBDにおけるシャシ性能設計で実際に運用できるよう短時間で結果を出力できるシミュレーション環境を構築した⁽¹⁾。またそのシミュレーション技術を応用することで、それまで量産車開発の性能設計では検討が容易ではなかったいくつかの性能項目についても検討が可能になり、量産車開発に活用することができる。ラップタイムを予測するシミュレーション⁽²⁾はその代表例である。本稿では横風安定性を予測するシミュレーション(以下横風安定性シミュレーション)に関して述べる。

* 四輪 R&D センター

** HRD Sakura

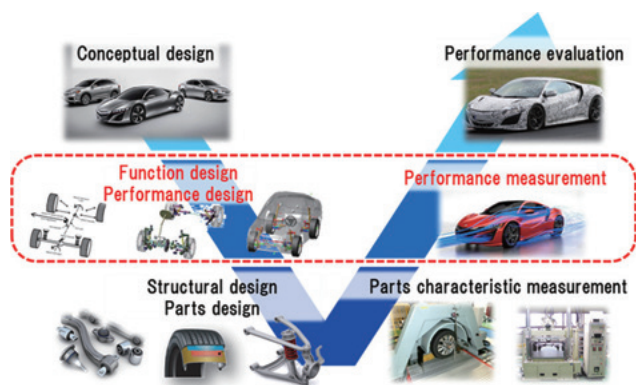


Fig. 1 V-Model

2. 横風安定性の評価

横風安定性に関しては、実車による試験方法が ISO 12021-1⁽³⁾ で規定されている。またそれに準拠する JASO Z108⁽⁴⁾ でも横風安定性を評価する試験法が定められており、車両開発時の性能評価として実績のある試験方法となっている（以後横風安定性試験）。軽自動車や背の高いミニバンなどは横風の影響を受けやすいため⁽⁵⁾、特に横風安定性試験の評価は重要である。

横風安定性試験の概要を Fig. 2 に記す。横風安定性試験は、まずテストコースの脇に設置されている横風送風装置でコース上に横風を発生させ、横風が発生している地帯（以下送風帯）を作り出す。その送風帯を実際の車両を走行させて特定の速度で横切らせたとき、走行ラインが横風の影響でどれだけ横にずれるか（以下横変位量）を測る。この横変位量を比較して横風安定性を評価するものである。また Fig. 3 は横風安定性試験から得られる計測データ例（ヨーレイト）である。このような計測データから横変位量を求め、ヨーレイトの変化やヨーレイトピークの値と合わせて横風安定性が評価される。

横風安定性試験は他の走行テストと比べ大がかりなテス

トになるため、多くの工数が必要となる。そこで、シミュレーションで横風安定性試験の代用ができれば仕様検討の効率化は上がると考えられ、これまでも横風安定性を予測するシミュレーション技術の研究は色々な取り組みがなされてきた^{(6),(7)}。しかし、これまで構築されたシミュレーション技術の多くは、車両の細部に至る正確な形状や、その周囲の風の流れに関する詳細な情報など、細部に至る複雑なモデルを使い精密に計算することに主眼がおかれていた。Fig. 4 はそのようなシミュレーションの計算モデルのイメージを表現したものである。このようなシミュレーションは多くの情報が必要になることに加え、モデルが複雑であるため結果を出力するまでの時間も長くなってしまい、量産車の開発に適用することが容易でなかった^{(8),(9)}。

横風安定性のシミュレーションをもっと少ない情報と

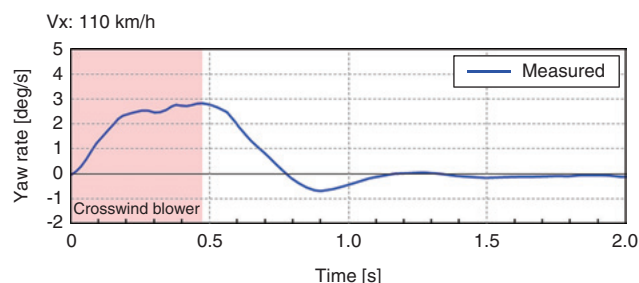


Fig. 3 Yaw rate in time series



Fig. 4 Crosswind simulation image

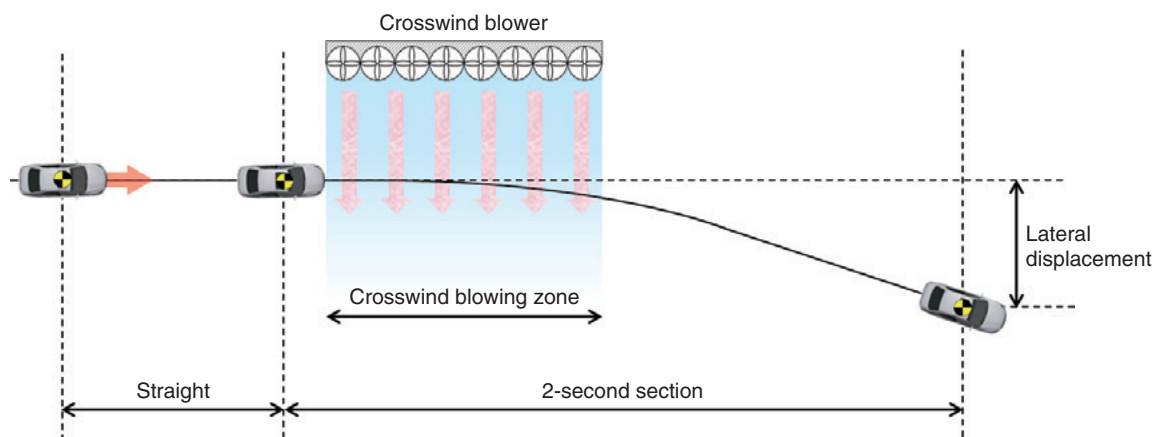


Fig. 2 Scheme of crosswind test

シンプルなモデルで実施することができれば、あらゆる MBD の性能設計の検討項目として扱うことが容易になる。特に開発初期に入手できる情報だけで計算できるシミュレーションは有効である。そこで量産車の MBD を進めるために作成された車両モデルを応用することを考えた。

3. 本技術のねらい

量産車 MBD の性能設計を進める上で有効な精度を有する横風安定性シミュレーションを構築することをねらいとして、技術目標を以下の 3 項目に定めた。

- (1) 量産車 MBD の開発初期に入手できるデータを利用し車両モデルが作成できること。
- (2) 横変位量以外にヨーレイトやヨーレイトピーク値についても検討できること。
- (3) 横風安定性試験と比較して性能設計上必要十分な精度を有し、量産車の開発に適用できる時間で結果が得られること。

4. 評価指標について

4.1. 横風安定性試験

横風安定性試験について ISO や JASO の規格では試験車両の走行速度は 100 km/h、あるいは 110 km/h と規定されている。さらに量産車の開発では、より低速からより高速まで幅広い車速条件を定めて試験すること多いため、広い車速域においてもシミュレーションできるようにしておく必要がある。

また、送風帯の観測点における横風の風速は 20 ± 3 m/s、試験環境は自然風が 1 m/s 以下で実施することなどが規定されている^{(3),(4)}。横風安定性の評価は、車両前端が送風帯進入開始から 2 秒後の重心点の横変位量で判定される。また実車を用いた量産車の開発では 2 秒区間に観測されたヨーレイトの時間変化やヨーレイトピーク値も評価指標のひとつとして参照している。

横風安定性試験は、送風帯に進入する走行状態が、評価指標の横変位量の精度に大きく影響するため、正しい横変位量を直接計測することは容易ではない。そこで一般的に横風安定性試験では、横変位量を直接計測する代わりに、2 秒区間に発生したヨーレイトから横変位量を計算してその値を評価指標としている。JASO 規格でも横変位量の計測に対する考え方は同様である。

4.2. 横変位量の求め方

Fig. 5 は横風安定性試験のコースに固定した X-Y 座標系の上におかれた車両運動の関係を示したものである。送風帯に進入する目標直進方向を X 軸方向とし、送風帯から送られる風の向きを Y 軸方向とする。このとき X 軸と

Y 軸は直交している。車両の速度を V 、X 軸方向の速度を V_x 、横変位速度を V_y で表す。送風帯進入開始 2 秒後の車両重心点の Y 方向の移動量が評価対象の横変位量である。横変位量はヨーレイト r の計測値を使った計算値として求められる。ヨー角を θ とすると、 θ は式 (1) で表される。

$$\theta = \int r \cdot dt \quad (1)$$

また横加速度を a_y 、重心点の車体すべり角を β とすれば、 β は式 (2) で表される。

$$\beta = \int \left(\frac{a_y}{V} - r \right) \cdot dt \quad (2)$$

これより、地上固定系の Y 方向の変位量 Y_i は、式 (3) で求められる。

$$Y_i = V \int [\sin(\theta + \beta)] dt \quad (3)$$

ただし一般的には β の値は θ よりも十分に小さい値であるため、2 秒区間のヨーレイトを正しく求めることができれば、横変位量も十分な精度で求めることができる。

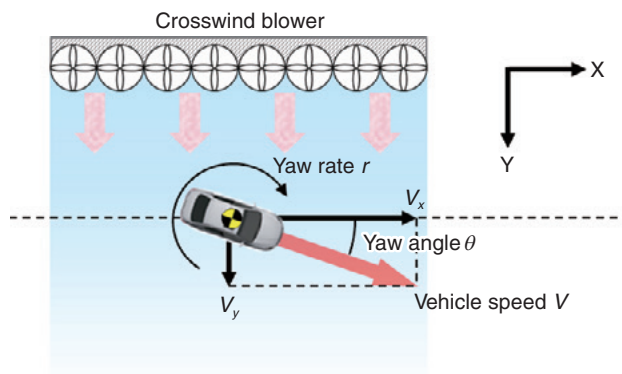


Fig. 5 Crosswind simulation

5. シミュレーションモデル

5.1. 車両条件の計算モデル

ここで扱う車両条件とは、自動車の運動性能に関する寸法諸元やコンポーネント特性のことであり、具体的には車両質量、慣性モーメント、ホイールベース、重心位置、前後のタイヤ特性、前後のサスペンション特性、車両の空力特性のことである。これらの特性データは量産車の MBD の中で使われている車両データを活用することができる。量産車の MBD の中で使われている車両データについては既報⁽¹⁾にて述べている。

5.2. 走行条件の計算モデル

横風の影響を簡便に計算する手法として、送風帯通過時に横風から受ける力を矩形波として定常的な力が一定時間

生じると仮定して計算する方法がある。ここではこの手法の計算モデルを不連続横風モデルと呼ぶ。Fig. 6は不連続横風モデルの概要を記したものである。不連続横風モデルの特徴は、車両質量を質点で表し、進入時および脱出時における空力特性の過渡的な変化を考慮しないところである。特定の面を持つ車両がその空力中心に定常的な横風を受けた結果、空力中心から車両重心点までの長さをモーメントアーム長とする重心点周りにヨーモーメントが発生する。車両先端が送風帯に進入する瞬間から車両先端が送風帯から脱出する瞬間までヨー角変化分のヨーモーメントが発生する。ヨーモーメントの大きさはヨー角変化に応じて車体に働く横風の力と、空力中心から車両重心点までの距離によりほぼ決定する。Fig. 7は送風帯を通過している間に車体に発生するヨーモーメントの変化を表したグラフである。不連続横風モデルでは送風帯走行中と送風帯外を走行中のヨーモーメントは不連続になっている。この計算モデルはシンプルであるためモデルの作成に多くの情報を必要としない。計算負荷も小さいため短時間で結果を出力できるメリットがある。

Fig. 8は2014年モデルFIT(以下FIT)について、不連続横風モデルによるヨーレイトの計算結果と、実際の横風

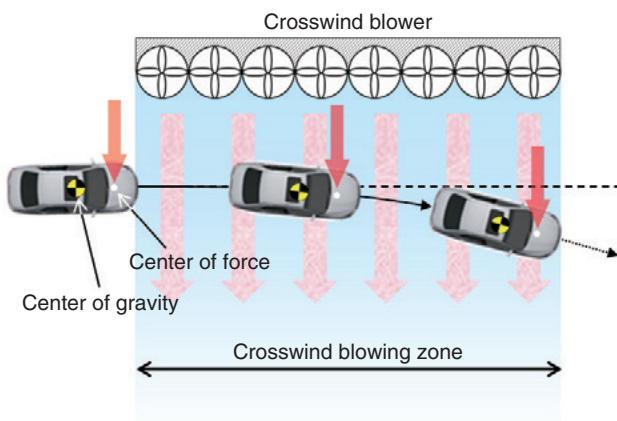


Fig. 6 Discontinuous crosswind model

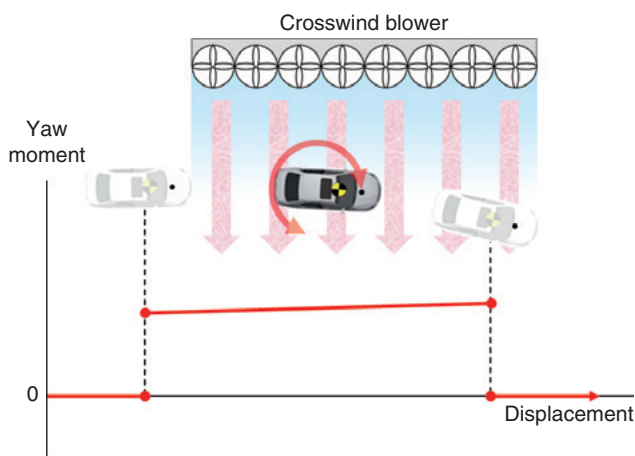


Fig. 7 Yaw moment of discontinuous crosswind model

Table 1 Specification list (FIT)

	FIT
Length × Width × Height [m]	3.990 × 1.695 × 1.525
Wheelbase [m]	2.530
Track Front/Rear [m]	1.480/1.470
Weight [kg]	1080

安定性試験で計測されたヨーレイトを比較したグラフである。FITの主要諸元はTable 1の通りである。

Fig. 8の横軸は時間であり送風帯に進入する瞬間を0秒としている。計算条件および計測条件はいずれも110 km/hである。このグラフから、横風安定性シミュレーションの計算結果は0.4秒後から0.5秒後付近でひとつのピークが現れ、1.5秒後近傍で収束する様子が確認できる。それに対し実車を用いた横風安定性試験の結果はもっと早い段階からヨーレイトが立ち上がり、0.2秒後付近で最初のピークが現れる。0.5秒後付近で最後にもう一度ピークが発生し、1.5秒後近傍で収束していることがわかる。不連続横風モデルによる計算結果と横風安定性試験の計測結果とではヨーレイトの出方やヨーレイトのピーク位置などが異なっているため、横変位量の計算結果もシミュレーションと試験結果で異なってしまう。

送風帯進入直後のヨーレイトの立ち上がりや、最初に現れるヨーレイトのピークを計算する工夫として、送風帯に進入する前後と送風帯から脱出する前後で、車両全長に応じて連続的にヨーモーメントが変化するように考慮したのが連続横風モデルである。Fig. 9にその概要を示す。連続横風モデルでは送風帯の通過を送風帯への進入期(a)と送風帯通過期(b)と送風帯からの脱出期(c)の三つのフェーズに分割してヨーモーメントを定義する。

Fig. 10は連続横風モデルで計算される車体に発生するヨーモーメントの大きさを描いたものである。連続横風モデルでは、送風帯走行中に車体が横風を受けて発生するヨーモーメントと送風帯の外を走行中のヨーモーメント(=0)が連続しており、車両の全長に相当する通過区間で過渡的に変化する。連続横風モデルによるヨーレイトの計算結果をFig. 8のグラフに書き加えたものがFig. 11である。このグラフから、横風安定性試験の結果に対して不連

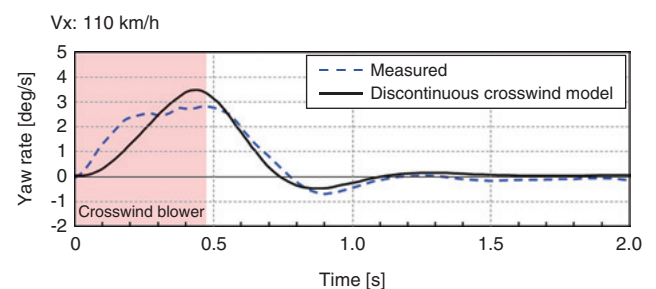


Fig. 8 Comparison of yaw rate in time series

続モデルの計算結果は送風帯進入から 0.5 秒後付近までのヨーレートについてはよく合致することがわかる。しかし送風帯を脱出した後の 0.5 秒後から 1.0 秒後くらいまでの計算値は計測値とのずれが大きくなっていることがわかる。

そこで、送風帯走行時の前半部分のヨーモーメントは過渡的に変化する連続モデルとし、後半部分のヨーモーメントを不連モデルとする新たなモデルを考案した。これを半連続横風モデルと呼ぶこととする。半連続横風モデルでは車両が送風帯の出口に達したところでヨーモーメントは 0 になるとしている。

Fig. 12 は半連続横風モデルで計算される車体に発生するヨーモーメントの大きさを描いたものである。また Fig. 13 は半連続横風モデルによる計算結果を Fig. 11 に書

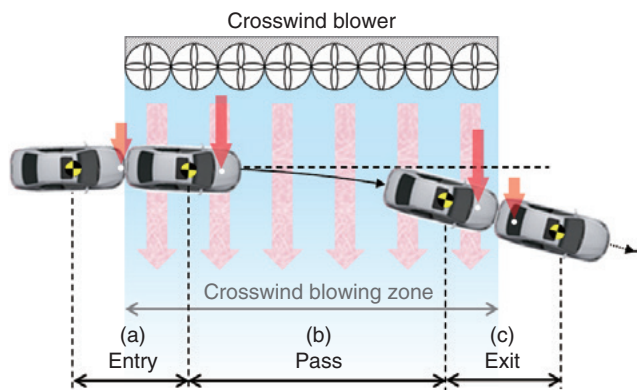


Fig. 9 Continuous crosswind model

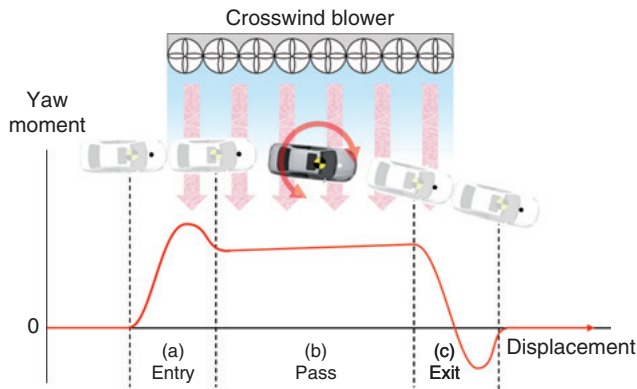


Fig. 10 Yaw moment of continuous crosswind model

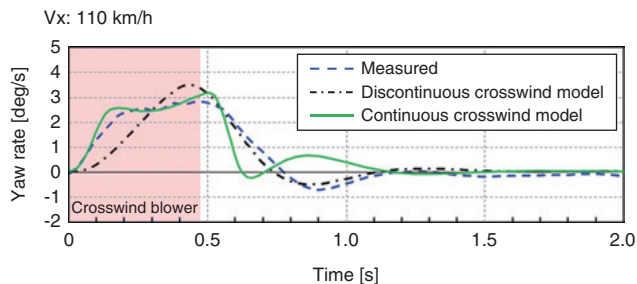


Fig. 11 Comparison of yaw rate in time series

き加えたグラフである。このグラフの内容から、半連続横風モデルによる計算結果が横風安定性試験の計測結果とよく合致しており、三者の中では最も横風安定性試験の結果に近い傾向を示すことが確認できた。Fig. 14 は横風安定性試験の評価指標である横変位量の計測結果と、不連続横風モデル、連続横風モデル、半連続横風モデルから求められた横変位量の計算結果を棒グラフで比較したものである。

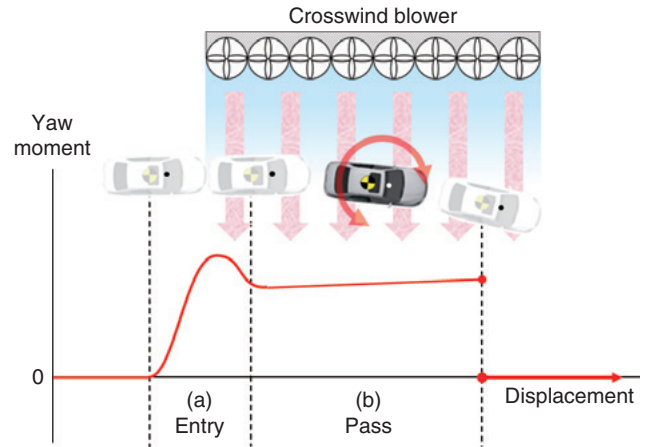


Fig. 12 Yaw moment of half-continuous crosswind model

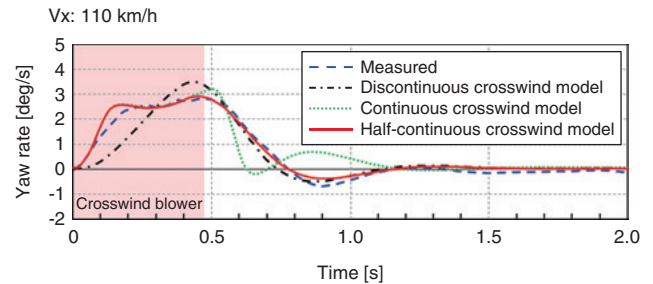


Fig. 13 Comparison of yaw rate in time series at 110 km/h

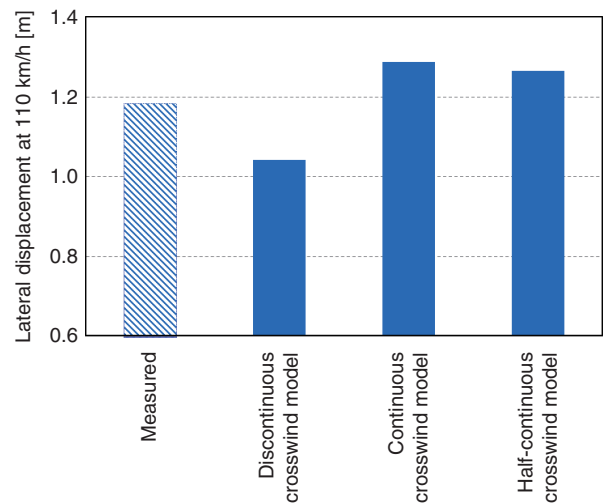


Fig. 14 Comparison of lateral displacement at 110 km/h

これらの計算結果から半連続横風モデルを使うことで、性能設計に対して有効な精度で横風安定性のシミュレーション結果が得られた。

5.3. 半連続横風モデルの検証

車両の速度条件を 140 km/h に変えて、不連続横風モデル、連続横風モデル、および半連続横風モデルの計算結果と横風安定試験の計測結果を比較したグラフが Fig. 15 である。同様に横変位量を比較したグラフが Fig. 16 である。これらの計算結果から、速度条件を変えても半連続横風モデルは横風安定性試験の結果とよく合致することがわかった。

横風安定性試験について、送風帯進入部における考え方に関しては、これまでも研究報告例はあった^{(10), (11)}。しかし送風帯からの脱出部における考え方が論じられている例は少なかった。今回考案された半連続横風モデルは、送風帯への進入部と送風帯からの脱出部をあわせた全体を捉えたシミュレーションモデルとして過去にあまり例をみない。半連続横風モデルは、横風安定性の計算精度と計算時間を両立させるための新しいシミュレーションモデルとして提案されたものである。

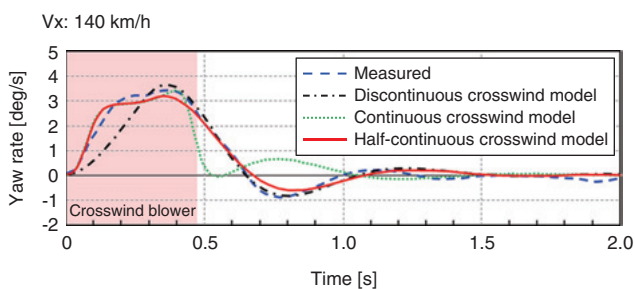


Fig. 15 Comparison of yaw rate in time series at 140 km/h

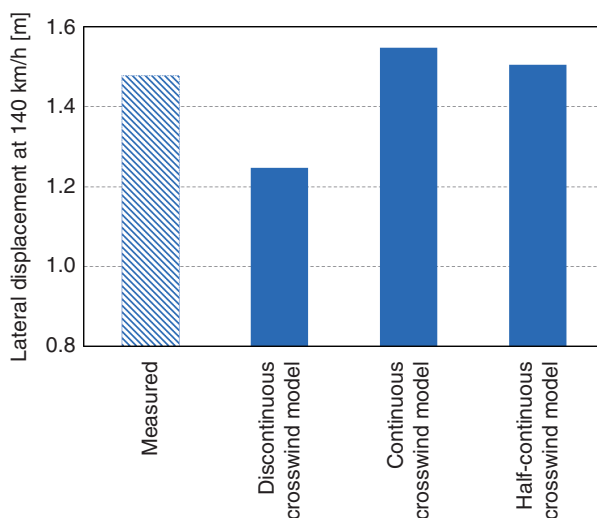


Fig. 16 Comparison of lateral displacement at 140 km/h

Table 2 Specification list (N-BOX)

	N-BOX
Length × Width × Height [m]	3.395 × 1.475 × 1.790
Wheelbase [m]	2.520
Track Front/Rear [m]	1.305/1.305
Weight [kg]	890

6. シミュレーション適用事例

前章では、FIT の開発を通して構築した横風安定性シミュレーション技術について論じた。次に他の量産車開発でも同様に活用できることを示し有用性を確認した。以下は 2018 年モデルの N-BOX (以下新型 N-BOX) の開発において本シミュレーション技術が活用された事例である。

Table 2 は新型 N-BOX の主要諸元である。N-BOX は横風の影響を受けやすい車体形状であったため、他の性能も成立させながら横風安定性も損なわないような仕様検討を進める必要があった。特に開発初期の段階から横風安定性をできるだけ高く設定しておくことが重要となる。このような背景から、新型 N-BOX は FIT と同様に本シミュレーション技術が活用された。

Fig. 17 は新型 N-BOX の開発の中で検討したスタディ結果であり、これから横変位量とヨーレイトピーク値に対する各対策の効果を確認することができる。このようなスタディの中から、他の性能も合わせ考え、効果的な対策を見出すことができる。

Fig. 18 は新型 N-BOX の開発の中で実際に対策された各シャシコンポーネントの対策効果を示したグラフである。これはシャシを構成する各コンポーネントの横風安定

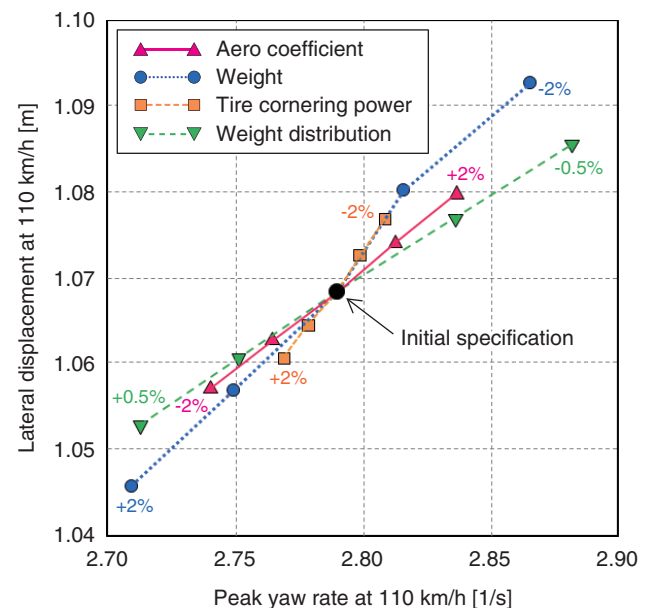


Fig. 17 Peak yaw rate and lateral displacement

性に対する影響を見ながら仕様検討をすすめる、最終的に目標を達成可能な仕様を見出すというシステム設計を進める上で有効である。今回の新型 N-BOX の場合、軽量化やデザイン上の制約を重量配分、タイヤ特性、サスペンション特性、空力特性などにより目標を達成した。本シミュレーション技術により量産車の MBD の性能設計の段階で、横風安定性の各コンポーネントに対する性能割り付けが可能であることを示した。

Fig. 19 は最終的な仕様が横風安定性に対し、どの程度の速度依存性をもつかを実車で検証したグラフである。80 km/h と 110 km/h の二点間で規格が定める基準値を下まわり横風安定性に対する仕様が決められた。本シミュレーション技術は量産車の開発において有用であることがわかった。

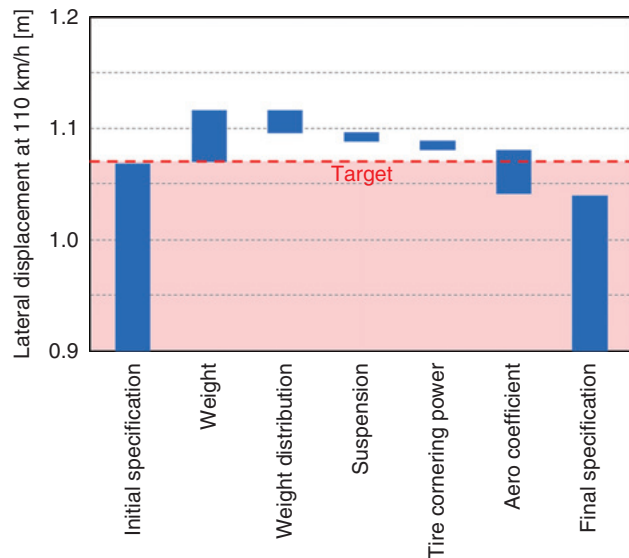


Fig. 18 Lateral displacement (N-BOX)

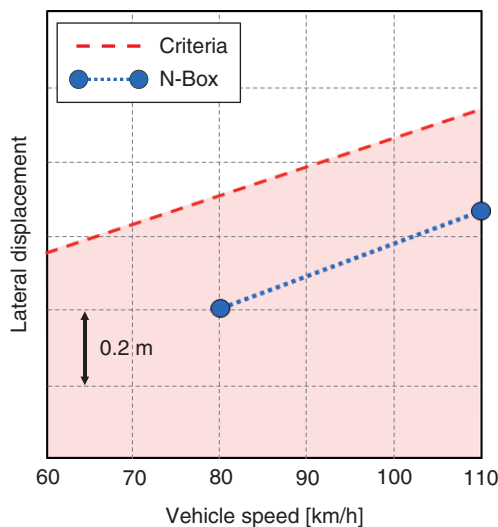


Fig. 19 Lateral displacement (N-BOX)

7. まとめ

本シミュレーション技術により量産車 MBD の性能設計で横風安定性を含めた仕様検討が進められるようになった。

- (1) 量産車の MBD の中で使われている車両データを利用し、横風安定性を予測計算できるシミュレーション技術を構築した。
- (2) 本シミュレーションは横変位量以外にもヨーレートやヨーレートピークを計測値に近い計算結果として得られることを示した。
- (3) 半連続横風モデルを活用することで、計算時間および計算精度において横風安定性に関する性能設計を量産車開発にも適用できることを検証した。

参考文献

- (1) 豊島貴行, 松澤俊明, 伊藤憲悟, 遠藤喜章, 高野広喜, 牛村智也: 量産車の MBD におけるシャシ性能設計技術の構築, Honda R&D Technical Review, Vol. 29, No. 1, p. 49-58
- (2) 豊島貴行, 松澤俊明, 牛村智也: 量産車開発の性能設計におけるラップタイムシミュレーション技術, Honda R&D Technical Review, Vol. 29, No. 2, p. 118-126
- (3) ISO 12021-1: Road vehicles – Sensitivity to lateral wind – Open-loop test method using wind generator input, (2010)
- (4) JASO Z108: 2004, 自動車—横風安定性試験方法
- (5) 高田弘之, 中川邦夫, 篠田浩行: 1 ボックス車の横風安定性について, 自動車技術, Vol. 43, No. 3, p. 119-126, (1989)
- (6) 小林敏雄, 鬼頭幸三, 佐賀徹雄, 蛭川雅彦: 走行中の自動車に及ぼす横風の影響に関する一考察 (第 1 報), 生産研究, 30 巻, 7 号, p. 278-281, (1978)
- (7) 丸山喜久, 山崎文雄: 横風強風時の車両走行安定性に関する数値解析とシミュレータ実験, 土木学会論文集, No. 766, I-68, p. 129-140, (2004)
- (8) 中里公亮, 高瀬弘貴, 清野昌之, 神野研一, 石原裕二, 塩澤博行: 過渡的な横風入力を再現した流体解析と車両運動解析の組合せによる車両挙動への空力影響予測, 自動車技術会学術講演前刷集, No. 25-14, p. 1-4, (2014)
- (9) URL: <http://www.aics.riken.jp/shirutsudoi/meeting9.html>
- (10) 黒田智, 田中真悟, 上野和寛, 田中久史: 横風進入時の空力過渡特性計測手法開発, 自動車技術会学術講演前刷集, No. 21-13, p. 1-4, (2013)

- (11) Ryan, A., Dominy, R. G.: The Aerodynamic Forces Induced on a Passenger Vehicle in Response to a Transient Cross-Wind Gust at a Relative Incidence of 30° , SAE Technical Paper 980392, p. 1-4, (1998)

■ 著 者 ■



豊島 貴行



畔勝 良友



池田 直史

ホットスタンプ材における溶接時の熱影響による 構造体強度低下

Degradation of Structure Strength by Welding Heat Effect for Hot-stamped Material

大岡 久康*
Hisayasu OOKA

野村 友大*
Tomohiro NOMURA

河津 政裕*
Masahiro KAWAZU

要 旨

自動車の車体に用いるホットスタンプ材において、溶接による熱が構造体の強度性能を低下させる現象を明らかにした。テストピースによる試験により、抵抗スポット溶接と比べて熱の伝わる範囲が大きいレーザーなどの連続溶接では、構造体の強度性能が低下することがあることを明確にした。この現象のメカニズムを明らかにするため、CAEを用いた解析をおこなった。溶接の熱により溶接部近傍の軟化が発生する現象を再現するため、微小な引張試験片を用いて材料の強度特性を採取し、CAEモデルに反映した。計算結果は試験結果と良く一致し、構造体強度性能の低下は、材料軟化の影響であることを明確にした。さらに、材料の軟化範囲と構造体強度性能の関係を検討することにより、溶接フランジ部の軟化の影響は小さく、稜線部の軟化の影響が大きいことがわかった。これは構造的に稜線部の応力分担が大きく、その範囲が軟化したためである。以上のように、今後の車体構造や溶接手法について検討する上での知見が得られた。

ABSTRACT

The phenomenon where welding heat reduces the structure strength performance of hot-stamped materials used in automobile bodies was clarified. Tests using test pieces demonstrated that continuous welding methods, such as laser welding, that transmit heat over a wide range may reduce the structure strength performance compared to resistance spot welding. CAE analysis was performed to clarify the mechanism of this phenomenon. The material strength properties were obtained using micro tensile test specimens and applied to CAE models to reproduce the phenomenon where welding heat softens the area around the weld. The calculation results closely matched the test results, which showed that the drop in structure strength performance is due to material softening. In addition, the relationship between the material softening range and structure strength performance was investigated, and showed that softening of the welding flange area has a small effect, and softening of the hinge line areas has a large effect. This is because the hinge line areas bear a large share of the structural stress, and softening occurred in these areas. These results provided useful knowledge for future investigation of body structures and welding methods.

1. ま え が き

近年、自動車の車体において、衝突安全性能向上のための強度確保や燃費性能向上のための軽量化を目的として、高張力鋼板が多く用いられている。中でも引張強度の高いホットスタンプ材は、ここ数年で適用が急激に拡大している^{(1),(2)}。ホットスタンプとは、専用の鋼板を900℃程度

に加熱し、プレスと同時に金型による急速な冷却をおこなう工法で、1500 MPa以上の引張強度を得ることができる。この手法を適用した部材は、衝突時のキャビンの変形を抑制し乗員を保護するため、フロントピラーやセンタピラー、サイドシル部など車体のフレームに多く用いられている (Fig. 1)⁽¹⁾。

一方、780 MPa付近を超える高張力鋼板は、溶接の熱に

*四輪 R&D センター

より、溶接部周辺の材料が軟化し、溶接強度が低下することが報告されている⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。近年では、車体の剛性や衝突安全性能向上を目的としてレーザ溶接などの連続溶接が用いられている⁽⁶⁾。連続溶接は熱の伝わる範囲が大きく、車体に広く使われている抵抗スポット溶接（以下RSW）より広い範囲が熱によって軟化すると考えられる。しかしながら、現状、構造体としては、熱による強度性能低下について報告された例はない。車体構造の強度は車体性能において重要な要素であり、その現象を明らかにして今後の開発に反映する必要がある。

本研究では、ホットスタンプ材を用い、RSWやレーザ溶接などで加工をおこなったテストピースを作製し、曲げ試験により強度性能への影響を明確化した。また、CAEを用いて溶接部近傍の軟化部位の微小な強度特性をモデル化することで、強度低下の要因解明をおこなった。さらに軟化の範囲と構造体強度性能の関係を明確にし、性能低下影響の大きい位置の特定と実際の試験による検証をおこなった。

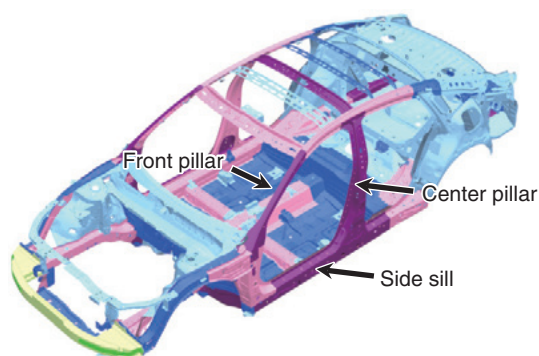


Fig. 1 Applicable parts made of hot-stamped material

2. 軟化と構造体強度性能影響の明確化

溶接による熱が車体の強度性能へ与える影響を明確化するために、フレームを想定したテストピースを用いて試験をおこなった。車体の中でホットスタンプ材が用いられる部品は、衝突の際に曲げによる変形が発生するような部位に使われることが多い。そこで曲げ試験によって評価をおこなった。

2.1. 試験方法

テストピースの形状はセンタピラーの一般的な断面を模した、ハット形状を二枚重ねて溶接した構造体（以下ハット部品）とした（Fig. 2）。材料はホットスタンプ用アルミめっき鋼板とし、ホットスタンプ後の機械特性をTable 1に示す。板厚1.6 mm、長さは1000 mmとした。溶接フランジの平坦部幅は16 mmとした。

Table 1 Mechanical properties

	Measured value
Hardness (Hv)	494.3
Tensile strength (MPa)	1505.3
Yield strength (MPa)	1050.5
Elongation (%)	9.8

各溶接の手法をFig. 3に示す。連続溶接は、レーザ溶接、アーク溶接、シーム溶接の代表的な3手法とした。一般的に用いられるRSWの30 mmピッチ（以下基準RSW）を基準として比較をおこなった。また剛性強度が高いことが報告されているRSWの15 mmピッチ（以下短ピッチスポット溶接）⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾も比較をおこなった。

曲げ試験の手法をFig. 4に示す。ハット部品の端部は曲げ試験中に変形するのを抑制するためにプレートを全周溶接した。試験は3点曲げ、圧子の接触面はR50、支点治具の接触面はR30、支点間は700 mmとした。圧子の押し込み量は200 mm、試験速度は10 mm/minとした。

2.2. 試験結果と考察

試験結果をFig. 5に示す。すべての試験体において溶接部は破壊していないことを確認した。最大反力および吸収エネルギーをFig. 6に示す。吸収エネルギーは、基準となるRSWに対し、短ピッチスポット溶接は1.5%向上しているが、レーザ溶接で5.5%、アーク溶接で13.4%、シーム溶接で7.0%の低下が確認できた。このように、連続溶接の吸

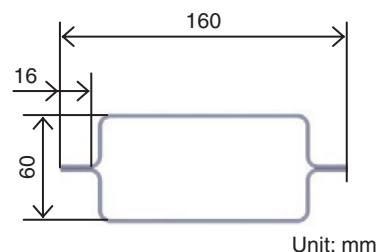


Fig. 2 Hat part section view

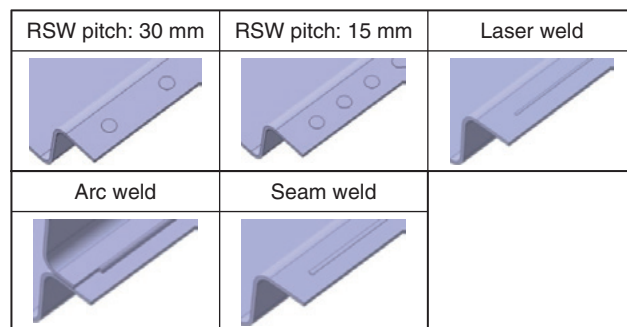


Fig. 3 Welding methods

収エネルギーはすべての場合において基準 RSW を下回っていることがわかった。

吸収エネルギー性能が低い原因は、連続溶接の熱による材料の軟化によるものと推測した。また、アーク溶接が最も低い結果となったのは、熱の影響に加え、継手が重ね隅肉であり溶接側のフランジが短いためと考えられる。

材料の軟化状態を検証するため、溶融凝固部およびその近傍の硬度試験をおこなった。結果を Fig. 7 に示す。溶接前の母材硬度は約 500 Hv であり、それぞれの溶接手法で軟化が発生したことが確認できる。基準 RSW の軟化範囲は狭く、その他の連続溶接ではフランジの端末から、稜線を含む広い範囲で軟化していることが確認できた。そこで軟化範囲の引張強度特性を明確にするために、テストピー

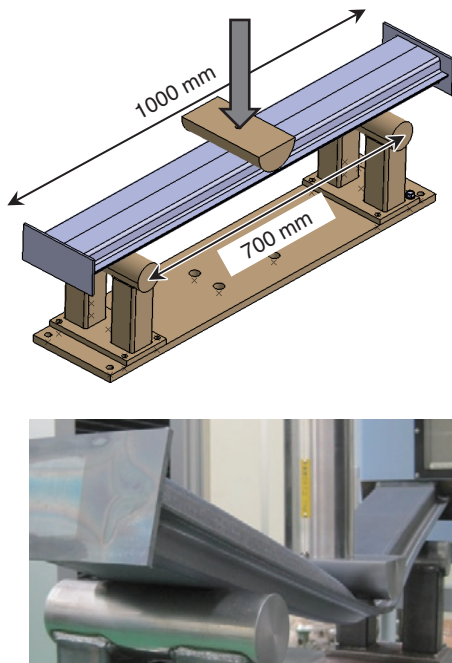


Fig. 4 Bending test specification

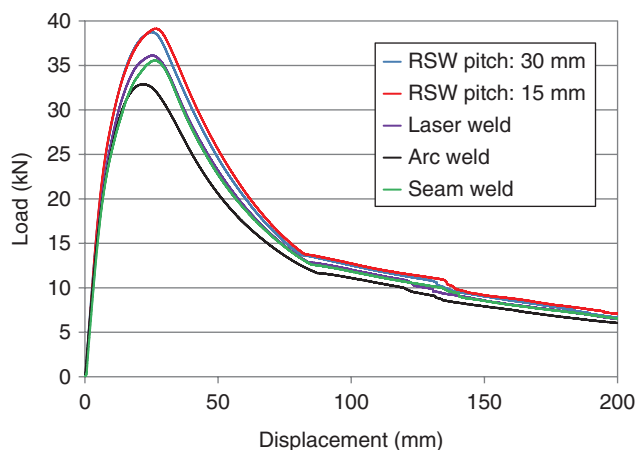


Fig. 5 Results of bending test

スの溶接周辺部から試験片を切り出し、微小引張試験をおこなった。試験片の形状を Fig. 8 に示す。レーザ溶接における試験片の切り出し部位を Fig. 9 に、試験結果を Fig. 10 に示す。溶融凝固周辺部および熱影響部は、母材部に対して材料強度が低下していることが確認できた。

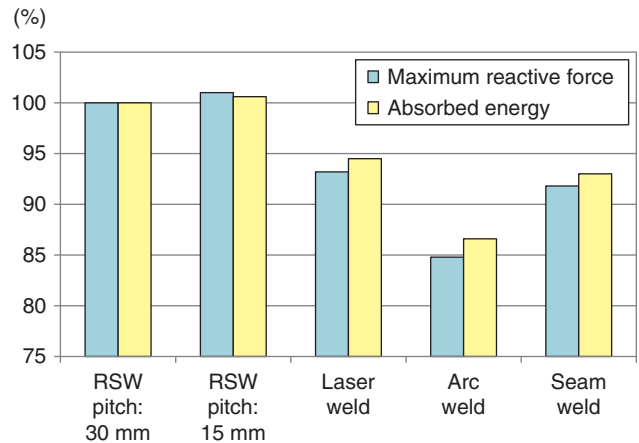


Fig. 6 Results of maximum reactive force and absorbed energy (compared to RSW pitch: 30 mm)

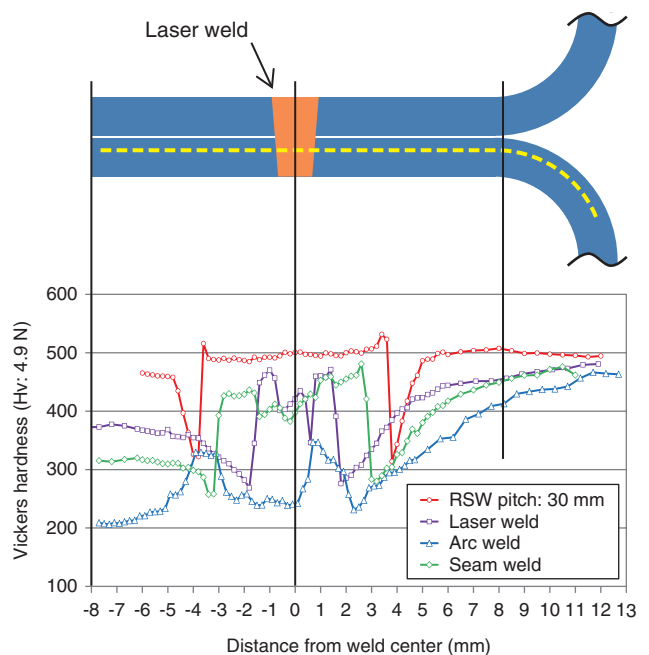


Fig. 7 Hardness test results

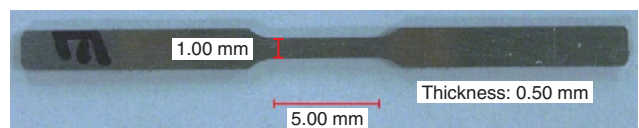


Fig. 8 Dimensions of micro specimen

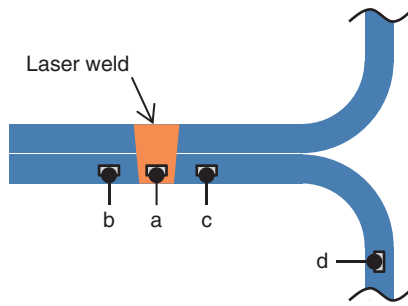


Fig. 9 Locations of micro specimens

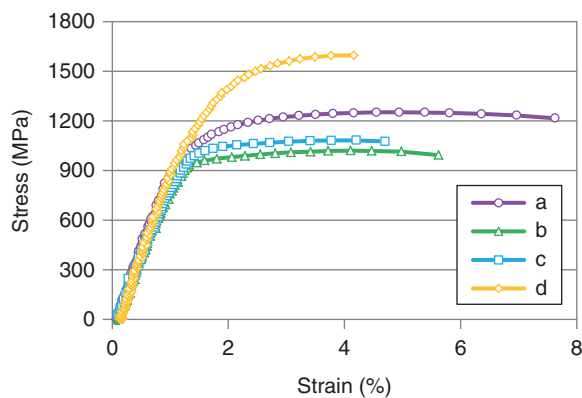


Fig. 10 Micro tensile test results (stress-strain curves)

3. CAE によるメカニズム解明

溶接の熱による材料軟化の影響で構造体強度性能が低下するメカニズムを解明するために、構造体の3点曲げ試験を構造解析CAEでモデル化した。テストピースを作製した五つの溶接手法のモデルを作成し、検証をおこなった。

3.1. 解析モデル

まず、テストピースから切り出した試験片の、微小引張試験結果 (Fig. 10) を構造解析CAEに使用するため、塑性域の応力-ひずみ曲線のモデル化をおこなった。降伏応力は0.2%耐力を用いて決定した。ヤング率は205.8 GPa, ポアソン比は0.3とした。

Fig. 11 に解析モデルを示す。モデルはハット部品をソリッド、治具を完全剛体のサーフェスで表した。境界条件については、摩擦はすべてゼロとした。構造体は四角メッシュとした。メッシュサイズを Table 2 に示す。圧子と接触し大きく変形する30 mmの範囲、さらにその周辺75 mmの範囲でメッシュサイズを小さくしている (Fig. 12)。

各溶接手法を用いた構造体のモデルを Fig. 13 に示す。溶接はハット部品の上部と下部の間に0.1 mmのギャップを設けており、ギャップを溶接部が繋ぐように再現した。

Fig. 14 に各溶接手法における材料軟化を反映した範囲

Table 2 Mesh size

		Unit: mm	
		Longitudinal direction	Lateral direction
Substrate	Low strain	3.75	5.12
	High strain	1.87	2.56
	Super-high strain	1.25	2.56
Joining area	Spot weld	3.00	
	Laser weld	3.75	0.50
	Arc weld	3.75	0.80
	Seam weld	3.75	0.80

(以下軟化モデル)を示す。硬度試験の結果 (Fig. 7) を基に軟化範囲を設定してモデル化した。各部位の引張強度値は微小引張試験から得た値である。なお、計算の比較として軟化部位がまったくないこと以外は同一のモデル (以下非軟化モデル) についても解析もおこなった。

なお、ソルバはABAQUSの陽解法を用いた。

3.2. CAE 解析結果と考察

基準としたRSWの試験結果とCAEモデルの解析結果比較を Fig. 15 に示す。荷重の立ち上がりから最大反力到達までと、その後の減少傾向が良く一致しており、吸収エ

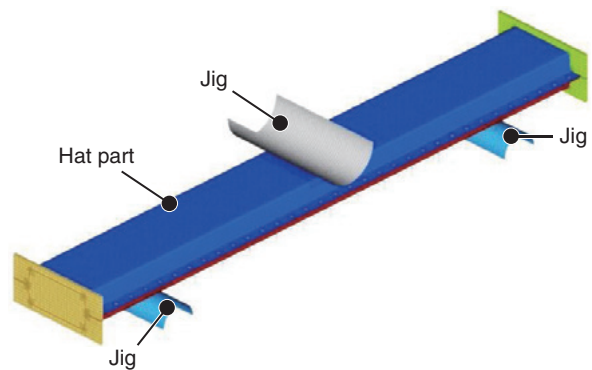


Fig. 11 CAE model

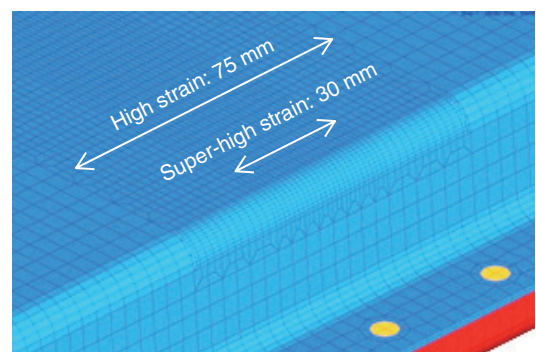


Fig. 12 CAE model detail

エネルギーは 1.6% の差異にとどまっている。

軟化モデルの結果を検証するために、各溶接手法モデルの吸収エネルギーによる評価をおこなった。テストピースによる試験結果と CAE との比較を Fig. 16 に示す。軟化モデルは試験値と近い値をとっていることが確認できた。レーザ溶接では、試験に対し非軟化モデルの吸収エネ

	Joint shape	Joint width	Image
RSW pitch: 30 mm	Circular	$\phi 6$ mm	
RSW pitch: 15 mm	Circular	$\phi 6$ mm	
Laser weld	Rectangular	1.6 mm	
Arc weld	Quarter cylindrical	1.7 mm	
Seam weld	Rectangular	1.0 mm	

Fig. 13 Joint CAE models

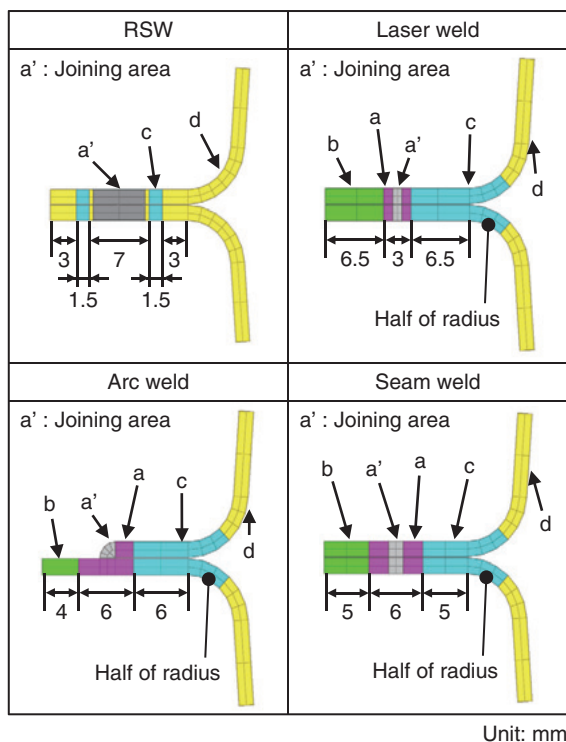


Fig. 14 CAE softening models

ルギーは 7.7% 高いが、軟化モデルでは 2.7% の差異にとどまっている。また、基準となる RSW に対して、短ピッチスポット溶接の吸収エネルギーが向上することも、試験と相関があることが確認できた。

Fig. 17 にストローク 100 mm での応力分布を示す。Fig. 17(a) の非軟化モデルは溶接フランジ周辺で高い応力が広く分布しているのに対し、(b) の軟化モデルは溶接フランジ周辺の応力集中範囲が狭く、応力も低いことがわかる。これは溶接フランジ周辺の塑性変形が低い応力で進ん

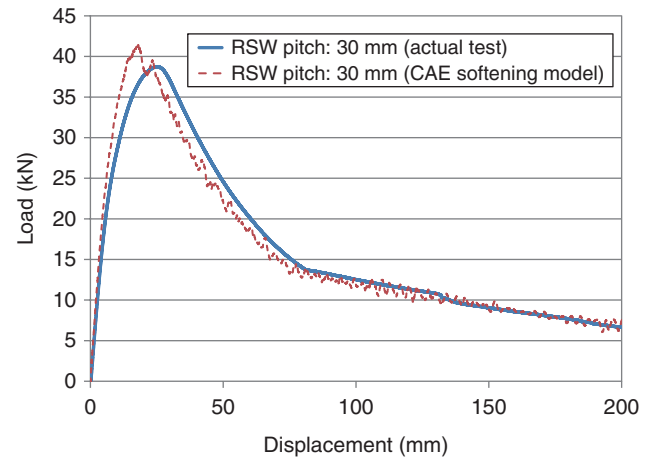


Fig. 15 Results of actual test and CAE softening model

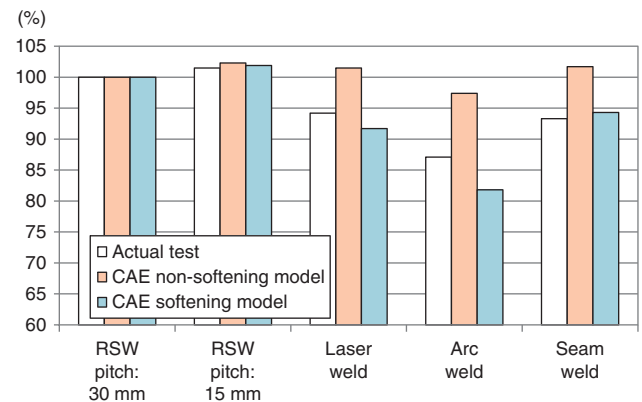


Fig. 16 Results of absorbed energy (compared to RSW pitch: 30 mm)

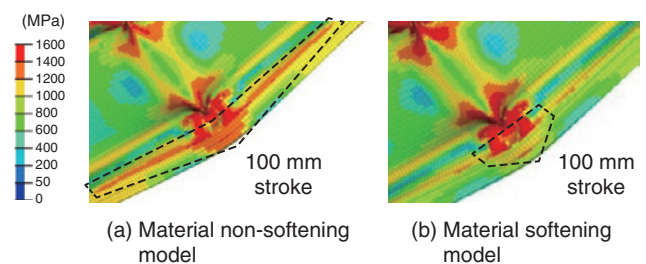


Fig. 17 Stress distribution

だことが原因である。このように溶接フランジ周辺の応力が低いまま、圧子接触部周辺に応力が集中したために吸収エネルギーが低下したと推測される。

以上のことから、溶接の熱により材料が軟化することによって反力が下がり、吸収エネルギーが低下するメカニズムが解明できた。また、熱影響を受ける範囲ごとに強度特性をモデル化することで、構造体強度性能の予測ができることがわかった。

3.3. 軟化範囲と構造体強度の関係明確化

次に、軟化範囲が構造体の吸収エネルギー低下に及ぼす影響について検討をおこなった。Fig. 17 に表す通り、曲げ入力による応力分布は溶接部位であるフランジとその周辺部に均一ではない。そこで、熱による軟化が強度性能低下に大きく影響する範囲を特定するため、材料軟化の範囲と構造体強度性能の関係を検討した。レーザ溶接の解析モデルを用い Fig. 18 に示すように、構造体の軟化範囲を 5 水準作製して解析をおこなった。

モデル A は非軟化モデル、モデル B はフランジの端側半分を軟化させたモデルである。モデル C, D, E は徐々に軟化範囲を拡大させた。

軟化範囲と吸収エネルギーの関係を Fig. 19 に示す。条件 C の吸収エネルギーは非軟化モデルの A に対して 2.4% の低下にとどまった。一方、条件 D と E のように稜線部が軟化すると吸収エネルギーは急激に低下し、条件 D で 9.4%、条件 E で 10.2% 低下した。D と E の吸収エネルギーがほとんど同じであることから、稜線部の中でもフランジの角稜近傍で多くエネルギー吸収していると考えられる。Fig. 20 に条件 A の 50 および 100 mm ストローク時の応力分布を示す。ストロークが 50 mm では圧子周辺の稜線に広く応力が分布し、フランジ部の応力は小さい。100 mm になると稜線部の応力はより広がるのに対し、フランジ部の応力は変化が少なかった。

以上のことから応力分担の大きい稜線部が軟化すること

で、吸収エネルギーの低下影響が大きくなったと考えられる。このことから稜線部の軟化を抑えることで構造体の吸収エネルギー低下を抑制できると考えた。

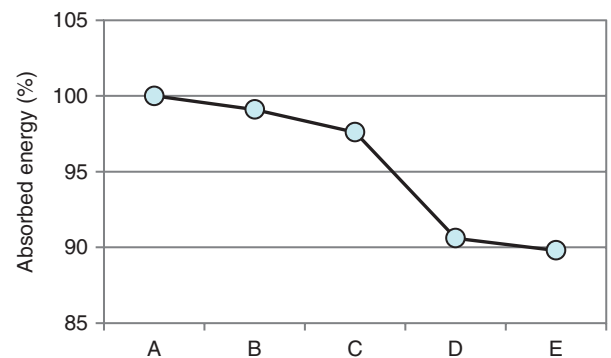


Fig. 19 Relationship between softening area and absorbed energy

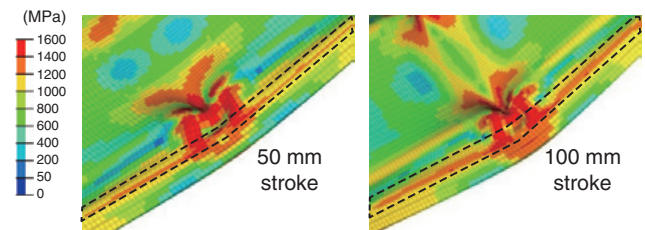


Fig. 20 Stress distribution at weld for condition A

4. 吸収エネルギー低下抑制手法の構築

稜線部の熱による軟化を抑制することを目的とし、テストピースの試験により、溶接条件を検討した。一般に溶接速度を速めることにより、溶接部周辺の熱温度上昇は低減される。そこで、レーザ溶接の速度を速める検討をおこなった。単に速度を速めるだけでは溶接品質が低下するので、溶融幅が同等となるようにレーザ出力を調整した。溶接条件を Table 3 に示す。条件 1 はこれまで検討してきた試験と同じ条件、条件 2 および 3 は溶接速度を高速にしたものである。

曲げ試験の結果を Fig. 21 に示す。レーザ溶接の速度を速めた条件 2 と 3 では、吸収エネルギーが上昇していることが確認できた。

熱の伝わりを把握するために、溶接中に稜線部の表面温度の測定をおこなった。測定位置を Fig. 22 に、結果を Fig. 23 に示す。条件 1 に対し、溶接速度を速めた条件 2 および 3 は稜線部の温度が低いことを確認した。さらに溶接部位の近傍について硬度試験をおこなった結果を Fig. 24 に示す。温度の低下に合わせて硬度の低下量が減少し硬度低下の範囲が狭くなっていることが確認できた。

Condition	A	B	C	D	E
Flange softening area	0%	50%	100%	100%	100%
Hinge line softening area	0%	0%	0%	50%	100%
CAE model					

Fig. 18 CAE softening model conditions

Table 3 Laser welding conditions

Condition	1	2	3
Welding speed (m/min)	1.0	2.5	8.0
Laser power (kW)	3	6	10

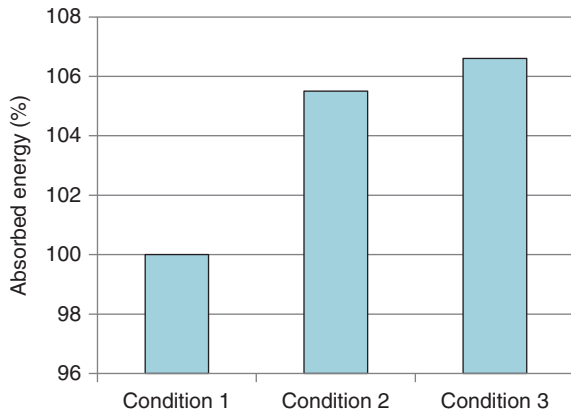


Fig. 21 Absorbed energy

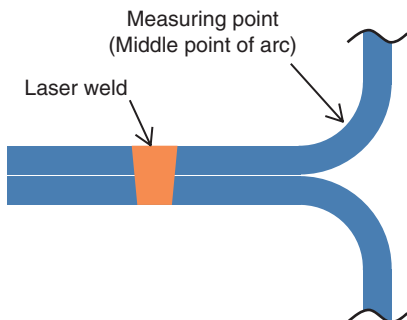


Fig. 22 Temperature measuring point

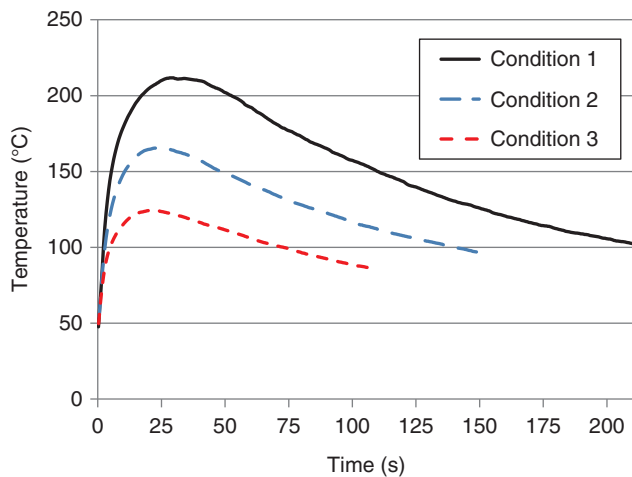


Fig. 23 Temperature history at middle point of arc

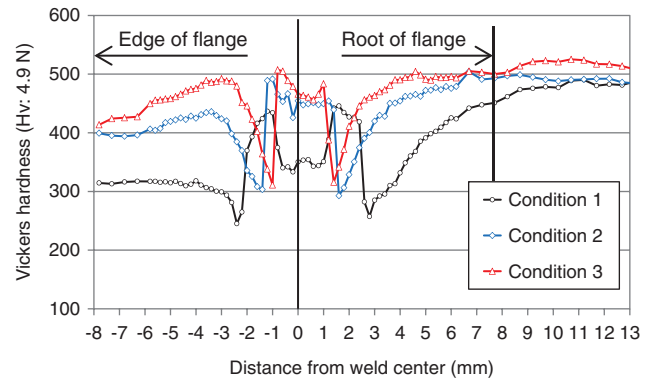


Fig. 24 Hardness test results of laser weld

5. 結論

ホットスタンプ材を用いた構造体における、溶接時の熱による強度低下の要因解明をおこない、以下の結論を得た。

- (1) ホットスタンプ材において、溶接の熱によって材料が軟化することで、吸収エネルギーが低下する仕組みが明らかになった。
- (2) CAE 解析により、材料軟化時の強度特性を CAE モデルに反映することで、構造体強度性能の予測ができる。
- (3) 構造的に応力分担の大きい稜線部の軟化が、構造体強度性能低下に大きく影響する。

参考文献

- (1) Marukawa, T., Shoji, Y., Nakamura, M.: Euro Car Body 2017, Honda ACCORD, (2017)
- (2) Palmquist, N., D'Elia, A., Nedic, S.: Euro Car Body 2016, Volvo V90, (2016)
- (3) 山崎一正, 佐藤浩一, 徳永良邦: 超高強度冷延鋼板のスポット溶接継手の強度特性, 溶接学会論文集, 第 17 巻, 第 4 号, p. 553-560, (1999)
- (4) 富士本博紀, 泰山正則, 上田秀樹, 上路林太郎, 藤井英俊: ホットスタンプ処理されたスポット溶接継手の静的強度特性, 溶接学会論文集, 第 33 巻, 第 2 号, p. 144-152, (2015)
- (5) 富士本博紀, 福井清之, 岡村一男, 宮原光雄, 中山英介: 高張力鋼板スポット溶接継手の強度と破断形態の検討, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 105-02, p.5-8, (2002)
- (6) Tarr, S.: Body Technology of Honda New NSX, 自動車技術会春季大会フォーラム, 車体の最新技術 2017, No. 17, FORUM-Y8, p. 1-20, (2017)

- (7) 大岡久康, 鈴木敦, 後東光繁, 大塚啓太, 岡田安正:短ピッチスポット溶接技術の開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 25, No. 2, p. 81-86
- (8) <http://www.honda.co.jp/factbook/auto/N-WGN/201311/p22.pdf>
- (9) 大岡久康, 野村友大:短ピッチスポット溶接を用いた車体の軽量化, 溶接学会誌, Vol. 84, No. 7, p. 509-513, (2015)

■ 著 者 ■



大岡久康



野村友大



河津政裕

鷹栖ブルーピンググラウンド 新設 US コース

Development of New US Evaluation Course in Takasu Proving Ground

浅田 隆 二*

Ryuji ASADA

工藤 博 之**

Hiroyuki KUDO

松倉 剛 克*

Takekatsu MATSUKURA

加藤 紘**

Ko KATO

唐崎 英 史*

Eiji KARASAKI

要 旨

北米市場向け新型車両の現地適合性を検証するための専用コースを北海道の鷹栖ブルーピンググラウンドに新設した。現地コースの走行状態と頻度を分析し、特徴が類似する区間を集約したコースレイアウトにより、走行フィールをそのままに 35 km あった走行距離を新設コースでは 16 km に縮小した。その結果、現地で約 60 分を要した走行時間を 15 分に短縮した。さらに、乗心地の再現に必要な路面の短周期で微小な振幅のうねりを設計し施工するため、専用の治具を用いて表層のうねりを舗装する工法を考案し、現地走行で課題となる車体振動を再現した。その結果、鷹栖ブルーピンググラウンドにおいて、現地特有のドライビングフィールを短時間で検証できる US コースを実現できた。

ABSTRACT

An evaluation course was newly developed at the Takasu Proving Ground in Hokkaido to verify the compatibility of new type vehicles for the North American market with local road conditions. The driving states and ratio of occurrence on the evaluation route in the US were analyzed, and a course layout that aggregates sections with similar characteristics was created. The new course reduced the driving distance from 35 km to 16 km while maintaining the same driving feel. This shortened the driving time, from approximately 60 minutes for the evaluation route in the US, to 15 minutes. In addition, a paving method that uses a special jig to create surface undulation was devised, designing and constructing the undulating road surface with small amplitude as well as short wavelength needed to reproduce the ride comfort. This enabled to reproduce the body vibration that is an issue when driving in the US. These results realized a US evaluation course in the Takasu Proving Ground that enables verification of the driving feel unique to US road conditions in a short time.

1. まえがき

Honda は、1958 年に初めての自社テストコースを開設して以降、増大する機能テストにともない栃木ブルーピンググラウンド (以下、栃木 PG) を 1979 年に開設した。さらに 1990 年には、北海道に鷹栖ブルーピンググラウンド (以下、鷹栖 PG) を開設し、点在していた寒冷地テストを集約し、安全なテスト環境の中で車両の安全性、機能性を検証できる領域を拡大してきた (Fig. 1)。

栃木 PG には高速走行するクルマの安全性を検証する周回コースや、サーキットから山間部の曲がりくねった道でのハンドリング性能を検証するためのワインディングコースなどが設置されている。これらのコースは Honda 車の骨格を鍛え、Honda 車の開発に貢献している。

鷹栖 PG では益々増大する栃木 PG での機能テスト需要を補完するコースに加え、ドイツのアウトバーンのような高速走行における車両の機能性を安全に確認できる高速周回コースを 1995 年に開設した。さらに 2000 年以降は、欧

* PG 管理室

** 日本道路株式会社

州郊外の一般道を模した EU 郊外コースなど、安全性、機能性に加え、お客様の使用環境で車両性能を評価できるテスト環境の整備もおこない、初代 Fit 以降、Honda 車のテストに活用されている。

近年の車両開発では、初期段階での開発期間の短縮を目的としたシミュレーション技術の発展^{(1),(2)}により、安全性、安定性、快適性に関わる基本性能の予測精度が向上し、コース追加の要望は少なくなってきた。

しかし、一般道にあるアップダウンをともなう旋回コースなど、パワートレイン性能とハンドリング性能との複合性能の評価ができるコースへの要望が高くなっている。さらに、車両の安定性、応答性、乗心地などを向上する制御デバイスに加え、先進運転システム (ADAS)、自動運転のためのデバイスも実装されるなど、制御システムの検証に必要なコースへの期待も大きくなっている。

複合性能の評価や先進デバイスを複合して実装する車両の評価では、完成車での整合性や乗員フィードバックが重要となるが、これまでに施設したコースだけでは、すべての検証を実施することは容易でない。

また、北米向けは、開発モデル数が多く、それぞれのモデルに高い熟成度が求められるため、現地での検証に多くの時間を要している。

そこで、北米向け開発モデルの現地テストを国内で代替することのできるコースを鷹栖 PG に新設した。本報では、新設した US コースについて紹介する。

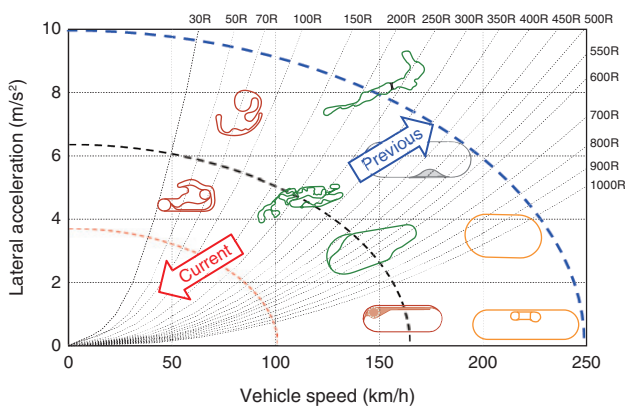


Fig. 1 Demand for test course development

2. ねらい

北米機種の現地テストを代替するため、以下のねらいを実現する US コースを鷹栖 PG に新設した。

- (1) 現地コースの特徴を再現しつつ、敷地内に施設できるコースレイアウトであること
- (2) 現地で課題となる複合的な性能評価と乗心地の評価ができること

3. 現地コースの特徴

北米市場向け量産モデルの現地検証は、ロサンゼルスにある現地法人 Honda R&D Americas, Inc. を基点に、約 35 km、所要時間約 60 分のルートで実施されている。このルートは大きく特徴の異なる City, Hill, Suburb, Freeway の四つのエリアに分類することができる。

City では交差点を除き直線路が続く、車速は低いが高頻度な加減速が求められる。Hill ではアップダウンのある旋回半径の小さいカーブを City より高い速度で走行することが求められる。Suburb ではアップダウンの多い直線路を Hill と同程度の速度で一定走行することが求められ、Freeway では直線とアップダウンのない旋回半径の大きいカーブを高車速で走行することが求められる。

これら四つのエリアの代表的な風景を Fig. 2 に示す。

実際に交通流に乗って走行した際の車速変化の一例を Fig. 3 に示す。



Fig. 2 Specific views of evaluation route in US

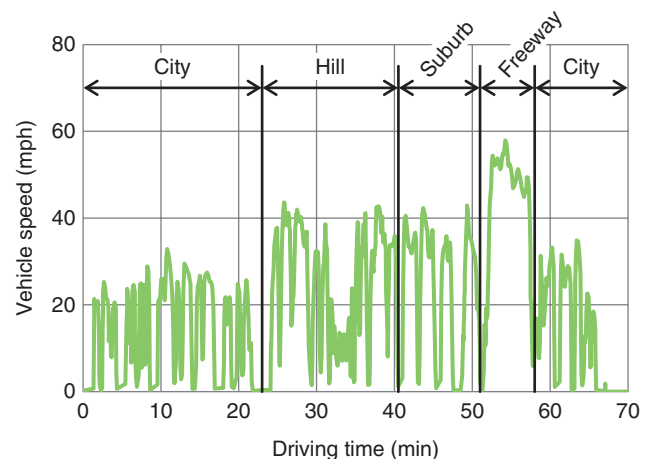


Fig. 3 Vehicle speed during evaluation route driving

次に、分類されたエリアをさらに特徴の類似したセクションに区切り、各セクションでの旋回半径と路面縦断勾配との関係を比較した結果を Fig. 4 に示す。この図では、同じ特徴の区間の距離を円の大きさで表し、旋回半径を逆数にすることで直線がゼロになるようにした。図に示すように、前述の四つのエリアの特徴を定量的に表しており、City, Suburb, Freeway に比べ、Hill が傾斜や旋回半径の変化に富んだコースであることが確認された。このように、パワートレイン性能とハンドリング性能との複合的な性能を評価するためにはアップダウンの中で旋回するコースを再現することが必要であることがわかった。

次に、乗心地が課題となる現地 Suburb を走行したときのシート振動の一例を Fig. 5 に示す。

開発エキスパートのコメントと測定結果の比較より、Suburb 走行においては 10 Hz から 20 Hz の周波数領域における振動レベルを再現することが乗心地フィールを再現するために必要であると考えた。

乗心地性能に影響する路面のうねりは Fig. 6 に示すように一般的に進行方向の波長と高さ方向の振幅により表すことができる。

路面からタイヤへの入力周波数は車速に依存して変化する

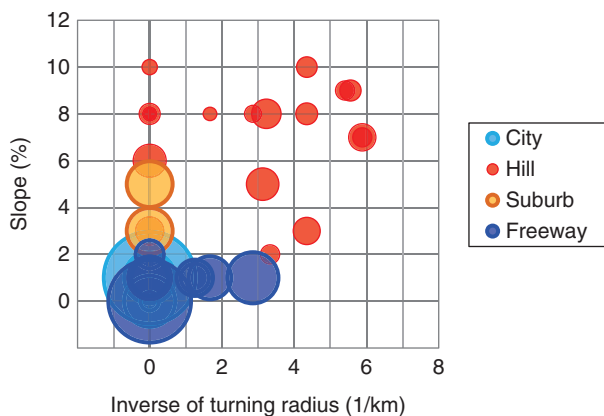


Fig. 4 Characteristics of each divided section of evaluation route in US

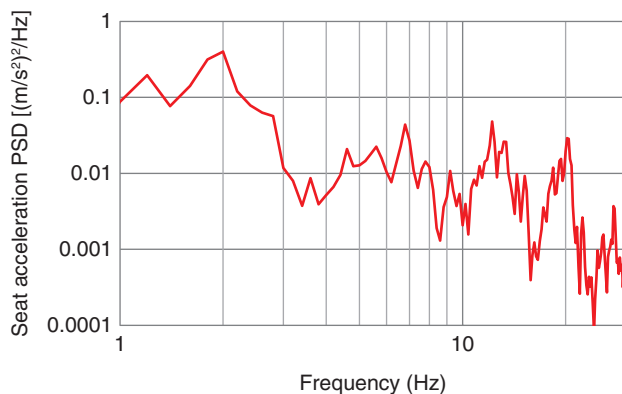


Fig. 5 Seat vibration during suburb area driving

るため、現地での乗心地振動を再現するためには、走行速度と車体の振動レベルを把握した上でコース路面プロファイルを決める必要がある。

そこで、現地で課題となる乗心地振動を再現するため、現地コースの路面プロファイルを測量した。四つの区間に分けて測量した路面の波長と振幅の平均を Fig. 7 に示す^{(3), (4)}。測量結果より、Fig. 2 のようなフラットに見える路面でも、一般的なテストコースや日本の高速道路よりも短周期で振幅の大きいうねりが現地コースのいずれの区間にも存在していることがわかった。

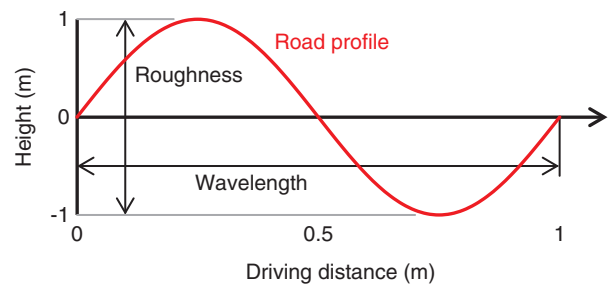


Fig. 6 Definition of pavement roughness

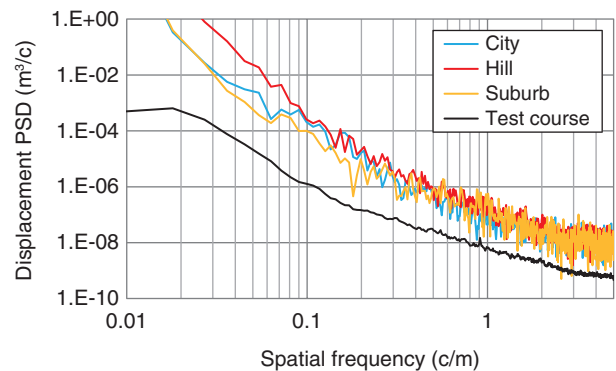


Fig. 7 Pavement roughness of evaluation route in US

4. 新 US コースの設計

新 US コースでは、既設コースの一部を転用するとともに、鷹栖 PG に隣接する傾斜地を活用しコースをレイアウトした (Fig. 8)。

4.1. 平面レイアウトの設計

Fig. 4 に示した現地コースの特徴に基づきコース設計をおこなった。Freeway は既設高速周回コースの一部を走行することで代用できることがわかった。City と Suburb は相当する既設コースが無かったため施設エリア内に新設した。Hill は、既設エリア内に現地のような高低差を有していないため、隣接する傾斜地を新たに造成し新設した。

Fig. 9 に Hill コースの特徴を現地と PG で比較した結果を示す。図に示すように、旋回半径と傾斜の関係において現地コースに似た特徴を PG コースに再現することができた。

さらに、現地の特徴の分布比率を維持しながら City, Hill, Suburb, Freeway コースを効率よく巡回できるようにコースをレイアウトし、現地の 35 km のコースを 16 km に短縮した。

4.2. 路面プロファイルの設計

現地の乗心地を再現するため、一般的な道路とテストコースを施設する際の品質要求基準^{(5),(6)}の違いを考慮しながら、路面プロファイルの設計をおこなった。一般道路とテストコースの品質要求特性の概要を Table 1 に示す。

Fig. 7 では、現地コースには波長が 1 m 程度で、振幅が ± 2 mm 以下のうねり成分が多く含まれていることを示していたが、Table 1 に示すように一般道路の基準では ± 2 mm 程度の振幅のばらつきを許容しているため、現地の路面形状を忠実に再現することは容易でない。

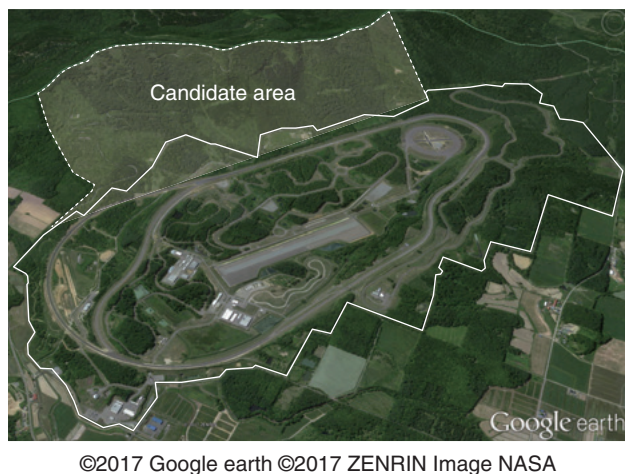


Fig. 8 Candidate area for new US evaluation course

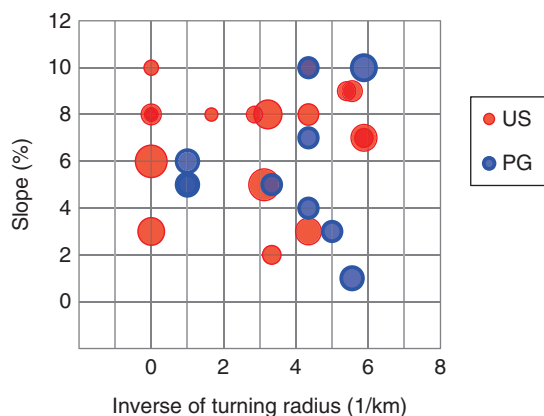


Fig. 9 Comparison of hill course characteristics

Table 1 Quality requirements for road construction

	Public road	Test course	
		High speed oval etc.	Ride road
Purpose	Driving safely for all cars under the law	Testing vehicles safely and stably at high speed	Evaluating vehicle vibration stably for a long period
Function	Stability, durability		
	Flatness	Flatness Surface strength Friction stability	Surface profile Wave length Amplitude
Quality requirement	Height, thickness, width, compaction density etc.		
	Flatness Friction	Flatness, Friction (High grade)	Road roughness Spatial frequency
Validation	Variance (± 2 mm)	—	Tolerance (± 1 mm)
Road structure	Surface course	Spread and leveled pavement made of asphalt mixture	
	Base course		
	Upper sub-base	Spread and leveled pavement made of asphalt mixture or crushed stone for mechanical stabilization	
	Lower sub-base	Spread and leveled structure made of crushed stone for mechanical stabilization	
	Anti-frost layer (Cold region)	Spread and leveled structure made of crushed stone	
	Subgrade	Leveled structure made of shaped soil	

4.3. 路面プロファイル設計値の検証

現地での乗心地振動再現に必要な路面波長と振幅の再現精度を確認するため、台上加振により設計値とする路面振幅の妥当性を検証した。Fig. 10 に現地コースを走行した際の車体振動と、測量によって得られた路面プロファイルで加振した結果に、振幅レベルを補正した測定結果を示す。

この結果、現地での車体振動を再現するためには、測量で得られた路面振幅より小さい ± 1 mm の振幅を忠実に再現しなければ 10 Hz 以上の乗心地振動を再現できないことがわかった。

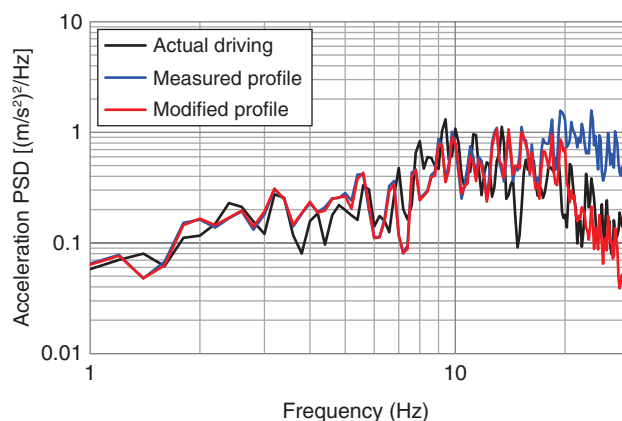


Fig. 10 Road profile correction by 4 poster testing

5. 短波長、微振幅うねりの再現

前述のように、平坦性を重視する一般道のための道路施工方法では乗心地を再現するために必要な 1 m 前後の波長で ± 1 mm の振幅をねらいどおり施工することは容易でない。そこで、通常は平坦性を重視する表層の舗装において、アスファルトフィニッシャを波形形状に加工したガイ

ドレールの上をガイドに沿って走行させることで、ねらいとする 1 m 前後の波長で±1 mm の振幅を忠実に再現するため 3 次元舗装工法と呼ばれる工法を考案し適用した (Fig. 11)。

この工法を用いることにより、Fig. 12 に示すように現地での乗心地を再現するために必要な短波長での路面振幅を設計値どおりに再現することができた。



Fig. 11 Proposed surface paving method

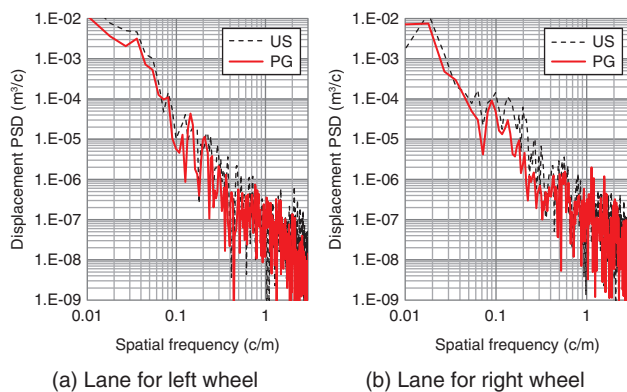


Fig. 12 Comparison of pavement roughness of suburb course

6. 検証結果

完成した新 US コースの概要を Fig. 13 に示す。このコースではスタート地点より高速周回コースの内側に新設した City コースに進出し、City コース終了後は連絡路に沿って高速周回コース下のトンネルをくぐり、図中の矢印に沿って新設した Hill コースにアクセスできる。Hill コースは中央部から入場し両端で U ターンするルートとなっている。高速周回コースの外側に新設した Suburb コースへは連絡路を通して移動することができ、Suburb コースか

ら Freeway コースとして用いられる高速周回コースへは速度を維持して入場できるよう進入レーンを設置して接続した。

この新 US コースでは、Fig. 2 に示した四つのエリアを、Fig. 3 に示した現地コースと同じ順序で走行することができるが、現地で約 35 km あったルートを 16 km に短縮し、かつ、加減速と停止の頻度を少なくしたことにより、現地で約 60 分要した走行時間を 15 分に短縮することができた。

現地走行フィードの再現性を検証するため、現地コースと新設したコースを走行した結果とを比較する。

Fig. 14 に、走行時の横加速度とヨーレートの関係を示す。図に示すように、新 US コース走行時の横加速度とヨーレートの関係は現地と同じ傾きを示していることからテストコースの平面レイアウトが現地コースと同じ特徴を有していることが確認できた。

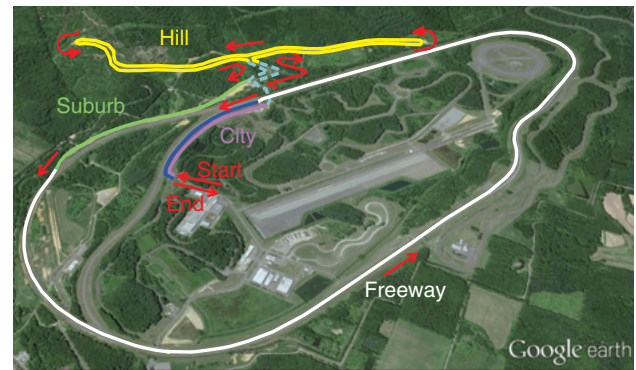


Fig. 13 Overview of new US evaluation course

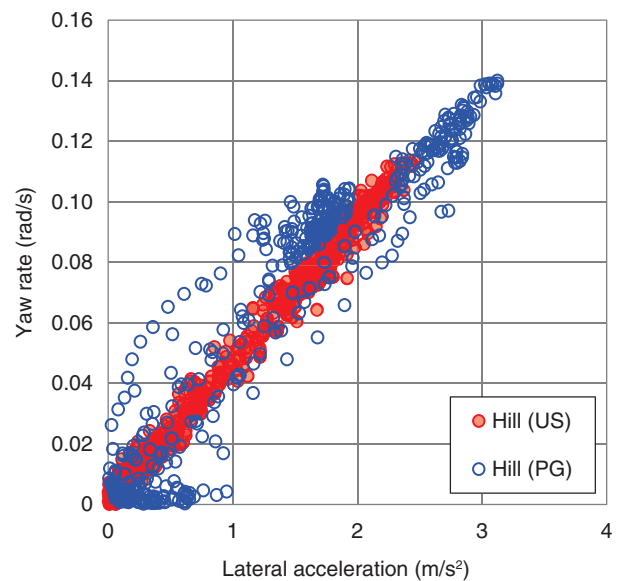


Fig. 14 Comparison of lateral acceleration and yaw rate

Fig. 15 に乗心地フィールが課題となる Suburb 走行におけるシートの上下振動を比較した結果を示す。

図に示すように、新 US Suburb コース走行時の上下振動はねらいとした 10 Hz から 20 Hz の周波数域において現地コースと同レベルの振動となっていることから、テストコースの路面形状が現地コースの乗心地フィールの特徴を再現していることが確認できた。

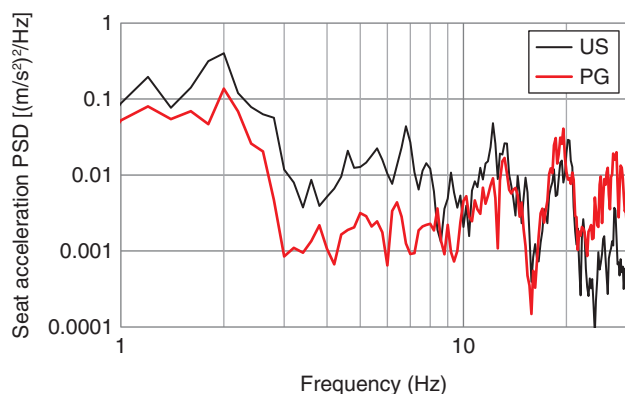


Fig. 15 Comparison of seat vibration during suburb course driving

7. まとめ

北米向けモデルの現地テストを国内で現地より短時間で検証できる鷹栖新 US コースを設置することができた。

- (1) 四つのエリア毎に現地の特徴の分布比率を維持しながら短縮し、現地で 35 km であったコースを 16 km に短縮することで、敷地内に施設できるレイアウトとした。その結果、現地で約 60 分要した走行時間を 15 分に短縮できた。
- (2) 旋回半径と縦断傾斜の関係において現地コースの特徴を再現することで複合的な性能評価ができるようになった。また、コース表層の舗装方法を考案し、路面波長 1 m で振幅 ± 1 mm のうねりをねらいどおり施工することで乗心地の評価ができるようになった。

参考文献

- (1) 豊島貴行, 松澤俊明, 伊藤憲悟, 遠藤喜章, 高野広喜, 牛村智也: 量産車の MBD におけるシャシ性能設計技術の構築, Honda R&D Technical Review, Vol. 29, No. 1, p. 49-58
- (2) 大滝雄介, 日下馨, 中原淳, 久世正文: ハンドリングと乗心地を両立するための非線形 CAE 技術, Honda R&D Technical Review, Vol. 29, No. 1, p. 151-159
- (3) ISO8068: 1995, Mechanical vibration – Road surface

profiles – Reporting of measured data

- (4) (社)自動車技術会: 自動車技術ハンドブック 1 基礎・理論編, p. 246-247, (2015)
- (5) 国土交通省: 都市・地域整備局長・道路局長通達 舗装の構造に関する技術基準について, (2001)
- (6) 栗津清蔵, 浅野繁喜, 村尾豊, 藤岡宏一郎, 山本竜哉: 絵とき 土木施工, オーム社, p. 93-109, (2012)

■ 著 者 ■



浅田 隆二



松倉 剛克



唐崎 英史



工藤 博之



加藤 紘

CFRP RTM 成形におけるギャップ金型技術の開発

Development of Gap Mold Technology for RTM of CFRP Parts

菅 野 大 行*

Hiroyuki KANNO

高 塚 隆 行*

Takayuki TAKATSUKA

清 本 弘*

Hiroshi KIYOMOTO

安 斎 正 広*

Masahiro ANZAI

西 野 文 悟*

Bungo NISHINO

松 本 恒 平*

Kohei MATSUMOTO

梶 浦 陽 平*

Yohei KAJIURA

要 旨

CFRP RTM 成形における金型内の圧力低減手法であるギャップ RTM 成形を、位置制御機能を持たない通常油圧プレス設備で実現できる金型構造を開発した。真空工程から樹脂注入工程において金型に必要な一定のギャップ量を保持するためにガススプリングを用いた。また、真空工程時の負圧と樹脂充填時の正圧の双方に対応できる専用シール形状を開発した。以上の技術を適用した金型を用いてギャップ RTM 成形をおこなった結果、大型部品であるロアダッシュボードにおいても金型内の圧力低減を実現するとともに、良好な成形品を得ることができた。

ABSTRACT

A mold structure making it possible to conduct gap resin transfer molding (RTM), a method that reduces the internal pressure of the mold during molding of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) parts, using standard hydraulic pressing equipment with no position control function has been developed. Gas springs have been employed in order to maintain the necessary fixed gap in the mold from the vacuum process to the resin injection process. In addition, a specialized seal shape able to withstand both the negative pressure produced during the vacuum process and the positive pressure produced during the resin filling process was also developed. The results of gap RTM using a mold applying these technologies demonstrated that they made it possible to both realize reduced internal mold pressure and produce a good quality molded part even in the case of a large part (a lower dashboard).

1. はじめに

近年の環境問題に対する取り組みとして自動車の低燃費化が課題となっている。燃費向上手法のひとつとして自動車の軽量化が検討されており、その実現手段として軽量で高強度な素材である炭素繊維複合材料 Carbon fiber reinforced plastic (CFRP) の適用が挙げられる。しかし、CFRP 部品は材料費だけでなく、成形サイクルが数十分から数時間と長いことによる製造コストも高い。そのため、レース車両や航空機などの高価であっても軽量化が求められる少量生産部品に限られており、自動車部品に適用するには安価に大量供給が可能な製造手法が必要である⁽¹⁾。その手法のひとつとして、連続的に成形でき形状自由度も高い Resin transfer molding (RTM) 成形手法が期待されている。

RTM 成形工程の概要を [Fig. 1(a)] に示す^{(1), (2)}。はじめに金型内にあらかじめ賦形したシート状の繊維をセットし、樹脂含浸の促進とエアボイドの発生を抑えるために金型内を真空引きする。次に金型内に液体樹脂を注入し繊維への含浸をおこない、加熱硬化させた後に製品を取り出す。この RTM 成形を安価にする手段としてハイサイクル化があり、そのひとつに成形工程の樹脂注入の高速化がある。しかし、金型を閉じた状態で樹脂を高速注入すると金型内圧力が高くなるため、高圧樹脂注入が可能な専用設備が必要となる⁽³⁾。また、部品の大型化にともない注入圧がより高圧になるため、プレスに必要な荷重も高くなる。このように、注入設備やプレス設備に求められる能力から設備費用が高くなり、ハイサイクル化の費用効果が得られにくくなる。

そこで、型内圧を低減する手法としてギャップ RTM 成

*四輪 R&D センター

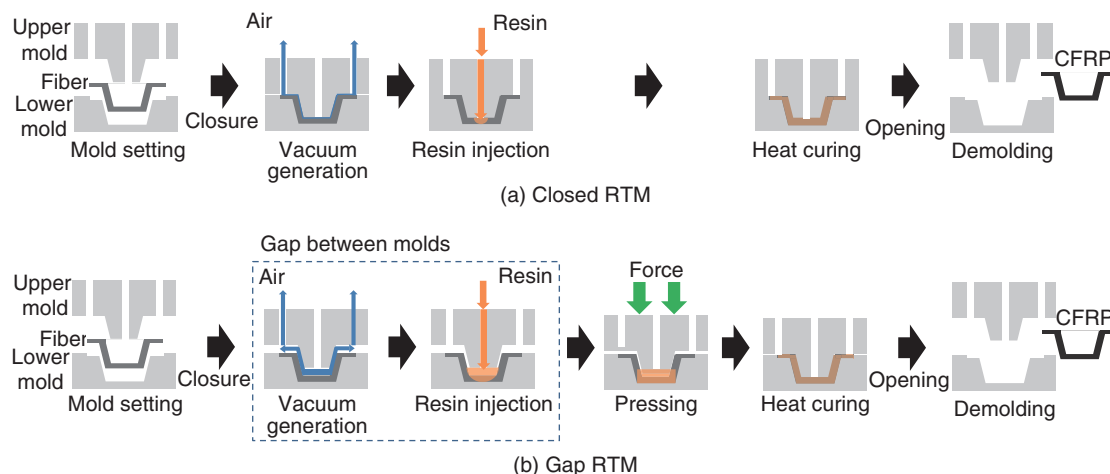


Fig. 1 RTM process

形が提案されている^{(4), (5)} [Fig. 1(b)]. ギャップ RTM 成形は、上下金型間にギャップをもたせて樹脂を注入し、その後の型締め工程で樹脂を含浸させ金型全体に充填させる。この手法では高速樹脂注入をおこなっても型内圧が上がらないため、大型部品でも RTM 成形のハイサイクル化が可能である。しかしながら、この手法はギャップ量の制御が必要であるため、サーボプレスなどの位置制御可能な高価な設備が必要となる。そこで通常の樹脂成形で用いる油圧プレス設備でギャップ RTM 成形が可能であれば、設備費用が低減できると考えた。

本稿では、ギャップ RTM 成形による型内圧低減を通常の設備で実現する金型技術について報告する。

2. 製法の考え方

通常 RTM 成形では予備賦形したシート状の繊維をセットした金型内に樹脂注入をおこなう。この時、繊維は樹脂流動の抵抗になる。流路となりうる空間をつくり出すことで抵抗緩和に繋がり、金型内の圧力低減になる。この考え方をを用いて、樹脂の注入時間短縮を実現したのがギャップ RTM である。

樹脂流速と圧力の関係は、粘性流体が一定管径の円筒管内を流れる場合には Hagen-Poiseuille law により式 (1) のように示される。

$$Q = (\pi a^4) / 8 \times \Delta P / \mu l \quad (1)$$

Q : 流量, a : 管半径, ΔP : 圧力勾配, μ : 流体粘度, l : 管長

成形時間の短縮をねらい、単位時間あたりの注入流量 Q を増やすと、式 (2) からわかるように圧力勾配 ΔP は増加する。

$$\Delta P / l = Q \times \mu \times 8 / \pi a^4 \quad (2)$$

圧力勾配は粘度 μ に比例し、管半径 a の 4 乗に反比例する。ギャップ RTM 成形は上下金型間のギャップにより流動断面積が広げられるため、時間当たりの注入量を増加することができる。これにより型内圧の低減と注入時間の削減が可能となる。

RTM 成形では樹脂含浸検討について式 (3) に示す Darcy's law が適用されることがほとんどである。

$$Q = \frac{-kA}{\mu} \frac{\Delta P}{L} \quad (3)$$

Q : 流量, k : パーミアビリティ, A : 断面積, ΔP : 圧力勾配, μ : 流体粘度, L : 流動距離

ギャップ部分は論理的には繊維密度がゼロとなり、もともこの Darcy's law の運用にはなじまないことがあるが、Navier-Stokes Equation を併用する研究⁽⁶⁾などの結果から考察すると、Darcy's law で用いられるギャップ部分でのパーミアビリティの値は Darcy's law から考えられる繊維部分の値と比べ 1/100 ないし 1/1000 になると考えられる。

一方で、型内真空工程では真空圧に金型投影面積を乗じた力が金型を閉じる方向に発生し、ギャップ量が減少する傾向を有する。ここでは油圧プレス機の位置制御機能、金型剛性などがギャップ精度の要因として関与するので、設備上も高コスト化を招きやすい。そこで、本開発ではスプリングの反力を用いた金型構造を検討する。

なお、目標要件としては任意のギャップ量を真空工程に必要な 120 秒間保持できることとした。

また、RTM 成形用金型では真空工程時の負圧と樹脂充填時の正圧とに耐えられる二つの性能をもったシールが必要となる。通常の RTM 成形では真空圧、樹脂圧ともに型締めで押し潰した際に性能を発揮するシール構造で対応が可能である [Fig. 2(a)]。一方、ギャップ RTM 成形では金型にギャップがある状態でも、ない状態でもシール性能を満

足させるために、通常はシェアエッジのシール構造を用いる⁽⁷⁾[Fig. 2(b)]. シェアエッジ構造は金型のギャップ量にかかわらずシール性能を発揮するが、シール性能を保证するために高い金型精度が必要である。また、シールを設定する位置が金型外周部に限られるため、金型サイズが大きくなる。

本開発では、通常の RTM 成形用金型と同じシール溝構造でギャップ RTM 成形できるシール形状を検討した。目標要件は真空工程と樹脂注入後の型締め工程の二つにわけて設定した。真空工程ではギャップ量 5 mm、型内真空 5 kPa 以下を 120 秒間保持できることとした。ここでのギャップ量は賦形したシート状の繊維のスプリングバックを考慮し設定した。また、型締め工程では樹脂圧 8 MPa を 120 秒間保持できることとした。樹脂圧は想定する部品サイズとプレス設備能力から算出した上限値であり、保持時間は型締め工程に必要な時間である。

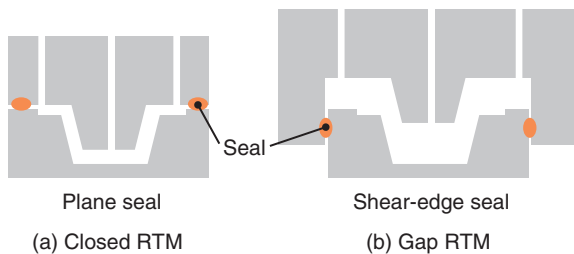


Fig. 2 Difference in seals for closed RTM and gap RTM

3. 真空工程におけるギャップの安定化実験

3.1. 実験構成

ギャップ RTM 成形プロセスにおけるギャップ量と成形のイメージを Fig. 3 に示す。スプリングには、真空工程では金型を閉じようとする力に抵抗してギャップ量を一定に保持し、型締め工程ではプレス設備からの荷重により、ギャップ量を 0 mm までストロークすることが求められる。

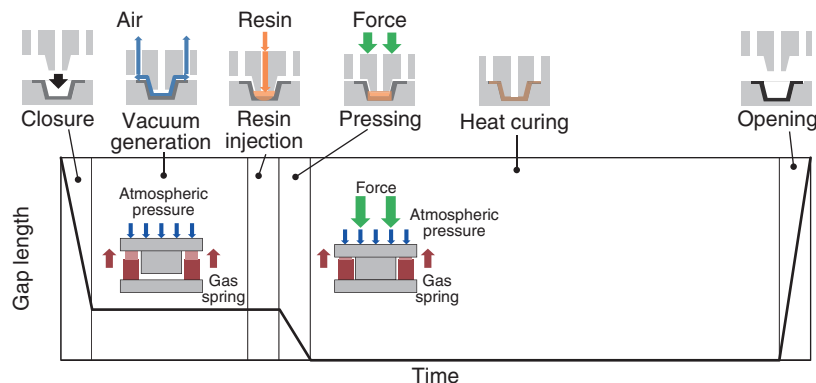


Fig. 3 Gap RTM cycle

そこで、スプリングにはガススプリングを採用した。ガススプリングは中に封入するガスの量を調整することにより、ストロークがはじまる初期荷重を自由に設定できる。金型内にこのガススプリングを複数個設置し、それらの初期荷重の和を金型の閉じようとする力以上に設定することでギャップ量を一定に保持できる。また、サイズがコンパクトであるにもかかわらず高荷重を発揮するため、スペースに限りのある金型への設置に適している。

なお、本実験では金型の荷重 - ストローク線図を Fig. 4 のように設定した。

3.2. 実験結果

ガススプリングによるギャップ保持性能を実際の RTM 成形金型を用いて検証した。プレス設備は位置制御機能を持たない油圧プレス設備を使用し、ギャップ量 5 mm から型内真空引きをおこないギャップの変化量を測定した。結果を Fig. 5 に示す。ガススプリングを設置しない場合ギャップ量は徐々に小さくなり、真空工程が 120 秒経過した後では 1 mm 以下となり、その後 40 秒ほどで金型は完全に閉じてしまった。このように、一般的な油圧プレス設備ではギャップ量を保持できないことがわかった。これに対して、ガススプリングを設置した場合は 5 mm のギャップ量を 120 秒以降も保持しており、ガススプリングのギャップ保持性能が示された。

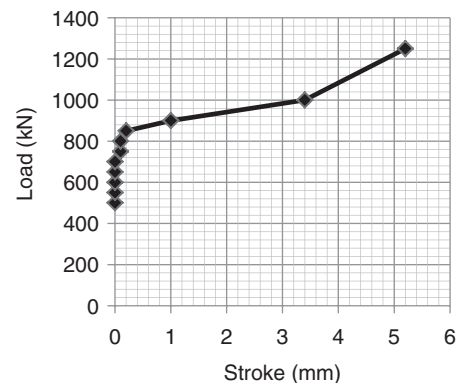


Fig. 4 Relationship between load and stroke for gas spring

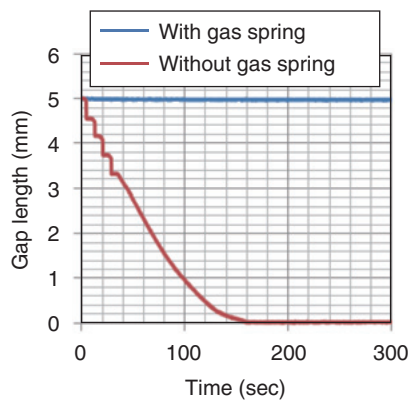


Fig. 5 Relationship between gap length and time during vacuum generation process

4. シール構造の提案と実験結果

4.1. 実験構成

通常の RTM 成形用金型のシール溝形状でギャップ RTM 成形を可能とするシール形状のコンセプトを Fig. 6 に示す。通常の RTM 成形用のシール形状 (i) は 5 mm ギャップ時には金型と接しない。この中実シールをギャップ分だけ伸ばしたシール形状 (ii) では、型締めした時にシールが溝へ収まりきらない。そこで、ギャップが 5 mm ある状態でも上下の金型と接触し、かつ型締め工程で荷重を受けつつ徐々に変形し最終的には溝内に収まることをねらい、o-ring の設計^{(8), (9)}を参考に中空シール形状 (iii) を考案した。シールの材質は樹脂の離型性や耐熱性からシリコンゴムとし、硬度はギャップ量が増える際の変形性を考慮して、JIS 規格の o-ring に求められる硬度⁽¹⁰⁾の範囲内で低く設定した。

検討したシール断面形状 (a) から (c) を Fig. 7 に示す。シール形状 (a) は頭頂部が荷重を受け、両脇の肉厚部が左右に膨らみすぎるのを防止することをねらい、頭頂部に向けて細く尖った形状とした。シール形状 (b) は、潰した時にねらった位置で折れるよう形状に変曲点を設けた。シー

		Gap 5 mm	Gap 0 mm
Solid shape	(i) Short type (for RTM)		
	(ii) Long type		
(iii) Hollow shape			

Fig. 6 Seal shape

ル形状 (c) は、(a)、(b) とは異なった考え方で、真空保持性をねらった上部リングと、溝への設置性および上部リングの収まり性をもたせた下部の角リングとを繋げた形状とした。また、潰した時により大きな反発力が発生するように、上部リングが下部リングに押し込まれた際に断面積が密になるように設計した。

4.2. 実験結果

5 mm ギャップ時と 0 mm ギャップ時のシールの潰れ方を Fig. 8 に示す。5 mm ギャップ時のシールはいずれも中空部の変形のみで、シール自体は圧縮されていない状態である。この状態でもすべてのシール形状において型内真空 5 kPa 以下を保持した。次に、型締め時の性能を比較する。シール形状 (a) は、変形時に中空部が内側に潰れず、溝外部に広がるため、金型を完全に閉じることができない。シール形状 (b)、(c) は、溝に収まり金型を完全に閉じることができた。次に樹脂圧保持性能の結果を (Fig. 9) に示す。シー

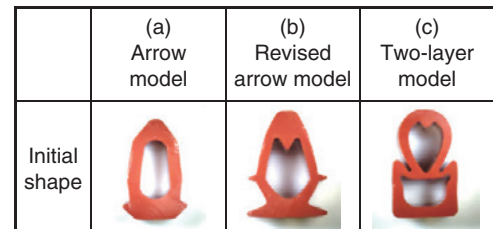


Fig. 7 Hollow seal shape

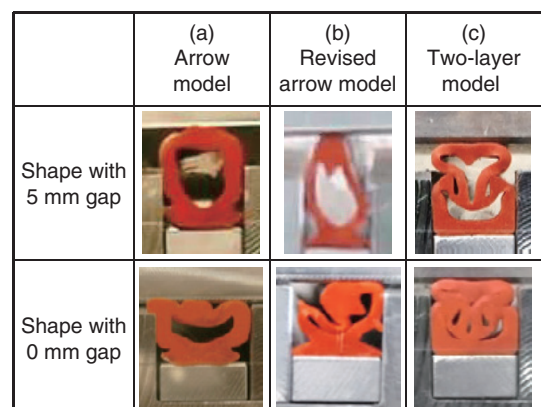


Fig. 8 Comparison of modified seal shapes

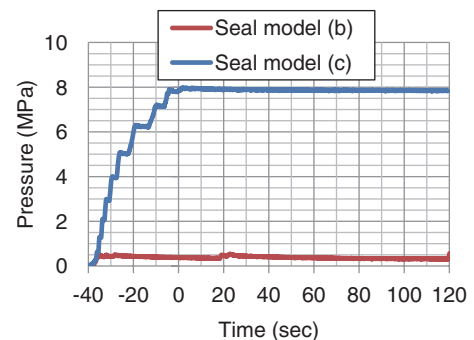


Fig. 9 Results of resin pressure test

ル形状 (b) は樹脂圧に耐えられず樹脂漏れが発生し、シール形状 (c) は目標である樹脂圧 8 MPa を 120 秒保持した。

シール形状 (b), (c) において、金型ギャップ量を 7 mm から 0 mm へと変化させた際のシールの溝内充填率と、シールと金型との接触面圧の関係を示す (Fig. 10)。溝内充填率はシール溝の断面積とシールの断面積とから算出し、接触面圧は感圧紙を用いて測定した。シール形状 (b) はギャップ量 0 mm となっても溝内充填率が 70% 程度であり、樹脂圧に耐えられなかった。対して、シール形状 (c) は溝内充填率が 90% 近くになり、シール反力により樹脂圧を保持できた。よって溝内に収まり充填率が高く面圧を保証できる上下二層構造を持つシール形状 (c) が、適正な断面形状であると判断した。

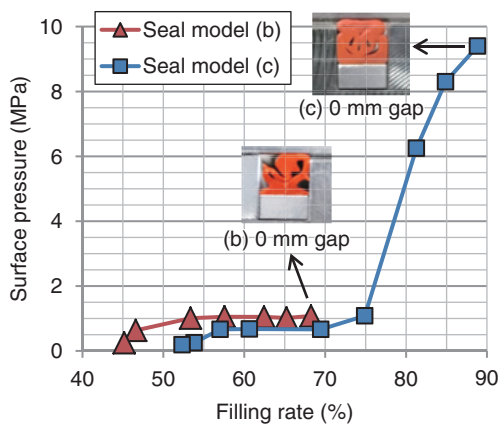


Fig. 10 Filling rate and surface pressure on seal contact area measured using pressure-sensitive paper

5. 成形実験

5.1. 金型基本構造

本研究によるギャップ保持技術とシール技術を既存の RTM 成形用金型に適用し (Fig. 11)、位置制御機能を持たない油圧プレス設備を用いてギャップ RTM 成形をおこなった。部品形状はロアダッシュボードで、金型サイズは 1.8 m × 1.2 m であり、型内圧測定用に圧力センサを 6 箇所設置した [Fig. 11(i)-(vi)]。また、ギャップ RTM 成形において樹脂注入と型締めとの二つの工程でどのように樹脂が充填するか把握するため、型内に温度センサを 24 箇所設置した (Fig. 12)。

5.2. 実験結果

ギャップ RTM 成形時のギャップ量変化を測定した (Fig. 13)。真空工程から樹脂注入工程まではギャップ量 5 mm を保持し、その後の型締め工程では金型が閉じきっていることがわかる。設定したガススプリングはギャップ量制御に対してねらい通りに機能することが示された。

さらに真空工程において、金型に設置した真空計が型内真空 5 kPa 以下を達成していることを確認した。また、Fig. 14 に示すように成形後の金型シール溝周辺部では、シール溝の外側に樹脂が漏れた様子はない。以上のことから、開発したシールは大型サイズの高金型でも真空圧および樹脂圧に対して機能することが示された。

成形時の樹脂温度と金型温度が異なることを利用して、温度センサの反応から各工程での樹脂の充填を確認した。

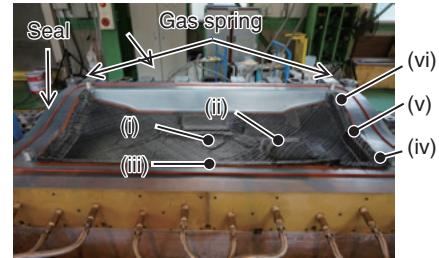


Fig. 11 Mold structure for gap RTM with gas spring, seal, and pressure sensor positions

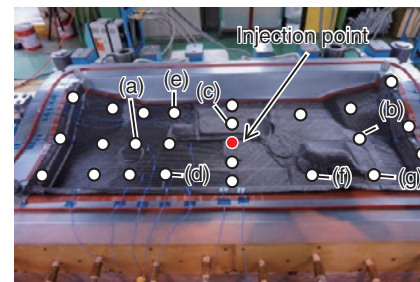


Fig. 12 Thermocouple measurement positions

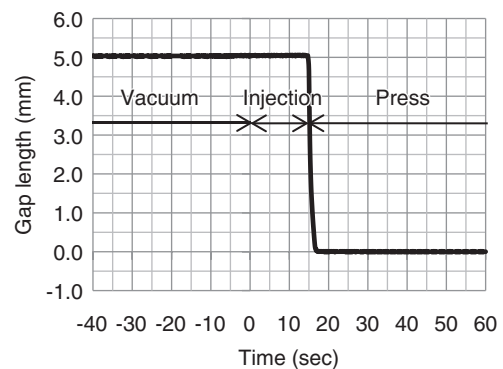


Fig. 13 Gap length in gap RTM process



Fig. 14 Result for gap RTM mold after shot

代表箇所 [Fig. 12(a)-(g)] の温度変化を Fig. 15 に示す。樹脂注入工程では、おおむね注入点に近い箇所からセンサが反応している。樹脂注入完了後も注入点から遠い箇所のセンサ (g) は反応せず、樹脂が到達していないことがわかる。その後の型締め工程ではすべてのセンサが反応し、型全体に樹脂が充填していることが示された。以上の結果から、各工程での樹脂の充填領域を推定した [Fig. 16(a)]。

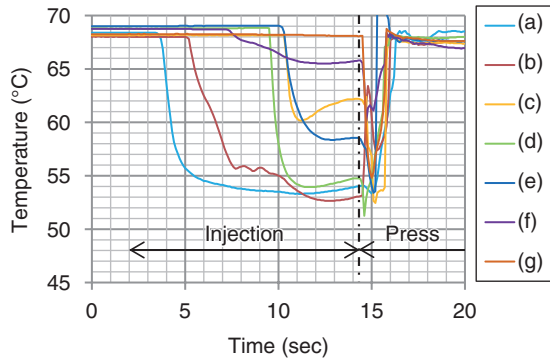


Fig. 15 Results for thermocouple temperature change

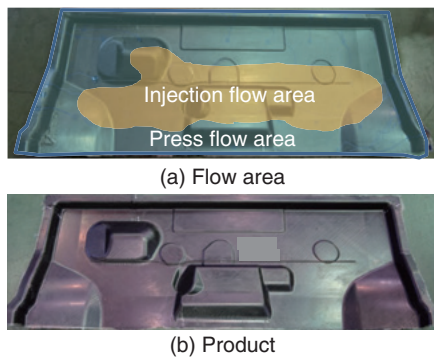


Fig. 16 Lower dashboard produced using gap RTM

Table 1 Comparison of test measurements and theoretical calculations using Darcy's law

	Measured pressure	Calculated pressure	Flow rate	Permeability	Cross-sectional area
Ratio with/without gap	146	100	3	100	3

成形品の外観を [Fig. 16(b)] に示す。異なる充填工程での外観上の差は見られず、未含浸部のない良好な成形がおこなえた。

同じ金型を用いた場合のギャップ RTM 成形と通常の RTM 成形との型内圧変化を Fig. 17 に示す。通常の RTM 成形では、樹脂注入速度が 80 g/sec で最大圧が 7 MPa を超えた。対して、ギャップ RTM 成形では 3 倍の注入速度である 240 g/sec でも注入工程での圧力上昇は見られなかった。その後の型締め工程で発生する最大圧も 3.5 MPa と通常の RTM 成形時の半分程度であり、樹脂充填に要した時間も半分以下であった。

Table 1 に Darcy's law による机上計算と本実験の比較を示す。ギャップ RTM 成形の垂直含浸プロセスはプレス機で決定されるので、本検討には含めず樹脂注入工程のみとする。ギャップ RTM 成形と RTM 成形における、それぞれのパラメータの比率を示し、繊維部分と空間のパーミアビリティの比率は 100 とした。流体粘度および流動距離は同じ値とした。実験値と計算値の比較は良好な結果を得ている。

高速樹脂注入でも型内圧を低減でき、CFRP 部品のハイサイクル成形手法として成立しうることを確認した。

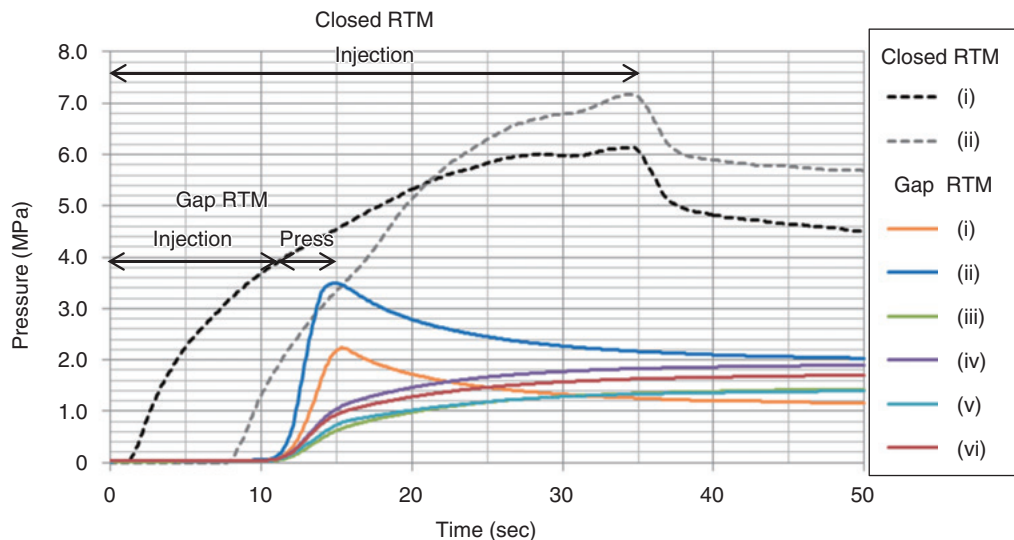


Fig. 17 Pressure profiles for closed RTM process (injection rate: 80 g/sec) and gap RTM process (injection rate: 240 g/sec)

6. まとめ

ギャップ RTM 成形を、位置制御機能を持たない通常油圧プレス設備で成形できる金型構造を開発した。

- (1) ガススプリングを金型に設置することにより、通常油圧プレス設備で真空工程の 120 秒間ギャップ量を一定に保持できた。
- (2) 専用シール形状を開発することにより、通常の RTM 成形用金型でギャップ RTM 成形を可能にした。ギャップ時の型内真空 5 kPa と、樹脂充填時の樹脂圧 8 MPa の双方を目標時間の 120 秒間保持できた。

参考文献

- (1) Brady, M., Brady, P.: Technology developments in automotive composites, Reinforced Plastics, Vol. 54, Issue 6, p. 25-29, (2010)
- (2) Young, W., Tseng, C.: Study on the Pre-Heated Temperatures and Injection Pressures of the RTM Process, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 13, p. 467-482, (1994)
- (3) Fais, C.: Lightweight automotive design with HP-RTM, Reinforced Plastics, Vol. 55, Issue 5, p. 29-31, (2011)
- (4) Simacek, P., Advani, S., Iobst, S.: Modeling Flow in Compression Resin Transfer Molding for Manufacturing of Complex Lightweight High-Performance Automotive Parts, Journal of Composite Materials, Vol. 42, p. 2523-2545, (2008)
- (5) JP, 2005-271551, A
- (6) Kobayashi, M., Dan, K., Baba, T., Yamakawa, K., Nakano, R.: VISUALIZATION EXPERIMENT AND NUMERICAL SIMULATION OF LIQUID IMPREGNATION WITH RACE-TRACKING FOR RTM PROCESS, 17th European Conference on Composite Materials (ECCM17), (2016)
- (7) Chang, C., Hourng, L., Chou, T.: Effect of Process Variables on the Quality of Compression Resin Transfer Molding, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 25, p. 1027-1037, (2006)
- (8) NOK 株式会社:B-g. O リングの設計基準, テクニカルノート, p. 130
- (9) JIS B 2401-2: 2012, O リングー第 2 部:ハウジングの形状・寸法
- (10) JIS B 2410: 2005, O リングーゴム材料の選定指針

■著 者■



菅野 大行



清本 弘



西野 文悟



梶浦 陽平



高塚 隆行



安斎 正広



松本 恒平

編集長 漆山 雄太 四輪 R&Dセンター
有馬 敏幸 四輪 R&Dセンター
石橋 正明 二輪 R&Dセンター
井ノ上雅次郎 四輪 R&Dセンター
笠井 聡人 パワープロダクツ R & Dセンター
桂井 隆 四輪 R&Dセンター
木村 芳彦 二輪 R&Dセンター
齋藤 俊博 四輪 R&Dセンター
塩崎 智夫 二輪 R&Dセンター
白木 晶子 四輪 R&Dセンター
須藤 晶 四輪 R&Dセンター
友永 久人 四輪 R&Dセンター
中原 淳 四輪 R&Dセンター
中村 美香 R&Dセンター X
西田 浩明 航空機エンジン R&Dセンター
長谷川忠明 R&Dセンター X
藤原 良也 R&Dセンター X
渡邊 生 パワープロダクツ R & Dセンター

編集協力 二輪 R&Dセンター論文委員会
パワープロダクツ R & Dセンター論文委員会
四輪 R&Dセンター論文委員会
R&Dセンター X 論文委員会
航空機エンジン R&Dセンター論文委員会

Honda は、Blue Skies for Our Children のグローバル環境スローガンを掲げ、研究所だけでなく全社一丸となって環境問題に取り組んでいます。

自動車排気ガスについては、米国カリフォルニア州が長年厳しい ZEV 規制を導入してきましたが、近年では中国も同様な NEV 規制の導入を決めました。また、ドイツのディーゼル問題に端を発し、主に大都市の環境汚染対策を一つの背景として、欧州各国でも内燃機関を動力とする自動車の生産、販売を制限するような流れになってきました。中国同様大気汚染に苦しむインドもその流れに追従しており、優れた環境対応技術の開発および商品への適用は待ったなしの状況です。

いままで自動車会社各社は、独自の内燃機関技術による他社との差別化、新規参入の抑制を図ってきましたが、これら厳しい規制の流れに対応するために、今後ラインナップの電動化が避けて通れない状況となっています。しかしながらパワープラントの電動化は部品点数の削減につながり、自動車産業構造を大きく変革する可能性があるため、Honda にも迅速かつ適切な対応が求められるところです。

Honda の技術力の原点である研究所は、この大きな変革の時代に持てる総力を最大限に発揮し、上記課題に対して All Honda のみならず、世界中の顧客の期待に応えてゆかなければならないと思います。

年二回発行する Honda R&D Technical Review は、その研究成果を記録するとともに、Honda の技術を世に問う発信の場として、積極的に活用されることを論文委員会一同とともに期待します。

—(藤原)—

発行所 株式会社 本田技術研究所

発行人 松 本 宜 之

編集人 Honda R&D Technical Review 編集委員会

事務局 〒321-3393 栃木県芳賀郡芳賀町下高根沢 4630 番地
株式会社 本田技術研究所 四輪 R&Dセンター
開発戦略室 技術広報ブロック 論文事務局
TEL: 028-677-3311(代表) FAX: 028-677-7775
E-mail: Tr_randd@n.t.rd.honda.co.jp
ホームページ: <https://www.hondarandd.jp>

印刷所 〒351-0024 埼玉県朝霞市泉水 2-8-21
協永堂印刷株式会社

Honda R&D Co., Ltd.