

ISSN 0387-7906

川崎重工技報

鉄道車両特集号



TECHNICAL REVIEW

カワサキの車両で 世界に「夢」と「感動」を



USA



Japan

Asia



■ 巻頭インタビュー	鉄道車両技術の近況と今後の展開	1
■ 総括説明	鉄道車両の市場環境と車両カンパニーにおける取り組み	2

技術解説

■ 車両設計におけるフロントローディング –WMATA7000を例として–	Front Loading of Rolling Stock Design –WMATA7000 as a Case Study	6
■ 標準型車両「efACE」の展開	Global Expansion of “efACE” Standard Railcar	10
■ 「より速く」を実現する高速車両の開発	Development of High-speed Trains that Deliver “More Speed”	14
■ 新世代の鉄道車両台車「efWING」	“efWING” New-Generation Railway Bogie	18
■ 顧客満足度を向上するためのデザイン設計	Design Development to Improve Customer Satisfaction	22
■ 独自性・革新性を追求した新たな車載システムの提案	Original and Innovative Onboard Systems to Address Rolling Stock Needs	26

新製品紹介

■ 北陸新幹線用 E7系/W7系新幹線電車	Series E7/W7 Shinkansen Train for the Hokuriku Shinkansen Line	30
■ 四国旅客鉄道(株)向け 8600系特急形直流電車	Series 8600 Express EMU Train for Shikoku Railway Company	32
■ 台湾桃園国際空港接続線用電車	EMU for the Taiwan Taoyuan International Airport Access MRT System	34
■ 東京モノレール(株)向け 地上蓄電設備 (BPS)	Battery Power System (BPS) for Tokyo Monorail Co., Ltd.	36

特許・実用新案紹介

■ 鉄道車両用台車	–革新的な鉄道車両用台車「efWING」–	38
■ 車体支持装置及び鉄道車両	–より安全な鉄道車両を提供する–	38

— 金花副社長に聞く —

鉄道車両事業の 近況と今後の展開

鉄道車両事業を取り巻く世界的環境と今後の事業展開をお聞かせください

地球環境に優しく、効率的な大量輸送手段である鉄道システムは、先進国・新興国・発展途上国を問わず、多くの国・地域で建設・延伸が進捗しています。また世界中で高速鉄道、貨物専用線などの国家プロジェクトが具体化しており、当社も台湾新幹線の成功例をベースに官民一体となり受注活動を展開しています。

一方で、欧州ビッグ3に加えて、中国南車・北車の合併による巨大な中車の誕生、日本の車両メーカーの海外生産拠点の稼働や低価格戦略など、ますます熾烈な競争環境になってきました。

このような事業環境でカワサキの鉄道車両が世界市場の中で圧倒的な存在感を発揮し、お客様に最も信頼される鉄道車両システムメーカーの地位を確立するには、技術の独自性追求と差別化が重要であると考えています。総合重工業メーカーとして、幅広くかつ最先端の技術を保有しており、それらを車両の技術開発に結集できるのが何よりの強みです。

独自性を持つ製品にどのようなものがありますか？

例えば、サスペンション機能を持つCFRPフレームを世界で初めて採用した新世代台車「efWING」を製品化しました。これは、航空宇宙カンパニー、技術開発本部など社内の保有技術を結集して開発した、当社にしかできない独創的な差別化製品です。

「efWING」の特徴は、航空機で使われている先進材料であるカーボンファイバーを、世界に先駆けて鉄道車両用台車へ適用し、大幅な「軽量化」を達成したことと、輪重抜け量が従来半以下となり「走行安全性」に対して優れた性能を有していることです。

また開発当初よりカワサキらしさを追求するためデザインにもこだわりました。感性工学に基づき、性能・外観をトータルにコーディネートしたデザインを採用しており、印象的なカラーリングや洗練された機能美によって今までの鉄道台車のイメージを変えるものです。2013年度には台車のデザイン関連では初めてとなるグッドデザイン賞の金賞を頂きました。

お客様にも大変好評で、2014年3月より熊本電気鉄道(株)にて国内初の営業運転を開始し、2015年3月に四国旅客鉄道(株)、同年4月に九州旅客鉄道(株)、同年10月に西日本鉄道(株)



金花 芳則 代表取締役副社長†

において、営業車の台車を「efWING」に置き換え、走行試験を行いました。これらの実績をもとに日本国内および世界市場での拡販を目指しています。

今後、注目するビジネス分野は何ですか？

今までの車両カンパニーは新造車ビジネスが中心でしたが、中計2016では収益拡大のためストック型ビジネスの強化をあげており、特にIoT (Internet of Things) 技術を活用するビジネスに注目しています。

例えば、鉄道事業者の車両保守業務では、ライフサイクルコスト低減の観点から、時間周期による保守 (Time Base Maintenance) から状態監視による保守 (Condition Base Maintenance) への転換が求められています。鉄道部品の中でも台車は点検・交換部品が多く、メンテナンスの時間もかかりますが、当社は台車関連技術を多数保有していますので、IoTを基盤に状態監視、予兆診断技術 (台車状態監視技術、軌道モニタリング技術など) の当社技術の活用により、保守の最適化のみならずお客様のライフサイクルコスト全般に貢献できる保守システムの提供が可能と考えています。

最後に

車両カンパニーでは「鉄道車両を中心として、全ての利用者に安全、安心、快適な移動を約束する製品を提供することで社会に貢献する」をカンパニーミッションに掲げています。当社のコアコンピタンスである高度な技術力と品質により、競合他社の追従を許さない独自性と差別化を図り、世界市場においてカワサキブランドの鉄道車両を広めていきます。

鉄道車両の市場環境と 車両カンパニーにおける取り組み

小河原 誠

常務執行役員 車両カンパニー プレジデント[†]



まえがき

当カンパニーは、「最強のチームワークと最高水準の技術と品質で、世界のお客様に夢と感動を届け、最も信頼される鉄道車両システムメーカーになる」ことをビジョンに掲げ、鉄道車両を中心として、すべての人々に安全、安心、快適な移動を約束する製品を提供することで社会に貢献することを目指している。以下では、当カンパニーを取り巻く鉄道車両の市場環境、これまでの事業展開、今後の取り組みについて述べる。

1 鉄道車両の市場環境

日本国内では、政府主導による経済対策により緩やかな景気回復傾向にあるものの、少子高齢化により旅客人口が減少していくため、大きな市場の成長は見込めない。近年では、老朽車両の置換が需要の中心になっており、全体の発注両数は減少傾向にあるため、鉄道車両メーカー間では熾烈な受注競争が続いている。

一方、世界の国や地域において、鉄道車両は、自動車、飛行機などの輸送機器よりもCO₂排出量が少ない地球に優しい大量輸送手段として評価されている。インド、ブラジル、東南アジアなどの振興国や米国では、経済振興・雇用創出を目的として、高速鉄道の建設、都市交通の拡充プロジェクトなどが多く計画されている。欧州鉄道工業連合（UNIFE）によると、世界の鉄道市場は2019年まで年間平均2.7%（NAFTA3.6%、アジア太平洋4.1%）の割合で成長するとしており、継続的な市場の成長が期待される。

当カンパニーは、北米とアジアという2つの市場を中心に積極的な海外展開を行っている。北米では、人口増加の影響や景気対策・雇用拡大の一環として、社会インフラへの投資が積極的に検討されており、ニューヨークを中心とした北東回廊などにおいて車両増備、更新の需要が顕在化している。アジアにおいては、新興国の都市化を背景として鉄道インフラへの投資が活発化しており、インドや東南アジアなどで旺盛な鉄道車両需要が存在する。また、日本政府は、円借款をはじめとして、成長戦略の重点項目としてインフラ輸出に積極的な姿勢を示している。このように

海外では旺盛な需要はあるものの、欧州ビッグ3（アルストム、ボンバルディア、シーメンス）、中国メーカーの中車など当社の事業規模を上回る競合メーカーが存在しており、国内同様厳しい競争環境下にある。

2 事業展開

こうした中、当カンパニーは世界最高水準の技術と品質を強みに国内・北米・アジアの3市場を中心にバランスのとれた持続的成長を目指している。以下では国内、海外市場における当カンパニーの事業展開と今後の取り組みについて述べる。

(1) 国内における車両事業の展開

国内市場は、雇用・地域経済振興のほか、新技術の開発・製品化というマザーファクトリーの機能をさらに発展させることにおいても、当カンパニーの最重要市場である。

当社は、1906年に兵庫工場で鉄道車両の製造を開始して以来、日本の鉄道車両のトップメーカーとして常に技術の先端を歩みながら鉄道の発達と近代化の一翼を担い、電車・客車・貨車・機関車・ディーゼル車などの車両のほか、関連システム・機器や新交通システムを社会に送り出してきた。技術面では、新幹線電車や全アルミ合金製電車、ゴムタイヤ方式の案内軌条式電車や完全自動運転の新交通システム、低床電池駆動LRV（Light Rail Vehicle）など、同業他社に先駆けて新鋭車両を開発してきた。そのほか、騒音・振動対策など車両高速化に伴うお客様の要求の高度化・多様化に対しては、航空宇宙カンパニーや技術開発本部などの支援のもとに対応してきた。その成果は、近年では北陸新幹線E7系/W7系（図1）などの新幹線電車や、四国旅客鉄道（株）向け8600系特急車両などの在来線の特急・通勤近郊電車に結実されている。

(2) 国内における今後の取り組み

近年受注競争が厳しさを増す国内市場において、当カンパニーは圧倒的な高品質と当社の総合経営を生かした最先端技術を強化することで、競合他社と差別化を図る。具体的には、航空宇宙カンパニーや技術開発本部など全社にお



図1 北陸新幹線E7系/W7系



図2 シンガポール陸連庁向けC151A地下鉄電車

けるシナジーを生かした最先端技術（「efWING」: environmentally friendly Weight-Saving Innovative New Generation Truck, 高速車両など）の開発, 低コスト・短納期に対応可能な標準車両（「efACE」: Environmentally Friendly Advanced Commuter & Express train）の開発を深度化させる。

その他の施策として、近年増加傾向にある独自性を追求した特急車両やイベント車両など、構造が複雑で難易度の高い中小ロットの車両発注に応え、多品種少量生産でも高い生産性を維持するため、兵庫工場の改善活動に取り組んでいる。また、車両のライフサイクル全般に対してお客様に価値を提供するため、台車モニタリング装置や軌道モニタリング装置など車両周辺機器の開発を積極的に行っている。幅広く当社の製品を提供するため、新規のお客様へも積極的にアプローチを行っている。2015年度は、西武鉄道(株)より新型通勤車両を同社向けに初めて受注し、さらに東武鉄道(株)より同社向けに1946年以来となる新型特急電車を受注した。今後も既存のお客様に加え、新規のお客様に対しても積極的に高品質と最先端技術力を活用した製品を提案していく。

(3) 海外における車両事業の展開

当社の鉄道車両輸出は、川崎造船所が清国向け客車4両を納入した1911年（明治44年）に始まり、それ以来数多くの車両を納入してきた。国内案件で培った高品質、最先端技術は高く評価され、現在当カンパニーの連結売上高の半分以上がアジア・北米を中心とした海外向けとなっている。

アジアでは、特にシンガポール・台湾・中国での実績が豊富である。シンガポールでは、1984年に同国のLTA（陸連庁）より都市交通車両を初めて受注し、C151A地下鉄電車（図2）など、30年以上にわたって車両を供給している。現在同市場において64%のトップシェアを獲得している。台湾では、2000年以降、台湾高铁から高速鉄道車両を累計34編成（408両）受注している。MRT(Mass Rapid Transit)の分野においても、1992年に台北市向けの車両を納入以来、

台湾桃園国際空港接続専用電車など数多くの車両を納入している。中国では、1985年中国鉄道部の傘下であった現在の中国中車青島四方機車車両股份有限公司（四方）と友好工場協定を締結し、以来、30年にわたり同社車両工場の計画支援や技術協力・生産協力を行うなど、良好な信頼関係を構築してきた。

北米では、1980年、フィラデルフィアのサウスイースト・ペンシルベニア運輸公団（SEPTA）向け路面電車の輸出を皮切りに、ロングアイランド鉄道向け2階建客車、ニューヨーク・ニュージャージー港湾局ハドソン横断公社（PATH）向けPA-5電車などさまざまな車両を35年以上にわたり納入し、受注両数は累計約4,500両に上る。特にニューヨーク市交通局（NYCT）向けには、1985年に地下鉄電車を納入して以来、累計で2,000両を超える車両を納入しており、同局においてトップシェアを獲得している。1985年には、北米現地法人として、現在のKawasaki Rail Car, Inc. (KRC)（図3）を設立、翌年からヨンカース工場で操業を開始した。さらに2002年にはネブラスカ州リンカーンのKawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A. (KMM)（図4）に車両工場を開設し生産体制の強化を図った。KMM車両工場は、構体製造から最終組立ま



図3 Kawasaki Rail Car, Inc. (KRC)



図4 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A (KMM)



図5 WMATA向け7000系地下鉄電車

で一貫生産を実現している。現地生産により、生産性の向上、輸送費削減、為替リスクの低減を図り、60%以上の米国製部品の調達義務を規定する「バイ・アメリカン」条項を達成している。また、それらにとどまらず、現地に根差した車両メーカーとして、低コスト・高品質な車両の提供、問題発生時の迅速な対応などのお客様満足度向上にも取り組んでいる。

(4) 海外における今後の取り組み

国内市場と同様に、圧倒的な高品質、当社の総合経営を生かした技術力、納期を遵守する契約履行能力によって、お客様と信頼関係を築き、中国メーカーや韓国メーカーと価格競争をするのではなく、非価格競争力で受注を積み上げていく方針である。

ここで競争力強化の施策を挙げる。まず、柔軟にパートナーシップを組み、最適なスキームにてプロジェクトを履行することである。現在、四方とコンソーシアムを組み、シンガポール陸運庁向けMRT電車プロジェクトを履行中であり、当社がプロジェクトマネジメント、設計、台車・主要機器の供給を担当し、四方が完成車両製作などを行っている。当社の技術力、四方の低価格・生産能力を組み合わせたスキームであり、今後も柔軟に最適なパートナーリングに取り組んでいく予定である。また、交通需要はあるもののインフラが整っていない新興国では、車両単体ではなく鉄道システム全体として発注される場合が多く、そのような需要を取り込むため、システムインテグレーション能力の強化を図っており、具体的には2011年に受注した台中市都市交通機電システム案件を現在履行中である。さらに、当社にとって新市場となるインドでは、現在貨物専用線用電気機関車プロジェクトが計画されており、積極的な受注活動を行っている。

北米では、ワシントン首都圏交通局 (WMATA) 向け7000系地下鉄電車 (図5)、NYCT向けR188地下鉄電車、ロングアイランド鉄道 (LIRR) / メトロノース鉄道 (MNR) 向けM9電車など豊富な受注残高がある。KPSの推進、サ

プライチェーンマネジメントの強化などによる生産性改善に取り組みながら、日本 (兵庫工場・播磨工場)、米国 (KRC, KMM) での生産体制にて、これら大型プロジェクトを着実に遂行することで、お客様との信頼関係を構築し、新規案件の受注に積極的に取り組んでいく。

3 独自性、革新性を追求した技術開発

当社の技術開発は、新幹線や海外車両、新交通システムまで多岐にわたる鉄道車両を生み出す源泉である。これまでに述べた国内、海外市場環境と事業の展開を踏まえると、非価格競争による他社との差別化を図っていくために、当社にしかできない独自性と革新性を追求した最先端の技術が求められる。

まず、台車においては、世界で初めて鉄道車両の台車フレームの主構造にCFRPを採用した「efWING」を開発した。航空機で使われているカーボンファイバーで強化した樹脂を、鉄道車両用に適用している。その材料特性から大幅な軽量化を達成し、エネルギーコストの削減を可能にしている。「efWING」は北米での数々の実証試験を経てアメリカ連邦運輸局の鉄道車両の走行安全性に関する規定を満たしていることを確認した。これらの開発を経て、2014年3月より熊本電気鉄道(株)にて営業運転を開始している。また、2015年度より四国旅客鉄道(株)、九州旅客鉄道(株)、西日本鉄道(株)にて相次ぎ走行試験を開始し、走行安定性と乗り心地の向上を確認している。さらに技術改良を進め、本格的な商品化を進める。

近年、他の鉄道車両メーカーはプラットフォームコンセプトを掲げ、自動車産業と同じくメーカー標準を提示し、規模によるコスト・品質のメリットを提示している。一方で、当社は、よりお客様の必要条件を満たしつつ、価値を高められる「マスカスタマイゼーション (個別大量生産)」に対応できる仕組みに注力している。当社の標準型車両コンセプト「efACE」は適用範囲を年々拡大しており、当初のアルミ車両からステンレス車両まで網羅するに至った。

さらに海外市場向けのモジュールコンセプト（図6）にも取り組んでいる。運転台やドアといった部位や装置ごとの標準モジュールを製造し、それらを統一された要領で組み合わせ、お客様の仕様を満たしつつ、海外での製造にも適応した形態を目指している。

高速車両においては、自社開発の流体解析ソフトをパンタグラフおよび車両下部から発生する空力騒音に適用し、神戸市にあるスーパーコンピュータ「京」を利用して大規模な解析を実施し、現象の解明を行った。

次に、海外車両においては、特に北米市場のパイオニアとして厳しい技術と品質要求に応じてきた。最新のWMATA向け7000系地下鉄電車においては、薄型コルゲート型床構造を開発し、従来の剛性強度、耐火性、断熱性、遮音性を確保しながら、床厚さを薄くすることでさらなる床下機装スペースを確保している。衝突構造についてもエネルギー吸収要素の圧壊試験により解析結果を検証し、設計に反映している。これらの検証は設計初期工程に集中的に資源を投入するフロントローディングで行い、遅延無く予定通り営業運転に投入することができるなど、大きな成果を上げている。

一方、注目が高まるIoT（Internet of Things）に関する要素技術として、当社は、台車モニタリング装置（BIDS）の開発を進めており、得られた情報を連続的にモニタリングすることで、故障予知診断に大きな効果を得ることができる。また、画像認識技術により、営業走行車両でレール締結部や継目板などの異常を自動判定する軌道モニタリング装置を開発、量産展開しており、軌道保守作業の効率化によるコストダウンに貢献している。

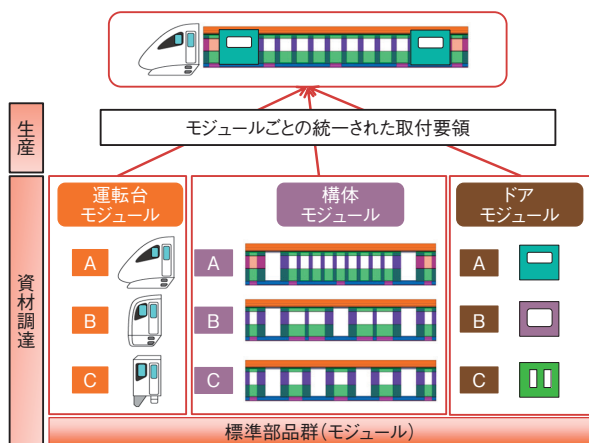


図6 モジュールコンセプト

4 お客様満足度を向上させる取り組み

鉄道車両は、お客様である鉄道事業者の顔である。昨今要求が高度化している環境負荷やライフサイクルコストの低減を図り、デザインを高めた車両を提供することは、鉄道事業者の企業ブランドを高めることにもつながっている。このようなお客様満足度を高めるため、騒音や空調など乗り心地の向上に取り組んでいる。さらに、ここでは本社技術開発本部との共同研究である感性工学と、バーチャルリアリティを紹介する。

感性工学は人の感じ方を客観的に把握する手法である。お客様のデザインコンセプトを踏襲するデザインイメージを創り込む上で感性工学は有効なツールとなる。また、でき上がったデザインイメージに対して3次元データを作成し、当社のデザイナーが起こした複数のデザイン案を感性工学によって科学的に検証しながら、より具体的にデザインに創り込んでいく。最終的には、3次元データを使用したVR（Virtual Reality）により、お客様にデザインを立体的に確認していただくことで、設計の事前検証に役立っている。このようなお客様満足度を向上させる取り組みによって、新規のお客様の開拓にもつながっている。

また、東日本大震災以来、停電や電力不足については、鉄道事業者にとって取り組むべき緊急の課題となっている。その解決策となるのが、非常時のインフラ設備の確保である。当社は、独自開発の大容量ニッケル水素電池「ガガセル」を用いた地上蓄電設備（BPS：Battery Power System）事業の強化に注力しており、東京モノレール㈱に世界で初めて非常時走行を目的としたBPSを納入した。さらに、通常運転時においても、電車からの回生電力のBPSでの貯蔵により、電車の回生失効を防止することで、鉄道事業者のランニングコストを抑制することができる。

あ と が き

当社車両部門は、100年以上にわたり事業を行い、海外向け案件の増加などにより過去15年において連結売上高は約2倍の規模となり、着実な事業発展を遂げてきた。当社を長期にわたり支えていただいたステークホルダーの皆様へ感謝するとともに、今後も安全、安心、快適な移動を約束する製品を提供し、社会に貢献していく。そのためにも、圧倒的な品質と、総合経営を生かした最先端技術にたゆまぬ磨きをかけ、より一層の発展を遂げていく。

車両設計におけるフロントローディング —WMATA7000 を例として—

Front Loading of Rolling Stock Design – WMATA7000 as a Case Study



稲垣 譽① Homare Inagaki
 遠矢 裕二② Yuji Toya
 田中 友絵③ Tomoe Tanaka
 加村圭市郎④ Keiichiro Kamura
 矢野 弘⑤ Hiroshi Yano
 江崎 秀明⑥ Hideaki Ezaki

鉄道車両の設計において、要求性能は時代と共に高度になっている。一方で、鉄道会社の既存設備に合わせて車両を設計する必要があり、しかも短納期になってきている。これらの傾向は当社が2010年に受注したワシントン首都圏交通局向けWMATA7000においても顕著であり、このため、フロントローディングとしてプロジェクト開始当初から、設計リソースを集中投入し、高度な要求を満たす全体最適設計を遅延なく短期間で行うことができた。

Over the years, performance requirements of rolling stock design have become increasingly demanding. At the same time, the design of railway vehicles must be tailored to the existing facilities of railway companies, and manufacturers are increasingly asked to deliver on a short lead time. These trends were clearly evident in the project signed with the Washington Metropolitan Area Transit Authority (WMATA) in 2010 for WMATA7000. To meet the high requirements, Kawasaki front-loaded design resources from the early stages of the project, which enabled it to achieve total optimization of design and delivery on a short lead time without delay.

まえがき

鉄道車両の要求性能は、安全性、快適な室内環境、運転操作性など、時代と共に高度化している。一方で、鉄道会社の既存設備との関係上、スペースや重量など制約条件が数多くあり、その要求仕様は鉄道会社ごとに大きく異なる。また、納入までの期間は短期化する傾向にある。

そこで、車両設計においては、要求性能と制約条件など相反する設計事項を満足させつつ、プロジェクト全体が遅延なく進むように、プロジェクト当初に十分な設計リソースを投入する「フロントローディング」で全体最適設計を行い、開発・設計期間を短縮することが有効である。

1 鉄道車両設計におけるフロントローディング

鉄道車両のプロジェクトの大まかな流れは、設計、材料・部品購入、試作車製作、試作車による各種試験を経て、量産車の製作となる。もし設計遅延が生じると、プロジェクト全体の進行が遅れたり、設計が未完了のまま次のステップを進めて後から手戻りとなる可能性がある。手戻りは、さらなるプロジェクトの遅れや品質の低下を招く。

これに対して、フロントローディングは、初期工程（フロント）に重点を置いて集中的に資源を投入し（ローディ

ング）、問題点を早期把握して開発プロセスを円滑に進め、納期短縮、品質向上、不要コストの極小化を目指すものである。ここでは、WMATA7000での事例を示す。

2 WMATA7000の概要と設計課題

WMATA (Washington Metropolitan Area Transit Authority : ワシントン首都圏交通局) は、ワシントンDCを中心に、メリーランド州、バージニア州にまたがる6路線にて鉄道を運営しており、1000系から6000系の6種の約1,300両の車両を保有している。1000系から6000系は運用開始時期がそれぞれ異なるものの、併結営業運転ができるように互換性が取られ、デザイン的にも統一されている。

当社は、これらの車両の置き換え、および増備の新型車両として7000系を748両受注した。7000系は、ステンレス構体（従来車はアルミ製）、屋上一体型空調ユニット、イーサネット車内ネットワーク、車内表示器の拡充、車内外デザインの新規性など、WMATAとしての新たな試みが要求されており、新規車両としての大きな期待を背負っている。主要諸元を表1に示す。

WMATA7000の課題を以下に示す。

- ・当社にとってWMATAは新規顧客であり、車両のサイズ、要求される条件（強度、騒音、乗り心地など）、

表1 WMATA7000 主要諸元
Table 1 Main specifications of WMATA7000

車種		A Car, B Car
主要寸法	全長 [mm]	22,860 (75 feet)
	車体最大幅 [mm]	3,092 (10 feet 1-3/4 inches)
	最大屋根高さ [mm]	3,302 (10 feet 10 inches)
	床面高さ [mm]	1,016 (40 inches)
最高速度 [km/h]		120 (75 mph)
加速度 [km/h/s]		4.5 + 0.3 - 0.0 (2.8 + 0.2 - 0.0 mph/s)
減速度 [km/h/s]		4.8 ± 0.3 (3.0 ± 0.2 mph/s) (常用) 5.1 (3.2 mph/s) (非常)
構体材料		ステンレス, 低合金高張力鋼
集電方式		DC700V, 第三軌条
ブレーキ		発電・回生ブレーキ付空気ブレーキ, 駐車ブレーキ
台車		ボルスタ付空気バネ台車 (インボード台車) 軸箱支持: 積層ゴム
側引戸		両開き, 戸袋式, 片側3扉, リアモータ式ドアオペレータ
空調ユニット		屋上一体搭載型
車内ネットワーク		ETN (イーサネット), TCN (MVB, WTB)

路線の条件, 車両に搭載される設備など, 各種条件を WMATA に合わせて全体最適すること

- ・既存設備に合わせる必要がある一方で, 機能向上に向けて既存車に比べ搭載機器が増えたため, 機器機装スペースの確保と軽量化を図ること
- ・短納期のため, 受注から約1年半で詳細設計を完了すること

3 WMATA7000でのフロントローディング

2章の課題に対応するため, 以下のようにフロントローディングを進めた.

- ・通常, 設計各課に分かれている担当者を一ヶ所に集め, 集中的に設計
- ・開発主体である車両カンパニーだけではなく, 各種のキー技術を保有する本社技術開発本部もプロジェクト当初から参画
- ・受注後, 初期段階のみならず入札段階から設計リソースを投入し高度な技術要求に応え, 軽量化・省スペース, 短納期, 低価格とするべく対応
- ・検討に時間がかかり後工程にも影響の大きい, 構体構造, 耐衝突性, 薄型床構造, 空調システム, 騒音・振動, 台車走行性能, 台車強度, 電気品システムを重点的に検討
- ・開発初期段階から, 製造を見据えたコンカレントエンジニアリング (設計と生産計画の工程を同時並行して行う手法) も重視
- ・新素材・新構造の開発, シミュレーションの高度化による新たな開発手法の導入により, 設計検討における省力化・最適化

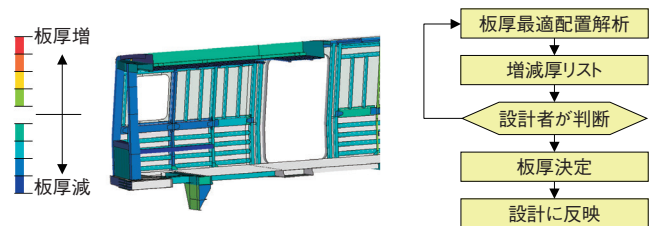
(1) 構体構造検討 (最適化計算)

車両の設計では常に軽量化が重要な課題となる。従来, 構体構造の設計では設計者が過去の実績や経験を基に部材の板厚や形状を決め, 解析で強度的に余剰な箇所や不足する箇所を見極めて, 板厚や形状を修正, 再度解析するというのを何回も繰り返す必要があった。

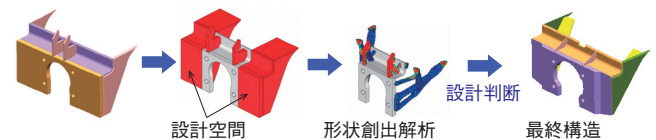
今回, 板厚と形状の最適化計算ソフトを使用し, その結果として得られる板厚増減リストや最適形状を利用することで, 従来繰り返し行っていた板厚・形状修正と解析を減らすことができた (図1)。さらに, 早期に構体設計が完了したことで, その後の部品取付設計に速やかに着手できた。

(2) 構体構造検討 (衝突)

北米では, 高度な耐衝突設計が要求される。衝突エネルギーの吸収, 衝突による先頭車両の変形の際のサバイバル空間の確保, 脱線, 乗り上げなどの各種条件を満足させるため, 衝突解析で設計の妥当性を検討・評価した (図2)。



(a) 構体板厚最適化



(b) 連結器受け形状最適化

図1 構体構造検討 (最適化計算)

Fig. 1 Investigation of carbody structure (optimization analysis)

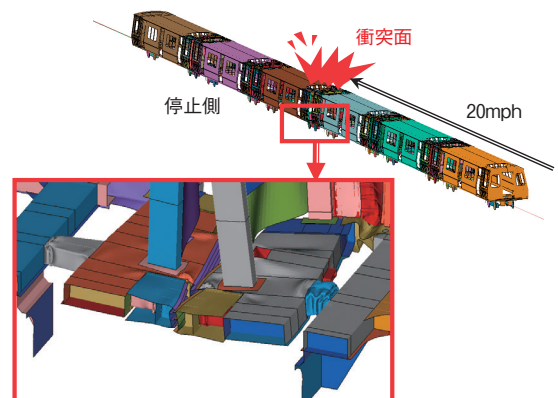


図2 構体構造検討 (衝突)

Fig. 2 Investigation of carbody structure (crush analysis)

さらに、衝突エネルギー吸収要素の圧壊試験や台枠構造の衝突試験を実施して解析結果を検証し、設計に反映した。以上の取り組みにより早期に耐衝突構造の設計が決まり、遅延なく構体製作を開始できた。

(3) 薄型床構造

WMATA7000は床下スペースに制約があり、床下機器、配管・配線スペースを確保するためには、床構造の薄型化が必要であった。さらに、床構造が決まってから、床下機器や配管・配線の設計を行うため、早期に床構造を確定させる必要があった。一般的には、床構造を薄くすることで剛性強度、耐火性、断熱性、遮音性は不利になるが、これらの要求性能を満足しつつ床厚さを薄くできる薄型コルゲート床構造を新規に開発し、床下機器、配管・配線のための艤装スペースを確保できた(図3)。

(4) 空調システム

(風量最適化, 車内温度最適化, 低騒音化)

空調ユニットの性能や天井スペースに合わせ規定風量を満足するようダクト設計を行うとともに、空調温度分布の適正化、低騒音化を両立させる必要がある。WMATA7000では空調ユニットをメンテナンス性に優れた屋上一体型としたが(従来車は屋上・床下セパレート型)、車両の大きさは既存車と同じであるため天井の極めて限られたスペースに、空調ユニットとダクトを配置する必要があった。

そこで、CFD(数値流体力学)解析によるシミュレーションを駆使して、空調ダクト風量配分最適化、車内温度分布適正化、流路最適化、低騒音化について設計検討した(図4)。空調システムでは、気候試験室における実車試験で最終評価を行う。その時点で不具合が発覚すると、他の箇所の設計・製造にまで影響を与える恐れがあるが、早期のシミュレーションにより大きな手戻りの発生を防止できた。

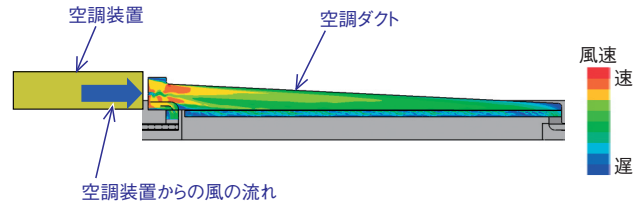


図4 空調システム検討(風量分布)
Fig.4 Investigation of HVAC system (air distribution)

(5) 車内騒音

車内騒音は、車両搬入後に現地での測定結果で判定される。その時点で仕様値に入らないと再設計となり、納期などに影響が生じる。そこで、騒音を事前に検討するシミュレーションをSEA法(Statistical Energy Analysis:統計的エネルギー解析)により実施した(図5)。レールの影響による台車周囲の転動音がシミュレーションの入力として必要となるため、既存車で測定を行い、そのデータを用いた。車両完成後の測定では要求値以内であり、手戻りなどは発生しなかった。

(6) 車体設計(運転室設計)

運転室の設計においては、人間工学(Ergonomics)に基づき、さまざまな体格の運転士に対応して機器操作性、前方視野の確保を考慮する必要がある。従来、2次元図面上でその検証を行っていたが、確認できる範囲に限界があった。WMATA7000では3次元モデルを用いて、運転士の体型の違いを考慮した詳細な稼働範囲、視野の検証を行った(図6)。シミュレーションの活用により実物大模型の製作前に細部を確認することで、設計期間を短縮でき、また視覚的に確認しやすくなったため客先から早期承認を得ることができた。

(7) 台車(走行シミュレーション)

台車の設計では、必要な走行性能が確保できていること、走行安全性が確保できていることを、設計段階であらかじめ走行シミュレーションで確認しておく必要がある。評価項目・条件が多岐にわたるが、このシミュレーション結果

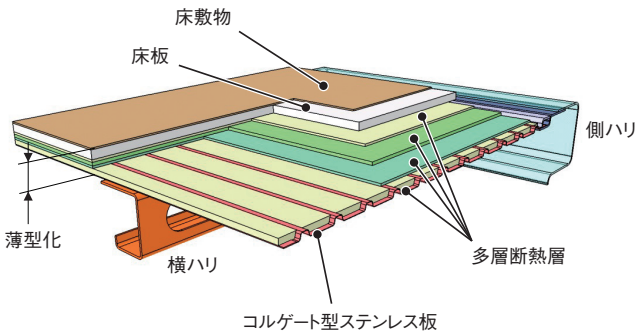


図3 床構造検討
Fig.3 Investigation of floor construction

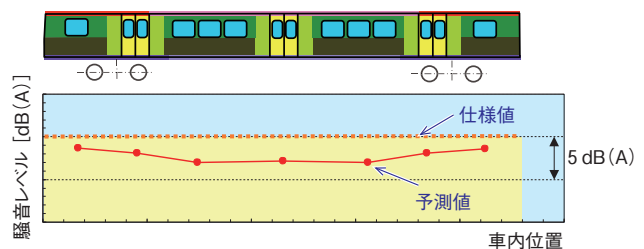


図5 車内騒音検討
Fig.5 Investigation of interior noise

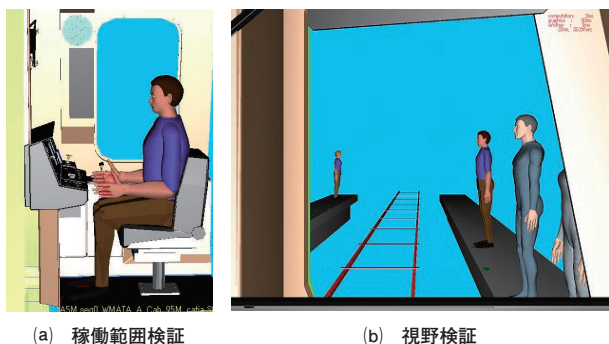


図6 車体設計（運転室）
Fig. 6 Carbody design (cab)

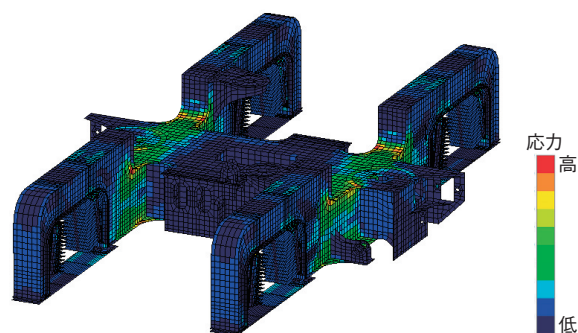


図8 台車設計（強度検討）
Fig. 8 Bogie design (strength investigation)

を受けて台車の詳細設計を行うため、プロジェクト初期段階に、効率的に実施する必要がある。それぞれの組み合わせ条件について多数のシミュレーションを効率的に実施し、台車の設計に反映させた（図7）。

(8) 台車（強度検討）

台車には、各種の荷重が作用する。安全性確保のためには、さまざまな荷重組み合わせの全てについて、静的強度・疲労強度を精査する必要がある。各荷重を組み合わせ強度を計算し、その結果から板厚を最適化するシステムを新規に開発し、WMATA7000の設計台車枠および枕バリの設計に活用した（図8）。これにより構造部材の強度と軽量化を両立し、設計期間の短縮ができ、後工程にスムーズに進めた。

(9) システム設計

WMATA7000ではネットワークや車内情報システムなど、既存車より搭載機器が追加され、要求機能も高度になっている。機器の仕様が後から変わると、機器を搭載する設計も見直しとなる。このため、プロジェクト当初から機器メーカーと集中的に討議し、システム設計担当と機器取付設計を行う車体・艤装・台車設計担当の間で密に検討しながら設計を進め、手戻りを減らすことができた。

(10) コンカレントエンジニアリング

客先仕様を満たす設計ができたとしても、製造が困難な設計となっていた場合は製造時に問題が生じ、設計のやり直しを招く。そこで、プロジェクト当初から工作部門と製作性を協議するコンカレントエンジニアリングを行った。

あ と が き

当社での車両設計におけるフロントローディングの取り組みについて、WMATA7000を例に述べた。プロジェクト当初から設計リソースを投入することにより、短い時間で大きな手戻りのない設計ができた。また、全体最適化を目指す上でも、非常に効果的であった。さらに、新たに開発したシミュレーション技術なども省力化、最適化に大きく寄与した。現在検討を進めている他事業者向けの新形式車両も含めて、今後も本手法を適用し、ますます高度化する要求に応じていきたい。

なお、WMATA7000は設計の後、試作車製作、各種試験を経て、2015年4月より営業運転に投入された。現在、量産車の製作、納入が行われている。

末筆ながら、設計初期段階からご協力いただいたWMATA関係各位、機器メーカーに感謝します。

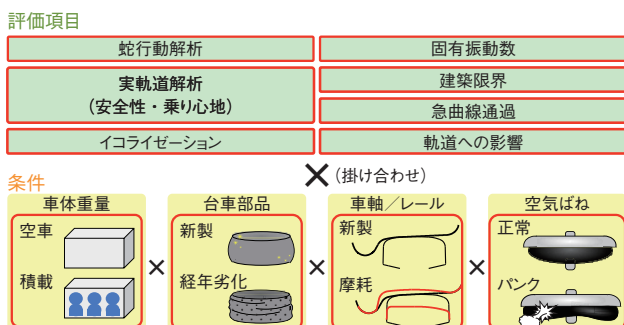
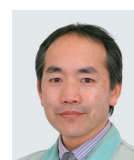


図7 台車設計（走行シミュレーション）
Fig. 7 Bogie design (running simulation)



稲垣 誉



遠矢 裕二



田中 友絵



加村圭市郎



矢野 弘



江崎 秀明

標準型車両「efACE」の展開

Gloval Expansion of “efACE” Standard Railcar



加藤 英一①*	Eiichi Kato
神戸 勝啓②	Katsuhiko Kanbe
岡山 千裕③	Chihiro Okayama
多田 章彦④*	Akihiko Tada
矢木誠一郎⑤	Seiichiro Yagi
内田 啓⑥	Kei Uchida

当社の標準型車両「efACE」は、「標準型」の思想でありながらも「柔軟性」を併せもつ特徴を生かし、国内市場でアルミ製車両からステンレス製車両まで適用を広げてきた。

現在、さらに発展の見込まれる海外市場での新規顧客獲得、市場確保を狙うべく、従来の国内向け「efACE」を基礎技術とした海外向け標準型車両も開発している。

Kawasaki's efACE standard railcar combines the concept of a “standard car” and flexibility. In the Japanese market, Kawasaki made full use of this characteristic by applying the efACE model to both aluminum cars and stainless steel cars.

With an eye to capturing new customers and market share in overseas growth markets, Kawasaki is currently developing standard cars for overseas users based on the existing efACE technologies for the Japanese market.

まえがき

昨今、鉄道会社（顧客）からの要望が多様化しており、また短納期・低価格が求められている。このため、車両を標準化するとともに、多様化するニーズに柔軟に対応できることが望まれていた。

1 標準型車両「efACE」

当社はこれまで、さまざまなユーザーニーズに応える提案型車両として、標準型車両「efACE（イーフェイス）：Environmentally Friendly Advanced Commuter & Express train」¹⁾の開発を行ってきた。

標準型車両「efACE」は、鉄道車両に関わる人々、車両の利用客、運行・メンテナンスを実施する鉄道事業者、そして車両を製作する鉄道車両製造メーカー、それぞれの立場において満足のできるバランスのとれた車両としている。

これまでの車両メーカー主導の標準型車両では、車両の製造工程やコストが最優先され、必ずしも、利用客や鉄道事業者にとって満足のいく車両を実現できていなかった。

しかしながら、製造コストを抑えることは、鉄道事業者にとっても車両導入コストの削減につながり、さらには、利用客もより快適な新車を利用する機会が増えるなどのメリットを共有できることになる。

低コストな標準型車両でありながら、それぞれの立場でのメリットを失わないようにするため、当社の「efACE」には三つの基本コンセプト、「付加価値」、「柔軟性」、「合理性」を持たせている（図1）。

「付加価値」とは、安全、快適、意匠など、「柔軟性」とは、さまざまな車両のサイズや用途、材料への適合など、そして、「合理性」とは、安定した品質、低価格化などを意味している。

これら三つの基本コンセプトは、これまでの車両メーカー主導の標準型車両では軽視されがちな項目であったが、



図1 標準型車両「efACE」の基本コンセプト
Fig. 1 Basic concepts of efACE standard car

10 ①④ 車両カンパニー 技術本部 技術企画部
② 技術開発本部 システム技術開発センター ICTシステム開発部
③ 車両カンパニー 企画本部 企画管理部

* 技術士（機械部門）

「efACE」では、常に計画段階から配慮されるべき項目となっている。

特に「efACE」の基本コンセプトの一つである「柔軟性」は、さまざまなユーザーニーズへの対応はもちろん、構体材料や製作方法にも影響されないなど、鉄道車両製造メーカーにとっての「柔軟性」も持ち合わせている。例えば、車両の大きさ、車体の材料、側窓の大きさ、出入口の位置、腰掛の数など、車体の基本構成にも影響を及ぼすような鉄道事業者ごとに異なるユーザーニーズにも柔軟に対応が可能となっている。

2 国内向け「efACE」の適用事例

アルミ製通勤型車両である京阪電気鉄道株3000系電車から適用された「efACE」は、その「柔軟性」を生かし、その後ステンレス製通勤型車両、ステンレス製近郊型車両にまで適用範囲を広げている。

ここでは、アルミ製車両とステンレス製車両の適用事例について紹介する。

(1) アルミ車両

アルミ車両(図2)は、押し出し形材を多用した台ワク、側、屋根、妻の各構体ブロックから構成され、組み立てられる。

当社の「efACE」アルミ構体では、屋根構体の両端に配置される軒ケタと、台ワク構体の両端に配置される側ハリを変動部材とし、さまざまな屋根高さや車体幅のユーザーニーズに対応してきた(図3)。

また、側構体は図3に示すような「ハモニカ構造」を持つ側構体部材から構成され、全車種共通構造としている。この「ハモニカ構造」は、車両内装設備品の種類や取り付

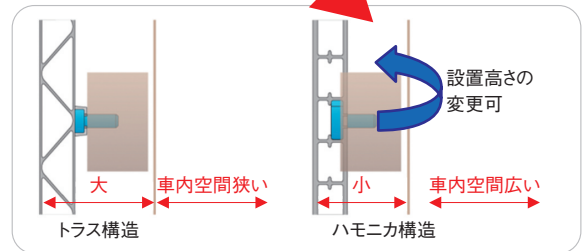
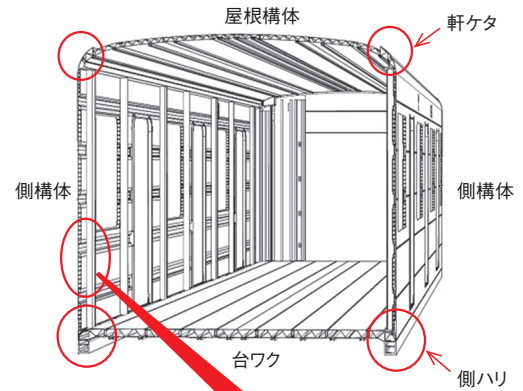


図3 アルミ製「efACE」適用車両の断面構造
Fig. 3 Cross-sectional structure of an aluminum efACE car

け位置などのユーザーニーズに側構体部材の変更なく対応できる「柔軟性」を持っている。

(2) ステンレス車両

ステンレス車両(図4)は、スポット溶接やレーザー溶接でステンレス製の外板、骨組み、ロールフォーミング成型された長尺材などを、台ワク、側、屋根、妻の各構体ブロックに構成し、組み立てられる。



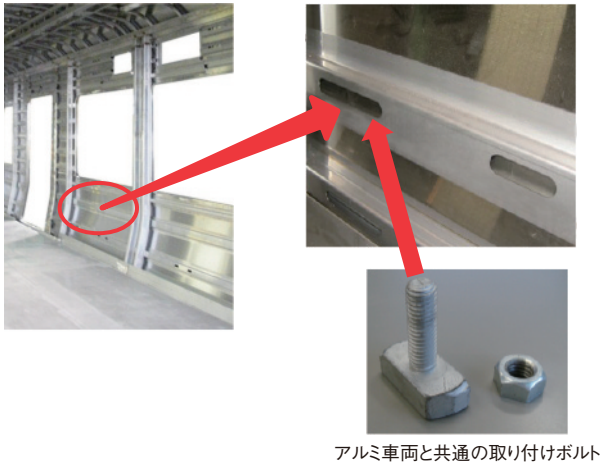
京阪電気鉄道株 3000系 東京地下鉄株 16000系

図2 アルミ製「efACE」適用車両の実績例
Fig. 2 Trains featuring aluminum efACE cars



西日本旅客鉄道株 225系 北海道旅客鉄道株 733系

図4 ステンレス製「efACE」適用車両の実績例
Fig. 4 Trains featuring stainless steel efACE cars



アルミ車両と共通の取り付けボルト

図5 ステンレス製「efACE」での内装取り付け構造
Fig. 5 Interior mounting structure of a stainless steel efACE car

「efACE」ステンレス構体では、側構体の車長方向に配置される骨組みをアルミ構体の「ハモニカ構造」と同形状とすることで、内装材の取り付け方法をアルミ車両とステンレス車両で共通化させている（図5）。

3 海外向け「efACE」の開発コンセプト

近年、高まりつつある現地生産化率の拡大といったニーズにも対応できるような海外向け「efACE」を開発するにあたり、三つの基本コンセプト、「付加価値」、「柔軟性」、「合理性」は維持したまま、それぞれの基本コンセプトを下記の通り、海外向けとして具体的に再設定した。

- 付加価値 ⇒ 現地生産化
- 柔軟性 ⇒ 設備、調達、工法の柔軟性
- 合理性 ⇒ モジュール化

さらに、開発メンバーがより具体的に開発コンセプトのイメージを共有できるように、

「どこでも、だれでも」

というキャッチフレーズも設定した（図6）。

(1) どこでも

鉄道車両製造では、長尺という鉄道車両形状の特徴のため、さまざまな専用設備が必要となっている。その専用設備の使用を回避するためには、短尺に分離し、それらを結合することになる。つまり、モジュール化が必須となる。

モジュール化された各構成材は、その短尺化されたサイズにより、鉄道車両製造専門の既存メーカーにとらわれることなく、新たな外部調達先からの入手も可能となる。

また、従来では、構体結合という6面体へ形成する結合工程において、鉄道車両製造メーカー保有の専用地上設備が必須であった。今回、この専用地上設備を必要としない結合方法や治具の開発も行った。

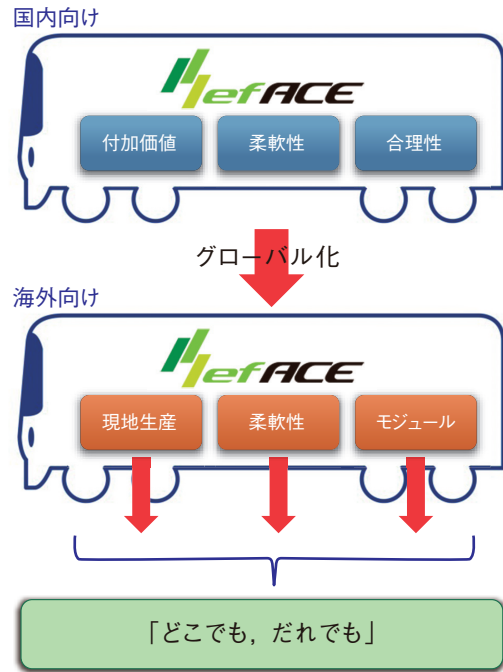


図6 海外向け「efACE」の開発コンセプト
Fig. 6 Development concepts of efACE for overseas

(2) だれでも

従来の鉄道車両は、溶接工、板金工、電気工、配管工など、多種に及ぶ専門工の技量に依存して製造されている。現地生産先や、新たな外部調達先に、この専門的な技量を短期で取得させることは困難である。そのため、作業員個人の技量に頼らない製造方法が必要となる。

モジュール化された各構成材のサイズは、一般的な工場が所有している加工機のテーブルサイズを基本サイズとし、機械化により人の技量に依存しない製作を可能にした。また、各構成材の接合時には、作業員の技量に依存する接合方法でなく、ツールによって施工管理できる接合方法へと変更している。

電線類の施工についても、車両内での電線長の調整、端子類へのピン打ち作業などを排除するため、完全なハーネス化を検討し、適切なハーネスモジュールを設定した。これにより、車両での作業は、外部で完成されたハーネスモジュールを車両へ搭載するのみとなっている。

(3) 艤装単位

鉄道車両製造における「艤装」とは、設備品、電線、機器類を車両へ搭載する作業である。

従来の標準的な設計工程では、車両性能として基本的な要件である車体強度が優先され、その後に「艤装」の設計が着手されていた。海外向け「efACE」の開発では、初期検討時から、各構成材のモジュールの分割単位や分割位置など、「艤装」を考慮に入れている。

「艤装」における最適なモジュール単位と車体強度にお

ける最適なモジュール単位とでは、分割位置や結合方法、製造工程の順序など、従来の製造方法では一致させることができなかった。そこで、製造工程の入れ替えや各製造工程での制約なども考慮した上で、モジュール分割を適切に調整し、各モジュールごとの「先組化」を実現している。

4 海外向け「efACE」のモックアップ製作

上述のキャッチフレーズを基に計画、設計された車両が実現できるかを検証するために、実物大モックアップを製作した（図7、図8）。

各構体のモジュールの構成部材は車両製造メーカー専用設備を使用せず、一般的な板金工場が所有している設備のみを使用し製作した。

6面体結合時にも、車両製造メーカー専用の地上設備を使用しない簡易的な治具を開発・設計して、使用した。

内装部材は、これまでの鉄道車両向け内装素材にとらわれず、建築向け素材や樹脂素材を多用し、新たな外部調達先へ発注した。取り付け方法も、従来工法にとらわれず、



図7 海外向け「efACE」モックアップ外観
Fig.7 Exterior of a mockup of an efACE car for overseas



図8 海外向け「efACE」モックアップのインテリア
Fig.8 Interior of a mockup of an efACE car for overseas

店舗建築などで使用されている什器類の据え付け工法を参考にし、鉄道車両向けにアレンジして採用している。

「だれでも」が実現できているかを確認するため、このモックアップ車両の一区画は、開発者と設計者が自ら取り付け作業を実施した。従来の内装作業で技量を要する調整作業を排除した設計および意匠とすることで、当社の熟練作業者が製作した区画と遜色ない仕上がりを得ることができた。

海外向け「efACE」モックアップの製作で得た要素技術は、国内向け「efACE」へ順次フィードバックしている。「柔軟性」を最大限に活用した海外向け「efACE」モックアップは、従来の国内向け「efACE」の「柔軟性」をさらに拡大できることが分かった。その結果、近年、国内向け鉄道車両で要求されている、差別化を図るための高度なユーザーニーズにも、的確かつ柔軟に対応できるようになった。

現在、当社で新規設計される鉄道車両には、「efACE」の数々の要素技術が採用されている。

あとがき

当社の標準型車両「efACE」は、その基本コンセプトの通り「柔軟性」に富み、海外向け車両への展開も可能となることが分かった。

また、開発中の海外向け「efACE」では、「柔軟性」をさらに拡大できることが分かり、従来の海外向け車両の高度な技術と共に、国内案件へのフィードバックも可能となった。

さらに開発を進め、国内および世界各国のユーザーニーズに柔軟に応じていきたい。

参考文献

- 1) 岡山, 平嶋, 真田, 北林, 熊本, 矢野: “さまざまなユーザーニーズに応える提案型車両 - 標準型通勤車両「efACE」-”, 川崎重工技報, No. 170, pp. 28-31 (2010)



加藤 英一



神戸 勝啓



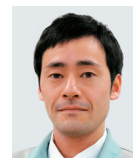
岡山 千裕



多田 章彦



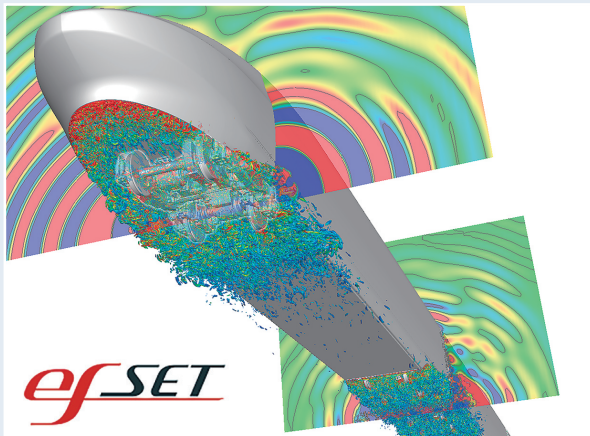
矢木誠一郎



内田 啓

「より速く」を実現する高速車両の開発

Development of High-speed Trains that Deliver “More Speed”



佐々木 隆① Takashi Sasaki
 越智 章生②※ Akio Ochi
 上野 陽亮③ Yosuke Ueno
 佐野 淳④※ Atsushi Sano
 吉田 直弘⑤* Naohiro Yoshida
 畑 晋一郎⑥ Shinichiro Hata
 富澤 雅幸⑦ Masayuki Tomizawa

ますます高速化が求められる鉄道車両において、低騒音化と耐衝突構造の開発が重要である。このためには、騒音発生や衝突の現象をシミュレーションで精度よく再現して、事前検証を十分に行うことが必要である。

今回、当社で開発している高速車両において、「京」を用いた空力騒音解析とFEMを用いた衝突解析により、これらの現象を再現することに成功した。これにより、高速車両の開発を加速させていく。

In meeting customers' demand for faster trains, developers must also focus on achieving noise reduction and developing a crashworthy structure. To this end, it is vital that the generation of noise and crash events are accurately reproduced in simulations, and that these are used to perform thorough validation in advance.

Recently, we succeeded in reproducing these phenomena in the development of a high-speed train currently underway at Kawasaki. This was achieved through aeroacoustic simulations using the K computer and crash analyses using the finite element method (FEM). These technologies are expected to further accelerate the development of high-speed trains.

まえがき

ビジネス、観光において移動時間が大幅に短縮されることで経済活動をより活性化させ、さらなる経済成長をもたらす効果が期待できる。このような中、日本のみならず世界各地の鉄道においても、より速い車両への要望が高まっている。

1 背景

近年の新幹線の高速化や海外における高速鉄道導入機運の高まりの中で、「より速く」を実現するための課題は大きく低騒音化と耐衝突の二つであると言っても過言ではない。

騒音は、主にパンタグラフと車両下部において発生する。さらなる速度向上に伴い、速度の約6乗に比例して増大する空力音の寄与が、速度の約3乗に比例する転動音と比較して大幅に増大するようになる。

これまでに海外仕様のパンタグラフの騒音特性把握と風試結果との比較による解析精度の検証¹⁾を重ねてきた。定性的にピーク周波数がよく一致することは確認できたが、格子の解像度不足により音圧レベルの定量的な予測には課題があった。さらに、海外では新幹線のような専用軌道や防音壁が必ずしも設置されていないことや、欧州では台車

側カバー無しもしくはハーフカバーが主流であることなどから、車両下部からの騒音の寄与がパンタグラフに対して圧倒的に大きいという背景がある。しかし、これまで車両下部音の空力騒音解析は、音源である台車部の詳細モデル化が困難であったこと、実際の編成長さ（3両以上）での大規模解析は、これまでの計算機資源ではほぼ不可能であったことから実施されてこなかった。

そこで、スーパーコンピュータ「京」を利用することで、パンタグラフから発生する空力騒音については、定量的予測精度の改善を目指し、高速車両下部から発生する空力騒音については、先進的な大規模非定常CFD（数値流体力学）解析によって予測する研究を始めている。

一方、耐衝突構造の開発については、海外の鉄道車両では、規格・法令および仕様書で所定の耐衝突強度要求に準拠することが求められている。その典型的な例として、欧州の耐衝突強度要求に関する規格EN15227では車両同士の衝突において所定生存空間の確保や衝突時の減速度制限が求められている。また、米国では連邦規定（CFR：the Code of Federal Regulation）において、高速鉄道を想定した最高速度201km/h以上354km/h未満の鉄道車両でも車両同士の耐衝突強度要求が追加される見通しである。

鉄道車両メーカーは、これらの要求を満足することの実証が求められる。しかし、実際の編成長さでの衝突試験は、

経済的にも物理的にも実施が困難である。そのため、上述した規格のシナリオに沿った衝突解析とその精度の実証試験により耐衝突性能を証明するプロセスが認められている。以上のことにより、数値シミュレーションを用いた衝突解析は車両の耐衝突性能を実証する上で重要な技術となっている。

2 「京」を用いた空力騒音解析

(1) 当社独自の解析手法

解析ソフトは、当社開発のCFDソフト「Cflow」である。「Cflow」は、複雑形状への適合性を高めた格子作成手法と、空力騒音の直接解析のために数値的な減衰が非常に小さい解析手法を取り入れている。すでに、「京」への移植を完了し、数千コア並列計算までリニアな計算速度向上を達成するなど超大規模解析に対応した並列化が行われている。当初は航空機の空力性能評価を主目的に開発されたソフトであったが、近年では鉄道車両向けにトンネル微気圧波やすれ違いなどに対応した新機能を搭載し、当社製品への適用範囲の拡大を図っている²⁾。

(2) パンタグラフの空力騒音解析

解析対象のパンタグラフを図1(a)に示す。計算格子は、従来より格子解像度が高い4.1億セルで、使用した「京」の計算資源は2,048コア(256ノード)である。なお、解析条件は風洞試験条件に合わせて一様流速度300km/hとした。

渦が含まれる領域を抽出するため、中心断面での渦度分布(瞬時値)を図1(b)に示す。破線で囲んだ碍子(がいし)の後流渦が細かく捉えられていることが確認できる。

図2に遠方観測点(パンタグラフから側方に25m離れた位置)における音圧レベルの比較結果を示す。今回の解析結果では、これまで定量的に予測できていなかった2つのピーク周波数(160Hz, 315Hz)を含む125~800Hzでの音圧レベルが、風洞試験による測定結果に、より近づいた。

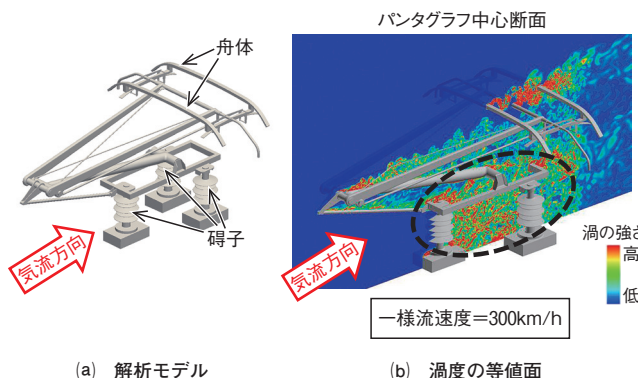


図1 パンタグラフの空力騒音解析
Fig. 1 Aeroacoustic simulation of a pantograph

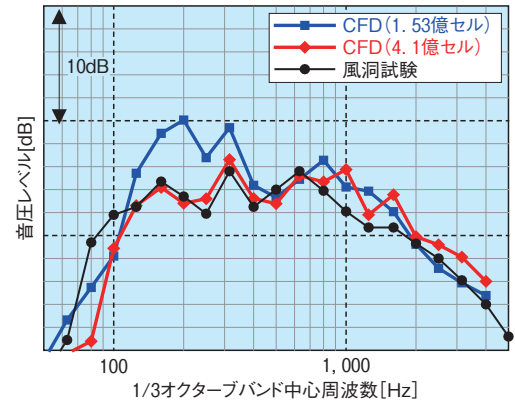


図2 遠方観測点における音圧レベルの比較結果
Fig. 2 SPL at a far-field observation point

1 kHz以上の高周波においても、これまで以上に解析精度が改善された。格子解像度の向上により、音圧レベルの定量的予測精度を改善することができた。

(3) 「efSET」の車両下部空力騒音解析

(i) 解析条件

解析対象は、当社オリジナル高速車両「efSET」の先頭車、中間車、後尾車の3両編成とし、図3の「詳細台車部拡大」に示すように、前方1.5両分の軸ハリ式高速台車³⁾を詳細に模擬した。台車カバーは、一番先頭のみフルカバー(カバー有り)、残りは全てハーフカバー(カバー無し)とした。解析モデルの大きさは実車スケールとし、先頭車長は26.4m、車間部は0.5mである。

計算格子は8.32億セルと1.69億セル(台車カバー有無の効果確認用)の2種類作成した。渦を捉えるため、車部と車間部に細かい格子を配置し、音波の伝播を捉えるために

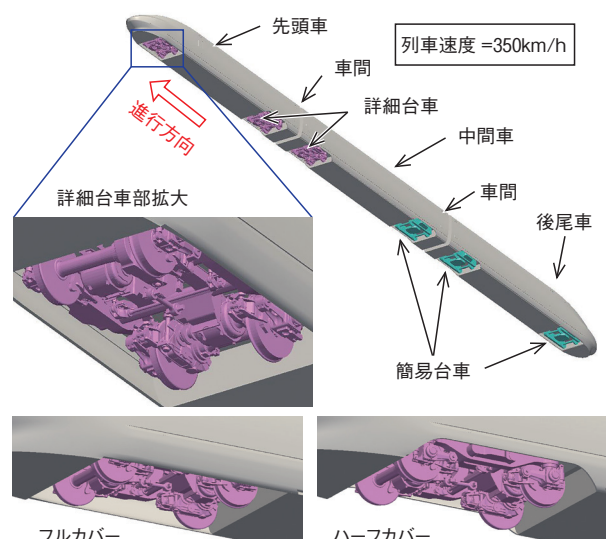


図3 解析モデル
Fig. 3 Computational model (bogie)

車体の上方や側方には比較的細かい格子を配置した。なお、解析条件は列車速度350km/hとし、実際の走行状態を模擬している。8.32億セルの計算では「京」の8,192コア(1,024ノード)を使用した。

(ii) 解析結果

渦が含まれる領域を抽出するため、渦度の等値面(瞬時値)を図4に示す。先頭部ではスカートのエッジから強い渦が発生している。また、台車部は全体的に乱れた流れ場になっており、先頭車と中間車の車間部でも台車部全体から細かい渦が発生しているのが分かる。しかしながら先頭部の台車から発生する渦に比べると、先頭車後方台車や中間車前方台車から発生する渦は弱くなっている。また、車体下面の車間部からも渦が生成されているが、従来の解析では格子の解像度不足により渦の生成は見られなかった。

先頭部の車体と台車表面における400Hzの圧力変動分布を図5に示す。スカートのエッジから剥離した流れが再付着する車体下面での変動が大きくなっている。また、台車カバー外側表面や台車キャビティ部後方の変動も大きくなっているのが分かる。さらに、台車キャビティ前縁部から発生した剪断層にさらされる台車の各部位(車輪や機器類)の圧力変動が大きくなっており、全体的に台車部の広い範囲から空力騒音が発生していることが予想される。

バンドパスフィルター処理を施して、100Hzの圧力変動を抽出して可視化したレール上面の高さ位置における結果を図6に示す。ここで、赤・青の距離が短いものは流体運

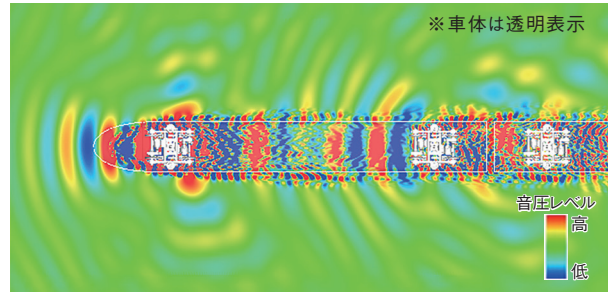


図6 バンドパスフィルター処理による圧力変動(100Hz)
Fig. 6 Filtered pressure fluctuation at 100Hz

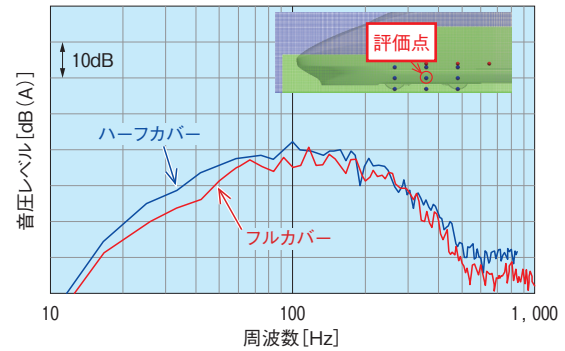


図7 近傍場における音圧スペクトルの比較結果
Fig. 7 SPL at a near-field observation point

動による変動圧力波を表し、赤・青の距離が長いにじんだ色調のものが外部領域への音波の伝播を表している。台車部からの放射音は側方に指向性を持っていることが分かる。

最後に、欧州ではハーフカバーもしくはカバー無しが主流のため、台車カバー有無の効果も確認した。台車カバーの効果を確認するため、一番先頭の台車をハーフカバーとした。近傍場の音圧スペクトルによる比較を図7に示す。その結果、フルカバー化によって全周波数帯で騒音レベルが下がり、オーバーオール値で2.4dB(A)低減できることが解析により確認できた。台車部の詳細なモデル化、大規模な解析が可能となり、台車カバーの騒音評価に適用できるようになった。

3 FEM(有限要素法)を用いた衝突解析

(1) 「efSET」耐衝突構造の実証試験

当社では、「efSET」の要素技術としてEN15227およびCFRに適合できる耐衝突構造の開発³⁾を行ってきた。「efSET」ではさまざまな要求仕様に対応するべく、衝突エネルギーを吸収する区画と乗員生存区画を明確に分け、衝突エネルギー吸収要素をモジュール化するコンセプトで耐衝突構造を開発した。本構造における耐衝突性能を解析によって実証できれば、当社にとって海外向け高速車両受注への大きな競争力となる。そのため、海外仕様での衝突

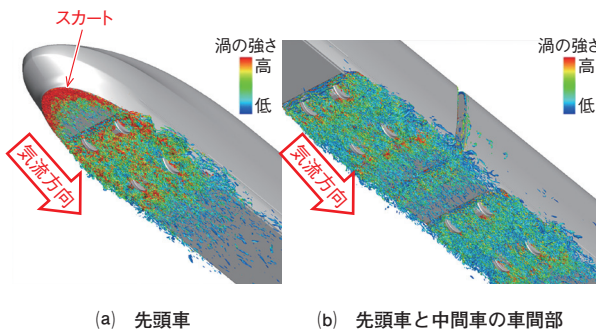


図4 渦度の等値面
Fig. 4 Isosurface of vorticity magnitude

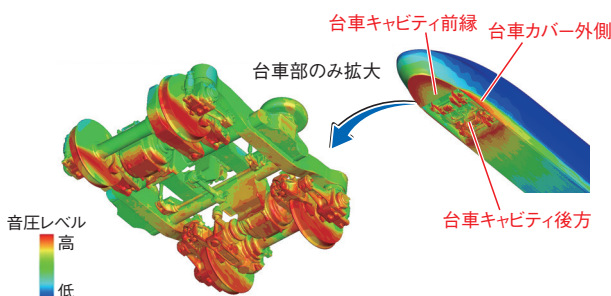


図5 車体と台車表面における400Hzの圧力変動分布
Fig. 5 Surface distributions of SPL at 400Hz

エネルギー吸収部位の分配を検討した上で衝突エネルギー吸収要素と先頭構造を製作し、解析検証用の実証試験を実施した。実証試験では、衝突エネルギー吸収要素が取り付けられた先頭構造を剛壁に固定し、想定される衝突エネルギーを持った衝突台車を図8のように60km/hの速度で衝突させた。

(2) 実証試験結果

本構造では、衝突時に衝突エネルギー吸収要素のみが変形して衝突エネルギーを吸収し、生存区画が保護される必要がある。図9の衝突後の変形比較図から、試験・解析ともに、上記コンセプト通りの衝突後挙動を示しており、満

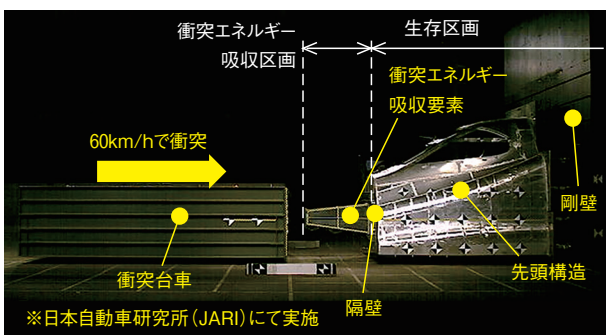


図8 耐衝突構造の実証試験
Fig. 8 Crash test

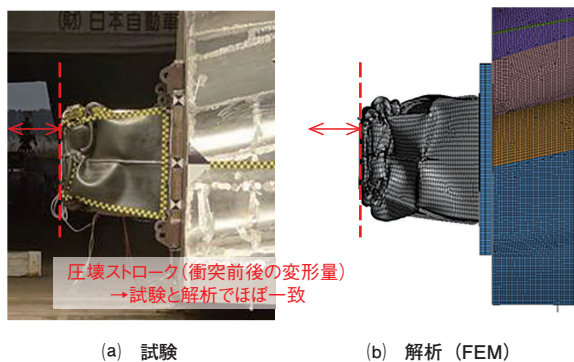


図9 衝突エネルギー吸収要素の衝突後変形図
Fig. 9 Deformation diagram

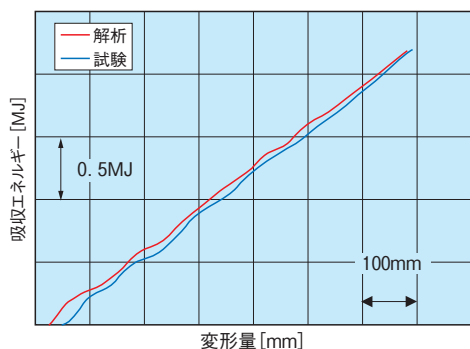


図10 吸収エネルギー-変形量線図
Fig.10 Absorbed energy diagram

足な耐衝突性能が得られた。また、衝突エネルギー吸収要素の変形状態や圧壊ストロークは事前に実施した解析結果ともよく一致した。さらに、図10に示す衝突エネルギー吸収要素の衝突エネルギー吸収量の比較から、解析と試験がほぼ一致することが確認できた。

あとがき

「京」を用いた空力騒音解析では、自社開発のCFDソフト「Cflow」を、高速車両のパンタグラフおよび自社開発の「efSET」車両下部から発生する空力騒音に適用し、大規模解析を実施した。今後、解析精度の一層の向上を図るとともに、車両下部から発生する空力騒音に対して、遠方場の騒音評価と支配的な部位を特定することで発生源そのものに対する有効な低騒音化対策の検討を行う。

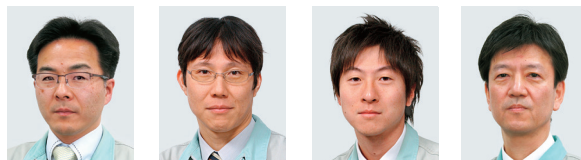
また、FEM (有限要素法) を用いた衝突解析については、実証試験結果から、耐衝突性能を精度よく再現できることが実証された。

今後は、さらにこれらの解析技術を高度化させていき、高速車両の開発を加速させていく。

本稿のうち「空力騒音解析」の結果は、理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」を利用して得られたものであり (課題番号: hp140057, hp150059)、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 佐々木ほか: “高速鉄道車両の非定常流れ場に適用した自社開発CFDソフトの精度検証”, 第20回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2013) 講演論文集 (2013)
- 2) 上野, 田島, 越智, 佐々木: “「京」による高速鉄道車両の下部空力騒音解析及びトンネル突入解析”, 第29回数値流体力学シンポジウム講演論文集 (2015)
- 3) 栗山ほか: “海外対応新型高速鉄道車両「efSET」”, 川崎重工業技報, No.170, pp.10-15 (2010)



佐々木 隆 越智 章生 上野 陽亮 佐野 淳



吉田 直弘 畑 晋一郎 富澤 雅幸

新世代の鉄道車両台車「efWING」

“efWING” New-Generation Railway Bogie



西村 武宏① Takehiro Nishimura
 多賀 之高② Yukitaka Taga
 小野 貴也③ Takaya Ono
 鴻池 史一④ Fumikazu Konoike
 津村 洋祐⑤ Yosuke Tsumura
 稲村 文秀⑥ Fumihide Inamura
 永田 純平⑦ Junpei Nagata

鉄道車両の台車フレームの一部をCFRP（炭素繊維強化プラスチック）で製作し、さらに、コイルばねサスペンションの役割もCFRP製フレームに持たせることで、2つの機能を1つに集約した。また、航空機で使われている先進材料であるカーボンファイバーを、世界に先駆け鉄道車両台車に適用した。その材料特性から大幅な軽量化を達成し、運行時のエネルギーコストの削減を可能にした。

Kawasaki's innovative railway bogie efWING uses carbon fiber reinforced plastic (CFRP) in its frame components. This product integrates a suspension function into its CFRP frame, eliminating the need for coil springs. Kawasaki is the first company in the world to use carbon fiber — an advanced material increasingly adopted in aircraft — in a railway bogie. The unique properties of this material have enabled significant weight reduction as well as energy cost savings during operation.

まえがき

昨今、地球環境問題を顧みて省エネ気運が高まっており、鉄道車両に対しても同様に省エネが求められている。省エネすなわちランニングコスト低減やCO₂排出量の低減を達成するためには、鉄道車両の軽量化が最も効果的である。

1 背景

鉄道車両は車体と台車に二分され、旅客や貨物を載せる車体に関しては、ステンレス鋼やアルミニウム合金などの採用による大幅な軽量化がなされてきた。一方、走行を担う台車については、これまでは有限要素法などの数値シミュレーションによる最適化解析技術を駆使し、部材の薄板化や軽量穴の配置などによって軽量化対策を講じてきた。しかし近年、鉄道車両の走行性能向上や状態監視のために、台車にはダンピング装置やセンシングデバイスなど多様な装置・部品が追加装備される傾向にある。それらが重量増の要因になっており、既存策の延長線上では、これ以上の軽量化は容易に達成できないため、設計思想そのものを抜本的に変える必要があった。

一方で、鉄道車両のみならず航空機や自動車業界でも軽量化の観点から複合材の適用範囲は拡大の一途をたどって

おり、ボーイング787などをはじめとして民間航空機の主構造にもCFRP（炭素繊維強化プラスチック）が積極的に採用され始めている。鉄道車両でも、新幹線の先頭部やカバーにも採用が拡大しており、台車への採用にも弾みがついた。

これまで、鉄道車両の台車は、走り装置であり最重要部品であるとの認識から、運用実績を重視した設計が数十年来なされてきた。しかし、以上のような背景をベースに、台車構造の抜本的な変更や適用材料の見直しを検討し、軽量かつ走行安全性を向上させた台車「efWING」の開発を推進するに至った。

2 開発の経緯

(1) CFRP製板ばねの開発

2011年からCFRP製板ばねの開発を進めてきており、国内在来線の荷重条件を基に両端を支持し、中央に上下方向の荷重を負荷する3点曲げばね要素として設計を展開した。なお、軸箱の前後および左右方向の支持には、営業運用実績のある軸ハリ式軸箱支持装置を採用し、この部分において大きな開発要素を取り入れず商品化の段階で受け入れられやすい構成とした。

まずは、ばね単体の強度と剛性を確認するために静荷重

試験を行い、所定のばね定数を有すること、ならびに実運用上の最大負荷荷重となる満車荷重条件に対して十分な安全率を持った静強度を有することを実証した。また、鉄道車両に適用する材料として必須となる難燃性を確認するために鉄道車両用材料燃焼試験を実施し、当該CFRP製板ばねが「不燃性」であることを明らかにした。

(2) 試 作

このばねを搭載した台車として、在来線向け狭軌ボルスタレス台車を試作し、当社の保有の回転試験機で当該台車としての基本走行性能を評価した。その結果、在来線鉄道では十分な高速度域200km/hまで回転させた上で、引張加振など外乱を与えても問題なく走行できることを確認した。

さらに、2012年5月、実際の走行試験を見据えた二次試作台車を完成させた。二次試作では走行試験を見据え、標準軌のボルスタ付台車とした。完成後には、台車の静荷重試験や回転試験に並行して板ばねの疲労試験を実施し、試験走行に供しうる性能や強度・耐久性を有していることを確認した。

また、実走行試験に先立ち、輪重抜け試験を実施した。これは、1台車内の任意の1車輪が軌道不整により落ち込んだりせり上がったりした場合でも、車輪とレールの間の上下荷重（輪重）が抜けないことを要求する米国での過酷な仕様基準に基づいた試験である。本試験結果を図1に示す。従来台車は、図1にある在来線の限界値に対してほとんど余裕のない設計である。一方、「efWING」は、在来線に対して大幅に余裕があり輪重抜け量は従来台車の半分以下、すなわちレールに対する車輪の追従性が倍増していると解釈でき、走行安全性に対して優れた性能を有することを確認できた。これは、中央部が支点となりCFRP製板ばねがシーソーのように前後車輪の輪重バランスをとるためである。この高い輪重抜け性能が「efWING」の大きな特徴と言える。

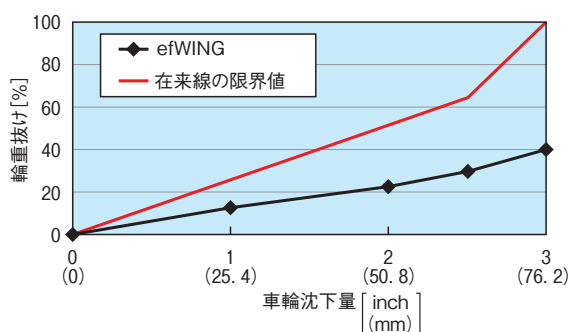


図1 輪重抜け性能
Fig. 1 Bogie equalization test result



図2 走行試験車両
Fig. 2 Running test vehicle

(3) 走行試験

2012年6月、米国のコロラド州にあるアメリカ鉄道協会運輸技術センター（TTCI：Transportation Technology Center, Inc.）にて走行試験を実施した。1両目が牽引する機関車、2両目が計測器を積んだ測定車、3両目が比較対象の従来台車の客車、4両目に台車を「efWING」に置き換えた客車の全4両編成である（図2）。

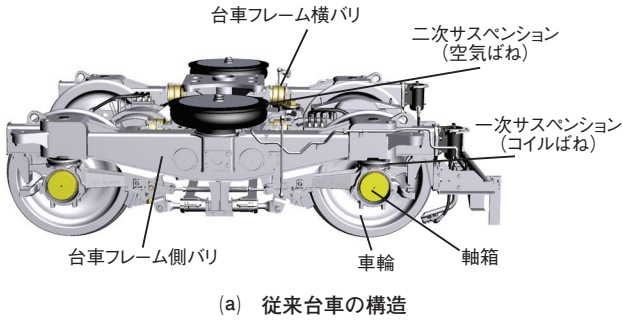
走行試験は延べ20日間にわたり、走行距離4,469kmを達成した。TTCIには複数のループ線があり、最も長い高速路線は全周が21.7kmある。最高速度は機関車の限界速度である160km/hで走行を繰り返した。また、曲線半径が145mの急曲線区間や8番分岐といった急分岐区間についても試験データを蓄積した。さらには、特殊な軌道不整区間として、左右のレールの上下不整を同位相としたPitch and Bounce区間、逆位相としたTwist and Roll区間、左右不整を同位相としたYaw and Sway区間の全てについても走行し、ひずみ履歴、加速度履歴、輪重履歴などの動的な特性を把握した。

「efWING」は、48～160km/hの全ての速度域で、アメリカ連邦運輸局の鉄道車両の走行安全性に関する規定の要求を満足し、安全に走行できることが証明された。

3 基本構造

一般的に鉄道車両用の台車は、車輪・車軸、車軸ベアリングを格納している軸箱および軸箱支持構造体、台車枠構造体などの主構造部品で構成される。さらに、モーターやギア、ブレーキ、サスペンションなど走行に必要な機器から構成されている。

「efWING」は、これまでの台車構造にとらわれることなく抜本的に機能を見直した台車である。車体荷重の伝達経路に注目し、図3に示すように従来台車での「車体」→「二次サスペンション（空気ばね）」→「台車フレーム横バ



(a) 従来台車の構造



側バリ・コイルばね

CFRP 製板ばね

(b) 新世代台車の構造

図3 設計コンセプト
Fig. 3 Design concept

り」→「台車フレーム側バリ」→「一次サスペンション（コイルばねなど）」→「軸箱・車軸・車輪」→「レール」のうち、「台車フレーム側バリ」と「一次サスペンション」をCFRP製板ばねに置き換えて、構造の簡素化・軽量化を実現することをコンセプトとした。

これにより、フレーム構造が一変し、側バ리를なくすことができた。北米向け従来台車とTTCI試験台車を比較すると、台車フレームの重量を従来比で約40%削減、1両当たり900kgの軽量化を達成した。CFRP製板ばねは、軸箱および台車フレーム横バリに対してボルトやピンなどで固定しておらず、軸箱上に板ばねを、板ばね上の中央の支点を介して台車フレーム横バリを乗せているだけの簡素な組立構造となっている。

4 デザインの追求

開発当初より、従来の台車にないカラーリングで印象付けるように配慮し、台車の存在をアピールできるデザインを目指した。これまで、車体ばかりが注目されていたがCFRPの性能を生かした弓状ばねは、視覚的にも新しい台車を導いた。かねてから受賞を目指していたグッドデザイン賞に応募し、2013年度金賞を獲得した。今回、審査委員からは「日本が誇る新素材技術と構造開発によって、高性能で機能的な美しさをもった台車が生まれたことを高く評価したい」などのコメントを頂いた。台車でデザイン関連の受賞は初めての快挙である。



図4 熊本電気鉄道株 6000形電車
Fig. 4 Kumamoto Electric Railway 6000 series

5 国内への展開

2014年3月14日、熊本電気鉄道株は、従来の台車2台を「efWING」に置き換えて、6000形電車の営業運転を開始した(図4)。

また、2015年3月には、四国旅客鉄道株において国内営業車への適用試験が行われた。その結果を以下に示す。

(1) 試験車両

図5(a)に示す試験用台車を121系直流近郊形電車に装着して、走行試験を実施した。

試験区間は予讃線の多度津-多喜浜間(66.7km)とし、最高速度100km/hで5日間にわたり、走行試験を実施した。

(2) 走行安全性

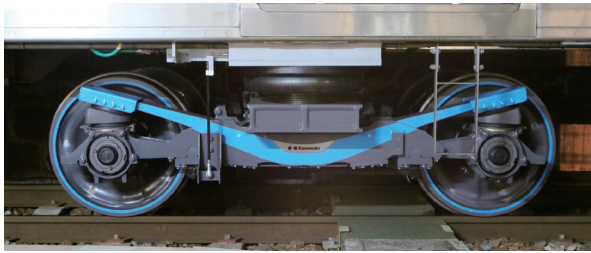
脱線係数・輪重減少率・横圧の3つの評価項目¹⁾で走行安全性を評価した。「efWING」試験台車については、いずれも目安値²⁾を満たしていることを確認した³⁾。また、車体床面振動加速度の著大値での走行安全性評価も行った。評価の際の目安値¹⁾は、上下振動加速度は0.5G、左右振動加速度は0.4Gとした¹⁾。上下・左右いずれの振動加速度も目安値を満たしていることが、図6から確認できる。

6 さまざまな車両への展開

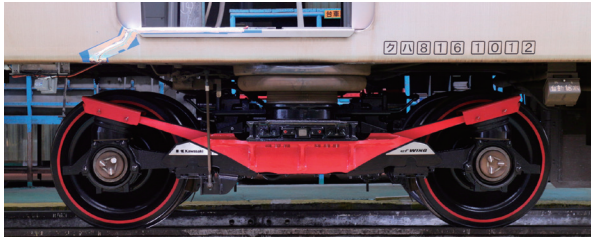
熊本電気鉄道株においては引き続き、01形台車2両分が2015年3月16日より営業運転を開始し、さらに2016年3月1日からは01形台車の追加2両分も営業運転を開始した。

四国旅客鉄道株に続いて、2015年4月に図5(b)の九州旅客鉄道株、2015年10月に図5(c)の西日本鉄道株で台車を「efWING」に置き換えて走行試験を実施した。

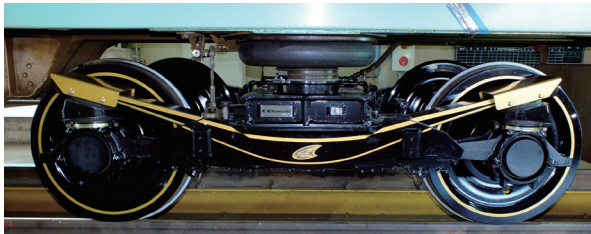
また、2016年春より四国旅客鉄道株では121系直流近郊型電車の主要機器を更新し、併せて台車に図5(d)の「efWING」を採用した7200系が営業運転される予定である。



(a) 四国旅客鉄道(株) 121系台車



(b) 九州旅客鉄道(株) 817系台車



(c) 西日本鉄道(株) 7000形台車



(d) 四国旅客鉄道(株) 7200系台車

図5 各社走行試験用台車および営業用台車
Fig.5 Bogies for running tests (by railway company)

あとがき

走行安全性と乗り心地の向上を確認し、営業投入も始まりつつある。今後さらなる技術改良を行い、「efWING」

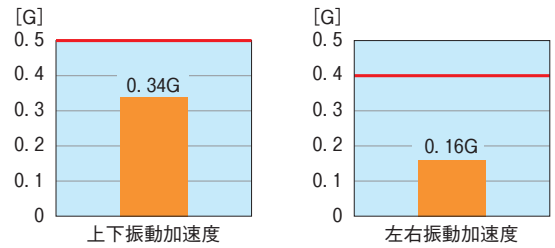


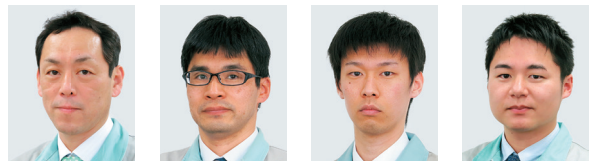
図6 車体床面振動加速度の著大値の比較
〔efWING〕試験台車
Fig.6 Comparison of car floor vibration acceleration
(efWING test bogie)

が鉄道車両技術の革新となり日本および世界の鉄道事業者に普及できるよう取り組んでいく。

営業運転に使用できるまでご支援・ご協力いただいた皆様に、この場を借りて深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：“在来鉄道運転速度向上試験マニュアル・解説”，研友社（1993）
- 2) 新山，吉本，川田，西村，佐藤，多賀，鴻池，小野：“新世代台車efWINGの走行試験結果”，日本機械学会第22回鉄道技術連合シンポジウム（J-RAIL2015）講演論文集（2015）



西村 武宏 多賀 之高 小野 貴也 鴻池 史一



津村 洋祐 稲村 文秀 永田 純平

顧客満足度を向上するためのデザイン設計

Design Development to Improve Customer Satisfaction



高橋 彰① Akira Takahashi
 田中 薫子② Masako Tanaka
 中村 直弘③ Naohiro Nakamura
 武田 正樹④ Masaki Takeda
 濱田 秀之⑤ Hideyuki Hamada
 多田 章彦⑥* Akihiko Tada

デザイン設計において顧客の高い満足度を得るためには、万人に魅力あるデザインであり、かつ安全性や操作性とも共存していることが重要である。

設計初期から顧客に詳細イメージをつかんでもらうために、感性工学やデジタルモックアップを活用して、手戻りを抑制した設計プロセス手法を取り入れた。

For a design to obtain high customer satisfaction, it must be attractive to all people, while also satisfying high standards of safety and operability.

To enable the customer to have a clear idea of the detailed design at an early stage, we introduced a design process in which the methodology of Kansei (affective) engineering and digital mockups are used to minimize design change.

まえがき

昨今、国内の鉄道発注規模は横ばい状態であり、既存車両の置き換えや特急車の導入などで新型車両の発注は続いている。

最近の傾向では、魅力的な車両デザインに対する乗客ニーズが高まる中、鉄道会社（顧客）からは車両デザインに対して独自性のある要求が強まっている。一方でそれらのデザインは、高品質の車両製作性や安全性、操作性も兼ね備えなければならないなどの課題も多く、デザインと設計との共有化が重要となる。価格だけでなく、デザインや技

術、品質を含めた総合評価で受注した案件として、関東大手私鉄である東武鉄道株式会社（以下、東武鉄道）の新型特急500系（図1）および西武鉄道株式会社（以下、西武鉄道）の新型通勤車両40000系（図2）がある。これらの受注活動や設計において、新しいデザイン設計プロセスを取り入れた。

1 背景

従来の設計プロセスでは、2次元図面による机上での詳細検討の上、設計工程の後半段階のモックアップや実車が完成した後で初めて立体的に確認するため、顧客のデザイ



図1 東武新型特急500系外装イメージ
 Fig. 1 Exterior of Tobu 500 series



図2 西武新型通勤車両40000系外装イメージ
 Fig. 2 Exterior of Seibu 40000 series



図3 顧客要望のデザインに向けた作業フロー
Fig. 3 Design workflow to incorporate the customer's requests

イメージと合わないことも多く、設計手戻りが発生することが課題であった。

そこで、顧客の要求に効率的に応えるため、次のように感性工学の適用やデジタルモックアップの導入を行った。

顧客のデザインコンセプトに対して当社のデザイナーが起こした複数のデザイン案を、感性工学によって科学的に検証しながら、より具体的なデザインパスを創り込んでいく。そして、顧客に、3次元データを使用したVR(Virtual Reality)によるデジタルモックアップで立体的に確認してもらおうという、より現実的な車両のイメージを初期の段階でつかんでもらうための設計プロセスを開発した(図3)。

2 感性工学の車両デザインへの適用

感性工学とは、人の感じ方(感覚・知覚)、イメージ、感情、価値観といった目には見えない情報を客観的に把握(可視化)する技術分野である。

一般的にデザインの評価では、多くの人が意思決定に関わるが、個人の主観が入りがちである。その結果、開発初期に掲げたコンセプトと選定されたデザインに乖離が生じたり、デザインの決定に非常に時間がかかったりすることが多々ある。

人の感じ方を客観的に把握する感性工学は、得られたデザインがコンセプトに見合ったデザインであることを根拠づけ、説得力を与えることができるものである。当社では、最初にモーターサイクルの設計に感性工学を導入し、鉄道車両においても2008年より国内車両の開発プロジェクトへの適用を始めた。

図2に示した西武鉄道の新型車両である西武4000系通勤車両(以下4000系)は、車いすやベビーカーの利用客が安心して利用できる「パートナーゾーン」を設置するなど、新たなスタンダード通勤車両を目指したものである。

当社は入札時の技術提案の際にも、感性工学に関する過去の一連の研究成果¹⁾を活用したインテリアデザインを提案したことで、高い評価を得ることができた。

また、車両先頭部のエクステリアデザインは、顧客の企業ブランド価値を高める重要な要素であり、乗客からも都度乗車の際に興味を持たれる部分でもある。次に、4000系先頭部のエクステリアデザインを考案するにあたり、感

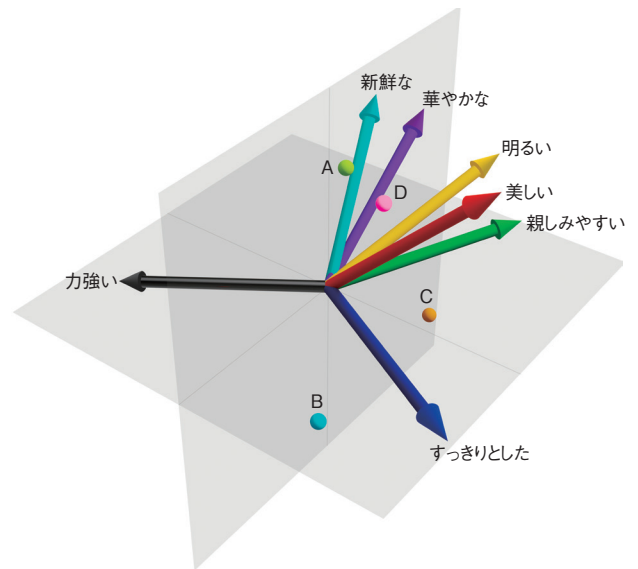


図4 多次元尺度構成法(MDS)による3Dマップ
Fig. 4 3D map created using multidimensional scaling (MDS)

性工学を適用した実際の適用方法について紹介する。

まず、当社のデザイナーが顧客のコンセプトに基づき、既存車両の配色を残しつつ優しさを感じる複数のデザイン案を提示した。続いて顧客を含む多くの関係者らが被験者となり、外観の形状や色についてそれぞれのデザインから受ける印象を評価シート上で回答した。この評価シートで得られた「あたたかい」「冷たい」「華やかな」といった印象は、さらに心理測定法の一つである多次元尺度構成法(MDS: multidimensional scaling)を用いることで、今回のコンセプトである「やさしさ」や「先進性」といったキーワードとエクステリアデザインの整合性を3次元マップ上で確認した(図4)。例えば、モデルDは華やかで明るい印象を持つエクステリアデザインになっていることが可視化されている。このような作業を複数回繰り返して、細かなデザイン修正を行うことで、コンセプトに見合った納得の得られるデザインを、確信をもってスピーディーに選定していただくことができた。

3 設計へのデジタルモックアップの導入

当社は、図3に示した新しい設計プロセスを実現するために、VRと人間工学(3Dヒューマンシミュレータ)を併用したデジタルモックアップを導入することにより、人間が関わる箇所を主観的と客観的の両面から評価する手法を考案した。VR技術は計算機上で仮想的な空間を作成し、体験者の五感に適切な情報を与えることで、現実には存在しないにも関わらず、そこにあるかのような感覚を与える技術である。

一方、人間工学では、計算機上の仮想的な空間にさまざまな体型の3D人間モデルを配置して自在に動かし、機械の操作性などを数値的に確認することができる。この2つの技術を組み合わせることで、人間が関わる箇所を主観／客観の両側面から評価することが可能となる。

デジタルモックアップにより、設計者が設計の確認に利用できるとともに、顧客も実物完成前に体験して具体的な設計内容を確認できるようになる。また、デジタルモックアップによる検討の段階では柔軟な設計変更が対応可能であり、顧客からの要望を車両の設計に反映しやすくなる。デジタルモックアップを活用した検討の様子を図5に示す。

図1に示した東武鉄道新型特急500系（以下500系）は、1編成3両固定の車両を併結・分割することで、さまざまな運行形態にて速達性と快適性を可能とするコンセプトを持つ特急列車である。

エクステリアデザインは、これまでの特急車両にない斬新な先頭形状を有しており、運転士の視界確保に対する課題が拳がっていた。従来であれば2次元図面による検証

の上、モックアップを製作して検証を行っていたが、500系においては、VRを活用して視認性を3Dのデジタルモックアップで確認しながら形状最適化を行い、既存の車両で500系を模擬して最終的に妥当性を確認した（図6）。

また、VRは西武鉄道40000系の基本設計にも活用されている。例えば、図7(a)のパートナーゾーンのデザインベースを基に3Dデータを作成し、図7(b)のように実際にペビーカーを押しながら車内の居住性を確認することにも活用されている。



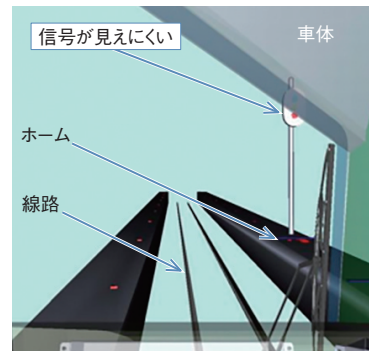
体験者の様子

(a) バーチャルリアリティ



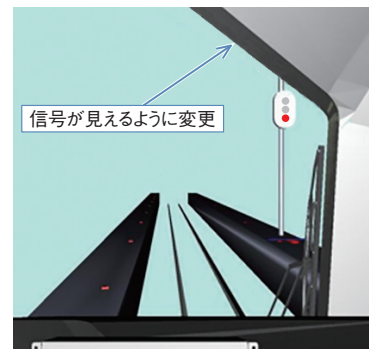
(b) 3Dヒューマンシミュレータ

図5 デジタルモックアップによる検討
Fig. 5 Design review using a digital mockup



運転室からの視界
(初期設計)

VRによる検証
(体験による最適位置検証)



VRによる検証結果によるデザイン見直し後の視界



実車により視界確認

図6 VRによる検証内容（東武500系）
Fig. 6 Design verification using VR (Tobu 500 series)



(a) パートナーゾーンイメージ



(b) VRによる検証風景

図7 パートナーゾーンイメージとVRによる検証風景
(西武新型通勤車両40000系)

Fig.7 Design verification using VR for "partner zone"
(Seibu 40000 series)

あとがき

感性工学およびデジタルモックアップを鉄道車両の初期デザインに活用することで、東武鉄道より新型特急500系、

西武鉄道より新型通勤車両40000系の受注に貢献できた。

両社からの入札条件は価格だけでなく、デザインや技術の評価も含まれており、フロントローディングにて顧客に満足いただけるデザインを実現することに注力した提案を行えた。

今後もますますデザインに独自性を求められることが予想されるが、今回適用した新しい設計プロセスにより、乗客や顧客に高い満足をいただける車両をデザイン設計していく所存である。

参考文献

- 1) 田中, 山田: "鉄道車両室内デザインの印象", 第14回日本感性工学会大会講演論文集 (2012)



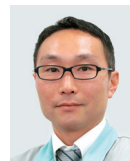
高橋 彰



田中 薫子



中村 直弘



武田 正樹



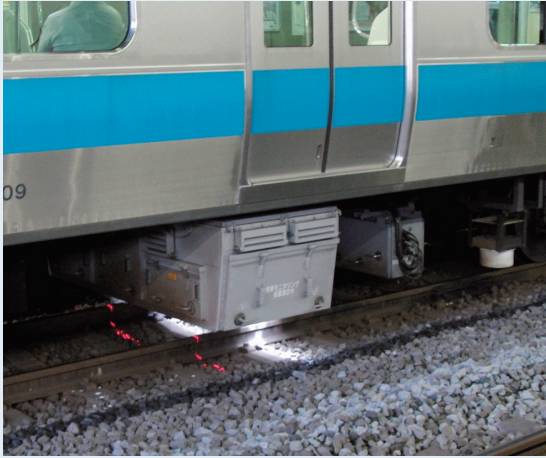
濱田 秀之



多田 章彦

独自性・革新性を追求した新たな車載システムの提案

Original and Innovative Onboard Systems to Address Rolling Stock Needs



西村 武宏①	Takehiro Nishimura
高橋 恵介②	Keisuke Takahashi
川崎 洋行③	Hiroyuki Kawasaki
立石 剛④※	Go Tateishi
三津江雅幸⑤	Masayuki Mitsue
布目 徹⑥	Tohru Nunome
永田 純平⑦	Junpei Nagata

安全性、安定運用、快適性という鉄道車両に求められる基本的な要求と、これらを支える車両や軌道のメンテナンスに要するコストダウンの要求が高まっている。当社ではこれらに応える、乗り心地を向上させるアクティブ制振装置、安全・安定運用と台車保守の効率化に寄与する台車状態監視装置、軌道の保守コスト低減に貢献する軌道モニタリング装置などのさまざまな車載システムを開発し、実用化を進めている。

There is increasing demand for the basic requirements of safety, stable operation, and comfort that rolling stock is expected to provide, as well as for the reduction of costs required to maintain vehicles and tracks. To meet such demand, Kawasaki is developing various onboard systems and is moving forward to put them into practical application. These include an active suspension system that will improve passenger comfort, a Bogie Instability Detection System (BIDS) that will help ensure safe and stable operation as well as efficient bogie maintenance, and a track monitoring system that will help cut track maintenance costs.

まえがき

鉄道は安全・安心な大量輸送を低コストで実現できる手段であり、新興国では積極的な導入が、欧米や日本など鉄道網の発達した地域では速達性や快適性といった利便性の向上が進められている。

1 背景

鉄道事業者は航空機など他の輸送手段との競争が激化する中で、利便性をより一層向上させるとともに、ライフサイクルコストの低減を目指した取り組みを加速させている。

より安全に、安定運用を確保し、より快適に走行するという鉄道車両の基本的な要求と、これらを支える車両や軌道のメンテナンスの効率化によるコストダウンという事業者の要求の高まりを受け、当社ではこれらに応える車載システムを世の中に送り出している。

2 新たな車載システム

当社では、乗り心地を向上させる「アクティブ制振装置」、安全・安定運用と台車保守の効率化に寄与する「台車状態

監視装置」、軌道の保守コスト低減に貢献する「軌道モニタリング装置」などの車載システムを開発し、実運用下にある。

3 乗り心地を向上させる「アクティブ制振装置」

(1) 概要

近年、車両の高速化に伴い車内快適性の確保が課題となっており、その一つとして車両の振動を抑制する制振技術が重要となっている。その概要を以下に示す。

(i) 鉄道車両の構成

鉄道車両の振動の原因としては、軌道の歪みによって台車が加振されその振動が車体に伝わることや、高速走行の際に空気力が車体を直接加振することが挙げられる。車両の高速化に伴い、双方からの振動に対して車両のばねやダンパの調整のみによる抑制が難しくなっている。

(ii) アクティブ制振装置の構成

前項の問題に対応するため、センサーで車体の振動を検知し、台車・車体間に搭載されたアクチュエータから車体の振動を打ち消す力を発生させるアクティブ制振装置が開発され、新幹線などの高速車両を中心に採用されている(図1)。

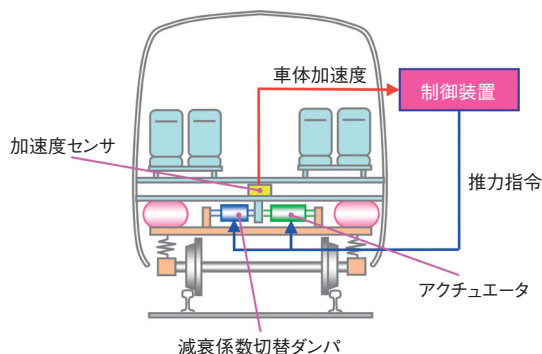


図1 アクティブ制振装置の構成
Fig. 1 System configuration of active suspension system

(2) 当社での取り組み

当社における開発の状況を以下に示す。

(i) アクティブ制振装置の開発と性能評価

最近、特に高まってきた空気消費量の低減やアクチュエータ応答性の向上に対する要求を考慮し、従来、主に用いられている空圧式に代えて電動式のアクチュエータを用いるアクティブ制振装置を開発した¹⁾。これまでに台上試験装置や試験車両による性能試験を実施し、高い制振性能を持つことを確認している(図2)。

(ii) 新型アクチュエータの開発

最近では、旅客サービス向上の面から新幹線などの高速車両に加えて在来線特急などの中速車両においてもアクティブ制振装置の需要が高まっている。中速車両向けではアクチュエータのさらなる小型化が要求されるため、当社では新たに小型・軽量のアクチュエータを開発した。

駆動部分に高精度なボールねじを用いることで効率的に動力を伝達できるため、省電力性に優れ、小型・軽量化とともに十分な高出力性能を実現した(図3)。

この装置は、軌間の異なる二種類の軌道に乗り入れ可能なFGT(フリーゲージトレイン)新試験車両に搭載され、新幹線および在来線軌道での走行試験により良好な制振性能が確認されている。

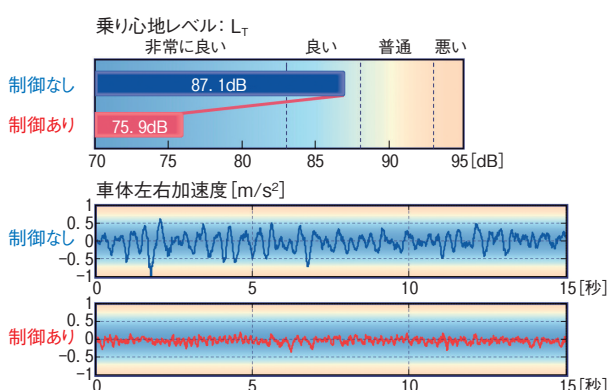


図2 性能試験結果(走行試験)の例
Fig. 2 Running test results



	高速車両向け	中速車両向け
方式	ボールねじ駆動	
重量[kg]	40	32
取付長[mm]	470	462
推力[N]	Max. 8,000	Max. 6,000
適用先	FGT 新試験車両	—

図3 アクティブ制振装置の新型アクチュエータ
Fig. 3 New actuator for active suspension system

4 安全・安定走行を実現する台車状態監視装置「BIDS」

(1) 概要

台車は鉄道車両を構成する機器の中でも最も重要な部品の一つであり、安全・安定走行のために設計上のさまざまな配慮がなされている。しかし、以下は設計上の配慮のみでは不可避であり何らかの対策が必要である。

- ・支持部品の劣化や車輪摩耗などによって、だ行動と呼ばれる不安定現象が発生する可能性があり、これを放置した場合、脱線に至る危険性が高くなる。
- ・車軸軸受や歯車装置、継手など駆動伝達系のトラブルは車両の安定運用を阻害する。

当社は、これら双方を回避することを目的として、振動や温度のセンシングにより台車の状態を監視する装置BIDS(Bogie Instability Detection System)を開発し、海外の高速車両を中心に展開している²⁾。

(2) 構成

図4に示すように、BIDSは台車に搭載する加速度センサで左右振動を測定し、監視ユニットで振動の大きさとその継続性によって、だ行動の予兆を検知する。検知結果は運転士に即時通知し、車両を安全に減速させることができる。駆動伝達系は主に温度スイッチで監視し、異常昇温を直接運転台に通知する。

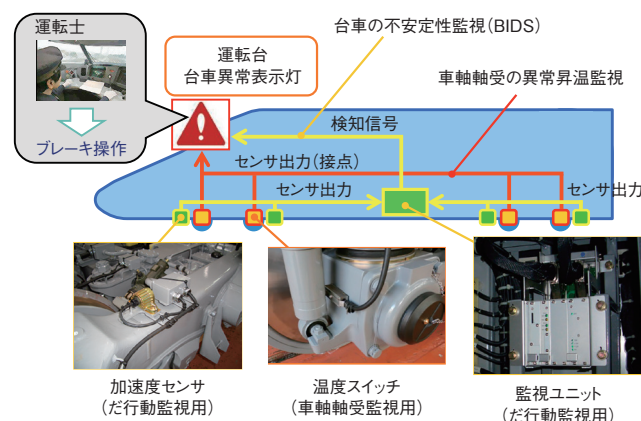


図4 BIDSのシステム構成
Fig. 4 System configuration of BIDS

(3) 特 長

(i) 高感度なだ行動検知性能

台車設計諸元と走行速度から決まるだ行動周波数成分を抽出することによって、だ行動発生より早い段階での検知が可能となる。また、さらなる車両の高速化にも対応可能である。

(ii) 劣悪環境下での高信頼性

振動や衝撃、強烈なサージやノイズなど、劣悪な環境下でも故障なく性能を維持し、定期校正やメンテナンスも不要である。

(4) 適 用

(i) 高速車両向けBIDS

台湾高速鉄道、中国南車グループ向けに出荷を開始した。累積出荷数は5,100セットを超える。また、中国中車股份有限公司（中車）が開発中の統一標準車向けに、世界標準の車両内ネットワークであるMVB（Multifunction Vehicle Bus）や今後主流となるEthernetに対応した新型機を新たに開発し、筐体寸法と形状は据え置いたまま大幅な機能向上を実現した。

(ii) 「efWING」向けBIDS

台車枠の主構造にCFRP（炭素繊維強化プラスチック）を採用した次世代鉄道台車「efWING」（図5(a)) 搭載用として、新たな監視装置を開発した。この装置は従来と異なり、監視ユニットが台車に直接搭載されることが特徴である。現在、現車搭載の上で耐久性や信頼性を継続して評価している。

① 台車搭載型監視ユニット（図5(b))

台車という極めて過酷な環境下でも正常に機能し、振動・衝撃のカテゴリ2、防塵・防水のIP66といった表1に示す性能を維持できることを検証済みである。

② CFRP製板ばねの健全性監視センサ

振動や温度とともに、当社が開発したCFRPの導電性を利用したセンシング手法³⁾を採用し、CFRP製の板ばねの内部状態の常時モニタが可能となった。

③ 遠隔監視と状態診断

走行中の台車挙動データを無線通信回線経由で当社のデータセンターに随時送信し、台車挙動に異常がないことを分析、診断できる。



(a) 「efWING」

(b) 監視ユニット

図5 「efWING」と台車搭載型監視ユニット
Fig.5 efWING and bogie-mounted monitoring unit

表1 台車搭載型監視ユニットの主要諸元

Table 1 Main specifications of monitoring unit

項目	諸元
周囲温度	-25 ~ 70°C
一般環境	IEC60571 (温湿度, 絶縁耐性など)
電磁適合性	IEC62236-3-2 (鉄道車両のサージ, ノイズなど)
振動・衝撃試験	IEC61373 カテゴリ2 (台車搭載機器)
防塵・防水性	IP66相当 (耐水型, 強い直接噴流)
測定点数	13点
外部インターフェース	電源, 速度情報, LTE/3G通信回線

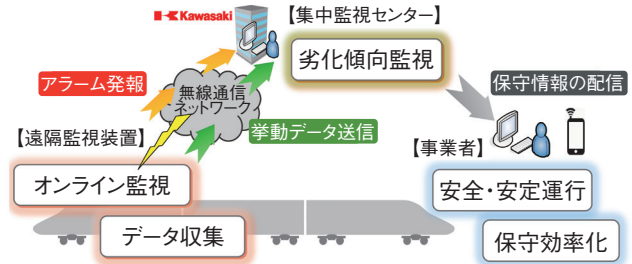


図6 台車遠隔監視・診断システム

Fig.6 Remote monitoring and diagnostic system

(5) 状態監視による保守の効率化に向けて

当社は、従来のBIDSより監視項目を拡大したシステムを構築、運用し、台車挙動データの連続収集を開始している。収集したデータを基に診断技術の高度化を図るとともに、IoT (Internet of Things) 技術を積極的に利用した台車部品レベルの状態監視・診断システム（図6）を構築し、安全・安定運用と台車保守の効率化の両立に取り組む。

5 軌道から安全を担保する「軌道モニタリング装置」

(1) 概 要

線路設備メンテナンスは、徒歩巡回による目視検査に頼っているところが多く、鉄道事業者にとって保線検査作業の自動化・省力化が重要な課題となっている。

当社は東日本旅客鉄道(株) (JR東日本) 向けにこれらの要求に応える軌道モニタリング装置を開発した⁴⁾。この装置の特徴を以下に示す。

① 収録走行機能

口絵写真に示す車上装置には10台のカメラが搭載され、走行中に軌道画像を連続収録することが可能である。

② 自動判定機能

地上装置にて、レール締結装置や継目板の異常を画像処理により自動判定することが可能である。

③ コンパクトな筐体サイズ

車上装置は車両床下に収まるサイズとなっており、営業車に搭載が可能である。このため、毎日の営業走行を通して高頻度に最新の軌道画像を取得できるメリットが生かせる。

(2) 構成

車上装置の構成を図7に、構成の特徴を以下に示す。

- ・車上装置は、目視による監視用として軌道面の濃淡画像を撮影する濃淡カメラ6台、レールの締結装置や継目板の締結ボルトなどの脱落の自動判定用として3次元形状を取得する距離カメラ4台、これらを制御するコントローラとデータ収録ユニットから構成されている。
- ・車両に搭載した速度センサが一定距離でパルスを出力し、これに同期して各カメラが撮影を行う。
- ・撮影された軌道画像はデータ収録ユニットに保存され、定期的に抜き取りを実施する。
- ・事務所内の地上装置にて、オフラインで画像処理および判定処理を行う。

自動判定可能な項目は、多様な種類のレール締結装置、継目板および継目板ボルトの脱落である。判定処理で脱落と自動判定された箇所の例を図8に示す。

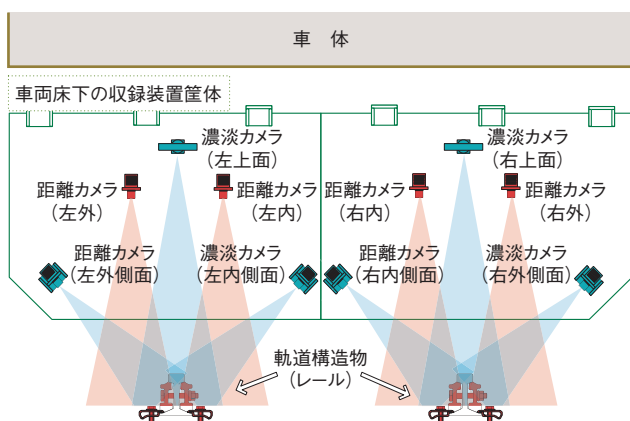
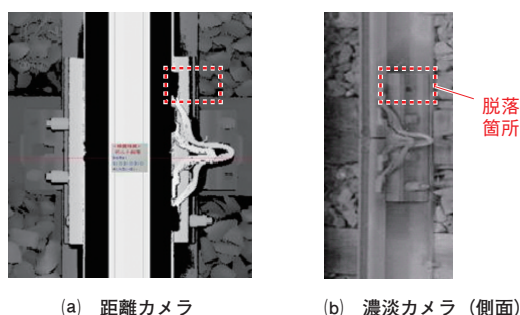


図7 車上装置の構成
Fig.7 System configuration of onboard equipment



(a) 距離カメラ (b) 濃淡カメラ (側面)

図8 継目板ボルトの脱落検出例
Fig.8 Detection result of parts defect

(3) 適用

2013年度よりJR東日本の首都圏路線の営業車両に搭載し、試験運用を1年間実施した。

2014年度より量産を開始しており、中央線、山手線にも同装置を搭載し、2015年度より運用を開始した。今後、その他路線についても順次搭載していく予定である。

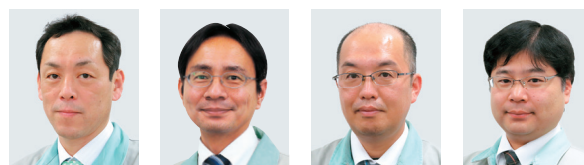
あとがき

今回紹介した車載システムにより、より安全で快適な走行と安定した車両運用、さらには、メンテナンスコストの低減に寄与できるものと考えている。

また、各々の車載システムの開発はJR東日本や熊本電気鉄道(株)など事業者の方々のご指導、ご協力により初めて実現できたものである。関係各位に心から感謝し、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 加賀谷, 江崎ほか: “乗り心地をコントロールする一制振制御システム”, 川崎重工技報, No.160, pp.38-41 (2006)
- 2) 平山, 上月, 三津江: “安全に走行する”, 川崎重工技報, No.160, pp.24-29 (2006)
- 3) 中岡, 三津江, 川島ほか: “鉄道車両台車efWING用CFRP製板バネの損傷モニタリングへ向けた電気抵抗変化法の適用検討”, 第6回日本複合材料会議 (JCCM-6) 講演論文集, 1B-7 (2015)
- 4) 川崎, 上月, 瀧川: “軌道材料モニタリング装置の開発”, サイバネティクス, Vol.17, No.4, pp.5-10 (2012)



西村 武宏 高橋 恵介 川崎 洋行 立石 剛



三津江雅幸 布目 徹 永田 純平

北陸新幹線用 E7系/W7系新幹線電車

Series E7/W7 Shinkansen Train for the Hokuriku Shinkansen Line



2015年春に北陸新幹線の長野～金沢区間が開業となり、E7系/W7系が投入された。この車両は「和の未来」をコンセプトとし、日本の伝統美を随所に取り入れ、先端技術と融合させることで新たな価値を生み出している。厳しい線区条件に適應するための車両性能を有し、お客様サービスの向上、消費電力の削減などを果たすための機能向上を図っている。当社は東日本旅客鉄道(株)向けに5編成、西日本旅客鉄道(株)向けに4編成をそれぞれ製造・納入した。

まえがき

北陸新幹線は上信越・北陸地方を經由して東京と大阪を結ぶ整備新幹線の一つであり、2015年春に長野～金沢区間が開業となった。開業に合わせて東日本旅客鉄道(株)と西日本旅客鉄道(株)の共同開発車両E7系/W7系が投入された。

1 編成

車両は12両編成となっており、先頭車を含む3両ユニットと中間車みの2両ユニットから成り、合計5ユニットで12両を構成している(図1)。1～10号車が普通車、11号車がグリーン車、12号車がグランクラス車である。

列車名称は新名称の「かがやき」「はくたか」「つるぎ」および既存名称の「あさま」が採用され、速達タイプの「かがやき」の場合、東京～金沢間(約450km)は最短で約2時間30分(最高速度260km/h)で結ばれている。

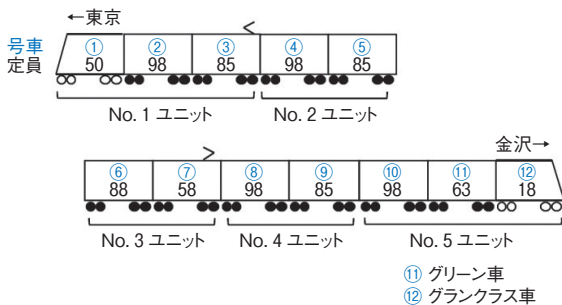


図1 列車編成
Fig. 1 Train formation

2 特徴

(1) デザイン

我々日本人には長い時間をかけて築いてきた「和を尊ぶ文化」がある。その価値が発展した未来を北陸新幹線が担い、牽引していくことを願って、「和の未来」というデザインコンセプトを提唱して、展開した。

(i) エクステリアデザイン

外観形状・色彩は“伝統と未来の融合”をテーマにデザイン展開した。先頭形状については、トンネル進入時に発生する微気圧波低減など環境性能を保ちつつ、流れるようなワンモーションライン(シンプルな流線形)で、スピード感と精悍さを表現している。

車体色には北陸新幹線沿線に広がる空の青色、伝統工芸品である銅器や象嵌(ぞうがん)の銅色、および日本の気品や落ち着きを表現した白色をモチーフに、伝統と未来的なイメージの融合を表現している(図2)。



図2 先頭車両
Fig. 2 The first carriage

(ii) インテリアデザイン

グランクラス車は「人と空間の和」、グリーン車は「様式美の和」、普通車は「彩の和」をデザインテーマに日本の伝統美を調和させた空間を演出している（図3、図4）。

また、グランクラス車のデッキには春夏秋冬をモチーフにした赤色の「飾板」を配置している（図5）。

(2) 車内設備

全ての洋式トイレに洗浄機能付き暖房便座を、普通車には全ての座席分の電源コンセントを設置し、お客様サービスの向上を図っている。また、車内照明を全てLED化し、消費電力の低減を図っている。

(3) 電源周波数切替

北陸新幹線では路線途中で電源周波数切替があるため、50Hz/60Hzの両周波数に対応した機器を搭載している。



図3 グランクラス車客室
Fig. 3 Passenger cabin



図4 グリーン車客室
Fig. 4 Passenger cabin



図5 グランクラス車デッキ
Fig. 5 Vestibule

(4) 急勾配対応

北陸新幹線区間に複数ある30%（パーミル）の急勾配区間に対応した動力性能、ブレーキ性能を有している。

(5) 快適性・乗り心地

車体の左右の振動はフルアクティブ動揺防止装置（アクチュエータで左右の振動とは逆の力を発生させて最適に抑制するシステム）やセミアクティブ動揺防止装置（ダンパーの減衰力を変化させることで最適に抑制するシステム）を装備することにより、乗り心地の向上を図っている。

あ と が き

営業投入後の乗客者数は好調に推移しており、「北陸への新しい大動脈」の役割を果たしている。

また、厳しい線区条件の中で高い安全性・信頼性を確保している点や、優れたエクステリアおよびインテリアが評価され、2015年鉄道友の会「ブルーリボン賞」を受賞している。

〔文責 車両カンパニー 技術本部 設計部
木村 晋也〕

〔問い合わせ先〕 車両カンパニー
技術本部 設計部
Tel. (078) 682-3143, Fax. (078) 682-3158

四国旅客鉄道(株)向け 8600系特急形直流電車

Series 8600 Express EMU Train for Shikoku Railway Company



2014年6月に高松～松山間, 2016年3月に岡山・高松～松山間に8600系特急形直流電車が投入された。

この車両は, 特急“しおかぜ” および“いしづち”として運行している2000系特急形気動車の置き換えとなり, 今後の予讃線の特急体系の一翼を担う車両となる。四国旅客鉄道(株)における特急形電車の新製は21年ぶりとなり, 車体傾斜制御装置の採用や室内照明のLED化など, 最新技術を導入して経費削減や省エネ・環境に配慮した車両である。当社は, 量産先行車4両, 量産車10両を製造・納入した。

まえがき

高松と松山を結ぶ予讃線の電化区間で運行している特急列車を全て電車とし, 経費の削減および老朽化した2000系特急形気動車の置き換えが計画されていた。

また, 新車両は, 今後の予讃線の特急車両において, 既存の8000系と共に主力車両とすべく, 旅客サービス設備についても乗客のニーズを踏まえた客室・サニタリー設備など, 今後の四国旅客鉄道(株)の特急車両における指針とすることが求められていた。

1 編 成

乗客の利用状況に合わせて細かな車両運用を行うため, 2両編成と中間車を連結した3両編成で構成されている。

3両編成の松山方先頭車は, 1両の半室をグリーン席として, 2列+1列シートを設けている。

当社は, 量産先行車4両(2両編成×2編成)および量産車10両(2両編成×2編成, 3両編成×2編成)全ての製造を担当した。

2 特 徴

(1) デザインコンセプト

「レトロフューチャー」をデザインコンセプトとし, ノスタルジックな鉄道車両のイメージを未来特急としてデザインしている。なお, 車両デザインについては, 四国旅客鉄道(株)と当社デザイン部門の共同で行った。

(2) エクステリアデザイン

先頭形状は円形のブラックフェイスとし, 蒸気機関車のイメージをモチーフに, 列車の力強さとダイナミズムを表現した。車体にはオレンジとグリーンカラーを用いて, 「穏やかで美しい四国の自然」・「香川」, 「瀬戸内海の温暖な風土」・「愛媛」をイメージし, 特急のスピード感をストリームライン(流線)でなぞらえたカラーリングとしている。

(3) インテリアデザイン

未来を想起させる明るく洗練された車内空間に, アクセントカラーのオレンジとグリーンを採用し, 先進感の中にナチュラルなぬくもりを感じることができるインテリアとしている(図1, 図2)。



図1 グリーン車客室
Fig. 1 Passenger cabin



(a) 香川のイメージカラー



(b) 愛媛のイメージカラー

図2 普通車客室
Fig.2 Passenger cabin

(4) 車内設備

客室内には、普通車を含めた全座席にパソコンなどに使用できるコンセント、航空機の機内持ち込み可能手荷物の基準を考慮した大型の荷物棚、通話機能式非常通報装置などが設置されている。また、客室照明は当社製の直管型LED照明(図3)が採用され、省エネとメンテナンス軽減に貢献している。



図3 電源内蔵直管型LED灯
Fig.3 LED tube with built-in power supply

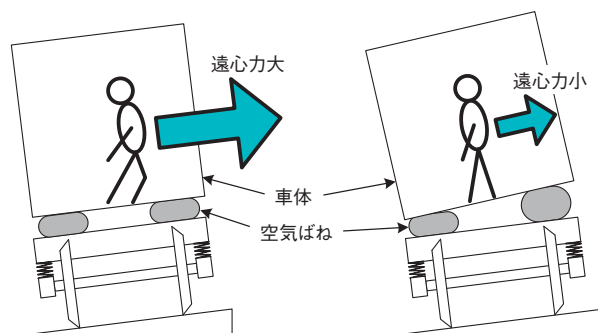


図4 車体傾斜
Fig.4 Carbody tilting

各デッキの照明もLEDダウンライトを採用し、出入口部には防犯カメラを設置している。

バリアフリー関連では、側引戸の開閉について音声案内および表示灯を設置している。

(5) 快適性・乗り心地

曲線通過速度を向上するために、当社が開発した空気ばね式車体傾斜方式を採用した(図4)。これは、路線の曲線に応じて外側の空気ばねを上昇させて、車体を内側に傾けて遠心力を打ち消すものである。

(6) 台車

空気ばね式車体傾斜装置を搭載した軽量ボルスタレス台車であり、営業最高速度は130km/h(設計最高速度140km/h)である。

あとがき

8600系は当社にとって初めてとなる四国旅客鉄道(株)の特急車受注案件であった。今回得た知見を生かし、今後のさらなる受注案件拡大に結び付けていきたい。

[文責 車両カンパニー 技術本部 設計部
北谷 和芳]

[問い合わせ先] 車両カンパニー
技術本部 設計部
Tel. (078) 682-3143, Fax. (078) 682-3158

† 蛍光灯比で消費電力55%、質量75%低減。
取り付け時には既設蛍光灯具を流用して廃棄物の発生を抑制。

台湾桃園国際空港接続線用電車

EMU for the Taiwan Taoyuan International Airport Access MRT System



2006年2月に、MKHコンソーシアム（丸紅(株)・川崎重工業(株)・(株)日立製作所）は、中華民国（台湾）政府 交通部高速鐵路工程局より、台湾桃園国際空港接続線（TTYMRT：Taiwan Taoyuan International Airport Access MRT）の鉄道システム一式および車両基地建設契約を受注した。当社は車両を担当し、普通車（Commuter）68両と直達車（Express）55両で全123両を納入した。

普通車と直達車は外観デザインおよび室内レイアウトは区別化しているが、基本構造、車両性能は同一とし、できるだけ共通化を図っている。

まえがき

台湾桃園国際空港は世界との玄関であり、空港利用客に安全、便利、快適かつ高品質な交通手段を提供できることが先進国であることの重要な証であると考えられている。台湾桃園国際空港接続線建設プロジェクトは台湾政府の「新十大建設」項目の一つであり、台湾桃園国際空港と台北駅や台湾高速鉄道桃園駅などの交通の要所を直結し、国際航空線と台湾国内の交通ルートを緊密につなぐものである。また、本プロジェクトは沿線の既存都市の発展と地方の繁栄を調和させ、都市と地方の均衡を促進する。

1 主要諸元

台湾桃園国際空港接続線（TTYMRT）は台北駅（A1）から台湾桃園国際空港を経由し、また、桃園市中壢区の環北駅（A21）を結ぶ全線51.2kmの新鉄道である。将来、環北駅から中壢駅まで、2駅延伸が計画されている。

運転される列車は、台北駅と環北駅を結ぶ各駅停車の普通車（Commuter）と、台北駅と桃園国際空港を結ぶ直達車（Express）の2種類である。車両の主要諸元を表1に示す。

2 特徴

(1) 編成

普通車4両編成車両（DM-M-M-DM）が17編成、直達車5両編成車両（DM-M-M-M-DMB）が11編成の、全123両を納入した。車両としてはDM車（運転台付車）とM車（中間車）があり、直達車においては、DMB車（運転台およ

表1 主要諸元

Table 1 Main specifications

最大乗客数 [人] (座席数)	普通車	DM車：261 (44), M車：278 (50)
	直達車	DM車：207 (48), M車：216 (56)
軌間 [mm]	1,435	
最大長 [m]	DM車 / DMB車：20.78, M車：20.25	
最大幅 [m]	3.03	
最大高さ [m]	3.763	
床面高さ [m]	1.133	
台車中心間距離 [m]	13.5	
電気方式	第3軌条式DC750V	
最高運転速度 [km/h]	100	
加速度 [m/s ²]	1.1	
減速度 [m/s ²]	常用	1.0
	非常	1.3
主回路方式	IGBT型VVVFインバータ 3相交流電動機 連続定格185 kW	
ブレーキ方式	発電・回生ブレーキ付空気ブレーキ 駐車ブレーキ付	
補助電源装置	380 VAC, 60 Hz, 三相: 180 kVA 110 VAC, 60 Hz, 单相: 2 kVA 110 VDC, 19 kW	
蓄電池	ニッケルカドミウムアルカリ蓄電池 130 Ah	
放送装置	列車無線装置, 車内放送装置, 非常通報装置, 情報案内表示器, CCTV監視装置	
保安装置	ATC, イベントレコーダー搭載	

び荷役装置付荷物専用車）が付随しており、市内駅でのチェックインと荷物の預け入れが可能となるため、旅客は機内持ち込みの手荷物だけで身軽に空港へ向かうことができる。

路線区間において、4.92%の急勾配が約3.92km連続するため、すべて電動車としている。

普通車-DM車、直達車-DM車およびDMB車の外観図を図1に示す。



(a) 普通車 DM車



(b) 直達車 DM車



(c) 直達車 DMB車

図1 外観図 (DM車 / DMB車)
Fig. 1 Exterior (DM/DMB cars)

(2) 車 体

端台枠にLART（低合金高張力）鋼，その他はステンレス鋼を使用した構体で，静荷重解析／試験，衝突解析を行い，客先要求強度および耐衝突性能を満足した車体となっている。

DM車とDMB車の先頭部分は，非常脱出扉を設けたFRP製ボンネットで構成されている。

床は床板をゴムで支持する浮き床構造として車内の低騒音化を図り，床板とステンレス鋼製のサブフロアの間に断熱材を入れ，米国防火協会（NFPA：National Fire Protection Association）の規格を満たした耐火構造となっている。

(3) 設 備

側扉は片側3箇所ずつに配置し，スライド式プラグドアを採用して騒音低減を図っている。DMB車は荷物専用車のため窓はなく，片側5箇所ずつにスライド式プラグドアを配置している。

室内の様子を図2に示す。座席配置は，普通車はFRP製ロングシート，直達車はクッション付きクロスシートとし，スーツケースが収納可能な荷物棚を，普通車に2箇所，直達車に3箇所それぞれ備えている。また，直達車のDMB車は荷役装置付荷物専用車となっている。

室内には広告，ニュース，フライト情報などを表示する液晶表示装置（FIP：Fright Information Panel）を普通車に2台，直達車に4台それぞれ設置している。

(4) 台 車

軸ハリス式軸箱支持，ボルスタ式の空気バネ車体支持方式となっており，連続急勾配対応として，すべて電動台車としている。



(a) 普通車客室



(b) 直達車客室



(c) 直達車荷物室

図2 室内
Fig. 2 Interior

あ と が き

TTYMRTは開業前の試運転を行っている。開業後は桃園国際空港と台北および台湾高速鉄道を直結し，空港アクセスの向上および沿線の発展に寄与する。

〔文責 車両カンパニー 技術本部 海外第二設計部 玉木 久貴〕

〔問い合わせ先〕 車両カンパニー
技術本部 海外第二設計部
Tel. (078) 682-3022, Fax. (078) 682-3065

東京モノレール(株)向け 地上蓄電設備 (BPS)

Battery Power System (BPS) for Tokyo Monorail Co., Ltd.



当社は、世界で初めて非常時走行を目的とした地上蓄電設備 (BPS: Battery Power System) を東京モノレール(株)の品川、多摩川両変電所に納入した。このシステムにより、最多編成が走行している朝ラッシュ時に停電で駅間に停車しても全編成を最寄り駅へスムーズに移動させ乗客を安全に救済できるようになった。

まえがき

東日本大震災発生以来、いっそうの省エネの実施など、これまで以上に電力の有効利用が叫ばれている。一方、震災をはじめとした天変地異においても、必要な電力をバックアップできる仕組みの導入が加速している。

1 設備概要

再生電力有効利用による省エネ効果だけでなく、電力会社からの電力供給が停止した場合に、地上蓄電設備 (BPS: Battery Power System) からの給電により車両を走行させる案件が増えている。

当社は、自社開発の大容量で高速充放電が可能なニッケル水素電池「ギガセル」を利用し電気鉄道の瞬時の大電流に追従できるBPSを多数の鉄道事業者へ納入している。

東京モノレール(株)は、路線長17.8kmの約7割が高架部であり、さらにその一部は運河上にある。このため電力会社からの電力供給が停止して列車が駅間に停車した際の安全で迅速な乗客救済手段を検討していた。そこで、列車に乗客を乗せたまま最寄り駅に走行できるように、大容量で高速充放電が可能なBPSを、図1のとおり品川変電所に2012年度、多摩川変電所に2013年度に設置した。両変電所のBPSとも20モジュール1ユニットの「ギガセル」を2ユニットで構成しており、電力変換装置を必要としない、き電線直結システムである。品川変電所は、地下変電所で、BPS関連機器は全て屋内設置となっている。多摩川変電所については、変電所内設置スペースの関係で、蓄電池盤のみを屋外に設置している。

1 変電所あたりのBPS仕様を表1に示す。今回、東京モ



図1 東京モノレール路線図とBPS設置場所
Fig. 1 Tokyo Monorail route map and BPS installation sites

表1 BPS仕様
Table 1 BPS specifications

電池種類	ニッケル水素蓄電池
定格電圧 [V]	720
定格容量 [kWh]	203
電池モジュール構成	20直列, 2並列

ノレール(株)へ納入したBPSは、電車からの再生電力を大容量蓄電池で貯蔵して、き電線電圧の安定化を図るとともに、力行時にこの電力を他の列車の運転用電力に使用することで電力が有効活用され、省エネルギー化も期待される。



図2 蓄電池監視画面
Fig.2 BPS monitoring screen

このシステムは、蓄電池監視制御機能により常時監視されており、異常が発生した時には、蓄電池監視制御画面の親機（モニタ）に表示するとともに昭和島にある電力指令室へ警報信号が出力される。また、遠隔監視システムにより当社の遠隔監視装置にも異常内容が表示される。蓄電池監視画面を図2に示す。

2 特長

「ギガセル」の外観写真を図3(a)に、構造を図3(b)に示す（実物は30セル積層）。「ギガセル」はファンによる強制空冷放熱機構により、大出力で充放電しても温度上昇を抑えることができる。

「ギガセル」は内部抵抗が低く、幅広い充電状態（SOC: State Of Charge）範囲にわたり、電圧がほぼ一定の特性であり、き電線直結システムが可能になる。その特長を以下に示す。

- ・電源から任意の電圧や電流を疑似的に作り出すチョップなどの制御装置の導入費用が不要となり、コスト低減および設置面積を小さくできる
- ・制御装置での効率ロスが発生しないため、高い充放電効率が得られる
- ・回生エネルギーの回収に対する時差、遅れがないため、電力損失を低減できる
- ・ノイズが発生しないため、信号設備に対して電磁障害などの悪影響を及ぼさない
- ・BPSからの放電によりラッシュ時を含む全ての時間帯で使用電力を削減することができる

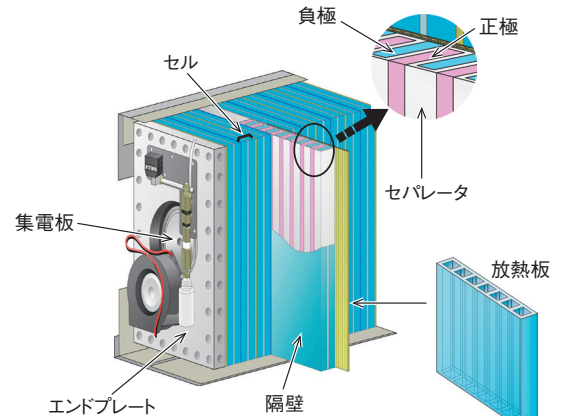
3 効果

(1) 同時走行

最も負荷が高くなる「上り勾配」手前から順次走行を開始し、少しでも早い乗客の救済を実現できる。



(a) 外観



(b) モジュール構造

図3 大容量ニッケル水素電池「ギガセル」
Fig.3 GIGACELL high-capacity nickel metal-hydride battery

(2) 補償給電（延べ走行距離）

BPSのみでの延べ走行距離は25kmであり、これは、最も運行が過密する朝ラッシュ時に、全列車を最寄り駅に到着させるために必要となる想定距離約17kmを十分に上回っている。

BPS納入後、東京モノレール(株)により、以上の「同時走行」および「補償給電（延べ走行距離）」の効果を確認した。

あ と が き

国内外の鉄道事業者に安全および省エネに貢献できるBPSの提案・納入を進めていく所存である。

なお、本設備のご採用および運用データをご提供いただいた東京モノレール(株)にあらためて感謝の意を表す。

〔文責 車両カンパニー ギガセル電池センター
石川 太一／宮田 照久〕

〔問い合わせ先〕 車両カンパニー
ギガセル電池センター
Tel. (078) 682-3157, Fax. (078) 682-3065

特許 第5442167号

発明の名称：鉄道車両用台車

発明者：西村 武宏，中尾 俊一，楠 武宜，奥村 泰史

—革新的な鉄道車両用台車「efWING」—

省エネルギーに対する強いニーズに応えるため、鉄道車両の軽量化を進めている。鉄道車両は主に「構体」と「台車」の二つから構成されているが、構体については軽量化の限界に達している。当社はさらなる軽量化を達成するため、台車の軽量化に取り組んでいる。

従来は、鋼製の側バリと、サスペンションとして機能するコイルばねとを組み合わせて台車を構成していたが、本発明では、サスペンションとして機能する板ばねを側バリとして採用し、コイルばねを省略した（図1）。さらに、構体を支える横バリ

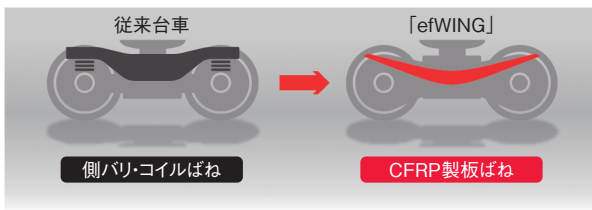


図1 従来台車と「efWING」

は当接部材を介して板ばね本体の上に載置し、また、板ばねも支持部材を介してその両端部を軸箱の上に載置するのみで、従来台車のようにボルトやピンなどで結合していない（図2）。これにより、横バリ～板ばね～軸箱の支持構造を簡素化し、組立作業性を大幅に向上させた。さらに、横バリ～板ばね～軸箱のねじり力が低減されたことによって補強が不要となり、一台車当たり約450kg（米国走行試験台車実績）という大幅な軽量化を達成した。

この特許で実現した「efWING」は、航空機分野で培った生産技術を生かして本発明の板ばねにCFRP（炭素繊維強化プラスチック）を採用した。米国での約4,500kmの走行試験で基本性能と走行安全性を確認し、すでに2014年3月から熊本電気鉄道(株)で営業運転に使用されている。他の鉄道事業者からの注目度も高く、さらに国内外に広く展開していく。

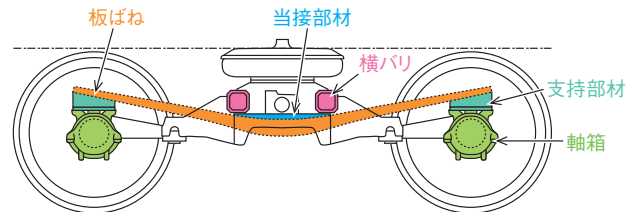


図2 「efWING」の側面図

特許 第5897128号

発明の名称：車体支持装置及び鉄道車両

発明者：佐藤 興志，多賀 之高，中尾 俊一，磯村 一雄，玉置 誠，白川 淳一，村田 紘一

—より安全な鉄道車両を提供する—

鉄道車両がカーブ部の出入口（緩和曲線部分）を通過する際、軌道が平面状態からカント*状態に変化するため、ねじれにくい剛な鉄道車両から見ると軌道がねじれた状態になる。この状態では、車輪間の輪重（車輪一輪にかかる垂直方向荷重）のバランスが崩れ、輪重抜け（ある車輪の輪重が極端に小さくなる状態。鉄道車両の脱線原因の一つ）が発生する（図1）。その対策として、従来は、車体と台車の間に設置される空気ばね内圧を電氣的に制御していたが、電源喪失時などの非常時に輪重

抜けの抑制が難しくなる。

そこで、非常時にも機能するとともに既存の鉄道車両に適用可能な輪重抜け抑制機能を有した車体支持装置を発明した。本車体支持装置は、鉄道車両が緩和曲線部分通過時に、前方台車と後方台車を逆方向にねじれさせる（矢印の方向）もので（図2）、アンチローリングバーと反転機構の組み合わせや油圧シリンダを利用することで実現する。

当社では、シミュレーションや実車体モデルによる定置試験を行い、本車体支持装置が高い輪重抜け抑制効果を有していることを確認している。急曲線部が多く、輪重抜け抑制のニーズが高い地下鉄への本装置の適用を目指し、さらなる技術開発を継続している。

* カント：外側のレールを内側よりも高くすること



図1 軌道のねじれと輪重抜け

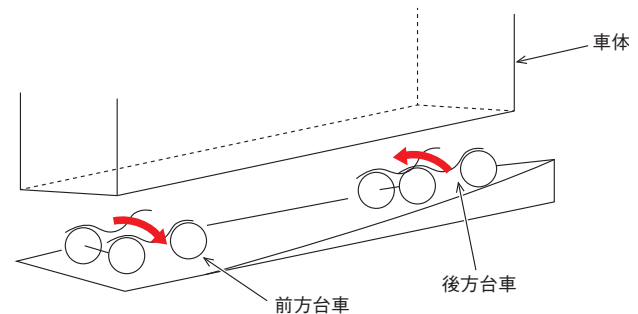


図2 カーブ出口での本車体支持装置による台車の動き

事業セグメント別主要製品／生産拠点

事業セグメント	主 要 製 品	主要生産拠点
船 舶 海 洋	<ul style="list-style-type: none"> ・LNG運搬船, LPG運搬船, 油槽船, ばら積み船, コンテナ船, 自動車運搬船, 超高速船, 艦艇, 官公庁船, 海洋構造物 	神戸工場 坂出工場 Enseada Indústria Naval S.A. (ブラジル) 南通中遠川崎船舶工程有限公司 (中国) 大連中遠川崎船舶工程有限公司 (中国)
車 両	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄道車両, 新交通システム, 貨車 ・ニッケル水素電池「ギガセル®」 	兵庫工場 播磨工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp, U.S.A. (アメリカ) Kawasaki Rail Car, Inc. (アメリカ)
航 空 宇 宙	<ul style="list-style-type: none"> ・ロータリー除雪車, 凍結防止剤散布車 ・軌道モーターカー, 重量物運搬車 	(株)日本除雪機製作所・本社工場 (株)日本除雪機製作所・曙工場
航 空 宇 宙	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機 (固定翼機/ヘリコプター), 誘導機器, 電子機器, 宇宙関連機器, シミュレータ 	岐阜工場 名古屋第一工場 名古屋第二工場
航 空 宇 宙	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機 (部分品など), ロケット部分品, 宇宙機器, 標的システム, 海洋機器の製造 ・航空機整備・改造 	日本飛行機(株)・航空宇宙機器事業部 日本飛行機(株)・航空機整備事業部
ガスタービン・機 械	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機用エンジン, 船用ガスタービンエンジン ・ガスタービン発電設備, コージェネレーションシステム, 他 	明石工場 西神戸工場
ガスタービン・機 械	<ul style="list-style-type: none"> ・陸用蒸気タービン, ディーゼル機関, ガスエンジン, 大型減速装置 ・船用推進装置 (サイドスラスト, 旋回式スラストなど) ・各種空力機械 (天然ガス圧送設備, 送風機など) 	神戸工場 播磨工場 武漢川崎船用機械有限公司 (中国)
ガスタービン・機 械	<ul style="list-style-type: none"> ・空調機器, 汎用ボイラ 	川重冷熱工業(株)・滋賀工場 同方川崎節能設備有限公司 (中国)
プ ラ ン ト ・ 環 境	<ul style="list-style-type: none"> ・各種産業用プラント (セメント, 化学, 搬送プラント) ・各種陸船用ボイラ (発電事業用ボイラ, 産業用ボイラなど) ・ごみ処理設備 ・各種低温貯蔵設備 (LNGタンク) ・シールド掘進機, トンネル掘削機 	播磨工場 上海中遠川崎重工鋼結構有限公司 (中国) 安徽海螺川崎節能設備製造有限公司 (中国) 安徽海螺川崎裝備製造有限公司 (中国)
プ ラ ン ト ・ 環 境	<ul style="list-style-type: none"> ・破碎機, リサイクル用機器, 他 	(株)アーステクニカ・八千代工場
モ ー タ ー サ イ ク ル & エ ン ジ ン	<ul style="list-style-type: none"> ・モーターサイクル, ATV (四輪バギー車), レクリエーションユティリティビークル, 多用途四輪車, パーソナルウォーターcraft「ジェットスキー®」 ・汎用ガソリンエンジン 	明石工場 加古川工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp, U.S.A. (アメリカ) Kawasaki Motores do Brasil Ltda. (ブラジル) India Kawasaki Motors Pvt. Ltd. (インド) Kawasaki Motors Enterprise (Thailand) Co, Ltd. (タイ) P.T. Kawasaki Motor Indonesia (インドネシア) Kawasaki Motors (Phils.) Corporation (フィリピン) 常州川崎光陽發動機有限公司 (中国)
精 密 機 械	<ul style="list-style-type: none"> ・建設機械用油圧機器, 産業機械用油圧機器・装置 ・船用舵取機, 船用各種甲板機械 ・産業用ロボット ・医薬・医療ロボット 	明石工場 西神戸工場 Kawasaki Precision Machinery(U.K.)Ltd. (イギリス) Wipro Kawasaki Precision Machinery Private Limited (インド) 川崎精密機械(蘇州)有限公司 (中国) 川崎春暉精密機械(浙江)有限公司 (中国) Flutek, Ltd. (韓国)

- 「efWING」, 「efSET」, 「efSET」ロゴ, 「efACE」, 「GIGACELL」, 「ギガセル」は川崎重工業株式会社の登録商標です。



- 本誌に記載されている社名, 商品名, サービス名などは, それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

-  **Kawasaki Green Product Promotion Activity**

Kawasakiグリーン製品は, 当社のグループミッション「世界の人々の豊かな生活と, 地球環境の未来に貢献する “Global Kawasaki”」の達成に向け, 製品の環境性能と生産過程での環境管理活動において当社が独自に定めた基準を満足する製品を, 「Kawasakiグリーン製品」, 「Kawasakiスーパーグリーン製品」として適合性評価を行い, 社内外に推進しているものです。

川崎重工技報 第177号

2016年5月1日

編集・発行	兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社 技術開発本部
発行責任者	技術開発本部長 門田 浩次
発行人	技術開発本部 技術企画推進センター長 久保 貞夫
印刷	広島県広島市中区中島町9番6号 株式会社 秀巧堂クリエイト

禁無断転載

事業所・生産拠点・研究開発拠点

東京本社 (〒105-8315)	東京都港区海岸1丁目14番5号	☎(03)3435-2111 Fax. (03)3436-3037
神戸本社 (〒650-8680)	兵庫県神戸市中央区東川崎町1丁目1番3号 (神戸クリスタルタワー)	☎(078)371-9530 Fax. (078)371-9568
技術開発本部 (〒673-8666)	兵庫県明石市川崎町1番1号 (明石工場内)	☎(078)921-1611 Fax. (078)921-1867
北海道支社 (〒060-0005)	北海道札幌市中央区北5条西2丁目5番 (JRタワーオフィスプラザさっぽろ14階)	☎(011)281-3500 Fax. (011)281-3507
東北支社 (〒980-0021)	宮城県仙台市青葉区中央1丁目6番35号 (東京建物仙台ビル16階)	☎(022)261-3611 Fax. (022)265-2736
中部支社 (〒450-6041)	愛知県名古屋市中村区名駅1丁目1番4号 (JRセントラルタワーズ)	☎(052)388-2211 Fax. (052)388-2210
関西支社 (〒530-0004)	大阪府大阪市北区堂島浜2丁目1番29号 (古河大阪ビル)	☎(06)6344-1271 Fax. (06)6348-8289
中国支社 (〒730-0013)	広島県広島市中区八丁堀3番33号 (広島ビジネスタワービル12階)	☎(082)222-3668 Fax. (082)222-2229
九州支社 (〒812-0011)	福岡県福岡市博多区博多駅前1丁目4番1号 (博多駅前第一生命ビル)	☎(092)432-9550 Fax. (092)432-9566
沖縄支社 (〒900-0015)	沖縄県那覇市久茂地3丁目21番1号 (國場ビル)	☎(098)867-0252 Fax. (098)864-2606
岐阜工場 (〒504-8710)	岐阜県各務原市川崎町1番地	☎(058)382-5712 Fax. (058)382-2981
名古屋第一工場 (〒498-0066)	愛知県弥富市楠3丁目20番地3	☎(0567)68-5117 Fax. (0567)68-5161
名古屋第二工場 (〒490-1445)	愛知県海部郡飛鳥村金岡7番地4	☎(0567)68-5117 Fax. (0567)68-5161
神戸工場 (〒650-8670)	兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号	☎(078)682-5001 Fax. (078)682-5503
兵庫工場 (〒652-0884)	兵庫県神戸市兵庫区和田山通2丁目1番18号	☎(078)682-3111 Fax. (078)671-5784
西神工場 (〒651-2271)	兵庫県神戸市西区高塚台2丁目8番1号	☎(078)992-1911 Fax. (078)992-1910
西神戸工場 (〒651-2239)	兵庫県神戸市西区榎谷町松本234番地	☎(078)991-1133 Fax. (078)991-3186
明石工場 (〒673-8666)	兵庫県明石市川崎町1番1号	☎(078)921-1301 Fax. (078)924-8654
加古川工場 (〒675-0112)	兵庫県加古川市平岡町山之上向原170番地	☎(079)427-0292 Fax. (079)427-0556
播磨工場 (〒675-0180)	兵庫県加古郡播磨町新島8番地	☎(079)435-2131 Fax. (079)435-2132
坂出工場 (〒762-8507)	香川県坂出市川崎町1番地	☎(0877)46-1111 Fax. (0877)46-7006

海外事務所

北京事務所	100004 中華人民共和国 北京市建国門外大街1号 国贸写字楼1座2602室	☎ 86-10-6505-1350 Fax. 86-10-6505-1351
台北事務所	台湾 台北市仁愛路二段99号 福記大樓15樓	☎ 886-2-2322-1752 Fax. 886-2-2322-5009
バンコク事務所	28th FL, Sathorn Square Office Tower, 98 North Sathorn Road Silom, Bangrak, Bangkok 10500	☎ 66-2-163-2839 Fax. 66-2-163-2841

現地法人事務所

Kawasaki Heavy Industries (Singapore) Pte. Ltd.	6 Battery Road, #23-01, Singapore 049909	☎ 65-6225-5133 Fax. 65-6224-9029
Kawasaki Heavy Industries Management (Shanghai), Ltd.	10th Floor, Chong Hing Finance Center, 288 Nanjing Road West, Huangpu District, Shanghai 200003, People's Republic of China	☎ 86-21-3366-3100 Fax. 86-21-3366-3108
Kawasaki do Brasil Indústria e Comércio Ltda.	Avenida Paulista, 542-6 Andar, Bela Vista, 01310-000, São Paulo, S.P., Brazil	☎ 55-11-3289-2388 Fax. 55-11-3289-2788
Kawasaki Heavy Industries (U.S.A.), Inc.	60 East 42nd Street, Suite 2501 New York, NY 10165, U.S.A.	☎ 1-917-475-1195 Fax. 1-917-475-1392
Kawasaki Heavy Industries Middle East FZE	Dubai Airport Free Zone, Bldg. 6W, Block-A, Office No. 709, P.O. Box 54878, Dubai, U.A.E.	☎ 971-4-214-6730 Fax. 971-4-214-6729
Kawasaki Heavy Industries (U.K.) Ltd.	4th Floor, 3 St. Helen's Place, London EC3A 6AB, U.K.	☎ 44-20-7588-5222 Fax. 44-20-7588-5333
Kawasaki Heavy Industries (India) Private Limited	5th Floor, Meridien Commercial Tower, Windsor Place, New Delhi 110001, India	☎ 91-11-4358-3531 Fax. 91-11-4358-3532
Kawasaki Heavy Industries Russia LLC	Office 1206 (12th floor), Entrance 3, Krasnopresnenskaya nab. 12, 123610, Moscow, Russian Federation	☎ 7-495-258-2115 Fax. 7-495-258-2116
Kawasaki Trading do Brasil Ltda.	Avenida Paulista, 542-6 Andar, Cj. 61D, Bela Vista, 01310-000, São Paulo, S.P., Brazil	☎ 55-11-3266-2790 Fax. 55-11-3266-2853
Kawasaki Trading (Shanghai) Co., Ltd.	10th Floor, Chong Hing Finance Center 288 Nanjing Road West, Huangpu District, Shanghai 200003 People's Republic of China	☎ 86-21-3366-3700 Fax. 86-21-3366-3701
KHI (Dalian) Computer Technology Co., Ltd.	Room 205, International Software Service Center, Dalian Software Park, 18 Software Park Road, Dalian, People's Republic of China	☎ 86-411-84748270 Fax. 86-411-84748275

