

TOYOTA

Technical Review

[トヨタ・テクニカル・レビュー]

BEYOND ZERO



カーボンニュートラル達成に向けた
フルラインアップ戦略

2023/4 **Vol.68**



TOYOTA Technical Review

Apr. 2023 Vol. 68

目次

巻頭言

- ・カーボンニュートラルの実現に向けて

前田 昌彦 ……4

▶特集「カーボンニュートラル達成に向けたフルラインアップ戦略」

- ・TOYOTA bZ4X

代表執筆者：人見 真央, 鈴木 勝博, 平井 誠, 林 泰祐 ……7

- ・TOYOTA bZ3

加藤 武郎, 野田 修二, 鈴木 勝博, 江口 浩二, 町谷 顕,
神谷 宗宏, 鈴木 雅貴, 小玉 尊守, 大西 到 ……26

- ・超小型 BEV C⁺pod

川坂 亘史, 倉知 晋士, 井戸 大介, 谷中 壯弘 ……38

- ・水素社会実現に向けた FC の展開性向上の取り組み

今西 啓之, 矢橋 洋樹, 浜田 成孝, 渡辺 祐介, 折橋 信行 ……43

- ・水素エンジンの異常燃焼抑制技術

松原 直義, 宮元 敬範, 横尾 望, 金子 和樹, 高橋 大志, 中田 浩一 ……61

- ・電動車給電のひろがり

菅野 伸介, 木野村 茂樹 ……68

▶受賞技術概要

- ・新たな着眼による製造、製造技術、原動力(インフラ)協業での省エネ活動

田村 慎一郎, 田村 史夫, 池谷 賢一 ……74

- ・バーチャル人体モデル

北川 裕一, 松田 貴男, 岩本 正実 ……77

- ・Toyota/Lexus Teammate Advanced Drive

川崎 智哉, 岩崎 正裕, 曾我 雅之, 谷口 覚, 尾崎 修, 板橋 界児 ……79

▶2021 年度 社外発表論文一覧

……82

Contents

Preface

•Toward Achieving Carbon Neutrality

Masahiko Maeda ······4

▷Special Feature:Toyota's Full Lineup Strategy for Carbon Neutrality

•The Toyota bZ4X

Lead authors: Masao Hitomi, Katsuhiko Suzuki, Makoto Hirai, Taisuke Hayashi ······7

•The Toyota bZ3

Takero Kato, Shuji Noda, Katsuhiko Suzuki, Koji Eguchi, Ken Machitani,
Munehiro Kamiya, Masaki Suzuki, Takamori Kodama, Itaru Onishi ······26

•The C*pod Ultra-Compact BEV

Koji Kawasaki, Shinji Kurachi, Daisuke Ido, Akihiro Yanaka ······38

•Supporting the Development of a Hydrogen-Energy Based Society by Expanding Fuel Cell Application

Hiroyuki Imanishi, Hiroki Yahashi, Shigetaka Hamada,
Yusuke Watanabe, Nobuyuki Orihashi ······43

•Abnormal Combustion Control Technology for Hydrogen Engines

Naoyoshi Matsubara, Yoshinori Miyamoto, Nozomi Yokoo,
Kazuki Kaneko, Daishi Takahashi, Koichi Nakata ······61

•The Spread of Electrified Vehicles as a Power Source

Shinsuke Sugano, Shigeki Kinomura ······68

▷Technical Award News

•Energy-Saving Activities Based on New Perspectives through Collaboration in Manufacturing, Production Engineering, and Utility (Infrastructure) Sectors

Shinichiro Tamura, Fumio Tamura, Kenichi Ikeya ······74

•Virtual Human Body Model

Yuichi Kitagawa, Takao Matsuda, Masami Iwamoto ······77

•Toyota/Lexus Teammate Advanced Drive

Tomoya Kawasaki, Masahiro Iwasaki, Masayuki Soga,
Satoru Taniguchi, Osamu Ozaki, Kaiji Itabashi ······79

▷List of Externally Published Papers of FY2021

·····82

カーボンニュートラルの実現に向けて

取締役

前田 昌彦



いま私たちは、地球上で起きている温暖化、異常気象、自然災害、ならびにコロナ蔓延などに起因する経済不安やエネルギー危機などの社会課題に直面しており、その解決が求められています。これらの社会課題は、その要素が相互に複雑に絡み合っています。現状では誰も解決に向けた道筋を描き切れていないと認識しています。

そのなかにあって、特にカーボンニュートラル(以下、CN)は、あらゆる環境面での社会課題に関わっており、世界各国でさまざまな取り組みが進められています。日本も 2050 年に向けて CN 達成を目指すことを宣言しています。CN は、全ての産業セクター共通の大きな社会課題となっています。ここで、CN という用語の定義を確認しますと、「温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させる」ことであり、自動車業界でいえば、「材料、部品や車両の製造」、「発電」、「車両走行」、「燃料製造」、ならびに「廃棄/リサイクル」などのライフサイクル全体で発生する CO₂ をゼロにすることを意味します。特に、新車だけでなく、既にお客様にお使いいただいている車も含めた CN を考えることが重要です。

社長の豊田が度々申し上げているように、トヨタの使命は、自動車開発や製造をとおして世界中の人たちが幸せになるものづくりやサービスの提供により幸せを量産することと考えております。そのなかでも環境問題に関わる社会課題は、経営上の最重要課題と位置づけており、かねてより、さまざまな企業活動に取り組んできました。

トヨタは、1997 年の初代プリウス投入以降、各種電動車(HEV(Hybrid Electric Vehicle)/PHEV(Plug-in-Hybrid Electric Vehicle)/BEV(Battery Electric Vehicle)/FCEV(Fuel Cell Electric Vehicle))を用意し、CO₂ 排出量削減を推進してきました。CN 達成に向けて重要なことは、その本質を正しく理解することと考えています。つまり、「敵は炭素であり、内燃機関ではない」ということを認識するところから始めなければなりません。電動車の普及で化石燃料の消費量を減らすことも重要ですが、近年では、水素、e-fuel、バイオ燃料などの CN 燃料でエンジンを動かすクルマの提案も一つの解と考えています。また、これらの燃料は、鉄道や船など自動車以外の移動体、および発電、エネルギー、鉄鋼などさまざまな産業にも応用可能です。これ以外にも、社外の関係団体様や企業様との連携によって太陽電池をはじめとするエネルギー・環境領域における先端技術開発の加速と実用化に向けた共同研究を行っています。さらに、BEV を活用した災害時の電力供給にも有効な家庭用蓄電池開発、福島県での LCF(Low Carbon Fuel)や水素を活用した新たな未来のまちづくりに向けたプロジェクト、工場での車両製造中の CO₂ 削減活動、ならびに CO₂ 吸収(自然活用、工業技術活用)の研究などを進めています。クルマや CN 燃料の開発だけでなく、家庭用蓄電池を活用したエネルギーマネジメントやクルマの製造/廃棄時の CO₂ 低減など、CN 達成のみならず、CO₂ 吸収をも見据えたさまざまな活動を全方位で行うことが重要と考えています。

近年、特に欧米では、自動車における CN 達成に向けた解決策として BEV を重要視しています。BEV, FCEV は走行中に CO₂ を発生しませんが、燃料となる電気や水素の製造方法によっては、ライフサイクル全体で CO₂ 排出量が変わります。電動車の普及は、燃料がどのように作られているかについてもセットで考える必要があります。つまり、CN を達成するためには、「エネルギーを『つくる、はこぶ、つかう』という全てで適切に CO₂ を削減」できる方法を選ぶことが重要となってきます。さらに、環境技術は普及してこそ環境技術と考えております。ですので、比較的高価な BEV だけでなく、さまざまなお客様に環境技術を搭載したクルマを選んでいただけるようにすることが重要だと考えています。

再生可能エネルギーの活用が進む欧州では BEV の導入が進み、中国では農村部で小型の BEV が急速に広まり、都市部では水素を燃料とするバスも導入されています。ブラジルではバイオエタノールが実用化されています。アメリカでは BEV, PHEV, FCEV などさまざまなモビリティへのニーズが高まっています。このように、地域によってエネルギー事情が違えば、CO₂ 排出量を削減する最適解も異なります。「山の登り方は一つではない」ので、CN 達成に向けてさまざまな選択肢を準備することが重要であり、「技術力を活かすには、規制で選択肢を狭めるべきではない」と考えます。多くの自動車メーカーのなかでも、トヨタは、コンパクトからセダン、SUV、プレミアムや商用車と、幅広いラインアップを世界の多様な地域のお客様に提供していることが特徴です。ですので、世界のさまざまなお客様にそれぞれの利便性を損なわない移動を提供するために、フルラインアップで選択肢を準備する必要があります。

今回本稿では、CN 達成に向けたフルラインアップ戦略として、特に BEV, FCEV, FC の新しい用途への展開、水素エンジン、またこれらのプロダクトを支えるインフラ系技術を取り上げました。世界中にフルラインアップで商品を提供する自動車メーカーとして、地域のエネルギー事情やお客様の嗜好に沿ったカーボンリデュース/カーボンニュートラルビークルなどの開発に全方位で取り組む当社の姿勢を示します。

まずは、BEV です。BEV でもフルラインアップを実現し、電動車の選択肢を広げていきます。なかでも TOYOTA bZ シリーズは、グローバルに、より多くのお客様に受け入れていただけることを目指す BEV となります。bZ は beyond Zero の略であり、Zero Emission を超えた価値をお客様にお届けしたいという想いを込めました。

中国では、CN 達成に向けた取り組みを加速することで環境保護に貢献し、利用者中心で利便性の高いサステナブルなモビリティ社会の実現のため、bZ4X に続く BEV シリーズ第 2 弾としてスモールセグメントセダン bZ3 を提供できるよう『中国現地』で『中国のお客様のための商品』を開発しました。

これと並行して日本では、「Mobility for All」の実現に向け、さまざまなお客様のニーズにきめ細かくお応えする超小型 BEV・歩行領域 BEV の導入を推進しております。まず、C⁺pod(シーポッド)は、日常の近距離移動に加え、定期的な訪問巡回といった法人利用や都市・山間部など、それぞれの地域に即した移動手段を目指しました。さらに小さく、歩行領域での新たなモビリティシリーズ「C⁺walk(シーウォーク)」は、立ち乗りタイプ(2021 年 10 月 1 日発売)、座り乗りタイプ、車いす連結タイプ(座り乗りタイプ、車いす連結タイプともに発売時期未定)があります。通常のクルマの運転ができる人から高齢者の方々、免許返納された方々、車いすを使われる方々まで、一人ひとりのライフステージにあわせた安心・安全な移動を提供していきます。

次に、水素をエネルギーとする FCEV です。CN 燃料のなかでも水素はエネルギーとしてもキャリアとしても非常に重要です。電気を水素に置換することで電気の苦手な部分をまかなうことが可能です。水素にしておけば、エネルギー

を長期間溜めておくことができ、需要に応じて容易に輸送することも可能です。今後、エネルギーとしての活用が期待されるアンモニア、e-fuel も、水素を窒素、CO₂ とそれぞれ反応させて生成します。また、近年では FC のさらなる展開を実現するべく、さまざまなアプリケーションへの適用を容易にする「FC ユニットのモジュール化の取り組み」、豊富な電力を活かし走行性能以外の価値も高めた FCEV の「新価値創造の取り組み」等を実施し、水素社会実現へのさらなる貢献を目指しております。さらに、運輸部門においては、FCEV に加えて水素エンジンの検討がなされています。水素はガソリンと比較して着火しやすいという特性があるため異常燃焼が生じやすいですが、本稿では、水素エンジン特有の異常燃焼の発生メカニズム解析とその抑制技術について説明しています。

特集記事の最後では、上述した各種 EV の普及に向けて、欠かすことのできない充電技術について触れさせていただきます。トヨタは、お客様の選択肢を増やしながらかん達成に貢献するため、全方位戦略を取っています。そのなかで BEV 普及に向けては、充電インフラの拡充が必要不可欠であり、自動車会社としても かん達成に資する充電インフラの在り方、お客様の不安/不満の解消、利便性の確保など、さまざまな課題を検討しております。給電技術についても、かん達成に向け再生可能エネルギーと連携した電力の地産地消化など、次世代電力システムの一翼を担いながら広がりを見せています。

サステナブルな社会の実現に向けて、我々の目の前には非常に困難な課題が提示されています。2018 年、トヨタは自動車会社からモビリティカンパニーへのフルモデルチェンジを宣言しました。その根底には、技術は人の幸せと健康に貢献するものでなければならない、という発想があります。こういう時代だからこそ、「世の中から必要とされる会社」でありたい、その思いから、世界中の人たちが幸せになるモノやサービスを提供し、「幸せを量産」することこそが、トヨタの使命であると考えております。

最後に、本稿の企画コンセプトとして、「BEYOND ZERO」というキーワードを掲げております。これは、「地球という美しい故郷(Home Planet)を次世代に引き継ぐ」ために、社会や個人が抱えるさまざまな課題の解決(マイナスをゼロにする)に取り組むだけでなく、ゼロを超えた新たな価値の創出・提供を目指し、「回答のない未来へ弛まぬ挑戦」を続けていくという決意をあらわしています。そのうえで 550 万人の仲間とともに一歩一歩着実に、社会課題を解決しながら、我々が目指す「幸せの量産」に結びつけていきたいと思ひます。

TOYOTA bZ4X

The Toyota bZ4X

代表執筆者: 人見 真央 *1 鈴木 勝博 *2 平井 誠 *3 林 泰祐 *4
 Masao Hitomi Katsuhiko Suzuki Makoto Hirai Taisuke Hayashi

要旨

トヨタは地域の事情や利用者のニーズにあわせて、さまざまな商品を選択肢として用意することで、カーボンニュートラル(CN)に貢献したいと考えている。今般本格的なBEVとして、一括企画をしてきたbZシリーズ第一弾のbZ4Xを発表した。本稿ではbZ4Xの商品としての狙いと、その実現技術について概説する。

Abstract

Toyota is aiming to help achieve carbon neutrality by preparing a wide range of product options in line with local conditions and customer needs around the world. The recently launched bZ4X is a no-compromise battery electric vehicle (BEV) and the first model in the bZ series, which is based on a BEV-dedicated platform. This article outlines the objectives of the bZ4X and the technologies to realize these objectives.

キーワード bZ4X, BEV, e-TNGA, eAxle, 熱マネージメント, 回生ブースト, ソーラー充電システム

1. まえがき

地球規模での温暖化が進み、CO₂低減が叫ばれているなかで、その手段の一つとしてBEVが注目されてきた。法律や補助金の影響で特定の地域で少しずつ台数が伸びていた頃もあったが、ここ数年、国内外でBEV時代の幕開けともいべき大きな変化が起き、過去何度かあったBEVブームと異なり、どうやらこのままBEVが本格的な普及期に移行しそうな勢いをみせている。

そんななかで、トヨタは初のBEV専用プラットフォーム(以下PF)を開発し、そのPFを用いてbZ4Xを完成させた。本稿ではbZ4X開発の狙いと、主な搭載技術について概説する。

2. 開発の狙い

2.1 bZとは

車名のbZとは、Beyond Zeroの略であり、ゼロを超えたプラスの価値を生み出す、という思いが込められている。また、4は車両の大きさを、Xは車両のタイプ、すなわちSUVであることを示している。

BEV専用PFから今後生み出される車両はbZシリーズと呼ばれ、次に述べる共通の価値観を持つ。

2.2 4つの価値

bZシリーズは人中心の考え方にに基づき、次の4つの価値観を定義した。

2.2.1 You and Others(人とヒト)

快適な移動空間に加え、大切な家族や仲間と過ごすかけがえのない時間と新しいライフスタイルを提供

*1 トヨタ ZEV ファクトリー ZEV B&D Lab

*2 クルマ開発センター ビジョンデザイン部

*3 パワートレインカンパニー 電動パワトレ開発統括部

*4 クルマ開発センター 制御電子プラットフォーム開発部

2.2.2 You and your car(人とクルマ)

BEVならではの運転の楽しさ、可能性を期待させるワクワク感の提供

2.2.3 You and the Environment(人と地球)

CO₂排出量など、マイナスを減らすだけでなくプラスを生み出す

2.2.4 You and Society(人と社会)

安心・安全な社会づくりへの貢献

2.3 車両コンセプト

BEVだから奇をてらうのではなく、購入希望者に価値を提供することで選んでいただけるクルマにしたい。単なる移動手段ではなく、乗員全員が楽しい時間や空間を共有できる、ワクワク感のあるクルマへ。そんな思いを込めて、開発コンセプトは「Activity Hub」とした。

3. 意匠

これからの時代は多様化する利用者のニーズにフレキシブルに幅広く対応することが必要である。それには作り手側の都合で決めてしまうプロダクトアウトではなく、利用者の実際の生活のなかにどういったニーズがあるのかを観察したユーザーインの発想が求められる。デザイン開発ではbZシリーズを開発する初期ステップとして、まずいくつかのユーザー体験のアイデアを自由に創出した。次に、BEV専用PFを使えば、これらの体験を実現できるのかを検証するため、実験的な内外デザインスタディを行った。ユーザー体験価値抽出には利用者の将来のライフスタイルを幅広く描く必要があるため、グローバルチーム(海外も含めたトヨタの全デザイン拠点でBEVタスクフォースを編成)で取り組み、複数のコンセプトへと落とし込んだ。従来車両の制約から離れ、クルマを使う「ヒト」を中心に考えたコンセプトは室内空間に変化をもたらし、そして独特なシルエットのエクステリアを形作る。このプロセスを経て制作したコンセプトモデルにより、bZシリーズ内外デザインの方向性検討とBEV専用PFの拡張性の高さを具体的に示すことができた(2019年6月公表のEVシリーズコンセプトモデル6台を含む(図1))。



図1 BEV専用プラットフォームによるデザインスタディ

bZシリーズ第一弾となる「bZ4X」は、このコンセプトモデルの一台をベースに開発をスタートした。

車両コンセプトは、「Activity Hub」。

車を単なる移動手段とせず、“大切な友人や仲間が集まり、街へ、郊外へと出かけるときの活動の中心、ハブとしての機能”を提供価値とし、デザインでの具現化を試みた。

3.1 エクステリアデザイン

外形デザインは、大都会で存在感を放つ斬新さと、大自然を駆けるSUVらしいタフネスさを融合したイメージを狙った。

ヨーロッパデザインスタジオで制作したコンセプトモデル(図2)をベースに、EV専用車に相応しい先進感とエモーショナルさを追究した。



図2 欧州スタジオによるスケッチとフルサイズモデル

- ① サイドは、EVらしい滑らかでスポーティな走りを意識したスリークな低重心感のあるシルエットで先進性を表現。また前後フェンダーには大型のフェンダーモールを組み合わせ、SUVとしての足回りの力強さを表現(図3)。



図3 スリークさと力強さを併せ持つサイドビュー

② フロントは、従来の車と差別化する“BEVの顔づくり”にチャレンジ。3つの要素によりアイデンティティを表現。

- 1) ハンマーヘッド形状のデザインテーマ:低いフードからヘッドランプへと連続するシャープな立体でノーズ先端のワイド感と前方への押し出し感を両立。このハンマーヘッドシャークの頭部のような形状を独自のアイコンとして象徴的に表現(図4)。またハンマーヘッド形状はヘッドランプと組み合わせ、“目ヂカラ”のある精悍な表情を作る(図4)。
- 2) コーナー部の強調:EVのグリルレスの特徴を活かし、センターの意匠はシンプル化。フェンダーモール、ヘッドランプ、センサー類、空力用のエアカーテン等機能部品をまとめたコーナー部分を新たなアイキャッチとした(図4)。

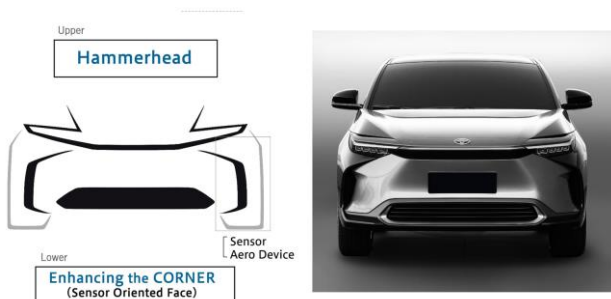


図4 bZシリーズのフロントアイデンティティ

- 3) バッテリーモジュールの象徴化:床下配置のバッテリーモジュールを示唆する薄型ロアグリルを採用し、EVらしさを表現。

- ③ リアは、キャビン後端部に配した横一文字のテールランプや台形をモチーフとした各部位の造形テーマにより、背面でのワイド感と踏ん張り感を強調。
- ④ ボディ全体の面質、線質は「Hi-tech & Warmth」をテーマに、進化したテクノロジーの様式美と、ヒトの手が生み出す温かさを融合して表現(図5)。



図5 先進感と温かみを融合した質感表現

- ⑤ ホイールは、シンプルに大径を強調しながら、切削光輝+黒塗装のコントラストと樹脂加飾のアクセントで新規性を表現(図6)。



図6 先進性を狙った20インチホイール
(切削光輝&黒艶塗装+樹脂加飾)

- ⑥ bZシリーズを象徴する統一カラーとして、金属感を強調した「プレシャスメタル」を採用。bZシリーズの先進感と温かみが融合した面質を際立たせた(図7)。



図7 bZシリーズの統一カラー「プレシャスメタル」

3.2 インテリアデザイン

インテリアの狙いは、大切な人に寛いでもらいながら、みんなで楽しい移動時間を共有できる心地良い空間を創ること。BEVならではのパッケージを活かした室内の在り方を追求した。

- ① BEV専用PFの特徴であるロングホイールベースにより、上級セダン並みに後席にも広い足元スペースを確保。すべての席で開放感があり、ゆったり寛げる“全席等価値”の空間を実現(図8)。



図8 開放的でゆったり寛げる”全席等価値”の室内空間

- ② 前後に広がる空間に、薄型化したインストゥルメントパネルを低く配置することにより開放感を強調。ダッシュボードは、柔らかな見た目と触感にこだわり、ファブリックを巻いた仕様とし、ホームライクな素材で居心地の良さを演出(図9)。



図9 室内のイメージスケッチとファブリック素材

- ③ デジタル機器へのアクセスのしやすさは基本の関心事。センターコンソールは、情報ステーションとしてどこの席からもアクセスできる“シェアリングテーブル”として位置づけ、マルチメディアディスプレイ、スマートフォン用の無線充電、USBを集約。一枚板のような造形でアイコンニックに表現(図10)。



図10 機能集約されたセンターコンソール

- ④ コックピットは、見るものは遠く、操作するものは近く、の考え方を進化させ、直感的な使いやすさと、より運転に集中できるレイアウトを目指した。視線移動を低減するためステアリングの上からみせる配置としたトップマウントメーター、スイッチ類は走行中でも素早く操作ができるよう手元へ配置(図11)。



図11 運転に集中できる機能レイアウト

- ⑤ ステアリング、コラム、メーターなど運転操作系をモジュール化した「ドライバーモジュール」。手元からメーターへの視線誘導を促すための「羽衣」形状のアームで一体化。また、車両感覚を掴みやすいように、メーターバイザーの角度を車線にあわせた。道路と車の情報を同時に感じられる新鮮なFun to Drive体験の提供を目指した。

※写真はステアバイワイヤ(電気式操舵システム)と異形ステアリングホイールを組み合わせたワンモーショングリップ(図12)。



図12 ステアバイワイヤの
異形ステアリングホイール仕様

bZ4Xが利用者の日常生活のハブとしてちょっとした変化をもたらし、大切な人との絆を深めてくれる、そんな存在になってくれることを期待して世界の市場へ送り出したい。

4. BEV専用PF

4.1 開発コンセプト

e-TNGAプラットフォームは、TOYOTA NEW GLOBAL ARCHITECTUREの知見を活かし、新規開発したBEV専用プラットフォームである。複数バリエーションの商品群を一括企画。構造部位ごとに固定と変動を定義し、前後のモータやフード内レイアウト、前輪に対するドライバー位置、電池幅などを固定、ホイールベースや電池の搭載量、前後オーバーハング長などを商品ニーズにあわせ可変させた(図13)。

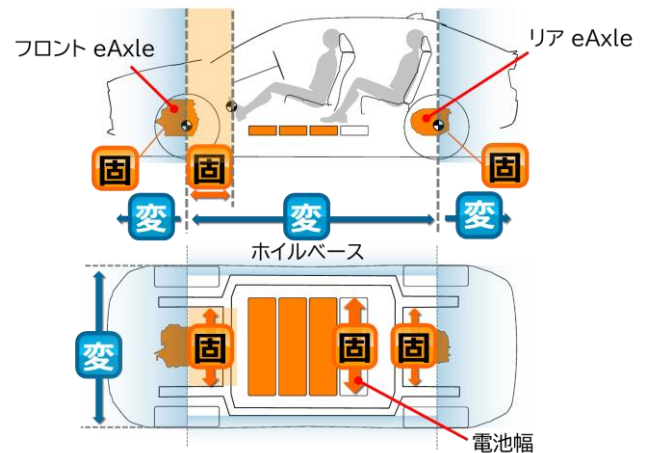


図13 プラットフォームの固定と変動部位の考え方

本プラットフォームは(株)SUBARUと共同開発。両社の得意とする技術を持ち寄り、新しい価値を生み出した。トヨタのTNGA資産と、SUBARUの衝突安全、AWD技術等を融合させ、新型BEVに適合させた。

4.2 搭載ユニット

e-TNGAプラットフォーム向けに、以下のユニットを新規開発(図14)。

- 大容量バッテリーをフロア下、平置き配置
- モータ、トランスアクスル、インバーターを一体化したeAxleを採用(トヨタ初)
- 充電機能と電力分配機能を集約したElectricity Supply Unit(ESU)を採用(トヨタ初)

BEVならではの運転の楽しさ、ワクワク感を利用者に提供すべく、フロア下バッテリー搭載を活かした低重心・

高剛性ボディを実現。また、前後モータの組み合わせで駆動方式と動力性能を商品群にあわせ柔軟に対応し、魅力ある走りを追求した。

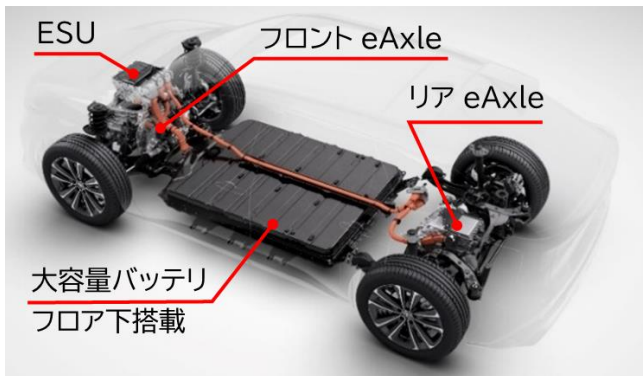


図14 e-TNGAプラットフォーム搭載ユニット

4.3 ボディ、サスペンション、マウント

4.3.1 人と高電圧部品を守る全方位安全ボディ

e-TNGAプラットフォームでは万が一の時でも乗員や歩行者、高電圧部品保護のため、BEVならではの衝撃緩和に配慮した全方位衝突安全ボディを開発した(図15)。

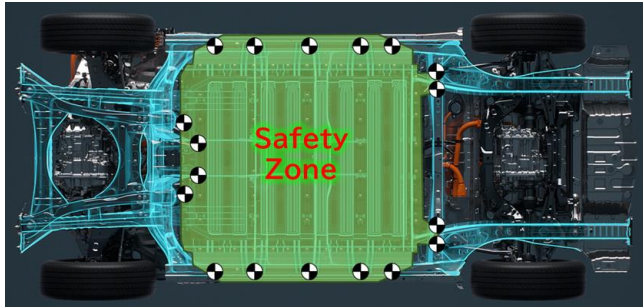


図15 全方位安全ボディ

フロア下全面バッテリーを搭載し、周囲の強固な骨格構造と結合させることで高剛性ボディを実現した。

4.3.2 サスペンション、マウント

TNGAで開発したサスペンションをBEV用に改良。さまざまな利用者による使われ方を考え、日常使用領域での自然な扱いやすさにこだわり、滑らかで安全な、気持ち良い安心な走りを実現した。

同カテゴリー従来車両と比べ、大容量バッテリー搭載により車体重量増傾向だが、低重心・低慣性モーメントを実現させつつ、フロントとリアのコンプライアンスステア

特性を適正化することで運動性能の素性を高めた。

また、バッテリーを車体骨格の一部としたことによるボディ剛性の向上や、新規開発eAxleや懸架系の共振分散により、乗心地性能の素性も高めた。

ブレーキシステムはBEVの電費向上および航続距離に貢献するため、前後2Ch回生協調可能な新加圧ユニットAHB-Gを採用。ブレーキの効きと剛性感のバランスを最適化し、コントロールしやすいブレーキ性能を実現した。

モータマウントシステムにおいては、低速域から大きなトルクを瞬時にさせるeAxleを安定して支持するために、高い支持剛性を確保することでトルク入力時のeAxle変位を抑えた(図16、図17)。

さらに、アクセル操作によるモータのトルク変動で、ドライバーが不快な振動を感じることなく走行できるように適切な共振配置とし、高いドライバビリティの実現を目指した。その上で、高い静粛性・乗心地・操縦安定性の両立を図った。

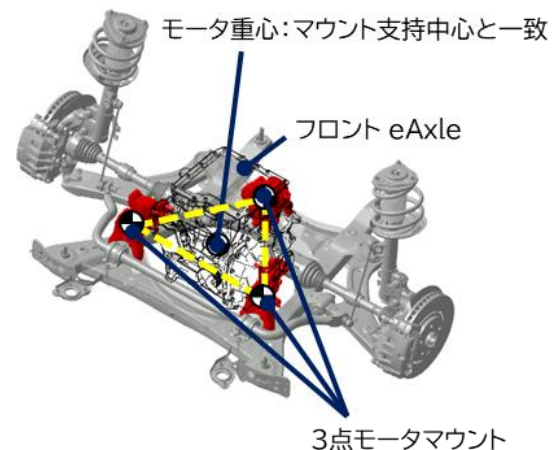


図16 フロントサスペンションおよびモータマウント

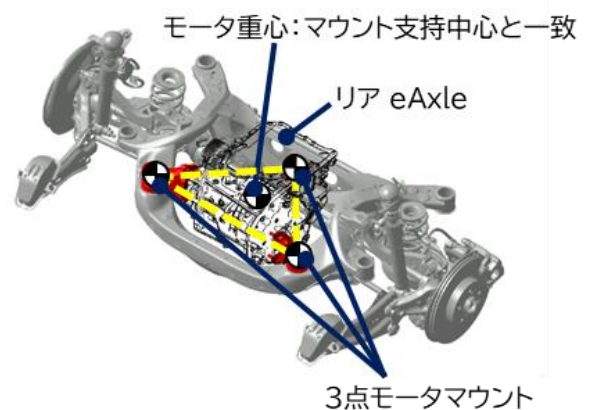


図17 リアサスペンションおよびモータマウント

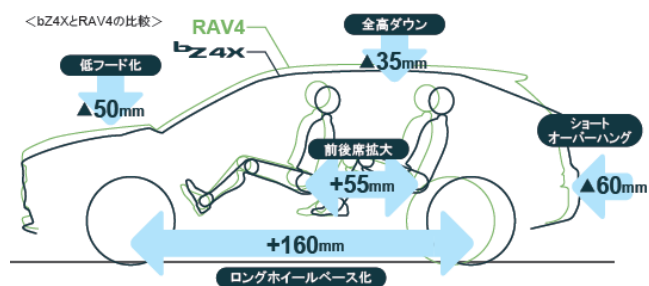
5. ボディ設計

5.1 パッケージ

bZ4XはBEV専用プラットフォームであることを活かした特徴的なパッケージにより、

- 低重心で伸びやかなシルエットに加え、大型タイヤを四隅に配置することによる特徴的なスタイル
- ロングホイールベースによる、ゆとりある広い空間を創出している。

具体的には、いずれも類似車のRAV4と比較して160mmのロングホイールベース化、55mmの前後席間距離拡大、65mmのRRショートオーバーハング化、60mmの全高ダウン、50mmの低フード化等が行われている(図18)。



車両寸法	bZ4X	RAV4 ¹⁾	(差)	室内寸法	bZ4X	RAV4 ¹⁾	(差)
全長	4,690	4,600	+90	フロントシートヒール段差 ²⁾	275	330	▲55
全高	1,650	1,685	▲35	リヤシートヒール段差 ²⁾	290	322	▲32
全幅	1,860	1,855	+5	カウルディスクタンス ³⁾	750	750	±0
ホイールベース	2,850	2,690	+160	タンデムディスクタンス ³⁾ (前後席間距離)	1,000	945	+55
フロントオーバーハング ²⁾	915	925	▲10	ヘッドクリアランス ³⁾	45	43	+2
リヤオーバーハング ²⁾	925	985	▲60				

1) 6グレード、Sグレードの場合
2) 社内測定値
3) ノーマルプラットフォームの場合、社内測定値 (mm)

図18 パッケージ比較

ロングホイールベース化は前後席間距離の拡大等のゆとりある広い室内空間の創出には有利となるが、フロントタイヤの切れ角が同じだとすると最小回転半径は大きくなり、取り回しがしにくくなる。そこでbZ4XではRAV4よりも2°程度フロントタイヤの切れ角を増やすことで、ロングホイールベース化しながらもRAV4並の最小回転半径を実現した。フロントタイヤの切れ角を増やすことができたのは、体格が大きいエンジン車用の部品類を搭載する必要がなくフロントボディ骨格を車両内側に配置することができるBEV専用プラットフォームの特性を活かしたためである(図19)。

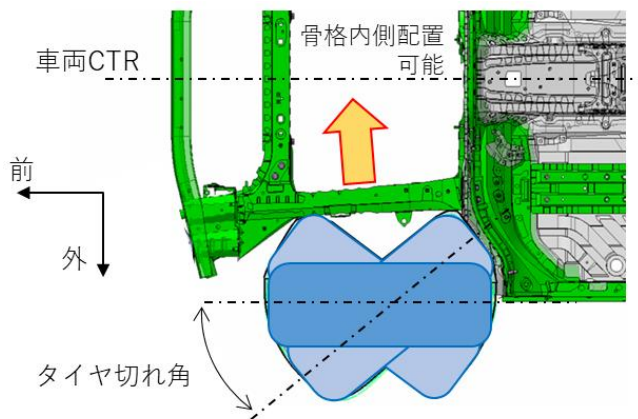


図19 フロントボディ骨格とフロントタイヤ切れ角

全高のダウンは低重心で伸びやかなシルエットの具現化に加え、空力性能の改善による航続距離の向上に寄与している。一方で、全高をダウンさせるためにルーフを下げると乗員の頭とルーフとが近くなり、ゆとりある広い空間の創出に対しては不利となる。そこでbZ4Xではパノラマルーフの構造見直しによるルーフの薄型化と、乗員姿勢の変更による頭の位置の下方化を行った。これにより全高をRAV4と比較して全高を60mmダウンさせながらも、ヘッドクリアランスはRAV4と比較して15mmの縮小に留めている。

頭の位置が下がると一般的には前方の視界は不利になる。一方で、bZ4XはRAV4に対して目の位置(アイポイント)が36.5mm低いものの、50mmの低フード化によって路面死角長を縮小した。結果として、RAV4よりもさらに0.7m視界が改善している(図20)。

低フード化は低重心なシルエットの実現に加え前述のように視界の改善にも寄与しているが、これは体格が大きいエンジン車用の部品類をエンジンコンパートメントに搭載する必要がないBEV専用プラットフォームであることによって可能となっている。

	路面死角長
bZ4X	7.7m (RAV4比: -0.7m)
RAV4	8.4m

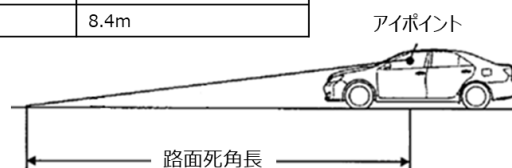


図20 路面死角長

リアショートオーバーハング化はタイヤを四隅に配置することによる特徴的なスタイルの実現に寄与しているが、これは衝突性能との両立により実現できている。衝突性能を確保するためにリアフロアの骨格にホットスタンプ材などの高強度材を用いており、これにより後方からの衝突時に短いストロークで変形が止まることで高電圧部品類を保護することが可能となっている。

5.2 トップマウントメーター

走行中、前をみたま「瞬間理解」を体験できる、ヒトとクルマをつなぐ新たなコックピットを提供している。

従来のメーター位置より上方・遠方に配置することでハンドルの内側を通して見ていたメーターを、ハンドルの上側を通して見るレイアウトに変更している。これにより運転中の車両前方視界⇄メーター表示の視線移動を低減したコックピットとしている(図21)。

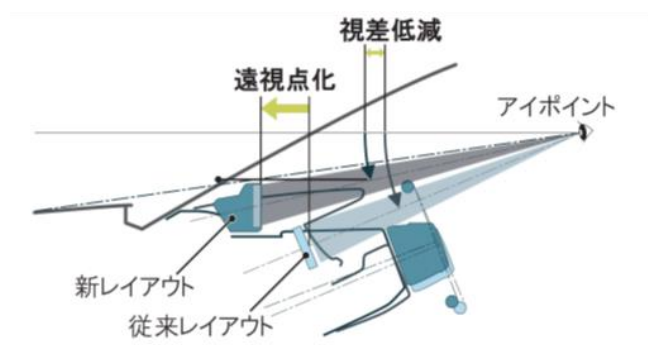


図21 メーター配置比較

また、手元からメーターへ視線誘導を促す羽衣形状を採用することで先進感を表現し、羽衣の稜線の延長線と車線をほぼ一致させることで、より運転しやすくなる工夫をしている(図22, 図23)。



図22 羽衣形状

図23 車線との関係

メーターを上方・遠方に配置する際、

- 前方視界の確保
- メーター表示エリアの確保

の両立が課題になる。

前方視界については、メーターのフードレス化、周辺ベゼルの狭額縁化により、メーター高さを抑えた造形にし、できるだけ下方に配置することで確保している(図24)。

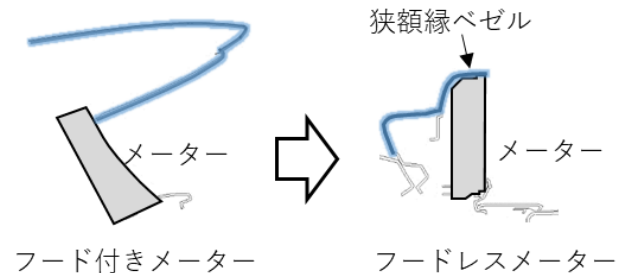


図24 メーター形状

メーターの表示としても、リング周辺に運転に必要な情報を、エリアも画面上側に集約することでハンドルによる視線切れに対応している(図25)。



ステアリングによる視線切れ

図25 メーター表示エリア

今回、前方視界確保と先進感の両立のためフードレスメーターを採用したが、太陽光の反射、窓への表示映り込みといった課題をともなう。太陽光反射については、AR(Anti-Reflection)/AG(Anti-Glare)を施すことで、窓映りについては、光をコントロールするフィルムを貼り付けること、および、輝度範囲を拡大することで防止している。

5.3 薄型インパネ

利用者に居心地のよい室内空間を提供できるように、インパネ上面を低くし、足元スペースを広げることで、開放的かつ快適なインテリア空間を創出している。

類似車種のRAV4と比較して、インパネ上面を低位置化、助手席足元空間も拡大している(図26, 図27)。

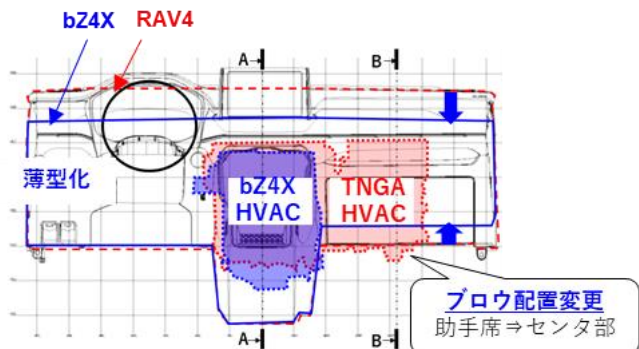


図26 背面視比較

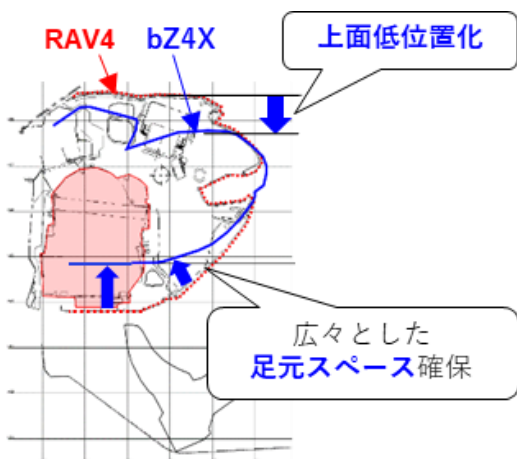


図27 助手席断面(B-B)

従来インパネのなかには、HVAC、ダクト、インパネリッフォース、ECU等多くの構造体が存在している。これらの構造体と薄型インパネを両立させるには、従来の構造、内機配置、経路を一新する必要があった。

今回、室内の広々空間を実現するためにHVACを新規開発し、同等出力のTNGA比30%減まで小型化している。小型化については、助手席側にあった送風機をセンター配置とし、送風方式を押込式から吸込式に変更すること、また、高効率化したターボファンを採用することで可能とした(図28)。これにより、消費電力も30%低減を実現している。

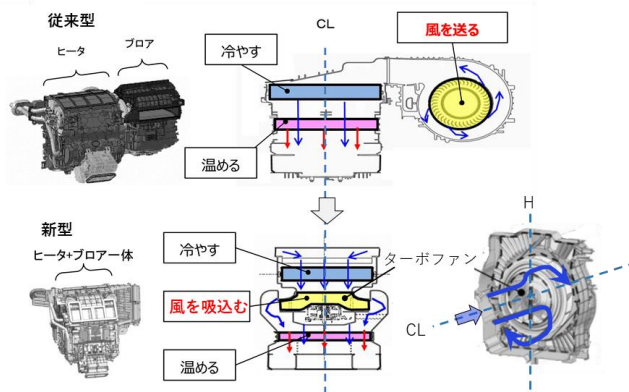


図28 HVACレイアウト比較

また、RAV4ではHVAC上方からレジスタ行き吹き出し口があったが、後方吹き出しに変更することでインパネの上面を低くすることができている(図29)。



図29 CTR断面(A-A)

HVACから運転席側、助手席側レジスタまでのダクト経路も見直している。従来はリッフォースの上側を通過していたが、リッフォースの位置、エアバッグの位置を見直し、運転席側はリッフォース後方を、助手席側は後方下側を通過してレジスタまでダクトを通すことで、インパネリッフォース上を通過することなく、レジスタまでの経路を確保した。これによりインパネ上面の高さを抑えている(図30)。

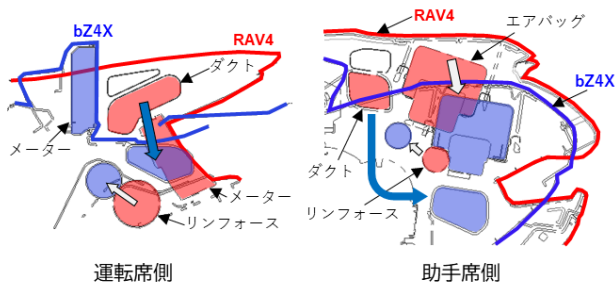


図30 ダクト経路比較

6. パワートレイン

6.1 eAxle

6.1.1 eAxle開発の狙い・概要

長い航続距離と広い室内空間を実現するために低損失、小型軽量の一体化ユニットを開発した(図31,表1)。

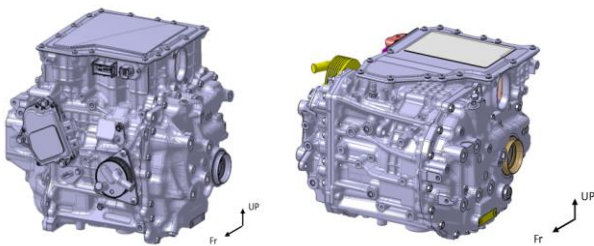


図31 eAxle(左:Front eAxle 右:Rear eAxle)

表1 eAxle主要諸元

		Front eAxle		Rear eAxle
Maximum Motor Output	(kW)	150	80	80
Maximum Motor Torque	(Nm)	266.3	168.5	168.5
Transaxle type		3軸2段減速方式		
Total gear ratio		13.786		

ハイブリッド車で培った環境技術、電費改善技術をもとに以下の電費改善を採用した。

- 低粘度e-トランスアクスルフルードTE(図32)
- 電動オイルポンプ、オイルクーラを用いた高効率なステータの2経路冷却
- 新開発の低損失インバーター素子

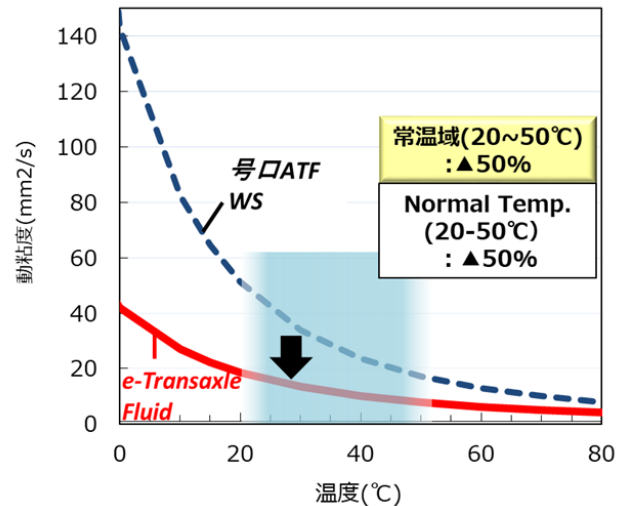


図32 e-トランスアクスルフルードとATFの粘度比較

モータ、トランスアクスルとインバーターを完全一体化したコンパクトな構造にしたことで小型化を実現した。Front eAxleについては前後長を小さくすることで室内空間の拡大(タンデムディスタンス拡大)に寄与し、Rear eAxleは高さを抑えることで、荷室空間の拡大に寄与した(図33)。

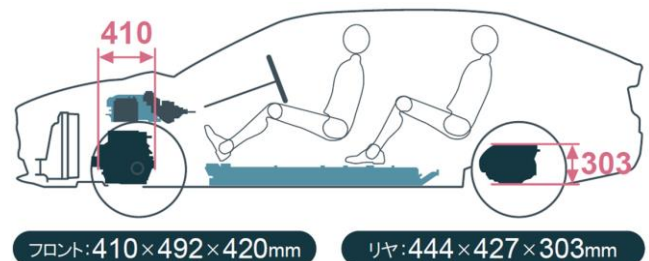


図33 eAxle搭載レイアウト

車両の優れた直進安定性を確保するためにプレロードディファレンシャル、左右等長化したドライブシャフトを採用した。

6.2 ESU

6.2.1 ESU開発の狙い・概要

電力変換機能、充電機能、電力分配機構を1つのユニットとしてコンパクトに統合した。従来のBEVモデルではバッテリーパック内に搭載されていた高圧配線の分岐機能、DCリレーなどの機器、フェライトなどのEMC対策アイテムをESUに統合し、電コパ搭載することで、床下搭載

のバッテリー容量拡大による航続距離延長, バッテリー構造簡素化によるフラットフロア化に貢献した. 最大150kWのDC充電スタンドへの対応およびAC充電最大7kW対応することで充電時間の短縮に貢献した.

6.2.2 ESUの主要諸元・構成部品

ESUの主要諸元を表2に, 構成部品を図34に示します. 構成部品は図34に示したとおり, UpperとLowerの2階建て構造を採用した.

表2 ESU主要諸元

仕向地	中国	北米	欧州	日本
充電規格	GB/T	CCS1	CCS2	CHAdeMO
DC急速充電	150kWスタンド対応			
AC充電	定格入力	7kW		
Main DCDC	出力電流	150A		
Sub DCDC	出力	150W		
高圧分岐接続先	高電圧バッテリー, Front eAxle, Rear eAxle, DC・AC充電リッド, 補器機能 (電動エアコン, 水加熱ヒータ, AC1500Wインバータ)			

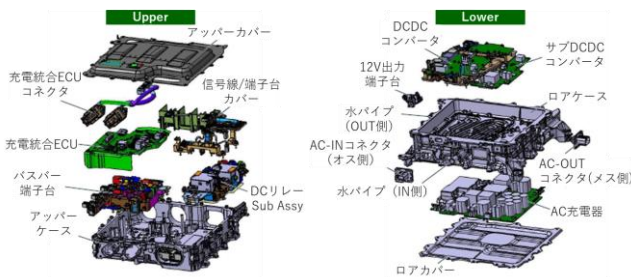


図34 ESU構成部

表3 主要諸元

電池種類	リチウムイオン
電池セル数	96個
定格電圧	355.2V
電池容量	201Ah
電池総電力量	71.4kWh
使用温度範囲	-30~60°C

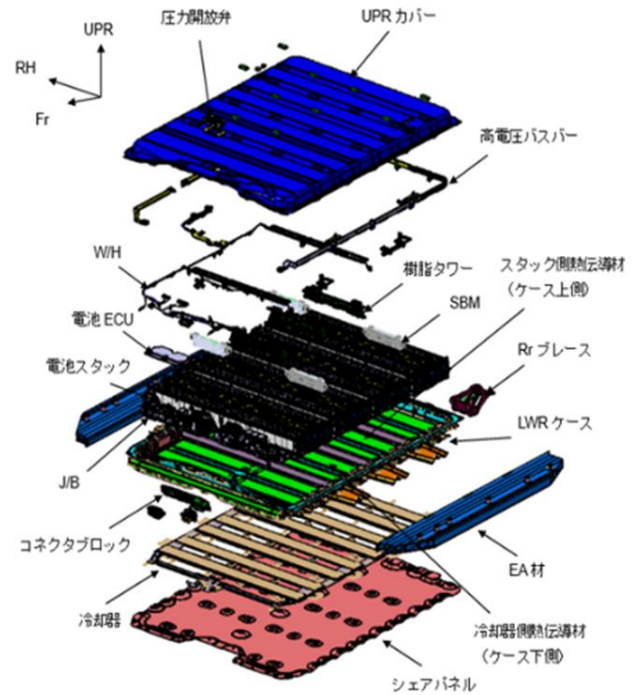


図35 電池パック部品構成

7. 電池

7.1 電池開発の狙い

世界的にBEVが普及しつつあるなかで, BEVの商品力である航続距離と安全・安心を両立した電池パックを開発した.

7.2 特徴

7.2.1 電池種類

表3, 図35に電池パックの諸元と部品構成を示します. 新開発の大容量リチウムイオン電池セルの採用により, 長い航続距離と高出力化を実現した.

7.2.2 搭載構造

全高を抑えた薄型大容量電池パックを車室外床下に搭載することで広い車室内空間を確保しており, 特に2列目の足元空間のフラット化を実現. また, 車両の低重心化に貢献し, 運動性能を向上した(図36).

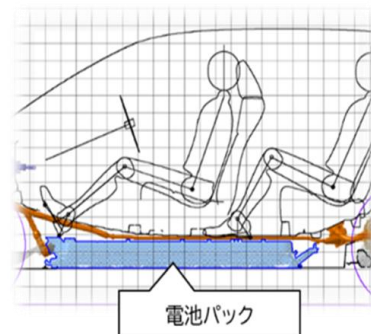


図36 電池パック搭載

7.3 安全性

電池の自己発熱や短絡防止に配慮した安全設計により、高次元の”安全・安心”を実現した。

7.3.1 冷却構造

冷却液が漏れても電池に冷却液が触れない別室構造を採用した。万が一、冷却液が電池に触れてしまう場合も配慮し、高抵抗タイプの専用クーラント液を採用した(図37)。

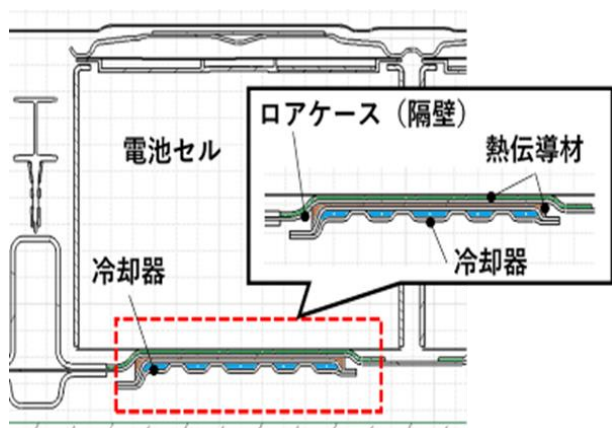


図37 冷却器構造

7.3.2 外部入力保護

外部入力による電池へのダメージを、ケース構造工夫により回避した。衝突、圧壊に対しては、内部クロス、前後フレーム、EA材で保護している。路面干渉に対しては、シエアパネル(アルミ底板)で保護している(図38)。

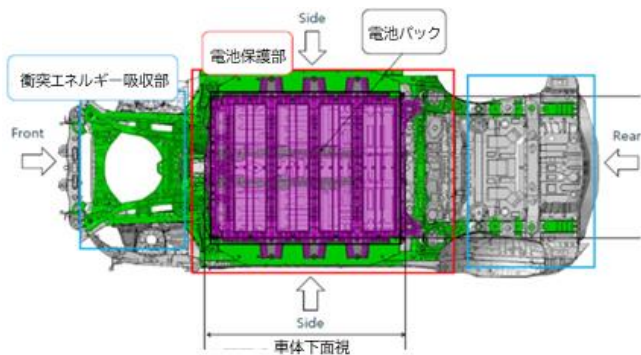
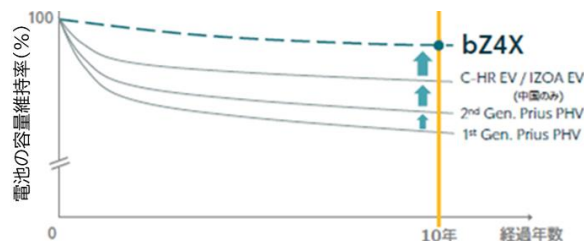


図38 外部入力保護構造

7.4 電池寿命

HEVで培った技術を応用し、材料、パック構造、制御システムなどさまざまな面で電池劣化を抑制した。世界トップレベルの10年後電池容量維持率を目標に開発した(図39)。



負極表面の劣化物生成を抑制
→ 電池寿命を延ばす一つのポイント

- ◎劣化を抑制する適正な負極表面処理
- ◎電池を均一に冷却する電池パック構造の採用
- ◎電池構成材料に内包される水分を電池内部に持ち込まない設計と生産技術
- ◎電池の隅々に至るまで負荷をかけない制御システム

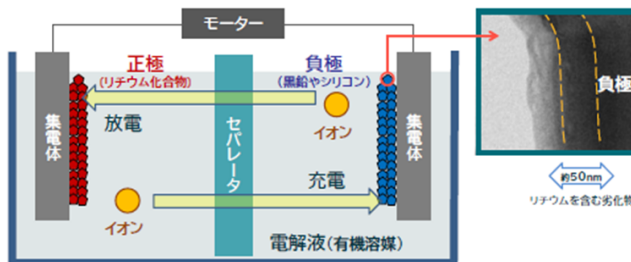


図39 電池容量維持率向上に向けた開発

8. 熱マネジメントシステム

8.1. システムのねらい

BEVの課題は電池の高温化による寿命短縮と冬季航続距離の悪化である。この2つの課題を改善するために、革新的な熱マネジメントシステムを開発した。具体的には、①電池、パワートレイン、HVACを熱回路で繋げ、最適にコントロールする熱制御技術(図40)と、②乗員を効果的に冷暖房する技術である。①は電池を最適な温度に維持しつつ、シンプルな構成の冷凍サイクルでヒートポンプの暖房効率を向上させている※。②は足元を効率的に暖める輻射ヒータ※と車室内空調環境の統合コントロール技術であるALL AUTO(ECO)制御※により実現している。

※トヨタ初採用

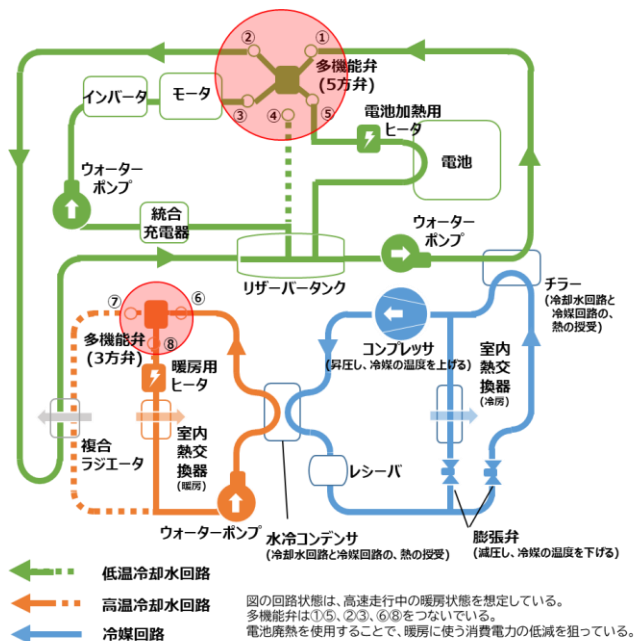


図40 熱制御技術

8.2. 電池温調

8.2.1. 概要

効率的に温調できる水冷方式を採用した。これにより、電池出力を最大化できるとともに、電池容量の低下を抑制している。図41は電池冷却時の回路状態と冷媒の流れを示している。電池は空調のエアコン冷媒でチラーを介して、外気温より低くした冷却水で冷却している。

図42は電池昇温時の回路状態と冷媒の流れを示している。電池は電池冷却水回路に組み込まれた電池ヒータにより昇温させている。

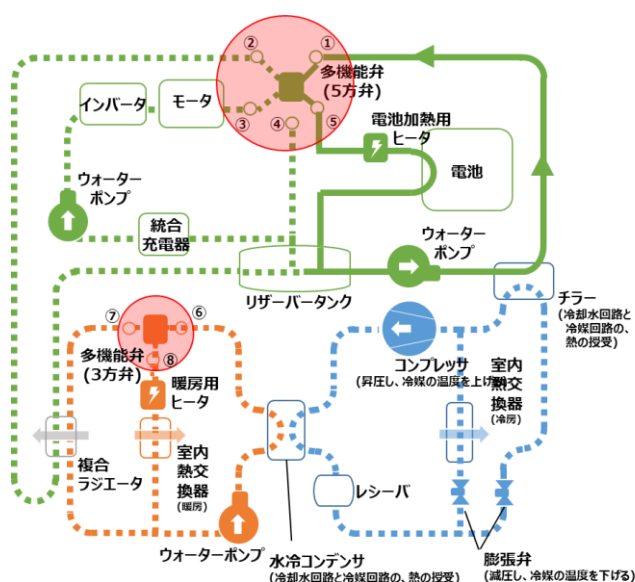


図42 電池昇温時の回路状態と冷媒の流れ

8.2.2. 可変冷却制御

発熱量に応じて電池冷却量を可変させる可変冷却制御を採用している。電池発熱量を入出力電力より算出し、発熱量に応じて冷却量を可変させている。本制御のイメージを図43に示している。

また、本制御の嬉しさを以下に示す。

- 低負荷走行時の冷却部品作動負荷の低減と長寿命化
- 低負荷走行時の消費電力低減による電費向上
- 高負荷走行時の高い冷却性能により、電池の高温化を防止、電池容量の低下を抑制

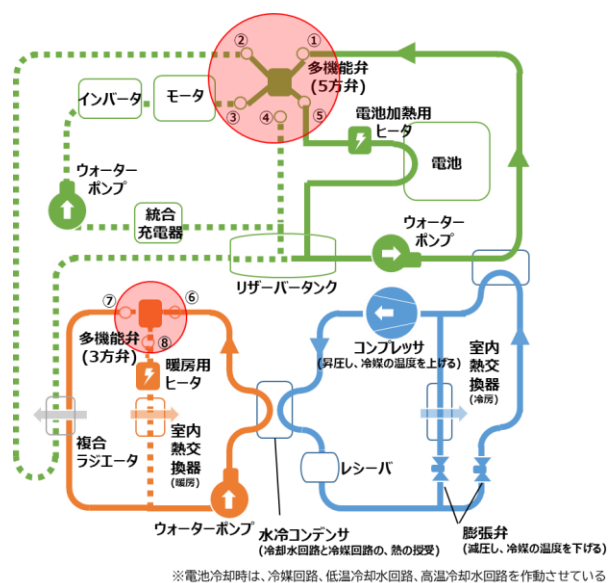


図41 電池冷却時の回路状態と冷媒の流れ

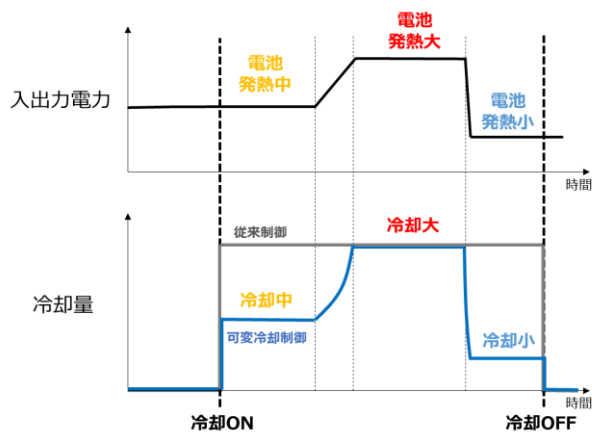


図43 可変冷却制御の概要

8.2.3. 空調との協調制御

空調システムと冷却システムを協調させる制御を構築。図44はシステム間の協調イメージを示している。電池温度に応じて冷却レベルが上昇し、高レベルでは電池冷却を優先し、低レベルでは空調を優先している。これにより電池冷却性能と室内空調性能の両立を実現している。

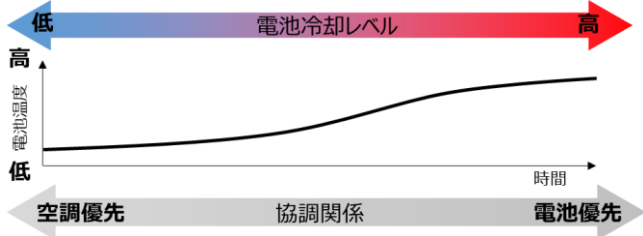


図44 空調との協調関係

8.3. 高効率ヒートポンプ

パワートレーン廃熱や電池廃熱をヒートポンプに活用することで暖房の省エネルギー化を図っている。

電池冷却で導入したチラー、多機能弁と複合ラジエータを用いることで、回路間の熱連携を可能にしている。多機能弁の回路切換え制御により、電池廃熱のヒートポンプへの活用も可能になった。一方、ヒートポンプ運転の連続作動により、室外機として使う複合ラジエータに霜が発生することで空気からの吸熱量が低下し、暖房効率を悪化させる要因となっている。そこで、蓄熱したパワートレーンの廃熱を用いることで、霜を溶かしヒートポンプ作動時間の延長を実現させ暖房効率を大幅に向上させている。

8.4. 輻射ヒータ

効率よく暖房感を得られるようにするため、温かさを感じやすい膝周りを優先的に暖められる輻射ヒータを採用した。今回開発した輻射ヒータは即暖性を極限まで高める設計を行っており、作動してから1分という短時間でヒータ表面が100℃以上まで昇温し、ヒータの遠赤外線効果によるこたつのような温熱空間の実現にも成功した(図45)。一方、人体の接触を感知して発熱を止めるセンサーを内蔵することで、安全性を確保している。



遠赤外線の下腿を暖房

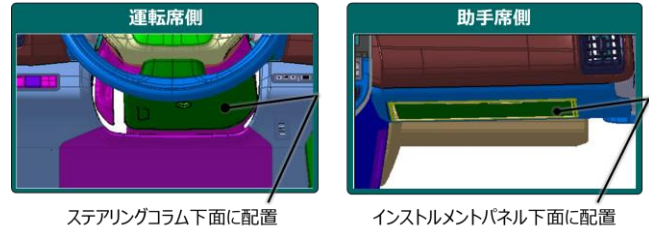


図45 輻射ヒータ

8.5. ALL AUTO(ECO)

冬季航続距離の改善と車室内快適性を両立させるため、空調環境の統合コントロール技術であるALL AUTO (ECO)制御を開発した。これは、直接温調デバイス(シートヒータ、ステアリングヒータ、etc.)の温調制御とHVACの空気流を高次元で連携させる制御である。

また、全ての利用者に快適に使っていただくためにエアコン操作パネルにALL AUTO(ECO)ボタンを採用した(図46)。

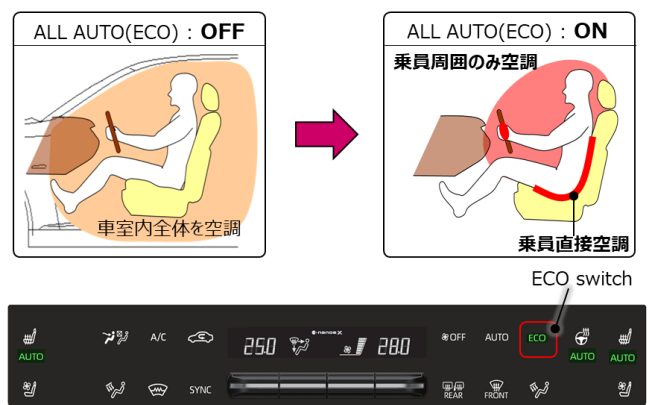


図46 ALL AUTO(ECO)

9. 運動性能と慣性特性

9.1. ねらい

操舵に対するリニアな車両応答、耐転覆性能などの安定性、優れた乗心地性能を実現するために慣性特性が重要となる。bZ4Xでは、e-TNGAの特長の一つである床

下電池配置を最大限に活かした慣性特性設計を目指した。

9.2. 慣性特性設計

操縦性および安定性を向上させるための慣性特性の基本思想は、車両走行時の4輪の各タイヤの接地荷重を均等化し、タイヤで発生する力をできるだけ均等にしていくことである。e-TNGAでは車両中央床下に大容量の電池を配置することで、4輪の接地荷重の均等化を目指し、側面視上ではドライバーの尻下付近、背面視上では車両中央が重心位置となるように慣性特性設計を実施した(図47)。電池の搭載はタイヤの4隅配置にも寄与しており、車両重心高の低さとともに運動時の荷重移動量を低減、4輪の接地荷重変動の安定化に努めた。

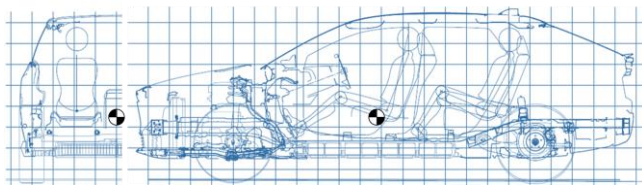


図47 車両重心位置

9.3. ボディ剛性

旋回時の自然なロール感を出すことをねらいに、車両のロール挙動とボディねじり剛性の関係に着目した。e-TNGAではコイルばねやスタビライザーの諸元で可変するロール剛性に対して、ボディねじり剛性が一定以上となるように骨格設計を実施した。図48で示すように、電池ケースを剛性部材の一部として活用することで、ICE車やHEV以上のねじり剛性、競合BEVと同等の剛性比を確保することができている(図49)。

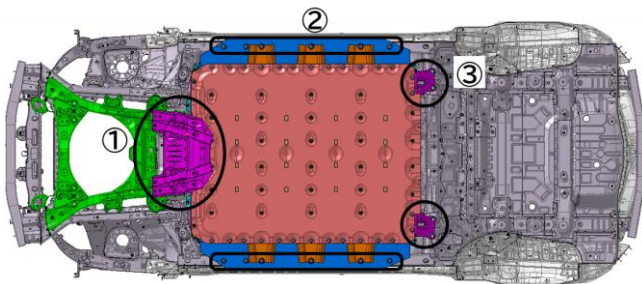


図48 ボディ剛性向上構造(①~③)

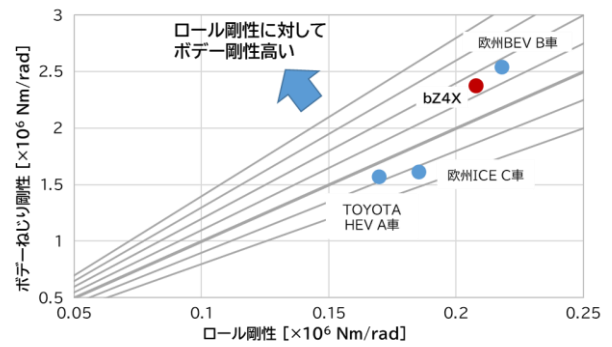


図49 ロール剛性とボディねじり剛性

10. 回生ブースト(Regeneration Boost)

10.1 開発のねらい

BEVならではの新しい価値を提供すべく、bZ4XではFun to driveかつ運転負荷軽減が可能な機能として、回生による惰行時の前後加速度を強めた回生ブースト(Regeneration Boost)を新規開発した。新規開発したモータトルク設計技術により、BEVならではのFun to driveを、運転負荷の軽減については、強回生減速機能とクリープ機能により実現した。

10.2 強回生減速機能

運転負荷軽減については、ブレーキペダルからアクセルペダルへの踏み替え頻度を減らすことに着目した。回生による惰行時の最大前後加速度を最大 1.5m/s^2 に設定することで、実走行における約 80km/h 以下の範囲において前後加速度の約80%に相当する走行域を踏み替えなしで運転可能とし、ペダル踏み替え頻度低減を達成した(図50)。

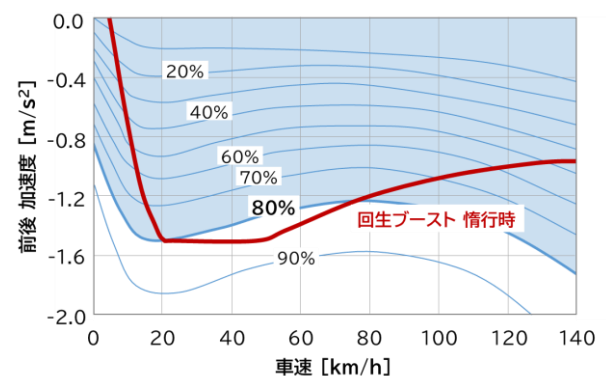


図50 市場での減速頻度分布と回生ブーストの特性

10.3 クリープ機能

駐車時のコントロール性確保のため、クリープを設定した。また、停止直前のペダル踏み替え操作に余裕を持ってコントロールできるように、強回生減速機能からクリープまでの加速度の変化が緩やかになるよう設定し、クリープ車速も従来よりも低い車速に設定した(図51)。

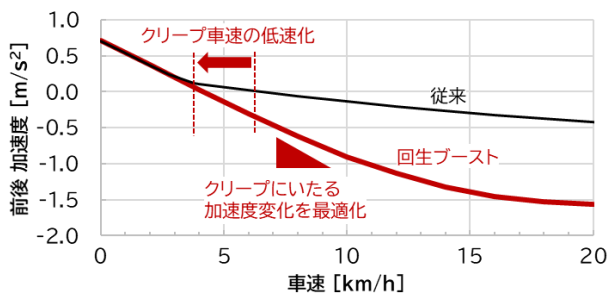


図51 従来と回生ブーストのクリープ

10.4 モータトルク設計技術

Fun to driveを実現するために、人の知覚特性に基づいて加減速感を定式化した。モータトルク的设计フローを図52に示す。

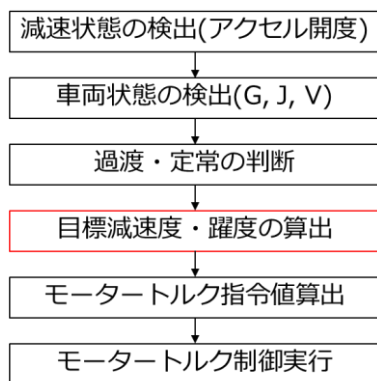


図52 人の知覚特性に基づいたトルク設計フロー

bZ4Xでは本トルク設計フローに基づき、アクセルペダル操作に対してリニアな加減速感となるようにモータトルクを設計している(図53)。

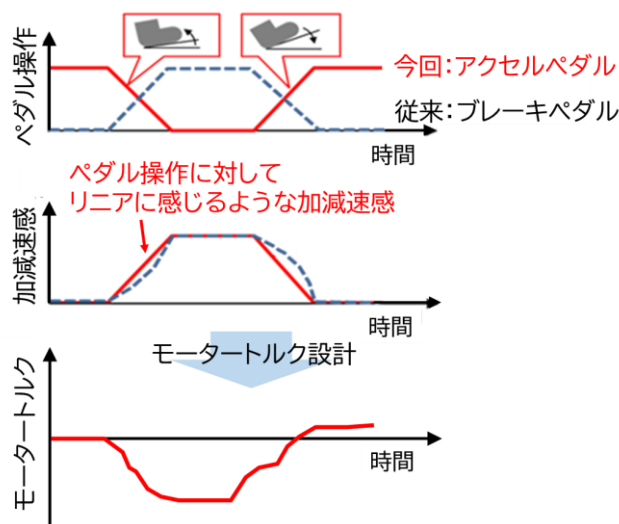


図53 ペダル操作に対する加減速感とモータトルク

一方、今回設定した強回生減速機能による強い減速感には、不意な操作に対してドライバーや同乗者を不快にさせる懸念がある。そこで、急激なアクセルペダル操作時であっても減速感が滑らかにつながることをねらい、過渡と定常の減速刺激強度が同等になるよう過渡のモータトルクを制御することで不快感の低減を狙った(図54)。

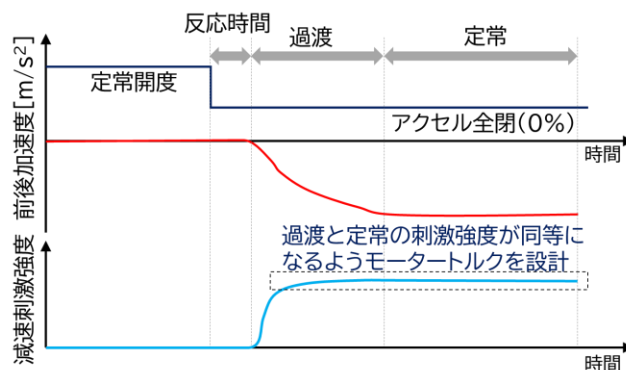


図54 減速過渡と定常特性の関係

11. ソーラー充電システム

11.1. はじめに

昨今の持続可能な社会の実現を目指す世界情勢のなか、2050年のカーボンニュートラルを実現するため、bZ4X向けにソーラー充電システムを開発した。

11.2. システム概要

bZ4Xのソーラー充電システムは、2枚のソーラーパネルを搭載したソーラールーフと、発電電力を制御するソ

ーラーECU(以下、ECU)で構成される。ECU内のソーラー DDC が MPPT (Maximum Power Point Tracking)制御によりソーラーパネルの最大発電電圧を探索し、電力を取り出す。その後、車両状態によって昇圧DDCが駆動用バッテリー電圧へ、降圧DDCが12Vへ電圧変換し、各システムへ出力する(図55)。

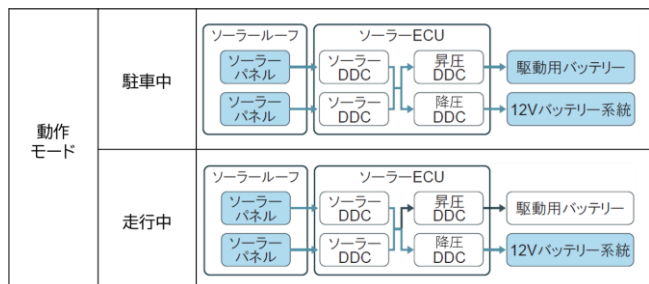


図55 動作モード別システム動作

駐車中は、駆動用バッテリーを充電することでEV走行距離の向上や非常時の電力供給が可能である。走行中は、12Vバッテリーシステムに給電することで駆動用バッテリーの消費を低減し、EV走行距離の向上に貢献する。

名古屋市の日射データをもとにしたソーラーパネル発電量約224kWh/年(NEDO1990年～2009年の年平均の日毎データから算出)とWLTCモード電費7.81 km/kWhから、bZ4Xでは年間1,750km相当分の発電が可能である。

11.3. ソーラールーフ

bZ4Xでは、高性能バックコンタクト型太陽電池セル(以下、セル)を採用した。従来の擬似正方形セルをハーフカットし、セル間を瓦状接続させることにより、限られた面積で効率的なセル配置が可能となった(図56)。

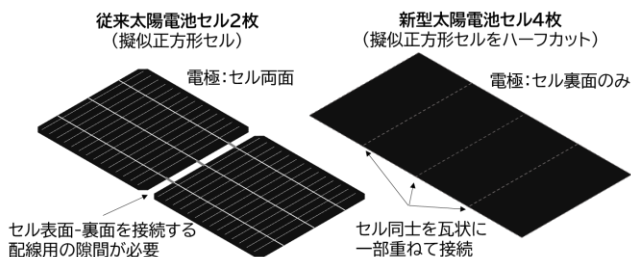


図56 太陽電池セルの接続方式

その結果、bZ4Xのソーラールーフの出力密度はプリウスPHEVのソーラールーフと比較して8.4%向上させることができた(表4)。

表4 ソーラールーフ出力密度

項目	プリウスPHV	bZ4X
発電電力 [※] (W)	180	225
発電エリア面積(m ²)	0.919	1.06
出力密度(W/m ²)	196	212

※IEC61215に準じ、且つトヨタ独自に定めた方法により測定

また、セルおよび配線類を視認できない構造とすることにより、先進的なBEVにあわせて車両と一体感のある意匠を実現した(図57)。



図57 ソーラールーフ意匠

11.4. おわりに

bZ4Xのソーラー充電システムは、プラグイン充電頻度低減による経済性、CO₂排出量の削減という環境性能をBEVにもたらすことができる。今後は、ソーラーパネル搭載部位拡大や新素材太陽電池の搭載によって、ソーラー充電システムの性能を向上させる開発を行っていく。

12. むすび

bZ4XはBEV専用PFから生み出された第1号車である。環境車は普及してこそ、の思いのもと、日常シーンで使いやすく、BEVならではの応答性の良さや気持ちよさを体感いただける製品を目指してきた。また、本稿で紹介した技術の他にも、生産技術、営業施策も含めさまざまな新しい挑戦に多く取り組んできた。CN達成の道のりはさまざまであるが、その選択肢を追加できたことで、

また一歩ゴールに近づくことができたと感じる。共同開発に参画して下さった株式会社SUBARUやトヨタグループの協力会社をはじめとする関係各位のご理解とご協力にこの場を借りて謝意を表す。

そして、トヨタは今後もCNの達成に向けてたゆまぬ努力を続けていく。

■著者

第1章 まえがき



人見 真央

トヨタZEVファクトリー ZEV B&D Lab

第2章 開発の狙い



井戸 大介

トヨタZEVファクトリー 車両企画Gr

第3章 意匠



鈴木 勝博

クルマ開発センター ビジョンデザイン部

第4章 BEV専用PF



白 昌高

齋藤 守

田邊 大輔

トヨタZEVファクトリー ZEV B&D Lab

第5章 ボディ設計



豊田 大

河本 昌志

上川 秀文

トヨタZEVファクトリー ZEV B&D Lab

第6章 パワートレーン

パワトレ統括・eAxle



平井 誠

竹内 直希

パワートレーンカンパニー 電動パワトレ開発統括部

ESU



藪内 武之

森田 宏

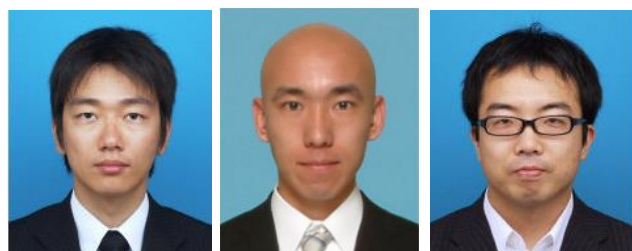
パワートレーンカンパニー EHV電力変換ユニット開発部

第7章 電池

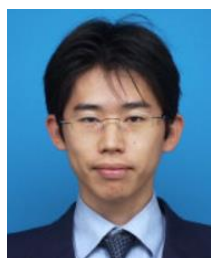


永井 裕喜 石井 崇智
CN先行開発センター EHV電池設計部

第8章 熱マネージメントシステム



西岡 秀雄 大橋 啓生 長谷川 吉男



三神 新
トヨタZEVファクトリー ZEV B&D Lab

電池温調



日吉 雅敏 小林 正嗣
CN先行開発センター EHV電池設計部

第9章 運動性能と慣性特性

第10章 回生ブースト



前田 寛貴 宮本 悠樹 高松 秀樹
トヨタZEVファクトリー ZEV B&D Lab

第11章 ソーラー充電システム



林 泰祐 中堂 敬司 宮本 雄真
クルマ開発センター 制御電子プラットフォーム開発部

TOYOTA bZ3

The Toyota bZ3

加藤 武郎 *1 Takeru Kato	野田 修二 *1 Shuji Noda	鈴木 勝博 *1 Katsuhiko Suzuki	江口 浩二 *1 Koji Eguchi	町谷 顕 *1 Ken Machitani
	神谷 宗宏 *1 Munehiro Kamiya	鈴木 雅貴 *1 Masaki Suzuki	小玉 尊守 *1 Takamori Kodama	大西 到 *1 Itaru Onishi

要旨

TOYOTA bZ3は、トヨタと比亞迪股份有限公司(以下BYD)が合併で設立したBYD TOYOTA EV TECHNOLOGYカンパニー有限公司(以下BTET)と、一汽トヨタ自動車有限公司(以下一汽トヨタ)が共同開発した、セダンタイプのバッテリーEV(以下BEV)である。トヨタ、BYD、一汽トヨタのエンジニアが一体となり、それぞれの強みを融合し、“新しい体験”を中国の利用者へ提供。本稿では中国の利用者の嗜好を具現化するため、中国現地で中日両国のエンジニアがお互いを尊重しながら開発した成果を報告する。

Abstract

The Toyota bZ3 is a battery electric sedan that was jointly developed by BYD Toyota EV Technology Co., Ltd. (BTET: a joint venture established by Toyota and BYD Company Ltd. (BYD)) and FAW Toyota Motor Co., Ltd. (FAW Toyota). The bZ3 was developed by a team of engineers from Toyota, BYD, and FAW Toyota, who worked in unison to combine the strength of each company and offer a completely new experience to customers in China. This article describes the results of the development, which aimed to realize a vehicle that embodies the tastes of Chinese customers. These results were obtained through mutual and respectful collaboration between Chinese and Japanese engineers in China.

キーワード Family Lounge, BEV, 中国開発, 智能化, 熱マネ, 音声認識, 協業開発

1. はじめに

我々は、ここ中国においてカーボンニュートラルに向けた取り組みを加速することで環境保護に貢献し、利用者中心で利便性の高いサステナブルなモビリティ社会の実現のため、bZ4Xに続くBEVシリーズ第2弾としてモデルセグメントセダンbZ3を提供できるよう『中国現地』で『中国の利用者のための商品』を開発する。

1.1 『中国現地』で『中国の利用者のための商品』を開発

商品のコンセプトは『FAMILY LOUNGE』。

この商品では、bZ=beyond Zeroがもたらす『新しい体験を新しい価値』として、移動の間も家族一緒に過ごす優しい空間、心地よい時間を提供する。

第一の体験は、“ほっと一息できる空間”。

後席シートは、全ての位置で優しく柔らかな座り心地を体験できるよう、安らぎのリビングソファを用意した。床面積の広さはクラストップを確保し、自由な姿勢でリラックスして着座可能。

第二の体験は、“ご家族やご友人が集まり、同じ時間を過ごす空間”。

『Digital Island』は、視線と会話が集まるラウンジの

*1 BYD TOYOTA EV TECHNOLOGY カンパニー有限公司

一等地。縦型配置ディスプレイは、左右のフロントシート間から視認が可能となっており、快適な座り心地と静粛性を高めた空間で、最新のインフォテインメントシステムを乗員全員が楽しむことができる。

第三の体験は、“遠距離運転でも疲れが少なく、楽しさに心の躍る運転空間”。

運転時の姿勢は、TNGAを継承した筋肉への負担が少ない姿勢とし、豊富な音声認識機能を用い、スイッチ操作による疲れに配慮した。

また、運転に集中して楽しめるよう、コックピットは『見るものは遠く、操作するものは近く』のDRIVER ORIENTEDデザインとした。

トップマウントの遠視点メーターは目線の移動を少なくし、異形ステアリングはレーシングドライバーの気持ちを掻き立てる。ランプとウォッシャーはパドルスイッチに、ターンはステアリングスイッチに配置。指の動きを最小限にした機能デザインとした。

その他、エレガントさと先進感を追求したスタイリング、安心・安全に乗車できるための高品質で高い信頼性を持つEV電池、消費電力を少なくした高効率EVシステム、世界トップの空力性能で実現した1クラス上の航続距離、最

新のインフォテインメントシステム搭載など『新しい体験』満載の車両である。

1.2 トヨタ・BYD・一汽トヨタの中日協業開発

我々日本のエンジニアが中国の利用者の生活や嗜好に寄り添って車両をつくり上げるために、BEV先駆者であるBYD社エンジニアの経験や感性、そしてマインドが必要不可欠となる。加えて、豊富なラインアップと充実した生産・販売・サービス体系について中国の利用者から好評を得ている一汽トヨタとの協業も同様に必要不可欠である。

2020年よりスタートしたこの協業開発では、言語、経験や技術、仕事のプロセスの違いに直面する毎日だったが、同じアジアの国の仲間として助け合い、寄り添い合いながら開発を進め、この車両を生み出した。

利用者中心の新しい体験と価値をお届けしたい。中国の環境保護へ貢献したい。

中国の利用者の期待に応えるため、そして、bZ4Xとともに、新たなBEVの時代を切り開くため、トヨタ・BYD・一汽トヨタのお互いの強みや技術を融合させた中日の合作である。

2. 車両パッケージ

BEV専用プラットフォームだから実現できた特徴的なパッケージ。低重心で伸びやかなシルエットとタイヤ四隅配置により、特徴的なスタイルを創出した。また、ロングホイールベースにより、ゆとりのある広い空間も実現することができた(図1, 表1)。

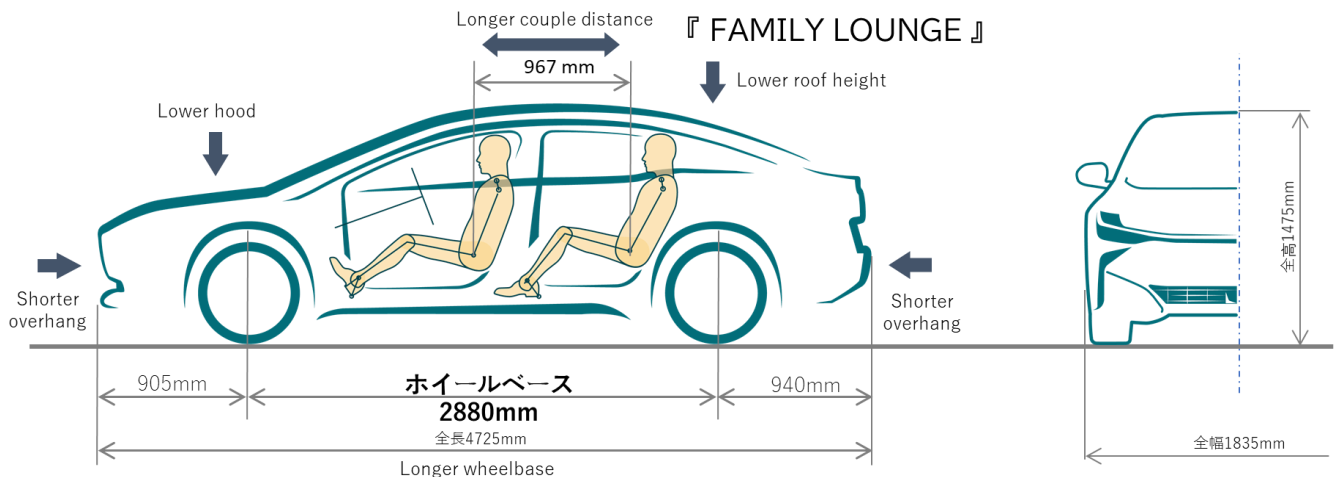


図1 車両パッケージ

表1 車両緒元

	bZ3	vs Allion	vs Camry
全長	4725mm	-5mm	+160mm
全高	1475mm	-40mm	+5mm
全幅	1835mm	-55mm	-20mm
ホイールベース	2880mm	-130mm	-55mm
Overhang(Fr / Rr)	905 / 940mm	+39 / +86mm	+72 / +117mm
Couple distance	967mm	-49mm	+4mm

e-TNGAプラットフォームはTOYOTA NEW GLOBAL ARCHITECTUREの知見を活かし、新開発したBEV専用プラットフォームである。bZ3ではe-TNGAプラットフォームとBYDプラットフォームを改良・融合させBEV専用低床プラットフォームを開発。BEVならではの前後ショートオーバーハングと『FAMILY LOUNGE』のコンセプトに則り広いキャビンを持つパッケージを実現した(図2)。

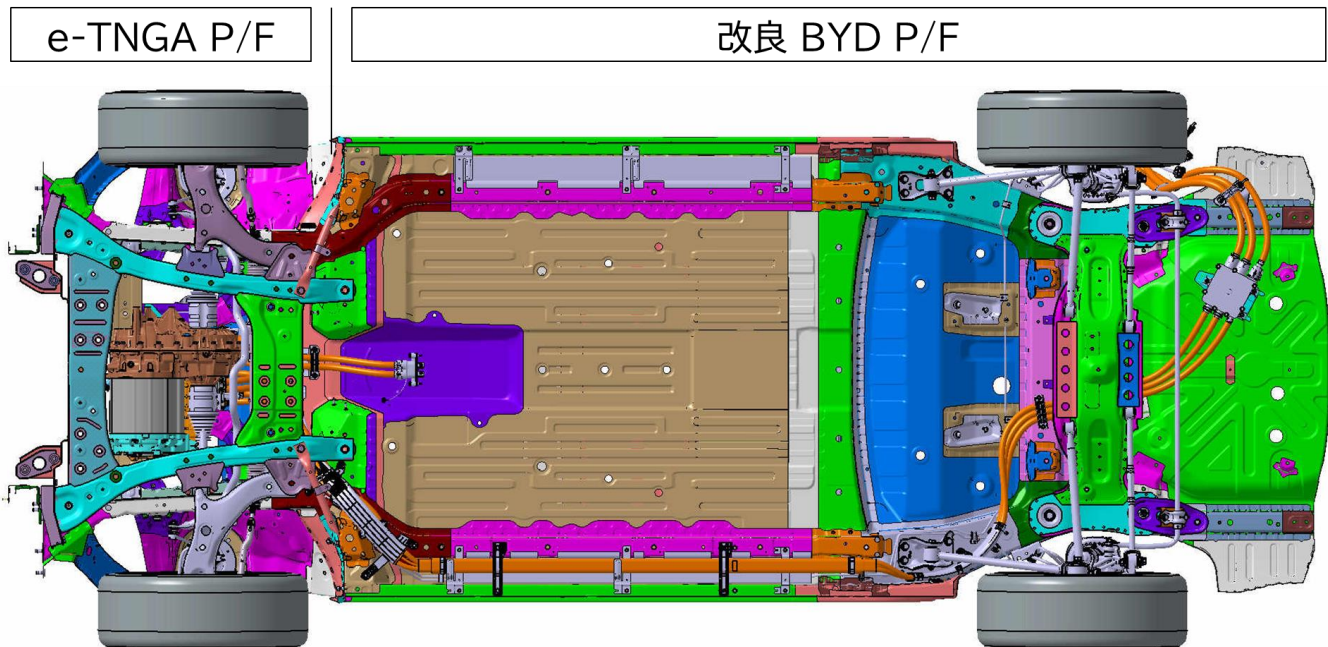


図2 P/F(床裏図)

3. デザイン

中国市場で今もメインストリームである「セダン」には、支持される理由がある。それは“車を所有する”ということが比較的短期間のうちに定着した中国において、「セダン」は変わらず憧れの対象であり続け、日常生活の足として、信頼される愛車としての“象徴”なのだ。SUVが台頭してきた現在でもそのポジションを堅持し、内外メーカー問わず多種多様なセダンがラインアップされ、中国市場でしっかり存在感を示している。新エネルギー車

普及の政策のもとでBEVが急速にユーザーの支持を受け拡大を続ける中国で、この「bZ3」はいかに後発の強みを打ち出し、またブランド力を武器に参入障壁を下げて個性をアピールできるか、デザインの果たすべき役割は大きい。

bZ3は、若いエントリーユーザー(ニューファミリー)、及びライドヘイリングサービスに使っていただくことを前提に企画を進めた。Cセグメントのサイズながら、BEV専用プラットフォームによるロングホイールベースを活かした広い室内空間、特に後席の居住性をアドバンテージと

したコンセプト、『FAMILY LOUNGE』の具現化にチャレンジした(図3)。

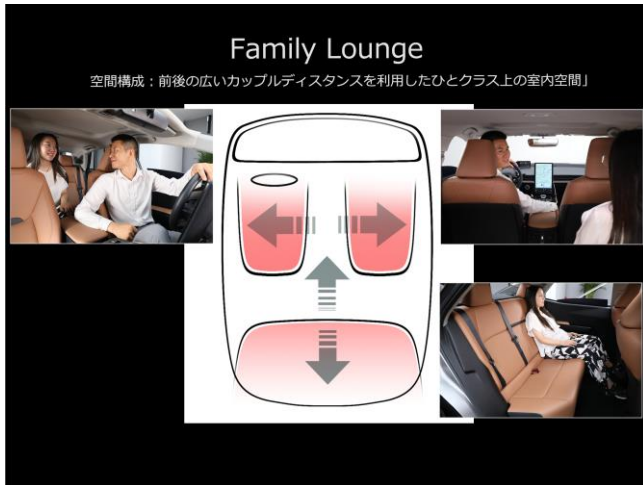


図3 Family Lounge

3.1 エクステリア

中国の利用者が「セダン」に期待するイメージは、ずばり“エレガントさ”。中国現地開発での貴重な“気づき”のひとつである。bZ4Xに続くbZシリーズとしての特徴を引継ぎ、一目でそれがBEVだと判別できる先進感を表現しながらも、セダンに不可欠なオーセンティックな要素が融合した造形にこだわった(図4)。



図4 先進感とエレガントさの両立を狙ったスケッチ

① サイドは、ロングホイールベースにファストバックのキャビンを組み合わせ、伸びやかなシルエットを表現。ソリッドな力強さと抑揚豊かな断面変化が一体となった造形により、リニアなスピード感と流麗なエレガントさを両立(図5)。



図5 力強さと抑揚豊かな断面を持つ伸びやかなサイド

② フロント上部は、bZシリーズ共通のアイデンティティとして低いフードを活かしたハンマーヘッド形状のデザインテーマを採用。

左右を繋げたDRLでテーマを強調するとともにワイド感を表現。その下に低く構えた4眼のLEDレンズからなるヘッドランプで低重心感と精悍さを表現(図6)。

③ bZシリーズ共通のコーナー部を強調した造形。

フロントロアグリルを薄く抑え、コーナー部に空気抵抗を低減するエアカーテンの配置、ヘッドランプや各種センサーをまとめ、機能性のアピールとスタンスの良さを表現(図6)。



図6 bZシリーズのフロントアイデンティティを表現

④ bZシリーズ共通の線質・面質の表現。

「Hi-tech & Warmth」に基づいた精緻さと官能性を併せ持つ質感の作り込みにこだわった。

⑤ セダンのエレガントさをストレートに表現した「Silky Brown」をbZ3専用カラーに設定(図7)。



図7 bZ3専用カラーSilky Brownイメージ

3.2 インテリア

ストレスが急激に高まってきた社会のなかで、大切な家族や友人のために大変気を遣い、大切な誰かが自分の車に乗った時は快適に過ごしてほしい中国の利用者。bZ3のインテリアでは、BEVならではの広い室内空間を活かした“開放感”と“快適性”，さらに“運転の楽しさ”と皆が使える“ユーザビリティ”の実現にこだわった(図8)。



図8 内装イメージスケッチ

- ① 空間構成は、乗員を包み込むバスタブのような立体に、低く配置したインストゥルメントパネルを組み合わせたシンプルな構成とし、リラックスできる開放感と視界の良さを狙った(図9-1)。特にインストゥルメントパネル上面に配置したセンターレジスタは、室内空間全体をやさしく包み込むような空調設計に基づいた快適性の向上と、従来の複雑なセンタークラスター部の大幅な簡素化を実現した。またドアトリムでは、シンプルな機構のウィンドウスイッチと、アシストグリップ裏側に配したインサイドドアハンドルをアームレストと一体化することにより、シンプルな見映えと使い勝手の改善を両立した(図9-2)。



図9-1 シンプルで開放的なインテリアの構成



図9-2 機能を一体化したシンプルなアームレスト

- ② ドライバーオリエンテッドの象徴として、bZ4X同様にトップマウントメーター+異形ステアリングによるドライバーモジュールを設定。bZ3ではステアリングからメーターへブリッジさせた形状が、自然な視線移動を促し、運転に集中できるようにした(図10)。



図10 ドライバーモジュール

- ③ “デジタルアイランド”と呼ぶシフトを取り巻くトレイ形状のコンソールは、ストレスなくスマートフォンなどのデジタル機器をポンと置いて、充電も可能。縦型のセンターディスプレイと一体で意匠し、デジタル世代のユーザビリティ向上を狙った(図11)。



図11 スマホ使用シーンに便利なトレイ型のコンソール
“デジタルアイランド”

- ④ ソファをモチーフにしたリアシートは、3人がしっかり座れるフラットなクッションが特徴。ロングホイールベースで確保した足元スペースとあわせ快適な寛ぎの空間を提供(図12-1)。少し窮屈感を感じやすい中央席ではセンターコンソール後部を大きくえぐり、足を伸ばせる空間を確保することにより、フラットなフロアとあわせてゆったりと座れるようにした(図12-2)。



図12-1 リビングのソファのようなリアシート



図12-2 センターコンソール後部の形状で
足元空間拡大

人目を惹くオリジナリティと開放的な空間を持ったbZ3は、「セダン」という従来カテゴリーの枠に縛られない「新世代ライフスタイルカー」として、利用者に寄り添う愛車となってくれることを願ってやまない。

4. マルチメディア・智能化

スマートフォン・タブレット等、個人が使えるモバイル端末の急速な発展にともない、それらと同等以上の機能・使いやすさがインフォテインメントシステムにも求められている。また、生活空間の一部であるクルマのシステムは車載向けに洗練されつつ、各個人にパーソナライズされた、より使いやすいサービスを提供する必要がある。特に中国市場においては、次世代のコックピットを実現するための重要なポイントとして、このような利用者のニーズを的確に捉え、急速に変化しつづける市場の流れを追随・リードする必要がある。

スマートフォンなど他端末でも広く使われているサードパーティ製のアプリ(3rd Party APP)を数多く使用することで、豊富な機能、かつ開放的なエコシステムにより他端末と情報連携しやすいサービスを提供することを目指した。プリインストールされたオンライン地図アプリ、オンライン音楽アプリ、天気等の情報といったアプリだけでなく、アプリ市場から数多くのアプリをダウンロードできるようにし、利用者の幅広いニーズをカバーできるようにした(図13)。



図13 マルチメディア 操作インターフェース

加えて、中国市場で重要度の高い音声認識機能を実現するインターフェースとして、利用者により寄り添ったものとするべく、エージェントとなるキャラクターを設定。ドライバーモニターカメラからの映像情報やプリインストールされた3rd Party APPの情報など、外部からの情報を

用いながら、各シーン・状況にあわせた表情や発話をしたり、また、状況にあわせ能動的に自分から機能の提案をするなど、利用者に寄り添うようなエージェントを心掛け機能設計した。さらに、利用者のクルマの使用状況(エージェントの使用回数や総走行距離など)により、エージェントが成長する機能を導入。成長に応じてキャラクターの外観も変わり、使える機能も増えるよう設計するなど、利用者がエージェントの成長を感じられることで、より親しみを持てるものとした(図14)。

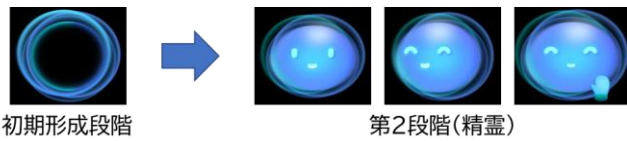
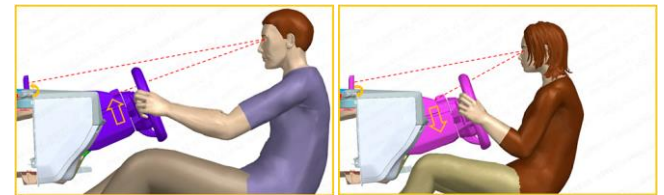
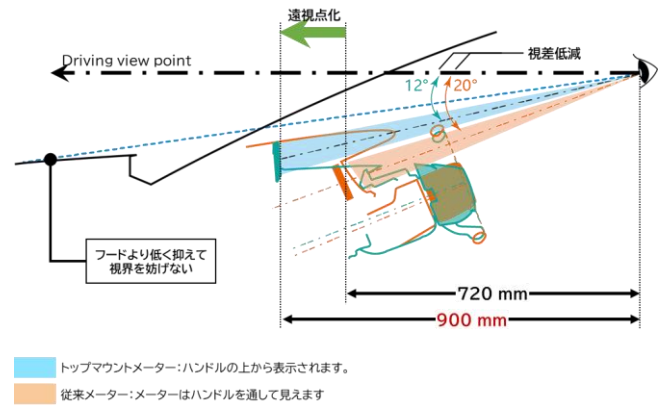


図14 成長するエージェント

コックピットはドライバーが運転中の視線移動を低減し高い視認性が実現できるトップマウントメーターを採用。前方視界を妨げないようにメーターの高さはドライバー目線でフードより低くなるようにし、異型ステアリングと組み合わせることで表示エリアのステアリング隠れの部分を少なくすることに成功。メーターとステアリングコラムを連動して動くよう構成し、体格の違う方へもそれぞれ適切に調整できる構造とした。表示コンテンツは車速や電池残量など運転中に必要となるものに絞り込み、ドライバーにとって理想的なメーターとした(図15)。



トップマウントメーター	左画面	右画面
	ADAS周辺監視システム	車速
	TPMS	シフト
	ドア開閉	Power meter
	TbT(左折)	電池残量
	ADAS系テール	TbT(右折)
	パワーウィンドウ選択	ODO
	警告灯	ランプ系テール
	方向指示器(左)	制限速度表示(RSA)
		ドライブモード
		方向指示器(右)
	LEDインジケータ	
	ドライバーがLEDインジケータで車両の動作状態を判断	

図15 トップマウントメーター

ステアリングスイッチにターン、ライト、ワイパーを集約した。これにより、従来のコンビスイッチに比べて、運転時に手を離さなくても操作することが可能となった。

コックピット全体のスイッチは操作性向上のために咄嗟に操作が必要な機能や利用頻度の高い機能はハードスイッチにし、快適・娯楽・便利な機能はディスプレイの大きさを活用したソフトスイッチ化を大胆に推進した。一つの画面に集約しており、どこにあるかが分かりやすく、音声認識を活用することで、使い勝手も向上させることに加え、すっきりとした先進感のあるコックピットを実現させた(図16)。



図16 ステアリングスイッチ

これまで、車載コンピュータのソフトアップデートのために必要だった販売店での待ち時間を、Over The Air (無線) (以降OTA)により削減。OTAにより、ナビゲーション地図、エンタメ機能がアップグレードでき、利用者の利便性や娯楽体験が向上される。また、本車両では室内照明や空調などのコックピット製品に新機能を追加でき、利用者の車両体験を豊かにすることが可能。OTA機能は全車に標準装備。迅速なクルマのアップグレードにより、常に最新の状態とインテリジェントな体験を提供し、利用者のカーライフが向上される。

5. 個車技術紹介

5.1 EVシステム

本開発ではBYDのEVシステムをベースに、機能、信頼性などを見直し、新たな専用EVシステムを新規開発した。表2にEVシステムの概要を示す。

表2 EVシステム基本緒元

	500km版	600km版
EV航続距離 (CLTC)	517km	616km
車両重量	1720kg	1830kg
電池容量	49.9kWh	65.3kWh
定格電圧	333V	435V
モータ出力	135kW	180kW
モータトルク	303Nm	303Nm
AC充電出力	6.6kW	6.6kW
DC充電時間 (30-80%)	27min	28min

5.1.1 駆動用電池

駆動用電池はBYDのブレード電池をベースに、高耐久性、高信頼性を兼ね備えた電池システムを新規開発した(図17)。ブレード電池は正極材料にLFP(リン酸鉄Li)を用いた低コストかつ安全性に優れた電池である。一般にLFPは熱安定性に優れ発火しにくいメリットを持つが、エネルギー密度が低いことがデメリットである。本開発ではセルを直接電池パックに接着固定するセルtoパック構造で約150Wh/kgの高いエネルギー密度を実現した。冷却器と一体構造の省スペースアルミトレイを開発し、熱マネジメントシステムで適切に電池の冷却昇温を行い、電池の寿命向上とともに低温・高温充電時間の最適化に貢献している。なお、冷却水には高抵抗LLCを採用し、万が一の漏水発生時にも配慮している。

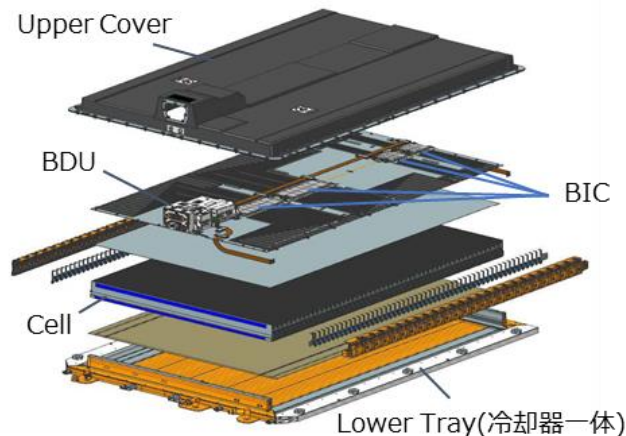


図17 駆動用電池

5.1.2 eAxle

T/A, モータ, インバータを組み合わせた新開発のeAxleを採用した(図18). モータには平角巻線を使用し小型軽量化と高効率化に貢献している. 各部品の固有値を分散させる共振分散設計, モーターロータのスキュー構造, 高調波注入によるトルク脈動成分低減などにより低騒音化を実現した.

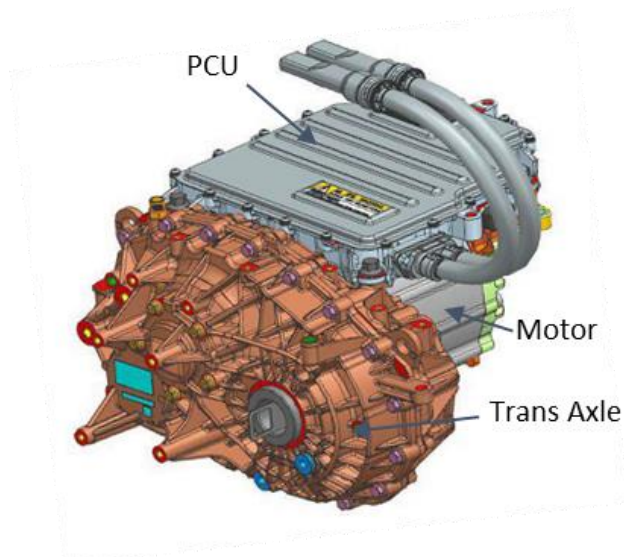


図18 eAxle

5.1.3 ESU(Electric Supply Unit)

6.6kW車載充電器, DCDCコンバータ, 高圧配電機能を同じユニットに集積したESUで, 電気関連機器の小型, 軽量化を実現. 3.3kWのV2L放電機能も内蔵している. チャージポートはAC/DC充電インレット一体型とし, 中国の利用者の使い勝手に配慮し左後方搭載とした(図19).

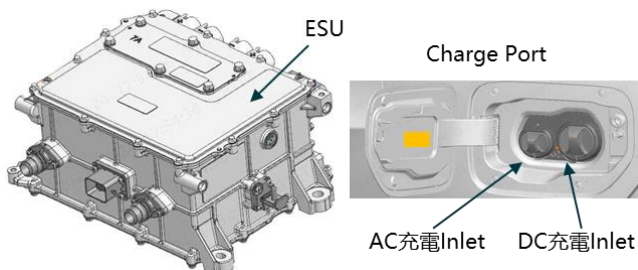


図19 ESU/Charge Point

5.2 熱マネージメントシステム

BEVでは冬季の航続距離低下が大きな課題となる. そのため本開発ではヒートポンプシステムによる高効率な暖房システムで, 冬季のBEV距離低下の抑止に貢献している. また, HVAC内に室内コンデンサを配置し, 直接高温冷媒で過熱することで, より高効率なシステムを実現した. ヒートポンプが動作しない極低温時には6kWの高圧PTCヒータにより暖房性能が確保される.

電池冷却には電気式膨張弁で分配した低温冷媒をチャラーに流し冷却水を冷却する. この電気式膨張弁により冷媒を正確に分配し, 室内の快適性と電池の温度コントロールを両立する. 低温時の電池過熱には冷却水流量制御弁で回路を切り替えて電池の加熱と室内暖房を行う. これらの制御により, 室内の空調快適性と電池の安全な熱マネージメントを実現している(図20).

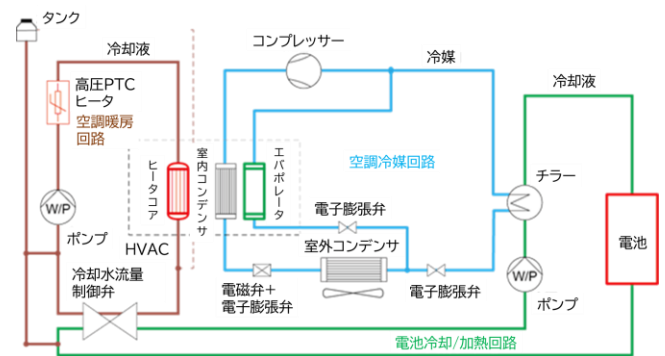


図20 熱マネージメントシステム

6. 車両性能

6.1 衝突安全性能

トヨタの安全の考え方(図21)は, 法規対応・アセスメント(CNCAP, CIASI)対応, 加えて利用者の保護を考慮した社内目標, ①高電圧バッテリー保護のための90度ポール側突, ②後突時の安全性確保88km/hMDBに対応.

90度ポール側突の対応は, 入力荷重を超ハイテン材の複数経路に分散させる構造とすることで, 優れた安全性と軽量化を実現している(図22).

次に, 後突は, 法規より衝突エネルギーの大きい社内目標で高電圧, 後席の安全性を確保し, バンパーR/Fを高強度, 左右のサイドメンバへ荷重を分散させて

80km/hオフセット(中国50km/hフルラップ)衝突性能(図23)の基準を達成することができ、また、社内目標を確保することでGOAも満足させることができた。

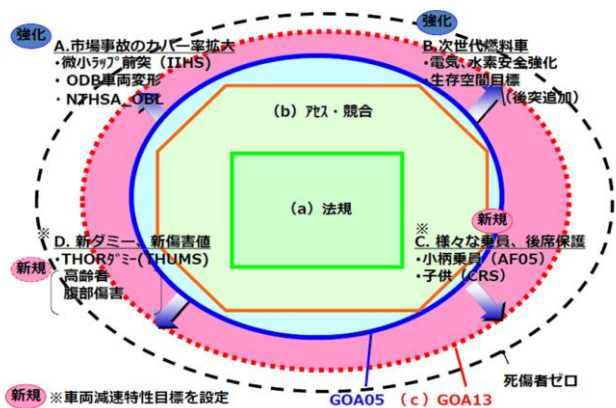


図21 トヨタの安全の考え方

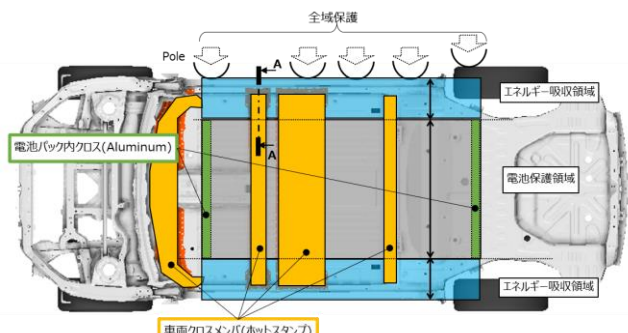


図22 90度ポール側突

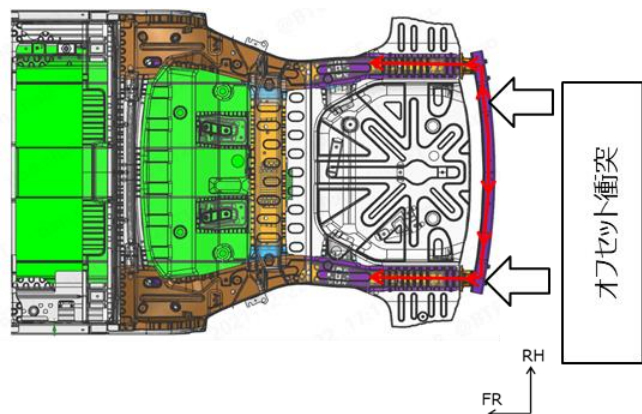


図23 後突 88km/hMDB

6.2 電費・航続距離

BEVにおいて、電費・航続距離は利用者が商品を選択する際の大変重要な性能である。

本開発においては、トヨタが長年にわたってHV開発で

培ってきた制御とBYD部品の損失低減技術を活かし、バッテリーの出力密度を最大限に高め、クラス最高の低消費電力性能を実現し、航続距離を伸ばしている(図24)。

また、BEVの弱点である冬季の航続距離においても、空気加熱式ヒートポンプシステムを採用することにより、外気温0℃においても、航続距離300km以上(@CLTC)を確保した(図25)。

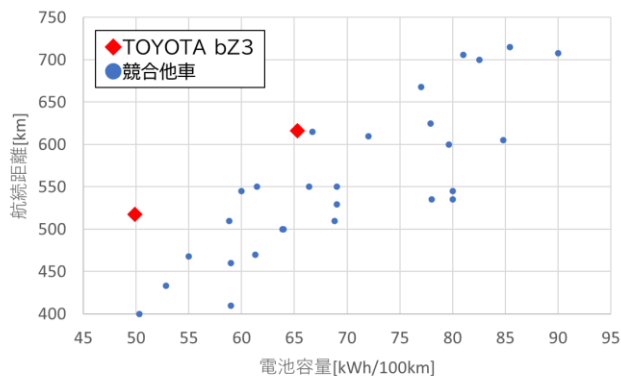


図24 航続距離

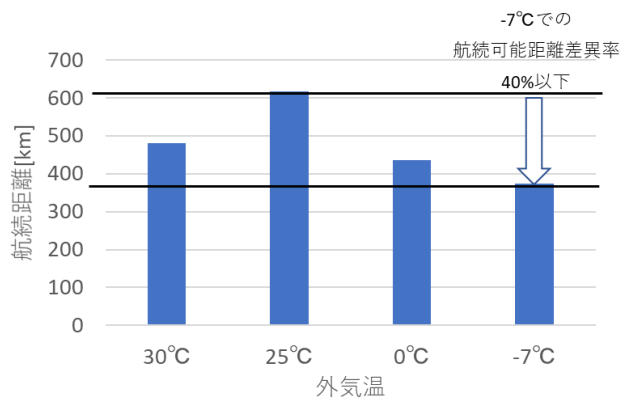


図25 各温度での実用航続距離

6.3 空力性能

航続距離を伸ばすためには、走行抵抗(空気抵抗・転がり抵抗等)の低減が不可欠である。そのなかでも空力性能の向上は大変重要な要素であり、CD0.005低減することで、3.5kmの増加になる。

本開発においては、フロントグリルから滑らかに繋がったボディ、シャープなリア構造による優れた流線形、低CD値ホイール、フルカバー式のフロアアンダーカバーにより、クラス世界トップのCD値=0.218を達成させるこ

とができた(図26).

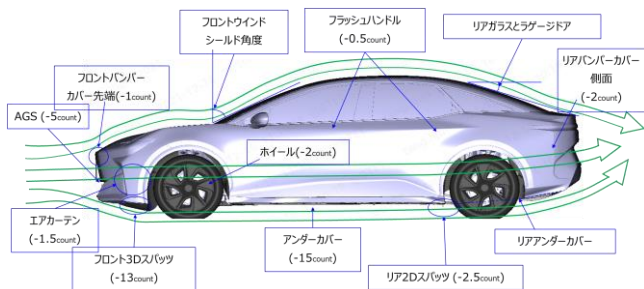


図26 空力の改善部位

6.4 NVH性能

すべての音を聞こえないようにすることは現実的では無いため、不快に感じにくいレベルに低減し、バランスのとれた静粛性を目指した。

一つ目に、長距離走行時の疲労感に繋がりがやすい路面粗さによるロードノイズに対して、全体騒音を低減した(図27)。

二つ目に、高速走行時の会話のしやすさに直結する風切り音や耳障りなタイヤノイズも低減した(図28)。上述によりトップクラスの静粛性を確保し、「家族の会話に集中」できる車室空間を実現した。

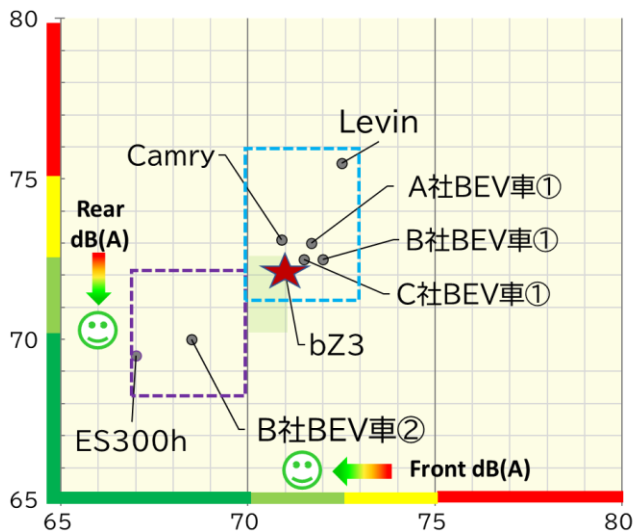


図27 ロードノイズ

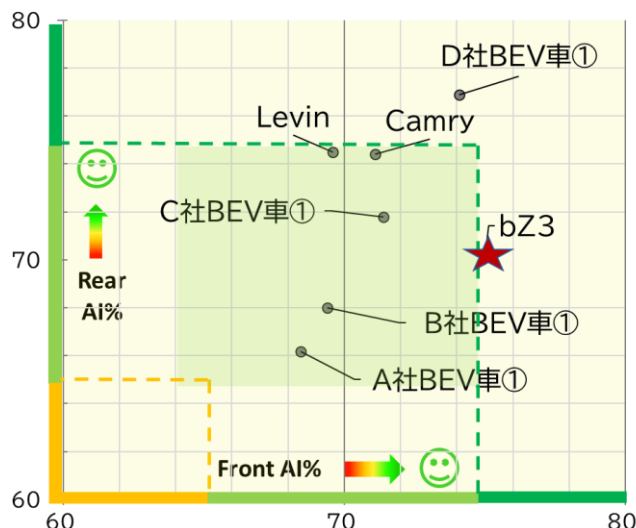


図28 会話明瞭度(定常AI)

6.5 動力性能

bZシリーズ共通の「滑らかで意のままになる走行性能」を備えながら、BEVらしい加速感と、同乗者全員が楽しめる『FAMILY LOUNGE』にふさわしいドライブフィールの両立を目指した。

BEV特有の高トルク特性を利用し、常用域(使用頻度1σ)をアクセルペダルの1/2ストロークとすることで、基本的な走行性能を維持しながら加速性能を向上させた(図29)。

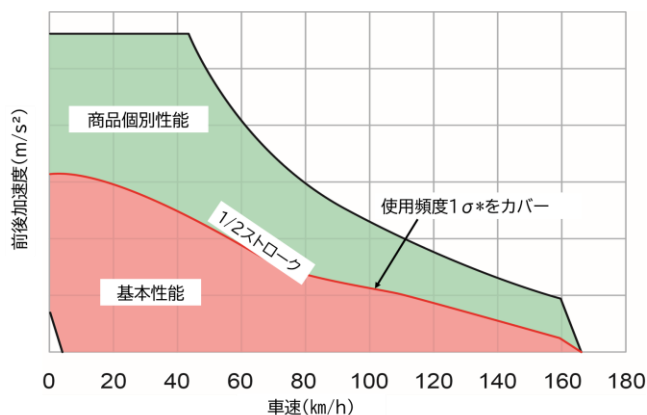


図29 BEV特有の俊敏な加速特性

そのなかで、商品性である0-100km/hの加速タイムも、競合他車以上(公表値)の性能を確保することができた(図30, 表3)。

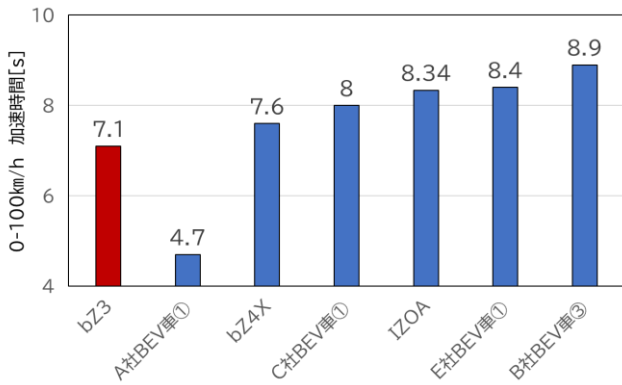


図30 0-100km/h加速性能

表3 〈参考〉加速タイム

	加速タイム(sec.)		
	0-100 kph	0-50 kph	50-80 kph
bZ3 500km版	7.8	3.1	2.6
bZ3 600km版	7.1	3.2	2.3

6.6 乗心地性能

『FAMILY LOUNGE』を実現するために、乗心地にこだわり1ランク上のカムリクラスを目標に開発を進めてきた。性能指標の一つである突起乗り越し時の振動レベルを、サス特性のチューニングにより、カムリ並まで達成させることができた(図31)。

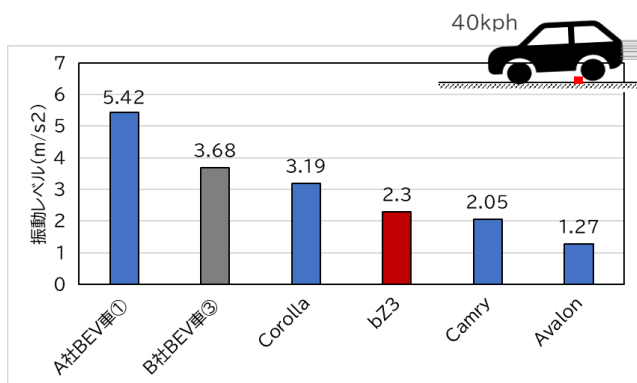


図31 突起乗り越し時の振動レベル

7. むすび

TOYOTA bZ3開発にあたり、BYD、一汽トヨタはじめ多くの関連会社のご協力をいただいた。この場をかりて深く謝意を表す。今後も利用者に喜ばれるBEVをBEV先進国の中国にてチャレンジを続けながら開発をしていく。

■著者



加藤 武郎

野田 修二

鈴木 勝博



江口 浩二

町谷 顕

神谷 宗宏



鈴木 雅貴

小玉 尊守

大西 到

超小型BEV C⁺pod

The C⁺pod Ultra-Compact BEV

川坂 亘史 *¹
Koji Kawasaki

倉知 晋士 *¹
Shinji Kurachi

井戸 大介 *¹
Daisuke Ido

谷中 壯弘 *²
Akihiro Yanaka

要旨

「Mobility for All:すべての人に移動の自由を」をコンセプトに人々のライフステージにあわせた安心・安全な移動手段を提供することを目指し、主に高齢化社会、都市・郊外の移動手段の多様化や環境課題に追従するべく開発した超小型BEV C⁺podを解説する。

Abstract

This article describes the C⁺pod ultra-compact BEV. This model was developed with the aim of providing confident and natural mobility to people at all stages of life under the concept of mobility for all. It is primarily intended to be used within an aging society as a way of contributing to the diversification of transportation options in urban areas and the suburbs, and to help address environmental issues.

キーワード Mobility for All, 超小型, BEV, 型式指定

1. はじめに

トヨタは、モビリティカンパニーへのモデルチェンジに向け、「すべての人に移動の自由を」をコンセプトにさまざまな利用者のニーズにお応えする安心・安全な移動手段を提供すること、そして同時に「ホームプラネット」の視点にたちカーボンニュートラルへ向けた環境車の普及拡大も目指している。

本稿では、上述2つの目的を担う超小型BEV C⁺podを解説する。

2. 導入意義

高齢化による身体能力低下や事故への懸念(自責・他責)のため、免許返納に代表されるように既存の移動手段の利用を遠ざけ、その結果として個人の行動範囲が抑制され、移動の欲求を満たすことが困難な状況が今後予想される。全ての利用者の自由な移動をより長く、より安心・安全な移動手段を提供し、生活を豊かにすること。また、地球環境も踏まえて環境車が普及し、人類の幸せにつなげることがモビリティカンパニーの役割であり、責務である。いままでトヨタが提供していない領域へ超小型BEVと歩行領域BEVを新たに導入し、ライフステージにあわせた移動の提供をサポートすることにチャレンジし(図1)、幸せの量産を実現することが導入意義である。

*¹ トヨタ ZEV ファクトリー

*² ZEV B&D Lab

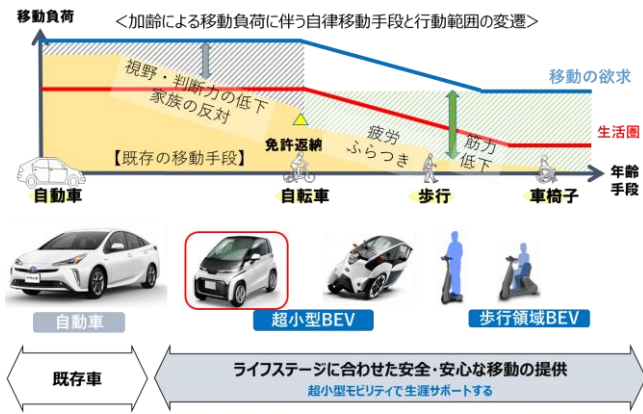


図1 超小型BEV 導入概念図

3. 超小型モビリティ(型式指定車)

超小型BEV開発にあたり、取り回しサイズや日常使いの平均乗車人数など使い方を検証したうえで、2名乗車かつ高速も使わない近距離の移動がメインの車両を前提とした。具体的には、ミニカー(原動機付自転車)と同一の車両寸法で、走行区域や使用者を限定しない軽自動車のカテゴリーではあるが、最高時速60km以下かつ高速自動車国道を走行しない車両である型式指定の認可を取得した(図2)。また、本認可は前述条件下のもとで、主に軽自動車から以下の衝突基準が緩和されている。

- フルラップ前面衝突試験における衝突速度の緩和 (50⇒40km/h)
- オフセット前面衝突試験における衝突速度緩和 (56km/h⇒40km/h)
- ポール側面衝突の非適用

	第一種 原動機付自転車 (ミニカー)	軽自動車		
		超小型モビリティ 型式指定車	認定車	
最高速度	60km/h	60km/h	個別の制限	構造上の制限なし
定格出力	≤0.6kW	>0.6kW	0.6~8.0kW	>0.6kW
最大定員	1人	4人	2人	4人
サイズ	全長	≤2.5m	≤3.4m	≤3.4m
	全幅	≤1.3m	≤1.48m	≤1.48m
	全高		≤2.0m	
衝突安全基準	なし	適用(破壊試験) 一部試験免除/免除	適用(寸法要件) 地方公共団体の長 または地方公共団体の長 の承認の後	適用(破壊試験)
登録申請者	制約なし	制約なし	地方公共団体の長 の承認の後	制約なし
運行地域	全国	全国	認可地域内	制約なし
運行道路		一般道のみ		一般道/高速道路/自専道
運転免許			普通自動車免許	

図2 超小型モビリティ 型式指定車

4. デザイン開発

エクステリアは、ボデー上部をブラックアウトし、ランプ類と融合配置することで凝縮感とEVデザインの先進感を表現。ミニマムなパッケージの中にタイヤの踏ん張り感とボデーの前進感を保ち、シンプルで幅広い年齢層にも受け入れやすい、親しみ・温かみをもったデザインを目指した。インテリアはブラックとホワイトのコントラストで実際のサイズ以上の広さを感じさせる工夫をしている。また、一つにまとめられた操作系はさまざまなシーンに対応するシンプルで使いやすい配置となっている(図3)。



図3 デザイン(外観・内装)

5. 車両概要

5.1 パッケージ

取り回しの良さや、小スペースでも駐車可能な車両サイズを狙い、かつ大人2人が並んで座れる最小全幅を確保したパッケージとしている。法規基準である全長2,500mm以下で衝突基準を達成した。また幅広い年齢層を想定し、乗降のしやすいドア開口サイズとシートの高さとしている(図4)。

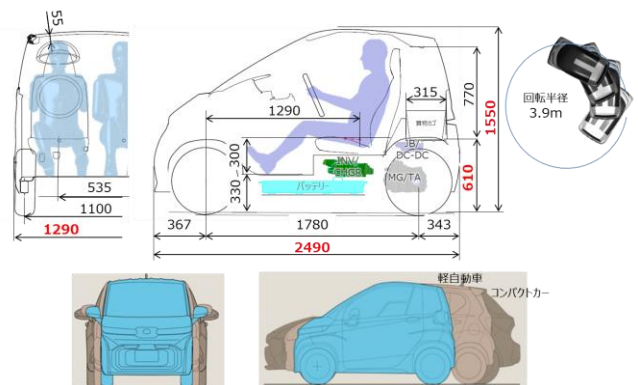


図4 C+pod パッケージとサイズ比較

5.2 ボデー構造

5.2.1 アンダーフレーム

型式指定車の新アンダーフレーム(C+pod専用プラットフォーム)を開発。コンパクトではあるが、衝突荷重をアンダーフレームでしっかり受け止めるため、既存車技術を横展開し、強度部材(ハイテン材)を選択することで、効率的な荷重分担を実現した(図5)。

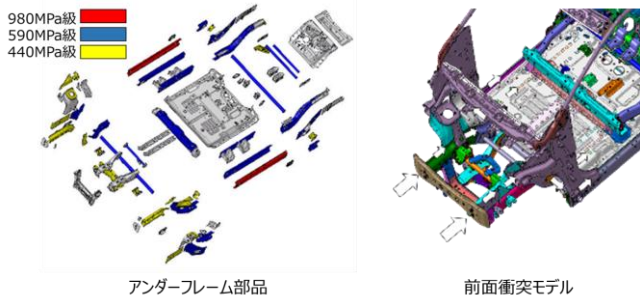


図5 アンダーフレーム部材と前面衝突モデル

5.2.2 アッパーパイプフレーム

上述のアンダーフレームで衝突荷重をコントロールすることで、アッパーはパイプフレーム構造の採用にチャレンジした(図6)。主な狙いについては以下に示す。

- 派生車展開バリエーション追加が容易
(アンダー共通でアッパーのみ変更)
- 軽量化
- 型費レス化による投資低減

パイプフレーム本体への締結リベット取付け位置の精度保証、パイプフレームの建付け順序や止水保証(ドア)といった外板品質確保については、開発初期より設計-生産技術-製造が三位一体となり、品質作り込みを実施し、トヨタ初のパイプフレーム構造の採用と量産の実現に至った。

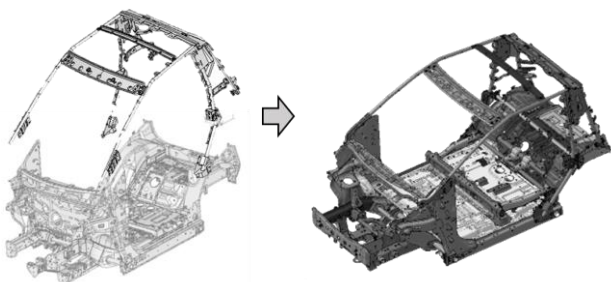


図6 アッパーフレーム&アンダーフレーム構造の概要

5.3 樹脂外板

パイプフレーム構造にあわせ、本車両の外板パネルは樹脂を採用している(図7)。狙いについては以下に示す。

- 軽量化
- バリエーション豊富な意匠実現
(フレックストーンなど)
- 外板の着せ替えビジネスへの拡張
- パネルごとの補修交換が可能となり補修性の向上

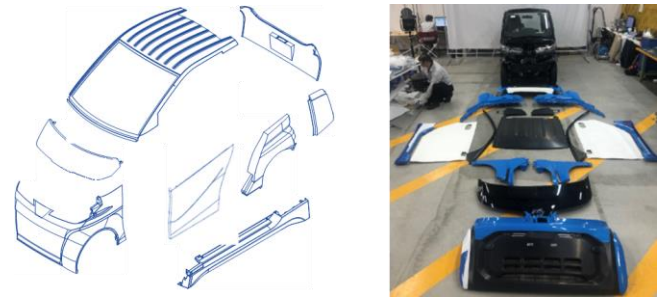


図7 C+pod樹脂外板

樹脂外板化することにより、樹脂単品パーツごとの塗装が可能となり、フレックストーンに代表できるように幅広い外板意匠選択をリーズナブルに実現可能とした(図8)。また、車全体を塗装する従来の塗装工程よりも、コンパクトな塗装工程で塗装が可能のため、生産過程での環境負荷、LCA(Life Cycle Assessment)観点でも貢献している。



図8 C+podフレックストーン

5.4 EVシステム

5.4.1 電池パック

小型ではあるがモビリティとして商品力のある航続距離を確保するため、信頼性の高い大容量リチウムイオン電池を採用した。客室スペースを確保しつつ十分な電池搭載スペースを実現するために、車室外床下に搭載可能な低背化タイプの電池パックを新規開発した(図9)。

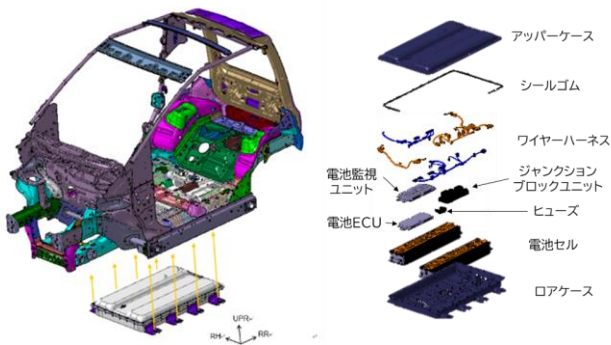


図9 電池パック搭載と構成部品

電池容量としては9.06kWhを実現し、将来の電池パック単体(蓄電池)として産業/家庭用への活用も想定。電池単体に制御機能を有することで(電池監視ユニット/電池 ECU)電池単体での活用のやりやすさ、ならびに、リユース時の改造工数を最小化する設計とした。

5.4.2 EVトランスアクスル

コストを抑えながら十分な動力性能を実現するために、Prius e-FourのRrモーターを流用した。ローター部については、本車両の目標出力にあわせた高電圧仕様の永久磁石同期ローターを新規開発した(図10)。

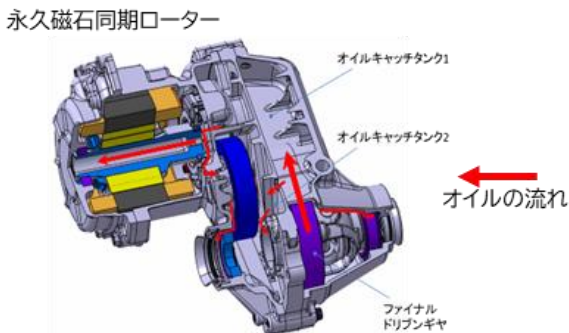


図10 C+pod トランスアクスルとオイル潤滑機構

高減速比ギアトレーンを採用し、3軸化で小型化、車両搭載(横幅)の制約が大きい小型BEVへの採用を可能とした。また、オイルかき上げ潤滑機構を採用し、ギヤの回転によってオイルをかき上げて、キャッチタンクに貯留し、各軸受やオイルシールへ供給することで耐久性と航続距離と電費の向上に貢献している。

5.5 安全装備

幅広い年齢層&ライフステージでご使用いただくことを前提に、安心・安全に活用いただくためにも、予防安全と衝突安全について装備を充実させている。特に予防安全、ぶつからないサポートとして以下を標準装備している(図11)。

- プリクラッシュセーフティ(歩行者[昼夜]・自転車運転者[昼]検知機能付衝突回避支援タイプ)
- パーキングサポートブレーキ(前後方静止物)

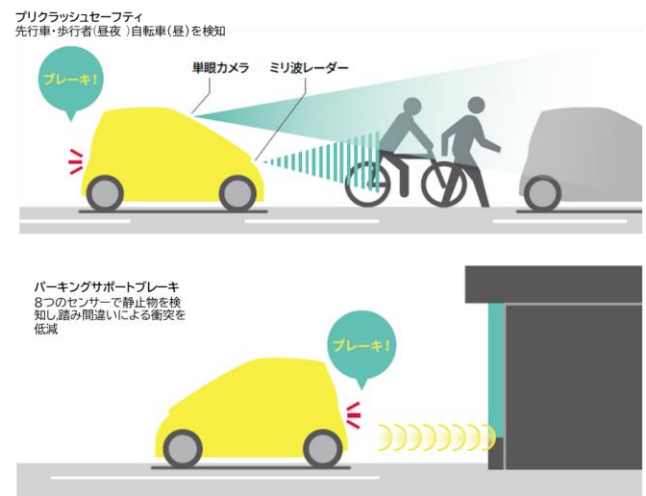


図11 予防安全機能概要

プリクラッシュセーフティパーキングサポートブレーキ

また、衝突安全の主な装備についても以下に示す。

- SRSエアバック(運転席・助手席)
- プリテンショナー&フォースリミッター付きシートベルト
- 歩行者衝突低減ボデー(樹脂外板)

最高速度60km/hと上述の安全装備もあり、本車両はD&R(Damageability:壊れにくさ、Repairability:修理しやすさ)性能が優良との判定をあいおいニッセイ同和損害保険株式会社様から評価いただき、BEVとしては初めて同社の車両保険割引の適用が受けられる車両となっている。

5.6 外部給電

使い方の多様化にも対応し、屋外でのアクティビティや、停電や災害時などの緊急時にも活用いただくことを目指し、外部給電機能を装備した。助手席足元に設置した100Vアクセサリコンセントに加え、メーカーオプションのヴィークルパワーコネクタを前方の充電インレットに差し込めば合計1,500W/AC100Vの外部給電機能を有する車両としても活用いただける(図12)。また、外部給電機能は、急に使おうと思っても緊急時であるがゆえに説明書を読むことも難しいことが想定される。普段から活用することで、いざというときにも慌てずに使い始めることができる。バッテリーは一般的な家庭の10時間程度の電力供給ができることから、日頃からの積極的な利用をお勧めする。



AC100V電源(助手席下)

ヴィークルパワーコネクタ

図12 給電機能の紹介

6. 生産

本車両は、元町工場生産している。本工場の特徴は次世代型の燃料電池の実証や太陽光発電を活用し生成した水素を充填した燃料電池フォークリフトの導入などCO₂排出の低減を目指した工場となっている。

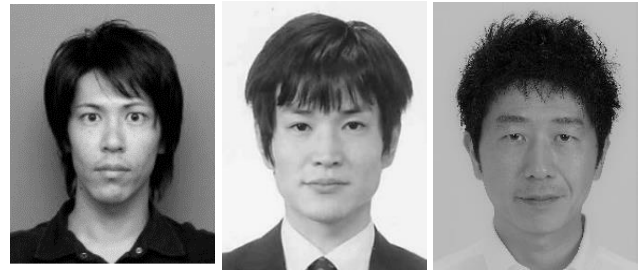
樹脂外板(成形&塗装)・電池パックの組立を内製対応とし、車両組立はC⁺pod専用工程である。生産変動へ柔軟に対応するため、固定設備の設置は極力避け、工程編成がしやすいレイアウトを実現している。また、組立作業者の技能習熟を向上させ、複数の組立工程の技能習得(多能工化)をすすめることで、最小4名の実組立作業で車両組立を実現できる生産変動に強い工程となっている。

7. おわり

超小型BEV C⁺podは、「Mobility For All」を実現する歩行領域BEV C⁺walk Tを含めたC⁺シリーズの中核の商品であり、新たなモビリティと自負して開発を進めてきた。今後も、利用者からの声を大切にし、改善し続けることで、より多くの方にお使いいただき、誰もが生き活きと暮らせる社会づくり、環境車の普及に貢献していきたい。

また、本車両開発にご協力いただいた各仕入先様ならびに関係者にこの場を借りて深謝を表したい。

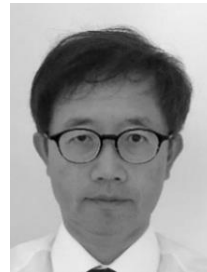
■著者



川坂 亘史

倉知 晋士

井戸 大介



谷中 壮弘

水素社会実現に向けたFCの展開性向上の取り組み

Supporting the Development of a Hydrogen-Energy Based Society by
Expanding Fuel Cell Application

今西 啓之 *1

Hiroyuki Imanishi

矢橋 洋樹 *1

Hiroki Yahashi

渡辺 祐介 *1

Yusuke Watanabe

浜田 成孝 *1

Shigetaka Hamada

折橋 信行 *1

Nobuyuki Orihashi

要旨

カーボンニュートラルの実現に向け、水素社会/水素エネルギーへの期待が高まっている。トヨタは乗用FCEVの初代MIRAIを2014年に、第2世代MIRAIを2020年に市場投入し、燃料電池(以下、FC)技術を進化させてきた。加えて近年ではFCのさらなる展開を実現するべく、さまざまなアプリケーションへの適用を容易にする「FCユニットのモジュール化の取り組み」、豊富な電力を活かし、走行性能以外の価値も高めたFCEVの「新価値創造の取り組み」を実施し、水素社会実現へのさらなる貢献を目指している。

Abstract

Hydrogen energy and the realization of a hydrogen energy-based society are regarded as increasingly promising ways of achieving carbon neutrality. Toyota is working to develop more advanced fuel cell (FC) technologies, and launched the first-generation Mirai fuel cell electric vehicle (FCEV) in 2014, followed by the second-generation in 2020. Toyota is also aiming to further contribute to the realization of a hydrogen energy-based society. Initiatives include the modularization of FC components to facilitate the application of FCs to a wider range of products. It is also working to create new value for FCEVs by taking advantage of the abundant power generation capacity of FCs to raise the performance and effectiveness of FCEVs in non-driving situations.

キーワード カーボンニュートラル, 水素社会, 燃料電池, モジュール化, FC システムモジュール, 水素貯蔵モジュール, 新価値創造, FCreation

1 はじめに

1.1 カーボンニュートラル実現に向けた動向

世界各国が地球温暖化対策を世界共通の課題と位置づけ、カーボンニュートラル(以下、CN)の実現に向けて具体的かつ挑戦的なメッセージを打ち出している(図 1)。

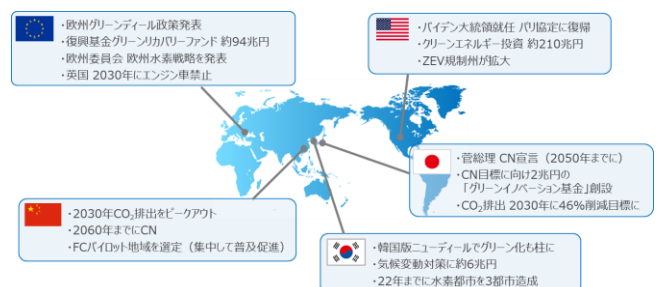


図1 CNに向けた各国の動向

*1 トヨタ ZEV ファクトリー 商用 ZEV 製品開発部

日本では、2020年に菅首相(当時)が「2050年カーボンニュートラル」を目指すと宣言し、2021年4月には、2030年度の新たな温室効果ガス排出削減目標として、2013年度比46%低減という数値を示した。今後、クリーンかつ安価なエネルギーを安定的に供給し、さらなる経済成長を実現することが世界中で求められている。

1.2 エネルギー社会における水素の役割

太陽光発電や風力発電等、再生可能エネルギー由来の電力活用が進むなか、エネルギーの需要と供給のバランスを保つために、エネルギーを「ためる・はこぶ」ことの重要性が高まっている。このような背景のなか、さまざまな方法で「つくる」ことができ、長距離輸送や貯蔵に適している「水素」への期待が高まっている。また、水素は電池に比べてエネルギー密度が高いため、より大きなエネルギーを搭載できることや、充填時間が短くアプリケーションのダウンタイムが少ない等、利便性が高い特長も持っている(図2)。

こうした特長を持つ水素の利活用は、再生可能エネルギーの需要と供給のバランスを補完し、今後のCN化に向けて欠くことのできない取り組みといえる。

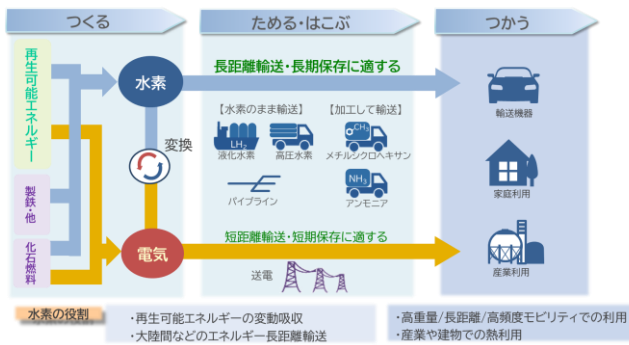


図2 エネルギー社会における水素の役割

1.3 社会への貢献とFCの展開性向上の取り組み

1.3.1 社会への実装ステップ

続いて、水素の利活用に欠かせない燃料電池(以下、FC)技術を社会へ実装するステップについて述べる(図3)。電気化学の技術をベースに、利用者の使用環境に適応した商品群を拡大させ、そしてさまざまなアプリケーションへの展開性を向上させて、社会への貢献を目指す。

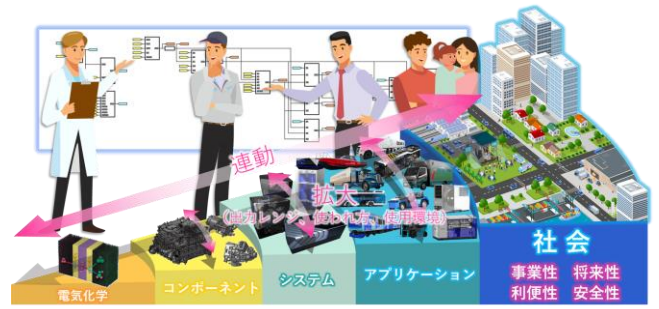


図3 水素/FCを社会へ実装するステップ

社会への貢献の具体例として、災害強靱化等も含めた生活利便性の高い街づくりや、物流や配送の改善、そして低炭素工場モデル化等に取り組んでいる(図4)。



図4 社会貢献への取り組み

1.3.2 FC技術の進化と展開性向上の取り組み

トヨタにおけるFCの技術開発は1992年に開始され、その後、図5に示すように出力密度や燃費の向上、および、システムコストの低減を実現してきた。2014年には初代MIRAI、2020年には第2世代MIRAIの販売を開始した。

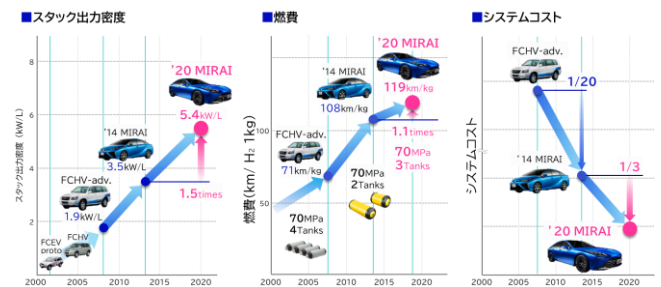


図5 FC技術の進化

水素の利活用の幅を広げるため、MIRAIで培ったFCシステムの技術を活用し、さまざまな利用者にご使用いただくことを目指した「FCシステムモジュール(以下、FCモジュール)」の販売を開始した。

また、MIRAIの水素貯蔵技術を活用し、水素を安全かつ容易に「はこぶ」「つかう」ことができる「水素貯蔵モジュール」を検討している。

さらに、自動車本来の走行性能に加え、走行以外の価値も高めたFCEVの「新価値創造」プロジェクトの検討も進めている。豊富な電力や、静かな車両の空間を掛け合わせることで新たな価値を創り出すことを目指している。

本稿では、これらの「FCモジュール」、「水素貯蔵モジュール」と「新価値創造」の取り組みについて紹介する。

2 FCシステムのモジュール化

CNを実現するには水素の利活用が有効であると考え、電気を必要とするアプリケーションにFCシステムや水素貯蔵システムを要望される方が増えている。ベースとなるMIRAIのFCシステムは車両の搭載制約上、各FCシステム部品が独立して配置されており、他のアプリケーションに適用しづらい。そのため、FCシステム部品をひとかたまりにする『モジュール化』が有効であると考えた。

『モジュール化』は単にパッケージングするだけではなく、使い勝手に配慮した配線・配管のインターフェース(以下、I/F)を用意する等、アプリケーションに適用しやすくした。

さらに、さまざまなアプリケーションに適用できるように、ケーススタディに基づき出力等のバリエーションを用意した。

2.1 FCシステムのモジュール化の狙いとコンセプト

FCシステムの発電部分のモジュール化について紹介する。モジュール化の狙いは以下の2つである。

1点目は、商用アプリケーションへの適用である。商用アプリケーションとは、乗用車以外の商用車(バス、トラック等)、船舶、電車等のモビリティに加えて、建機や定置発電機等のモビリティ以外も含めたアプリケーションを指す。商用アプリケーションは多種多様であり、その出力は数kW~数MWまで幅広いレンジにわたる(図6)。また、耐久性に関しては、例えば大型トラックでは乗用車の数倍になる等、長い稼働時間が求められる。これらの商用アプリケーションに対し、FCスタックや部品を個別設計することは、良品廉価な商品をお届けするという観点で

大きな課題になるため、これまで市場実績があるMIRAIのシステムをベースに+ α の改良を加えて高耐久システムを構築する。

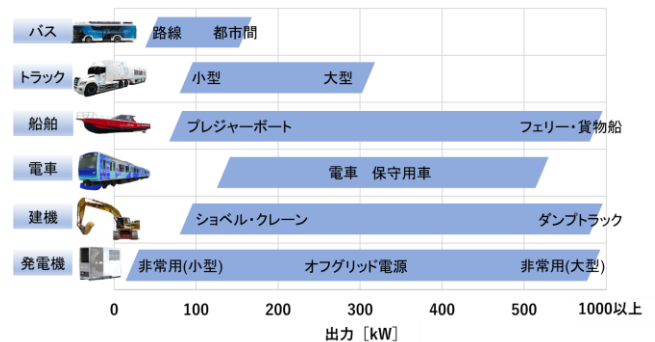


図6 商用アプリケーションの出力レンジ

2点目は、FC化をする利用者の工数低減である。これまでトヨタでは第1世代MIRAIのFCシステムを一部の利用者に外販し、商用アプリケーションへの展開を進めてきた。この取り組みのなかで、安全な発電に至るまでには相当な工数と時間がかかっており、利用者にとって大きな負担になっていた。そこでモジュール化による負担低減を狙った。

上述2つの狙いを達成するため、以下のコンセプトのモジュールを開発した。

- ① 配管・配線をつなぐだけで発電可能なオールインワンのモジュール
- ② 単基で小~高出力ラインアップを用意
- ③ 搭載自由度を上げるため、縦型・横型タイプを開発
- ④ MIRAIのFCシステム部品を一部改良して高出力・高耐久化
- ⑤ 複数接続しやすい一面I/Fにより大出力化に対応
- ⑥ 低圧水素対応等、多様な商用システムへの適用性向上

2.2 オールインワンのモジュール

多種多様な商用アプリケーションに適用でき、かつ短時間でセットアップできることを目指して、第2世代MIRAIのFCシステムのうち、図7の『FC Module』部をモジュール化した。モジュールには心臓部のFCスタック、および水素インジェクタ、水素循環ポンプ等からなる水素システム、エアコンプレッサやインタークーラからな

るエアシステム、FCスタックと高電圧システムの冷却システムとシステムの出口電圧を制御するFC昇圧コンバータ（以下、FDC）を内蔵した。

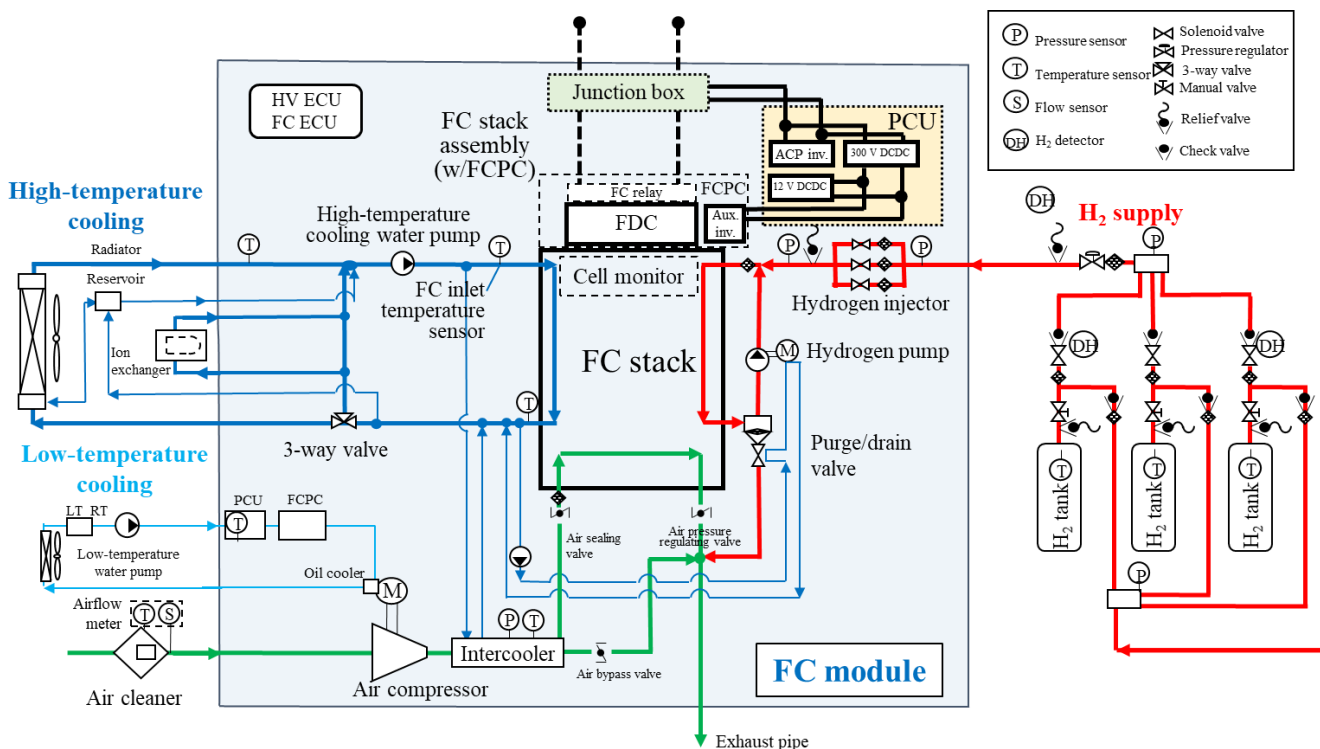


図7 FCモジュールのシステム

本モジュールは、所定の配管に水素、エアを供給し、冷却システムに冷却水を注入すれば発電が可能になる(図8)。一般的なFCシステムはFC電流が操作変数であり、電圧をみて制御を行うため、応答性よくパワーを追従させるのは難しい。一方、今回開発したFCモジュールは、FDCがパワー制御まで行なうように設計されているため、利用者はパワー要求のみ行えばよい。

なお、FDCのスイッチング素子には、MIRAI向けに新規開発したSiCパワー半導体を採用しているため、従来の素子に比べ約80%の損失低減を実現している⁽¹⁾。

またFDCは、FC電圧を利用者のシステム電圧にあわせる役割を持つ。多くの商用アプリケーションは、FCシステムと高電圧バッテリーのハイブリッドシステムで構成されるため、バッテリーのSOCによって時々刻々と変化するシステム電圧に対して、FDCが自動的に調整する(図9)。

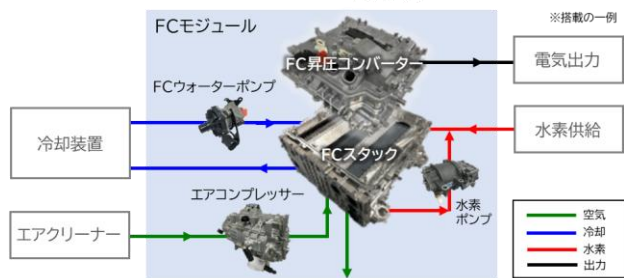


図8 FCモジュールの構成

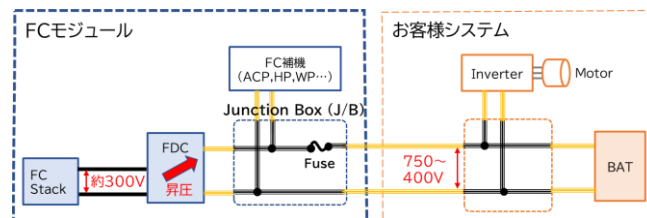


図9 高電圧システム

さらにFDCには、氷点下環境で外部ヒータ等無しでFCシステムが自立起動する運転(生成水の凍結回避のためのFC急速暖機制御)⁽²⁾やFCのインピーダンスをオンボードで計測し、常に最適な発電状態(電解質膜の湿潤状態)を保つ制御⁽³⁾が内蔵される。

一方で、他社のFCモジュールの多くはFDCが内蔵されておらず、利用者は自前でFDCを準備し、上述制御を新たに構築しなければならない。これらの制御構築にはFCスタックやFDCの特性が正しく把握されなければならない。制御開発には多くの工数がかかる。

2.3 FCモジュールのラインアップ

FCモジュールの出力バリエーションは標準基である連続定格出力60kWタイプに加え、フォークリフト等の小電力要求に対応する同8kW(24kW, 50kWも開発中)の小型モジュールと、やや大きな電力要求に対応する同80kWを設定した(表1)。大型トラック等の大電力の要求には本モジュールを複数使うことで対応できる。

商用アプリケーションは、それぞれに要求出力や搭載スペースが大きく異なる。よって、FCモジュール搭載数やその位置もさまざまである。それらに対応するため、出力バリエーションだけではなく、縦型と横型のモジュールを開発した(図10)。

表1 FCモジュールのラインアップ

製品仕様	小型モジュール (豊田自動織機)			縦型モジュール	横型モジュール	
外観						
性能	定格出力[kW]	8	24	50	60/80の2種	
	耐久性 (FL代表稼働パターン)	20,000hr	開発中			
	電圧[V]	48	80	300~400	15,000hr (トラック代表運転パターン) 400~750	
電流[A]	166	300	166	0~133		
	サイズ [L×W×H mm]	542×610×440			890×630×690	1,270×630×410
体格	重量[kg]	約113			約250	約240
	動作環境	スタック温度[°C]	0~75 (最大80)	開発中		-30~75 (最大90)
動作環境	始動可能温度[°C]	0			-30	
	保管温度[°C]	-10~80			-40~90	
	標高[m]	~1000			~3400	
供給	燃料種類	水素	←	←	←	
	燃料組成	SAE J2719	←	←	←	
	供給圧力 [MPa.abs]	0.18~1.6	開発中			0.5~1.6
安全	水素	IEC62282-4-101準拠			UNR-134, ISO26262	
	高電圧	IEC62282-4-101準拠			UNR-100, UNR-118	
耐環境	防塵・防水	IP54	開発中	IP55	IP67(エアコンプレッサ吸気孔除く)	
	振動	JISC60068-2-27		JIS D1601 段階45	ISO19453-6	
	EMC	EN12895		EN12895	IEC61000-4-2,3	
ステータス	開発中 (仕様は変更となる可能性があります)				販売中	



図10 FCモジュール(左:縦型, 右:横型)

縦型と横型モジュールの適用例としては、エンジンコンパートメント(以下、エンコパ)にモジュールを搭載するトラックには縦型を、屋根上に搭載する路線バスには横型を使う。また、大きなパワーを要する大型トレーラーや高速バスには、モジュールを2基以上連結して対応する。さらに大きなパワーが必要な電車や定置発電機にはモジュールを数基から数十基連結する。このように縦型・横型かつ複数の組み合わせで多種多様な商用アプリケーションに対応する(図11)。



図11 商用アプリケーションへのモジュール適用例

2.4 商用アプリケーションに搭載しやすい形状

商用アプリケーションの搭載スペースを調査し、縦型と横型のFCモジュールのサイズを決定した。その代表例として、さまざまなトラックの前後方向に走るメインフレーム間に収まるようFCモジュールの幅(W寸)を決定し(図12)、バスの屋根上や電車の床下に収まるように高さ(H寸)を決定した。

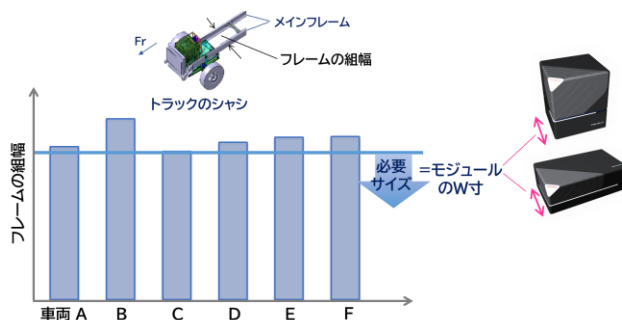


図12 フレームの組幅とFCモジュールのW寸

FCスタックが発電して空気極で生成した水の一部は電解質膜を通して水素極に透過するため、水素系の気液分離器に集めて排水する。MIRAIでは、重力を利用して水を集めるため、気液分離器を最下点に搭載している

(図13). 一方、FCモジュールはH寸を縮めるために一部の配管に駆け上がり部が生じており、重力だけでは気液分離器に水を集められない。そこで、気液分離器を含む水素循環ラインを全て可視化し解析を進めた。配管の経路設計を見直し、また、気液分離器の気液分離性能も向上させ、不要な水を集められるようにした。その結果、規定のH寸に収めることができた(図14)。

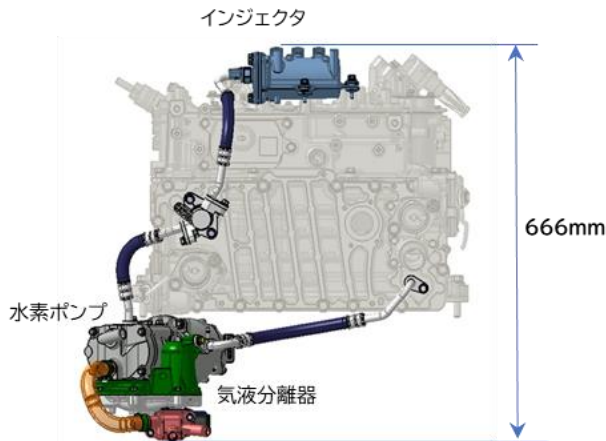


図13 MIRAIのFCシステム側面図

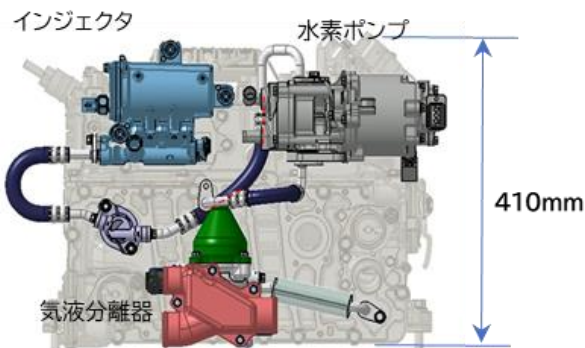


図14 FCモジュール(横型)の側面図

2.5 FCモジュールの高出力・高耐久化

商用アプリケーションは、乗用車に比べ連続定格出力が大きく、また高い耐久性が求められる。そこで、FCシステム部品を総点検して追加開発が必要な部品を洗い出し、FC部品の外形サイズを変更せずに性能向上を図った。以下にその代表例として、FDCとエアコンプレッサを示す。

FDCはチョッパ方式のブーストコンバータであり、連続定格出力を向上させると、スイッチング素子、リアクト

ルやフィルタコンデンサに流れる電流が大きくなる。その結果、発熱量が増え耐久性が低下する。MIRAIではフィルタコンデンサは空冷であるが、下面に高熱伝導の放熱ポッティング剤を充填し冷却水面に接する水冷構造を開発した(図15, 16)。その結果、空冷に比べて約5倍の放熱性能を確保し、連続定格出力の向上と高い耐久性を実現した。

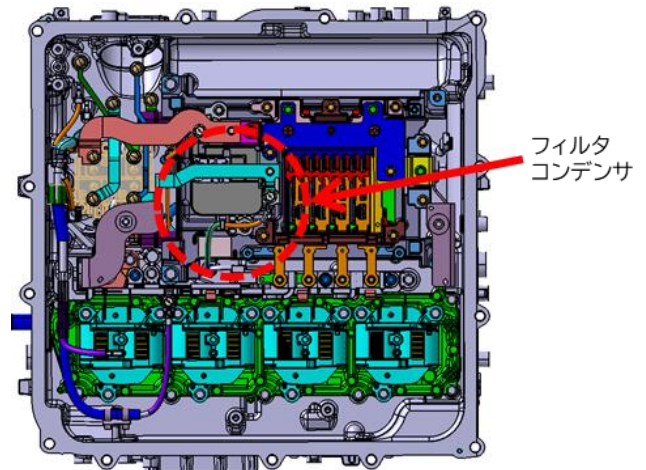


図15 FDCとフィルタコンデンサ

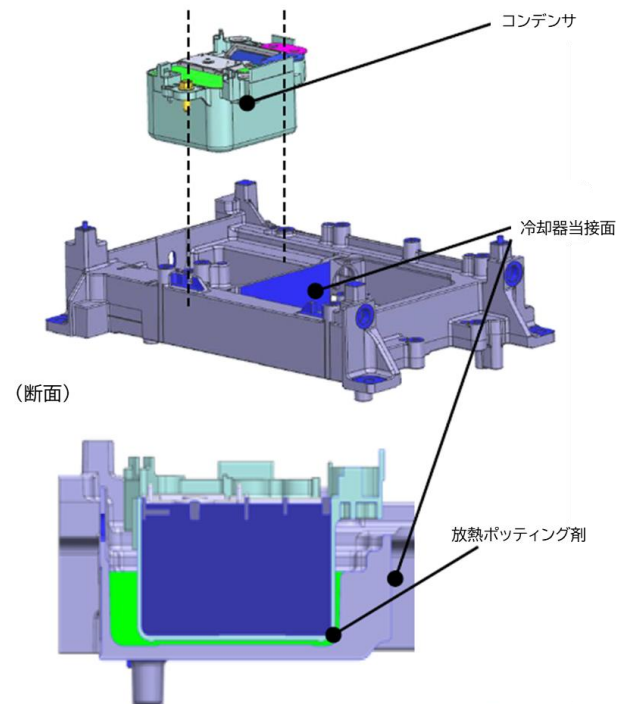


図16 フィルタコンデンサの冷却構造

また、乗用車に比べ商用アプリケーションは総稼働時間が長いため、各回転機械の総回転数が増加する。特にエアコンプレッサはターボ式であり回転数が高いため、耐久性の向上が必要であった。そこでモータとインペラをつなぐ増速機に内蔵されるベアリングの耐久性を改善する等して、乗用車の数倍の耐久性を実現した(図17)。

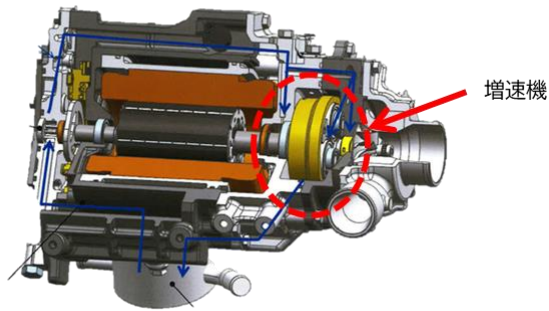


図17 エアコンプレッサの増速機

2.6 商用アプリケーションに接続しやすい一面I/F

FCモジュールは、利用者のシステムに接続しやすいことが重要である。また、大出力が求められるアプリケーションには、FCモジュールを複数使用する必要があるため、FCモジュール同士が接続しやすいI/Fが必要になる。MIRAIのエンコパに搭載しているFCシステムは、MIRAIに最適化され、配管・配線の接続口がさまざまな方向を向いている。FCモジュールでは、配管圧損を抑えつつ、配管・配線を一面に集合させ利便性を上げた(図18)。

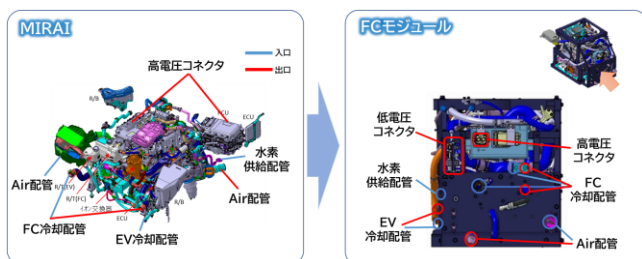


図18 接続口を一面に集めたI/F

2.7 FCモジュール複数接続に対応したCAN通信制御

利用者システムのECUとFCモジュールの制御ECUはCANで通信を行う。FCモジュールを複数基使用する場合、複数のモジュールは全て同じIDのため、同一のCAN

通信では干渉を起こし個別に制御ができない。一方で、個別制御するためにモジュールごとにソフトウェアを分けるのはコストアップにつながる。そこで、12V系コネクタでID端子を作り、端子の短絡パターンによりそれぞれのモジュールにIDを付与できるようにした。これにより、FCモジュールのソフトウェアを分けずに、利用者のECUから同一CAN通信上の複数のモジュールを個別に制御できるようにした(図19)。

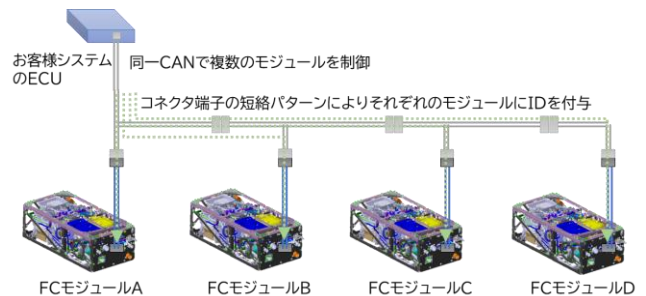


図19 FCモジュールの複数接続

2.8 多様な商用アプリケーションへの適用性向上

利用者手配の高電圧バッテリー、ラジエータ等の冷却系システムのバリエーションに対応できるように、FCモジュールを開発した。また、乗用車とは異なる各製品の規格に準拠させた。これらについて以下に述べる。

2.8.1 多様な高電圧バッテリーへの対応

MIRAIでは、高電圧システムの短絡異常時に、システムのヒューズを使い安全にシステムが止まるように設計している。それに対して、利用者側のバッテリーやヒューズの仕様はアプリケーションでさまざまなため、FCモジュール側でFCシステム部品・ケーブルを保護する必要がある。そこで、短絡時の電流を遮断するためにヒューズ設置の検討を行ったが、既存のものでは高電圧・大電流の仕様に合致するものが無く、新規設計をしてジャンクションボックス(J/B)に内蔵した(図9)。

2.8.2 多様な冷却システムへの対応

FCスタックを効率良く発電させるためには、スタック入口・出口の温度を管理する必要がある。MIRAIでは、ラジエータの冷却特性や配管長さが既知のため、出口にのみ設置した温度センサで制御が可能であった。利用者

手配となるラジエータや配管は、その冷却特性や長さ等がさまざまなため、今回、温度センサをFCスタック入口に追加し(図7)、さまざまな冷却系システムに対応できるようにした。

2.8.3 商用の国際規格への準拠

商用アプリケーションが設置・稼働される環境はさまざまであり、MIRAIよりも過酷な環境が想定される。FCモジュールは防塵・防水、振動、電磁両立性(以下、EMC)の国際規格に準拠するよう開発を進めた(図20)。



図20 国際規格に準拠した耐環境性能

防塵・防水規格は、対象の製品を完全に水中に浸漬させるという乗用車には無い厳しい基準である。そのため、制御を司るECUのケースを新設して保護する等の対策をして、IEC60529:IP67を満足した(エアコンプレッサの吸気孔除く)。

振動規格への対応は、まずFCモジュール内に設置された各FCシステム部品の振れのモード解析を実施した。これに基づきブラケットを設計して共振点をずらし、応力低減と軽量化を両立させ(図21)、ISO19453-6、カテゴリ2を満足した。

EMC規格は、電気・電子に関する国際的な産業規格であるIEC61000-4-2,3を満足した。

これらの対応により、FCモジュールの利用者が改めて規格準拠させる必要が無く、利用者の対応工数が低減できる。

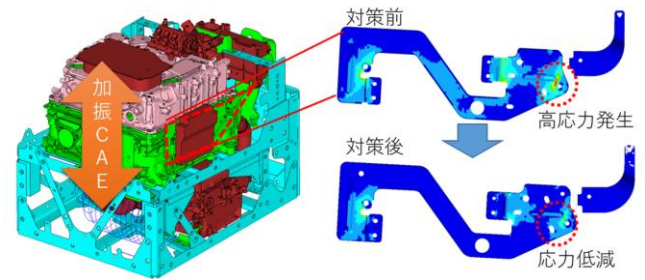


図21 トラックのG入力時のブラケット応力解析

2.9 FCモジュールのサポート/サービス体制

FCモジュールは、第2世代MIRAIの販売開始から3ヶ月後の2021年2月にコンセプトを発表、3月から販売を開始した^(4,5)。その後、トラック、バス、船舶、電車、建設機械、定置発電機等の世界中の多くの方々から問い合わせを受けている。トヨタは、FCモジュールを販売するだけでなく、MIRAIの開発経験に基づいたエンジニアリングサポートを提供している(図22)。

取引先でのFCモジュール導入検討時には、トヨタはFCやFCシステムの理解、水素・高電圧安全の設計、安全法規とその対応、アプリケーションに適したFCモジュールの機種選定をサポートしている。

システム設計時には、トヨタはMIRAIのFCシステムのMBD (Model Base Design) /MILS (Model In the Loop Simulator)を活用し⁽⁶⁾、FCモジュールと高電圧バッテリーの出力比率の検討、FCシステム部品の寿命試算、アプリケーションの水素消費量の試算等をサポートしている。

システム立上げ時には、トヨタは取引先の評価ベンチ等に立ち会い、セットアップをサポートしている。

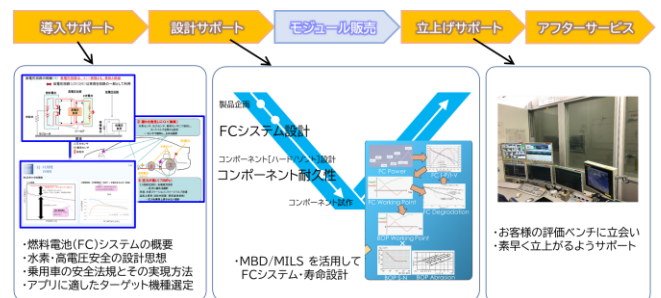


図22 FCモジュール導入・設計・立上げのサポート体制

このFCモジュールに関しては、乗用車のように海外の各拠点にディーラやサービス体制が無い。そのため、トヨタグループのネットワークを活用し、世界中の利用者がFC化をスムーズに進められるように、サービスの体制構築を進めている(図23)。



図23 世界中の利用者にサービスを提供

2.10 FCモジュールの展開状況

現在世界中の利用者と力をあわせて進めているプロジェクトの一例を示す(図24)。乗用車の開発を中心にしてきたトヨタにとって、多くのプロジェクトが初めての挑戦であり、日々気付きや学ぶことの連続である。CNの実現という志をともにする多くの利用者との挑戦はまだ始まったばかりであり、ともに成長、改善を積み重ねていきたい。



図24 世界中の利用者と進めるFC化の取り組み

3 水素貯蔵モジュール

CNの実現に向けて、鉄道・船舶・定置式発電機や港湾での荷役機器等の自動車以外の分野でも水素を活用したいという多くのご要望をいただいている。しかしながら、ここで直面したのが水素を「はこぶ」「つかう」ことの

難しさである。現在、水素を「はこぶ」ためには、主に金属製高圧水素タンクからなるカードルが使用されているが、重量が重いことに加え、上限圧力が一般的に20MPa程度であり、輸送効率が高いとはいえない。また、幅広い分野で水素を「つかう」ためには、さまざまな商用アプリケーションに必要な水素量にあわせたタンクの提供、ならびに、利用者が安心して利用できる安全性の確保が必要である。このため、以下のコンセプトの水素貯蔵モジュールを開発している。

- ① さまざまな商用アプリケーションに必要な水素量にあわせたバリエーションを用意
- ② MIRAI向けに開発した70MPaの樹脂ライナを用いたCFRP製高圧水素タンク(以下、樹脂製高圧水素タンク)の採用による輸送効率向上
- ③ 異常検知・自動停止機能を備えた安全ユニット導入による自律安全の確保

3.1 高圧水素タンクの開発

はじめに、水素貯蔵モジュールを構成する樹脂製高圧水素タンクについて述べる。MIRAIは、軽量化のために樹脂製のライナを用いた高圧水素タンクを採用している(図25)。高圧水素タンクに貯蔵される水素量はFCEVの航続距離に直結し、FCEVの利便性に大きな影響を与える。自動車に高圧水素タンクを配置する際には、スペース面で課題になることが多い。このため、搭載可能なスペースにより隙間なくタンクを搭載できるように、複数のサイズの高圧水素タンクを開発してきた(表2)。その際に、タンク製造の品質安定性のため、タンクの外径を同一にすることにした。これにより、製品の加工基準である軸中心を固定させることができ、安定した品質でのタンク製造が可能となった。

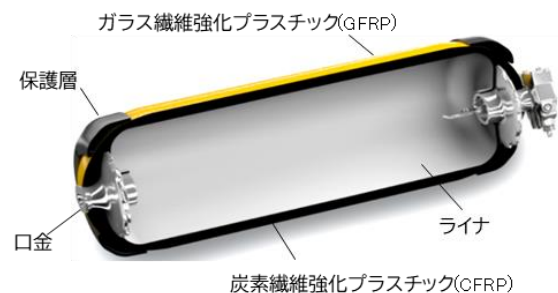


図25 MIRAI向け高圧水素タンク

表 2 高圧水素タンクのラインアップ

	G2-1	G2-2	G2-3	G2L-1	G2L-2	G2L-3	G2XL-1
製品仕様							
公称使用圧力	MPa 70						
長さ	mm 1,467	1,201	684	2,060	1,850	1,650	2,060
直径	mm 299	299	299	486	486	486	702
内容積	Litter 64.9	52.0	25.3	230.0	202.0	176.0	457.0
タンク質量	kg 43.0	36.7	22.6	136.0	118.0	100.9	243.8
水素搭載量 @公称使用圧力	kg 2.6	2.1	1.0	9.4	8.2	7.2	18.7
適合規格・基準	中国団体標準 T/CATSI 02 007-2020 UN-R134		UN-R134 (2022年中取得予定)				

3.2 水素貯蔵モジュールの開発

MIRAI 向けに開発した 70MPa の樹脂製高圧水素タンクシステム(図 26)をベースに、水素貯蔵モジュールの開発に取り組んでいる。構成部品は、複数の水素タンクとそれらを接続する高圧配管や圧力センサ等に加えて、異常時に水素供給を遮断する主止弁とそれらを制御する ECU 等である。また、FC モジュールへ直接接続して使う場合も想定し、水素圧力を調圧する高圧レギュレータを追加することも可能である。

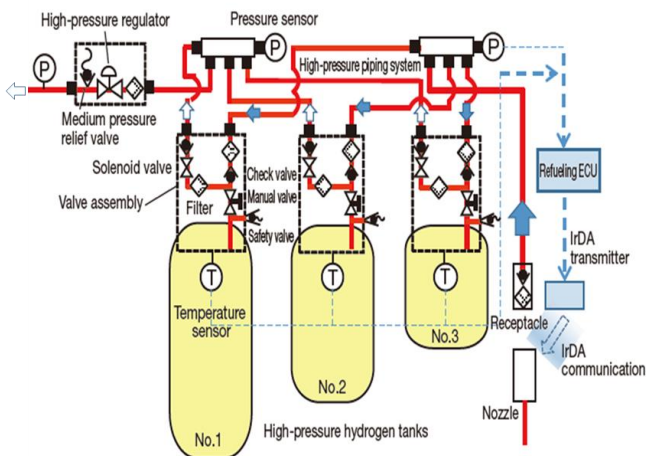


図 26 MIRAI 向け高圧水素タンクシステム

3.2.1 水素貯蔵モジュールのラインアップ

今回発表したコンセプトモデルは、樹脂製高圧水素タンクを 4 本組み合わせたモジュールである(図 27)⁽⁷⁾。ラインアップとして、タンク内容積違いの 4 つのタイプを用意し(表 3)、さまざまな用途に対応可能とした。TC4 は定置式発電機、TC8・TC10 は小型トラック、小型バス

等のモビリティ、TC36 は大容量水素を必要とする船舶や港湾の荷役機器等での活用を想定している(図 28)。

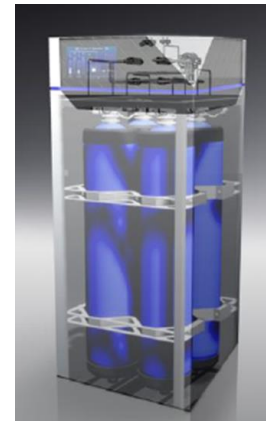


図 27 水素貯蔵モジュールコンセプト

表 3 水素貯蔵モジュールのラインアップ

タイプ	TC4	TC8	TC10	TC36
外観				
サイズ	769×769×1,177mm	769×769×1,694mm	769×769×1,960mm	2684×906×2,464mm
質量	約110kg	約180kg	約220kg	約1,000kg
タンク種類	G2-3×4本	G2-2×4本	G2-1×4本	G2-L1×4本
タンク内容積	101L	208L	260L	900L
水素搭載量	4.0kg	8.4kg	10.4kg	約36.0kg
タンク使用圧力	70MPa			
ステータス	開発中 (コンセプト仕様)			



図 28 水素貯蔵モジュール活用イメージ

3.2.2 輸送効率の向上

水素貯蔵モジュールの利点は、質量効率(=重量あたりの水素量)の高さである。軽量の樹脂製高圧水素タンクを用いること、ならびに、充填圧力を 70MPa に高めることで、従来の金属製高圧水素ポンペを用いたカードルと比較して質量効率を約 4 倍に向上できる(図 29)。結果として、水素を「はこび」回数を大幅に低減できる。

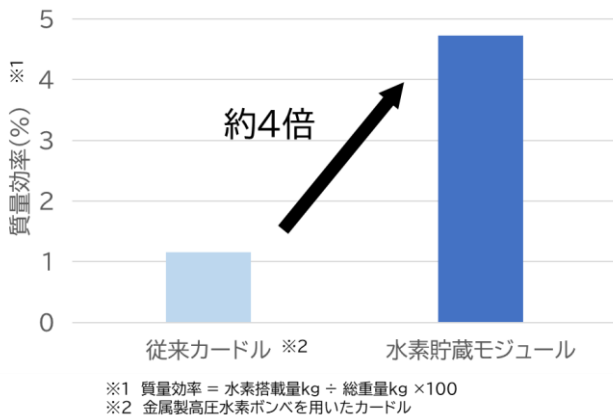


図 29 水素貯蔵モジュールの質量効率

3.2.3 自律安全機構

誰もが水素貯蔵モジュールを簡単に利用できるように、水素貯蔵モジュールは高い安全性を備えていることが重要である。そのため、モジュールの稼働状態を自動監視する安全装置を搭載させ(図 30)、外部からの異常振動を検出し、瞬時に水素供給を停止する等の安全機構を持たせる(図 31)。今後、利用者の使用環境における評価・実証を進め、システムの完成度を上げていく。



図 30 システムモニタリング

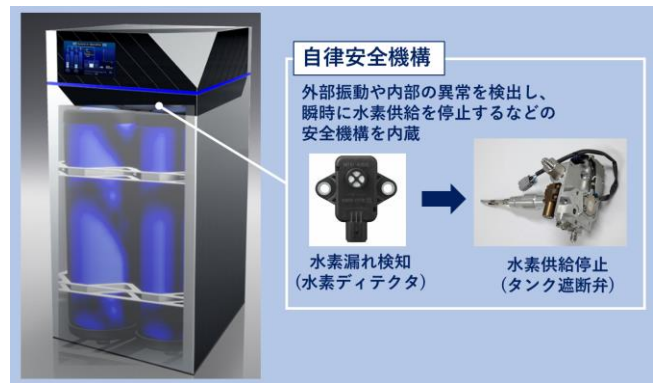


図 31 自律安全機構

3.3 水素貯蔵モジュール開発に繋がる取り組み事例

2022年3月のスーパー耐久シリーズにて、樹脂製高圧水素タンクで水素を「はこび」実証を、経済産業省他の認証を得て行った。複数の樹脂製高圧水素タンク(16本×2セット)に水素を 45MPa まで充填することと、また、タンクが軽量になったことで輸送トラックへの容器搭載量を増やすことができたことによって、金属製高圧水素タンクカードルに比べ約 4 倍の水素輸送量を実現した(図 32, 33)。なお、ゼロエミッションである FCトラックを用いて水素を輸送した。

一方で 70MPa の樹脂製高圧水素タンクを自動車用途以外に使用するための基準は存在しておらず、このタンクを用いて水素を「はこび」ために克服すべき課題はまだ多い。政府も、安全を担保しながら水素利活用を拡大するためのさまざまな検討を進めており、トヨタとしても国の検討と歩調をあわせ、さらなる水素利活用の拡大に向けた仲間づくり・実証を進めていきたい。



図 32 樹脂製高圧水素タンク製 水素カードル

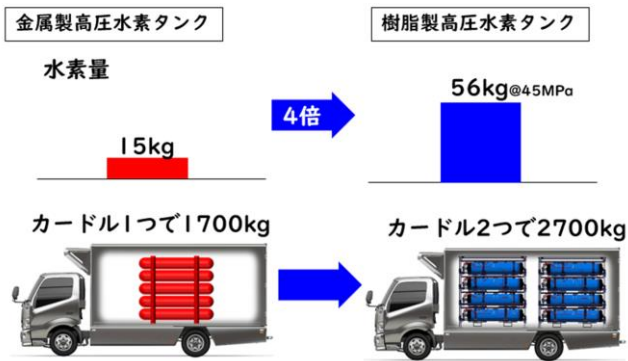


図 33 水素カードルの運搬の状況

4 新価値創造の取り組み(FCreation)

4.1 FCreationの狙い

『FCEV が提供できる水素の新しい価値を利用者とともに考え、利用者のお役に立つ』、『海外のシステムインテグレータに負けない開発スピードで、「はやい、うまい、やすい」を実践する』、これらの想いで始めたのが FCEV の新価値創造プロジェクトであり、社内ではこの取り組みを FCreation(エフ クリエーション)と名付けて推進している。FCreation によって製作された車両にはいくつかの共通点がある。

まず車両製作は、「コンバージョン方式」を採用しており、内燃機関のコンベ車をベースに、FC スタック、高圧水素タンク、ハイブリッドバッテリーおよびモータ等のコンポーネントを用いて FCEV 化する(図 34)。用いるコンポーネントは、乗用 FCEV の MIRAI や FC バスの SORA 向けに開発されたユニットを流用する。但し、ベース車が既に電動車であれば、そのまま活用する。



図 34 コンバージョンによる車両製作

次に、車両に織込む新しい価値は、ゼロエミッション、静粛性という素性に加えて、FCEV の特長である「大容量電力の給電機能」と「車両の空間」を掛け合わせることで創り出している。このため、ベース車両にはバン、マイクロバス、大型バス等の車室内空間が大きい商用車を用いている。また価値の具現化にあたっては、医療であれば病院、防災であれば自治体の防災課等、その道のプロフェッショナルの方々に積極的に助言をいただいている。

完成した車両は、社内はもとより、社外の多くの利用者に体感していただいている。そのような機会をつうじて、水素/FCEV を身近に感じることで、さらなる開発へのフィードバックを得ることの双方を狙いとしている。次項にて、各車両について具体的に説明していく。

4.2 商用バンを用いた移動オフィス/キッチンカー

4.2.1 FC移動オフィス製作の狙い

近年の働き方改革による時間効率化の観点から、移動中や移動先でのスキマ時間を業務に活用することが求められている。例えば駅の構内や新幹線の移動中、および飛行機の待ち時間にビジネスパーソンがリモート会議をする様子も日常になりつつある。車内での業務も例外ではなく、移動オフィスのニーズが高まっている。しかしながら、ノートPCやタブレットが置けるテーブル類や移動中の安定した通信等の業務環境に加え、長時間停車時に発生する排気ガス、車室内外の騒音、振動への対応等、コンベ車での移動オフィスとしての使用にはさまざまな課題がある。

これらの課題に対し、水素による給電機能、静粛性、ゼロエミッションといった特長を活かし、FCEVにて移動オフィスを製作することとした。

4.2.2 FC移動オフィスのコンセプト

図35に、「FCV Intelligent Office(インテリジェントオフィス)」と名付けたFC移動オフィスの外観と車内の様子を示す。コンセプトとして、豊富な電力を活かし、平常時は車内で移動中のリモート会議、資料作成、休息等に使用する。万が一、災害が発生したときは車両自体を「移動する災害対策本部」として使用することを目指した。乗車人数は1列目2人、2列目1人、3列目2人の計5人とした。1列目と2列目のあいだに仕切り板を設置、後席2

列を対面シート型のオフィス空間とした。また、車内にはテーブル、コンセント、モニタ、カメラ、スマホ充電器、空気清浄機および走行中トンネル内でも途切れづらい高性能Wi-Fiルータ等を設置した。



図 35 FC 移動オフィス：
「FCV Intelligent Office」

4.2.3 FC移動オフィスの車両製作

ベース車にはFCユニットの搭載性を考慮して、コンバ車のグランエースを選定。改造規模を小さくするため、ベース車のバンジョー型ディファレンシャル等をそのまま活用した。一方、FCスタック、水素タンクはともにMIRAIのユニットを流用し、FCスタックはエンジンコンパートメントに、2本の水素タンクは床下に搭載。ハイブリッドバッテリーは車室内の運転席と助手席間のセンターコンソールの位置に、モータはトランスミッションがあったスペースに配置してプロペラシャフトでつなぐ構成とした(図36)。また、ECUのシステム構成は、ベース車ECUとFCシステムECUのあいだに、新たにインターフェースECUを用いることとした。車両の水素搭載量は約5.2kgであり、航続距離は社内測定値で約400kmである。移動中でも車内で5個あるコンセントから合計3kWの電力を使用でき、さらに停車中であれば外部給電機を介して最大9kWの電力が使用可能である。これらの電力により上述のコンセプトを実現可能にした。

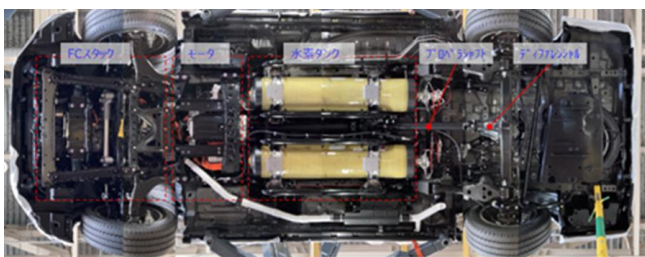


図 36 FC 移動オフィス床下写真

4.2.4 FC移動オフィスの活用事例

図37はクルマのレース場のパドック裏で、FC移動オフィスを活用している事例である。ドライバーやチームメンバーが打ち合わせ、リモート会議等に使用。訪問した来客者との打ち合わせにも用いられている。同時に、設置されたドライバー控え室テント内の照明やモニタ、エアコン等への給電も実施している。他のパドックで通常聞こえてくる発電機の音が無いことで、コミュニケーションが容易になることは実際にやってみて感じた価値である。



図 37 FC 移動オフィスのレース場での活用

4.2.5 FCキッチンカーのコンセプトと車両製作

もう1つのバン活用例として、FCキッチンカーである「FCV Express Diner(エクスプレス ダイナー)」を示す(図38)。災害時に避難された方々へ、『炊き立てのご飯、汁物や電子レンジで調理された冷凍食品等、温かくて美味しい食事を多くの方々に提供する』ことを目指した。外部給電機を介して最大9kWの電力が使用でき、また、単相200VのIH調理器も使用できる等、従来のキッチンカーにはなかった『店舗並みの電力活用』が可能である。

ベース車両はグランエースより一回り大きい豪州仕向けのハイエースを用いており、FC移動オフィス同様にMIRAIのFCスタックや水素タンクを流用している。



図38 FCキッチンカー:「FCV Express Diner」

4.2.6 FCキッチンカーの活用例

図39左に、レース会場での調理の様子を示す。その他、フードキャンプでの青空レストランや、夏祭り等の屋外イベントでキッチンカーとして活用している。加えて、電気を必要とする近くのキッチンカーへも給電できる(図39右)。

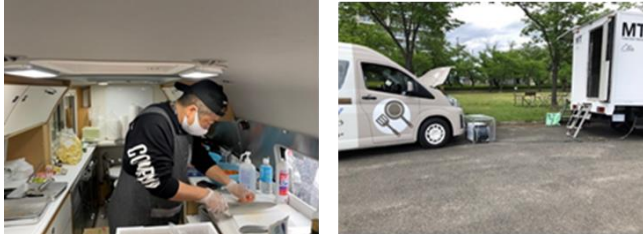


図 39 キッチンカーとしての活用(左)と給電(右)

4.2.7 FC商用バンのさらなる展開

FC移動オフィスやFCキッチンカーの他に、FC商用バンは他の用途にも展開されている。図40は移動販売車である。FCキッチンカー同様に豪州仕向けハイエースを用いて製作し、社内評価を実施。福島県双葉町と浪江町には、特定復興再生拠点区域等、買い物支援の需要が高い地域があり、2022年6月より、このような地域で移動販売車が使用されている。豊富な電力を活用した冷蔵・冷凍庫等を備え、最大約500品目を陳列できる。運行終了後の車両停車中でも引き続き電力を活用できるので、店舗に戻った後に要冷蔵・冷凍の商品をクルマから移動させる必要が無い等の特長がある。今後もFC商用バンをさまざまな用途に用いることを検討していく。



図 40 移動販売車としての活用

4.3 マイクロバスによる医療車/送迎車

4.3.1 FC医療車製作の狙い

バンよりも一回り大きいマイクロバスであるコースターのFCEV化も進めている。図41は、熊本赤十字病院の皆様と共同実証を進める、FC医療車「Doctor Car

NEO」⁽⁸⁾である。FCEVの豊富な電力を医療の現場で活用することにより、平常時には地域医療の可能性を広げ、災害時には被災地での医療サービスに加え外部への電力供給もできる。



図 41 FC 医療車:「Doctor Car Neo」

4.3.2 FC医療車のコンセプトと具現化

車内での電力を活用し、高度なモバイル医療を目指している。また、FCEVとしての静粛性や低振動により、医療スタッフや患者様のストレス軽減の可能性を検討していく。

この医療車は、MIRAIに搭載されたFCシステムを採用し、高出力かつ大容量の給電能力を有している(出力9kW、電力量90kWh)。車内には空調とHEPAフィルター(High Efficiency Particulate Air Filter)を備えた排気装置を搭載し、乗員の活動時の感染予防性を高めている。

4.3.3 FC医療車の車両製作

FC医療車の搭載レイアウトは、車両前方にFCスタック、フロア下に水素タンクを3本搭載している。約7kgの水素量であり、航続距離は社内測定値で約210kmである。

4.3.4 FCマイクロバスを活用した送迎車製作

FC医療車に加えて、人を輸送する送迎車も製作している。「FCV Executive Lounge(エグゼクティブ ラウンジ)」と名付けた車両は、FCEVの特長である静粛性を活かした快適な移動が可能である。各シートにコンセントおよびUSBポートがつけられており、車室内には大型モニターも設置されている。社内ではこの送迎車を活用し、豊田市のトヨタ自動車本社への来客を駅まで送迎することも多く、好評をいただいている(図42)。



図 42 FC 送迎車:「FCV Executive Lounge」

4.3.5 FCマイクロバスの展開

その他にも、FCマイクロバスは企業活動のCNを推進する一環として、社内の循環バスに使用されている(図43)。単に人を輸送するだけでなく、停車中においてもクリーンに電力活用できるため、シートを脱着・可動式とし対面での打ち合わせも可能にしている。



図 43 FC 社内循環バス:後部座席は対面シートも可能

4.4 Moving e

4.4.1 狙い、コンセプト

近年、台風や豪雨等の災害により送電網がダメージを受け、家庭や避難所に電気が届かないという問題が発生している。本田技術研究所(Honda)とトヨタは両者の技術を持ち寄り、燃料電池バス(FCバス)と可搬型外部給電器・可搬型バッテリーを組み合わせた移動式発電・給電システム「Moving e」を構築した。大容量水素タンクを搭載するFCバスを電源とし、可搬型外部給電器・可搬型バッテリーを用いてバスから電気を取り出し、電気のバケツリレーで電気製品に電気を供給することができる(図44)。

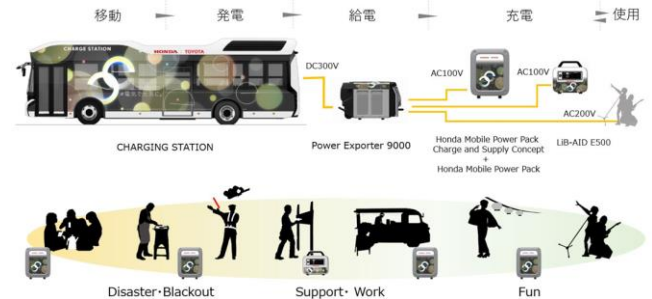


図44 Moving e

トヨタのFCバス「CHARGING STATION」は、広域で給電活動が実施できるように搭載水素量を増やした。具体的には、従来型の「トヨタFCバス」をベースに、高圧水素タンクの本数をほぼ倍増させて水素搭載量を大幅に増加させ、片道100km、往復200kmの走行を前提に、50人規模の避難所生活3日分の電力を供給できる水素量とした。給電の取り出し口についてもベース車の1口に対して2口化することで、9kWを2系統で取り出せるようにした(図45)。



図45 CHARGING STATION

災害等による停電時にはHondaの可搬型外部給電器「Power Exporter9000」を介して、発電した電気を可搬型の大容量バッテリー「Honda Mobile Power Pack」や「LiB-AID E500」に貯め、電気製品に電気を供給する。可搬型バッテリーを使用することで、避難所での各居住スペースや車室内等へ持ち運んでの使用が可能となる。

4.4.2 平時有事のMoving eの実証実験例

「Moving e」は移動式の発電・給電システムであり、災害時には災害対応の一助として被災地等で電力供給を行う一方、平常時にも屋外イベント等で日常的な活用が可能な「フェーズフリー」のシステムを目指している。以下に災害時想定と平常時に実施した実証実験の事例を紹介する。

最初に、災害時を想定した実証実験を紹介する。災害発生時の避難所を模擬して、真冬の京都府京都市の体育館にダンボールブースを設定し、実際に一昼夜を過ごして電気機器の消費電力を確認した(図46)。この実験の結果から、想定していた200kmの走行も含みながら

50人規模の避難所生活3日分に必要な電力を供給できることの確認ができた。電力消費は、食事1日3食、12時間の照明、個人ブースの電気毛布24時間使用の想定で試算した。暖房に必要な電力等は季節によって異なる。



図46 非常時を想定した実証実験

次に、平常時の活用事例を紹介する。屋外イベントではその場に電源が無い場合があるため、そのような状況下において「Moving e」による給電を活用した。一例として福島県いわき市のイベントに参加した事例を示す(図47)。屋台10店舗とミニステージに電力供給をした結果、1店舗にHonda Mobile Power Pack Charge & System Concept 1個を使用する前提で、Moving eのシステムで同時に最大18店舗への電力供給ができることを確認した。



図47 平常時の活用事例

その他の事例として、新型コロナ対応としてコンサート会場入り口の抗原検査エリアの電気機器に給電する実証実験も実施した(図48)。Moving eやその他のFCEVから図48の右側の検査エリア(白色のテントエリア)に給電を行った。給電先は、検査エリアの照明や暖房器具、換気装置等である。



図48 コンサート会場における給電の活用事例

上述のような実証実験を実施することで、非常時における避難所等での電力供給だけでなく、このMoving eのシステムが平常時においても移動式発電・給電システム

として活用できることが確認できた。

災害時に貢献できることは大変重要ではあるものの、実際に遭遇することはあまり多くない。そのため今後の課題として、いかに平時活用をするかということがフェーズフリーの観点でも、導入の費用対効果の観点でも重要になってくる。

5 おわりに

MIRAIをご愛用いただいている利用者はじめ、開発協力各社、サプライヤ各社、水素インフラ各社、関係省庁、自治体等、皆様のご協力により、本検討を進めることができました。感謝の意を表します。

引き続き、水素社会の実現に向けて水素を「つかう」アプリケーションの充実と拡大に尽力し、「つくる・はこぶ・ためる」の関係者の方々と協力し、社会へのさらなる貢献を目指す。

■参考文献

- (1) 弓田修, 加藤裕康ほか:第2世代FCシステム開発, TOYOTA Technical Review, Vol. 66, Feb. 2021, p.16-21
- (2) 今西啓之, 真鍋晃太, 小川朋也:氷点下環境での燃料電池急速暖機制御の開発, 自動車技術会, Vol. 71, Oct. 2017, p. 45-50
- (3) 今西啓之, 井漕好博:燃料電池車におけるコア技術, 自動車技術会, Vol. 72, Sep. 2018, p35-41
- (4) カーボンニュートラルに向けた水素活用の促進を目指し, 燃料電池システムをパッケージ化したモジュールを開発,
<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/34799387.html>
- (5) TOYOTA fuel cells, <https://www.toyota.co.jp/fuelcells/jp/index.html>
- (6) Naoki Tomi, Shigeki Hasegawa, et al.: Development of Air Supply Controller for FCV Based on Model-Based Development Approach, SAE international, Apr. 2021, 2021-01-0742

- (7) トヨタ, 樹脂製高圧水素タンクを活用した貯蔵モジュールを開発,
<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/36999981.html>
- (8) 熊本赤十字病院, トヨタ自動車株式会社 : 熊本赤十字病院とトヨタ 世界初の燃料電池医療車の活用実証を開始, 熊本赤十字病院, <https://www.kumamoto-med.jrc.or.jp/wp-content/uploads/医療車の走行実証に関する資料.pdf>, (参照 2021. 03. 31)

■著者



今西 啓之



矢橋 洋樹



浜田 成孝



渡辺 祐介



折橋 信行

水素エンジンの異常燃焼抑制技術

Abnormal Combustion Control Technology for Hydrogen Engines

松原 直義 *1

Naoyoshi Matsubara

金子 和樹 *1

Kazuki Kaneko

宮元 敬範 *1

Yoshinori Miyamoto

高橋 大志 *1

Daishi Takahashi

横尾 望 *1

Nozomi Yokoo

中田 浩一 *1

Koichi Nakata

要旨

カーボンニュートラル(CN)社会の実現に向け、再生可能エネルギーから作られる水素の活用が期待されており、運輸部門においては燃料電池自動車(FCEV)に加えて水素エンジンの検討がなされている。水素はガソリンと比較して着火しやすいという特性があるため異常燃焼が生じやすい。本論文では、水素エンジン特有の異常燃焼の発生メカニズム解析とその抑制技術について検討した。

Abstract

The use of hydrogen produced from renewable energy is regarded as a promising way of helping to achieve a carbon neutral society. In the transportation sector, studies are being carried out into hydrogen engines as well as fuel cell electric vehicles (FCEVs). Hydrogen is easier to ignite than gasoline and is therefore more susceptible to abnormal combustion. This article analyzes the particular abnormal combustion mechanism of hydrogen engines and examines technologies capable of controlling this phenomenon.

キーワード カーボンニュートラル, 水素エンジン, 異常燃焼, プレイグニッション, バックファイア, 着火, 点火プラグ

1. 背景

カーボンニュートラル(CN)社会の実現に向け、再生可能エネルギーから作られる水素の活用が期待されており、水素エネルギー社会の実現に向けたさまざまな取り組みが行われている⁽¹⁾。運輸部門においても、圧縮水素はエネルギー密度が高く航続距離を確保できる利点から注目されており、2014年に燃料電池自動車(FCEV)が発売されて以来水素の活用が進んでいる。さらに近年では、欧州を中心に大型商用車向けの水素エンジンの研究が行われている。これらのCNに向けた取り組みを加速すべく、Super耐久レースへの水素エンジン車両の参戦を

つうじて、水素をはじめとしたCN燃料を、つくる・はこぶ・つかう ための仲間づくりや研究開発が進められている。

水素エンジンの課題の一つに異常燃焼がある。水素はガソリンと比較して異常燃焼が生じやすく、高負荷運転が難しい。本論文では、水素特有の異常燃焼のメカニズム解析とその抑制技術について検討した。

2. 水素燃焼の特徴

表1に示すように、水素は最小点火エネルギーがガソリンの10分の1以下と着火しやすく、燃焼速度も5倍以上と非常に速いため、希薄な燃料でも安定して着火・燃焼が可能であり、燃焼温度低減による熱効率の向上が期待される。

*1 CNカンパニー CN開発部

表 1 燃料特性の比較⁽²⁻³⁾

	水素	メタン	ガソリン
分子量 (g/mol)	2	16	70~90
密度 (kg/m ³)	0.084	0.651	740
拡散係数 (m ² /s)	6.66 × 10 ⁻⁵	2.14 × 10 ⁻⁵	0.5 × 10 ⁻⁵
熱伝導率 (W/m・K)	0.168	0.030	-
可燃範囲 (Vol%)	4~75	5~15	2~10
最小点火エネルギー (mJ)	0.02	0.28	0.25
燃焼速度 (m/s)	2.65	0.4	0.4~0.5

また、図1に示すように、水素はガソリンの代表的な成分であるイソオクタンと比較して、高圧場における着火遅れ期間が長く、燃焼期間中に発生する自着火(ノッキング)が生じにくいという優れた特徴を持つ。しかし、低圧かつ高温場では着火遅れ期間が短く、異常燃焼が生じやすいという背反も併せ持つ。図2に示すように、水素エンジンはガソリンと同様、火花点火によって燃焼の開始時期を制御している。点火時期より早期に着火(プレイグニッション)する異常燃焼が生じるとエンジン筒内の圧力の最大値が過度に高くなるため、設計許容値を超過することが懸念される。そのため、エンジンの耐久性を確保するには異常燃焼の発生を抑える必要がある。

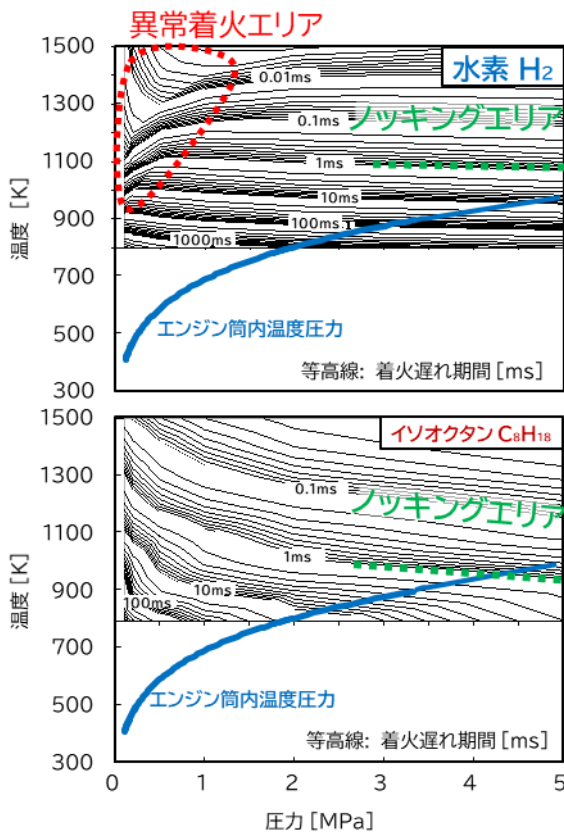


図 1 水素とイソオクタン(100RON)の着火遅れマップ

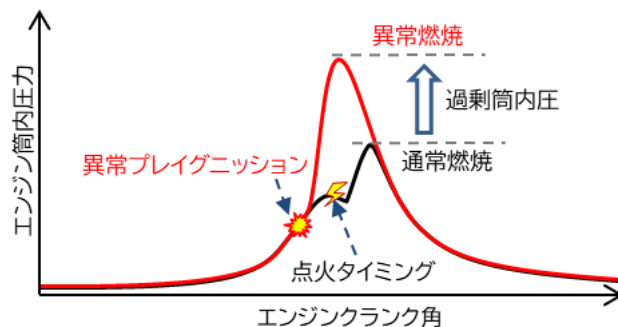


図 2 通常燃焼と異常燃焼(プレイグニッション)の比較

3. 水素エンジンのプレイグニッション

水素エンジンのプレイグニッションは、着火現象から大別すると、①吸気行程自着火(バックファイア)、②暴走型プレイグニッション、③散発型プレイグニッションに分類される。それぞれの事象について発生要因の解析と対策の検討を実施した。

3.1 吸気行程の自着火(バックファイア)

バックファイアは主に空気と水素を混合してから筒内に吸入する方式のエンジンで生じる。図3に示すように、吸気行程中に混合気の自着火が生じると、混合気が圧縮前に全て燃え尽きるために、ピストン圧縮後の通常点火時には燃焼しないことから出力を得られない。また、吸気行程中は吸入バルブが開いているために、爆発音をともなう急速な燃焼により燃焼ガスが高速で吸気ポートを逆流することで、吸入ポートや吸気マニホールドが想定以上の高温高圧の燃焼ガスにさらされる懸念もある。

バックファイアの着火源は筒内の高温の残留ガスであると推定されている。その理由としては、筒内に残留した前行程の既燃ガスの量や温度によって発生の有無に感度がみられ、また、エンジンの筒内壁温度や点火プラグの温度には感度がみられなかったためである。

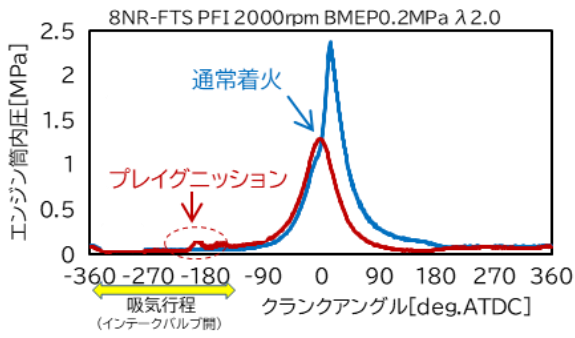


図3 吸気行程自着火の1例

バックファイアが水素で生じやすい要因としては、図4に示すように大気圧付近の低い圧力状態において着火遅れ期間が特異的に短くなるためであると考えられる。

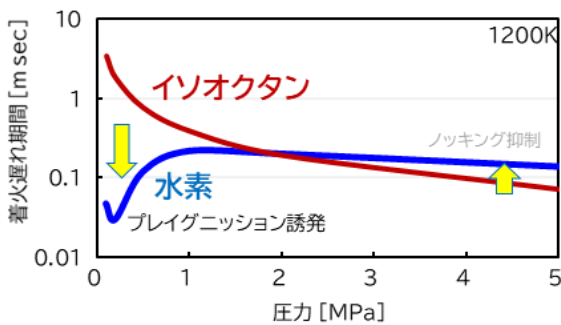


図4 水素とガソリンの着火遅れ期間の圧力感度比較

バックファイアの対策の一つは、筒内残留ガスの温度を十分低下させることが有効である。例としては空気量を増加させるリーン燃焼や、排気ガスを混合させるEGR(Exhaust Gas Recirculation)燃焼が挙げられる。ただし、空気希釈する場合は、図5より700~750℃の温度帯で自着火しやすくなるという特異な性質があり、かえってバックファイアが生じやすくなるため注意が必要である。

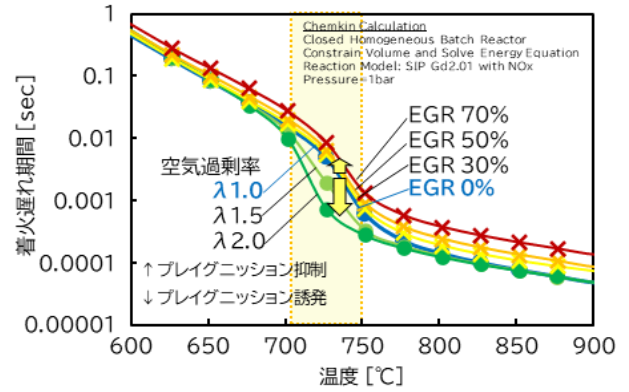


図5 水素の着火遅れへの空気希釈・EGR希釈の影響

またもう一つの対策としては、図6のように燃料をあらかじめ混合せず、残留ガスと空気と十分混合して温度が低下した後に燃料を混合する筒内直接噴射技術が考えられる。バックファイアを防止して高負荷域まで運転するためには大変有効な手法である。ただし、直噴技術を用いる場合においても、高温物や局所的な高温ガスが存在すると水素噴流に接触してプレイグニッションが生じる可能性があるため、着火源をなくす対策や噴流と着火源の距離を遠ざける対策が重要である。

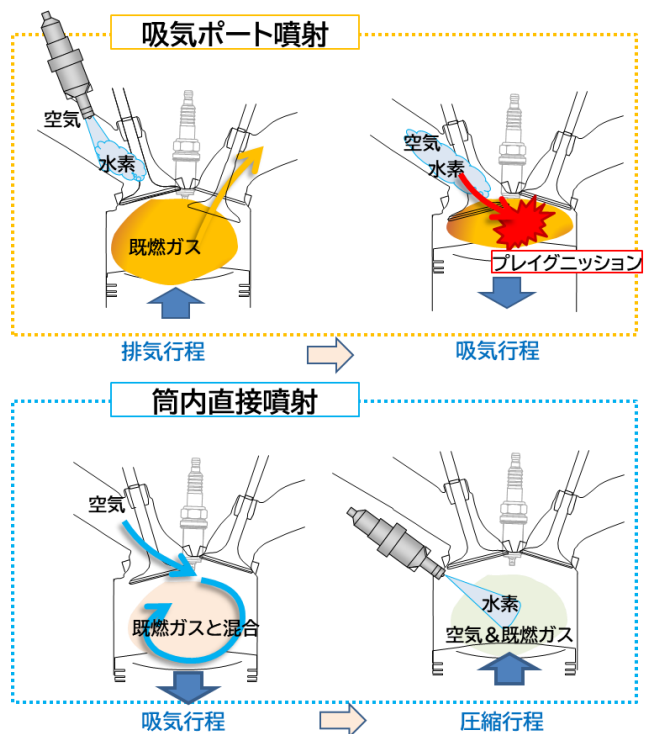


図6 ポート噴射と筒内直接噴射の比較

3.2 暴走型プレイグニッション

水素ではガソリン燃焼と同様に暴走型プレイグニッションが生じる。図7に示すように、プレイグニッションが生じると、その着火時期がサイクル毎に急速に早期化していき、過大筒内圧が連続して発生することが特徴である。

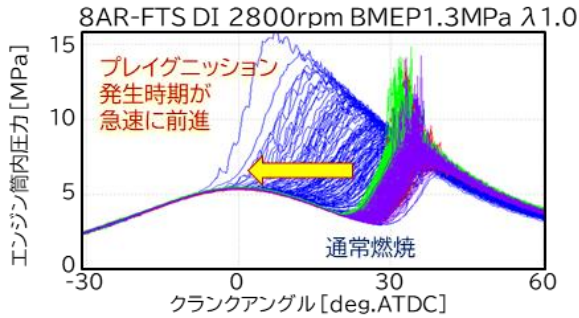


図7 暴走型プレイグニッションの1例

エンジン筒内の可視化により暴走型プレイグニッションの着火の様子を観察したところ、図8に示すように点火プラグの高温部で熱面着火している様子がみられ、ガ

ソリンと同様の着火源であることがわかった。

次に水素の熱面着火の際の着火源となる点火プラグの表面温度を測定した。この結果をガソリンエンジンの結果と比較したものを図9に示す。水素の熱面着火の温度はガソリンよりも約200℃低いことがわかった。この要因は、水素の熱伝導率(表1)が高く、混合気の温度が上昇しやすいためと推定される。対策として、点火プラグで高温になりやすい接地電極および中心電極の温度を200℃程度下げするために、温度上昇しにくい高熱価の点火プラグを開発した。通常、ガソリンエンジンでは点火不良を避けるため点火プラグ表面に付着したススを焼き切る必要があるため、点火プラグ温度の低減には限界がある。しかし水素エンジンではススの付着が生じないため、この制約は考慮する必要がない。暴走型プレイグの対策としては点火プラグ等の高温になりやすい部品の冷却性を向上し熱面着火に至らない温度まで低減することが重要である。

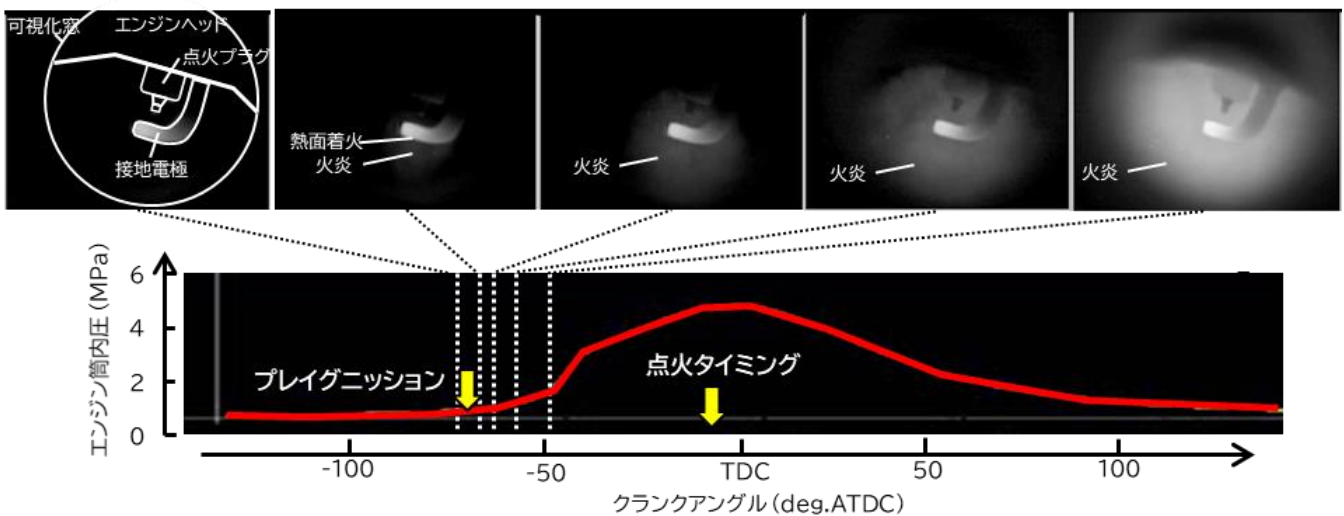


図8 暴走型プレイグニッションの可視化計測

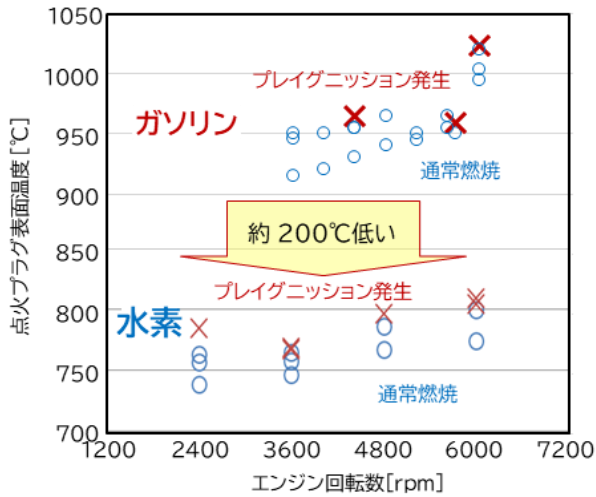


図9 暴走型プレイグニッションの発生温度

3.3 散発型プレイグニッション

散発型のプレイグニッションは高負荷運転で見られることが多い。例として1,000サイクルに2回発生した事例を図10に示す。暴走型プレイグのように連続的にプレイグニッションが生じないため、着火源の有無がサイクルごとに変化すると考えられる。また、主にピストンが上死点付近に位置するタイミングで生じることから、圧縮によるガスの温度上昇が要因として考えられる。

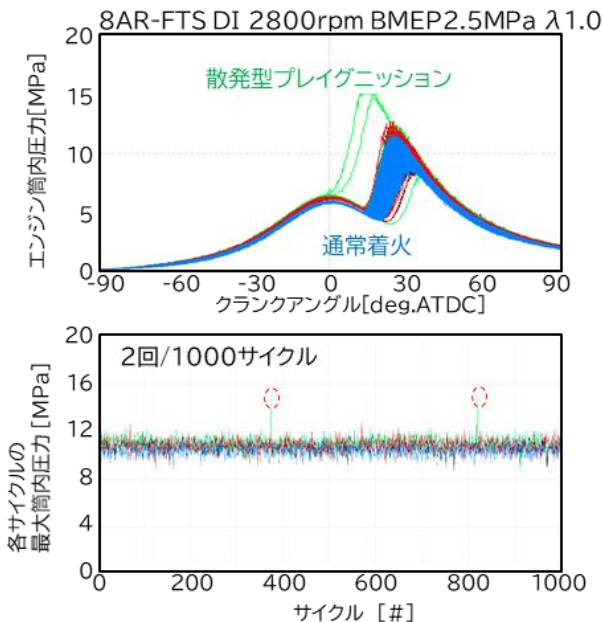


図10 散発型プレイグニッションの1例

以上をもとにシミュレーションにより筒内の高温ガスの有無がサイクルごとに変化する場所を調査したところ、図11Aに示すように、点火プラグの碍子部とねじ部の隙間(ポケット部)で気流流速が低下し滞留が生じやすいことがわかった。この結果から、高温の残留ガスの掃気が十分でないサイクルでポケット内のガスが高温になることが推測される。また、図11Bに示すように、ポケット容積が大きいと掃気されにくく温度が上昇しやすいこともわかった。以上から、プラグポケット内の残留ガスの掃気が不十分なサイクルでガスが高温になり着火源となるという仮説を立てた。

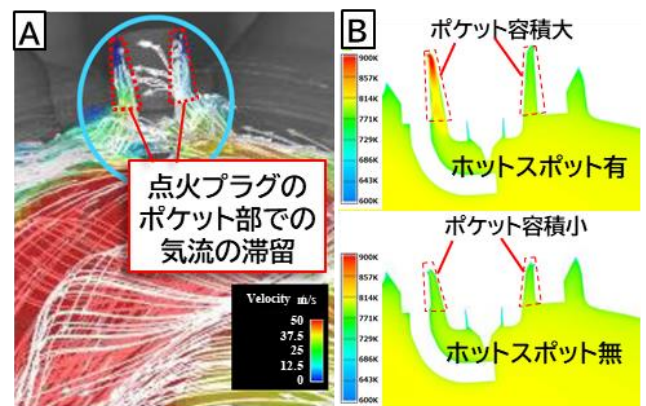


図11 点火プラグポケットにおける滞留と温度上昇

この仮説の検証のため、表2のように点火プラグ諸元を変更し、プラグ温度およびプラグポケット容積の影響を調査した。その結果を図12に示す。図のようにプラグ諸元に応じて散発型のプレイグニッションの発生頻度に差が生じており、感度があることが確認できた。

表2 点火プラグ諸元

番号	①	②	③	④	⑤
電極形状	レース形状1		沿面	レース形状2	
プラグ熱価	Base	+1			
プラグポケット容積 (mm ³)	Base	-15	-17	-111	+49

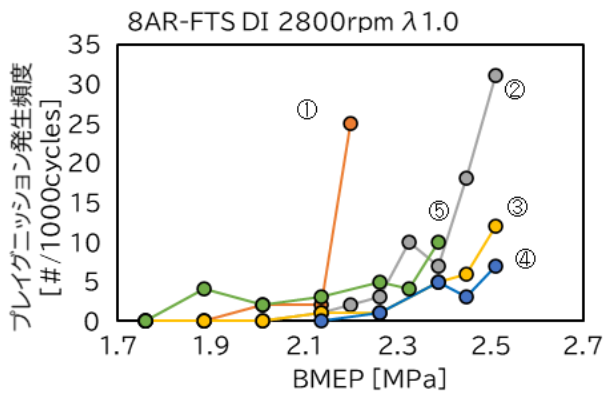


図12 散発型プレイグニッションの発生頻度

散発型プレイグニッションが発生する最小トルクをプラグポケット容積で整理したところ、図13に示すように容積が大きいほど発生トルクが低下することがわかる。以上より、対策としてはプラグポケット容積を極力小さくしてポケット内部の高温ガスが掃気されやすくする方法が有効である。同じ理由から、点火プラグ以外のエンジン筒内の凹部の容積も極力低減することが重要である。また、ポケット部で生じる高温の残留ガスは筒内に残留した前行程の排気ガスに由来するため、残留ガスの温度低減や残留量の低減も有効な対策となる。

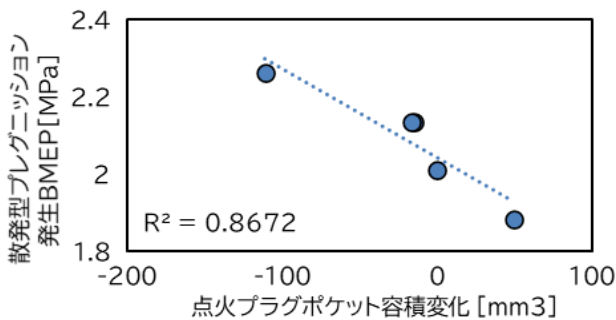


図13 散発型プレイグニッション発生トルクに対する点火プラグのポケット容積の影響

4. まとめ

本研究では、水素エンジンの異常燃焼の現象解析と対策検討を行い、以下を明らかにした。

- ① 吸気行程中の自着火(バックファイア)は、空気と水素の混合気を筒内に吸入する際に、筒内に残った高温の既燃ガスにより混合気が加熱されて自着火する現象である。対策としては、残留ガス温度の低減や、残留ガスと空気を混ぜて十分冷やしてから筒内に直接水素を噴射する技術の採用が挙げられる。
- ② 暴走型プレイグニッションは、ガソリンと同様に、筒内の高温部の表面で生じる自着火現象であるが、水素はガソリンと比較して自着火温度が約200℃低いことがわかった。対策としては、点火プラグなど高温になりやすい部品の冷却性を向上することで熱面着火温度に至らないようにすることが重要である。
- ③ 散発型プレイグニッションは、プラグポケット等の凹部で十分掃気・冷却されずに残った前サイクルの高温の既燃ガスにより混合気が加熱されて生じる自着火現象である。対策としては、残留ガスの温度や量を低減する方法や、プラグポケット等の筒内の凹部の容積を低減する方法が挙げられる。

本知見を応用することで異常燃焼を抑制し、水素エンジンで初参戦したスーパー耐久シリーズ2021、富士24時間レースを完走することができた。今後、さらに技術を磨き、より高出力・高効率な水素エンジンを開発することでCN実現に貢献していきたい。

■謝辞

本研究の成果は、株式会社デンソーの藤野様、岩見様、阿部様、船戸様のご協力により得られました。感謝申し上げます。

■参考文献

- (1) 経済産業省 “2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略”(2020)
- (2) 安全工学 vol.44 No.6(2005)
- (3) 電気設備学会誌2016年4月(2016)

■ 著者



松原 直義



宮元 敬範



横尾 望



金子 和樹



高橋 大志



中田 浩一

電動車給電のひろがり

The Spread of Electrified Vehicles as a Power Source

菅野 伸介 *1

木野村 茂樹 *2

Shinsuke Sugano

Shigeki Kinomura

要旨

「環境車は普及してこそ社会貢献できる」としてトヨタは電動車の普及に努めてきたが、ライフライン停止時の電動車給電も災害時での有効性が認められ普及し始めている。特に2019年に起きた千葉大停電では、トヨタも被災地での支援を実施、多くの学びを得ながら改善を続け外部給電普及のひろがりをみせている。給電技術もカーボンニュートラルにむけ再生可能エネルギーと連携した電力の地産地消化など、次世代電力システムの一翼を担いながらひろがりをみせている。

Abstract

Toyota has worked to popularize electrified vehicles based on the principle that these vehicles can only contribute to society when used by a large number of people. The capability of electrified vehicles to supply power after a natural disaster when lifelines have stopped functioning has also been recognized and is acting as a driver for popularization. For example, Toyota offered support to affected regions after a massive power outage occurred in Chiba Prefecture in 2019. The many lessons learned through this experience created the opportunity for continuous improvements (*kaizen*) and prompted wider adoption of electrified vehicles as external power supplies. Power supply technologies are also entering wider use as part of next-generation power systems, such as local power generation systems for local consumption coordinated with renewable energy sources to help achieve carbon neutrality.

キーワード カーボンニュートラル, 千葉大停電, 外部給電, V2L/V2H/V2G, AC 給電, DC 給電, 再生可能エネルギー

1. はじめに

「2050カーボンニュートラル宣言」が発表され急速にクルマの電動化が進みつつあるが、電動車のもう一つのメリットとしてライフライン停止時の「エネルギー備蓄」である外部給電も注目されている。

2011年の東日本大震災でその有効性が認められ、その後プリウスをはじめとしたHEV/PHEVに展開、今では20車種以上のクルマに設定されている。

災害時のライフラインの復旧は電気が一番早いと言わ

れているが、2019年に起きた千葉大停電は長期停電が続き、トヨタも被災地に赴き電動車を配車して救済した。その経験から学び、給電についての訴求活動を今でも続けている。

災害に強いクルマをいち早く普及させるため、量販車であるプリウス、アクアの外部給電標準装備化は千葉大停電からの学びの一つなのである。

2. 千葉大停電支援

2.1 千葉大停電

2019年9月9日に関東地方を襲った台風15号は千葉市で風速57.5mを記録するなど、千葉県に甚大な被害をもたらした。なかでも鉄塔の倒壊、倒木による電線

*1 TCカンパニー TCZ

*2 パワートレーンカンパニー 電力変換ユニット開発部

の切断で電気の復旧は予想より大幅に遅れていた(図1).



図1 倒木により切られた電線

2.2 トヨタの支援

経済産業省, 東京電力から要請を受け, トヨタ, 日産, ホンダ, 三菱が電動車を提供し, トヨタからは HEV/PHEV/FCEV 含め 75 台, 9/16~27 の 12 日間でのべ 199 名で支援を実施した.

筆者も千葉県山武市の「あららぎ館」にて支援に参加し, 停電で困っている被災者からの連絡を受け, 電動車を配車する支援を行った(図2,3,4).



図2 停電の被災者宅に電動車を配車



図3 FCバスからの給電でドライヤ5台使用

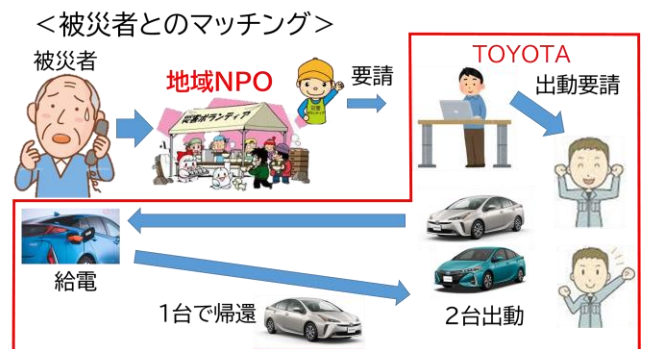


図4 被災者とのマッチング

2.3 千葉大停電からの学び

給電支援活動を実施し, 以下4つの課題が見つかった.

- ① 電動車があっても被災者と繋がれないと支援が停止してしまう
- ② 被災地近隣にも電動車は存在する(販売店試乗車等)が有効活用できていない
- ③ 外部給電の認知度が低く有効活用されていない
- ④ HEVの室内アクセサリコンセントから給電する場合, 電源コードを窓から出すため, 窓の隙間から雨天時の水入りやセキュリティ上不安の声あり

2.4 学びからの改善

前述①②の課題の改善として, 豊田市, トヨタ販売店, トヨタが連携し, 被災者とのマッチングアプリを開発し実証実験を実施中である(図5).

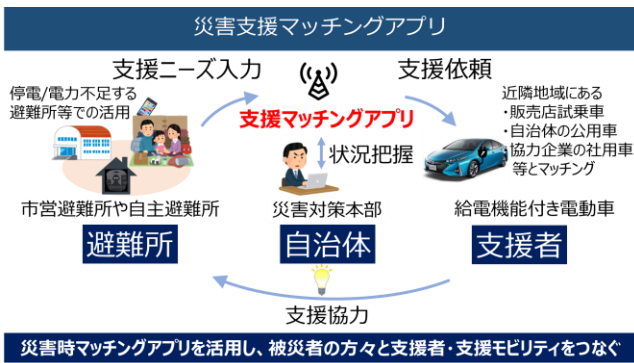


図5 被災者とのマッチングアプリ

前述③外部給電の認知度向上策として、Webにて「トヨタの給電」を作成し認知度向上を図っている(図6)。



図6 トヨタHPに「トヨタの給電ページ作成

前述④窓からの雨水入りやセキュリティ対策として、窓ガラスに挟みこめる給電アタッチメント(図7)を開発し、新型アクア、プリウスに標準装備、外部給電アタッチメントを介して電源コードを雨水の侵入を抑制しながら取り出せるようにした。



図7 外部給電アタッチメント

2.5 外部給電のひろがり

災害に強いクルマをいち早く普及させるため、量販車であるプリウス(‘20/7~)、アクア(‘21/7~)に外部給電を標準装備化、家側の対応としても安価な普及型V2H(Vehicle to Home)であるクルマde給電(トヨタホーム㈱)も千葉大停電を機に開発が加速されたと聞く(図8)。

次章はV2L/V2H/V2Gの広がりについて紹介する。



図8 クルマde給電(トヨタホーム㈱)

3. 電動車給電について

3.1 給電種別

電動車給電の種別について説明する。

電動車から給電する対象により、電気製品に直接給電するV2L(Vehicle to Load)、家に給電するV2H(Vehicle to Home)、電力系統に直接給電するV2G(Vehicle to Grid)と分類される。ここで、V2Hについては、停電時の電力バックアップとして系統連系なしで利用するV2H(停電用)と、エネルギー管理のため系統連系ありで電動車を充電しながら利用するV2H(エネマネ用)として分類することとする。系統連系とは、電力会社の電力系統に電力を接続することである(図9)。系統連系を行う機器は、電力系統と同等の電源品質が求められ、各地域や電力会社が定める法規/規格/認証に適合する必要がある。

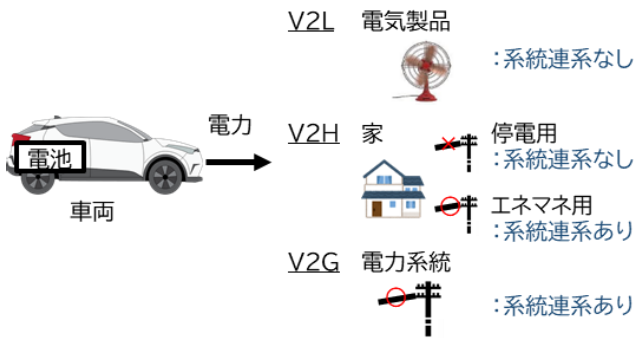


図9 給電対象による種別

また、電動車からの給電方式により、AC(交流)給電、DC(直流)給電と定義される。

AC給電は、電池の電力(DC)を車載の双方向オンボードチャージャー(OnBC)などによりDC/AC変換し、車両からコンセントや充電インレットに接続するV2X機器を介してACとして給電することである。AC給電において、車両は発電機に例えることができ、車両から出力されたACを電気製品にそのまま利用できる。

一方、DC給電は、車両から充電インレットを介してDCとして給電することである。その後、充電インレットに接続するV2X機器に備えた双方向オフボードチャージャー(OffBC)などがDC/AC変換し、ACとして給電する。DC給電において、車両は定置電池、V2X機器はパワーコンディショナーに例えることができ、パワーコンディショナーと同様にV2X機器が必要に応じて系統連系を行う(図10)。

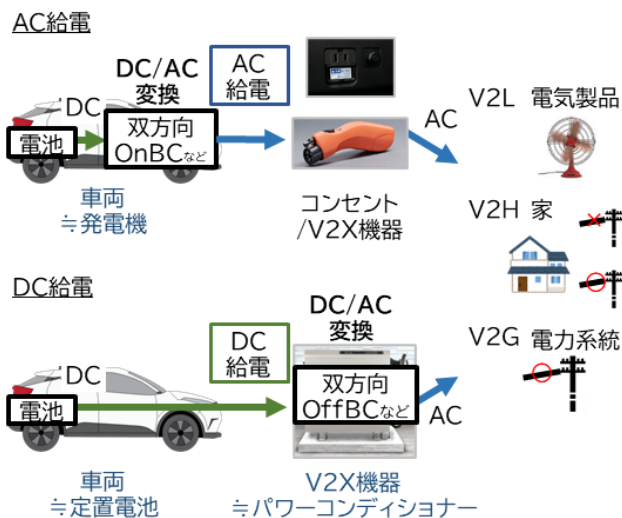


図10 給電方式による種別

3.2 給電種別による比較

AC給電、DC給電の給電対象による比較をまとめた(表1)。

系統連系が不要なV2L・V2H(停電用)において、車両に双方向OnBCなどが必要になるものの、システム全体として低コストで実現可能なAC給電が適切である。

系統連系が必要なV2H(エネマネ用)・V2Gにおいて、車両に追加部品が不要であり、各地域や電力会社が定める法規/規格/認証に、車両ではなくV2X機器による適合が可能なDC給電が適切である。

表1 給電種別による比較

給電対象	項目	AC給電	DC給電
V2L V2H (停電用) 系統連系なし	車両	△ 双方向OnBC 必要	○ 追加部品 不要
	V2X機器	○ DC/AC変換 不要	△ DC/AC変換 必要
	システム全体	○ 双方向OnBCがDC給電より低コスト	△ V2X機器にDC/AC変換が必要となり高コスト
V2H (エネマネ用) V2G 系統連系あり	車両	△ 系統連系 必要 (法規/規格/認証対応必要 V2H/G不使用でも車両コストUP)	○ 追加部品 不要 (ソフトで対応可能)
	V2X機器	○ DC/AC変換 不要	△ DC/AC変換 必要
	システム全体	△ 車による系統連系 必要	○ V2X機器による系統連系が可能

4. 電動車給電のひろがり

昨今、再生可能エネルギーで発電した電力の供給にあわせて家庭や企業の需要等を制御し、さまざまな需要家のエネルギーリソースをあたかもひとつの発電所のように機能させるバーチャルパワープラント(VPP)を構築する実証が多く行われている(図11)。次に示すプロジェクトは、天候等により変化する風力・太陽光・バイオマスの再生可能エネルギーによる電力の供給にあわせて、家庭や企業が保有する電動車・ヒートポンプ給湯機・蓄電池などの需要を調整するエネルギーマネジメントを行い、CO₂フリー電源である再生可能エネルギーの地産地消の実現性を検証するものである。

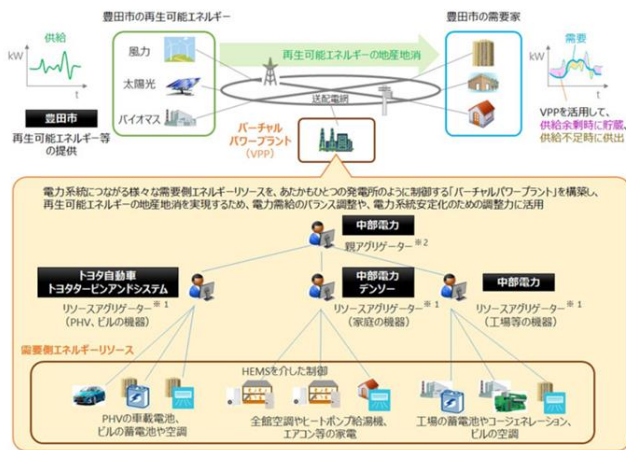


図11 豊田市, 中部電力株式会社, 株式会社デンソー, 株式会社トヨタタービンアンドシステム, トヨタ自動車によるVPP実証の構成

VPPへの適用として電動車によるV2Gの実証実験も行われており, 太陽光や風力といった再生可能エネルギー導入にともない, 系統安定化のために電動車がV2Gにより分散型電源として機能することが求められている。次に示す実証実験は, 電動車・太陽光パネル・蓄電池の分散型電源を保有する需要家(プロシューマー^{*3})と電力消費者が, 電力を売買できる市場を介して, 需給状況に応じた変動価格で電力を売買することの経済性と, プロシューマーが発電した電力を, 他の需要家と直接売買する双方向・自律型の電力供給システムの有効性を検証するものである(図12)(1)。

*3 電力消費者(コンシューマー)が発電設備を保有し自らが電力を生産(プロデューサー)する場合に当該消費者をプロデューサーとコンシューマーをあわせて呼称する造語

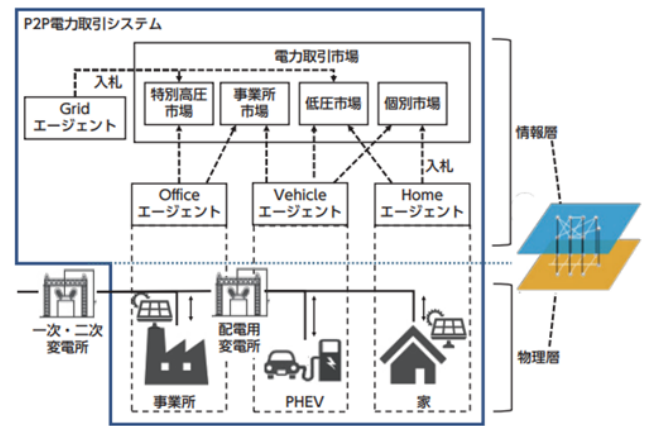


図12 国立大学法人東京大学, TRENDE株式会社, トヨタ自動車による次世代電力システムの共同実証実験の構成

国内においては, 電動自動車用充放電システムガイドライン(一般社団法人 電動車両用電力供給システム協議会発行)により, CHAdeMO方式によるDC給電が規格化されており, V2H機器などのV2X機器やDC給電が可能な電動車が既に市場で販売されている。

一方, 海外においては, 主に欧米で普及しているCCS (Combined Charging System)方式, 中国で普及しているGB/T方式とも, DC給電を規格として策定中であり, 今後それぞれの規格発行にあわせてV2X機器やDC給電可能な電動車が普及する見込みである。

5. おわりに

台風や地震などの災害が多い日本において, 電動車が非常時のバックアップ電源となる外部給電としての役割が注目されるようになってきた。海外においても, 電動車の普及にともない, 外部給電が注目されるようになってきている。今後, 日本のみならず各国において, カーボンニュートラル実現のためにV2Gによる分散型電源としての活用も期待されている。

電動車給電により, 電動車を「移動できる電源」として使うことが可能になり, いつもの暮らしから, もしもの非常時まで, “電気が動く”ことで, 場所に縛られることなく, うれしさや安心が広がっていき, 人, 地球にとっての「しあわせの量産」につながるよう, 今後も給電技術をひろげていきたいと思っている。

■参考文献

- (1) 小幡一輝ほか:PHEC参加型の個人間(P2P)電力取引システムの開発. TOYOTA Technical Review. Vol.67 P.58-P.64 (2022)

■著者



菅野 伸介

木野村 茂樹

2021年度 省エネ大賞 経済産業大臣賞

新たな着眼による製造, 製造技術, 原動力(インフラ)協業
での省エネ活動

Energy-Saving Activities Based on New Perspectives through Collaboration in Manufacturing, Production Engineering, and Utility (Infrastructure) Sectors

田村 慎一郎 *1
Shinichiro Tamura

田村 史夫 *2
Fumio Tamura

池谷 賢一 *1
Kenichi Ikeya

1. 省エネ活動の背景, 経緯

1.1 トヨタ環境チャレンジ2050

トヨタ自動車ではリーマンショックを機に原動力部門と製造部との協業での省エネ活動を推進してきた。また、2015年トヨタ環境チャレンジ2050の発表にあわせて、全社での省エネ機運が加速、全社を挙げての活動に取り組み中である(図1)。



図1 トヨタ環境チャレンジ2050

1.2 3部署の強みを生かしたモデルライン活動

今回、エネルギー消費量の最も多い「塗装」工程をターゲットに活動(図2)。製造技術, 製造, 原動力(インフラ)部門の三位一体活動(図3)により、それぞれの強みを生かし、より多い着眼, より深い現場理解, より早い実行につなげた。

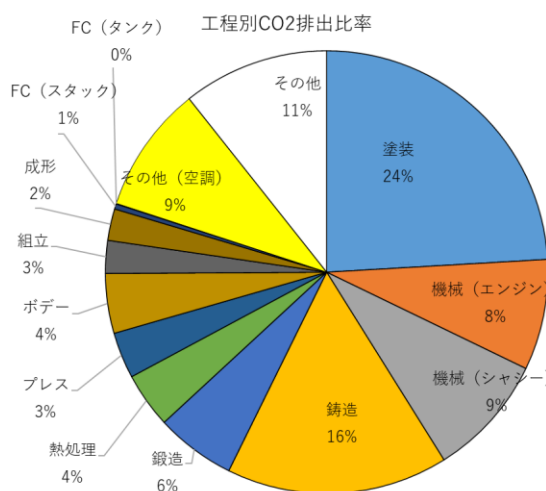


図2 工程別CO₂排出量

製造・製造技術・原動力(インフラ)が一体となった省エネ活動

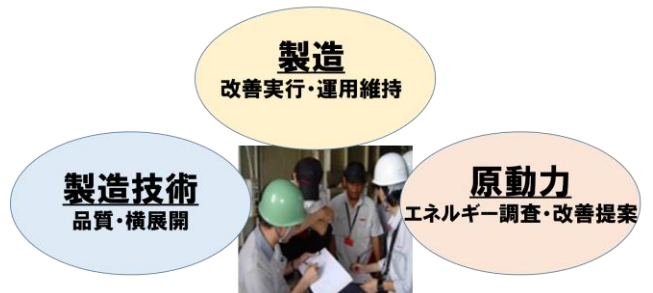


図3 三位一体の省エネ活動

2. 活動の着眼

2.1 全員参加での省エネ活動

エネルギーの使用側と供給側の連携をし、全体を俯瞰したロスに見える化を行った。図4のとおり、原動力ボイ

*1 生産本部 プラント・環境技術部

*2 生産本部 高岡工場塗装成形部

ラでの生成から実際のエネルギー消費側で蒸気を使用するまで、排ガス・放熱・ドレン等さまざまなロスが存在することがわかった。

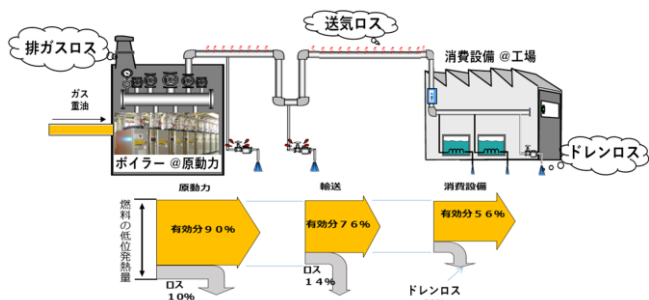


図4 エネルギーロスの見える化

また、省エネでの大きな成果出しのためには関係者全員の考え方のベクトルをあわせるため、誰もが理解できるキャッチフレーズとして【蒸気レス】を合言葉とし、集中熱源からの蒸気送気をなくす活動を目標として設定した。

2.2 エネルギーの「量」から「質」への発想転換

従来では、大型ボイラでの集中送気方式を取っていた。これらを解決するために、見える化した排ガス・放熱・ドレン等のさまざまなロスに対して、ボイラ直近化、廃ドレン回収等の「量」を減らす対策が取られていた。今回、抜本的なエネルギー効率化を図るために使用設備・使用方法・設備要求まで踏み込み「加熱用途」に着眼。蒸気加熱についての有効性をエネルギーの有効性である「エクセルギー」の観点から「質」で評価。図5に示すとおり、「エクセルギー」に着目すると、蒸気を使うことそのものが76%もの損失を発生させており、蒸気加熱代替方法を模索した。

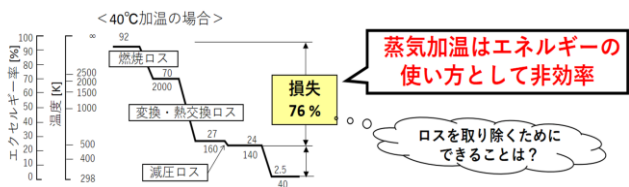


図5 エネルギーの「質」に着目したロスの見える化

2.3 工程設備での使われ方から見た4つの着眼

蒸気加熱を無くすために4つの視点で活動推進した。

- ① 加熱レス・熱エネルギー自体を使用しない

- ② 自然エネルギー回収・ヒートポンプで周囲から回収
- ③ 排熱活用・熱のカスケード利用による効率向上
- ④ 直接燃焼・設備直近での加熱により加熱効率向上

3. 活動事例紹介

3.1 加熱レスによる油水分離装置改善

着眼①加熱レスによる改善事例を紹介する。従来は、塗装前脱脂工程において回収した油を分離する装置にて蒸気加熱をしていた。今回、油と脱脂液の比重の違いに着目。遠心分離装置を使った物理処理により加熱レスでの分離が実現。エネルギー費を99%削減できたほか、省スペース・品質安定・廃棄物低減にもつなげることができた(図6)。

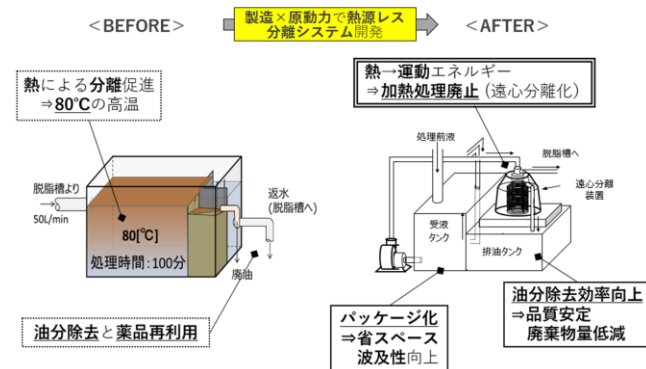


図6 油水分離装置改善事例

3.2 熱マネジメント・熱の使い切り

つづいて、着眼②自然エネルギー回収、着眼③廃熱活用を使った事例を紹介する。塗装前処理工程では別工程に高温廃熱があったり、車両を再加熱したりという無駄があった。今回、熱源全体の最適化を考えて、中間槽は廃熱を活用した加熱。蒸気に変わり、効率の良いヒートポンプを使った加熱をすることにより、熱回収とロス低減ができた(図7)。

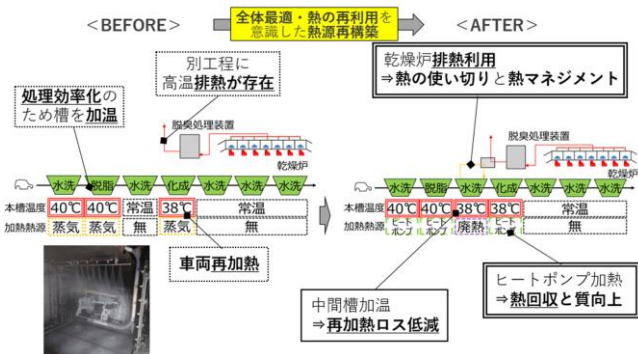


図7 塗装前処理工程における熱マネジメント

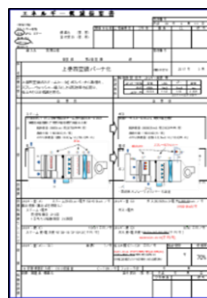


図9 改善ポイント



図10 現地現物講習会

4. 活動の持続性, 横展開

4.1 エネルギー週報活用による持続性

エネルギー週報(図8)を毎週発行し、エネルギー種ごとに監視。休日の異常、週ごとの比較により、細かなエネルギー使用の異常を常に監視するとともに、現場メンバーの小さな改善成果もしっかり把握。これらにより現場マネジメントの徹底と、メンバーへの寄り添い活動につなげている。また、同類設備のエネルギー量の比較により制御異常を発見し、省エネにもつながった。

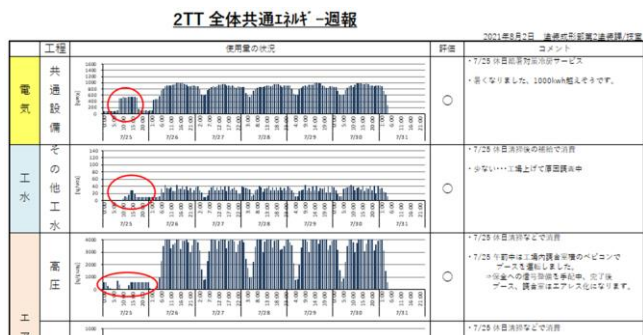


図8 エネルギー週報

4.2 グローバル, 関係会社への横展開

今回の改善事例を技術ポイント(図9)として取りまとめ社内外へ事例を共有。工場・改善ネタのマトリクス管理により実施やり切りの支援をしている。あわせて、グローバル・関係会社様へ現地現物・講習会開催による活動展開支援を実施(図10)。今回のモデルラインの活動を「面」で稼ぐ、全員参加の取り組みも実施してきた。

5. まとめ

三位一体での蒸気レスを中心とした活動により、トヨタ自動車全体で65,000トンのCO₂削減を達成できた。また、グローバル・関連会社のメンバーと教え、教えあう「全員参加の省エネ」の風土が醸成できた。カーボンニュートラルに向けて世界の動きが加速するなか、「YOU」の視点に立った、現場・社会に寄り添った省エネ活動を続けていきたい。

第54回 市村産業賞 貢献賞

バーチャル人体モデル

Virtual Human Body Model

北川 裕一 *1

Yuichi Kitagawa

松田 貴男 *1

Takao Matsuda

岩本 正実 *2

Masami Iwamoto

1. まえがき

2021年の交通事故死者数は2,636人となり、統計開始以来最少を更新した⁽¹⁾。交通事故件数や負傷者数は依然として増加傾向にあり、継続的な原因究明と安全対策が切望される。自動車は、衝突時に車体の一部が変形して衝撃を吸収し、シートベルト等で乗員の身体を保持するように設計される。試作段階で衝突試験を実施し、所望の安全性が確保されるか確認する。試験ではダミー人形を用いて人体への負荷を計測する。脳に相当する位置で加速度を計測したり、骨に相当する部品の変形を計測したりする。ダミー人形は耐久性や再現性の観点から堅牢に作られており、傷害そのものを表現しない。そこで、トヨタ自動車と豊田中央研究所は共同で、バーチャル人体モデルTHUMSを開発した(図1)。人体の構造と脆弱性をコンピュータ上で表現し、傷害発生を模擬できるようにした。THUMSを用いて交通事故における傷害発生要因を分析し、安全技術の研究開発に活用してきた。

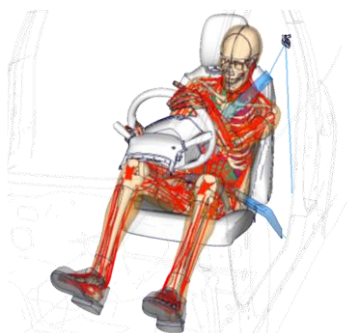


図1 バーチャル人体モデルTHUMS

2. 技術の内容

2.1 開発の歴史

2000年にTHUMS最初のバージョン1をリリースした。主に骨格を表現したバーチャル人体モデルであり、骨折の発生を予測した。その後も改良を重ね、2010年には脳や内臓の傷害を解析できるバージョン4を、2019年には筋肉を表現したバージョン6をリリースした(図2)。筋肉を表現したことで、例えば急ブレーキによる姿勢変化を模擬できるようになった。平均的な体格の成人男性に加え、小柄女性や大柄男性の体格を表現したモデル、子供の体格を表現したモデルなどを開発してきた。

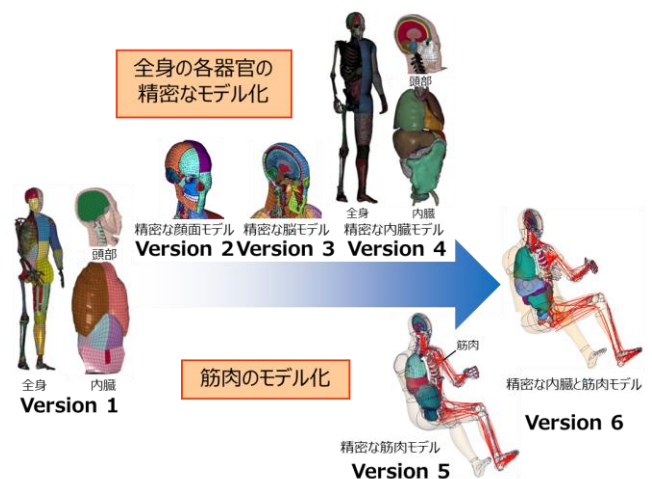


図2 THUMS開発の歴史

*1 先進技術開発カンパニー 先進モビリティシステム開発部

*2 株式会社豊田中央研究所

2.2 人体忠実性の検証

THUMSは実在する人物のCTスキャン画像をもとに開発された。骨格や関節、脳や内臓などの形状や位置関係を忠実に再現した。交通事故における傷害を解析するためには、人体が自動車部品等と接触した際の荷重や変形をリアルに再現する必要がある。文献情報を参考にしながら、頭から足まで身体部位ごとに組織物性や損傷強度などを定義した。さらに、人体の衝撃耐性を調査した研究論文⁽²⁾を参照し、衝撃負荷に対するTHUMSの力学応答が人体に近いことを検証した(図3)。

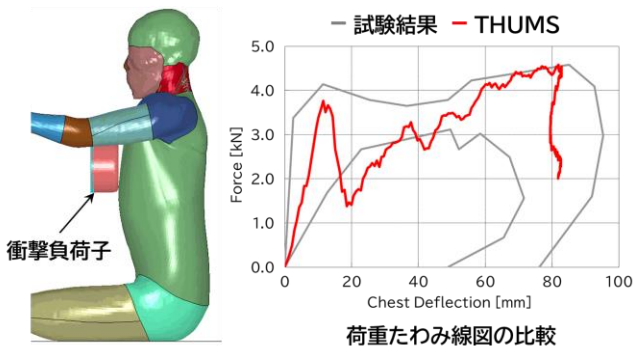


図3 人体忠実性の検証例(胸の例)

2.3 THUMSの活用例

交通事故で最も多い形態は追突である⁽¹⁾。追突された車両の乗員は首に痛みを覚える場合がある。通称「むち打ち症」と呼ばれる。その発生メカニズムは完全には解明されていないが、頭と胴体が前後にずれることで頸椎関節の軟組織に歪が生じ、神経が刺激されるという説が有力である⁽³⁾。THUMSを活用してWILコンセプトシートを開発した(図4)。追突された際、ヘッドレストで後頭部を保持しながらシートバックに胴体を沈み込ませることで、頭と胴体のずれを最小限に抑える仕組みである⁽⁴⁾。この技術は、2005年以降に発売された乗用車に広く採用されている。保険会社の調査によれば、WILコンセプトシートを搭載したトヨタ車が追突された事故では、むち打ち症の発生件数が低く抑えられているという⁽⁵⁾。THUMSによる傷害解析が自動車の安全性向上に役立った代表的な例である。このほか、前面衝突や側面衝突の乗員保護や歩行者保護の研究にもTHUMSを活用してきた。最近では、バーチャル人体モデルを活用した安全アセスメントの導入が議論されている。

頭と胴体をしっかりサポート 頭がヘッドレストに乗り上げる

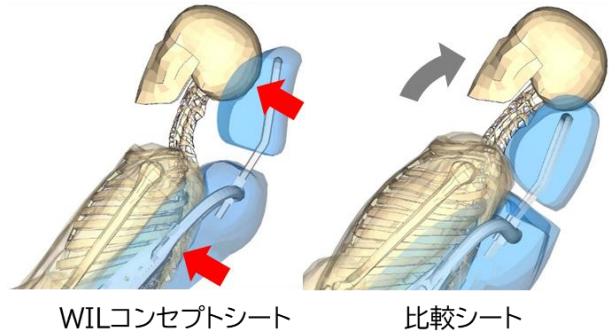


図4 WILコンセプトシートへの活用例

3. むすび

バーチャル人体モデルTHUMSを開発し、交通事故における傷害発生要因を分析するとともに、安全技術の研究開発に活用してきた。2021年1月、そのTHUMSを無償公開した。交通事故死傷者ゼロは一企業だけで成し得ることではなく、自動車業界全体や官民学一体となった取り組みが必要である。自動車エンジニアや研究者の方々にTHUMSが広く活用され、モビリティ社会の安全研究が推進されることを期待する。

■参考文献

- (1) 内閣府:令和3年版交通安全白書。
<https://www8.cao.go.jp/>
- (2) C. Kroell et al.: Impact Tolerance and Response of the Human Thorax, Stapp Car Crash Journal, 1971, pp. 84-134
- (3) O. Boström et al.: A new neck injury criterion candidate-based on injury findings in the cervical spinal ganglia after experimental neck extension trauma. IRCOBI, 1996, pp. 123-136
- (4) Y. Kitagawa et al.: A study of cervical spine kinematics and joint capsule strain in rear impacts using a human FE model. Stapp Car Crash Journal, Vol. 50, 2006, pp. 545-566
- (5) A. Kullgren et al.: Gender analysis on whiplash seat effectiveness. IRCOBI, 2010, pp. 17-28

第51回 日本産業技術大賞 審査委員会特別賞
第72回 自動車技術会賞 技術開発賞

Toyota/Lexus Teammate Advanced Drive

Toyota/Lexus Teammate Advanced Drive

川崎 智哉 *1	岩崎 正裕 *1	曾我 雅之 *2
Tomoya Kawasaki	Masahiro Iwasaki	Masayuki Soga
谷口 覚 *3	尾崎 修 *4	板橋 界児 *4
Satoru Taniguchi	Osamu Ozaki	Kaiji Itabashi

1. はじめに

トヨタ自動車は、究極の願いである「交通事故による死者ゼロ」に向けて予防安全の進化と普及に取り組んでいる。交通事故にはさまざまな形態があり、従来システムでは全ての形態をカバーできておらず、今後さらなる交通事故低減のためにはシステムのカバー範囲を広げることが重要である。我々は、自動運転技術がその実現に大きな可能性を秘めていると考えている。

2. システム概要

2.1 システムコンセプト

運転は、認知 判断 操作 を繰り返すことで実現されている。自動運転は、これらのプロセスをシステムが安全に代行する技術といえるが、人の運転を見守り、安全運転をサポートするためにも有効と考えている。トヨタは自動運転に対する考え方を“Mobility Teammate Concept”というかたちにまとめた。これは、人とクルマが同じ目的地に向けて、ある時は見守り、ある時は助け合って走る、というものである。今回、このコンセプトに基づき、高度運転支援システムToyota/Lexus Teammate Advanced Driveを開発した。ドライバー

監視下において、自動車専用道路での追い越し、レーンチェンジ、目的地に向けた分岐を支援するとともに、ハンズオフでの車線・車間維持を実現した。

2.2 システム構成

図1に示した本システム構成は、以下の特長を有する。

- ① レーダー、LiDAR、カメラにより、高い精度・信頼性、ロバスト性を備えた360°周辺認識
- ② 故障・不調発生後4秒間のフェールセーフオペレーションを実現する高度な冗長設計
- ③ 無線通信(OTA: Over The Air)でのソフトウェアアップデートの仕組み

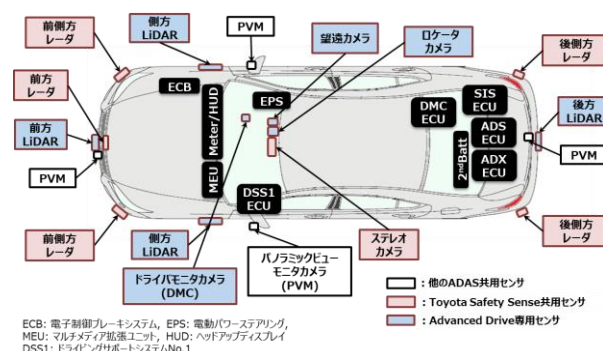


図1 システム構成

3. 主要技術

3.1 認識

自車周辺の物体や車線認識において、従来のルールベース手法に加えてディープラーニング技術を組み合わせることで、高い信頼性とロバスト性を兼ね備えた性能を

*1 クルマ開発センター 自動運転・先進安全開発部

*2 クルマ開発センター 第2シャシー開発部

*3 クルマ開発センター 制御電子プラットフォーム開発部

*4 Woven Core, Inc.

実現した(図2). AIは技術革新が速い分野のため, OTAによるソフトウェアアップデートが特に有効と考えられる.

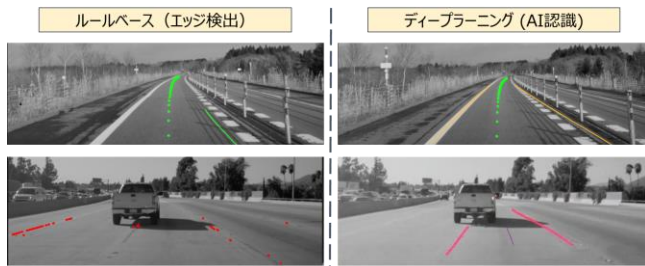


図2 AI画像認識の一例

3.2 自車位置推定

自車位置推定は, 高精度地図上で自車の位置を正確に特定するという自動運転の基本技術の一つである. 図3のフローにより, トンネル内や高層ビル街など電波の受信が妨げられる環境下でもロバストな位置推定を実現した.



図3 自車位置推定機能

3.3 ドライバーマネージメントシステム

人の運転をサポートする高度運転支援システムにおいては, 運転者の過信や誤った使われ方を防ぐことが重要である. そこで, 運転者の運転への関与度合いを保つため, 要所所で人を運転操作に意図的に介入させるためのドライバーマネージメントシステムを開発した(図4).

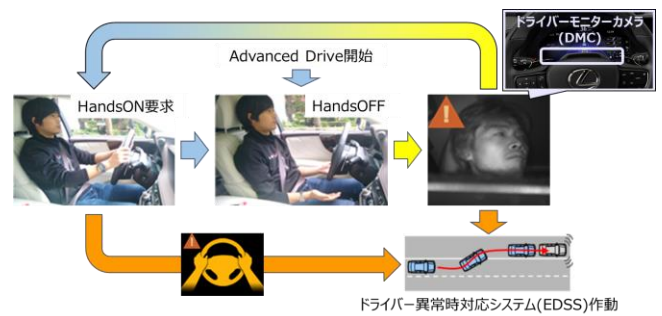


図4 ドライバーマネージメントシステム

3.4 車両運動制御

安心感のあるハンズオフ走行の実現のため, 熟練ドライバーの運転操作とその結果の車両挙動を解析し, カーブ走行時には減速, 旋回, 加速をシームレスにつなぐことによりスムーズな動的性能を実現することができた(図5).

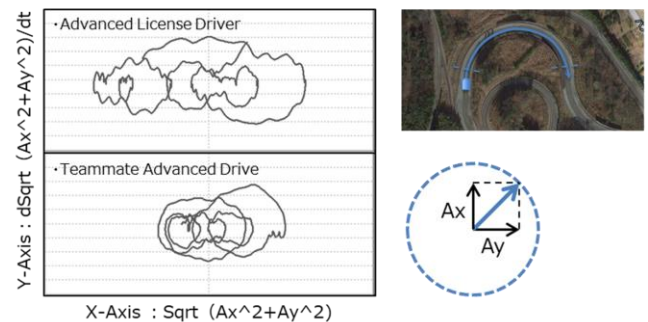


図5 車両運動制御の解析事例

3.5 OTAデータアップロードとダウンロード

OTAにより, 利用者がどのように車を使われているかや, ヒヤリハットなどの貴重な市場データを収集できる機能を開発した. また, 利用者に最新の性能や新しい機能をいち早くお届けできるようにした(図6). 2021年4月の発売から2022年8月末現在で計5回のソフトウェアアップデートを配信した.

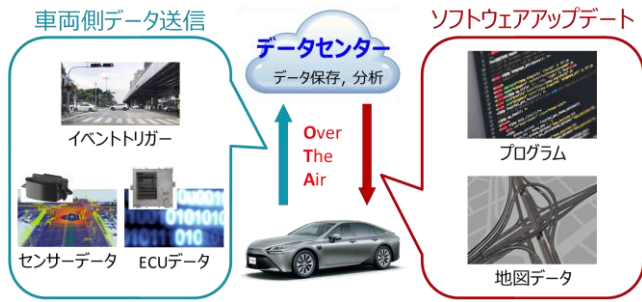


図6 OTAデータアップロードとダウンロード機能

4. おわりに

トヨタが目指す究極の目標である「全ての人が安全、スムーズ、自由に移動できる社会の実現」に向けてAdvanced Driveを開発し、日米で商品化した。利用者とともに安全・安心を育てていくため、無線通信による市場データ収集機能と新しい機能・性能を付与するソフトウェア配信機能もあわせて開発した。今後も「交通事故による死傷者ゼロ」に向けた開発を継続していく。

■参考文献

岩崎正裕ほか：高度運転支援システム「Teammate Advanced Drive」の開発。自動車技術。Vol.76, No.7, 2022, P10-11

2021年度 社外発表論文一覧

掲載誌名	題目	発表者	所属
自動車技術会論文集	モデル活用によるパワートレインシステム開発の効率化－全体プロセスの構築－	半田 英之 高橋 毅 大町 孝之 今枝 宗矩 長野 翔太	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑
自動車技術会論文集	モデル活用によるパワートレインシステム開発の効率化（第2報）－エンジンモデルによる、システム開発から適合までの一貫した開発－	今枝 宗矩 野村 佳洋 高橋 毅 大町 孝之 栗原 浩一 津田 陽一 佐々木 浩祐	トヨタ自動車 豊田中央研究所 トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑
自動車技術会論文集	冷間始動時における燃料供給状態の計測法の開発と機械学習による排気モデリングへの適用	山田 智久 稲垣 英人 高鳥 芳樹 伯田 祐輔 羽原 輝晃 梅本 寿丈	豊田中央研究所 ↑ ↑ ↑ トヨタ自動車 ↑
自動車技術会論文集	重心6 分力による車両運動統合制御の研究	勝山 悦生 狩野 芳郎 山門 誠 安部 正人	トヨタ自動車 神奈川工科大学 ↑ ↑
自動車技術会論文集	平面運動とロール運動の連成を考慮した車両モデルに基づく操舵入力に対するロール制御法	竹内 琢磨 勝山 悦生	トヨタ自動車 ↑
自動車技術会論文集	ハイブリッドトランスアクスル冷却モデルの構築－モータ油冷部熱抵抗の実験的取得－	本田 拓夢 木村 茂 棚瀬 雅貴 平野 岳彦 松本 隆志	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑
自動車技術会論文集	高耐熱性パイロクロア型CeO ₂ -ZrO ₂ 酸素吸蔵材料の実用化と高機能化	奥田 卓也 千葉 明哉 阿部 元哉 三浦 真秀 信川 健 森川 彰	キャタラー ↑ ↑ トヨタ自動車 ↑ 豊田中央研究所
自動車技術会論文集	二相流シミュレーションを用いた新型FCV 向け水素合流配管の開発	新井 英行 栗田 周治 鈴木 裕士 藤尾 孝郎	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑
自動車技術会論文集	新型FCV向け高圧水素貯蔵システム部品の開発	木田 浩司 後藤 莊吾 矢橋 洋樹 山下 颯	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑
自動車技術会論文集	新型FCV 向けFC スタック構造・搭載設計	森 一広 高畠 悠真 竹内 弘明 細井 貴己	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑
自動車技術会論文集	振動モードを考慮した中周波空気伝播音の予測手法	相澤 快 小林 憲正 森田 英憲 駒田 匡史	トヨタ自動車 ↑ トヨタ自動車九州 トヨタ自動車
自動車技術会論文集	FT-IR と質量分析を用いた自動車排気中のリアルタイム炭化水素分析技術の開発	田中 光太郎 久信田 勝大 野村 優貴 戸野倉 賢一 植西 徹	茨城大学 ↑ 東京大学 ↑ トヨタ自動車
自動車技術会論文集	アコースティックエミッションによるC-SMCの健全性評価に関する検討	濱田 幸宏 石上 雄太 三国 敦 北方 慎太郎	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑
自動車技術会論文集	ハイブリッド車向け走行中ワイヤレス給電の電力制御に関する研究－高速回転型ベンチ実験検証－	津下 聖悟 岡崎 俊太郎 橋本 俊哉 永井 栄寿 藤田 稔之 藤本 博志	トヨタ自動車 ↑ ↑ 東京大学 ↑ ↑
自動車技術会論文集	新型FCV に向けた高圧水素タンクの開発	後藤 莊吾 稲生 隆嗣 上田 将人 山下 颯	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑
自動車技術会論文集	車両クラス別傷害予測アルゴリズム Version 2021 の構築	西本 哲也 望月 涼太 富永 茂 三好 朋之 長岡 靖 白川 正幸	日本大学 ↑ ↑ トヨタ自動車 ↑ ↑
自動車技術会論文集	2050 年の将来推計シナリオにおける大気環境－自動車技術会 2050 年チャレンジと大気質予測－	森川 多津子 山田 裕之 田中 光太郎 岡山 紳一郎 柴田 芳昭 中田 泰正 渡辺 宏江 木所 徹	日本自動車研究所 東京電機大学 茨城大学 日産自動車 大気環境総合センター トヨタ自動車 日産自動車 トヨタ自動車

掲載誌名	題目	発表者	所属
自動車技術会論文集	内燃機関のオイル消費に及ぼす潤滑油蒸発特性の影響	鈴木 崇士 小山 崇 山守 一雄 植松 裕太 平野 聡伺 石崎 超矢 和田 浩太郎	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ENEOS
自動車技術会論文集	砂地走行時のタイヤ特性と走行性能に関する研究	瀧美 健夫 西川 耕史 Munday Raymond	トヨタ自動車 ↑ Toyota Motor Corporation Australia Limited
自動車技術会論文集	デジタル開発に向けた樹脂部品の破断解析技術の検討－材料モデルと解析手法の開発－	有田 公輔 近澤 亮介 川原 康昭	トヨタ自動車 ↑ ↑
自動車技術会論文集	線形3自由度モデルを用いた操舵時のロール応答とヨー応答の関係解	山本 真規 香村 伸吾	トヨタ自動車 ↑
自動車技術会論文集	走行速度に対する車両動特性変化の考察	山本 真規 劉 延慶	トヨタ自動車 ↑
自動車技術会論文集	アルミニウム部品のレーザ溶接シミュレーション技術の開発	谷本 直隆 奥畑 佑介	トヨタ自動車 プライムプラネット エナジー&ソリューションズ
自動車技術会論文集	ガソリンエンジンの冷却損失低減のための熱伝達解析	橋詰 剛 丹野 史朗 森 幸生 藤原 泰司	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑
自動車技術会論文集	オフロード走行の特徴を踏まえた駆動力設計による操作性と走行性能の向上	瀧美 健夫 益城 啓	トヨタ自動車 ↑
自動車技術会論文集	デジタル開発に向けた樹脂部品の破断解析技術の検討(第2報)-成形条件を反映したモデル化手法の開発-	野村 友和 松本 洋人 有田 公輔 近澤 亮介 川原 康昭	トヨタ紡織 ↑ トヨタ自動車 ↑ ↑
自動車技術会論文集	運用設計ドメイン定義に基づく自動運転システムモデルの構築とSOTIFの考え方に基づいた安全分析アプローチの提案	河野 文昭 1)2) 落合 志信 1)3) 酒井 良和 1)4) 永井 芳幸 1)5) 大塚 敏史 1)6) 橋本 岳男 1)7) 西村 秀和 8)	1)JASPAR 2)アドヴィックス 3)本田技研工業 4)日産自動車 5)トヨタ自動車 6)日立Astemo 7)日立産業制御ソリューションズ 8)慶応義塾大学
自動車技術会論文集	車載Ethernet向けSoftware Defined Networkingの実装評価	山崎 康広 小方 賢太 後藤 英樹 山本 祐輔 泉 達也 田中 秀幸 菊地 慶剛 呉 ダルマフン 浦山 博史	トヨタ自動車 ↑ ↑ 住友電気工業 ↑ ↑ オートネットワーク技術研究所 ↑ ↑
自動車技術会論文集	インピーダンスマッチングを活用したガラス透過音の低減技術	上山 さぎり 若原 正明 嶋原 孝佳 駒田 匡史 野尻 昌利 山田 宣伸	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ 豊田合成 ↑
自動車技術会論文集	衝突解析におけるロバスト設計手法の開発－パターン認識と機械学習を活用した良品条件の可視化－	菅野 千歳 田村 洋一 駒村 達哉	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑
International Journal of Automotive Engineering (IJAЕ)	A Study of Message Arrival Timestamps on Controller Area Networks	Camille Gay 1)2) Tsutomu Matsumoto 3)	Yokohama National University 1) Toyota Motor Corporation 2) Yokohama National University 3)
SAE Technical Paper	Development of air supply controller for FCV based on model-based development approach	Naoki Tomi Shigeki Hasegawa Jared Farnsworth Hiroyuki Imanishi Yoshihiro Ikogi Kenichiro Sato	Toyota Motor Corporation ↑ Toyota Motor North America Toyota Motor Corporation ↑ ↑
SAE Technical Paper	Development of High-pressure hydrogen storage system for new FCV	Hiroki Yahashi Akira Yamashita Nozomu Shigemitsu Sogo Goto Koji Kida Takashi Inou	Toyota Motor Corporation ↑ ↑ ↑ ↑ ↑
SAE Technical Paper	Development of High-Performance FC Stack for the new MIRAI	Tomoo Yoshizumi Hideki Kubo Masao Okumura	Toyota Motor Corporation ↑ ↑
SAE Technical Paper	Development of Unidirectional CFRP Reinforced Aluminum Bumper Reinforcement	Masaya Miura Michiharu Ishii Kanji Takaoka Yasumasa Horibe Shintaro Kitakata Atsushi Mikuni	Toyota Motor Corporation ↑ ↑ ↑ ↑ ↑
SAE Technical Paper	Development of Coated Gasoline particulate filter design method combining simulation and multi-objective optimization	Yuki Ota Hiroaki Takahasi Ryosuke Maekawa	Toyota Motor Corporation ↑ ↑

掲載誌名	題目	発表者	所属
SAE Technical Paper	Computational design of cathode coating materials for all-solid-state lithium-ion batteries	Koutarou Aoyagi Takuya Matsuyama Jun Yoshida Chuhong Wang Tim Mueller	Toyota Motor Corporation Prime Planet Energy & Solutions, Inc. ↑ Johns Hopkins University ↑
SAE Technical Paper	Development of Aerodynamic Drag Reduction around Rear	Hiroataka Higuchi Hidekazu Hirabayashi Tadashi Kondo	Toyota Motor Corporation ↑ ↑
SAE Technical Paper	Three-Way Catalytic Reaction in an Electric Field for Exhaust Emission Control Application	Toru Uenishi Ayaka Shigemoto Yuki Omori Takuma Higo Shuhei Ogo Yasushi Sekine	Toyota Motor Corp. Waseda University ↑ ↑ ↑ ↑
SAE Technical Paper	Development of FCV transaxle	KOICHI NAKAMURA	Toyota Motor Corporation
SAE Technical Paper	Teammate Advanced Drive System Using Automated Driving Technology	Tomoya Kawasaki Derek Caveney Masayuki Katoh Daisuke Akaho Yosuke Takashiro Kenji Tomiita	Toyota Motor Corporation Toyota Motor North America Inc. Woven Core Inc. Toyota Motor Corporation ↑ J-QuAD DYNAMICS Inc.
SAE Technical Paper	System Architecture Design Suitable for Automated Driving Vehicle: Hardware Configuration and Software Architecture Design	Akiomi Kunisa Yusuke Nemoto Hiroshi Kato Tomonori Hasegawa Masanori Kato Tomohisa Mashima	Woven Core Inc. Woven Core Inc. Toyota Motor Corp. Toyota Motor Corp. Toyota Motor Corp. J-QuAD DYNAMICS Inc.
日本機械学会論文集	低速および高速走行時のタイヤコーナリングフォースとセルフアライニングトルクに関する研究	河田 哲明 河野 忠士 佐久間 均	ダイハツ工業 トヨタ自動車 ↑
日本機械学会論文集	鍛造プロセスの塑性仕事最小化を目的とする鍛造中間形状の最適設計	北河 正洋 下田 昌利 河原崎 元	豊田工業大学大学院 豊田工業大学 トヨタ自動車
日本機械学会論文集	棚搬送ロボットと受動型連結機構による複数棚の同時搬送システム	若林 勇太 衣川 潤 上岡 正也 小菅 一弘	舞鶴工業高等専門学校 電子制御工学科 福島大学共生システム理工学類 トヨタ自動車 東北大学工学研究科ロボティクス専攻

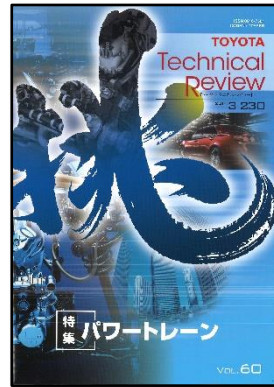
Back Number Index



Vol.58 No.1(2012年)
特集:日本創造



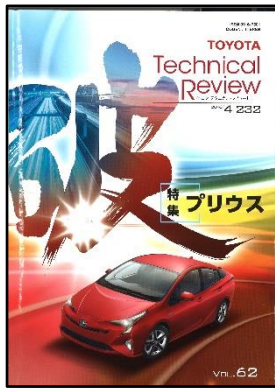
Vol.59(2013年)
特集:生産技術



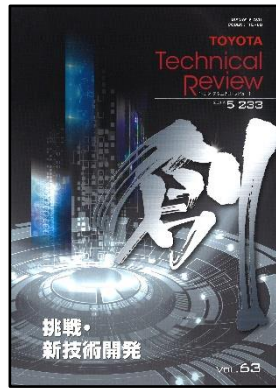
Vol.60(2014年)
特集:パワートレイン



Vol.61(2015年)
特集:MIRAI
第2特集:ITS・高度運転支援



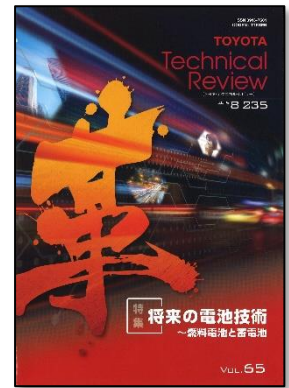
Vol.62(2016年)
特集:プリウス



Vol.63(2017年)
挑戦・新技術開発



Vol.64(2018年)
特集:TNGA パワートレイン



Vol.65(2019年)
特集:将来の電池技術
~燃料電池と蓄電池



Vol.66(2021年)
特集:多様化する価値とクルマ創り
~新型MIRAIとGRヤリス



Vol.67(2022年)
特集:「スポーツを通じた平和で差別のない社会づくり」そして「モビリティを通じた持続可能な社会づくり」へ

TOYOTA Technical Review Vol.68

© 2023 TOYOTA MOTOR CORPORATION

(禁 無 断 転 載)

発 行 所 トヨタ自動車株式会社
先進技術統括部
〒471-8572 愛知県豊田市トヨタ町1
(0565)28-2121(代表)

発 行 人 小東 哲也
企 画 遠山 淳
編 集 株式会社トヨタエンタプライズ
(事 務 局) トヨタ事業所 業務サポート室 加藤 慎吾
発 行 2023年4月28日