

Honda R&D

Technical Review
Vol.32 No.1

April 2020



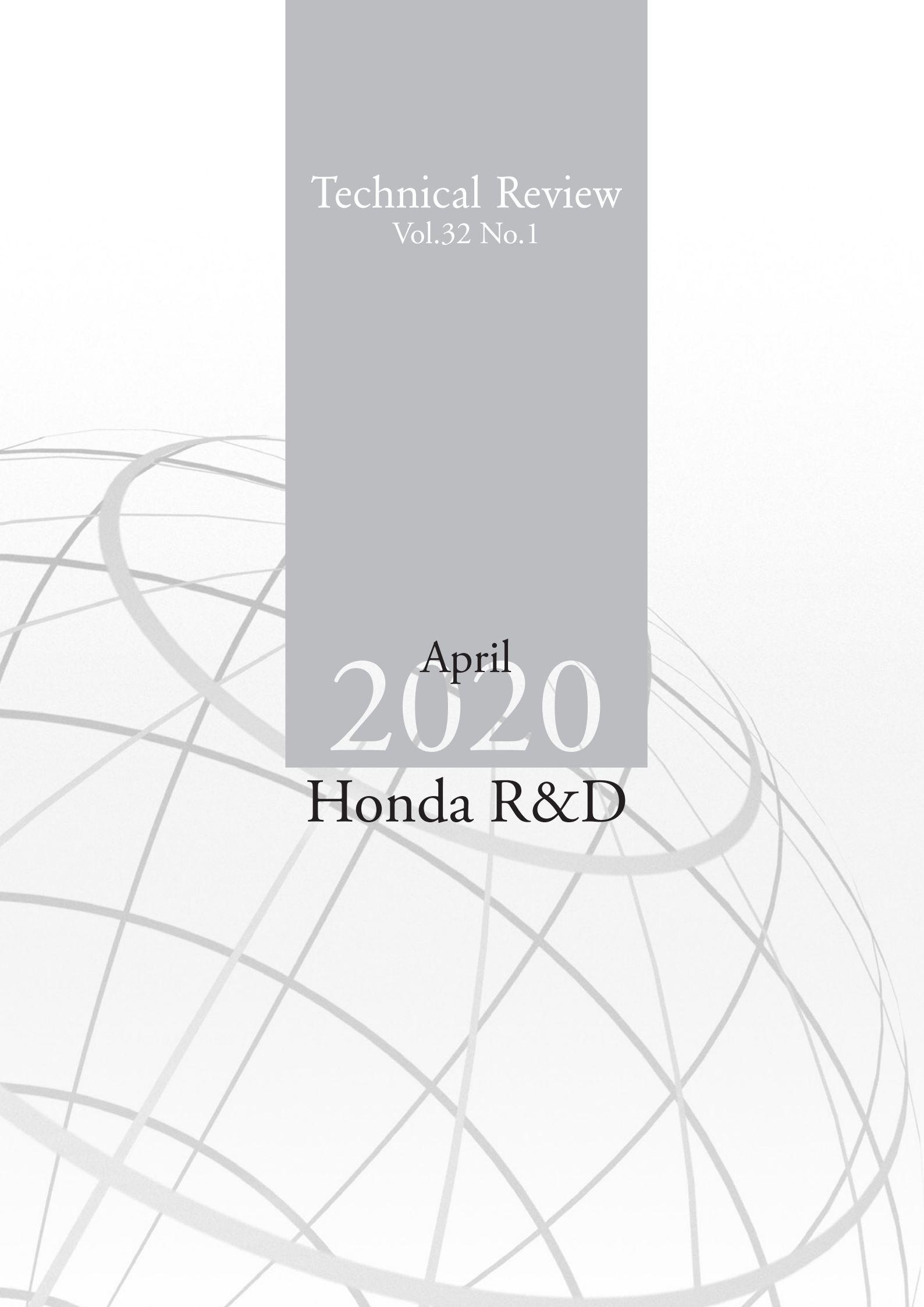
==== 表紙の言葉 =====

今作は『薄膜閉空間を用いた軽量な遮音材のメカニズム検討』をモチーフに表紙イメージ画を制作しました。

この表紙イメージ制作を通して、どんなミクロな視点においても、モノには計算によって導かれた必然の造形があることを学び、それぞれのテクノロジーの結実が存在していることを知って商品を手にすると、それは特別なモノに変わります。今までただの記号であったモノが、意味の塊へと変わる感動を、私はこの表紙にこめて発信したいと思います。



オートモービルセンター
佐々木 敦

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.32 No.1'. The year '2020' is printed in large white characters across the middle of this bar, with the word 'April' in smaller black text above it. Below the bar, the text 'Honda R&D' is centered in black.

Technical Review
Vol.32 No.1

April
2020

Honda R&D

目次

技術紹介

- ◇ 2018 Gold Wing 用電装技術の開発 – アイドリングストップシステムと Honda SMART Key システム –
北嶋 毅・寺西正裕・高山慶士・菊池 裕
安藤正訓・村上勝憲・倉田 周 1

- ◇ 2018 Gold Wing 用電装技術の開発 – インフォテイメントと HMI – 菊池 裕・小山内拓也 7

- ◇ 小型二輪車用廉価カードエッジ ECU の開発 武田裕一・猪瀬幸司
原田紀貴・菅野清幸 14

- ◇ 自動車用シートの耐久性を考慮した撥水撥油表皮材の開発 根本千香・林 里恵 23

- ◇ Honda RaaS Platform
クラウドとロボティクスを融合させるプラットフォーム – Robotics as a Service Platform. 東 治臣 32

論文

- ◇ 身体特徴の影響を考慮した着座負担低減シートの検討 太田 誠・平山健太・櫻井篤実 42

- ◇ 後面オフセット衝突 FMVSS 301R におけるリヤバンパビームの荷重分散技術
長谷川 厚・藤井隆之・松浦範和
清水友浩・三浦祐輔 49

- ◇ 薄膜閉空間を用いた軽量な遮音材のメカニズム検討 栗原育美・近藤 隆・山口誉夫 59

CONTENTS

Introduction of new technologies

- ◇ Development of Electrical Systems for 2018 Gold Wing -Idling Stop System and Honda SMART Key System-
 . . . Takeshi KITAJIMA・Masahiro TERANISHI・Keishi TAKAYAMA・Yutaka KIKUCHI
 Masakuni ANDO・Katsunori MURAKAMI・Hiroshi KURATA 1
- ◇ Development of Electrical Systems for 2018 Gold Wing -Infotainment and HMI-
 Yutaka KIKUCHI・Takuya OSANAI 7
- ◇ Development of Low-cost Card-edge ECU for Small Motorcycles
 Yuichi TAKEDA・Koji INOSE
 Motoki HARADA・Kiyoyuki SUGANO 14
- ◇ Development of Water- and Oil-repellent Fabric Considering Durability of Automotive Seat Fabric
 Chika NEMOTO・Rie HAYASHI 23
- ◇ Honda RaaS Platform
 Honda Robotics as a Service Platform Integrates Cloud and Robot Technology Haruomi HIGASHI 32

Technical papers

- ◇ Study of Seat for Reduction of Stress of Sitting with Consideration of Influence of Physical Characteristics
 Makoto OHTA・Kenta HIRAYAMA・Atsumi SAKURAI 42
- ◇ Load Distribution by Rear Bumper Beam in FMVSS 301R Test Protocol
 Atsushi HASEGAWA・Takayuki FUJII・Norikazu MATSUURA
 Tomohiro SHIMIZU・Yusuke MIURA 49
- ◇ Mechanism of Light Weight Sound Insulation Material Using Thin-film Cells
 Ikumi KURIHARA・Takashi KONDO・Takao YAMAGUCHI 59

2018 Gold Wing 用電装技術の開発 – アイドリングストップシステムと Honda SMART Key システム –

Development of Electrical Systems for 2018 Gold Wing
-Idling Stop System and Honda SMART Key System-

北 嶋 毅¹
Takeshi KITAJIMA
菊 池 裕¹
Yutaka KIKUCHI
倉 田 周¹
Hiroshi KURATA

寺 西 正 裕¹
Masahiro TERANISHI
安 藤 正 訓¹
Masakuni ANDO

高 山 慶 士¹
Keishi TAKAYAMA
村 上 勝 憲¹
Katsunori MURAKAMI

要 旨

2018Gold Wing は、幅広い世代や、さまざまな使用シーンを想定し、17 年ぶりのフルモデルチェンジをおこなった。DCT 搭載モデルでは、TBW 制御と組み合わせることにより、Honda 大型二輪初となるアイドリングストップシステムを実現した。Honda SMART Key システムにおいては、タイヤ空気圧モニタと制御ユニットを統合し、小型化を達成した。これら技術の採用により、二輪車特有の使い勝手を考慮した先進的な機能の搭載を実現した。

ABSTRACT

The 2018 Gold Wing represents the first full model change in seventeen years. It was developed with a broad age range and a variety of use scenes in mind. TBW control was combined with the DCT-equipped model to achieve an idling stop system, the first time ever for a large Honda motorcycle. The Honda SMART Key system was made compact enough for a motorcycle by integrating the tire pressure monitor into the control unit. With these technologies, advanced functions designed for usage unique to motorcycles was achieved.

1. まえがき

本稿で述べる 2018 年モデル Gold Wing は、幅広い世代や、さまざまな使用シーンを想定し、17 年ぶりのフルモデルチェンジをおこなった⁽¹⁾。電装システムにおいては、Throttle By Wire (TBW) と Dual Clutch Transmission (DCT)、Integrated Starter Generator (ISG)⁽²⁾を協調制御させ、Honda 大型二輪初となるアイドリングストップシステムを投入した (DCT タイプのみ)。また、日常の使い勝手向上につながる Honda SMART Key システムについても、タイヤ空気圧モニタ (Tire Pressure Monitoring System:

TPMS) を含めて 1 ユニット化した特有のシステムを構築した。本稿では、アイドリングストップシステム、Honda SMART Key システムおよび TPMS の概要について述べる。

2. アイドリングストップシステム

四輪車の世界では、主に燃費の向上を目的に、アイドリングストップシステムが広く適用されるようになった。システム搭載車の普及とともに、エンジンからの音や振動のない静粛性が得られるという、副次的な状況が生まれている。Gold Wing に対する同システムの適用は、それらによ

¹ 本田技研工業株式会社

る上質感の演出をねらったものである。さらに再発進時の静粛性を向上させるために、エンジン始動に用いられるISGの駆動ギヤにヘリカルギヤを採用し、従来のスターモータとスパークギヤの構成に比べメカノイズを低減した。

しかし、Gold Wingへのアイドリングストップシステムの適用にあたっては、二つの技術的な課題があった。

2.1. 大型二輪車へ適用するための課題

二輪車の停車中の形態は、フロントもしくはリヤブレーキレバーを握る、片足で車体を支えリヤブレーキペダルだけを踏む、ブレーキを掛けずに両足立ちをするなどさまざまである。

そのため二輪車では、スロットルグリップを開く動作そのものを検知し、発進意志として判断することとしている。四輪車のように、ブレーキリリースからスロットル動作に移行する時間を発進準備に活用できないため、アイドリングストップ状態から発進動作への移行は、より短くライダーに違和感を与えない時間内で完了する必要がある。

2.1.1. 発進時タイムラグ

現在小型二輪車におけるスクータ型モデルを対象として、アイドリングストップシステムの適用が拡大してい

る。手足で支えるのが容易なこのクラスのモデルに対し、Gold Wingは重く大きい。そのため、坂道での発進等、スロットルグリップ操作に対しライダーが期待する発進性能を満たす必要がある。これには、発進時になるべく早い駆動力の発生、すなわち早いエンジン始動が望まれた。また、スロットルグリップを開きながらエンジン始動する際、スロットル開度の違いによりエンジン始動時間に差が生じると、車両が動き出すまでのタイムラグにばらつきが発生する。ライダーに違和感を与えないためには、発進時のタイムラグにばらつきのない、再現性のある発進時間を実現できる制御手法を構築する必要があった。

2.1.2. 唐突な駆動力発生の防止

ライダーは駆動力発生の遅れを感じた場合、スロットルグリップをより開ける方向に操作しがちである。このスロットルグリップに対する追加操作により遅れて発生する、唐突な駆動力を抑制する制御が必要となる。

2.2. 課題解決手法 -TBW 制御との組合せ -

前節で示した二つの課題に対し、TBW 制御と組み合わせることにより解決を図った (Fig. 1)。

車両発進操作初期の時間帯では、ライダー操作後のスロッ

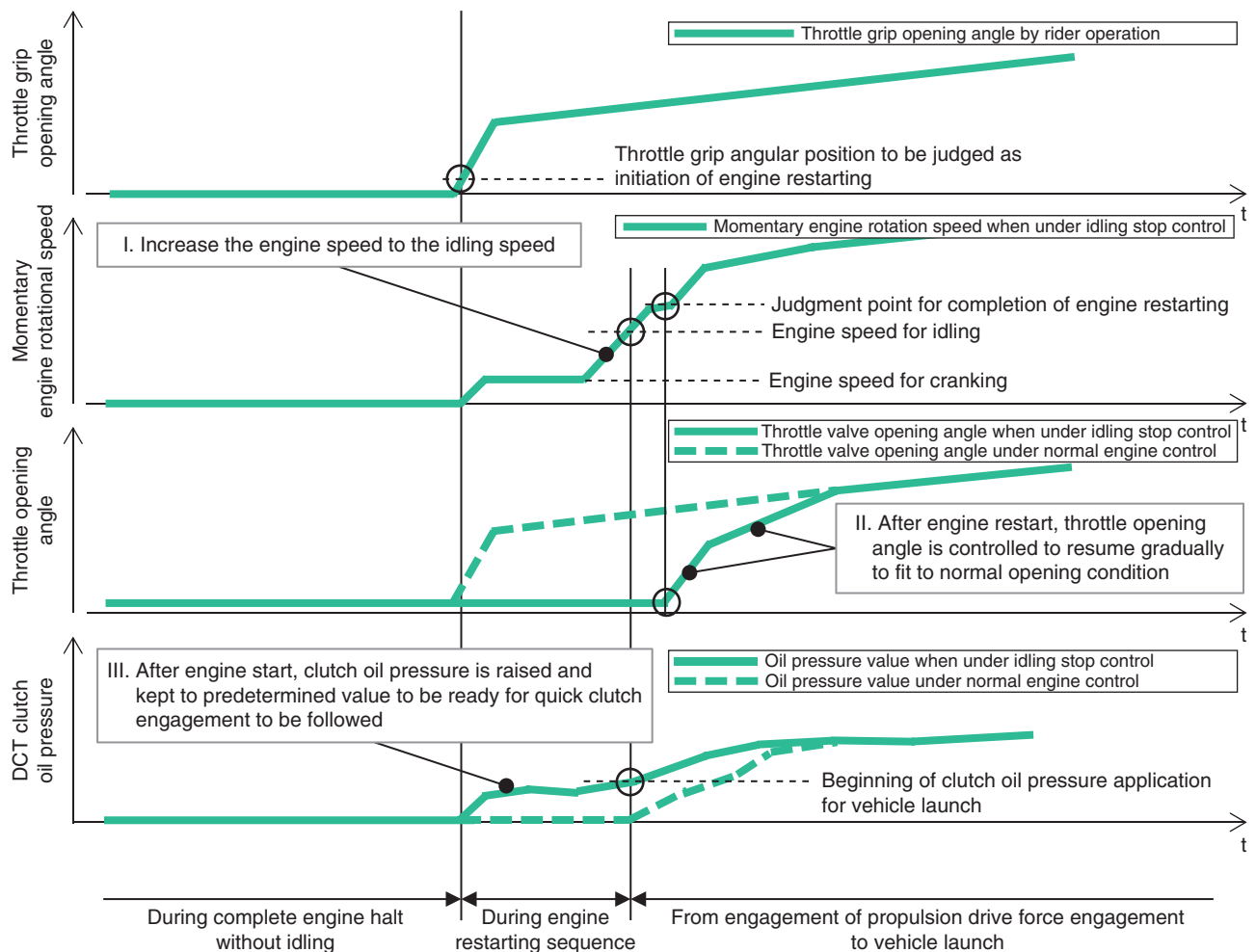


Fig. 1 Vehicle launching control sequence when started from idling stop condition

トル開度の値を、あらかじめ設定された一定の値に固定した。これにより、車両が発進にいたるまでの時間、エンジン回転数はライダーのスロットルグリップ開度に影響されない。この、車両が発進のための加速を始める前までの時間と、その後の車両が発進加速をおこなう過程の途中までの間、エンジン回転数の制御は制御ユニットにゆだねられる。また、エンジン回転数は決められた上昇シーケンスに沿って制御される。この手法を適用することによって、安定したエンジン始動が実現される。

始動時における一定回転数でのクランキング後、制御ユニットは以下の手順にしたがってコントロールをおこなう。

- (1) エンジン始動時に、エンジン回転数をアイドリング回転数まで上昇させる (Fig. 1 図中 I)。
- (2) エンジン回転数を、実際のスロットルグリップ開度に対応する値に、徐々に追従させるように上昇させる。この際、エンジン回転数が急に増加することのないよう抑制をおこなう (Fig. 1 図中 II)。
- (3) DCT システムは、クランキング開始時点を制御開始時点として、クラッチの制御油圧をあらかじめ必要とされる一定の値まで高め付与しておく。こうすることによって、クラッチの接続に要する時間の短縮化を図っている (Fig. 1 図中 III)。

以上、(1)、(2)、(3)の制御をおこなうことにより、ライダーの発進意思に対してわずかなタイムラグで、しかも速度変化を抑えた発進が可能となった。官能評価とセッティングを繰り返すことで、アイドリングストップ状態からエンジン始動を経て車両が動き出すまでの駆動力のつながり、スムーズで違和感のないものとなり、目標としていた上質な発進が実現された。

3. Honda SMART Key システムと TPMS

グローブをはめ、乗車する二輪車は、四輪車よりもキー操作が不要になる恩恵は大きい。本章では Honda SMART Key システムと同一ユニットを使用する TPMS についても特徴を述べる。

3.1. Honda SMART Key システムの機能

3.1.1. イグニッション操作

Honda SMART Key を身に着けた状態で、センタパネル前端のメインスイッチを回転操作することにより、イグニッションの ON/OFF 操作およびハンドルロックを可能とした。右ハンドルスイッチハウジング上に配置されたスタータスイッチを押し、エンジンの始動をおこなう。

イグニッションの ON/OFF 操作によるエンジンの始動および停止については、四輪車では既に押し操作が一般的である。しかし二輪車では FMVSS123⁽³⁾ のイグニッション OFF は反時計回転操作という規定により、これを

採用できない。そのため、回転式のモーメンタリ構造のメインスイッチとし、左回しでイグニッション OFF となる操作機構を採用した (Fig. 2)。

ハンドルロック施錠状態から、メインスイッチを右回転させるとハンドルロックが開錠し、その後右回転毎にイグニッション ON、アクセサリモードとなっていく。アクセサリモード時はバッテリー上がりを避けるため、Honda SMART Key との通信ができる場合は 60 分、できない場合は 30 分で自動的に OFF となる。Fig. 3 に Honda SMART Key の外観を示す。

3.1.2. ハンドルロック、アンロック

Honda 二輪車としては初めて、電動のハンドルロック Electric Steering Lock (ESL) を採用した (Fig. 4)。車両が停車した状態でメインスイッチを左回転させ、ハンドルを転舵することで施錠される。ハンドルロックされた状態からは、メインスイッチを右回転させることで開錠される。

一般的に二輪車でのハンドルロックは、ハンドルを左または右に転舵させた状態で、トップブリッジから前輪周り一式を含む操舵系を固定することでおこなう。そのため、片手でハンドルを操作しながらもう一方の手でキーを



Fig. 2 Main switch layout



Fig. 3 Appearance of Honda SMART Key

回し、ロックできる場所を探すという両手での操作が必要であった。そこで本モデルでは片手での操作を可能とするために、ロック操作をおこなうと、ロックピンがトップブリッジへ押し付けられ、ロック待機状態となる構造を取り入れた。後はロック穴とかん合するまでハンドルを転舵することで施錠される (Fig. 5)。また、ロックやアンロック動作を途中で中断した場合には、ライダーに操作を完遂させるため、ブザーとインジケータにて通知する機構を追加した。

3.1.3. クイック始動操作 (イグニッション ON 操作)

従来の操作性に加え、四輪車のスマートシステムと同様のイグニッション操作感を実現させるため、乗車姿勢のままエンジン始動ができるクイック始動操作モードを搭載した。ハンドルが施錠またはイグニッション OFF の状態より、ブレーキ操作をおこなった状態でエンジンスタートスイッチを長押しする。それにより、エンジンが始動し、ギヤ操作をおこなえばすぐに発進できる状態となる。また、クイック始動操作においてブレーキ操作をおこなわなかった場合など、インヒビタが有効な状態では、イグニッ

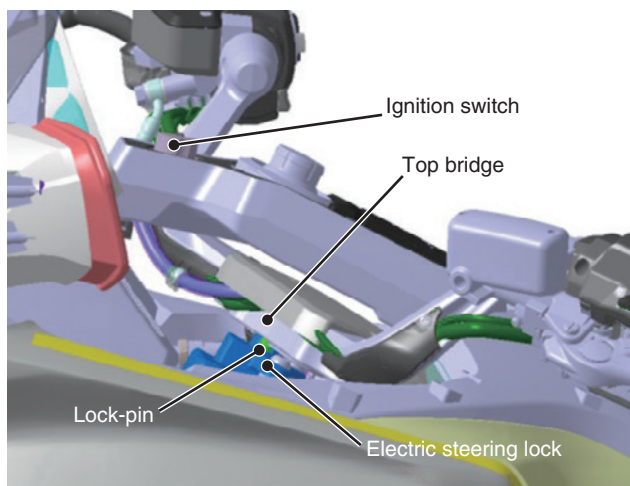


Fig. 4 ESL layout

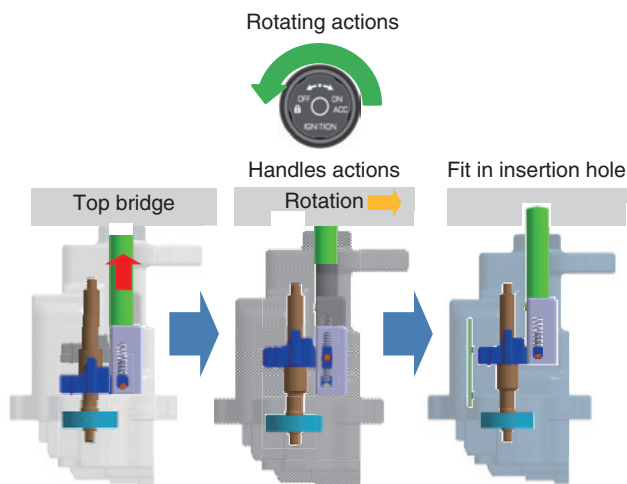


Fig. 5 ESL operation detail

ション ON で待機し、エンジン始動はしない。

3.1.4. イルミネーション機能

Honda SMART Key を持って車両に近づくと、イグニッションスイッチのノブ部分が明るく光る機能 (エントリーイルミネーション機能) を搭載した (Fig. 6)。車両遠方より近傍 (およそ 2 m 以内) に Honda SMART Key を持って近づくと、30 秒間点灯する。本機は Honda SMART Key の探索を常時おこなっており、待機時にも電力を消費しているため、およそ 3 日間のみ有効とし、始動用バッテリー残容量の確保をした。さらに、足元を照らす LED エントリーライトも、オプションにて追加可能とした (Fig. 7)。これらの機能は、ライダーやパッセンジャに対する、もてなし感の演出に貢献している。

3.1.5. Honda SMART Key 認証 OFF モード

Honda SMART Key は中央のウィングマークボタンを長押しすることにより、Honda SMART Key システムとしての認証を ON または OFF へ切り換えられる機能を持っている。1 秒間長押しすることで、LED が 1 回点滅し認証 OFF、もう一度 1 秒間長押しすることで、LED が 3 回点滅し認証 ON となる。これにより、待機時の電池消耗を減らすことや、車両を窓際に駐車し屋内の窓際近くにスマートキーがあった場合などで、意図しない認証処理をさせないためにも有効である。

3.1.6. トランク、サドルバッグの開閉

従来は、ラッチノブを手で引っ張ることでロックを開錠



Fig. 6 Entry light image of ignition switch

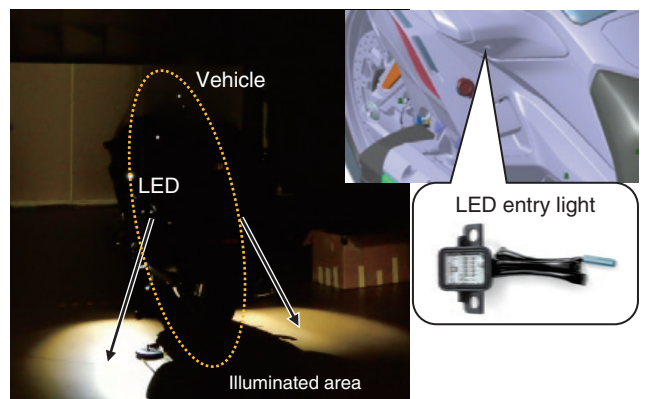


Fig. 7 Optional entry light image

していたため、操作荷重が大きかった。今回は操作フィードリングの向上をはかるため、スマートキーを携帯しトランクやサドルバッグの近傍にあるオープンスイッチを押すことで、ラッチをアクチュエータで引っ張り開錠する機構を採用した。

スマートキーが通信可能な範囲にあるとき、施錠はトランクやサドルバッグを閉じることでおこなわれる。また、四輪車の様にドア類を閉じて鍵を閉めるという操作が無いため、スマートキーが車両の近くにない場合は自動的に開錠し、リッドが閉じないことで施錠状況をライダーもしくはユーザに確実に認識させる。ただし、その状態でも閉じたい場合は、連続して5回開錠動作をおこなっている間、閉じた状態を保持することで強制的に閉じることが可能である。

3.2. Honda SMART Key システムと TPMS の統合

TPMS は、前モデルの北米向け仕様車から標準装着されている。前モデルでは、タイヤ空気圧の減少量をインジケータで通知し、減少具合によって点滅、点灯することによってライダーへの注意喚起をおこなっていた。今回のモデルでは、これらの警告表示に加え、空車と満載時の車重変化の大きいトランク付き仕様の Gold Wing Tour に、タイヤ空気圧の数値表示を実現した。また、Honda SMART Key システムと同じ周波数帯を用い、かつ受信機能を統合することで、ユニットの削減を図った。本モデルでは、Honda SMART Key の所在場所を検出するための信号受信処理と、タイヤの空気圧値を送信する TPMS センサからの信号受信処理を、同じ周波数帯でおこなっている。それを実現するためには、お互いの通信が干渉しないシステムとする必要があった。

3.2.1. スマートキー所在場所探索通信

Honda SMART Key システムにおいては、イグニッション ON のときは、スマートキーとの周期的な通信により所在場所探索をおこなっている。四輪車の場合、スマートキー所在場所探索通信は、スマートキーを車外に持ち出し、ドアやトランクを閉めたときなど、スマートキー持ち去り

警告として実施する。イグニッション ON の状態でスマートキーが車室外へ持ち出される状況とは、すなわちドアを開けて人といっしょに移動する場合と想定されるためである。また、四輪車では、走行中に車室外にスマートキーを落としてしまう可能性は低いと考えられている。しかし、車室が存在しない二輪車の場合、走行中を含めスマートキーを落としてしまう可能性が想定される。また、イグニッション ON の状態で忘れ物を取りに行くなど、ドアを閉じるなどの行為無しで車両から離れるケースも想定できる。その際にスマートキーを置き忘れてしまう可能性もある。したがって、乗車時にスマートキーを身に着けていない状態を監視し、ライダーに通知することが必須となる。

3.2.2. スマートキーと TPMS の信号受信処理の両立

スマートキー所在場所探索通信では、スマートキーの落下や置き忘れが発生した時点から、遅くならずかつ確実に判定できる一定の周期ごとにシステムが受信処理をおこなう。一方 TPMS センサからの通信は、スマートキー探索処理とは異なる周期で実行され、かつ送信周期はセンサ側に依存する固定周期で、変更することができないという制約がある。したがって、これら周期の異なる二つの信号を、相互干渉なく両立させる処理手法の設計が必要であった。

TPMS センサからの信号は、車両走行中に前輪と後輪それぞれから分単位の一定間隔で周期的に複数回送信され、これを確実に受信、処理する必要がある。このため、スマートキー探索処理は TPMS センサの信号が送信されているタイミングを避けておこなう必要がある。

そこで TPMS センサからの信号送信タイミングを、前回の受信タイミングとあらかじめわかっている周期に基づいて予測する機能を持たせた。この予測に基づいて決定される通信不可時間を除いたタイミングで、スマートキーの探索処理をおこなうこととした。また、スマートキーの探索処理は次に通信可能となった最短のタイミングで実行される。このようにして、同一の制御ユニットで二つの通信機能を両立させることができた (Fig. 8)。

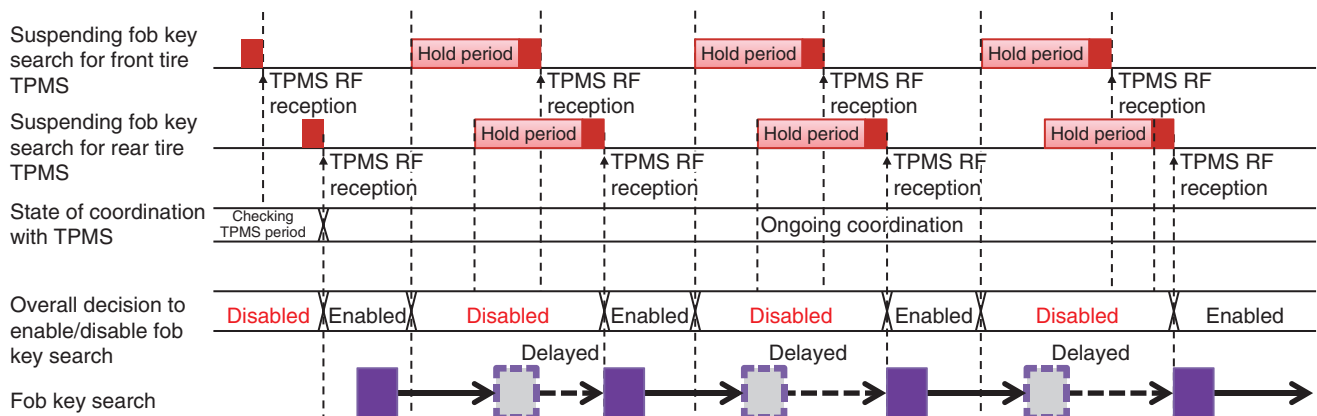


Fig. 8 Suspending fob key search in coordinated control process

4. まとめ

Honda 大型二輪初となるアイドリングストップシステムを、DCT 搭載モデルにて実現した。そのために、発進のタイムラグ短縮と唐突な駆動力発生抑制という二つの課題を、TBW 制御と組み合わせることにより解決した。

また、ESL を含めた Honda SMART Key システムを、紛失や置き忘れなどの二輪車特有の可能性を配慮した上で採用し、ライダーの利便性を向上させた。また同一制御ユニットへの TPMS 機能の統合により、小型軽量化に貢献した。

これらの技術の採用は、新しい Gold Wing の開発コンセプト実現に求められた、二輪車特有の使い勝手を考慮した先進機能の実現に寄与した。

参考文献

- (1) 会田樹穂子, 中西豊: 2018 Gold Wing の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.30, No.2, p.1-14
- (2) 横田洋, 野島悟, 藺田豊, 大崎裕介, 紺谷昌弘, 山崎 寛: 2018 Gold Wing 用水平対向 6 気筒パワーユニットの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.30, No.2, p.15-28
- (3) FMVSS123: Standard No. 123; Motorcycle controls and displays: Table 1 - Motorcycle Control Location and Operation Requirements

■ 著 者 ■



北 嶋 毅



寺 西 正 裕



高 山 慶 士



菊 池 裕



安 藤 正 訓



村 上 勝 憲



倉 田 周

2018 Gold Wing 用電装技術の開発 ーインフォテインメントとHMIー

Development of Electrical Systems for 2018 Gold Wing –Infotainment and HMI–

菊 池 裕¹
Yutaka KIKUCHI

小山内 拓也¹
Takuya OSANAI

要 旨

ABSTRACT

2018 Gold Wing では、フラッグシップモデルにふさわしい、最新の機能を取り込んだインフォテインメントシステムを構築した。モータサイクルとしては世界初となる Apple CarPlay を採用し、走行中の手元操作を可能とした。また、Human Machine Interface 面においては、二輪車特有の暴露環境対応や、グローブを装着しての操作等を考慮して、操作荷重やストロークを専用設計した。これらより、最新のインフォテインメントシステムを、二輪車特有事項に配慮し、提供することが可能となった。

An infotainment system incorporating state-of-the-art features suitable for flagship models was developed for the 2018 Gold Wing. The system incorporates Apple CarPlay, which has been adopted for motorcycle use for the very first time, enabling hand operation while riding. As for the Human Machine Interface, operation load and stroke were designed especially for motorcycles, bearing in mind the exposed environment and operation with gloves. The result of all this is the latest infotainment system created specifically for motorcycles.

1. まえがき

2001 年以来、17 年ぶりのフルモデルチェンジをおこなった Gold Wing には、フラッグシップモデルにふさわしい多くの快適装備が付与されている⁽¹⁾。中でもオーディオ機能を含むインフォテインメントシステムの充実、大きな特徴の一つとなっている⁽²⁾。2012 年におこなわれたマイナーモデルチェンジ以降、スマートフォンに代表される電子機器類の発達はめざましく、電子機器類のアップデートは急務となっていた。本稿では、二輪車への適用では世界初となる Apple CarPlay (Apple CarPlay は、Apple Inc. の商標です) 搭載や、Bluetooth 経由の音声入力対応、車両の多機能化にともない再構築された Human Machine Interface (HMI) について述べる。

2. インフォテインメントシステム

従来型から搭載していたオーディオとナビゲーションシステムを、スマートフォンと連携するシステムとして刷

新した。Apple CarPlay を含め、四輪車では一般的となっているハンズフリーフォンや、Bluetooth オーディオ機能を採用したインフォテインメントシステムへ機能の拡張を図った。

二輪車への適用にあたり解決すべき課題は、限られたスペースで搭載可能なシステム規模にすることと、ハンドルから手を離さずに操作できる HMI を成立させることであった。本章では二輪車向けに構築したシステム概要と、スマートフォン連携システムの二輪車への適用に直面した課題と対応について解説する。

2.1. システム構成

2001 年モデルから搭載してきた従来システムは、17 年間で複数回のアップデートをおこない、機能の充実を図ってきた (Table 1)。

本開発ではさまざまな機能向上により、システムのサイズが肥大化することが想定された。そこでシステム構成を見直しシンプルにすることで、機能向上に対するサイズと重量増を抑制した。

¹ 本田技研工業株式会社

Table 1 Major updating points of electrical features

Model year	Major changing points
2003	- Complete redesign of audio system in accordance with full change of model
2006	- Vast scale minor changes including installation of navigation system (the first generation) - Addition of power amplifier and changes in operation switches
2008	- Addition of XM radio (satellite radio service receiver) to navigation system for US market
2009	- Change of audio unit outer configuration and separation of switches in accordance with addition of air-bag equipped model option
2012	- Re-designing of audio unit and navigation system (the third generation) - Change of installation location of audio system - Termination of CD changer adoption - Addition of audio connectivity with iPod and USB inputs (iPod is trademark of Apple Inc.) - Addition of navigation route information installation capability by SD card

従来システムは、メータとオーディオユニットを核とし、2006年モデルに途中追加されたナビゲーションユニットの三つのシステムを、アナログ音声と映像信号、シリアル通信と制御信号線で接続する複雑なものであった (Fig. 1)。本開発では、ナビゲーション機能を内蔵したヘッドユニットと、メータに内蔵したLCDモニタの2ユニットの構成とした (Fig. 2)。さらにデータ入出力をCANバスへ集約することにより、ユニットの小型化とハーネス数の削減を実現した。映像信号の伝達はデジタル化し、ノイズ耐性の向上と細線化を実現した。合わせてヘッドユニットは防水化し、ユニット配置の自由度を高めた。これらにより、リヤフェンダ上部の空間にヘッドユニットの配置が可能となり、車両パッケージングの高密度化、コンパクト化へ寄与した。

また従来トランクに装着されていたロッド型のラジオアンテナは、小型化することでサドルバック内へ納めた。トランクのない派生との仕様差がなくなり、デザイン性の向

上にも寄与した。対比のため、両システムの構成を Table 2 に示す。

2.2. スマートフォン連携システム

本車両は二輪車としては世界で初めて、Apple CarPlay 対応のシステムを搭載した (Fig. 3)。スマートフォンと車両システムを連携させることにより、スマートフォン機能使用時のユーザ利便性向上をねらった。

Apple CarPlay を採用することで、アプリケーションのアップデートに即座に対応ができるようになった。これにより継続的なユーザの利便性向上を図ることが可能となった。またナビアプリによるナビゲーションについても、ネットワークへ接続することで最新の地図情報が利用可能となっている。

Apple CarPlay を採用するにあたり、ハンドルから手を離さずに必要な操作がおこなえるよう、2系統のスイッチ操作と Bluetooth ヘッドセット経由の音声操作を取り入れた。

1 系統目のスイッチ操作は、方向キーと Enter キーを備

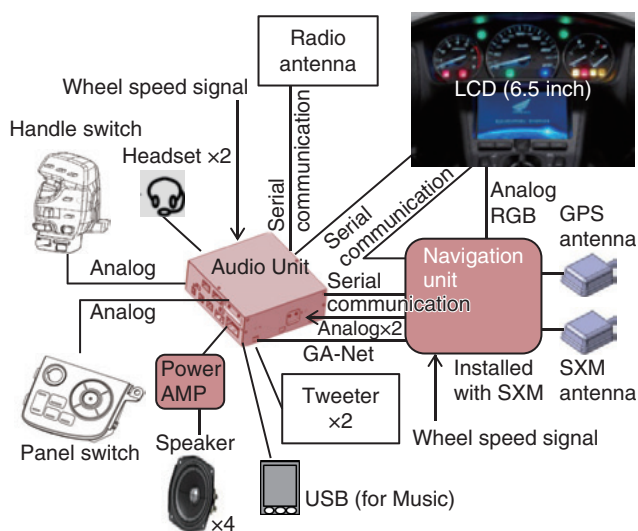


Fig. 1 Connection conceptual diagram of 2012 model

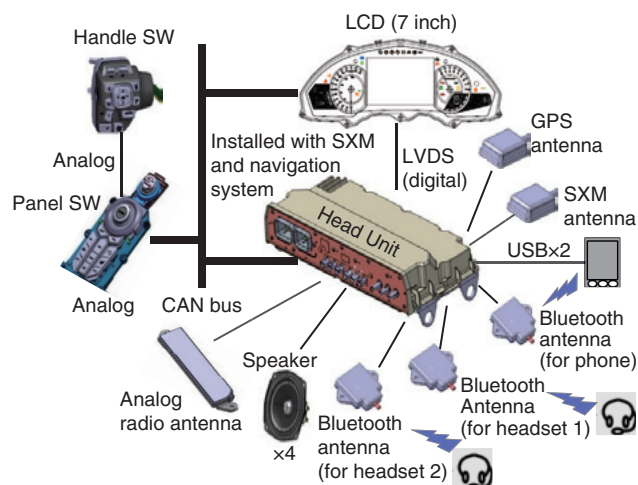


Fig. 2 Connection conceptual diagram of 2018 model

Table 2 Comparison of infotainment system structure

2012 model		2018 model	
Unit	Feature	Unit	Feature
Audio unit	Speed pulse Input	Head unit (audio and navigation)	CAN
	Serial communication (to meter)		LVDS
	Serial communication (to navigation)		AM/FM antenna input
	GA-Net		SP out × 4ch
	Analog I/O × 2		Bluetooth antenna input × 3
	Switch I/O × 2		GPS antenna input
	AM/FM antenna input		SXM antenna input
	Headset × 2		USB
	SP out × 6ch		
	USB		
Navigation unit	GPS antenna input		
	SXM antenna input		
	Speed pulse Input		
	Serial communication (to meter)		
	Serial communication (to audio)		
	Analog RGB out		
	GA-Net		

えるハンドルバースイッチでおこなわれ、走行中に必要なコマンドを担う。

2 系統目のスイッチ操作は、センタパネル部に装着されたインタフェースダイヤルでおこなわれ、走行中に必要のない細かな操作や詳細な設定を担っている。Fig. 4 に 2 系統のスイッチを示す。

また、音声入力については、Bluetooth ヘッドセット経由での入力とした。二輪車は走行中の操作のために両手両

足を使用する。音声操作はこれを踏まえて最も適した操作の一つであり、直感的に目的の操作が可能となる。Apple CarPlay の操作においては、表示された地図上の目的地検索、スマートフォン内蔵の楽曲の選択、電話の発信、メッセージの作成および送信が可能となる。音声入力に使用する Bluetooth ヘッドセットの入出力機能は、二輪車向けとしては初めてサンプリング周波数 16 kHz の Hands-Free Profile (HFP) に対応させた。これにより入力音声の高分解能化を実現し、音声認識精度の向上に貢献している。

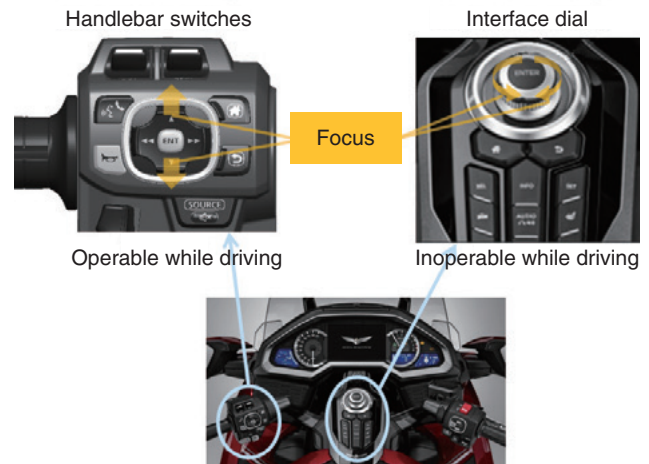


Fig. 4 Operational switches

3. HMI

Gold Wing はモデルチェンジごとに機能が追加され、それとともにスイッチ操作数も増加してきた。その過程において、ハンドル部では納まりきれないスイッチを車体パネル部などへ配置してきた。本開発において、多くの新しい機能を追加するにあたり二輪車用スイッチの考え方を整理再編した。検討の結果、車体パネル部のスイッチを廃止し、センタパネルに集中配置した。Fig. 5 に先代と本開発の Gold Wing のインストルメントパネルの写真を示す。

3.1. スwitchの整理再編

操作系を設計する際の大前提は、いずれの機能に対しても確実に操作をおこなえることである。そのためには、表示が見やすく理解しやすいこと、スイッチのレイアウトが機能的に整理されていること、必要最小限の指の移動量によって操作できるようになっていることが重要である。

従来の Gold Wing におけるオーディオとナビゲーションは、すべての機能をスイッチで直接操作する構成とし、主にメータ下方の両サイドに位置するパネル上に配置されていた。この構成はそれぞれの機能がすべて視覚的に確認できるため、「分かりやすさ」という観点で優れていた。

先に述べたように、本開発の Gold Wing ではさらなる機

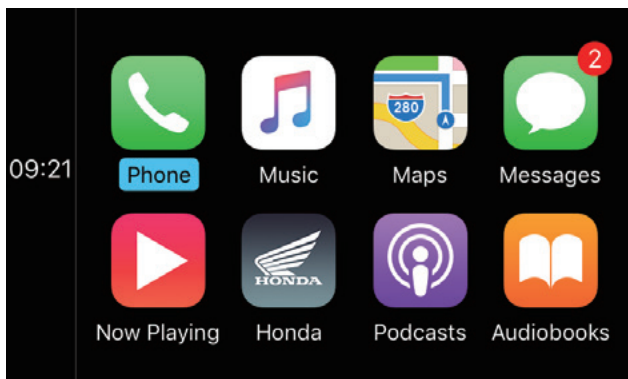


Fig. 3 Apple CarPlay main screen

能の増加から、操作の内容也多岐にわたる。そのため従来採用してきた全機能に対しスイッチを割り当てることが容易ではなくなった。そこで本モデルでは、まず機能ごとに各スイッチの役割を整理し直した。まず、使用頻度と走行時の操作の必然性から各スイッチの重要度をマトリックス化した (Fig. 6)。次に各機能を点数化することによって仕分をおこなった。その結果、ダイレクトスイッチによって構成するものと、液晶スクリーン内に表示されるメニューによって構成するものに二分化した (Fig. 7)。

ここで、優先順位について説明する。オーディオのボリュームや電動スクリーンの昇降スイッチなど、頻度も重要度も高いと選定された機能群は、ダイレクトに操作がおこなえるようにハンドル部に配置した (Fig. 7 A)。また、ヒータや Odometer, Trip-meter を切り替える ODO/TRIP スイッチなど、走行時における操作を通常必ずしも必要としないと選定された機能群と、一度に連続して走行する区間内では頻繁に操作する必要性が低いと選定された機能群については、パネルスイッチに配置した (Fig. 7 B)。さらに頻度と重要度のいずれも低い機能群については、液晶ディスプレイ内に表示される選択可能な画面の一定の階層の中に、メニュー内から選択できる項目として配置した (Fig. 7 C)。



Fig. 5 Arrangement of indicators and control switches (upper side: previous model, lower side: developed model)

			Degree of importance			
			4	3	2	1
			1. May lead to injury or fatality 2. May lead to breakdown of drive system 3. If not properly functioning, causes irritation of users 4. May be against regulations	1. Crucial loss of function 2. If not properly functioning, causes discomfort of users	1. Partial loss of function	1. Practically no impacts
Frequency of use	4	Everyday	Legislated functions Cruise control DCT, Hazard lamp	Infotainment control Motorized screen level adjustment Reverse	Heater control HOMELINK	
	3	Once a day				
	2	Once a week		Trip meter control	Screen brightness adjustment	Beep sound setting
	1	Once a month	Fog lamp		HSTC level adjustment Language settings	Bluetooth device registration

Fig. 6 Classification of switches depending on criticality and frequency of use

	Classification	Display top	1st layer	2nd layer
A	Frequently checked up daily	Includable (to be operated without manual)	Prohibited	Prohibited
B	Checked up frequency is not high. To be able to operate without manual when item is set as custom setting.	Includable	Includable (to be located as permanent item)	Prohibited
C	Checked up frequency is not low. To be able to operate without manual after once referred to manual.	Includable	Includable	Includable

Fig. 7 Classification of information items displayed on LCD panel

3.2. スイッチの大型化の抑制

スイッチユニット構造部の小型化、およびハーネス細線化のために、微小電流に対応できるスイッチの採用を検討した。

その結果、接点部に必要とされる荷重やキーストロークを確保できるラバーコンタクト型スイッチを選択した (Fig. 8)。また、防水性を高めるために基板全体を覆うシールを施した。

3.3. スイッチ操作性の確保

二輪車のライダーの多くはグローブを装着している。そのため、スイッチ操作時に指の感触からフィードバックが十分に得られることが大切である。このフィードバックを設計時に作りこむことは、確実な操作を実現するために重要なことである。その一方でスイッチ搭載スペースは限られている。スイッチを配置するにあたり指の操作性や誤操作防止などへ充分な配慮をおこなった。

ここで、その手法を以下に示す。

3.3.1. 右ハンドルスイッチ

右ハンドルスイッチハウジングの右端には、アクセルポジションセンサ (Accelerator Angular Position Sensor: APS) が配置される。クルーズコントロールレバーは、スロットルホールド状態での車速セットおよび設定車速の増減をするため、APS 下側のスロットルグリップ近傍に配置した。

また、ライディングモードの切り換えをおこなうモードボタンを APS 装着部位前方に配置した。モードボタンは人差し指で操作しやすいレバー形状とした (Fig. 9)。ただしレバー形状にすることで、この原理が働き、操作荷重が 2.3 N 前後と小さくなりすぎてしまう。そこでボールプランジャを採用し、トグル動作に必要な 3.5 N 前後へ荷重を増大させた。それにより、グローブ装着状態でクリック感を十分に伝えることができた (Fig. 10)。

3.3.2. 左ハンドルスイッチ

走行中、使用頻度が最も高いウインカスイッチを優先して配置した。またウインカスイッチノブは、ユニットを

10° 傾けた。これは左ウインカ操作時にノブに指が掛かりやすくするためである (Fig. 11)。

スイッチハウジング上方には、ウインドスクリーンアジャストレバーと音声ボリューム調節レバーを隣接させた。二つのレバー形状と操作方向が同じであるため、両スイッチ間にセパレータを設け確実な操作性を確保した (Fig. 12)。

3.3.3. センタパネル部のスイッチ

センタパネル部にはインタフェースダイヤルを装着した (Fig. 13)。インタフェースダイヤルは、グローブ装着時にも回転のクリックフィーリングが伝わるよう、1 クリックの間隔を 22.5° と設定した。これは一般的に四輪車に採用されているものの 2 倍となる。さらに最適な荷重値を与えることで、上質な操作フィーリングを実現した。本スイッ

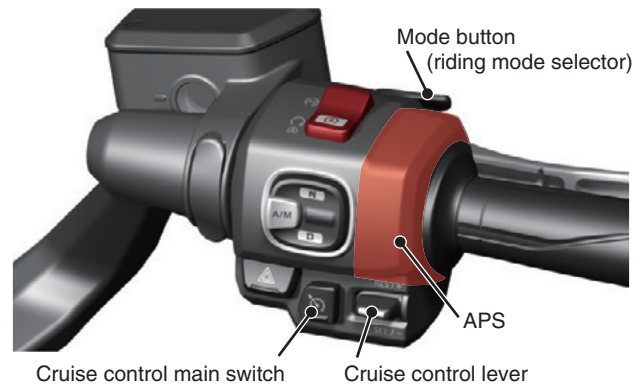


Fig. 9 Locations of cruise control switches and riding mode selector (on right hand grip)

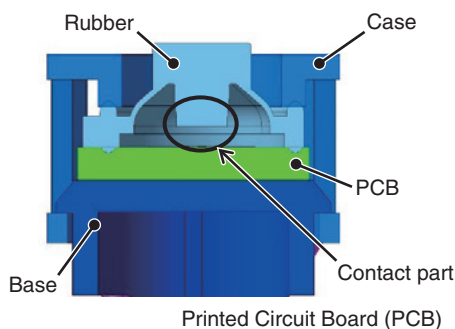


Fig. 8 Rubber dome contact

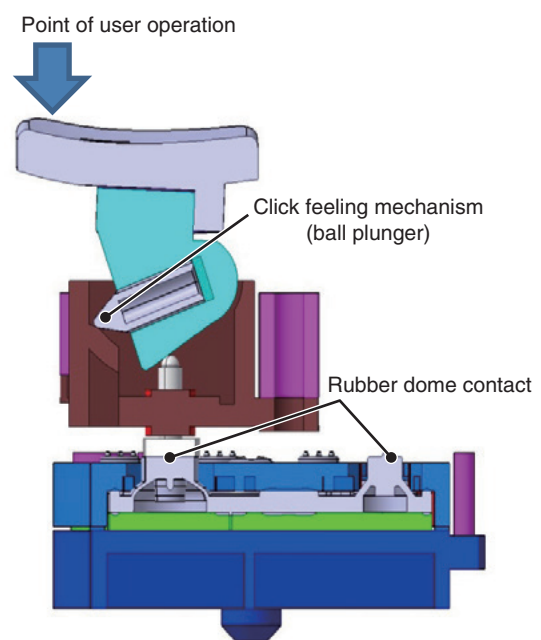


Fig. 10 Click feeling mechanism

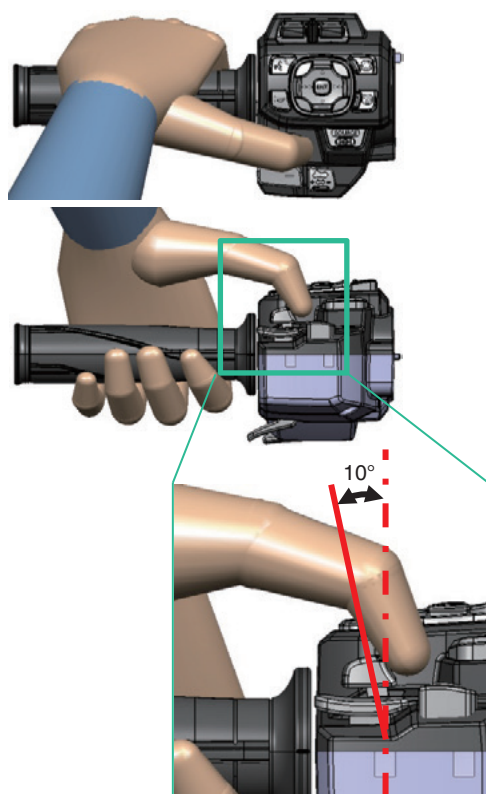


Fig. 11 Turn signal switch

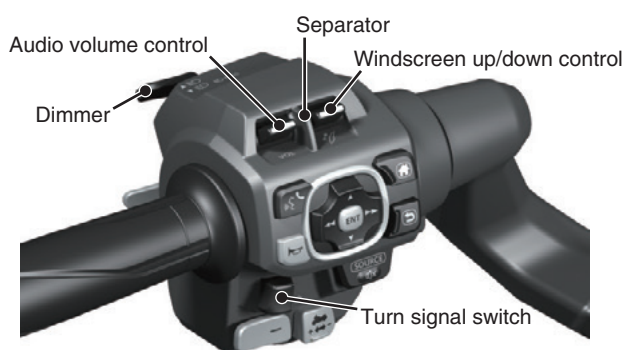


Fig. 12 Turn signal, volume, and windscreen up/down controls



Fig. 13 Interface dial

チと四輪車のダイヤルスイッチの Force-Stroke 特性図を Fig. 14 に示す。本図はスイッチの操作感を表し、縦軸に作動トルク、横軸に作動角度を取っている。

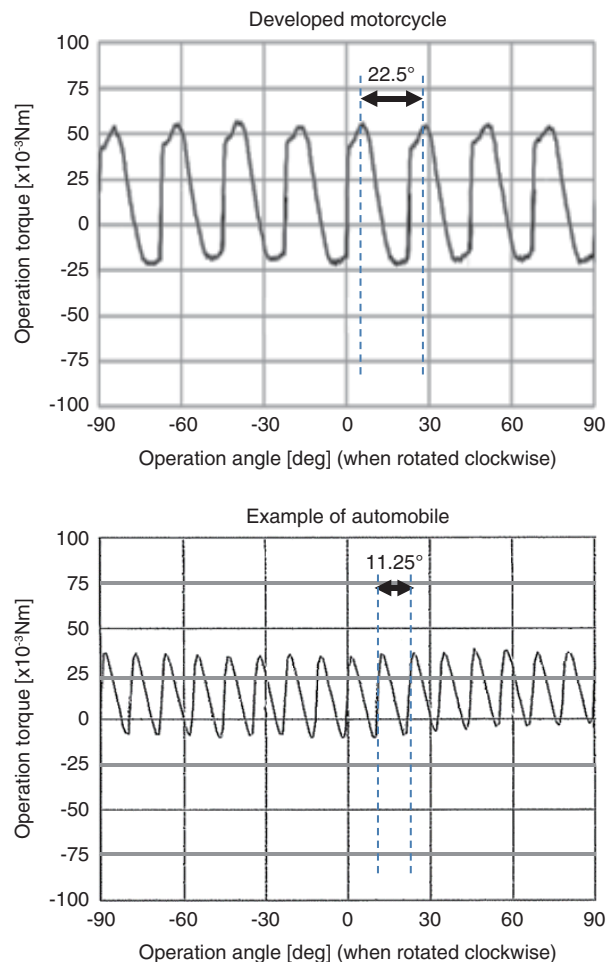


Fig. 14 Comparison of Force-Stroke characteristic of center console rotational switches between developed Gold Wing and automobile

4. まとめ

Gold Wing の特徴的な機能である Apple CarPlay を含むインフォテインメントシステムと、再構築した HMI の概要について述べた。

- (1) スマートフォン連携の Apple CarPlay を採用し、二輪特有の操作系や Bluetooth ヘッドセット対応等をおこなない最新インフォテインメントシステムの採用を実現した。
- (2) 新機能の採用に伴うスイッチの増加に対し、使用頻度等を考慮した上で階層化を取り入れ、新構造のハンドルスイッチとともに HMI の再構築をした。

これらの技術の採用により、最新のインフォテインメントシステムと多機能化した車両システムを、二輪車特有事項に配慮した HMI として提供することが可能となった。

参考文献

- (1) 会田樹穂子, 中西豊:2018 Gold Wing の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.30 No.2, p.1-14
- (2) 井上大志:2018 Gold Wing におけるメータクラスと操作スイッチ類のデザイン開発, Honda R&D Technical Review, Vol.31, No.2, p.12-24

■著 者■



菊池 裕



小山内拓也

小型二輪車用廉価カードエッジ ECU の開発

Development of Low-cost Card-edge ECU for Small Motorcycles

武 田 裕 一¹

Yuichi TAKEDA

原 田 紀 貴¹

Motoki HARADA

猪 瀬 幸 司¹

Koji INOSE

菅 野 清 幸¹

Kiyoyuki SUGANO

要 旨

電子制御燃料噴射システムをコントロールする ECU に、半導体制法のトランスファ成形とカードエッジコネクタを適用した。開発品は、エッジコネクタ端子の形成された Printed Circuit Board を一括封止する構造である。これは、ECU 用に開発したエポキシ樹脂を用いて、新たな機構を持つ金型によってトランスファ成形される。

さらに、この ECU とかん合される防水カードエッジコネクタを開発した。安定した接触状態を得るために、新たな端子と振動を抑制するスライダ機構を採用し、従来同等の耐振性と狭い空間での ECU 脱着性を実現した。以上の技術によりカードエッジ ECU は従来に対し 5 倍を超える生産性と 20% のコスト低減を達成した。

ABSTRACT

In the development of ECU this time, the transfer molding of semiconductor manufacturing method and the card edge connector technology were applied to the ECU of electronic fuel injection system. In the ECU, whole components, except for the edge connector terminals, are sealed with resin. This ECU is transfer-molded using an epoxy resin specifically developed and mold die with a new mechanism. Furthermore, we developed a waterproof card edge connector to be mated with this ECU. Multi-contact terminals and vibration suppressing mechanism were applied to get a stable contact state. These enabled the equivalent vibration resistance as before and the detachability to the ECU in narrow space. With those measures, the developed ECU achieved more than five times higher productivity and 20% cost reduction compared to the conventional products.

1. まえがき

地球温暖化低減の取り組みとして、2000 年当初から Honda は小型二輪車に電子制御燃料噴射システムの適用を進め、エミッション低減と燃費向上を実現してきた。今後さらに拡大する小型二輪車の市場に向けて、このシステムの生産性向上とコスト低減が求められている。

Fig. 1 に、従来から採用されている ECU の構造を示す。電子部品やオスコネクタが実装されているプリント回路板 (Printed Circuit Board: PCB) は、プラスチックケース内に充填された熱可塑性樹脂で外部環境から保護されてい

る。この ECU は防水メスコネクタとかん合されて、小型二輪車のエンジンやフレームなどに挟まれたわずかな空間に搭載されている。

二輪車の電子化初期から使われてきたこの構造の構成部品や材料、生産工程を分析した結果、オスコネクタのはんだ付け工程と樹脂充填、硬化工程に生産効率の改善の余地があることを見出した。そしてさらなるコスト低減のためには、これらの機構部の刷新が必要であると考えた。

開発したカードエッジ ECU とコネクタを Fig. 2 に示す。この ECU は、PCB 上に形成されたエッジコネクタ端子を除くすべての部分が、エポキシ樹脂を用いてトランス

¹ 本田技研工業株式会社

ファ成形されている。この構造では、オスコネクタやプラスチックケース、充填樹脂が不要である。オスコネクタの機能はエッジコネクタ端子と成形された ECU のモールドレジンで代替される。

この構造は、生産性向上とコスト低減に有効な、機電一体化が進む車載用 ECU の将来像として認知⁽¹⁾されており、一部で実用化が始まっている⁽²⁾。しかし、これまで二輪車に必要なとされる性能や耐久性を維持しつつ、高い生産性と低コストを実現したものはなかった。そこで、われわれはこうした要件を満たすための開発に着手した。

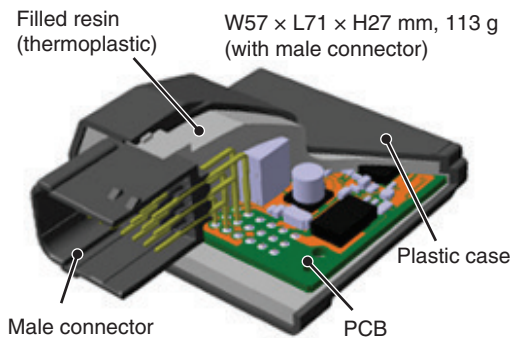


Fig. 1 Conventional ECU

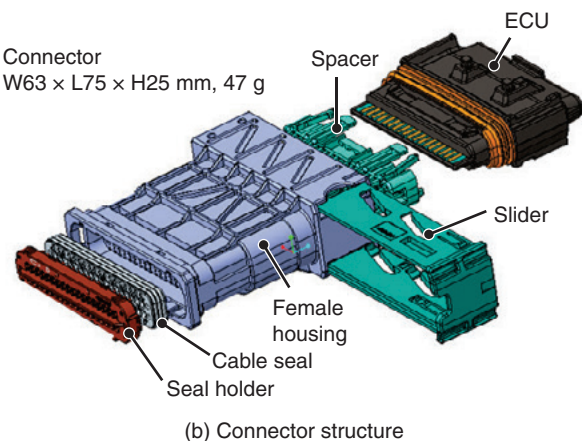
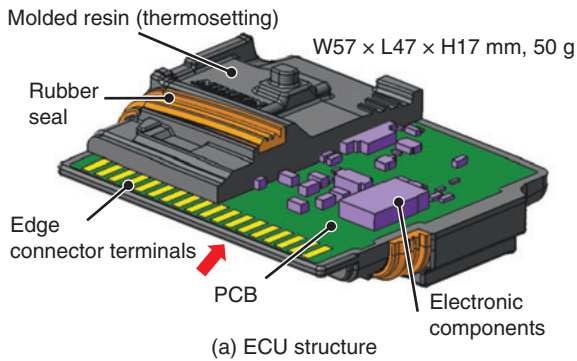


Fig. 2 Developed ECU and connector

2. 開発技術の位置づけ

開発品に適用したトランスファ成形技術とカードエッジコネクタ技術の位置づけを、現行技術と比較して述べる。

2.1. 樹脂成形技術

はじめに、電子機器に用いられる主な樹脂成形技術のうち、トランスファ成形と、射出成形について、その特徴を Fig. 3 に示す。

トランスファ成形は、成形後に再加熱しても変形しない熱硬化性樹脂を使う製法である。低粘度のエポキシ樹脂を使い低温、低圧力で成形される半導体パッケージが代表的な電子部品で、その一例を Fig. 4 に示す。パッケージの内

Item	Transfer molding	Injection molding
Outline	Low-viscosity resin is transferred into die while being heated by die	Melting resin, which is heated in cylinder, is molded with high pressure
Schematic of process		
Material properties		
Resin type	Thermosetting resin	Thermoplastic resin
Viscosity	Low	High
Molding conditions		
Pressure	< 10 MPa	30 MPa <
Temperature	< 180°C	250°C <
Cycle time	< 5 minutes	< few minutes
After cure	2-5 hours	None

Fig. 3 Comparison between transfer molding and injection molding

Code	TO220	QFP *	BGA *
External view			

* QFP: Quad Flat Package, BGA: Ball Grid Array package

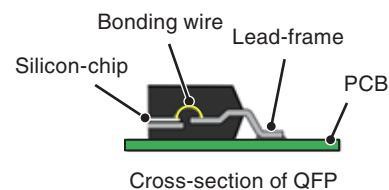


Fig. 4 Example of semiconductor packages (top) and internal structure (bottom)

部には、シリコンチップや直径数 10 ミクロンのボンディングワイヤがあるが、これらの繊細な部位にダメージを発生させずに成形することが可能である。しかし、低粘度の樹脂は金型の合わせ面で漏れが発生しやすい。そのため複雑な形状の成形には課題が多く、上下割りの金型で単純な形状が成形されることが多い。

一方の熱可塑性樹脂を用いる射出成形は、多くの電子機器や工業製品で用いられている。粘度の高い樹脂を使用し複雑な形状も成形可能である。しかし、成形温度や圧力が高いため電子部品を直接成形すると、電子部品そのものや接続箇所のはんだ部がダメージを受けてしまう。これらの特性より、電子部品を直接成形する手法としてトランスファ成形を選択した。

2.2. コネクタ技術

Fig. 5 は、カードエッジコネクタと車載用途で用いられているコネクタの特徴を比較している。

カードエッジコネクタは、1980 年代に IEC603 で規格化され Edge-socket connector として通信機器などの内部の接続用に使用されてきた技術である。スルーホールタイプや表面実装タイプのコネクタと比較して、オス側コネクタの構造が簡易なことが特徴である。オス端子の機能はエッジコネクタ端子に代替され、オスハウジングは ECU ハウジングの一部で代替される。このエッジコネクタ端子は PCB の生産工程で形成されるため、オスコネクタを PCB の上に実装する工程が不要である。さらに、このエッジコネクタ端子が占有する PCB 面積はわずかなため、PCB サイズを 20% 程度小さくすることができる。これらの特徴を持つカードエッジコネクタは、部品点数と生

産性、小型化において優位性が高い。

一方で、その簡易な構造のため耐振性が低く、また防水構造を有するものがこれまでなかった。さらにかん合の際に、メス端子がダメージを受けてしまう課題があった。そのため、 98 m/s^2 を超える振動環境や繰り返し脱着作業が必要な車載用途として使用された事例は少なかった。われわれは、カードエッジコネクタの特徴を生かしたまま、これらの課題を解決した。

3. カードエッジ ECU に適用した新技術

ECU に適用された技術のうち、防水技術、PCB 切断面の封止技術、セラミックコンデンサへの代替技術、多数個成形技術について述べる。

3.1. 防水技術

成形された ECU は、その周囲にラバーシールを設置しカードエッジコネクタとかん合される。この際、ラバーシールが十分に圧縮されることで、エッジコネクタ端子部位の防水性が確保される [Fig. 2 (b)]。

先に述べたように、ECU は上下割りの単純な金型でトランスファ成形される。その際、低粘度のエポキシ樹脂が金型の合わせ面から漏れやすく、成形品側面のパーティングラインにはバリや段差などの隆起部が発生することがある (Fig. 6)。

二輪車の ECU が必要とする IPX7⁽³⁾ 相当の耐水性を確保するには、この高さを数 10 μm 以下に抑制する必要があることを見出した (隆起部高さと防水性の測定結果を Fig. 7 に示す)。一般的な半導体パッケージ単体では防水性が求

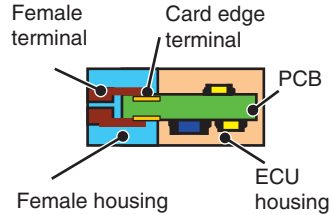
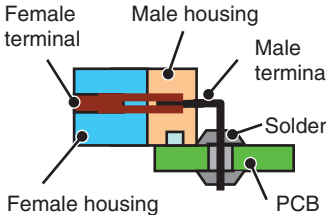
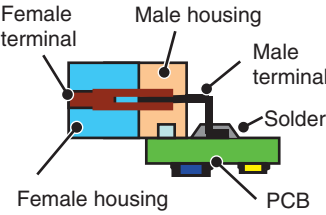
Name		Card edge type	Through hole type	Surface mount type
Structure				
Terminal	Contact type	Pressing	Pinching	Pinching
	Male terminal	Non-existing (PCB)	Copper alloy	Copper alloy
	Connection PCB	Unneeded	Flow soldering	Reflow soldering
	Occupancy area	Small	Large (both-sides)	Medium (single-side)
	Female terminal	Copper alloy	Copper alloy	Copper alloy
Housing	Male side	Non-existing (ECU housing)	Existing	Existing
	Female side	Existing	Existing	Existing
	Height	Low	High	High
Connector cost		Low (male connector less)	Medium	High

Fig. 5 Comparison of automotive connectors

められないため、この精度を実現する技術は、これまでになかった。そのため、半導体製造で使われる金型精度だけでなく金型合わせ精度を高める必要があった。さらに、量産工程では金型劣化などによる隆起部高さの変化が生じるため、この高さを管理する必要があった。そのために、Fig. 6 (b) に示すような隆起部近傍をフラットな形状とし、ここを基準面として高精度な測定と隆起部の除去加工を容易にしている。

また、これに合わせてラバーシールの両サイドもフラットな形状 Fig. 6 (a) にし、幅を増した突起を設けて ECU がかん合される際の捻じれや回転による位置ずれの防止を図っている。一方の ECU 側にはラバーシールの脱落を防ぐリブを設けている。これらにより繰り返し脱着作業がおこなわれても、IPX7 相当の要件を満たす防水性能を確保した。

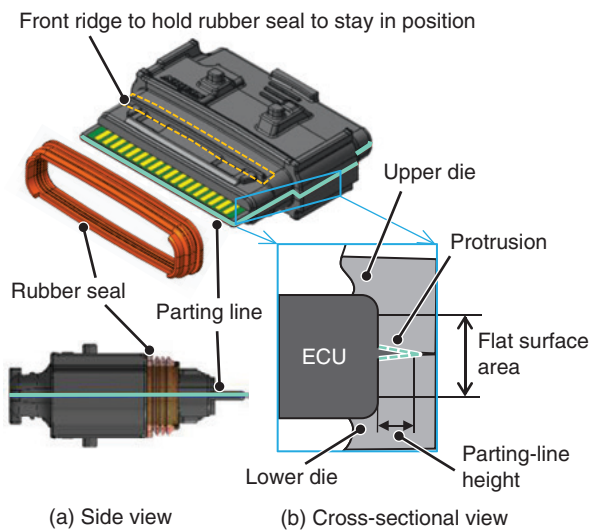


Fig. 6 Rubber seal straddling over parting line

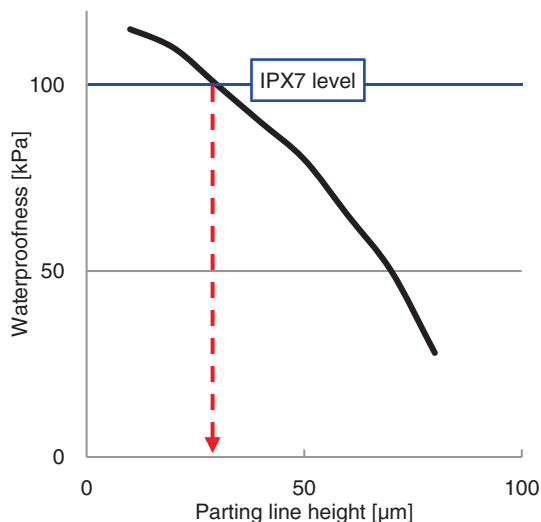


Fig. 7 Parting line height vs. waterproofness

3.2. PCB 切断面の封止技術

次に、二つ目の課題について述べる。ECU の生産性向上のために簡易的な構造を持つカードエッジコネクタ Fig. 8 (a) を採用したが課題も有している。それはエッジコネクタ端子先端に位置する PCB 切断面の露出である [Fig. 8 (b)]。メンテナンスの際に、取り外された ECU のこの箇所にも水や油、じんあいなどの不純物が付着すると、やがて PCB の内層に浸潤し ECU の性能劣化につながる可能性がある。

そのため、ECU がコネクタとかん合される前の単体状態で PCB 切断面が外部環境に露出しない構造が必要とされる。われわれは、上下割りの単純なトランスファ成形の金型へ独立した可動機構を追加し、樹脂を切断面まで回り込ませることでこの課題を解決した。トランスファ成形中の様子を Fig. 9 に示す。この図は、PCB が金型内へ設置さ

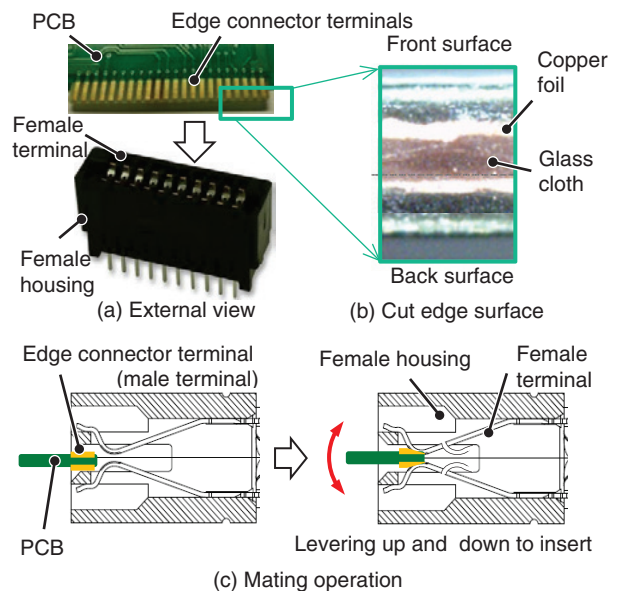


Fig. 8 Overview of card-edge connector

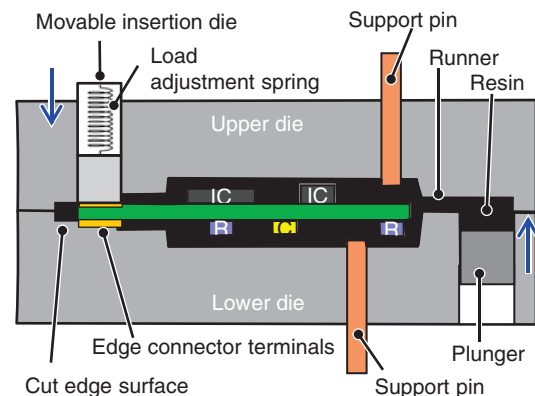


Fig. 9 Transfer molding dies

れた後に、エポキシ樹脂が充填された状態を示している。PCB 切断面近傍は可動式の金型で保持され、ランナに近い PCB はサポートピンで保持されている。プランジャから押し出された樹脂は、エッジコネクタ端子の側面を通り PCB 切断面に流入する (Fig. 10)。

注意すべき点として、この端子接触部はメス端子との電気的な接続に用いられるため、成形中に傷や変形などのダメージを発生させたり、樹脂を流入させたりしてはならない。そのため、成形中は金型で挟み込んで保護する必要がある。また、PCB の板厚には 0.1 mm を超える生産ばらつきがあり、これを吸収するためにエッジコネクタ端子だけを挟み込む金型を設けた。この金型は可動式の入れ子機構を持ち、PCB の板厚に応じて挟み込む荷重を可変させることができる⁽⁴⁾。これらにより PCB 切断面を樹脂封止することができ、ECU 単体の防水性が確保された。

3.3. セラミックコンデンサへの代替技術

トランスファ成形は、電子部品へのダメージが少ないという特徴を有することを 2.1 節で述べたが、電解コンデンサだけは内部にエポキシ樹脂が侵入し、特性変化を生じる可能性があった。Fig. 11 (a) は、成形前の電解コンデンサ

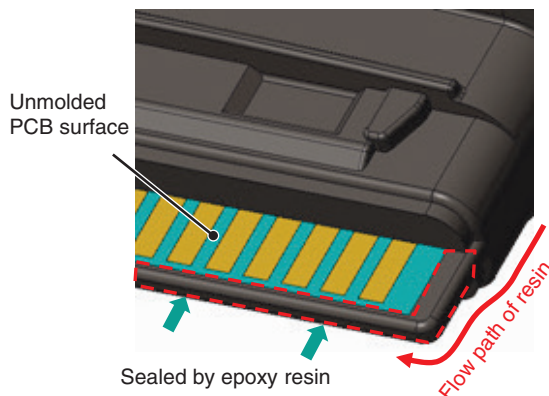


Fig. 10 Sealed PCB cut edge surface

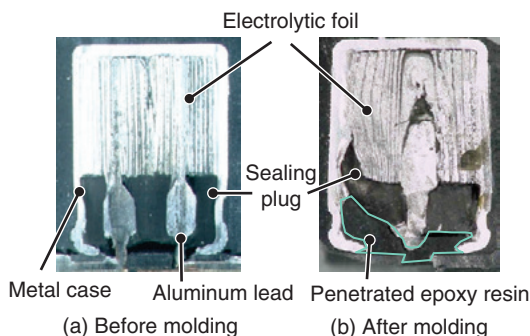


Fig. 11 Electrolytic capacitor deformation

の断面を示している。これに対し、成形後の Fig. 11 (b) では、コンデンサの内部に侵入したエポキシ樹脂が封口栓を持ち上げ、電解フィルムを変形させている。この状態では、電気的な特性を満足することができない。

ここで、電解コンデンサの役割について述べる。

小型二輪車では、バッテリーから ECU に至る電源経路に接点を有するスイッチやコネクタがある。これらの電子機器は、外部から衝撃や振動が加わると接点が瞬間的に離れ、電流が遮断されることがある。電解コンデンサは、この電流の遮断が継続される時間、ECU を動作させるために必要な電気エネルギーを蓄えている。

小型二輪車の電源経路の中では、従来 ECU で使用していたコネクタの瞬断時間が長く、この時間に対応するには電解コンデンサが必要であった。

新たに開発したカードエッジコネクタの瞬断特性は ISO8092 に準拠させたため、瞬断時間を 1 μ s 以下に低減することができた。これにより電解コンデンサより静電容量の小さいセラミックコンデンサに代替することが可能となり、成形の際にダメージを受ける電子部品はなくなった。

3.4. 多数個成形技術

ECU の生産性を向上させるために、最も影響が大きいのは多数個成形技術である。

半導体パッケージの生産に用いられているトランスファ成形は、金型面積内に配置したシリコンチップを、一回の成形で数 100 個を超える Integrated Circuit (IC) を生産する生産性の高い製法である。同様のメリットを ECU に享受するためには、できるだけ多くの数を得られるような、多数個成形技術を成立させることが必要であった。

しかし、ECU 体積が半導体パッケージに比べてはるかに大きいため、半導体生産で使用されている従来製法を、そのまま適用するには課題があった。

そのため、パワーデバイスなどの大型 IC の成形で使用されるマルチキャビティ成形方式の採用を検討した。これは、1 個取りの金型をプレス面内に複数個設置する方式で、個々の金型にポットとプランジャが設けられている。この方式を基本として大きな ECU を成形するのに十分なポッドを増設し、これを金型面積内に並列に配置した金型を採用した⁽⁵⁾。

Fig. 12 は、個々の金型にある二つのポッドで溶融した樹脂が、ランナから供給され充填される途中の状態を示している。開発中に設定した 1 個取りの成形条件をそのまま適用し、新たなエポキシ樹脂⁽⁶⁾を使用して、高品質で生産性の高い成形を実現した。

カードエッジコネクタ化により 20% 小型化された PCB をプレス面内に 10 個を超えて配置し、従来構造の ECU に対し 5 倍を超える生産性を達成した。

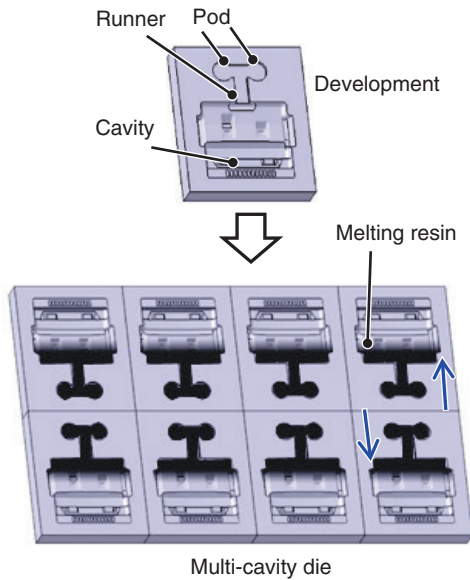


Fig. 12 Multi-cavity molding dies arrangement

4. カードエッジコネクタに適用した新技術

ここでは、カードエッジコネクタに新たに適用した技術のうち、挿抜耐久性の向上、接触安定化技術、振動抑制技術について述べる。

4.1. 挿抜耐久性の向上

先に示した Fig. 8 (c) では、一般的なカードエッジコネクタのかん合動作の状態を模式的に示している。この際 PCB の切断面により、メス端子表面に傷やめつき剥がれが発生することを述べた。開発品の ECU では、防水性の観点より、この切断面をエポキシ樹脂で封止している。しかし、このエポキシ樹脂にはシリカなどの硬いフィラが配合されており、それが端子表面に付着するとダメージを助長してしまう。

われわれは、コネクタと ECU のかん合動作中には、封止された PCB 切断面がメス端子に接触しないフローティング挿抜機構を開発した。それを実現しているのは、メスハウジングの内部に設けられているスペーサである [Fig. 2 (b)]。その詳細動作を Fig. 13 に示す。

図中の (1) は ECU がコネクタにかん合される前の状態を示している。この時点では、ECU がメスハウジングの中に挿入され始めているが、スペーサはメスハウジングの初期位置に固定されたままである。そのため、ECU、スペーサ、メス端子、エッジコネクタ端子はそれぞれ互いに接していない。

(2) は ECU がコネクタにかん合されている途中の状態を示している。ECU が徐々に挿入されるとスペーサと接して、これをハウジングの奥に押していく。そしてスペー

サとメス端子が (a) 部で接する。

(3) は ECU がコネクタに完全にかん合された状態を示している。ECU がさらに挿入されるとスペーサはハウジングの奥まで押されて、(b) 部で接するメス端子を図の下方向に変形させる。同時に (c) 部ではメス端子とエッジコネクタ端子が、はじめて接触状態となる。

ECU を取り外す際は、ECU の抜去動作と共にスペーサが反対方向に戻り、メス端子への押圧が開放されてからコネクタから外れる構造となっている。このようにスペーサは ECU の挿抜に伴い動作する。これにより、二輪車がメンテナンスされる際、繰り返し ECU の脱着作業がおこなわれても、メス端子にダメージを発生させることのない機構を確立した。

4.2. 接触安定化技術

次に、カードエッジコネクタの端子接触状態を安定化させた技術について述べる。

Fig. 14 は、一般的なコネクタとカードエッジコネクタ

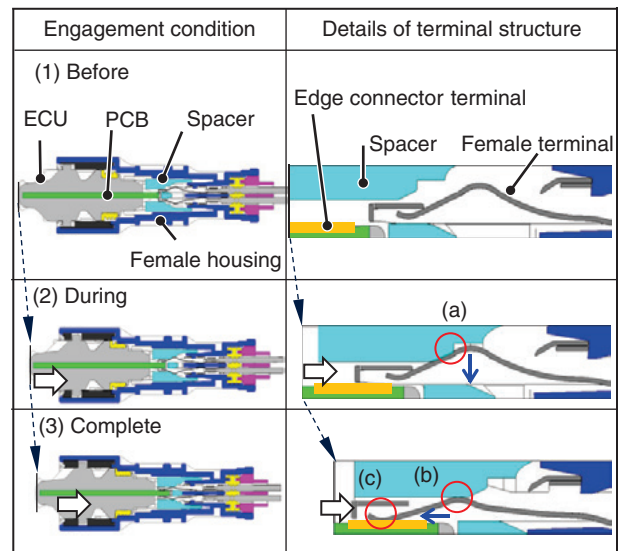


Fig. 13 Mating operation with spacer

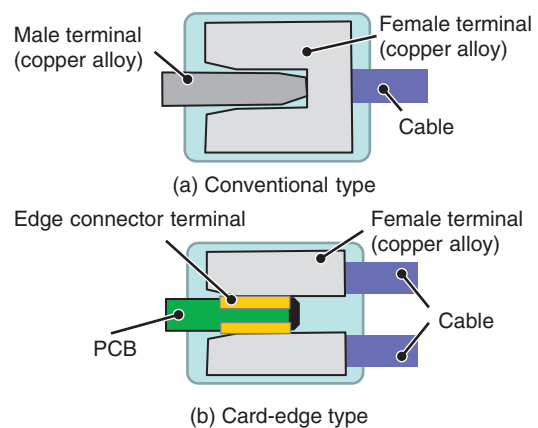


Fig. 14 Terminal contact structure

の端子接触部の模式図を示している。一般的なコネクタはメス端子がオス端子を挟み込む構造で、いずれも同種の銅合金で構成されている。

カードエッジコネクタの場合は、PCB上に形成されているオス端子に銅合金製のメス端子が荷重をかける構造である。PCBは端子接触を目的に設計されていないため、強い荷重をかけると変形してしまう。さらに、高温環境下ではPCBの曲げ剛性が低下するため、変形が大きくなり、接触状態は不安定になる。

この課題を解決するために、メス端子形状とPCBのそれぞれに新たな技術を採用した。

Fig. 15にカードエッジコネクタの端子接触部の断面模式図を示す。Fig. 15 (a)は、一般的なカードエッジコネクタの接触構造を示し、マクロ的にはメス端子とエッジコネクタ端子は端子断面内の1点だけで接触している。そのため、印加荷重はこの1点に集中し、強い荷重をかけるとPCBの変形につながってしまう。

Fig. 15 (b)に示す開発したメス端子は、凸形状を複数持ち、端子断面内の2箇所がエッジコネクタ端子に接触する構造である。すなわち、メス端子と接続される車体側のハーネスが揺動した場合にも、凸部のいずれかの2点が必ずエッジコネクタ端子と接触している。この凸形状はメス端子先端の1.5 mm幅に精密プレスで成形されている[Fig. 5 (d)]。この端子により荷重が分散されるため、PCBの変形は抑制される。また、導電経路が複数並列に確保されるため、端子接触抵抗を従来の2分の1以下とすることができた⁽⁷⁾。

次にPCBの剛性変化について述べる。Fig. 16に一般用PCBと開発したPCBの曲げ剛性温度特性を示す。

一般用のPCBは、150°Cになると25°C時の半分以下の剛性に低下してしまう。これは、カードエッジコネクタにとって、メス端子の印加荷重の半分がPCBを変形させ、端子に加えられる実質の荷重が半分に低下することに相当する。

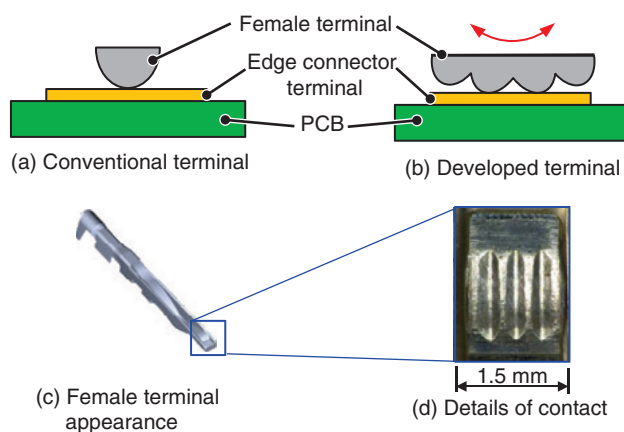


Fig. 15 Card-edge terminal contact structure

新たなPCBには、ガラス転移温度の高い樹脂材料を採用し、内層には剛性変化を抑制する構造を採用した。これにより、150°Cにおいても25°C時の80%の剛性を確保できた。

上記2点の技術を適用することで、安定した接触構造を実現することができた。

4.3. 振動抑制技術

カードエッジコネクタの最後の課題は耐振性であった。

この課題を、高耐振コネクタで使用されているスライダ機構⁽⁸⁾を応用することで解決した。Fig. 17にこれを適用した防水カードエッジコネクタと、かん合されたECUの断面図を示す。

下の模式図で示しているECUの重心位置は、端子接触部と離れて配置されている。そのため、外部振動が加わるとECUの先端が揺動し、端子接触部が影響を受け摺動磨

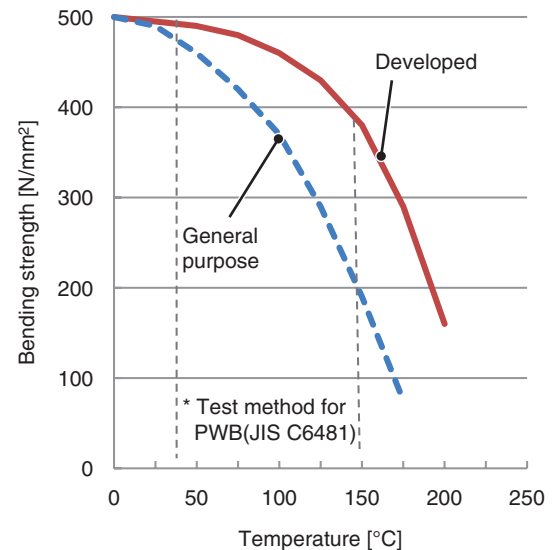


Fig. 16 Bending strength of PCB

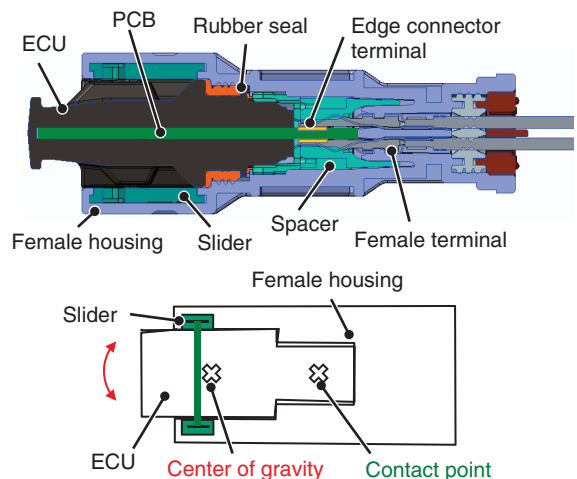


Fig. 17 Cross section of developed vibration-resistant connector with slider

耗を発生させてしまう。

これは、カードエッジコネクタ独特の構造によるもので、耐振性を向上させるためには ECU とメスハウジング間の相対的な振動を抑制する必要があった。

そのため、ECU の重心近くで ECU とメスハウジングをスライダによって強固に固定する構造とした。Fig. 18 は、この技術を適用した場合の振動抑制効果の一例を示している。スライダを適用していない Fig. 18 (a) では、ECU の先端の加速度とメスハウジングの根元の加速度に位相差 θ が発生している。これに対しスライダを適用した Fig. 18 (b) では位相差がみられない。これは、ECU とメスハウジングが一体化され、二つの間の結合部の剛性が向上したことを示している。

また、このスライダ機構の基本技術を前後、左右方向にも応用し、ECU とメスハウジングの結合剛性を向上させた。

この状態での振動解析の結果の一例を Fig. 19 に示す。スライダのない Fig. 19 (a) は、ECU の先端にあたる赤色の部分の振動振幅が大きいことを示している。一方、緑色で示されるメスハウジングは振動振幅が小さく、これら二

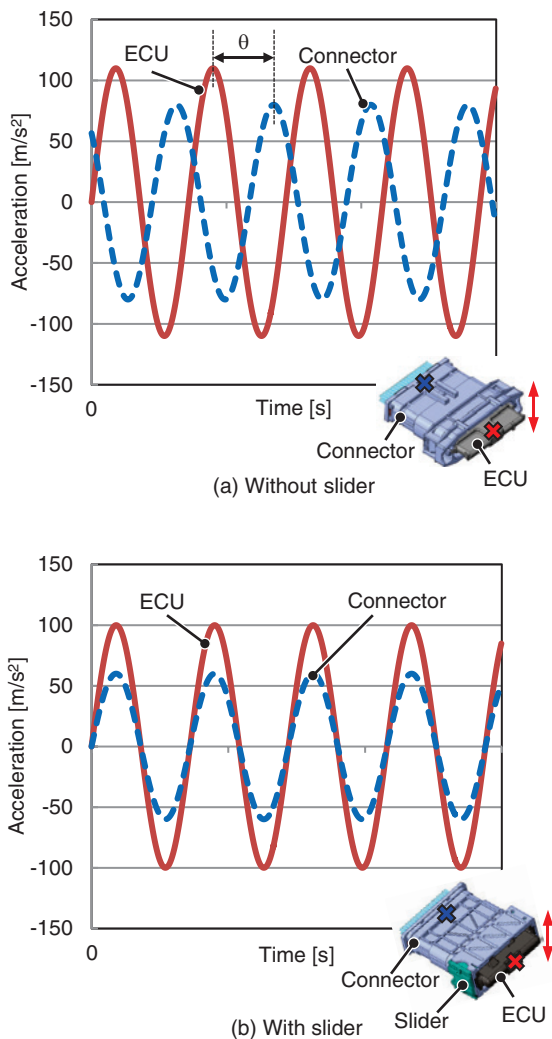


Fig. 18 Vibration suppression effect by slider

つの間に相対的な変位が発生していることがわかる。これに対しスライダを適用した Fig. 19 (b) では、ECU とメスハウジングが同じ緑色を示している。これにより、すべての方向において二つの間に相対的な変位が発生していないことがわかる。

また、このスライダ機構はメンテナンス性にも寄与している。Fig. 20 に ECU の脱着作業の様子を示している。ECU の側面に 20 mm のスペースがあればスライダを引き出すことが可能である。これにより、従来よりも狭い空間で ECU の脱着が可能となった。

これらにより、スライダ機構を適用された防水カードエッジコネクタは、従来同等の高い耐振性と良好なメンテナンス性を実現した。

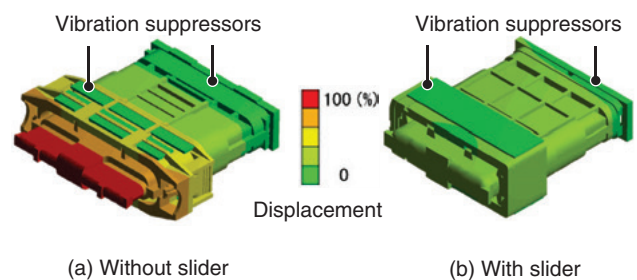


Fig. 19 Vibration analysis result by slider

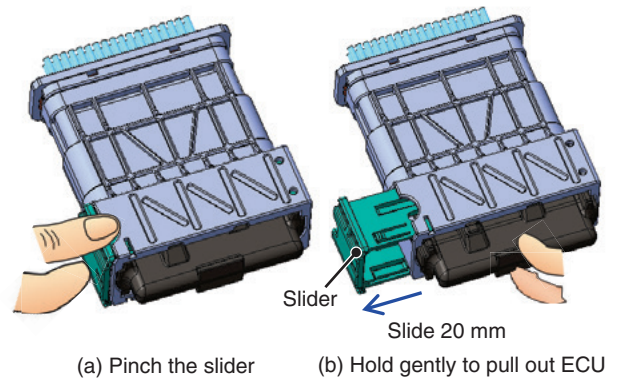


Fig. 20 Good workability by slider

5. 耐久性とコスト低減効果

最後に耐久性とコスト低減効果について述べる。

5.1. 耐久性

耐久テストは、ECU とコネクタを定められたかん合条件でおこなった単体テストと実車走行にておこなった。

単体耐久テストのうち、最も厳しい複合耐久テストについて述べる。このテストは二輪車が使用される外部環境を模擬したテストで、温湿度、通電、振動の環境を周期的に

繰り返す条件でおこなわれる。耐久テスト終了後に、電気的特性や防水性の異常は確認されなかった。

実車走行テストでは、設定された条件を走行し要件を満足した。さらに、新たな ECU とコネクタの故障モードを把握するために、要件の 5 倍にあたる距離を走行した。走行中すべての端子に接触不良がなく、耐久後の ECU 特性検査でも異常がないことが確認された。

5.2. コスト低減効果

コスト低減の概要を Fig. 21 に示す。開発した ECU は従来 ECU と比べて、オスコネクタとケースを廃止し部品点数を削減している。これに伴い、生産工程においてはオスコネクタのはんだ付け、樹脂充填、硬化工程が不要となっている⁽⁹⁾。これらにより、新たな ECU は従来比 5 倍を超える生産性を実現し、コネクタを合わせた製品コストは、従来比 20% の低減を達成している。

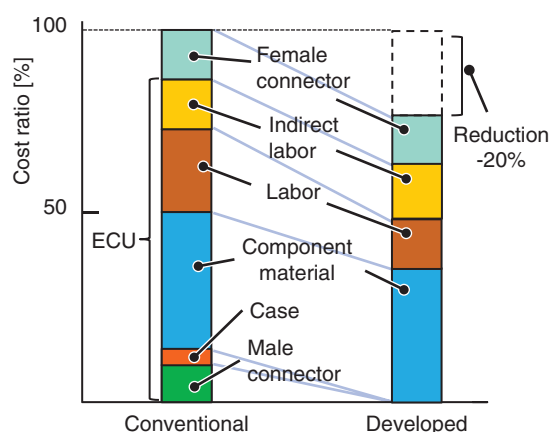


Fig. 21 Cost reduction result and contributing factor

6. まとめ

小型二輪車用 ECU に、トランスファ成形技術とカードエッジコネクタを適用し以下の技術を確立した。

上下割り金型で成形される ECU のパーティングライン高さを規定値以下に抑制し、カードエッジコネクタとのかん合状態で IPX7 相当の防水性を実現した。

新たに可動機構を追加した金型で成形されたカードエッジ ECU は、単体として世界初の防水構造を実用化した。

優れた瞬断耐性を持つカードエッジコネクタにより、電解コンデンサをセラミックコンデンサに代替でき、ECU の小型化とコスト低減に寄与した。

ECU 用に開発したエポキシ樹脂を使い、マルチキャビティ方式の成形設備を適用することで、目標とする生産性を達成した。

防水カードエッジコネクタに接触安定化と振動抑制機構を採用し、耐振性の要件を満たすと同時に優れたメンテナ

ンス性を確保した。

これらにより、ECU は従来比 5 倍を超える生産性を実現した。また、コネクタと合わせたコストは 20% 低減できた。開発品は、2018 年モデルからの単気筒小型二輪車に量産適用を開始している。

参考文献

- (1) 社団法人 電子情報技術産業協会, Automotive Electronics ECU in engine room, 日本実装技術ロードマップ, p.94, (2009)
- (2) <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/two-wheeler-and-powersports/powertrain-systems/engine-management-systems/engine-control-unit-for-small-bikes/2018/11/13>
- (3) JIS D5020:2016, 自動車部品—保護等級 (IP コード)—外来物、水及び接近に対する電気装置の保護
- (4) Takeda, Y., Sugio, D., Inose, K., Takioka, S.: Development of High Productivity and Low Cost card-edge Type ECU for Motorcycles, Small Engine Technology Conference, (2019)
- (5) アピックヤマダ株式会社:デュアルマルチポット技術, 技術・製品紹介 p.4, (2018)
- (6) 特許番号, 第 5994961 号, (2016)
- (7) Michael Leidner: LITEFORCE CONTACT TECHNOLOGY, 9 p. TE Automotive, (2017)
- (8) TE connectivity: Heavy Duty Sealed Connector Series catalogue1654326-1, (2013)
- (9) Takioka, S., Kuboki, T., Kosuge, T., Sato, Y., Nozaki, S.: ECU for Small Motorcycles Produced by Transfer molding, Keihin Technical Digests, (2018)

著者



武田 裕一



猪瀬 幸司



原田 紀貴



菅野 清幸

自動車用シートの耐久性を考慮した 撥水撥油表皮材の開発

Development of Water- and Oil-repellent Fabric Considering Durability of Automotive Seat Fabric

根本 千香¹
Chika NEMOTO

林 里恵¹
Rie HAYASHI

要 旨

ユーザの使い勝手を向上させるため、揚げ物やスナック菓子などの油しみやマヨネーズなどの油性の食べ物汚れに対しても汚れがしみ込みにくく、拭き取りやすいシート表皮布地材の開発をおこなった。

従来は、1種類のフッ素樹脂を繊維ヘディッピング加工し、撥水性付与に主眼を置いていたが、新たに3種類のフッ素樹脂を適切な配合でディッピング加工し、さらにそのうち1種類のフッ素樹脂を表皮の裏面にバックコーティング加工した。これにより、自動車の内装材がさらされる高温環境下や乗降摩耗後においても撥水撥油性を保持できるようになった。

ABSTRACT

In order to enhance vehicle usability, seat fabric material was developed that can easily be wiped off and resists staining even by oil from fried foods, snack foods, and other such substances, as well as from mayonnaise and other such oily foods.

The main focus in the past was to increase water repellency by applying a type of fluororesin to fibers by means of a dipping process. Now three types of fluororesin in an appropriate compound have been newly added to the dipping process, and one of those types is also applied to the back of the fabric in a back-coating process. This has made it possible for automobile interior materials to maintain water- and oil-repellency even in the high-temperature environments they are exposed to and following the abrasion caused by occupant entry and exit.

1. ま え が き

近年、パーソナルカーとして車室内の快適性は重視されており、シェアカービジネスの拡大⁽¹⁾に伴い、ますます自動車内装の重要度は高まっている。また、シートは乗員が接する部品であり快適性向上に大きく寄与し、消臭表皮や抗アレルギー抗ウイルス表皮⁽²⁾などの清潔性を備えたシート表皮材を使用したシートが量産されている。

このようにシート表皮材の快適性向上ニーズは拡大方向にあることから、日本、中国、タイ、アメリカの4か国において、ユーザがシート表皮材に求める機能について調査をおこなった。

調査は20歳以上の男女で自家用車を保有している人を対象に、各国約600人へおこなった。結果をFig. 1に示す。

汚れ防止、蒸れ低減、消臭、傷防止などの項目の中で、どの国においても汚れを手軽に拭き取ることができ、食べこぼしや飲みこぼしから保護できるというニーズが最も高いことがわかった。

現在、多くの自動車メーカーでは、シート表皮上に付着する飲食物汚れに対応する機能材として、主に撥水表皮を適用している。これは未加工表皮と比較すると飲み物などの水性液体汚れはしみ込みにくく拭き取りやすいが、油じみがつきやすく、浸透しやすい傾向にある。これらの汚れが表皮裏面まで浸透してしまうと、自動車用シートの構造上、ワディングウレタンやカバー、シートクッションパッド⁽³⁾にまで汚れがしみこむ可能性があり、容易に除去することができなくなる。これは、臭いの発生原因にもなりうる。そこで、ユーザの使い勝手向上を想定し、揚げ物やス

¹ オートモビルセンター

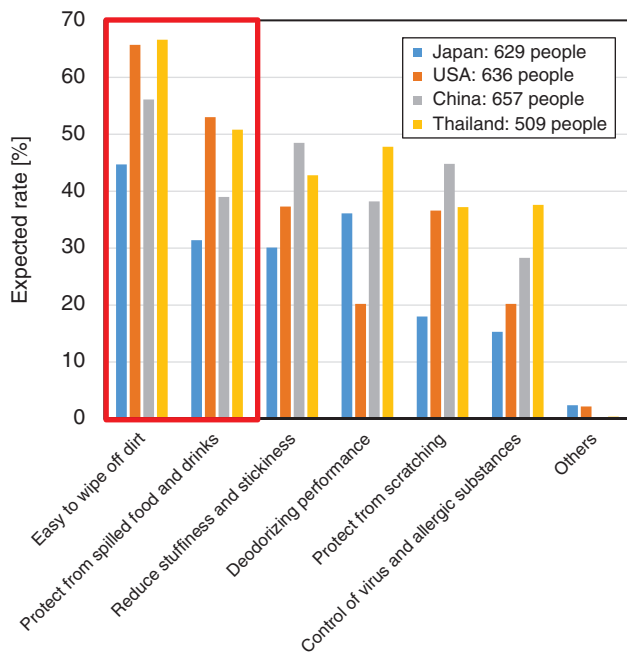


Fig. 1 Expected functions for car seats

ナック菓子などの油しみやマヨネーズなどの油性の食べ物汚れにも対応することが快適性向上につながると考えた。

さらに、自動車のシート表皮材は高温環境下にさらされると同時に、乗降により摩耗するため、これらの耐久性を考慮する必要がある。また、同時に外観性など自動車用シート表皮材としての必要な性能と並立させる必要もある。

このような背景から本研究では、車室内の快適性向上をねらい高温下や乗降を想定した摩耗耐久後でも、シート表皮材に求める基本性能を満足しながら、シート表皮上に付着する飲食物汚れが、浸み込みにくく、拭き取りやすい撥水撥油シート表皮材の開発をおこなった。

2. 目標の考え方と社内評価基準

JIS では繊維の飲食物汚れに対しての試験方法や規格は無い。そこで本開発品が汚れを弾き、浸み込みにくく、拭き取りやすいことを確認するために、試験方法ならびに目標値を検討した。また、設定値は初期だけでなく、シート表皮材に求められる性能である温熱老化後や湿熱老化後、摩耗後の耐久条件も検討した。

2.1. 汚れの種類の設定

性能試験をおこなう際の汚れの種類は、ユーザがシート上に付着させる飲食物汚れの種類調査結果から設定した。調査は弊社従業員 43 人に対しておこなった。チョコレートやポテトチップスなどのスナック類、ソースやマヨネー

ズなどの調味料類、お茶やコーヒーのような飲料が挙げられ、飲食物汚れの成分を大別すると Fig. 2 のように分類される。

前述の結果より各汚れの代表として、水性液体汚れはしみが明確にわかりやすいように色の濃いウスターソース、油性の固体汚れは油分とタンパク質を含むマヨネーズ、油性の液体汚れはスナック菓子などに使用されるサラダ油とした。また、固体乳化汚れは温度変化により液体に変化するチョコレート、液体乳化汚れはコーヒークリームを選定した (Table 1)。各汚れは特定メーカーの一般的なものを選定している。

2.2. 表皮単体性能

2.2.1. 撥水撥油性

食べ物汚れに対する撥水撥油性については、表皮と表皮上に付着させた汚れ物質との接触角が 90° 以上であれば一般的に弾いていることが認識できる⁽⁴⁾。そのため、Table 1 に示す飲食物汚れを付着させ、汚れと試験片の接触角が 90° 以上であることを設定した。また、飲み物汚れに対する撥水性については、従来の撥水表皮でも設定している JIS L 1092 : 2009、繊維製品の防水性試験方法のスプレー試験⁽⁵⁾に準拠し、初期の目標値を 4 級以上、耐久後を 3 級以上と設定した。Table 2 に撥水撥油性の目標値を示す。

2.2.2. 耐裏面浸透性

浸み込みにくさを表す耐裏面浸透性については、高温状態を考慮した。これは、週末しか運転しないユーザが真夏の暑い時期に汚れを付着させてしまい 1 週間後に気づいたとしても完全に浸み込まないことを想定し目標値として定めた。

試験には Table 1 の 5 種類の汚れを使用した。高温の影響を確認するための促進試験条件は、ゴムや有機材料でもおこなわれているアレニウスプロットを活用した熱履歴濃縮方法⁽⁶⁾により実車測温データをもとに算出した $80^\circ\text{C} \times 24 \text{ h}$ とした。そして、表皮上に汚れを規定時間静置させた後でも表皮裏面まで汚れが浸透しないことを目標とした。Table 3 に耐裏面浸透性の目標値を示す。

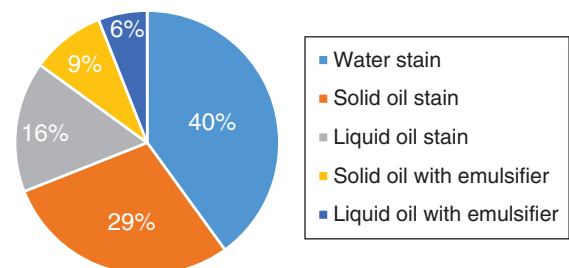


Fig. 2 Types of stains (foods and drinks)

Table 1 Typical stains adhered to seat

Classification	Target stain
Water stain (dark color)	Worcestershire sauce
Solid oil stain + Protein	Mayonnaise (sandwich, hamburger)
Liquid oil stain	Salad oil (potato chips)
Solid oil and emulsifier	Chocolate
Liquid oil and emulsifier	Coffee cream

Table 2 Requirements of water- and oil-repellent performance

Test item			Requirement
Water- and oil-repellent	Water- and oil-repellent (for foods)	Initial state	Contact angle between stain and test piece is over 90°
	Water-repellent (for drinks)	Initial state	Grade 4 min.
		- After heat aging - After heat and humid aging - After abrasion	Grade 3 min.

Table 3 Requirements of permeability to fabric back side

Test item		Requirement
Permeability to fabric back side	Initial state	No penetration to back side
	- After heat aging - After heat and humid aging - After abrasion	No penetration to back side

2.2.3. 払拭性

払拭性を確認するために、拭き取り方を設定した (Fig. 3). 拭き取り方の選定は社内アンケート調査の結果、約 8 割が回答した乾拭きと水拭きを選定した。まず、滴下した汚れを物理的に繊維の構造に入り込まないように、押し込まずに乾拭きで拭き取る。そして、拭き取った後でも汚れが残っている場合は水拭きで叩くように拭き取ることとした。このあと 2.2.2. 項で記述した試験条件後に前述の拭き取りをおこない汚れの明度差を JIS L 0805 : 2005, 汚染用グレースケール⁽⁷⁾を用いて評価した。一般的に人が容易に認知できる明度差は 3 級未満であるため、耐久老化後の表皮材に対しては目標値を 3 級以上とし、初期においては 4 級以上とした。Table 4 に汚れ払拭性の目標値を示す。

2.2.4. 表皮基本性能

本開発品は撥水撥油性、耐裏面浸透性、払拭性と同時に、自動車用シート表皮材として要求される強度特性や染色堅ろう度などの基本性能を未加工品同等以上とした。項目とテスト方法を Table 5 に示す。

2.3. シートアセンブリ性能

2.3.1. シートアセンブリの生産技術性

表皮材をシートアセンブリに適用するにあたり、生産技術性や外観商品性を保持する必要がある。一般的に加工剤を塗布すると表皮材は硬くなるため、撥水撥油表皮材特有のシワが生じていないか、製造時にかけるスチームによって表皮上に白い跡が残るスチーム白化が生じていないか、縫製による針穴見えが生じていないかなどの確認項目を設定した。

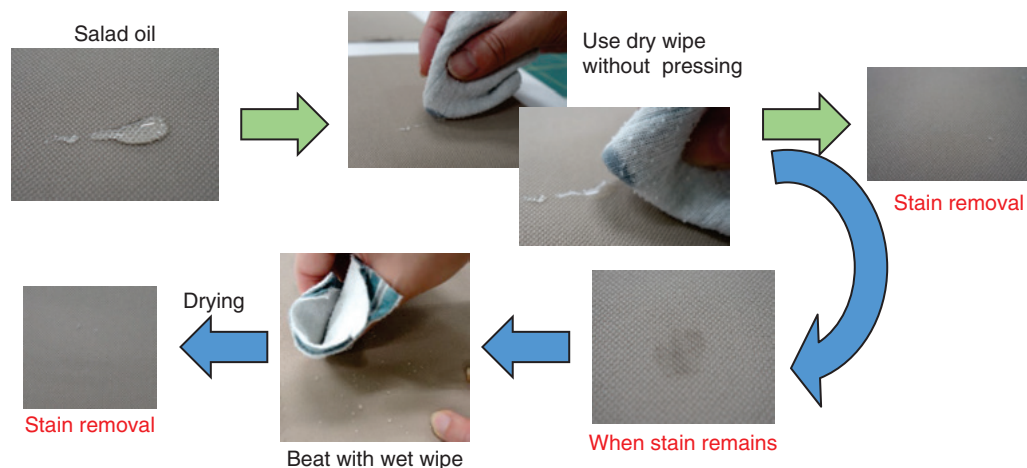


Fig. 3 Test method of wiping off

Table 4 Requirements of wipeability

Test item		Requirement
Wipeability	Initial state	After wet wipe: Grade 4 min.
	- After heat aging - After heat and humid aging - After abrasion	After wet wipe: Grade 3 min.

Table 5 Test items for basic performance of seat fabric

Items		Test methods
Basic items	Constant elongation	JIS L 1096 Testing methods for woven and knitted fabrics ⁽⁸⁾
	Tensile elongation	JIS L 1096 Testing methods for woven and knitted fabrics ⁽⁸⁾
	Tearing strength	JIS L 1096 Testing methods for woven and knitted fabrics ⁽⁸⁾
Concern items	Electrification property	JIS L 1094 Testing methods for electrostatic propensity of woven and knitted fabrics ⁽⁹⁾
	Flammability	FMVSS Flammability of Interior Materials ⁽¹⁰⁾
	Color fastness	JIS L 0849 Test methods for color fastness to rubbing ⁽¹¹⁾
	Light resistance	JIS L 1096 Testing methods for woven and knitted fabrics ⁽⁸⁾
	Heat resistance	Color change of test piece after standing at 110°C for 200 hours is judged using gray scale
	Heat and humidity resistance	Color change of test piece after standing at 50°C /95RH for 500 hours is judged using gray scale

2.3.2. シートアセンブリ乗降耐久後性能

シートアセンブリの乗降耐久後性能として、乗降耐久試験後の外観商品性と裏面浸透性、払拭性を検証した。乗降耐久試験とはシートアセンブリを、乗員の臀部を模したロボットを用いて乗降モードで往復運動させる試験である。外観商品性は、外観上に樹脂の析出や異常な摩耗などがないことを目標とした。また、耐裏面浸透性、払拭性は乗降耐久試験後の表皮をシートアセンブリから切り出し、Table 1 で示す五つの汚れ種類の中でも表面張力が低いサラダ油を用いて、表皮単体で摩耗耐久後の目標値を満足することを目標とした。

3. 撥水撥油表皮材の基本仕様

3.1. 従来の撥水表皮仕様と撥水撥油表皮材の課題

撥水撥油性能には蓮の葉やピーチスキンのような微細な繊維毛によって効果を発揮させる物理作用と、薬剤の塗布によって効果を発揮させる化学作用がある⁽⁴⁾。本開発ではデ

ザインに制約がかからず、乗降耐久試験後でも性能を持たせるといった観点から化学作用を採用することとした。

薬剤塗布で性能発揮する理由を以下に示す。固体表面上に置かれた液滴（水滴、油滴）がつくる接触角 θ は液滴の表面張力 γ_L 、固体表面の表面張力 γ_S および固体と液滴の間に働く相互作用 γ_{LS} の間で式(1)に示す Young の式⁽⁴⁾が成り立つ。

$$\gamma_S = \gamma_L \cos\theta + \gamma_{LS} \quad (1)$$

$$\cos\theta = (\gamma_S - \gamma_{LS}) / \gamma_L \quad (2)$$

式(1)を変形すると式(2)となり、この式から液滴の表面張力に比べて固体表面の表面張力が小さければ小さいほど接触角は大きくなり、弾く性能を発揮する。したがって、化学作用の中でも代表的な薬剤として、表面張力の低い CF_3 基を持つフッ素樹脂と、 CH_3 基を持つシリコン樹脂が挙げられるが、 CF_3 基の方が CH_3 基に比べ表面張力が低いことから、従来の撥水表皮材と同じフッ素樹脂を検討した。Fig. 4 に繊維上のフッ素樹脂の配列例を示す。このように主鎖の接着ポリマが繊維と接着し、側鎖のフッ素樹脂が撥水撥油性能を発揮する。

従来の撥水表皮材は1種類の親水基を持ったフッ素樹脂をディッピング工法により塗布している。Fig. 5 に従来の撥水表皮材の布地構造を示す。ディッピング工法によりフッ素樹脂は表皮材の繊維全体に分散し定着している。

しかし、この材料仕様では撥水性は満足できても、油は水よりも表面張力が低いため、目標とする撥油性が満足できない。さらに、撥水撥油性能を満足させるために、従来の量産撥水表皮よりもフッ素樹脂を多量に塗布してしまう

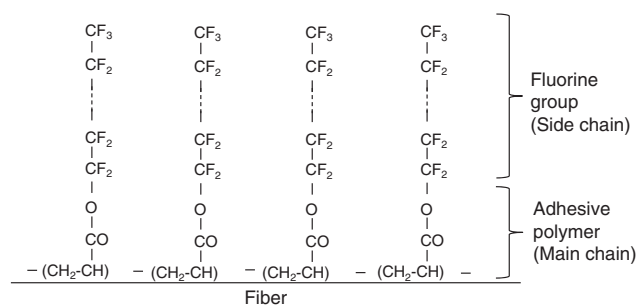


Fig. 4 Array of fluororesin on fiber

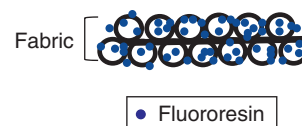


Fig. 5 Structure of conventional fabric

と、表皮を爪などで引っかいた時に白い跡が見えるチョークマークや帯電性および難燃性の低下が背反事項として挙げられる。

目標値を満足させながら、これらの課題を解決するためフッ素樹脂の種類を選定と配合、布地構造を工夫した。検証用表皮は、織毛による物理作用に起因する撥水撥油性能を排除するため、無起毛トリコットで実施した。

3.2. ディッピング加工用フッ素樹脂選定と配合

3.1. 節で説明した従来の撥水表皮材で用いる親水基を持ったフッ素樹脂 (A タイプ) は帯電性と両立できるメリットがあるが、物理的衝撃や熱負荷により、配向が乱れることで撥水撥油性能が低下してしまう特徴がある (Fig. 6)。

そこで、種類の異なるフッ素樹脂の選定をおこなった。まず最初に、主鎖に高ガラス転移点 (T_g) タイプの接着ポリマを配置し、主鎖を硬直させることで、側鎖のフッ素基の配向が乱れにくく、撥水撥油性能が向上するフッ素樹脂 (B タイプ) を選定した。ポリマは液体から固体に変化する際に分子の運動がしやすいゴム状態から分子の運動が制限されるガラス状態になる。 T_g はこのガラス状態になる温度のことをいい、 T_g が高いタイプはガラス状態で存在している温度域が高いため、室内の温度が高温になっても主鎖が硬直し、側鎖のフッ素基の配向は乱れにくくなる。

次に B タイプより T_g が低く加工後の表皮材の硬さが抑えられるタイプの接着ポリマを主鎖にもったフッ素樹脂

(C タイプ) を選定した。Fig. 7 に選定した樹脂の模式図と特徴を示し、Table 6 に A タイプ、B タイプ、C タイプ、それぞれ 1 種類のみを塗布した場合の初期 $80^\circ\text{C} \times 24 \text{ h}$ 静置後のサラダ油の耐裏面浸透性、初期の撥水性、チョークマークの結果を示す。このようにフッ素樹脂 1 種類のみでは求める性能を満足できなかった。

そこで、すべて目標値を満足させるために、3 種類のフッ素樹脂を配合し、その割合を調整することを検討した。

Table 7 に A タイプ、B タイプ、C タイプの割合を変化させた初期 $80^\circ\text{C} \times 24 \text{ h}$ 静置後のサラダ油の耐裏面浸透性、初期の撥水性、チョークマークの結果を示す。

この結果、B タイプのフッ素樹脂は低割合でないとチョークマークが低下するが、B タイプを配合しないと撥油性が目標値を達成できないことがわかり、2 種類のみでも満足しないことがわかった。このように、3 種類のフッ素樹脂のバランスを見極めながら最適な配合割合を見出した。

3.3. 加工工程による最適化

3 種類のフッ素樹脂を配合してもディッピング工法のみでは、シート表皮材の柄の凸凹によって撥水撥油性能へのバラつきが発生し、樹脂量の増加により、難燃性の低下がみられた。また、加工工程ごとに染料や加工薬剤を定着させる乾燥工程で熱履歴がかかることから、染料の昇華による染色堅ろう度が課題となることがわかった。そこで加工工程を最適化することによってこれらの課題を解決した。

3.3.1. バックコーティング加工による性能安定

撥水撥油性能のバラつきや難燃性の低下を抑えるために、布地裏面へ親水基を含むフッ素樹脂 (A タイプ) と難燃剤をバックコーティング加工した。通常バックコーティング加工は難燃剤を塗布する目的でおこなっているが、ここにフッ素樹脂を追加することで、撥油性と耐裏面浸透性を安定させることができた。また Fig. 8 で示すように、ディッピングとバックコーティングの組み合わせでフッ素樹脂を加工することにより、表皮柄によらず、安定した撥水撥油性能を満足することができた。

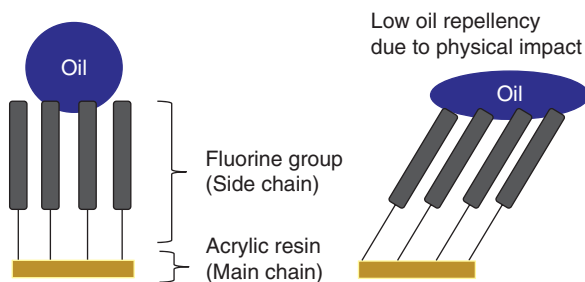


Fig. 6 Image of chemical structure of fluororesin

Type of fluororesin		
Type A	Type B	Type C
Control electrification performance by hydrophilic group	Advanced oil repellent performance by high T_g	Control hardness of fabric by lower T_g than Type B

Fig. 7 Features of fluororesin

Table 6 Test results of one kind of fluororesin

Percentage of fluororesin (%)	Type A	100	0	0	+ : Acceptable - : Unacceptable
	Type B	0	100	0	
	Type C	0	0	100	
Concern property items	Permeability to fabric back side	-	+	-	
	Water-repellent (Test result)	+(Grade 5)	-(Grade 3)	+(Grade 4)	
	Chalk mark	-	-	-	

Table 7 Test results with varying proportion of fluororesin

Percentage of fluororesin (%)	Type A	95.2	52	25	0	+ : Acceptable - : Unacceptable
	Type B	4.8	2	0	4.8	
	Type C	0	46	75	95.2	
Concern property items	Permeability to fabric back side	+	+	-	+	
	Water-repellent (Test result)	-(Grade 3)	+(Grade 5)	+(Grade 5)	-(Grade 3)	
	Chalk mark	-	+	+	-	

3.3.2. 洗い工程追加による染色堅ろう度の保持

バックコーティング工程の追加により乾燥工程が増えるため熱履歴の増加から、染色堅ろう度が課題となる。そのため、染料の配合量が多い濃色表皮でも染色堅ろう度の目標値を満足するよう余分な染料を取り除く必要があり、ディッピング工程後に洗い工程を追加した。Fig. 9 に本開発での加工工程を示す。

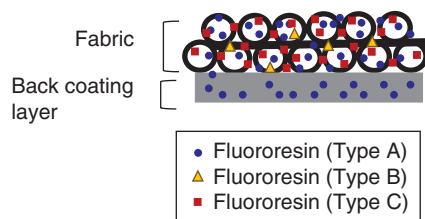


Fig. 8 Fabric structure

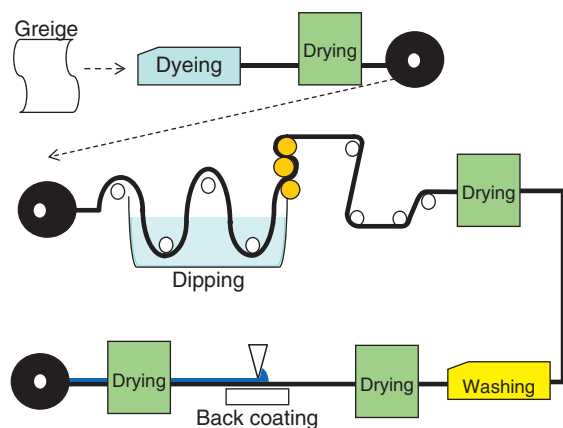


Fig. 9 Process of chemical compound treatment

4. 性能試験結果

4.1. 表皮単体性能結果

今回、撥水撥油表皮材にあたり設定した社内評価基準の結果は Table 8 から Table 10 に示すように、すべて目標値を満足することを確認した。自動車用シート表皮として求められる基本性能に関しても本開発品は未加工品と比べて遜色ない結果であり、表皮単体性能は社内評価基準をすべて満足した。

また、撥水撥油表皮材と量産撥水表皮材、未加工表皮材の初期における、五つの代表汚れに対する常温下と 80℃ 下の 24 時間静置後の裏面浸透性の比較結果を Fig. 10 に示す。ハッチング面積が大きいほど撥水撥油性能が発揮していることを示している。

未加工表皮材はチョコレート以外のすべての代表汚れで常温および 80℃ 下で浸透し、量産撥水表皮材は常温下では浸透しないが 80℃ 下ではウスターソース以外のすべての代表汚れで浸透した。これに対し、撥水撥油表皮材は常温および 80℃ 下でもすべての汚れ種類に対して浸透が見られなかった。

さらに、代表例として初期における 80℃ 下でのサラダ油の浸透性を確認した結果を Fig. 11 に示す。このように、開発品は撥油性を有していることが確認できた。

サラダ油の試験に加えて、油がしみ出しやすいフライドチキンを撥水撥油表皮材と未加工表皮上に置き、性能を確認した。結果を Fig. 12 に示す。未加工表皮は置いてすぐに油じみが付着してしまうが、撥水撥油表皮材は 7 日間放置したのちも、油じみが見られなかった。

Table 8 Test results for water- and oil-repellent performance

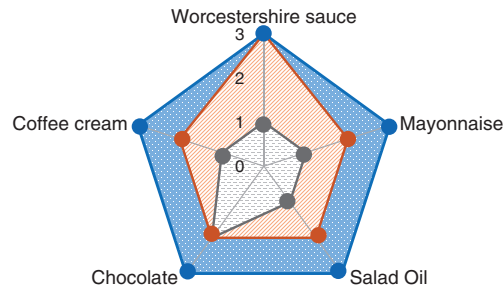
Test item			Requirement	Test result	Judgement
Water- and oil-repellent	Water-repellent (for drinks)	Initial state	Grade 4 min.	Grade 4.5	Acceptable
		· After heat aging · After heat and humid aging · After abrasion	Grade 3 min.	Grade 3.5	
	Water- and oil-repellent (for foods)	Initial state	Contact angle between stain and test piece is over 90°	Over 90°	

Table 9 Test results for permeability to fabric back side

Test item		Requirement	Test result	Judgement
Permeability to fabric back side	Initial state	No penetration to back side	None	Acceptable
	· After heat aging · After heat and humid aging · After abrasion	No penetration to back side	None	

Table 10 Test results for wipeability

Test item		Requirement	Test result		Judgement
Wipeability	Initial state	After wet wipe: Grade 4 min.	Worcestershire sauce 4 Mayonnaise 4 Salad oil 4 Chocolate 4 Coffee cream 4		Acceptable
	(1)After heat aging (2)After heat and humid aging (3)After abrasion	After wet wipe: Grade 3 min.	(1)	Worcestershire sauce 4 Mayonnaise 3.5 Salad oil 4 Chocolate 4 Coffee cream 3	
			(2)	Worcestershire sauce 4 Mayonnaise 3.5 Salad oil 4 Chocolate 4 Coffee cream 4	
			(3)	Worcestershire sauce 4 Mayonnaise 4 Salad oil 3.5 Chocolate 4 Coffee cream 4	



■ Water- and oil-repellent fabric	■ Water-repellent fabric	□ Non-processed fabric
1 : Penetration to back side at both room temp. and 80°C		
2 : No penetration to back side at room temp. Penetration to back side at 80°C		
3 : No penetration to back side at both room temp. and 80°C		

Fig. 10 Comparison of permeability

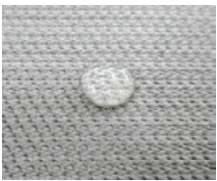
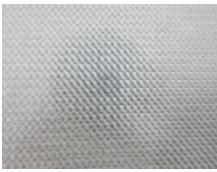
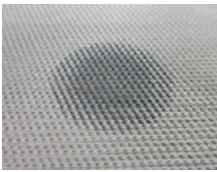
	Water- and oil-repellent (developed item)	Water-repellent (mass production)	Non-processed
Salad oil			
Results	Oil-repellent	Penetrate	Penetrate

Fig. 11 Comparison of developed material

	Water- and oil-repellent (developed item)	Non-processed
Fried chicken	After one week 	After 5 seconds 
Results	Oil-repellent	Penetrate

Fig. 12 Result of placing fried chicken

4.2. シートアセンブリ性能結果

シートアセンブリの生産技術性についても目標をすべて満足することを確認した。2.3.2. 項で記述したシートアセンブリ乗降耐久後性能の結果を Fig. 13 に示す。本開発品はシートアセンブリ乗降耐久後性能項目を満足することが確認できた。

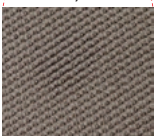
Test items	Requirements	Results
Ingress and egress durability (10000 cycles)	· No unusualness such as wrinkles · No tear of fabric	Acceptable 
Permeability and wipeability after ingress and egress durability test	· No penetration to back side · After wet wipe: Grade 3 min.	Acceptable (Grade 3.5) 

Fig. 13 Results of ingress and egress durability test

5. まとめ

本研究では、自動車のシート表皮材がさらされる高温下や摩耗耐久後でも、シート表皮上に付着する油分を含んだ飲食物汚れが、浸み込みにくく拭き取りやすい、撥水撥油表皮材の開発をおこなった。

- (1) 3 種類のフッ素樹脂を適切な配合割合でディッピング加工し、かつ、1 種類のフッ素樹脂をバックコーティング加工した。この仕様の確立により高温下や摩耗後の撥水撥油性を発揮した。同時に、シートアセンブリの外観商品性も満足した。
- (2) フッ素樹脂ディッピング後に洗い工程を追加することによって、染色堅ろう度を満足させ、濃淡色でも安定した生産工程を確立した。

本研究で開発した撥水撥油表皮材は、2020 年モデル STEPWGN に採用した。シート表皮材への機能性付与技術は自動車だけではなくバスや電車などのシート表皮材や洗濯ができないソファなどの布帛へ適用拡大が期待される。

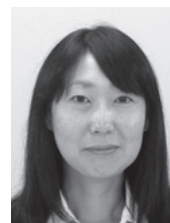
参考文献

- (1) 自動車技術会：2050 年自動車はこうなる，(株)精興社，p.17，(2017)
- (2) 林里恵，大原弘平，鈴木太郎：抗ウイルス抗アレルギー加工シート表皮材料の開発，自動車技術会，2017 年秋季大会学術講演会講演予稿集，p.1151-1156，(2017)
- (3) 自動車技術会：自動車技術ハンドブック 設計(デザイン・車体)編 4，p.96-103，(2016)
- (4) 東レリサーチ調査研究部門：高撥水技術の最新動向超撥水材料から最新の応用まで，株式会社東レリサーチセンター，p.2-4，(2001)
- (5) JIS L 1092：2009，繊維製品の防水性試験方法のスーパー試験
- (6) 一色節也：日本ゴム協会誌 38.10，p.884-897，(1965)
- (7) JIS L 0805：2005，汚染用グレースケール
- (8) JIS L 1096：2010，織物及び編物の生地試験方法
- (9) JIS L 1094：2014，織物及び編物の帯電性試験方法
- (10) Federal Motor Vehicle Safety Standards No.302
- (11) JIS L 0849：2013，摩擦に対する染色堅ろう度試験方法

■ 著 者 ■



根本 千 香



林 里 恵

Honda RaaS Platform

クラウドとロボティクスを融合させるプラットフォーム – Robotics as a Service Platform

Honda Robotics as a Service Platform Integrates Cloud and Robot Technology

東 治 臣¹

Haruomi HIGASHI

要 旨

Honda RaaS Platformとはロボティクスサービスを開発・運用するためのプラットフォームである。

ロボティクスサービス構築を行うための開発や運用の観点から、過去の ASIMO によるデリバリーサービスの実証実験より、ネットワーク、実験環境構築、開発環境、運用環境、サービス構築・拡張に関する検討すべき改善事項を得た。

Honda RaaS Platform は各改善事項に対して、SIM による稼働エリア拡大およびセキュアな通信環境、クラウドを利用したスケーラブルなインフラ環境、ネットワーク経由でアクセス可能な開発・デバッグ環境、リモート監視可能な運用環境、API 提供によるサービス構築・拡張環境を提供することで、ロボティクスサービスの開発や運用を改善できる。

また、Honda RaaS Platform のアーキテクチャやインタフェースを示すと共に、複数の異なるロボティクスデバイスを連携・協調させる一連のデリバリーサービスの事例により、コンセプトである「異能を繋ぐのりしろ」を実証した。

ABSTRACT

Honda Robotics as a Service Platform is a platform for the purpose of developing and operating robotics services.

In terms of development and operation for the purpose of establishing such services, past verification tests of delivery service using ASIMO identified issues for further work that required investigation relating to the network, the creation of testing environments, the development and operational environments, and the establishment and expansion of service.

Regarding each of the above issues, the Honda RaaS Platform can enhance the development and operation of robotics services by providing for a secure communication environment and expansion of the operating area by means of SIM, a scalable infrastructure environment using the Cloud, a development and debugging environment that is network accessible, an operational environment that enables remote monitoring, and an environment for establishment and expansion of service by API provision.

In addition to showing the architecture and interface of the Honda RaaS Platform, the concept of “collaboration of diverse talents all over the world” was also proven by case examples of a series of delivery services that create collaboration and coordination by multiple different robotics devices.

1. はじめに

Honda は創業 100 年を超える 2050 年を見据えて、2017 年に「2030 年ビジョン」を策定した⁽¹⁾。ここでは「すべての人に、『生活の可能性が広がる喜び』を提供するー世界中の一人ひとりの『移動』と『暮らし』の進化をリードするー」というステートメントが示されている。

¹ ライフクリエーションセンター

その具現化の手段のひとつとして、従来の Honda が得意とする多岐に渡るモノづくりに対し、ハードウェアだけではなく、ソフトウェアによる体験や経験といったコトづくりを含むソリューション創出力の強化を図るテーマとして、2017 年に Honda RaaS Platform が提案された。その担う役割は、Honda 社内の様々なアルゴリズムやアプリケーションに対する先進研究開発の成果を再利用可能な形

で集約し、すべての人に対して役立つようにまとめあげることで、Honda の中でソフトウェアの価値と重要性を高めることである。

2. Robotics Vision

Honda のロボット開発の歴史は 1986 年に 2 足歩行の研究開発からスタートした (Fig. 1)。ASIMO に代表されるヒューマノイドロボット研究から生まれるロボティクス技術、および応用製品の総称が Honda Robotics である。また、ASIMO の開発ではそれと並行して「人と共存、協調して社会の中で役に立つロボット」の実現に向けて、受付案内やデリバリーサービスの自動化のための統合制御システムを開発してきた^{(2), (3)}。

2018 年、Honda は新たなロボティクスのビジョンとして「人の素晴らしさが際立つロボティクス社会」の実現を目指すことを、3E コンセプト「Empower・Experience・Empathy」とともに発表した (Fig. 2)⁽⁴⁾。

3E コンセプトの Empower とは、人とロボティクスデバイスがそれぞれの得意領域を活かして協働することで人に時間的・精神的・肉体的な余裕が生まれ、その余裕を新たな方向に振り向けることで、人は自らの可能性を拡大してい



Fig. 1 Honda Robotics history



Fig. 2 3E concept

くことができる、という考えである。Experience とは、人がロボティクスを通して全く新しい体験を行い成長し、ロボティクスデバイスも人から学び、より人のためになるように自らを成長させていく、という考えである。Empathy とは、ロボティクスデバイスが人を思いやり共感して、人が行動するためのサポートを行う、という考え方である。

このような、3E コンセプトを実現するためには「人と協調する人工知能」が必要不可欠であると考えられる。

3. Robotics as a Service - RaaS

一般的に Robotics as a Service (RaaS) とは「ロボティクスの機能をクラウド経由で提供すること」とされる。これは、高負荷処理をクラウド環境に肩代わりさせることでロボット側の処理負荷を軽減する（オフロードできる）ことができる、という考え方である。それに加え、Honda では RaaS を用いると主に下記の三つのメリットがあると考えた。

- (1) ロボットの共通管理による開発・運用の効率化
- (2) ロボットの稼働状況に応じた柔軟なコスト管理
- (3) 新機能の継続的なアップデート

(1) では、ロボットの管理や運用を行うための基本機能を共通化して再利用することで、ロボットサービスの開発や運用の効率を向上させる。

(2) では、例えばロボットを利用した分だけコスト計算を行う従量課金などを可能にする。

(3) では、ロボットやクラウド上のソフトウェアを継続的に更新することで、最新の状態にする。これにより、顧客のニーズや要望に対してロボットサービスを柔軟に対応させることができる。

4. Honda RaaS Platform Concept

Robotics Vision を実現するためには、人を中心とした複数の異なるロボットの協調と連携が必要不可欠であり、Honda だけではなく様々な開発パートナーのロボットやシステムをシームレスにつなぐことが重要である。Honda は CES 2019 にて、Robotics Vision である「人の素晴らしさが際立つロボティクス社会」と 3E コンセプトおよび Cooperative Intelligence (CI) を実現するためのベースシステムとして、Honda RaaS Platform Concept を発表した⁽⁵⁾。

Honda RaaS Platform とは、ロボティクスサービスを開発・運用を容易に行うためのプラットフォームである。これは、データ蓄積・共有、通信制御、状態遷移管理、ロボット間連携などの共通機能を、インタフェースである Application Programming Interface (API) やソフトウェア開発キットである Software Development Kit (SDK) として提供する (Fig. 3)。

さらに、Honda RaaS Platform は「異能を繋ぐのりしろ」というコンセプトを掲げている。これは様々な役割や機能の異なるロボットやシステムをつなぎ、相互に協調させることによって、単一のロボットでは不可能なサービスの実現を目指すコンセプトである。すなわち、様々なロボットメーカーやサービスインテグレータなどと共に、プラットフォームを育てながら、ロボティクスサービスを多くの人が量産できる仕組みを構築することが目指すべきゴールとなる⁽⁵⁾⁻⁽⁸⁾。

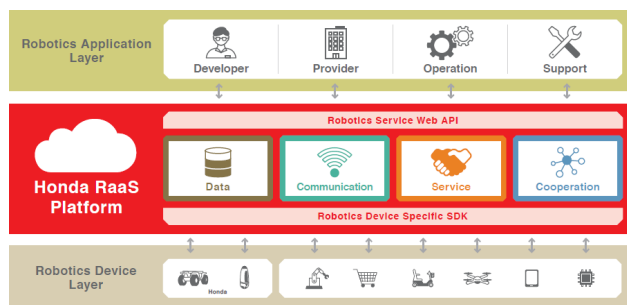


Fig. 3 Honda RaaS Platform conceptual diagram

5. ロボティクスサービス構築実験

Honda RaaS Platform を用いて実現するロボティクスサービスを検討する上で、様々な知見と気づきを得るために、過去に実施したデリバリーサービスの実証実験から改善事項の抽出を行った。具体的には、複数台の ASIMO が連携して、来客者からの注文によって依頼された飲み物を席まで運ぶサービスで、青山と和光市にある Honda の 2 拠点において行われた (Fig. 4)。

得られた改善事項を下記に示す (Fig. 5)。

ネットワークに関しては、実験ではロボットの稼働エリアが屋内空間に限られていたが、現実には屋外移動を含めた通信環境の確保が必要となる。また、ネットワークごとに認証方法が異なるため、統一的なセキュリティ確保にも不安があった。

実験環境構築に関しては、複数台のロボットを青山と和光市の各拠点で運用するため、拠点ごとに管理サーバを用意し、稼働させるロボットごとに設定を行う必要があった。つまり、サーバ設置に時間が掛かるうえ、さらに設定変更の手間も掛かっていた。

開発環境に関しては、ロボットのソフトウェア更新に、ネットワークが有効に活用できなかった。具体的には、あらかじめ物理的な USB メモリに入れたロボットの更新

ソフトウェアを、ロボット管理用の PC (デプロイ PC) に移した後、さらに PC からロボットに転送する必要があった。つまり、ロボットのソフトウェアを更新するプロセスに物理的な手作業が入るため自動化できず、煩雑となっていた。

運用環境に関しては、運用監視用の管理サーバを拠点ごとに設置して、運用監視のオペレータをアサインする必要があった。つまり、拠点が增多るごとにサーバ構築作業費や運用人件費のコストが増加する仕組みとなっていた。

サービスの構築や拡張に関しては、本実証システムは ASIMO のデリバリーサービス用に作りこまれており、もし他に新しいサービスを構築したい場合は、新たにシステムから作り直す必要があった。つまり、新規サービスを開発する場合には新たにシステムの開発コストが掛かり、またサービスを拡張する場合であっても、ASIMO や管理サーバのハードウェアリソースの制約により、拡張できる機能や処理に限界があり、その拡張性には懸念があった。

以上、この実証実験でロボティクスサービスの開発や運用に関する様々な改善事項を得ることができた。



Fig. 4 Tea delivery service by ASIMO

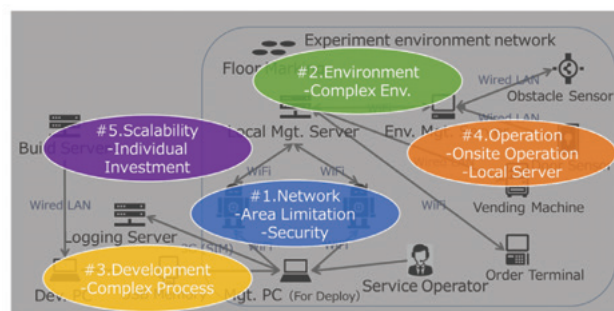


Fig. 5 Issues in building ASIMO delivery service

6. Honda RaaS Platform の特徴

改めて、Honda RaaS Platform とは「ロボティクスサービスを開発・運用するためのプラットフォーム」である。Honda RaaS Platform では、ASIMO のデリバリーサービスの実証実験から得られたロボティクスサービスの開発や運用に関する改善事項に対して、下記の五つのアプローチにより改善と解決を図った (Fig. 6)。

- (1) SIM による稼働エリア拡大とセキュアな通信環境
- (2) クラウドを利用したスケーラブルなインフラ環境
- (3) ネットワーク経由でアクセス可能な開発環境
- (4) リモート監視可能な運用環境
- (5) API 提供によるサービス構築・拡張環境

ネットワークの改善事項に対しては、(1)のアプローチより、ロボットに対して Honda RaaS Platform が提供する SIM を用いてセルラー通信を行うことで、WiFi 領域以外でも通信できるようにする。これにより、ロボットは屋内と屋外の様々な場所でネットワークに接続することが可能になり稼働エリアが広がる。また、各ロボットの SIM 情報を用いてデバイス認証を行い、インターネットを経由することなくセルラー回線経由で通信できることで、ロボットとクラウドの間でセキュアな通信を確立することができる。Honda RaaS Platform のセキュア通信は SIM によるセルラー通信と WiFi 通信の両方をカバーすることができる。WiFi の場合は、インターネットを経由する際に Honda RaaS Platform から発行される認証に必要なセキュリティトークンを用いることで、セキュリティを向上させる。

実験環境構築の改善事項に対しては、(2)のアプローチより、クラウド環境を用いることで処理能力に応じた動的な計算リソースの増加や負荷分散が可能 (スケーラブル) なインフラ環境を提供する。また、拠点ごとのサーバに個別にログインすることなく、Web ブラウザがあれば任意の端末から Honda RaaS Platform の Web GUI にアクセスして拠点ごとのロボットの登録や管理を容易に行うことができる。

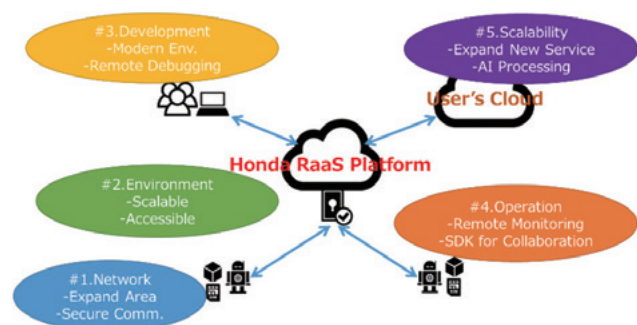


Fig. 6 Approach of Honda RaaS Platform

開発環境の改善事項に対しては、(3)のアプローチより、開発した新しいソフトウェアをネットワーク経由でロボットが利用可能な状態にできることで素早く継続的な開発や改修が可能になる。また、開発者は任意の端末から SIM 経由でロボットにリモートログインすることができ、ロボットの設定変更やログにアクセスしてデバッグを行うことができる。

運用環境の改善事項に対しては、(4)のアプローチより、オペレータは離れた場所からリモートでロボットの稼働状況を確認して監視することができることで、効率的な一括監視が可能になる。また、Web API や SDK を通して運用環境を様々な外部システムと連携させることができる。

サービス構築コストの改善事項に対しては、(5)のアプローチより、Honda RaaS Platform が提供する Web API を用いて、利用者のクラウド環境 (以下、User's Cloud) とシステム連携を行い、ロボティクスサービスを機能拡張することができる。これにより、Honda RaaS Platform が提供する基本機能に加えて、新しい機能を開発したり、既存のサービスを拡張したりすることができる。また、機械学習や AI 処理やシステムを横断するなどの高負荷な処理をクラウド環境にオフロード (負荷分散) できることで、例えば、特定の人を探して屋外に迎えに行くために他の外部システムと連携して特定の人々の位置情報を取得するなど、様々なユースケースを実現できる可能性が広がる。

6.1. Honda RaaS Platform の役割

Honda RaaS Platform の主な役割の一つは接続されているロボットの状態を把握して適切にタスクを振り分けて指示することである。例えば、お茶出しデリバリーサービスの場合は全体シナリオを実行する中で各ロボットへのタスク管理指示制御を役割として担う。各ロボットは Honda RaaS Platform のタスク管理指示制御からのタスク指示を受けて、お茶を積む、お茶を運ぶなどのタスクを実施する。すべてのタスクは Honda RaaS Platform で管理されており、開発者や運用者は Honda RaaS Platform の Web GUI 画面でタスクの実施状況を確認することができる (Fig. 7)。

Honda RaaS Platform の Web GUI 画面はロボットの現在地を示す地図 (Fig. 7(a)) とロボットの現在の状態を示すロボットリスト (Fig. 7(b)) によって構成されている。

ロボットリストにはロボットのタスクの状態などが管理されており、ロボットのタスクに更新があった場合は、対象のロボットのラインが青色でフラッシュ点滅すると同時にタスクが更新される。例えば、コミュニケーションロボットが注文を受けた後、Honda RaaS Platform からワゴンロボットのタスクが待機から配送に更新される例を示す (Fig. 8)。

6.2. 機能全体像

Honda RaaS Platform のデリバリーサービスで利用された機能全体像を整理すると下記ようになる (Fig. 9).

- (1) SIM による認証と TLS 保護されたセキュア通信
- (2) ロボットデータの User's Cloud 環境への転送
- (3) ロボットのタスク状態や位置情報の可視化
- (4) API を用いたサービスシナリオアプリの作成



Fig. 7 Web GUI configuration



Fig. 8 Honda RaaS Platform sends task

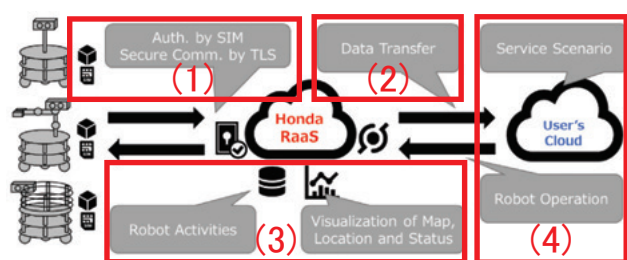


Fig. 9 Overall function

6.3. アーキテクチャとインターフェース

Honda RaaS Platform の全体像を理解するためのアーキテクチャを下記に示す (Fig. 10). Honda RaaS Platform はインフラストラクチャサービス層, アプリケーションサービス層, インタフェース層の三つのレイヤで構成される. インフラストラクチャサービス層では, 主にネットワークや認証に関わる機能が実装されている. アプリケーションサービス層では, Web API や Web GUI で必要な機能に関わる様々なアプリケーションが実装されている.

今回は主にインタフェース層に関して説明を行う. インタフェース層では, Honda RaaS Platform を利用するためのインタフェースとして, ロボットに対して, SIM と cirobot-sdk を提供する. ロボット開発者は開発するロボットに SIM を挿して, cirobot-sdk を組み込むことで Honda RaaS Platform に接続することができる. cirobot-sdk はプログラミング言語 python で実装された SDK である. cirobot-sdk は主に通信に関わる機能を提供しており, Honda RaaS Platform とロボット間の認証や通信プロトコル (HTTP や MQTT など) を隠蔽したソフトウェアになっている. また, ロボットの通信ミドルウェアである ROS⁽⁹⁾ 向けの ROS ノードも提供している. これにより ROS を用いたロボット開発者は, ROS Topic 通信を行うことで, クラウドを必要以上に意識することなく, クラウドに接続されている他のロボットとの連携・協調のためのプログラミングを行うことができる.

User's Cloud に対しては, Web API や ciraas-sdk (python クライアントアプリケーション) を提供する. サービスインテグレーションは Web API や ciraas-sdk を用いてロボティクスサービスを構築することができる. Honda RaaS Platform がロボットから受け取ったデータは User's Cloud のストリームサービスに転送される. User's Cloud ではユーザが Honda RaaS Platform の Web API を用いて自由にアプリケーションを構築することができる. Web API は, Web システムの HTTP インタフェースである REST API として設計されている. ciraas-sdk は, User's Cloud 上で対話的に

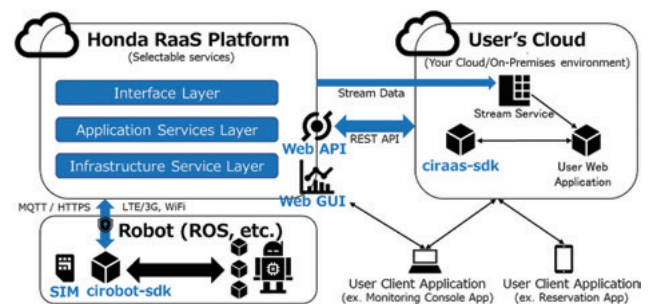


Fig. 10 System architecture diagram

プログラミングを行うための機能を提供する。

運用者の PC やタブレットなどの運用クライアントシステムに対しては、Web GUI をインタフェースとして提供する。運用環境を利用したいオペレータは、任意のデバイスから Web GUI にアクセスすることでロボットの登録や位置情報などを把握しながら運用監視を行うことができる。

6.4. ロボティクスサービスの構築方法

Honda RaaS Platform の利用者であるロボティクスサービスを構築したいエンジニアは、User's Cloud を用意してアプリケーションを実装する必要がある。例えば、User's Cloud として Amazon Web Services (AWS)⁽¹⁰⁾ のクラウド環境を用いてロボティクスサービスを構築する事例を以下に示す (Fig. 11)。

User's Cloud 側でロボットからアップロードされたデータストリームを受けるためには、AWS のデータ転送サービスである Amazon Kinesis Data Streams⁽¹¹⁾ を用いる。また、今回のようなお茶出しサービスのシナリオは、AWS 上にアプリを容易に構築できるサービスである AWS Lambda⁽¹²⁾ を用いてプログラミングを行う。

これにより AWS エンジニアは容易にロボティクスサービスのシナリオを実装して、お茶出しサービス以外にも、受付サービスや案内サービスなどのロボティクスサービスを構築することができる。

6.5. スケーラブルなアーキテクチャ

Honda RaaS Platform は AWS 環境に構築されている (Fig. 12)。Honda RaaS Platform の中で特にコアとなる

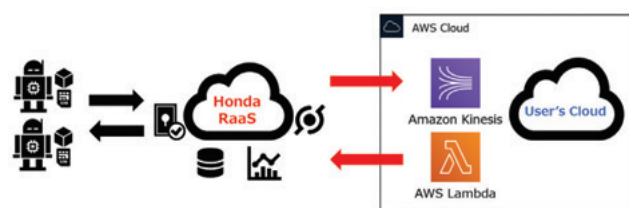


Fig. 11 How to build robotics service on AWS

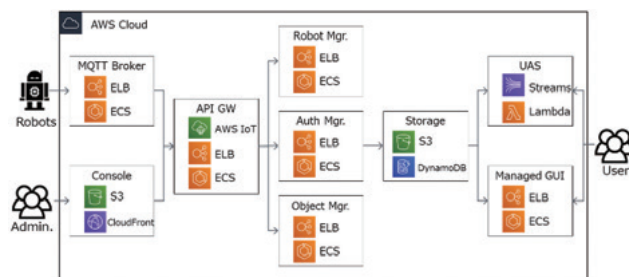


Fig. 12 Cloud architecture diagram

コンポーネントとしては、Robot Manager, Authentication Manager, Object Manager がある。

Robot Manager はロボット登録情報の管理を行う。Authentication Manager はロボットの認証管理を行う。Object Manager はデータの管理を行う。それらを通して、ロボット管理者は Honda RaaS Platform の Web Console (管理者用 GUI) にアクセスして、ロボットの追加や削除などの管理を行うことができる。また、ロボットの運用者は Managed GUI (Web GUI) にアクセスすることでロボティクスサービスの運用を行うことができる。

Honda RaaS Platform には様々な場所の様々なロボットからの同時並列的なアクセスが想定される。アクセスが集中する可能性が高いコンポーネントは、トラフィックを自動的に分散する Elastic Load Balancing (ELB)⁽¹³⁾ による負荷分散と仮想化サービスである Amazon Elastic Container Service (ECS)⁽¹⁴⁾ 上に配置されたコンテナ管理ツールの Docker 環境により、オートスケールするための対策が行われている。

6.6. API とユースケース

Honda RaaS Platform が提供する API の例として、State API と Object Storage API の二つの API とそれぞれを利用した際のユースケース例を下記に示す。

6.6.1. State API

State API を用いると、ロボットの状態を設定・取得することができる。ユースケースとしては、ロボットのバッテリー情報の取得やロボットにタスクを設定するケースを示す。

ロボットは State API を用いて、下記の Fig. 13 に示す通り、ロボットのバッテリー情報を Honda RaaS Platform 経由で User's Cloud まで送信することができる。ここでは“battery”というキーで“20”(=%)という値を送信している。データの転送は cirobot-sdk を用いて、軽量通信プロトコルである MQTT で通信される [Fig. 13 図中 (1)]。ここでロボットが送信した値 {“battery”:20} は Honda RaaS Platform 上の DB に格納される [Fig. 13 図中 (2)]。次に Honda RaaS Platform 経由で User's Cloud の Amazon

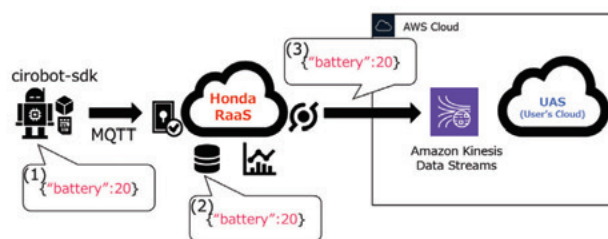


Fig. 13 Battery notification from robot with State API

Kinesis Data Streams に転送される [Fig. 13 図中 (3)].

また、User's Cloud からロボットにタスクを設定する流れを Fig. 14 に示す。ここでは、Fig. 13 よりバッテリー情報の残量が 20% と少なくなってきたため、充電ステーションにロボットが移動するようにタスク指示を設定する。データの転送は HTTPS プロトコルで実行される (Fig. 14 図中 (1))。User's Cloud の中でプログラミングされた AWS Lambda から送信を行った値 {"battery":20,"task":"GoToStation"} は、Honda RaaS Platform 上の DB に格納される (Fig. 14 図中 (2))。そして、Honda RaaS Platform 経由でロボットに MQTT プロトコルでタスク指示の値が転送される (Fig. 14 図中 (3))。

Fig. 13, Fig. 14 の State API を用いることで、ロボットの状態を設定・取得することができる。ロボットの状態は常に Honda RaaS Platform 上で管理されており、ロボットとクラウドの間で状態を同期するロボットシャドウと呼ばれる仕組みを実装することで実現している。これによりロボットとクラウドが適切にロボットの状態を同期して管理することができる (Fig. 15)。

6.6.2. Object Storage API

Object Storage API を用いると、ロボットと Honda RaaS Platform の間で双方向に大きなデータの送受信を行うことができる。ユースケースとしては、User's Cloud から地図データをロボットに配信するケースを示す (Fig. 16)。

ロボットが実空間で移動するためにはロボット用の地図データが必要であるが、一般的に地図データはデータサイズが大きいため一括管理を行う。この地図データを共通データとしてロボットに配信できるようにするために、予

め User's Cloud 環境にアップロードされているものとする (Fig. 16 図中 (1))。

地図データは、User's Cloud 環境の AWS Lambda から Object Storage API を用いて Honda RaaS Platform に HTTPS プロトコルにて転送され (Fig. 16 図中 (2))、Honda RaaS Platform は転送された地図ファイルを DB に格納する (Fig. 16 図中 (3))。

ここで、Honda RaaS Platform は指定されたロボットに対して、MQTT プロトコルで地図データのダウンロード先の URL を発行する (Fig. 16 図中 (4))。

ロボットは任意の安全なタイミング、例えば、充電ステーションに帰還したタイミングで、HTTPS プロトコル経由で地図データをダウンロードすることができる (Fig. 16 図中 (5))。

ロボットは障害物を避けて移動するなど常に様々な処理を行っているため、Honda RaaS Platform が割り込みで大きな地図データを配信してしまうと既存の処理に影響を及ぼしてしまう可能性があるが、このように Object Storage API を用いると大きなデータも安全にロボットに配信することができる。

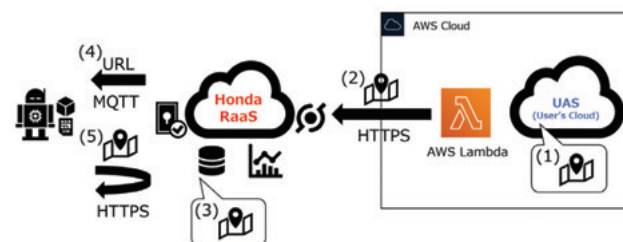


Fig. 16 Map distribution using Object Storage API

7. 実証事例

以下に Honda RaaS Platform による実証事例を示す。

7.1. サービスの分解と再構築

今回は Honda RaaS Platform による「異能を繋ぐのりしろ」というコンセプトを実証するために、複数の異なるロボティクスデバイスを連携・協調させることにより、一連のシームレスなサービス構築事例として、お茶出しのデリバリーサービスの実装例を示す。

まず、過去に行った ASIMO のお茶出しのデリバリーサービスを、単一のサービスという観点から三つのサービスに分解を行った (Fig. 17)。

(1) 注文を受けるサービス (コミュニケーションロボットが担当)

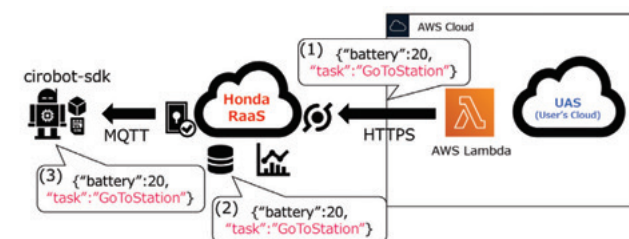


Fig. 14 Set task with State API from User's Cloud

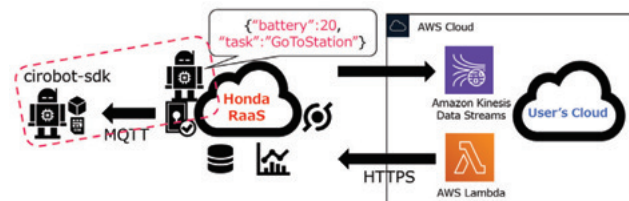


Fig. 15 State synchronization with robot shadows

(2) お茶を積むサービス (アームロボットが担当)

(3) お茶を運ぶサービス (ワゴンロボットが担当)

過去の実証実験では ASIMO が 1 台ですべてを実施していたが、三つに分解したサービスを、三台の異なる役割を持ったロボットによって連携・協調させた一連のサービスとして、お茶出しのデリバリーサービスを再構築した。次にこれらの三台のロボットに SIM と SDK をインストールして Honda RaaS Platform に接続を行った。また、開発者と運用者が任意の端末から Honda RaaS Platform に Web 経由でアクセスできるようにした。

このようにロボットも人も Honda RaaS Platform にアクセスできる環境を構築した。これにより、すべてのロボットを Honda RaaS Platform 上で管理できることと、ロボティクスサービスを実現するためのシナリオをクラウド上で実装して制御することで、クラウドとロボティクスデバイスが一体となってサービスを実現できる形での融合を実現した (Fig. 18)。

7.2. サービスごとの作業分担

Honda RaaS Platform を用いて複数の異なるロボットを協調させたお茶出しのデリバリーサービスの実証実験を行った。

下記に、注文を受けるサービス (Fig. 19 - Fig. 20)、お茶を積むサービス (Fig. 21 - Fig. 22)、お茶を運ぶサービス (Fig. 23 - Fig. 25) の三つのサービスに分けて実施している様子を示す。

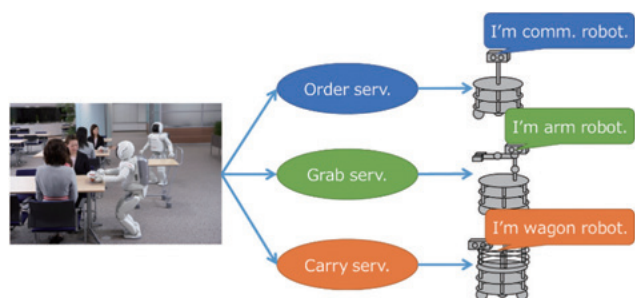


Fig. 17 Assigning role for each service to robot

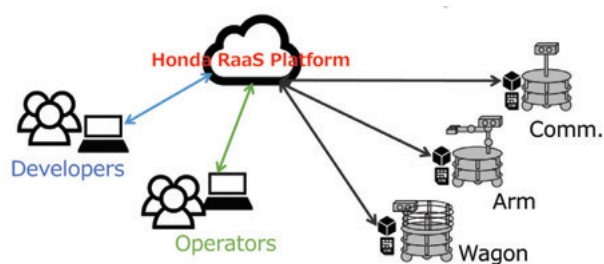


Fig. 18 Fusion of cloud and robotics device



Fig. 19 Request tea delivery service



Fig. 20 Acceptance of service request



Fig. 21 Start the task of grabbing tea



Fig. 22 Grab tea up and give to wagon robot



Fig. 23 Deliver tea to staff seat



Fig. 24 Tea delivery notification by communication robot



Fig. 25 Staff member receives tea

8. 今後の検討課題

同一環境内で複数のロボットが連携してサービスを提供するネットワークロボットシステムの実現に関して、各ロボットのタスク、移動経路、連携シナリオの調整が必要である⁽¹⁵⁾。

また、Honda RaaS Platform によって実現されるロボティクスサービスは SIM やクラウド環境を用いることで、屋内外の広範囲において様々な環境下でのサービスを実現するためのアーキテクチャ設計やリソース配分の調整が必

要になってくることが想定される。

例えば、屋外で人を探す場合は多くのロボットや IoT カメラの画像を取得して、クラウド上で人を認識・特定して、環境データや地図データなどの様々な情報からその場所までの最適な経路を算出する高負荷処理が必要になってくる。一方で、人を探す役割のロボットはその位置情報を受信して経路通りに移動するだけの低負荷処理を行えばよい、などの処理負荷の調整が考えられる。

クラウド環境ではロボット内部の限られたハードウェアリソースと比較して計算資源を豊富に利用することができるが、ロボットとクラウドの間で通信が発生するため、リアルタイム性が損なわれる。一方で、ロボット内部のハードウェアリソースを用いて処理を行うとリアルタイム性や即応性は高いが、計算資源に制約が発生する、というトレードオフがある。

そのため、ユースケースに応じて、どのように計算資源の配置を行うかのバランスを考えてアーキテクチャ設計を行う必要がある。

大枠の指針としては、例えば、複数のロボットをまたいだシナリオ制御や大局的なロボットの移動先の計算は複雑な計算を必要とするためクラウド上の豊富な計算資源を活用する。また、よりリアルタイム性が必要な処理、例えば、障害物の検出と回避や、人とのインタラクションなどはロボット側で処理を行うことが望ましいと考えられる (Fig. 26)。

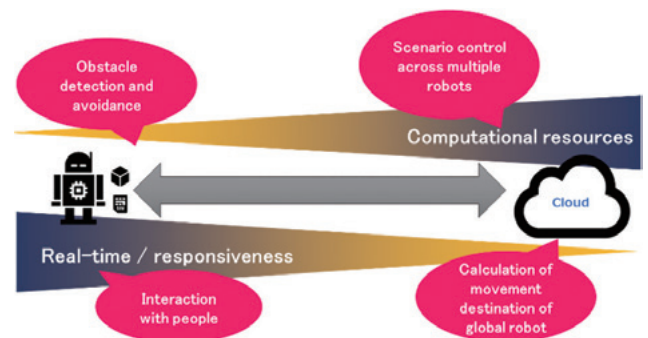


Fig. 26 Role sharing between robot and cloud

9. まとめ

Honda RaaS Platform とは「ロボティクスサービスを開発・運用するためのプラットフォーム」である。

本稿では、Honda RaaS Platform のアーキテクチャやインタフェースを示すと共に、コンセプトである「異能を繋ぐのりしろ」を複数の異なるロボティクスデバイスを連携・

Table 1 Comparison of enhancements

No.	Issues	Previous (ASIMO)	Present (Honda RaaS Platform)	Effect
1	Network security	Per-network authentication	Device authentication by SIM	Secure communication to cloud
2	Experimental environment	Complex individual construction	Build on cloud environment	Provide scalable environment
3	Development environment	Physical update	Update via remote	Enable agile development
4	Operation environment	Human operation at each site	Remote central operation	More efficient remote monitoring
5	Service scalability	Individual implementation	Utilizing common API	More efficient development

協調させることで、一連のデリバリーサービスの実証事例として示した。

Honda RaaS Platform の導入により、SIM による稼働エリア拡大およびセキュアな通信環境、クラウドを利用したスケーラブルなインフラ環境、ネットワーク経由でアクセス可能な開発・デバッグ環境、リモート監視可能な運用環境、API 提供によるサービス構築・拡張環境を提供することでロボティクスサービスの開発や運用を改善できることを示した (Table 1)。

今後は様々なユースケースの実証実験を通して、ロボティクスサービスの開発と運用に必要な機能やツールを拡充していく必要がある。また、屋内屋外の様々なエリアのユースケースに対応できるように、5G ネットワークの活用やロボットとクラウド間で柔軟にリソース配分が可能なアーキテクチャ設計の改修を継続していく必要がある。

10. おわりに

Honda としては初めての“ソフトウェアプラットフォーム”というコンテンツをグローバルに発信した。

Honda が掲げる 2030 年ビジョンや Robotics Vision を実現するためには、Honda 一社だけではなく、様々なパートナーとのエコシステムの構築が必須である。そのためにロボティクス領域はもちろんのこと、クラウドや IoT に関わる様々なエンジニアやプロフェッショナルに Honda RaaS Platform のことを知って頂き、共感と協力を頂きながら共に成長させていくことが必要である。

本稿が Honda RaaS Platform の「異能を繋ぐのりしろ」としての具体的な働きかけの一助となれば幸いである。

参考文献

- (1) <https://www.honda.co.jp/sustainability/report/pdf/2019/Honda-SR-2019-jp-016.pdf>
- (2) 重見聡史, 河口裕一郎, 吉池孝英, 川邊浩司, 小川直秀: 新型 ASIMO の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.1, p.38-44
- (3) 中臺一博, 長谷川雄二, 関口達彦, 辻野広司: 人と共

存するロボットシステムの展望, 日本ロボット学会誌, Vol.27, No.1, p.6-9, (2009)

- (4) <https://global.honda/innovation/CES/2018.html>
- (5) https://www.honda.co.jp/CES/2019/detail/raas_platform/
<https://pages.awscloud.com/rs/112-TZM-766/images/J1-06.pdf>
<https://youtu.be/YgMkb9Fyojo>
- (6) <https://iotnews.jp/archives/128847>
<https://iotnews.jp/archives/127980>
https://pages.soracom.jp/Discovery2019_download.html
- (7) <http://roscon.jp/>
http://roscon.jp/presentations/ROSCon_JP_2019_presentation_5.pdf
<https://vimeo.com/osrfoundation/roscon-jp-2019/video/370246969>
- (8) <https://iotloft5.splashthat.com/>
- (9) <https://robots.ros.org/>
- (10) <https://aws.amazon.com/>
- (11) <https://aws.amazon.com/kinesis/data-streams/>
- (12) <https://aws.amazon.com/lambda/>
- (13) <https://aws.amazon.com/elasticloadbalancing/>
- (14) <https://aws.amazon.com/ecs/>
- (15) 塩見昌裕, 神田崇行, Dylan F. Glas, 佐竹聡, 石黒浩, 萩田紀博: 複数の案内ロボットが連携してサービス提供するネットワークロボットシステムの実現, 日本ロボット学会誌, Vol.29, No.6, p.544-553, (2011)

■著 者■



東 治 臣

身体特徴の影響を考慮した着座負担低減シートの検討

Study of Seat for Reduction of Stress of Sitting with Consideration of Influence of Physical Characteristics

太田 誠¹
Makoto OHTA

平山 健太¹
Kenta HIRAYAMA

櫻井 篤実¹
Atsumi SAKURAI

要 旨

自動車での長時間走行による乗員の負担を低減するため、着座負担を感じやすい身体特徴を有する人を対象に、腰、骨盤部の姿勢および支持方法について検討した。実験参加者に支持量の異なるシートに着座してもらい、着座負担を主観的に評価するとともに、生理指標を測定した。主観評価には Visual Analog Scale を用いた。筋負担の測定では、従来の筋電図に加え、超音波診断装置を用いた深層状態の調査もおこなった。脊柱形状の測定にはスパイナルマウスを用いた。その結果、第3腰椎から第3仙椎までを適正に支持することにより、腰椎下部、および、肩部に負担を感じやすい身体特徴を有する人であっても、着座負担を低減できることがわかった。また、着座負担が小さい方が、骨盤の後傾、腰椎の後弯の両方を抑制できていること、肩部の負担が大きい方が、肩部の深層筋肉が硬化していることがわかった。

ABSTRACT

Targeting individuals with physical characteristics that make them prone to experience a stress associated with sitting, the research discussed in this paper studied postures and methods of support for the lumbar and pelvic areas that would reduce the stress experienced by vehicle occupants during long periods of driving. Test subjects were asked to sit in seats offering different levels of support. In addition to a subjective evaluation of the stress associated with sitting, physiological indicators were measured. A Visual Analog Scale was employed for the subjective evaluation. For the measurement of muscular stress, in addition to conventional electromyograms, muscles in the deep layer were studied using an ultrasonic diagnostic device. A spinal mouse was employed to measure the shapes of test subjects' spines. The results indicated that the provision of adequate support from the 3rd lumbar vertebra to the 3rd sacral vertebra reduces the stress associated with sitting even in individuals with physical characteristics that make them prone to experience a stress in the lower lumbar or shoulder area. In addition, it was found that reduction of the stress associated with sitting made it possible to control both retroversion of the pelvis and kyphosis of the lumbar area. It was also determined that individuals who experience a greater stress in the shoulder area are experiencing a stiffening of the muscles in the deep layer of the shoulders.

1. まえがき

自動車での長時間走行により、乗員には精神的な負担、肉体的な負担が生じる。精神的な負担には、環境や運転に伴う緊張や不安によるものがある。肉体的な負担には、姿勢維持と身体圧迫によるものがある。姿勢維持のために筋肉が使われ、着座により神経が圧迫され、血流も低下する。これらにより、身体の各部位にはハリ、しびれ、痛みなどの症状が現れると考えられている。

着座負担を低減する姿勢の考え方については、無重力状態での中立姿勢に近い状態にして背筋活動を低減する⁽¹⁾、脊椎をS字カーブにして椎間板にかかる圧力を低減する⁽²⁾、などが提案されている。

姿勢の保持の仕方については、支持強さの違和感を低減するための腰と骨盤の複合支持⁽³⁾、骨盤の後傾と腰椎の後弯の両方を抑制するための第3腰椎から第3仙椎の支持⁽⁴⁾などが提案されている。

また、血流低下の改善のため、時間経過により第3、第4腰椎付近の支持量を変えたり⁽⁵⁾、大腿部の支え方を変えようとする取り組み⁽⁶⁾もある。

一方で、骨と筋肉の長さや筋力には個人差があるため、着座時の快適な首の角度や骨盤と大腿の相対角度に違いがあるとする研究⁽⁷⁾、脊柱の湾曲具合の個人差によって、着座時の腰椎下部、肩部の負担に違いが生じるとする研究⁽⁸⁾など、個人差に関する研究もある。

個人の身体特徴に応じた着座姿勢にすることで、着座負

¹ オートモビルセンター

担の低減が期待できるが、姿勢保持に重要な腰や骨盤部については、姿勢や支持方法がよくわかっていない。

本研究では、より多くの人の着座負担を低減するために、先行研究⁽⁸⁾を参考に、着座負担を感じやすい身体特徴を有する人を選定し、腰、骨盤部の姿勢および支持方法について検討した。

2. 着座負担を感じやすい人の選定

2.1. 脊柱形状の測定方法

実験参加者は、社内公募にて集めた成人男性 15 名とした。背もたれの無い椅子に座った際の脊柱形状を測定し、着座負担を感じやすい身体特徴を有する人を選定した。測定には、操作が簡便なスパイナルマウス（インデックス社製）を用いた。実験参加者には、背中、腹の力を抜くこと、頭部は正面を向き、視線を水平にすることを教示した。

スパイナルマウスは、装置のトラッキングホイールを第 7 頸椎から第 3 仙椎までの棘突起上に当て、頭側から骨盤側へ移動させることにより、脊柱の各椎骨の相対角度を測定できる。

脊柱形状の定義を Fig. 1 に示す。ThSp は胸椎全体の丸まり具合を示し、第 7 頸椎から第 12 胸椎までの隣り合う椎骨のなす角の合計値とした。LSp は腰椎全体の丸まり具合を示し、第 12 胸椎から第 1 仙椎までの隣り合う椎骨のなす角の合計値とした。LLSp は腰椎下部の丸まり具合を示し、第 3 腰椎から第 1 仙椎までの隣り合う椎骨のなす角の合計値とした。L5-S1 は、腰椎下部の局所的な屈曲具合を示し、第 5 腰椎と第 1 仙椎とのなす角とした。それぞれ、後弯方向を正、前弯方向を負で表記した。

Incl は上体の傾斜を示し、第 1 胸椎と第 1 仙椎を結ぶ線と鉛直線とのなす角とした。Sac は骨盤の傾斜を示し、第 1 仙椎と第 3 仙椎を結ぶ線と鉛直線とのなす角とした。それぞれ鉛直線に対して後傾を正、前傾を負で表記した。

なお、本実験は株式会社本田技術研究所生命倫理委員会の承認を得ておこなった。事前に実験責任者から口頭およ

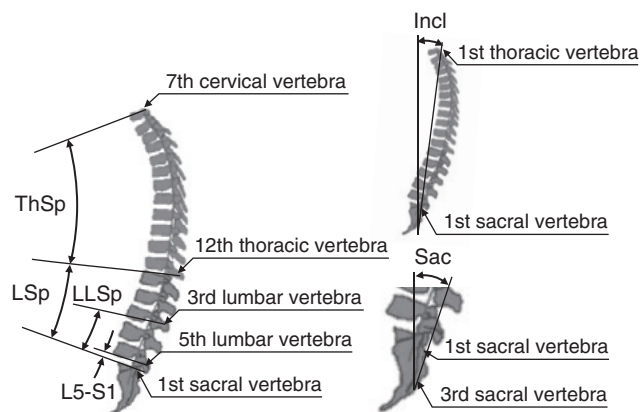


Fig. 1 Definition of spine shape

び書面で本研究の目的、内容、参加者の権利を十分に説明し、書面にて参加の同意を得た。

2.2. 実験参加者の選定の仕方

先行研究⁽⁸⁾では、背もたれの無い椅子に着座したときに、腰椎下部の丸まりが大きい人は、腰椎下部に負担を感じやすい傾向にあり、一方、腰椎下部が丸まり、さらに胸椎の丸まりが大きい人は、肩部に負担を感じやすい傾向にあることが報告されている。

そこで本実験では、Fig. 2 に示すように、背もたれの無い椅子に着座したときの LLSp が平均値以上の人を腰椎下部に負担を感じやすい身体特徴を有する人（以下、腰椎下部負担群）、LLSp が正、かつ、ThSp が平均値以上の人を肩部に負担を感じやすい身体特徴を有する人（以下、肩部負担群）と定めた。

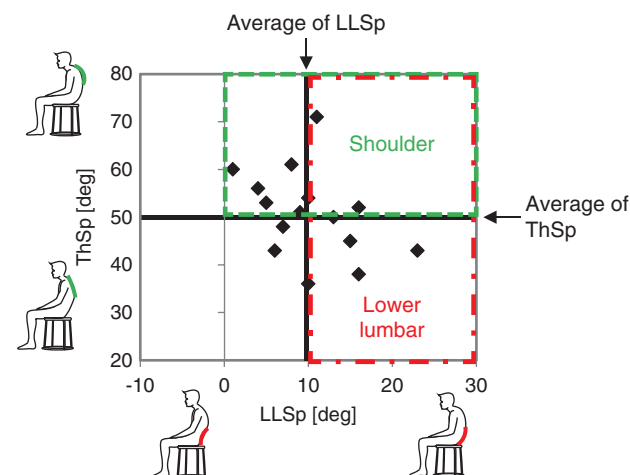


Fig. 2 Selection of test subjects prone to experiencing stress from sitting

3. 主観評価による負担低減支持方法の検討

3.1. 負担の測定方法

着座負担を低減する腰、骨盤部の支持方法を検討するため、選定した腰椎下部負担群、肩部負担群を対象に、実験シートに着座した際の負担を主観評価した。Fig. 3 に示す実験シートは、平らなフレームの上に、着座姿勢に影響しない程度の硬さのウレタンを敷いた簡素な構造で、背もたれ中央部には、測定器との干渉を避けるためのスリットが設けてある。

実験参加者には、Fig. 4 に示すような、第 3 腰椎から第 3 仙椎にかけて、ウレタンとフレームの間に硬質ウレタンを挟まない条件（以下、支持なし条件）、第 3 腰椎から第 3 仙椎にかけて 30 mm 厚の硬質ウレタンを挟む条件（以下、支持あり条件）に、それぞれ 30 分間着座してもらった。

順序効果をなくすため、着座するシートの順番はランダ

ムとし、負担の無い状態で着座を開始してもらった。

シートに対する臀部の前後位置を条件間で同じくするため、支持あり条件で深く腰掛けた時の臀部の位置を基準とし、支持なし条件でもその位置に合わせて着座してもらった。また、実験参加者間で肘の角度、大腿の角度を同じくするため、ステアリング治具および足置き治具の前後位置を調整した。

実験参加者には、背中、腹の力を抜き、ステアリングを軽く握った状態を維持すること、頭部は正面を向き、視線を水平にすることを教示した。

測定には、直感的に評価でき、かつ、アナログ量で分析しやすい Visual Analog Scale (VAS) を用いた。VAS は 100 mm の線を引き、その左端を全く感じない状態、右端を想像できる最大限の強さとしたときに、現在の状態をスケール上に線を引いて示す方法である。

3.2. 負担の解析方法

VAS の左端と着座 30 分後に引いた線との距離を負担の大きさとした。

シートによる腰椎下部、および、肩部の負担への影響を調べるため、支持条件を要因とする一元配置の分散分析(反復測定)をおこなった。分析には統計パッケージ SPSS Statistics 24 (IBM 社製)を用い、有意水準は 5% とした。

3.3. 腰椎下部における負担の解析結果

腰椎下部負担群について、支持なし条件と支持あり条件で着座してもらった時の主観評価結果を Fig. 5 に示す。

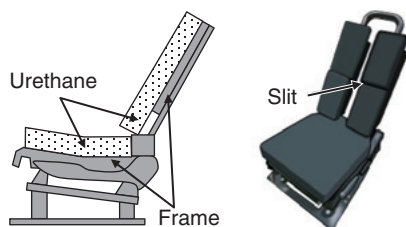


Fig. 3 Experimental seat

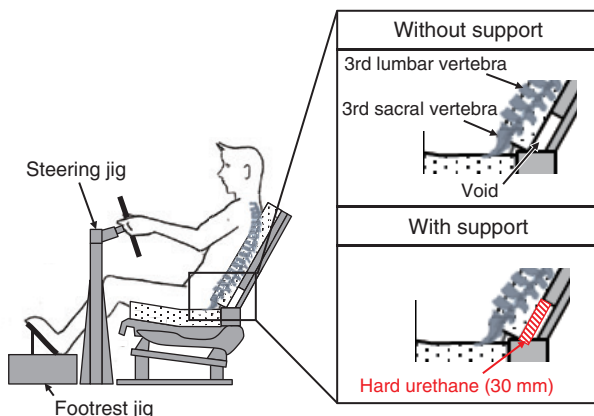


Fig. 4 Condition of experimental seat

支持なし条件に比べ、支持あり条件の方が、着座に伴う腰椎下部の負担は有意に小さかった。

3.4. 肩部における負担の解析結果

肩部負担群について、支持なし条件と支持あり条件で着座してもらった時の主観評価結果を Fig. 6 に示す。

支持なし条件に比べ、支持あり条件の方が、着座に伴う肩部の負担は有意に小さかった。

3.5. 負担低減支持方法のまとめ

第3腰椎から第3仙椎までを適正に支持することにより、腰椎下部、および、肩部に負担を感じやすい身体特徴を有する人であっても、着座負担を低減できることがわかった。

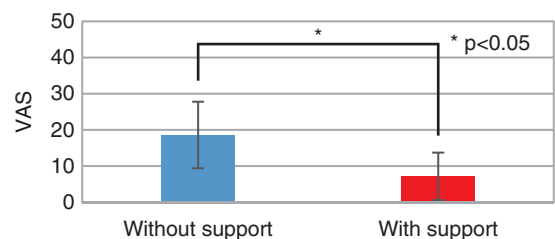


Fig. 5 Subjective evaluations for lower lumbar area

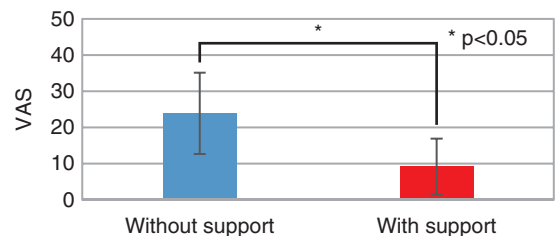


Fig. 6 Subjective evaluations for shoulder area

4. 生理計測による着座負担の原因調査

3章で述べた着座負担には、姿勢維持によるものと身体圧迫によるものが含まれる。負担が現れた腰椎下部は、実験シートのスリット部に位置するため、シートによって圧迫されにくい。

また、肩部は、実験シートの上端部に位置し、腰や骨盤部と比較すると、圧迫されにくい部位であるため、今回現れた負担は姿勢維持による筋疲労と考え、生理指標を用いて筋肉の負担を評価した。着座条件は3章と同様とした。

4.1. 生理指標の測定方法

筋負担の評価には、一般的に筋電図 (EMG) が用いられるため、本実験でも、筋電計 (NeXus, キッセイコムテック

社製)を用いて筋負担を評価した。

一般的に、筋負担の蓄積により、筋肉組織が硬化するとされている。そこで、本実験では筋肉の硬さも評価した。測定には、筋肉組織の硬さ(筋ひずみ)を画像化できるエラストグラフィ⁽⁹⁾機能を有する超音波診断装置(JS2, メディケア社製)を用いた。

筋ひずみ測定では、実験参加者の背中に超音波診断装置のプロブを押し付ける必要があるため、実験シートに着座している間は測定できない。そこで、実験シート着座前後に、横に準備した背もたれの無い椅子に移動してもらい、筋ひずみを測定することにした。椅子に移動してもらう際には筋肉がほぐれないよう、不要な動きをしないこと、着座時は脱力し、無理に頭を持ち上げないことを教示した。

筋肉の構造上、着座負担は脊柱に対して左右対称に起こるものと考え、脊柱に対して対称の位置で筋電図および筋ひずみを測定した。高さ方向の測定位置は、腰椎下部の負担が現れた第5腰椎と第1仙椎の中間位置、肩部の負担が現れた第1胸椎位置とした(Fig. 7)。

筋ひずみの変化を観察するためには、基準となるひずみ値が必要となる。そこで、測定中にひずみ値が変化しないジェルパッド(ハイドロエイド、日本ビー・エックス・アイ社製)を測定部位の体表面上に貼り付け、筋肉組織のひずみ値とジェルパッドのひずみ値(基準値)を同時に測定した。

4.2. 測定結果の解析方法

筋負担を評価するため、筋電図を周波数解析し、中央周波数(MPF)を求めた。一般的には、筋負担の蓄積によりMPFの値が低下する。本実験では、着座終了前の5分間のMPFと着座開始直後の5分間のMPFとの差を支持条件間で比較した。

また、筋肉組織のひずみ値をジェルパッドのひずみ値で除した値を筋ひずみ比とし、着座後の筋ひずみ比と着座前の筋ひずみ比の差を支持条件間で比較した。

肩部における筋肉は層を成していることから、Fig. 8に示すように、体表面から深さ10 - 20 mmを表層、深さ20 - 30 mmを深層とし、それぞれの深さで筋ひずみ比を求めた。

シートによるMPF、筋ひずみ比への影響を調べるために、支持条件を要因とする一元配置の分散分析(反復測定)をおこなった。有意水準は5%とした。

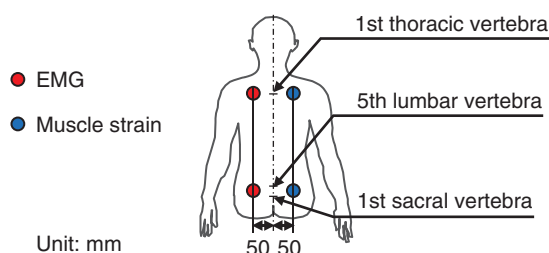


Fig. 7 Measurement points

4.3. 腰椎下部で測定した生理指標の解析結果

腰椎下部負担群において、腰椎下部で測定した筋電図、筋ひずみを支持条件間で比較した結果、Fig. 9に示すように、腰椎下部のMPFには支持条件間で有意差が見られなかった。

また、Fig. 10に腰椎下部の筋ひずみ比を示す。いずれの支持条件においても、筋ひずみ比の平均値は負になっており、着座により筋肉組織が硬化する傾向にあることがわかった。しかし、(a)表層、(b)深層ともに支持条件間で有意な差は見られなかった。

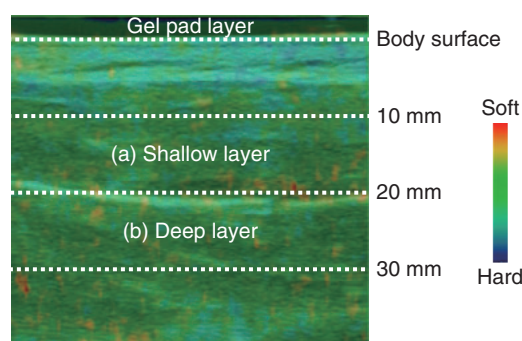


Fig. 8 Area for analysis of muscle strain

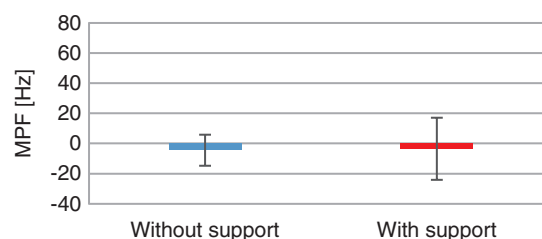


Fig. 9 EMG of lower lumbar area

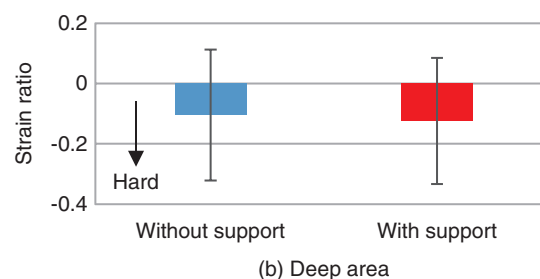
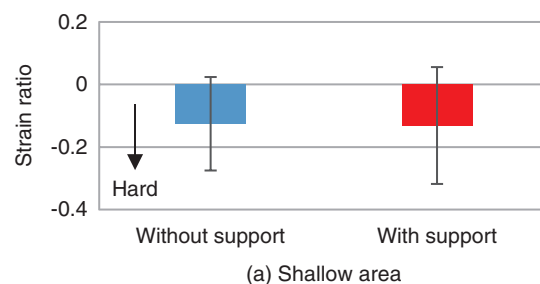


Fig. 10 Muscle strain ratio of lower lumbar area

4.4. 肩部で測定した生理指標の解析結果

肩部負担群において、肩部で測定した筋電図、筋ひずみを支持条件間で比較した結果、Fig. 11 に示すように、肩部のMPFには支持条件間で有意な差が見られなかった。

また、Fig. 12(a) に示すように、肩部表層における筋ひずみ比には支持条件間で有意な差が見られなかった。一方、Fig. 12(b) に示すように、肩部深層における筋ひずみ比は支持なし条件の方が有意に小さかった。これは、支持なし条件の方が、肩部深層における筋肉が硬化したことを示している。

4.5. 着座負担の原因の考察

主観評価では、支持なし条件の方が、腰椎下部の負担は有意に大きかったが、筋負担を表す指標では、支持条件間で有意な差が見られなかった。よって、腰椎下部の負担は筋疲労が原因でない可能性がある。この原因を調査するためには、筋疲労以外の別のアプローチが必要と考える。

一方、支持なし条件の方が、主観評価において、肩部の負担は有意に大きく、肩部の深層筋肉が有意に硬かった。よって、深層筋肉の硬化が肩部の負担に影響していることが考えられる。

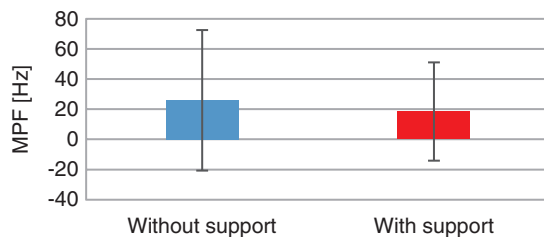
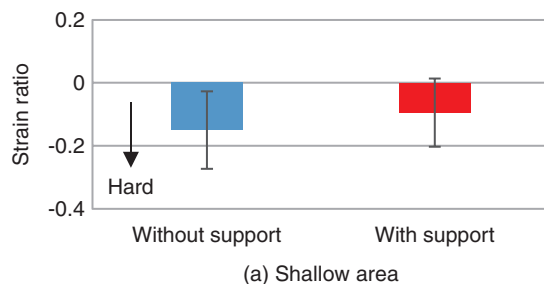
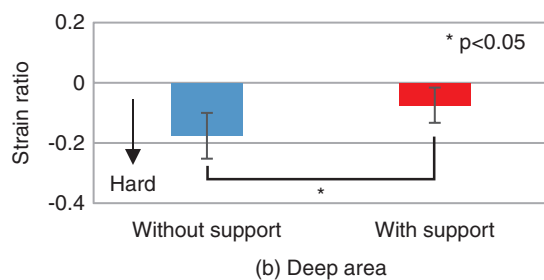


Fig. 11 EMG of shoulder area



(a) Shallow area



(b) Deep area

Fig. 12 Muscle strain ratio of shoulder area

5. 着座負担を低減する姿勢の検討

5.1. 姿勢の測定方法

着座負担を低減する姿勢を検討するため、3章で負担が大きかった支持なし条件、負担が小さかった支持あり条件について、スパイナルマウスを用いて、実験シート着座時の脊柱形状を測定した。着座条件は3章と同様とし、測定部位は2章と同様とした。

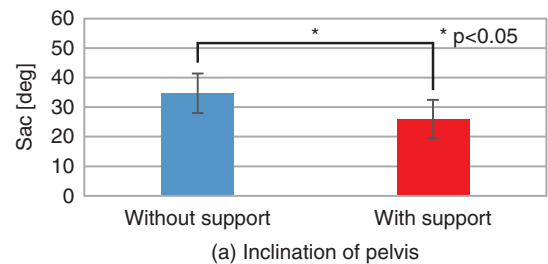
5.2. 測定結果の解析方法

シートによる着座時の脊柱形状への影響を調べるため、支持条件を要因とする一元配置の分散分析(反復測定)をおこなった。有意水準は5%とした。

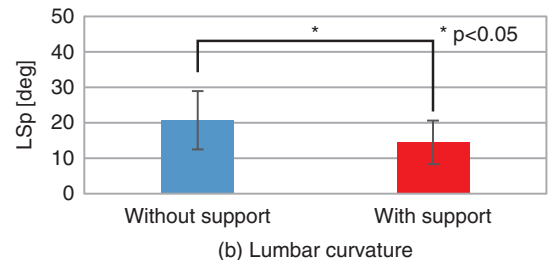
5.3. 脊柱形状の解析結果

腰椎下部負担群、肩部負担群のそれぞれにおいて、実験シート着座時の脊柱形状を支持条件間で比較した。

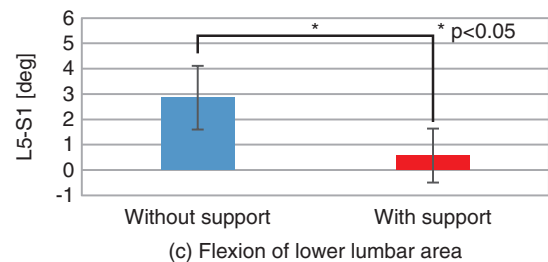
その結果、腰椎下部負担群では、Fig. 13 に示すように、支持あり条件の方が、骨盤の傾斜を示す Sac、腰椎の彎曲



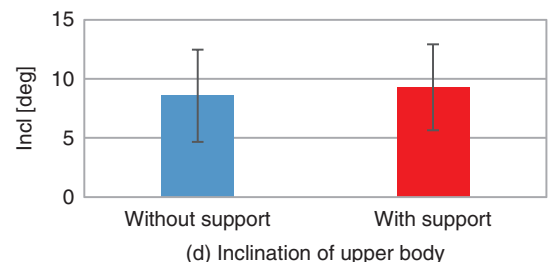
(a) Inclination of pelvis



(b) Lumbar curvature



(c) Flexion of lower lumbar area



(d) Inclination of upper body

Fig. 13 Spine shape for lower lumbar group

を示す LSp, 腰椎下部の屈曲を示す L5-S1 は有意に小さかった。

また、肩部負担群では、Fig. 14 に示すように、支持あり条件の方が、Sac, LSp は有意に小さかった。

これは、腰椎下部負担群、肩部負担群ともに、支持あり条件の方が、骨盤の後傾、腰椎の後弯の両方を抑制できていることを示している。

5.4. 着座負担を低減する姿勢の考察

支持あり条件の方が、主観評価において、腰椎下部の負担は有意に小さく、骨盤の後傾角、腰椎の後弯に伴う腰椎下部の屈曲は有意に小さかった。よって、骨盤の後傾、腰椎の後弯を抑制することで、腰椎下部の負担を低減できると考えられる。

また、支持あり条件の方が、主観評価において、肩部の負担は有意に小さく、骨盤の後傾角、腰椎の後弯角は有意

に小さかった。

一般的には、骨盤が後傾し、腰椎が後弯すると、上体が前傾した姿勢になるといわれているが、本実験では、支持条件により、骨盤の後傾角、腰椎の後弯角に違いがあったにもかかわらず、上体の角度に違いが見られなかった。

よって、支持なし条件では、上体が前傾しないように筋力を使っていた可能性があり、これにより、肩部の深層筋肉が硬化したことが考えられる。

以上より、骨盤の後傾、腰椎の後弯を抑制することで、肩部の負担を低減できることが考えられる。

6. まとめ

着座負担を感じやすい身体特徴を有する人を対象に、着座負担を低減する腰、骨盤部の姿勢および支持方法について検討した。その結果を以下にまとめる。

- (1) 着座負担を低減する支持方法を検討した結果、第3腰椎から第3仙椎までを適正に支持することにより、腰椎下部、および、肩部に負担を感じやすい身体特徴を有する人であっても、着座負担を低減できることがわかった。
- (2) 着座負担の原因を筋ひずみの測定により分析した結果、肩部に負担を感じやすい身体特徴を有する人において、肩部の負担が大きい方が、肩部の深層筋肉が硬化していた。超音波診断装置を用いることにより、これまで評価できなかった深層筋肉の負担を評価することがわかった。
- (3) 腰椎下部、および、肩部に負担を感じやすい身体特徴を有する人において、着座負担が小さい方が、骨盤の後傾、腰椎の後弯の両方を抑制できていた。

参考文献

- (1) 平尾章成, 加藤和人, 北崎智之, 山崎信寿: 長時間運転時の肉体疲労の定性および定量的評価, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.4, p.153-158, (2008)
- (2) 大島正敏: 自動車用シートに於けるエルゴノミクスとコンフォート, バイオメカニズム学会誌, Vol.33, No.3, p.159-165, (2009)
- (3) 桂木道裕, 諏訪敦彦, 村上聡謙, 永島淑行: 快適性向上のための最適座面形状の解析—疲労軽減に適した「骨盤・腰椎複合支持」の提案—, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.936, p.85-88, (1993)
- (4) 小山秀紀, 本田啓太, 関口雄介, 石川博明, 村木孝行, 太田誠, 平山健太, 伊藤智, 櫻井篤実, 出江紳一: 自動車シートの背もたれ下部の支持が脊柱アライメントと身体負担に及ぼす影響, 人間工学, Vol.53, No.5, p.157-166, (2017)

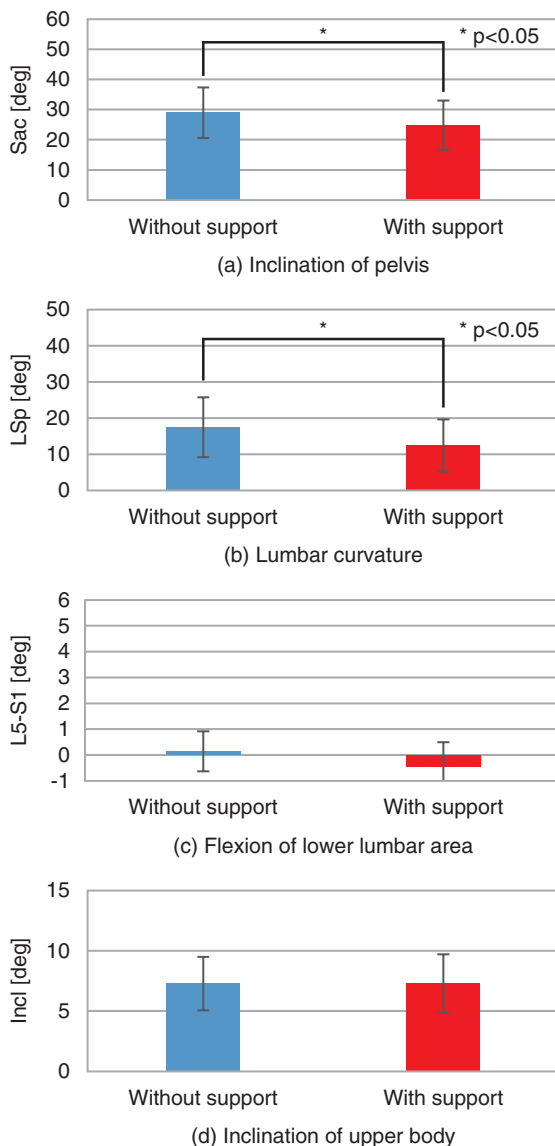


Fig. 14 Spine shape for shoulder group

- (5) 山川拓巳, 浅野克啓, 山本幸史郎, 吉田優海, 堤成可, 早川聡一郎, 池浦良淳, 筒井孝夫, 戸畑秀夫: 背面支持位置変化による長時間運転時のドライバの疲労蓄積低減効果の検証, 自動車技術会 2019 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.67-19, p.1-5, (2019)
- (6) 金東鉉, 林章弘, 佐々木良隆, 松岡由幸: タイムアクシスデザインの視点を考慮した長時間着座時における疲労低減シートの開発, 自動車技術会 2019 年春季大会学術講演会講演予稿集, No.66-19, p.1-6, (2019)
- (7) 西垣佳臣, 川野健二: 着座姿勢の個人差を表現するマネキンモデルの開発, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.2, p.641-646, (2013)
- (8) 平山健太, 太田誠, 伊藤智, 吉川賢一, 櫻井篤実: 脊柱アライメントと自動車シート着座時の疲労感との関係調査, 人間工学, 54 巻, Supplement 号, p. 2H4-2, (2018)
- (9) 山川誠: 超音波エラストグラフィの原理, バイオメカニズム学会誌, Vol.40, No.2, p.73-78, (2016)

■ 著 者 ■



太田 誠



平山 健太



櫻井 篤実

後面オフセット衝突 FMVSS 301R における リヤバンパビームの荷重分散技術

Load Distribution by Rear Bumper Beam in FMVSS 301R Test Protocol

長谷川 厚¹
Atsushi HASEGAWA
清水 友浩²
Tomohiro SHIMIZU

藤井 隆之¹
Takayuki FUJII
三浦 祐輔³
Yusuke MIURA

松浦 範和¹
Norikazu MATSUURA

要 旨

本研究では、米国の後面衝突法規である FMVSS 301R に対応するための技術を構築した。FMVSS 301R のテストプロシージャは、デフォーマブルバリアによるオフセット衝突試験である。オフセット衝突試験では、左右フレームへの荷重入力の違いが大きく、バリアの当たらない非衝突側フレームは変形量が少ない。そこで、リヤバンパビームに着目し、バリアからの荷重を左右のフレームに均等に伝えることで、非衝突側フレームのエネルギー吸収の向上を図った。バリアとの荷重入力に左右対称となるようなリヤバンパビームの構造を定めた。具現化のために、Stretch Bending 製法を用いて、量産車の設計空間内に配置できる形状とした。量産を想定した試作品で検証をおこない、従来では大きかった左右フレームの入力差を低減し、左右対称に近い荷重分散ができることを実証した。

ABSTRACT

In the present research, technology was established for compliance with Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS) 301R, which is a US regulation addressing rear-end collisions. The FMVSS 301R test procedure is an offset impact test using a deformable impact barrier. In offset impact tests, there is a large difference in load input between left and right frames, and there is less deformation in the non-collision-side frame, meaning the side that does not impact with the barrier. Attention was therefore focused on the rear bumper beam, and steps were taken to increase the energy absorption of the non-collision-side frame by having the load from the barrier transferred equally to both frames. The rear bumper beam was structured so that the load input from impact with the barrier would become symmetrical. The stretch bending manufacturing method was used for practical implementation of this concept, and the beam was shaped so that it could be located within the design space of mass-production vehicle. Verification was conducted using a prototype that supposed mass production, demonstrating that the difference in input between the left and right frames, which formerly was large, could be reduced and a more nearly symmetrical load distribution achieved.

1. まえがき

自動車の安全性能への要求が高まっているなか、事故を未然に防止するための予防安全技術の進化は著しい。一方、事故が起きた際の被害を軽減する衝突安全技術への要求も依然として高く、公的機関によって衝突安全プ

ロシージャのアップデートが継続しておこなわれている。特に北米地区の衝突安全法規への適合は容易ではなく、本研究ではその中で後面衝突を対象とした FMVSS 301R⁽¹⁾に着目した。

FMVSS 301R での衝突条件は、デフォーマブルバリア（以降、バリア）による 70% オフセット衝突で規定されてい

¹ オートモービルセンター

² 株式会社ベントラー・オートモーティブ

³ SOLIZE Engineering 株式会社

るのに対し、北米地区以外の衝突条件は、フラットバリアによるフルラップ衝突である。さらに、バリアが車両に衝突する速度は 80 km/h でフルラップ衝突条件より 30 km/h も速い。そのため、FMVSS 301R での衝突条件では車体とバリアで吸収しなければならないエネルギー量は約 3 倍にもなる。現状の車体構造は、このエネルギーの大半をバリアが直接当たる側のフレーム（以降、衝突側フレーム）で吸収するようになっている。

今後は、電動化による大容量バッテリーの搭載などにより車両の重量が増加していくことが想定され、さらに多くの衝突エネルギーを車体で吸収する必要がある。一般的な手法として、車体の反力荷重を上げること、クラッシュアブルゾーンを増やすことなどが挙げられる。前者は、高ハイテン材の適用⁽²⁾⁻⁽⁴⁾、補強部材の追加、骨格部品の板厚増などの対策が考えられるが、車体重量の増加に繋がる。後者は、クラッシュアブルゾーンを増やすことにより、乗員空間や荷室容量に影響が出る。

そこで、これまで積極的に活用することができていなかった非衝突側フレームのエネルギー吸収量を向上させる車体構造の構築に取り組んだ。一般的な車体後部構造は、リヤバンパビームが左右のリヤフレームに連結している構成になっている。リヤバンパビームはバリアから最初に入力を受ける重要な構造部材であるが、デザイン性や軽衝突の性能向上に関する研究⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾が主流である。FMVSS 301R のような高速衝突法規に活用する研究⁽⁸⁾もあるが、あまり多くはない。

本研究では、FMVSS 301R において左右のフレームへの荷重入力差を低減し、非衝突側フレームのエネルギー吸収量を高めるリヤバンパビームの構築を目的とした。

2. リヤバンパビームによる荷重分散

2.1. 従来構造での荷重伝達

軽衝突の試験条件に則った従来構造のリヤバンパビームは、100 kN から 120 kN の荷重を発生させるように設計されている。FMVSS 301R の試験条件において、バリアから左右のリヤフレームに合計 120 kN の荷重が加わる状態を模式的に Fig. 1 (a) に示す。ここで、 F_{mdb} はバリアからリヤバンパビームに加わる分布荷重、 F_{xc} はリヤバンパビームから衝突側フレームへ伝達する荷重、 F_{xnc} は非衝突側フレームへ伝達する荷重を表す。バリアがリヤバンパビームの形状に追従して変形し、バリアの接触範囲が衝突側に偏った入力分布となる。Fig. 1 (b) に F_{xc} と F_{xnc} の関係を表す。赤破線は $F_{xc} = F_{xnc}$ 、すなわち左右フレームへ均等な荷重が入力されている状態を表す。赤丸は従来構造のリヤバンパビームが 120 kN の荷重を発生させるタイミングでの荷重バランスを表す。従来構造では左右フレームへの荷重入力差が 2 倍以上と大きく、Fig. 1 (a) に示すように伝達荷

重が少ない非衝突側フレームは衝突側フレームに比べて変形が少なくなる。衝突側に荷重分布が偏る形状のリヤバンパビームではこの傾向が特に強くなる。

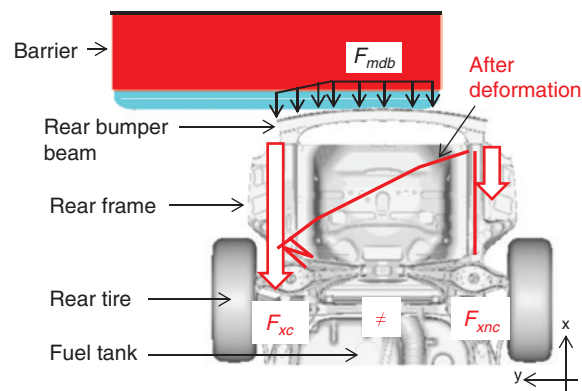
2.2. 新リヤバンパビームの考え方

リヤバンパビームから左右フレームへの荷重入力差を低減させるためには、バリアから受ける荷重入力範囲を左右対称にすることが必要である。荷重域によりバリアの変形特性が異なることから、軽衝突要件に相当する 120 kN までの荷重域（以降、低荷重域）と、120 kN より大きい荷重域（以降、高荷重域）の二つに分けて考えた。

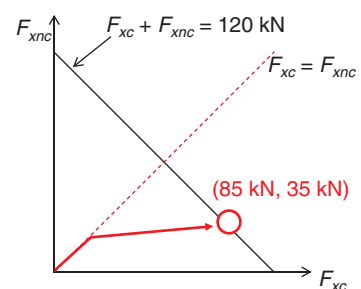
2.3. 低荷重域における考え方

Fig. 2 (a) に低荷重域での F_{xc} と F_{xnc} の関係を表す。リヤバンパビーム中央に平坦部を設けることで、バリアから荷重を受ける範囲を平坦部だけに限定させる。さらに、Fig. 2 (a) の青点線部に示すクリアランスを設けることで、バリアとリヤバンパビームの平坦部以外が接触するまでの時間差を生じさせる。これにより、バリアからの入力 F_{mdb} はリヤバンパビームに対して左右対称に作用する。 F_{xc} と F_{xnc} は Fig. 2 (b) の青線で示すように、均等に分散される。

上記の観点から、平坦部とクリアランスを確保できるリヤバンパビームの形状を Fig. 2 (a) の青線で示すような山型形状とした。



(a) Schematic diagram of load paths



(b) Relationship between F_{xc} and F_{xnc}

Fig. 1 Load distribution of conventional structure under FMVSS 301R condition

2.4. 高荷重域における考え方

120 kN より大きい荷重域で左右均等に荷重を発生させる方法は、バリアを潰し切りリヤバンパビームをフラット盤面部に当てることである。このときの入力状態を模式的に Fig. 3 (a) に示す。 $F_{FLAT-plate}$ はバリアのフラット盤面部からリヤバンパビームに加わる分布荷重を表す。

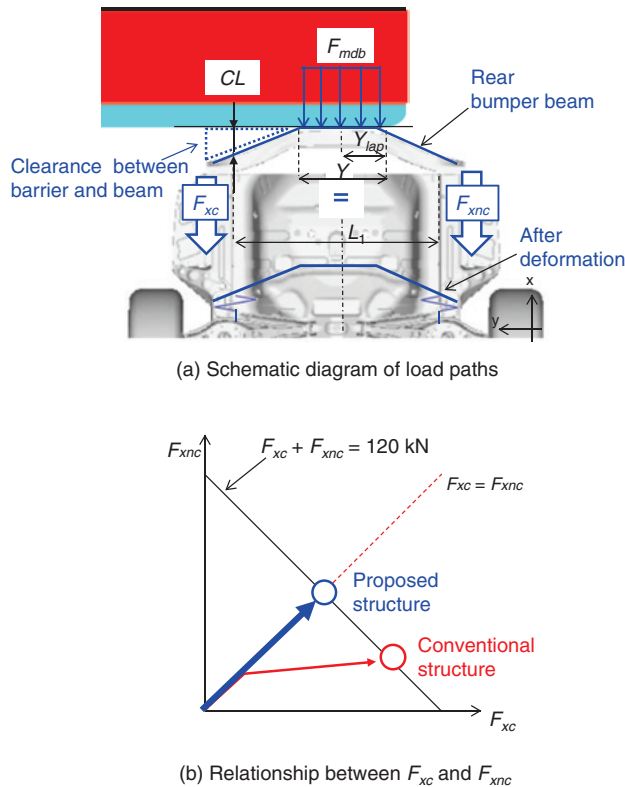


Fig. 2 Load distribution in lower load phase

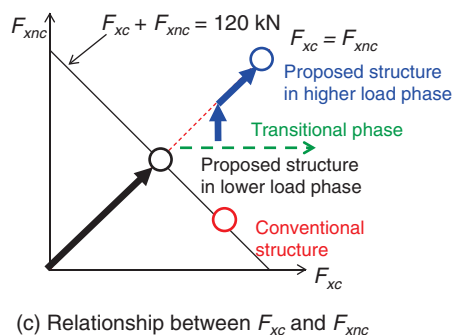
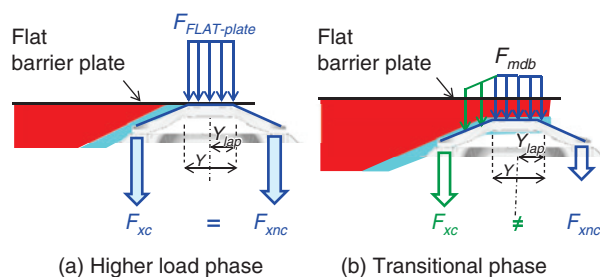


Fig. 3 Load distribution in higher load phase

フラット盤面部からの入力範囲はリヤバンパピーム平坦部のみになり、Fig. 3 (c) の青線に示すように 120 kN より大きい荷重域でも左右対称な入力になる。

低荷重域から高荷重域に移行する過渡領域では、Fig. 3 (b) に示すように一時的に左右対称な入力が崩れる。バリアの単位面積あたりの強度（以降、つぶれ強度）は規格で定まっているため、Fig. 3 (c) の緑破線で示すように、 F_{nc} が上昇しない過渡的な特性を示す。

バリアは Fig. 4 (a) に示すようにつぶれ強度が高い Bumper honeycomb (以降, B-ハニカム) と, つぶれ強度が低い Face honeycomb (以降, F-ハニカム) で構成されている. バリアとリヤバンパビームの上下ラップ量 Δz を Fig. 4 (a) のように小さくすることで, つぶれ強度の低い F-ハニカム部が変形しやすくなる. Fig. 4 (b) に示すように, 低い荷重でバリアを潰し切ることができるため, 過渡領域の範囲を最小限にとどめることができる.

一方, Fig. 4 (c) に示すように, 上下ラップ量が大きい場合には, F-ハニカムが変形した後に Fig. 4 (d) のような B-ハニカムが潰れる状態になる. そのため, 過渡領域の範囲が広がる.

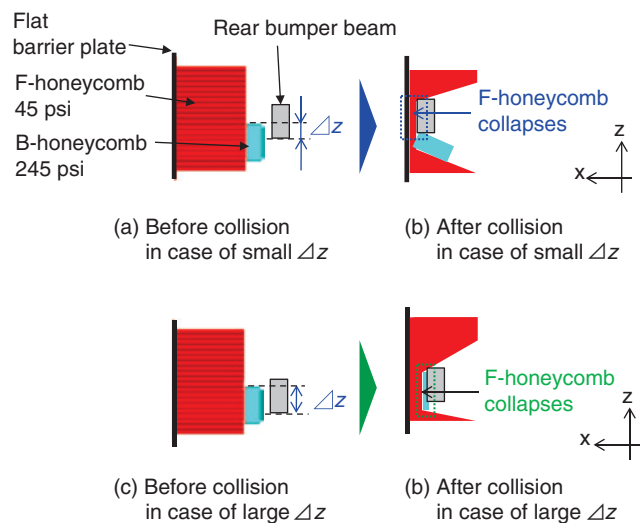


Fig. 4 Differences in collapse modes by Δz

3. リヤバンパビーム形状の基本計算

リヤフレームへの荷重入力が左右対称となるようなリヤバンパビームの基本構造を、机上計算およびシミュレーションにて検証し、前章で述べた考え方の妥当性を確認した。

3.1. リヤバンパビーム平坦部の長さ

まず、リヤバンパビーム中央に設けた平坦部の長さに関する検証をおこなった。Fig. 2 (a) に示したように、 Y は

荷重を受けるリヤバンパビーム平坦部の長さ、 Y_{lap} はリヤバンパビームの中央からバリア末端までの長さとした。また、 L_1 は左右リヤフレーム間の距離である。リヤバンパビームをはりに見立てた場合の荷重の釣り合い式 (1)、(3) と、モーメントの釣り合い式 (2)、(4) から、 Y と F_{xc} 、 F_{xnc} の関係を机上で算出した。 Y_{lap} は量産のセダン車両をベースに 250 mm とした。

$$\begin{aligned} Y < 2Y_{lap} \text{ の時} \\ F_{xc} + F_{xnc} = F_{mdb}Y \end{aligned} \quad (1)$$

$$\int_{\frac{L_1 - Y}{2}}^{\frac{L_1 + Y}{2}} F_{mdb} y dy - F_{xnc} L_1 = 0 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Y \geq 2Y_{lap} \text{ の時} \\ F_{xc} + F_{xnc} = F_{mdb} \left(Y_{lap} + \frac{Y}{2} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\int_{\frac{L_1 - Y}{2}}^{\frac{L_1 + Y}{2}} F_{mdb} y dy - F_{xnc} L_1 = 0 \quad (4)$$

Fig. 5 に机上計算の結果を示す。横軸は平坦部の長さ Y 、縦軸は左右リヤフレームへの入力荷重比 F_{xnc}/F_{xc} を表す。 $Y < 2Y_{lap}$ では、バリアからの荷重入力範囲は車両中央に左右対称となるため、 $F_{xnc}/F_{xc} = 1.0$ となる。 $Y \geq 2Y_{lap}$ では、バリアからの荷重入力範囲は非対称となり、 $F_{xnc}/F_{xc} \leq 1.0$ となる。したがって、リヤフレームへの荷重入力を均等にするには、 Y を Y_{lap} の 2 倍以下にする必要がある。以降は $Y = 500$ mm として検証をおこなった。

Y が定まると、式 (5) から左右リヤフレームへの荷重入力を算出することができる。

$$F_{xc} + F_{xnc} = P_{mdb} \times A = P_{mdb} \times Y \times Z_{mdb} \quad (5)$$

ここで、 P_{mdb} はバリアのつぶれ強度 45 psi、 A はリヤバンパビームによって変形が発生する理論上最大のバリアの面積、 Z_{mdb} はバリアの z 方向の規定寸法値 559 mm である。このとき、 $F_{xc} + F_{xnc} = 120$ kN となる。つまり、左右リヤフレームには、それぞれ 60 kN の均等な荷重が分散されることになる。

3.2. バリアとリヤバンパビーム端部のクリアランス

次に、バリアとリヤバンパビーム端部との間に必要なクリアランスを検証するために、シミュレーションを実施した。リヤバンパビームのモデルは $Y_{lap} = 250$ mm とし、Fig. 6 に示すような剛体要素モデルとした。また、バリアモデルは Shell 要素で作成した。

Table 1 Parameters used for clearance investigation

	CAE01	CAE02	CAE03	CAE04	CAE05	CAE06
θ	10°	20°	30°	40°	50°	60°
CL	33 mm	72 mm	113 mm	168 mm	240 mm	346 mm

クリアランス CL の計測位置は赤矢印で示すように、フレームの延長線上に設定した。 CL は、Table 1 に示す屈曲角 θ をパラメータとして変化させ、量産車の屈曲角である 10° を基準として、10° から 60° までを評価した。リヤバンパビームを空間上で固定し、バリアを 80 km/h で衝突させた。計算ソルバーは LS-DYNA を使用した。

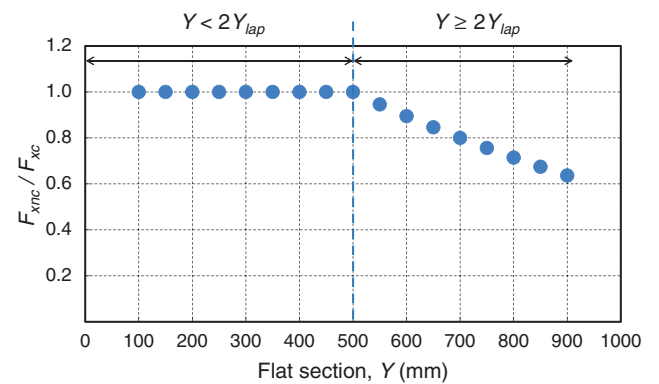
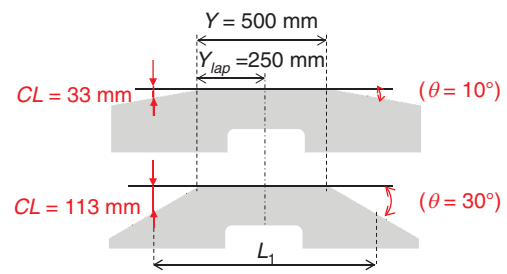
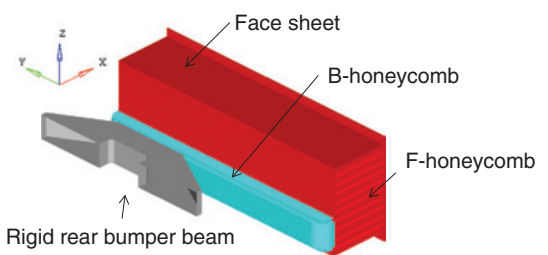


Fig. 5 Relationship of bumper beam length Y and F_{xnc} / F_{xc}



(a) Rigid model of rear bumper beam



(b) Setup for simulation

Fig. 6 Simulation model for investigation of barrier clearance

Fig. 7 に各計算条件でのバリア変形図を示す。CL が 33 mm から 168 mm へ増加していく間は、図中の青線枠で囲んだ空間が拡大していくことがわかった。一方、CL が 168 mm より大きい場合は、バリアとの接触範囲がリヤバンパビーム平坦部に限定された。また、バリアの変形形状には図中の青丸で示すような変曲点があることがわかった。

この変曲点とリヤバンパビーム平坦部の距離 Δx を算出すると 105 mm であった。変曲点がリヤバンパビーム表面に接触しなければ、バリアとの接触は平坦部に限定されるため、リヤバンパビームに求められる CL の目安は 105 mm 以上と考えられる。

Fig. 8 に、シミュレーションより得られた左右の荷重バランスを示す。Fig. 7 のバリア変形図をもとに結果を二つのグループに分類した。Fig. 8 (a) に $CL < 168$ mm の

Group 1, Fig. 8 (b) に $CL \geq 168$ mm の Group 2 を示す。また、図中の丸印は、左右の合計荷重が 120 kN になる点である。Group 1 ではクリアランスの増加とともに、この丸印が左右均等な荷重状態を表す黒点線に近づくことがわかる。また、Group 2 では、荷重特性に大きな変化が見られず、おおむね目標としていた 60 kN の左右対称な荷重に分散できていることがわかった。

Fig. 9 にクリアランス CL と左右リヤフレームの入力荷重比 F_{xnc} / F_{xc} の関係を示す。図中の曲線は、Group 1 の 3 モデルの結果を関数近似したものである。CL を前述の Δx と同じ 105 mm とした場合、 F_{xnc} / F_{xc} を近似式により算出すると 0.85 であった。したがって、目安とした 105 mm 以上のクリアランスを設けることで高い入力荷重比を得られることがわかった。以降は $CL \geq 105$ mm として検証をおこなった。

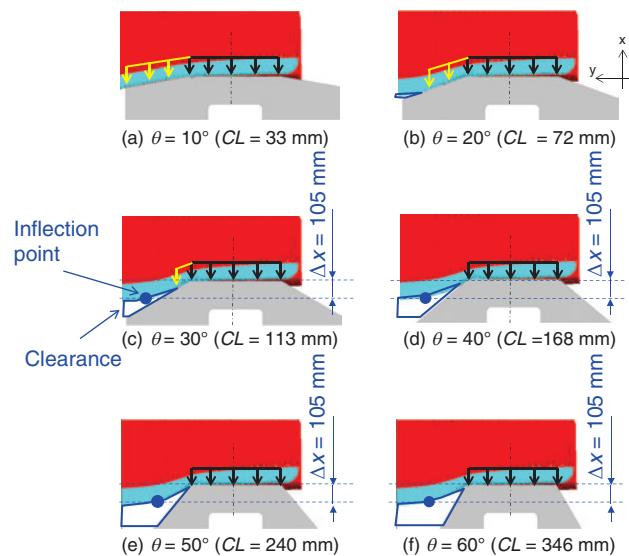


Fig. 7 Barrier deformation with different initial clearances

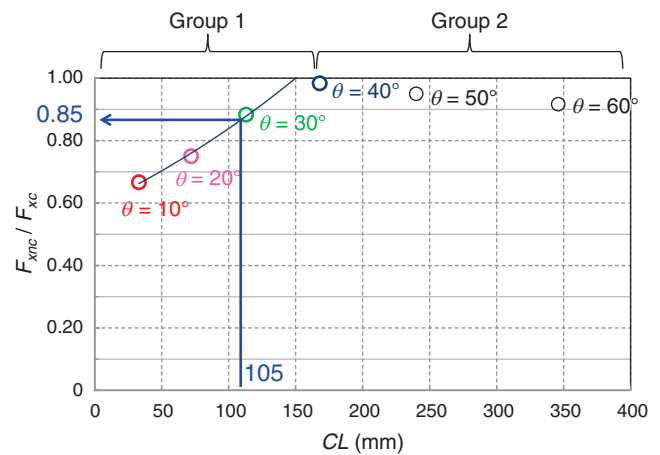
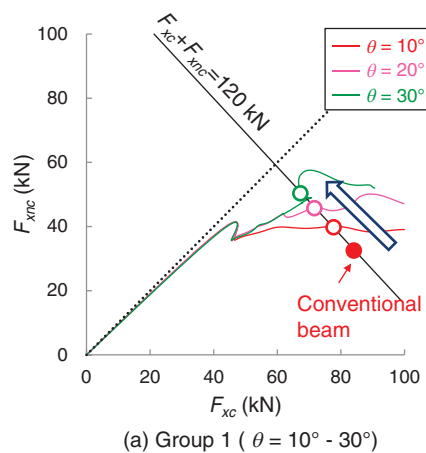
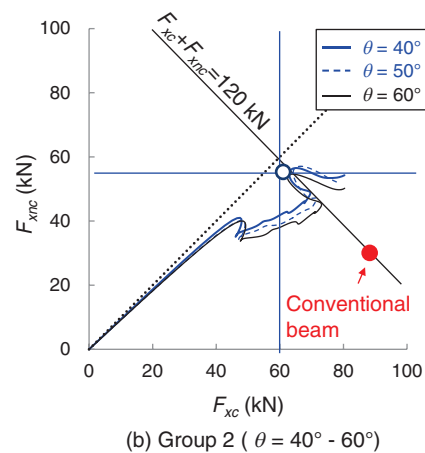


Fig. 9 Relationship of clearance and F_{xnc} / F_{xc}



(a) Group 1 ($\theta = 10^\circ - 30^\circ$)



(b) Group 2 ($\theta = 40^\circ - 60^\circ$)

Fig. 8 Load balance of frames for different bending angles

3.3. バリアとリヤバンパビームの上下ラップ量

F-ハニカムを潰して高い荷重分散効果を得るために、必要な上下ラップ量の検討をおこなった。シミュレーションモデルは前節と同じ条件とし、リヤバンパビームの形状は Table 1 の CAE03 ($CL = 113 \text{ mm}$, $\theta = 30^\circ$) を用いた。上下ラップ量 Δz は Fig. 10 に示すように 150 mm, 80 mm, 70 mm, 60 mm で実施した。

Fig. 11 に、リヤバンパビーム中央でカットしたセクション XZ でのバリア変形図を示す。 $\Delta z = 150 \text{ mm}$ では、F-ハニカムと B-ハニカムが両方とも潰れた。また、 $\Delta z = 80$

mm と 70 mm では、B-ハニカムの上部と F-ハニカムが変形している。一方、 $\Delta z = 60 \text{ mm}$ では、B-ハニカムの回転が大きくなり、主に F-ハニカムが潰れることがわかった。

Fig. 12 は、Fig. 10 に示した AA 位置でカットしたセクション XY の変形状態を表す。黒線と黒破線はそれぞれ B-ハニカム、F-ハニカムの変形後の位置を表している。 $\Delta z = 150 \text{ mm}$ と 80 mm では、B-ハニカムと F-ハニカムの両方が潰れている。一方、上下ラップ量が 80 mm から小さくなると、青線枠内の B-ハニカムの変形が減少していくことがわかる。

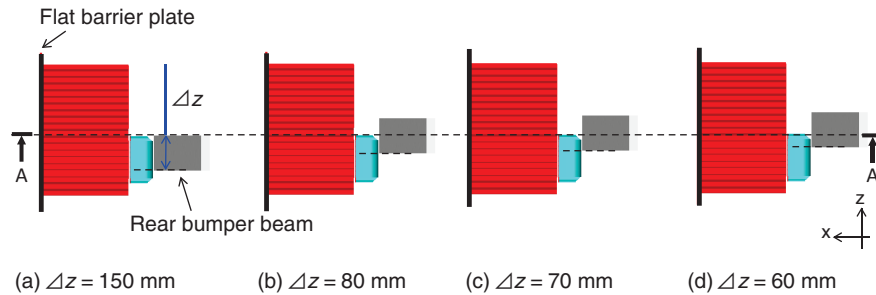


Fig. 10 Barrier and bumper beam overlap amount

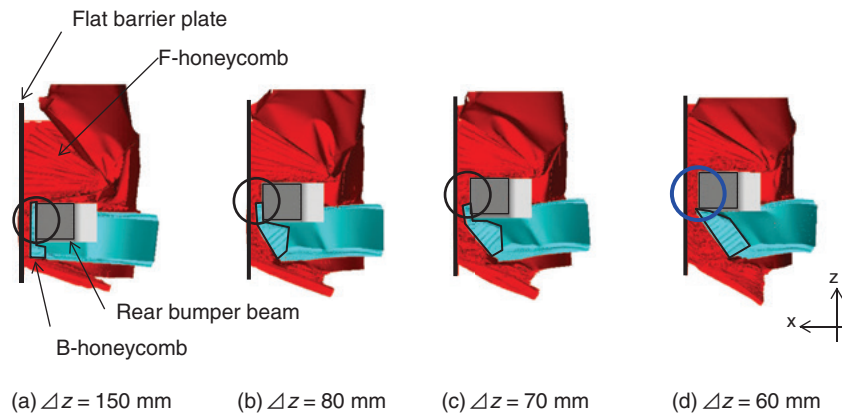


Fig. 11 Barrier deformation in section XZ

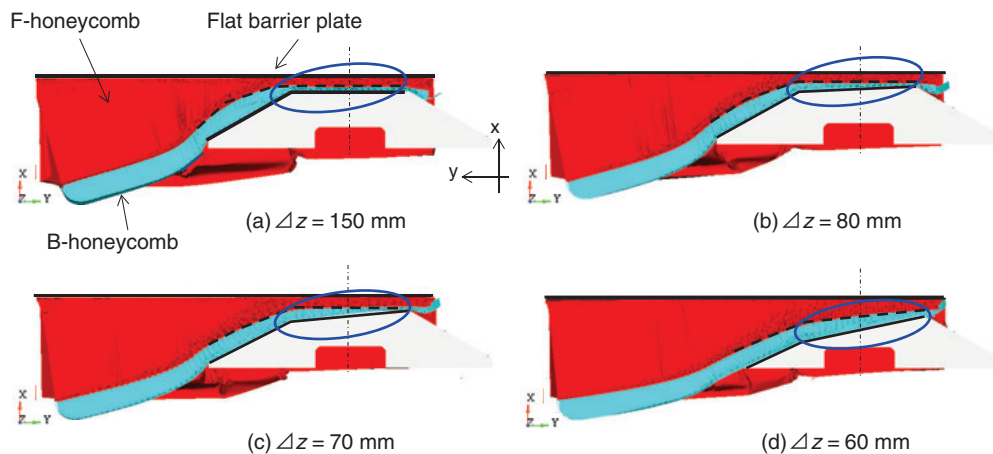


Fig. 12 Barrier deformation in section XY

以上、セクション XZ, XY のバリア変形図の解析結果から、上下ラップ量 80 mm 以上では F-ハニカムと B-ハニカムの双方が変形し、60 mm 以下では F-ハニカムの変形が主体となることがわかった。また、70 mm では中間的な変形を示した。このことから、F-ハニカムを潰し切り、リヤバンパビームをフラット盤面に接触させやすい上下ラップ量 Δz は 60 mm から 70 mm であることがわかった。

Fig. 13 に左右リヤフレームへの荷重入力の変移をラップ量別にプロットしたものを示す。低荷重域から過渡領域では、すべてのケースで図中の (a) から (b) へと推移している。 $\Delta z = 60$ mm では早く B-ハニカムを潰し切るため、過渡領域から (c) に推移し、以降は左右均等に近い荷重となった。70 mm では (d) を境に再び均等な荷重状態に回復するが、80 mm と 150 mm では高荷重域でも均等な荷重状態にならず $F_{xnc} < F_{xc}$ のまま (e) に推移した。この結果より、上下ラップ量の目安としては、 $\Delta z \leq 70$ mm であることがわかった。

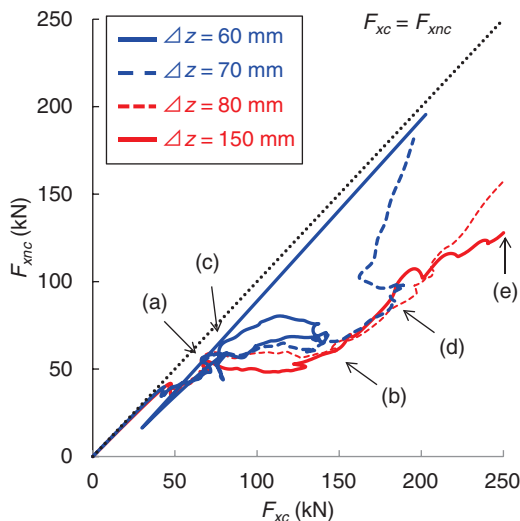


Fig. 13 Load balance of frames for different overlap amounts

4. 荷重分散効果の検証

4.1. 新リヤバンパビームの具現化

これまでの検討結果の妥当性を実証するにあたって、3章で示したリヤバンパビームの設計条件と量産車の設計空間および生技性をすべて満たす試作品の具現化検討をおこなった。Fig. 14 に示すように、複数の曲げ部を設けることで、3章で示した 105 mm 以上のクリアランスを確保できる形状にした。また、このような形状を具現化する製法として、アルミニウムの押し出し材による Stretch Bending⁽⁹⁾を採用した。

はじめに、机上計算で成形可能な範囲を予測した。成形上の制約となるパラメータは Fig. 14 内の曲率 R_3 とリヤバンパビームの屈曲部間長さ L_3 の二つである。 R_3 は 300 mm 以上、 $L_3/2$ は 450 mm 以上の長さが必要となる。フレーム間距離 L は量産車の設定と同じ 1100 mm であり、 L_2 は取り付け点の座面確保のために 50 mm 以上必要となる。そのため、 $(1100 - 2 \times 50) / 2 = 500$ mm が $L_3/2$ の上限となる。この成形要件をベースに、Fig. 14 に示す寸法にてリヤバンパビームを試作した。

4.2. 試験条件

前節で述べた条件でリヤバンパビームの試作品を製作し、単体試験をおこなった。リヤバンパビーム単体でフレームへの入力荷重を直接計測でき、かつ、変形の様子を画像で記録できる日本製鉄株式会社波崎研究開発センターの落錘試験機を使用した。

Fig. 15 に試験構成がわかる画像を示す。リヤバンパ

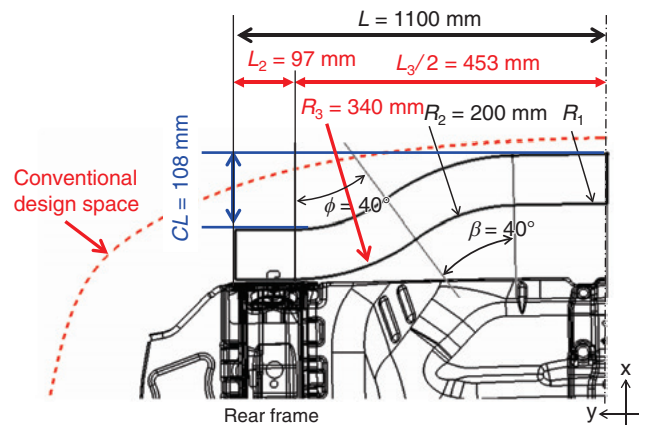


Fig. 14 Design space and parameters for stretch bending

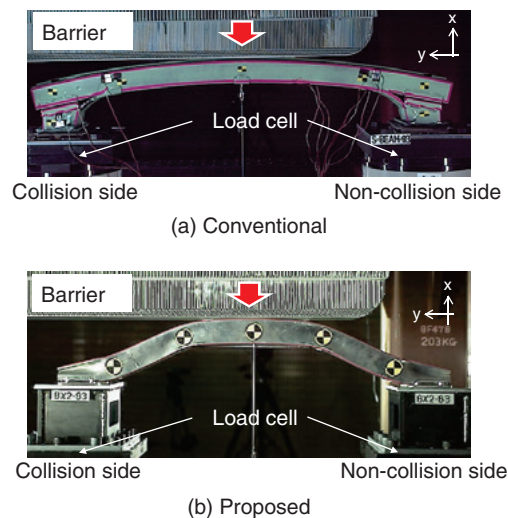


Fig. 15 Set up for drop test of bumper beams

ビームはロードセルを介して定盤に固定し、バリアは錐体側に取り付けて垂直方向に自由落下させた。また、高速度カメラを使ってバリアの変形状況を記録した。

低荷重域での試験は、従来構造のリヤバンパビームと新構造の試作品で実施し、結果を比較した。反力が 120 kN に到達するときのバンパとバリアのストローク量からエネルギーを算出して、試験の投入エネルギーを 20 kJ とした。

試作品は、剛体のリヤバンパビームと異なり、ビームの変形が生じる。そこで、高荷重域の試験をおこなう際に、試作品のシミュレーションモデルを作成し、3.4. 節と同様の条件で上下ラップ量の検証を改めておこなった。その結果、ラップ量の目安は 90 mm であったため、80 mm と 90 mm の二つの条件で試験をおこなった。衝突時の投入エネルギーは、低荷重域での条件に、バリアを潰し切るためのエネルギー量を加え、合計 75 kJ とした。

4.3. 低荷重域試験の結果と考察

低荷重域における、リヤバンパビーム平坦部とクリアランスによる荷重分散の効果について、試験結果を考察する。Fig. 16 の赤実線と青実線は、それぞれ従来品と試作品の F_{xnc} と F_{xc} の関係を表す。また、青破線は試作品のシミュレーション結果である。シミュレーションの荷重傾向は試験結果とおおむね一致しており、本研究で実施したモデルの妥当性を裏付けている。

また、図中の黒実線は、左右リヤフレームに入る荷重の総和が 120 kN になる線を表し、矢印は従来品と試作品がそれぞれ 120 kN に達するタイミングを表す。従来品は左右フレームの入力荷重差が 45 kN であるのに対して、試作品はわずか 3 kN となり、左右対称に近い荷重入力を達成できている。

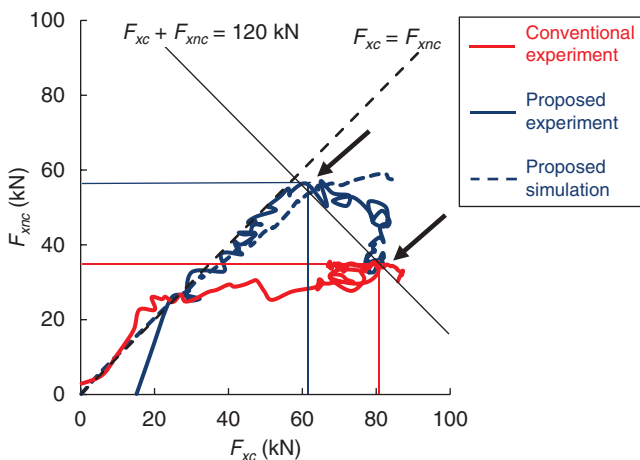


Fig. 16 Comparison of load balances with conventional and proposed bumper beams

Fig. 17 に衝突後 20 msec における、バリアの変形状態を示す。(a) が従来品、(b) が試作品である。従来品は、バリアがリヤバンパビームに沿った形状に変形しているが、試作品は青丸部のクリアランスが確保されており、左右対称に近い荷重分散が実現できている。この結果から、本研究で設計されたリヤバンパビームで左右対称な荷重分散を得られることが実証できた。同時に、リヤバンパビームの平坦部の長さ、両端に設けたクリアランスの大きさの妥当性も証明された。

4.4. 高荷重域試験の結果と考察

次に、高荷重域における荷重分散の効果を検証する。Fig. 18 (a), (b) にそれぞれ $\Delta z = 80$ mm, 90 mm における左右の荷重バランスを示す。図中の (1) は過渡領域と考えられ、80 mm では F_{xc} が 100 kN 付近まで、90 mm では 170 kN 付近まで継続した。どちらも、過渡領域を経て図中の (2) の黒丸で示すように、再び左右対称に近い荷重入力に回復した。3.3. 節で述べた通り、F-ハニカムを潰し切り、高荷重域でも左右対称入力となる傾向におおむね一致している。

Fig. 19 (a), (b) にそれぞれ $\Delta z = 80$ mm, 90 mm における、変形したバリアのセクション XZ を示す。いずれも F-ハニカムが潰れ、リヤバンパビームがフラット盤面部に到達していることが確認できた。

図中の青塗部は B-ハニカムの变形後のおおよその位置、図中の寸法はフラット盤面部から B-ハニカム上端部までの距離を表す。この距離を比較すると $\Delta z = 80$ mm の方が 30 mm 長い。これは、80 mm の方が少ない上下ラップ量のため、リヤバンパビームが F-ハニカムを早く変形させる状態に移行したためと考えられる。

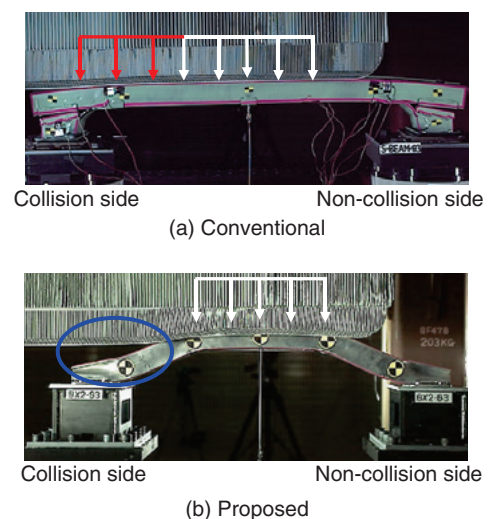


Fig. 17 Tested conventional and proposed bumper beams

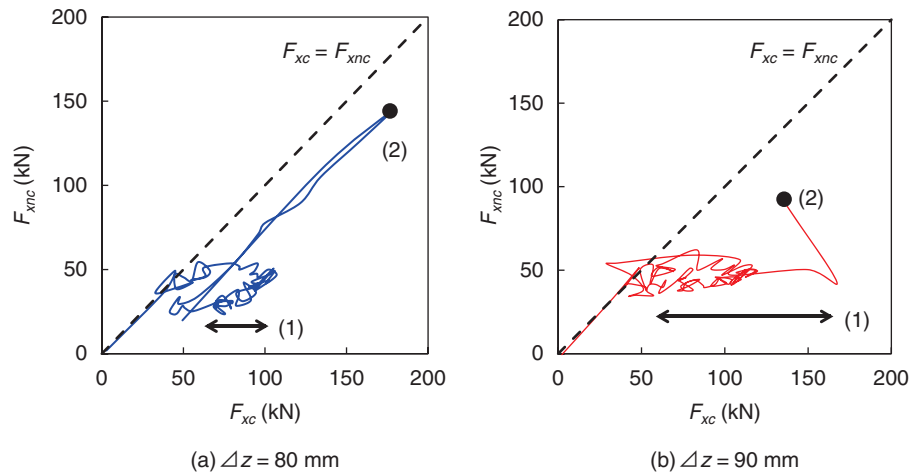


Fig. 18 Comparison of load balances with different lap lengths

過渡領域の範囲が異なる理由は、バリアが変形する潰れ量の差であることが裏付けられる。

以上より、F-ハニカムを潰し切りフラット盤面部にリヤバンパビームを接触させることで、高荷重域でも左右対称な荷重入力となることを実証できた。

重域でも荷重分散が可能であることを明らかにした。

新構造のリヤバンパビームの試作品を用いて落錘試験を実施し、低荷重域から高荷重域まで左右の入力差を低減できることを実証した。

この技術により、非衝突側フレームのエネルギー吸収を向上させることが期待でき、重量増となる次世代の車体にも活用できる見通しを得た。

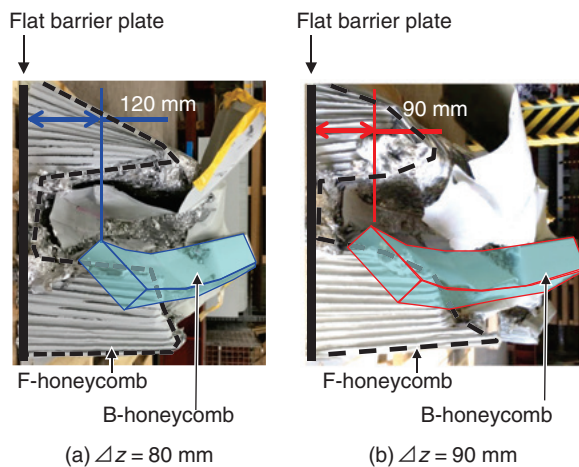


Fig. 19 Comparison of tested barriers with different lap lengths

5. まとめ

米国の後面衝突法規である FMVSS 301R の試験条件において、左右リヤフレームへの入力荷重差を低減できるリヤバンパビームを開発した。リヤバンパビームの平坦部と、両端に設けたクリアランスによって荷重分散を向上させる条件を明らかにした。また、B-ハニカムとリヤバンパビームの上下方向のラップ量を小さく設定することで高荷

参考文献

- (1) NHTSA: Fuel System Integrity – Rear Impact, Laboratory test procedure for FMVSS 301R, U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration, (2009)
- (2) 岡田英二: ホットスタンプとコールドスタンプ (特集 輝きと印刷), 印刷雑誌, Vol.90, No.7, p.25-28, (2007)
- (3) 福地弘, 野村成彦: 自動車分野のソリューション開発 (1) 高生産性ホットスタンプの開発, 機械技術特集, 新日鐵住金技報, 第 402 号, p.70-72, (2015)
- (4) 真木秀朗, 高木直: 次世代高λ型高強度鋼板の適用, 自動車技術会論文集, Vol.48, No.6, p.1347-1352, (2017)
- (5) 石飛秀樹, 藤原昭文: アルミニウム合金製バンパビームのコーナ衝突試験における変形挙動, 自動車技術会論文集, Vol.29, No.2, p.97-102, (1998)
- (6) 彌武朋也, 安原重人: 熱可塑性 GFRP を適用したリヤバンパビームの開発, Honda R&D Technical Review Vol.30, No.1, p.55-60
- (7) 森孝男, 浜野秀光, 鈴木孝司, 吉武明英, 橋本幸雄, 岩瀬耕二: ウルトライテンのバンパビームへの適用, NKK 技報, No.151, p.17-21, (1995)

- (8) 安原重人, 江川泰久: 後面オフセット衝突高効率エネルギー吸収構造の研究, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.6, p.71-75, (2008)
- (9) Paulsen, F., Welo, T.: A design method for prediction of dimensions of rectangular hollow sections formed in stretch bending, Journal of Materials Processing Technology, Vol.128, Issues 1-3, p.48-66, (2002)

■ 著 者 ■



長谷川 厚



藤井隆之



松浦 範和



清水 友浩



三浦 祐輔

薄膜閉空間を用いた軽量な遮音材のメカニズム検討

Mechanism of Light Weight Sound Insulation Material Using Thin-film Cells

栗原 育美¹
Ikumi KURIHARA

近藤 隆¹
Takashi KONDO

山口 誉夫²
Takao YAMAGUCHI

要 旨

車両の軽量化を目的に、静粛性向上のために用いられる遮音材の軽量化がすすめられている。遮音材の構造として、中間層に多孔質材を挿入した二重壁構造が用いられることが多い。先行研究では、多孔質材の代わりに薄膜閉空間を用いることで、同様の遮音性能を保ちながら軽量化できることが報告されている。しかしながら、薄膜閉空間による遮音メカニズムは明らかになっていない。そこで本研究では、薄膜閉空間を透過する音波の伝搬速度（みかけ音速）に着目し、なぜ薄膜閉空間が多孔質材と同様の遮音性能を有するのかを検討した。また、適切な遮音性能を得るため、遮音性能とみかけ音速の関係を定式化し、薄膜閉空間の内部構造から見かけ音速を導出する手法を構築した。以上のメカニズム検討により、薄膜閉空間を用いた軽量遮音材の性能設計をするための知見を得た。

ABSTRACT

Weight reduction of the sound insulation material used to enhance cabin quietness is being advanced for the purpose of reducing vehicle weight. Sound insulation material with a structure of double walls with an intermediate layer of porous material between them is frequently used. There are reports from previous research that the use of thin-film cells instead of porous material can maintain similar sound insulation performance while enabling weight reduction. However, since the mechanism of sound insulation by thin-film cells is not clearly understood, in the present research, the question of why thin-film cells possess the same sound insulation performance as porous material was examined, with a focus on the propagation speed of sound waves transmitted through thin-film cells (apparent sound speed). The relationship between sound insulation performance and apparent sound speed was also formulated as an equation in order to obtain adequate sound insulation performance, and a method of deriving the apparent sound speed from the internal structure of the thin-film cells was devised. By means of the above examination of the mechanism, findings were obtained to enable performance design of lightweight sound insulation material using thin-film cells.

1. まえがき

自動車の環境負荷低減に対する要望はさらなる高まりを見せている。環境負荷を低減する手法の一つとして、燃費性能を向上させるための、車体軽量化が進んでいる。それとともに、電動車が普及するにつれ、お客様からは静粛性の要求がより高まっている。

静粛性を向上させる手法の一つとして防音材の適用が求められる。防音材の性能指標には主に、振動をどれくらい抑えられるかを示す制振性能、音波のエネルギーをどれくらい吸収できるかを示す吸音性能、音波の透過をどれくらい遮られるかを示す遮音性能がある⁽¹⁾。遮音構造には、一

重壁、中間層が空気の中空二重壁、二重壁に通気タイプ多孔質材を挿入した多孔質材挿入二重壁などがある。

自動車のフロアの一般的な遮音構造の例を Fig. 1 に示す。自動車の鋼材パネルに対して、遮音性能向上のために、

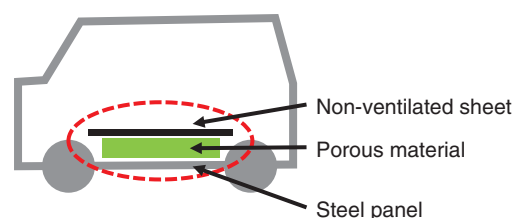


Fig. 1 Sound insulation structure of car

¹ 先進技術研究所

² 群馬大学, 博士(工学)

多孔質材と非通気材シートを用いた多孔質材挿入二重壁構造が多く採用されている。遮音性能をさらに向上させるには、鋼材パネルの板厚を増やす方法、多孔質材の厚みを増やす方法、非通気材シートの面質量を増やす方法などがあげられ、一般的に軽量化と遮音性能は相反の関係にある。

先行研究では、多孔質材挿入二重壁に対し、中間層に薄膜閉空間を挿入した薄膜閉空間挿入二重壁構造を用いることで、従来と比較して軽量ながら同様の遮音性能を有することが報告されている⁽²⁾。薄膜閉空間の例を Fig. 2 に示す。薄膜閉空間は空気を内包した円筒状の薄膜セルが並んだものである。

先行研究においては、空気を内包する非通気性薄膜を用いた薄膜閉空間挿入二重壁が、なぜ多孔質材同様の遮音性能を有するのかが明らかになっていない。

多孔質材挿入二重壁の遮音性能は Biot モデル⁽³⁾を用いて予測することができる。Biot モデルは入射音波が多孔質材の空隙部を通る空気伝播音、骨格部を伝わる固体伝播音、およびそれらの相互作用を考慮した音響特性モデルである。Biot モデルのパラメータには流れ抵抗、音響エネルギー損失に関連した粘性特性長、音響エネルギーの熱変換量に関連した熱性特性長、材料の減衰、ヤング率などがある。遮音性能のメカニズムはこれらを用いて説明されることがある。しかしながら、薄膜と空気から構成される薄膜閉空間は多孔質材とは異なり不均質な材料であるため、Biot モデルを用いたメカニズムの説明は容易ではない。

一方、中空二重壁の中間層に空気よりも音速が小さい気体を用いることで遮音性能が向上することが知られている⁽⁴⁾。また、多孔質材は音が通過する空隙部の迷路長が長いこと、見かけ上の音速が空気中の音速より小さくなる⁽⁵⁾、これが多孔質材挿入二重壁の遮音性能が良い要因の一つだといわれている⁽⁶⁾。このように遮音性能のメカニズムの一因に中間層の見かけ音速が関連していることが推察される。

そこで、本研究では薄膜閉空間内を透過する音波の伝播速度（見かけ音速）に着目し、薄膜閉空間挿入二重壁が多孔質材挿入二重壁と同様の遮音性能を有するメカニズム検討



Fig. 2 Thin-film cells

をおこなった。本検討によって簡便な手法で性能予測ができれば、初期の性能設計段階に仕様を検討するための指針となる。

2. 音速と遮音性能の関係

2.1. 遮音材の比較

一重壁、中空二重壁、多孔質材挿入二重壁の構造を Fig. 3 に、それらを残響室を用いて実測した遮音性能を Fig. 4 に示す。遮音性能は透過損失 (Transmission loss) として表され、この値が大きいほど遮音性能は高い。中空二重壁の場合、中間層が建築用二重窓のように 100 mm 以上と厚い場合は一重壁に対し遮音性能は向上するが、自動車に採用されるように 10 mm 程度と薄い場合は逆に低下する。一方で、薄い中間層に多孔質材を挿入すると遮音性能が向上することが知られている。まず、この二重壁構造のメカニズムについて説明する。

2.2. 中空二重壁の見かけ音速と遮音性能

中空二重壁に入射角 θ_i 、音速 C_i で入射する平面波は、中間層 n 内で屈折角 $\theta_n (= \theta_i)$ 、音速 $C_n (= C_i)$ となるが、式 (1) より入射角が大きいほど音速は見かけ上大きくなり $C_{n-\theta_n}$ となる。この現象は、中間層の材質によらず発生する。

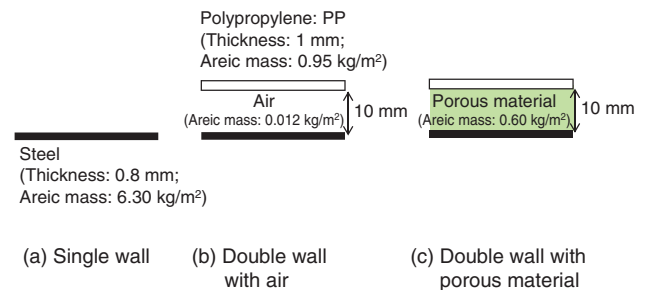


Fig. 3 Structure of sound insulation

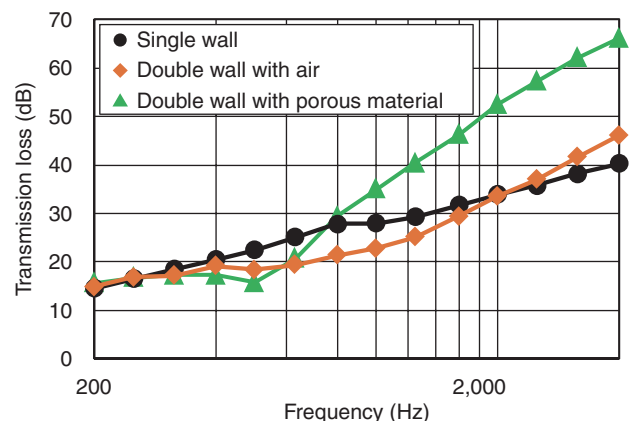


Fig. 4 Transmission loss

$$C_{n-\theta n} = \frac{C_n}{\cos \theta_n} \quad (1)$$

例えば, Fig. 5(a) に入射角 0° , 音速 $C_i 340$ m/s で入射する平面波を, Fig. 5(b) に入射角 45° , 音速 $C_i 340$ m/s で入射する平面波を示す. (a) の場合, 平面波は同時に中間層下面へ到達するため, 中間層の音速はそのまま 340 m/s である. (b) の場合, 斜め入射する平面波の一部が早く中間層下面に到達するため, 垂直方向の音速 $C_{n-\theta n}$ は見かけ上大きくなり, 式 (1) より 481 m/s となる.

中空二重壁では, 壁の面質量をマス, 中間層をバネとする共振が発生し, その周波数 f は式 (2) で表される.

$$f = \frac{1}{2\pi \cos \theta_n} \sqrt{\frac{(m_1 + m_2) \rho C_n^2}{m_1 m_2 l}} \quad (2)$$

ρ : 中間層の密度 (kg/m^3)

C_n : 中間層の音速 (m/s)

m_1, m_2 : 二重壁それぞれの面質量 (kg/m^2)

l : 二重壁間距離 (m)

θ_n : 中間層の屈折角 ($^\circ$)

例えば, Fig. 3 (b) に示す中空二重壁を, 伝達マトリクス法により算出した, 入射角違いによる遮音性能の変化と, 入射角がランダムの場合の遮音性能を Fig. 6 に示す. 入射角が単一の場合, 二重壁間距離が一定であるため共振周波数は一つであり, その周波数より高い周波数領域で遮音性能は高くなる. 入射角が大きくなるほど式 (1) より見かけ音速は大きくなるため, 式 (2) に従って共振周波数は高くなり, 遮音性能は低くなる. 残響室を用いた遮音性能の計測方法では入射角がランダムとなるため, 共振周波数は入射角 0° から 90° のあらゆる値をとり, その結果 Fig. 6 に示す計算値のように遮音性能は低くなる.

2.3. 多孔質材挿入二重壁の見かけ音速と遮音性能

多孔質材は迷路長が長いため, 平面波が多孔質材を通過するには時間がかかり, 音速は見かけ上小さくなる⁽⁵⁾. これを距離による見かけ音速 C_{di} とする.

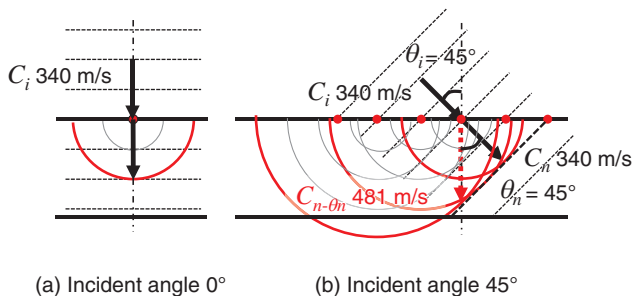


Fig. 5 Sound speeds depending on incident angles

この場合, 入射角 θ_i , 音速 C_i で入射する平面波は, 多孔質材内では式 (3) で示すスネルの法則により, 屈折角 θ_{di} で伝搬する平面波となる^{(6), (7)}.

$$\frac{\sin \theta_i}{C_i} = \frac{\sin \theta_{di}}{C_{di}} \quad (3)$$

入射角 θ_i , 音速 C_i で入射し, 距離による見かけ音速 C_{di} で多孔質材を通過する平面波を Fig. 7 に示す.

屈折した平面波による見かけ音速 $C_{di-\theta_{di}}$ は, 式 (1) より, ここでは式 (4) で表されるように大きくなる.

$$C_{di-\theta_{di}} = \frac{C_{di}}{\cos \theta_{di}} \quad (4)$$

入射角がランダムの場合でも, 中間層の見かけ音速が小さい場合は屈折角が 0° に近づくため, 遮音性能は Fig. 6 に示す入射角 0° に近い高い値を有する.

つまり中間層の見かけ音速が小さいほど遮音性能は高くなる.

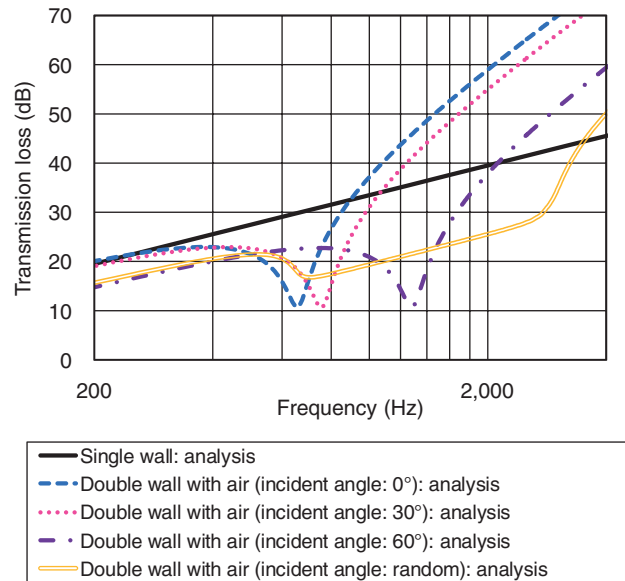


Fig. 6 Incident angles and transmission loss

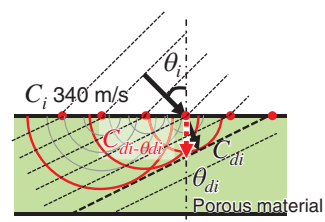


Fig. 7 Refraction angles depending on porous material

3. 薄膜閉空間の見かけ音速減少のメカニズム

3.1. 薄膜閉空間の見かけ音速

先行研究より薄膜閉空間挿入二重壁と多孔質材挿入二重壁の遮音性能は同様であった。そこで薄膜閉空間も多孔質材同様に見かけ音速が小さいと推察される。

そこで、両者の見かけ音速を音響インピーダンス管 ϕ 100 mm を用いた垂直入射吸音率測定 (ISO 10534-2) から算出した。サンプルは厚さ 100 mm で測定した。算出した見かけ音速を Fig. 8 に示す。薄膜閉空間はほとんどが空気であるにも関わらず、見かけ音速は空気の 340 m/s より小さく、多孔質材と同様の 200 m/s 程度であった。

3.2. 薄膜透過による音波の時間遅れ

薄膜閉空間の見かけ音速が小さい要因は、音波が薄膜を透過する際に、時間遅れが生じるためと考え、音波の時間遅れの算出をおこなった。計測手法の概念図を Fig. 9 に示す。音源と音圧計測点間に薄膜を配置しない場合を Fig. 9 (a) に、薄膜を配置する場合を Fig. 9 (b) に示す。計測点に音圧が伝搬するまでの時間を測定し、薄膜有無の時間差を音波の時間遅れとして算出した。

薄膜により生じた音波の時間遅れと薄膜枚数の関係を Fig. 10 に示す。薄膜の枚数が増加するほど、より音波に時間遅れが生じることがわかった。薄膜 1 枚あたりの時間遅れは Fig. 10 中の一次近似曲線から 0.032 ms とした。

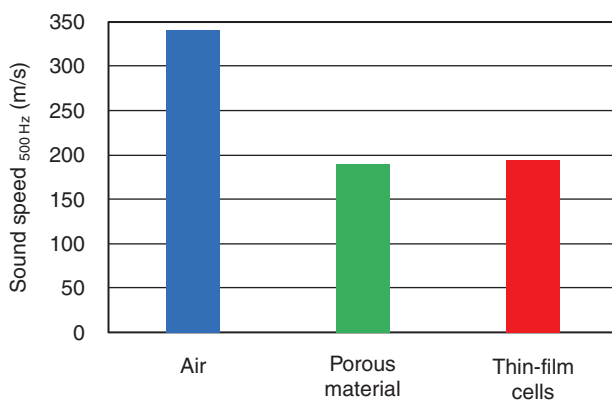


Fig. 8 Sound speed

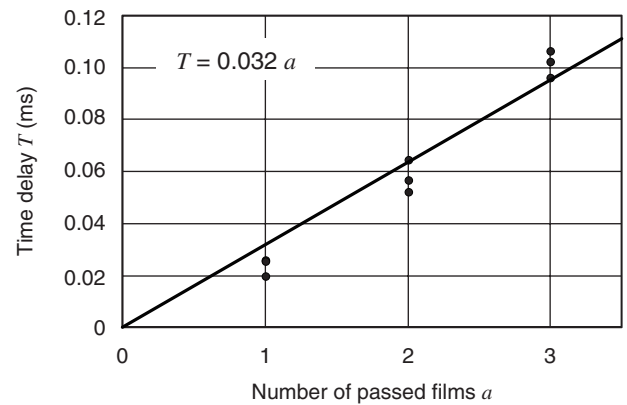


Fig. 10 Time delay of sound by number of thin films

3.3. 薄膜配置による見かけ音速の減少

薄膜透過によって音波の時間遅れが生じることから、中間層に薄膜を複数枚配置すれば、見かけ音速はより小さくなると考えられる。

Fig. 11(a) に中空二重壁へ斜め入射する平面波を示す。入射角が大きいほど見かけ音速 $C_{n-\theta n}$ は大きくなり遮音性能は低下する。一方、Fig. 11(b) に薄膜が面内方向に配置された二重壁へ斜め入射する平面波を示す。入射角が大きいほど薄膜透過枚数が増えるため、音波の時間遅れが生じ、中間層の音速は見かけ上小さくなる。これを時間遅れによる見かけ音速 C_{de} とすると、見かけ音速は $C_{de-\theta de}$ で表され、(a) の $C_{n-\theta n}$ より小さくなり、(a) よりも遮音性能は高くなると考えられる。

以上の検討から、薄膜閉空間挿入二重壁が多孔質材と同様の遮音性能を有するメカニズムは、薄膜透過による

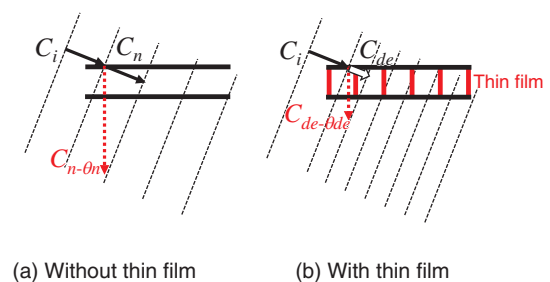


Fig. 11 Oblique incidence

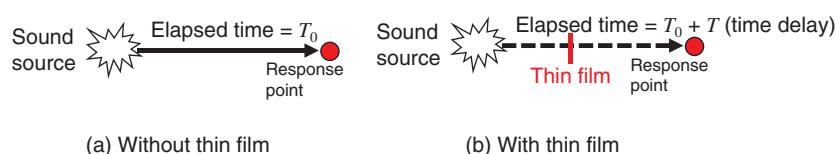


Fig. 9 Measurement of time

音波の時間遅れによって見かけ音速が小さくなるためと
考えた。

4. 検証方法

メカニズムの仮説を直接検証するには、薄膜を用いた中間層の見かけ音速を求める必要があるが、入射角がランダムの場合、中間層の見かけ音速を直接計測することは容易ではない。そこで、まず薄膜を用いた構造と見かけ音速の関係の定式化をおこなった。次に、見かけ音速と遮音性能の関係を定式化し、多孔質材挿入二重壁の遮音性能と同様となる見かけ音速の算出をおこなった。最後に、多孔質材挿入二重壁の遮音性能と同様な見かけ音速をねらった構造を作成した。作成した構造の遮音性能を実測することで、薄膜透過による音波の時間遅れにより遮音性能が向上しているという仮説の妥当性を検証した。

4.1. 薄膜を用いた構造による見かけ音速の定式化

まず、薄膜を用いた構造と見かけ音速の関係の定式化をおこなう。Fig. 12 に薄膜配置の模式図を示す。薄膜構造の高さを二重壁間距離にあわせた l m、薄膜間隔を y m とする。薄膜の枚数は面直方向に b 枚 (Fig. 12 では 2 枚) とする。

薄膜構造に入射角 θ_i 、音速 C_i で入射する平面波は、薄膜構造内で屈折角 $\theta_n (= \theta_t)$ となり、薄膜構造を通過する距離 l' は式 (5)、その際にかかる時間 T' は式 (6) で表される。

$$l' = \frac{l}{\cos \theta_n} \quad (5)$$

l : 薄膜構造の高さ (m)

θ_i : 入射角 ($^\circ$)

$$T' = \frac{l'}{C_i} + at \quad (6)$$

a : 薄膜透過枚数

t : 薄膜 1 枚あたりの時間遅れ (=0.032 ms)

ここで薄膜透過枚数 a は式 (7) で表される。

$$a = \frac{l \tan \theta_n}{y} + b \quad (7)$$

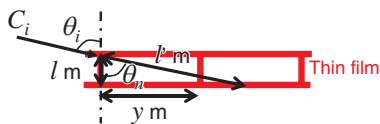


Fig. 12 Film arrangement

よって薄膜構造を通過する音波の時間遅れによる見かけ音速 C_{de} は式 (8) で表される。

$$C_{de} = \frac{l'}{T'} \quad (8)$$

入射角が大きいほど音速は見かけ上大きくなるので、式 (1) より見かけ音速 $C_{de-\theta de}$ は式 (9) となる。

$$C_{de-\theta de} = \frac{C_{de}}{\cos \theta_n} \quad (9)$$

入射角がランダムの場合の平均音速 $\overline{C_{de-\theta de}}$ は式 (10) で表される。

$$\overline{C_{de-\theta de}} = \frac{\int_0^{\pi/2} C_{de-\theta de} d\theta}{\int_0^{\pi/2} d\theta} \quad (10)$$

本研究では現実の場に近い条件とされる音場入射を用いた入射角 0° から 78° ⁽⁸⁾ を 1° 刻みで平均化をおこない見かけ音速を求めた。

以上より薄膜構造の高さ l と、面内方向の薄膜配置間隔 y をパラメータとして見かけ音速を求めることができる。

4.2. 見かけ音速と遮音性能の関係の定式化

ねらいの遮音性能となる見かけ音速を求めるため、見かけ音速と遮音性能の関係の定式化をおこなう。

定式化する構造を Fig. 13(a) に示す。二重壁に中間層が挿入された全 3 層構造の音速、屈折、遮音性能の関係の定式化をおこなう。中間層は実際は一樣とは限らないが、ここでは一樣とみなした。

中間層を全 m 層ある中の n 番目の層として一般化し、平面波が進行するとする。一般化した構造を Fig. 13(b) に示す。

4.2.1. 中間層の伝達マトリクス

多孔質材や気体のような通気性のある層を平面波が進行する際、粒子速度に依存した抵抗が働く。その際、平面波の振幅、位相が変化する。平面波を仮定し、 n 番目の層の媒質内の断面 n (入射側) における音圧 p_n 、粒子速度 v_n 、断面 $n-1$ における音圧 p_{n-1} 、粒子速度 v_{n-1} の関係はそれぞれ式 (11) から式 (14) となる。

$$p_n = p_{i,n} + p_{r,n} \quad (11)$$

$$v_n = \frac{p_{i,n} - p_{r,n}}{W_{s,n}} \quad (12)$$

$$p_{n-1} = p'_{i,n} + p'_{r,n} \quad (13)$$

$$v_{n-1} = \frac{p'_{i,n} - p'_{r,n}}{W_{s,n}} \quad (14)$$

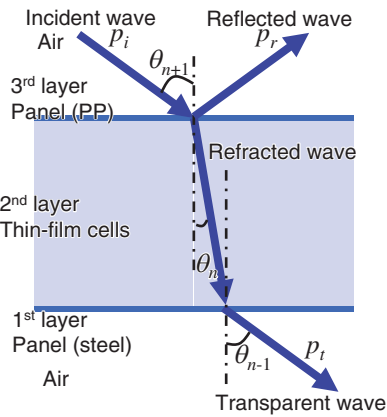
$p_{i,n}$: 断面 n における進行波の音圧 (Pa)
 $p_{r,n}$: 断面 n における後退波の音圧 (Pa)
 $p'_{i,n}$: 断面 $n-1$ における進行波の音圧 (Pa)
 $p'_{r,n}$: 断面 $n-1$ における後退波の音圧 (Pa)
 $W_{x,n}$: n 層の媒質内を x 方向に平面波が伝搬するとき
 の複素特性インピーダンス

$p_{i,n}$, $p'_{i,n}$, $p_{r,n}$, $p'_{r,n}$ は距離減衰より式 (15) で表せる.

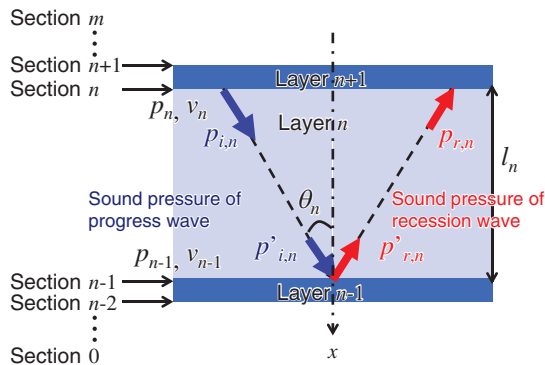
$$\begin{aligned}
 p_{i,n} &= p'_{i,n} e^{jk_{x,n}l_n} \\
 p'_{i,n} &= p_{i,n} [\cos(k_{x,n}l_n) - j\sin(k_{x,n}l_n)] \\
 p_{r,n} &= p'_{r,n} e^{-jk_{x,n}l_n} \\
 p'_{r,n} &= p_{r,n} [\cos(k_{x,n}l_n) + j\sin(k_{x,n}l_n)]
 \end{aligned} \quad (15)$$

$k_{x,n}$: 波数
 l_n : n 層の厚み (m)

式 (11) から式 (15) を整理すると, 断面 n , 断面 $n-1$ における音圧, 粒子速度の関係は式 (16) で表せる. ここで $T_{n,n-1}$ は伝達マトリクスである.



(a) Three-layer structure



(b) General structure

Fig. 13 Model structure

$$\begin{aligned}
 \begin{Bmatrix} p_n \\ v_n \end{Bmatrix} &= T_{n,n-1} \begin{Bmatrix} p_{n-1} \\ v_{n-1} \end{Bmatrix} \\
 T_{n,n-1} &= \begin{bmatrix} \cos(k_{x,n}l_n) & jW_{x,n}\sin(k_{x,n}l_n) \\ \frac{j}{W_{x,n}}\sin(k_{x,n}l_n) & \cos(k_{x,n}l_n) \end{bmatrix}
 \end{aligned} \quad (16)$$

ここで $l_n \ll \lambda_{x,n}$ のとき, $k_{x,n}l_n = 2\pi \frac{l_n}{\lambda_{x,n}}$ は微小なので式 (17) のように近似できる.

$$\cos(k_{x,n}l_n) \cong 1, \sin(k_{x,n}l_n) \cong k_{x,n}l_n = \frac{\omega l_n}{C_{x,n}} \quad (17)$$

よって

$$T_{n,n-1} \cong \begin{bmatrix} 1 & jW_{x,n}k_{x,n}l_n \\ \frac{j}{W_{x,n}}k_{x,n}l_n & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$k_x = \frac{\omega}{C_{x,n}}, W_{x,n} = \rho_n C_{x,n}$$

$C_{x,n}$: n 層内の x 方向の音速 (m/s)

よって

$$T_{n,n-1} = \begin{bmatrix} 1 & j\omega\rho_n l_n \\ \frac{j\omega l_n}{\rho_n C_{x,n}^2} & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$C_{x,n} = C_n \cos\theta_n$, n 層の体積弾性率 $\rho_n C_{x,n}^2 = E_n$ より,

$$T_{n,n-1} = \begin{bmatrix} 1 & j\omega\rho_n l_n \\ \frac{j\omega l_n}{E_n \cos^2\theta_n} & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$E_n = \frac{l_n}{K_n}$ より

$$T_{n,n-1} = \begin{bmatrix} 1 & j\omega\rho_n l_n \\ \frac{j\omega}{K_n \cos^2\theta_n} & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

ρ_n : n 層の密度 (kg/m^3)

K_n : n 層のバネ定数 (N/m)

θ_n : n 層の平面波の角度 ($^\circ$)

n 層のバネ定数 K_n は FEM により求める^{(2), (9)}.

式 (21) の n 層の平面波の角度 θ_n は, スネルの法則式 (3)' より境界面での音速の違いから求められる.

$$\frac{\sin\theta_{n+1}}{C_{n+1}} = \frac{\sin\theta_n}{C_n} \quad (3)'$$

θ_{n+1} : $n+1$ 層の平面波の角度 ($^\circ$)

C_{n+1} : $n+1$ 層内の音速 (m/s)

C_n : n 層内の音速 (m/s)

今回式 (3)' を式 (21) に組み込んだモデルを構築することで、中間層の音速を考慮可能とした。

4.2.2. 壁板の伝達マトリクス

壁板の伝達マトリクス $T_{n,n-1}$ は、平面波を仮定し、 n 番目の層の単位面積当たりの機械インピーダンス $Z_{k,n}$ により式 (22) で表される⁽⁴⁾。

$$T_{n,n-1} = \begin{bmatrix} 1 & Z_{k,n} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (22)$$

ここで機械インピーダンス $Z_{k,n}$ は式 (23) で表される。

$$Z_{k,n} = \gamma_{k,n} + j2\pi f \bar{m}_n \left[1 - \left(\frac{f}{f_{c,n}} \right)^2 \sin^2 \theta_{n+1} \right] \quad (23)$$

$$f_{c,n} = \frac{C_{n+1}^2}{2\pi} \sqrt{\frac{\bar{m}_n}{B_n (1 + j\eta_n)}}$$

$\gamma_{k,n}$: 壁板の単位面積当たりの粘性減衰定数

$\bar{m}_n$: 壁板の面質量 (kg/m^2)

$f_{c,n}$: n 層の壁板のコインシデンス限界周波数 (Hz)

B_n : 壁板の単位面積当たりの曲げ剛性 (Nm^2)

η_n : 壁板の損失係数

4.2.3. 積層全体の伝達マトリクス

全 m 層の積層体全体の伝達マトリクスは、各層の伝達マトリクスの積である式 (24) で表される。

$$T_{m,0} = T_{m,m-1} \cdot T_{m-1,m-2} \cdots T_{n+1,n} \cdot T_{n,n-1} \cdot T_{n-1,n-2} \cdots T_{1,0} \quad (24)$$

薄膜閉空間挿入二重壁の場合は Fig. 13(a) のように鉄板層、薄膜閉空間層、PP 板層の全 3 層であるので、三つの伝達マトリクスの積で表される。

4.2.4. 積層全体の遮音性能

全 m 層の積層全体の断面 m (入射側)、断面 0 における音圧、粒子速度の関係は式 (25) で表される。

$$\begin{cases} P_m \\ v_m \end{cases} = T_{m,0} \begin{cases} P_0 \\ v_0 \end{cases} \quad (25)$$

$$T_{m,0} = \begin{bmatrix} T_{m,0}^{(1,1)} & T_{m,0}^{(1,2)} \\ T_{m,0}^{(2,1)} & T_{m,0}^{(2,2)} \end{bmatrix}$$

以上から、透過率 τ は式 (26) で表せる。

$$\frac{P_m}{P_0} = T_{m,0}^{(1,1)} + \frac{T_{m,0}^{(1,2)}}{z_0} = \frac{1}{\tau(\theta)} \quad (26)$$

入射角 θ_i での透過損失 $TL(\theta)$ は式 (27) で表せる。

$$TL(\theta) = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{\tau(\theta)} \right] \quad (27)$$

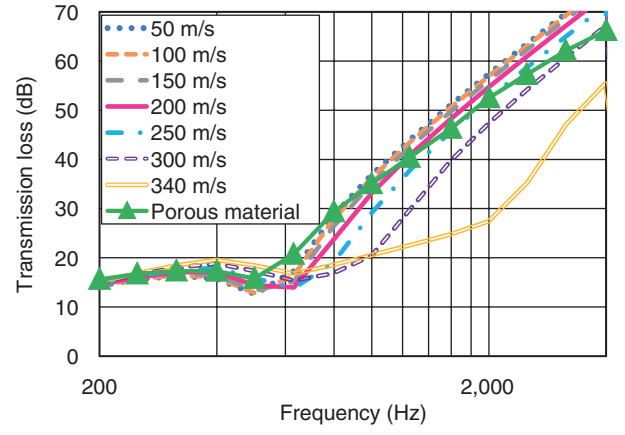


Fig. 14 Sound speed and transmission loss

入射角がランダムの場合、入射角 0 から $\pi/2$ で透過率の平均 $\bar{\tau}$ は半球積分⁽⁴⁾を用いて式 (28) で表せる。ここでの入射も、音場入射を用いた入射角 0° から 78° を用い、平均透過率を算出した。

$$\bar{\tau} = \frac{\int_0^{\pi/2} 2\pi \tau \sin \theta \cos \theta d\theta}{\int_0^{\pi/2} 2\pi \sin \theta \cos \theta d\theta} \quad (28)$$

以上から透過損失 TL は式 (29) で表される。

$$TL = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\bar{\tau}} \right) \quad (29)$$

中間層のバネ定数を $9,400 \text{ N/mm}$ とし、式 (29) を用いて計算した見かけ音速と遮音性能の関係性および多孔質材挿入二重壁の遮音性能の実測値を Fig. 14 に示す。見かけ音速が 200 m/s 程度となると、本研究に用いた多孔質材挿入二重壁の遮音性能と同様の値になることが確認できた。

5. 検証結果と考察

5.1. 薄膜を用いた構造による検証

検証に用いた構造を Fig. 15 に示す。厚さ 0.1 mm のポリエチレンを主材料とする薄膜を用い、 $\phi 30 \text{ mm}$ 、高さ 10 mm の空気を内包した円筒状のセルを 4 mm 間隔で並べた

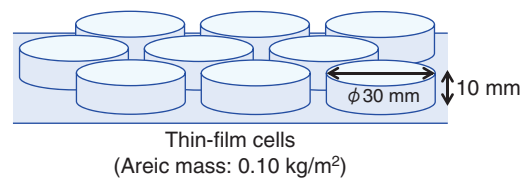


Fig. 15 Designed thin-film cells

構造を作成した。この構造を Fig. 12 の模式図にあてはめ、薄膜間隔は 17 mm として、式 (10) を用いてこの構造の見かけ音速を算出すると、216 m/s と見積られる。また、面質量は従来の多孔質材挿入二重壁よりも 33% (0.5 kg/m^2) 軽量であった。

多孔質材挿入二重壁の実測した遮音性能と、見かけ音速 216 m/s と見積った薄膜閉空間挿入二重壁の実測した遮音性能、定式による見かけ音速 216 m/s の場合の遮音性能を Fig. 16 に示す。

Fig. 16 より、多孔質材挿入二重壁の遮音性能と、作成した薄膜閉空間挿入二重壁構造の遮音性能、定式による遮音性能はほぼ同様の結果となった。

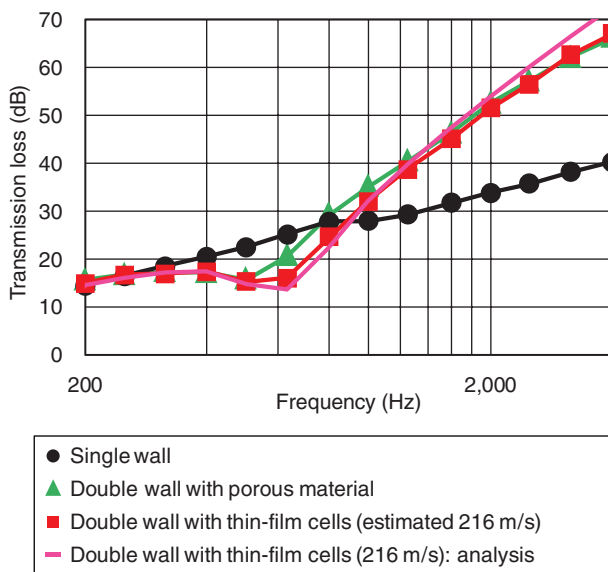
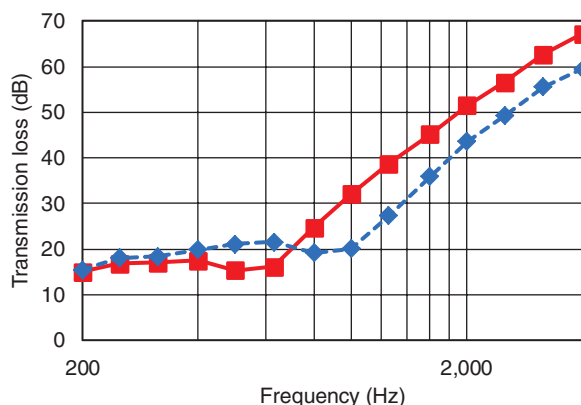
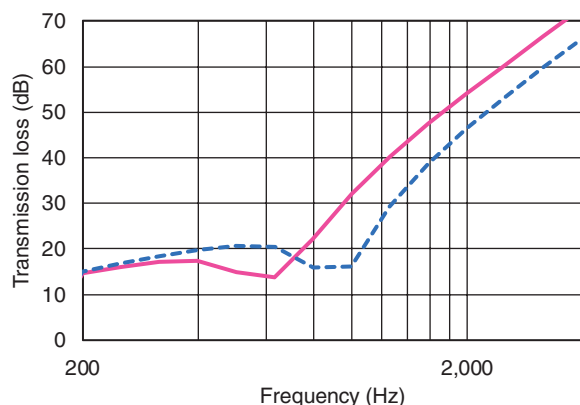


Fig. 16 Transmission loss in designed thin-film cells



Design	
■	ϕ : 30 mm; l : 10 mm (estimated 216 m/s)
◆	ϕ : 30 mm; l : 5 mm (estimated 153 m/s)

(a) Experimental



Design	Spring constant (N/mm)
— ϕ : 30 mm; l : 10 mm (216 m/s)	9,400
- - ϕ : 30 mm; l : 5 mm (153 m/s)	24,000

(b) Analysis

Fig. 17 Transmission loss of double wall with different design of thin-film cells

さらに、異なる構造の性能予測が可能であるか確認するため、 ϕ 30 mm、高さ 5 mm の空気を内包した円筒状のセルを 4 mm 間隔で並べた構造を作成した。この構造の見かけ音速を算出すると、153 m/s と見積られる。高さ 10 mm および 5 mm の薄膜閉空間挿入二重壁の実測した遮音性能を Fig. 17 (a) に示す。また、それらを定式によって算出した見かけ音速での遮音性能を Fig. 17 (b) に示す。高さ 5 mm の構造は高さ 10 mm の構造よりもバネ定数が大きくなるため、共振周波数は高くなる。

Fig. 17 (a), (b) より、作成した薄膜閉空間挿入二重壁の構造の実測した遮音性能と、定式による遮音性能は同様の傾向が得られた。

5.2. 考察

本研究では中間層の見かけ音速に着目し、薄膜閉空間挿入二重壁のメカニズム検討をおこなった。その結果、薄膜透過による音波の時間遅れからの見かけ音速の減少より算出した遮音性能が、実験結果に近い値をとることが確認できた。薄膜閉空間が多孔質材と同様の遮音性能となるのは、薄膜透過による音波の時間遅れによって見かけ音速が小さくなり、多孔質材同様の見かけ音速になるためという仮説が妥当であると判断した。

薄膜閉空間挿入二重壁の詳細なメカニズムは、薄膜と内部の空気との相互作用や、薄膜壁面の反射、薄膜が発する波の干渉、薄膜の材料違いなど、複雑な事象から成り立っていると考えられ、十分にそのメカニズムを把握できたわけではない。しかしながら、本検証結果より中間層の見かけ音速と遮音性能の相関は高いと判断できることから、薄膜を用いた構造の性能設計に有益な知見であると考えられる。

6. まとめ

薄膜閉空間挿入二重壁の遮音メカニズムについて検討をおこなった。

- (1) 薄膜閉空間挿入二重壁において、薄膜間隔と高さから見かけ音速を導出する手法を構築した。
- (2) 薄膜を用いた構造は、平面波が斜めから入射するほど薄膜の透過枚数が増えるため、見かけ音速が小さくなる。
- (3) 薄膜透過による音波の時間遅れからの見かけ音速の減少より算出した遮音性能が、実験結果に近い値をとる。

本研究により、薄膜閉空間挿入二重壁による遮音性能の定量的な評価ができるようになった。詳細なメカニズム解明には、薄膜と内部の空気との相互作用や、薄膜壁面の反射、薄膜が発する波の干渉などの検証が必要であるが、本手法は、薄膜閉空間を用いた軽量な遮音材の性能設計に関する知見となる。

参考文献

- (1) 子安勝: 遮音・吸音材料の理論と複合材料, 日本複合材料学会誌, Vol. 2, No. 4, p. 145-152, (1976)
- (2) 佐藤脩, 山口誉夫, 坪井祐真, 近藤隆, 野口好洋, 栗原育美: 薄膜閉空間構造を内包した高性能二重壁の音響透過損失, 計算力学講演会講演論文集, 259, (2018)
- (3) 見坐地一人: Biot パラメータの音響特性に対する感度解析, ニチアス技術時報, Vol. 4, No. 375, p. 1-6, (2016)
- (4) 武藤大輔, 高野靖: 二重壁内部気体の音響特性が透過損失へ及ぼす影響, 日本機械学会論文集 (C 編), 74 巻, 746 号, p. 2495-2503, (2008)
- (5) 加藤大輔: 多孔質材料内伝搬音の予測モデルー Kato モデルにおける適用範囲の拡張ー, 日本音響学会誌, Vol. 64, No. 6, p. 339-347, (2008)
- (6) 山口誉夫: 多孔質材などの減衰を有する媒質内での波動伝搬, 日本音響学会誌 62 巻, 1 号, p. 62-70, (2005)
- (7) 岩瀬昭雄: 軽量 2 重壁へのグラスウール挿入効果に関する考察ーグラスウール中の屈折現象の解明とコインシデンス効果への影響についてー, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, p. 57-60, (2012)
- (8) 水野聖也, 穆瑞林, 豊田政弘, 高橋大式: 室内壁面への音響エネルギーの入射角度分布の測定, 日本建築学会近畿支部研究発表会, Vol. 51, p. 65-68, (2011)
- (9) 下河辺裕司, 山口誉夫, 佐藤脩, 近藤隆, 野口好洋, 栗原育美, 坪井祐真: 薄膜閉空間構造を内包した高性能二重壁の遮音性能解析, Dynamics and Design Conference 2019 講演論文集, 340, (2019)

■ 著 者 ■



栗原 育美



近 藤 隆



山口 誉夫

編集長	漆山 雄太	先進技術研究所
	笠井 聡人	ライフクリエーションセンター
	桂井 隆	オートモービルセンター
	齋藤 俊博	オートモービルセンター
	白木 晶子	統括機能本部
	須藤 晶	統括機能本部
	桃原 茂郎	統括機能本部
	友永 久人	統括機能本部
	中原 淳	オートモービルセンター
	西田 浩明	エアロエンジンセンター
	藤原 良也	先進技術研究所
	松浦 浩海	オートモービルセンター
	山田 想	ライフクリエーションセンター
	山本 若登	先進技術研究所
	渡邊 生	ライフクリエーションセンター

編集協力

本田技術研究所	エアロエンジンセンター論文委員会
	オートモービルセンター論文委員会
	先進技術研究所 論文委員会
	ライフクリエーションセンター論文委員会
本田技研工業	二輪事業本部 ものづくりセンター論文委員会

まず、日々の業務で忙しい中、論文を執筆していただいた皆様に心から敬意を表します。Honda R&D Technical Review に投稿された原稿は、社内技術専門家の査読、次に論文委員会での校閲と校正などを経て、最後に Honda R&D Technical Review 編集委員会での掲載可否判断、と多くの過程を経て質の向上が図られ、掲載に至ります。時間をなかなか作れない中、議論と修正を繰り返し、締め切り間際で掲載が決まるテーマもありました。執筆者のみならず、これらの過程においてご尽力いただいた社内技術専門家、論文委員会の皆様にも心から敬意を表します。皆様の粘り強い努力は論文の質の向上のみならず、執筆者の論理力、本質をとらえる力の向上にも繋がっていると考えます。今後も皆様とともに楽しみながら地道な努力を積み重ねることで、一流を目指す技術者が増えていくことを願っております。最後に本誌をご一読いただいた社内社外の技術者の皆様へ。執筆者と話す機会がございましたら、是非、論述された技術に関して皆様の率直なご意見、厳しいご指導を賜れば幸いに存じます。

(山本)

発行所 株式会社 本田技術研究所

発行人 三 部 敏 宏

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 統括機能本部
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.