

英国IEP(都市間高速鉄道計画)向け 高速車両Class 800/801の開発

岩崎 充雄
Iwasaki Mitsuo

稲荷田 聡
Inarida Satoru

我妻 浩二
Agatsuma Koji

Andrew Rogers

Chris Robinson

山本 隆久
Yamamoto Takahisa

小西 健太
Konishi Kenta

用田 敏彦
Mochida Toshihiko

2012年7月、日立グループは、アジリティ・トレインズ社を通じ、英国のIEP(都市間高速鉄道計画)における車両製造と保守事業に関する正式契約を締結し、追加受注を含めて合計866両に及ぶ車両の製造、ならびに27年半にわたる保守事業を一括受注した。ロンドンと主要都市を結ぶEast Coast Main LineおよびGreat Western Main Lineで走行する老朽車両を置き換えるIEPは、総事業費58億ポンドと、英国の鉄道史上最大規模のビッ

グプロジェクトである。このIEP向け車両Class 800/801は、軽量アルミ構体と自立型内装構造を特徴とする「A-train」のコンセプトの下、日本で培った軽量化、高速化技術を英国鉄道システムに適応させて開発したものである。2015年から英国にて走行試験をした後、2017年より営業運転を開始し、高品質で安定した鉄道サービスの提供に貢献していく。

1. はじめに

日立はロンドンと英国の主要都市を結ぶ、IEP(Intercity Express Programme: 都市間高速鉄道計画)向けの鉄道車両Class 800/801を開発した(図1参照)。IEPは英国の主要幹線であるEast Coast Main Line(ECML)とGreat Western Main Line(GWML)において、運行開始から30年以上を経過した車両を全面的に置き換えるプロジェクト

である¹⁾。日立は、英国運輸省が進めるこのIEPで、866両の高速車両の製造と27年半にわたる保守事業を担っている。さらに、英国に工場を建設し、車両を現地生産する計画である。

ここでは、英国IEP向け高速車両Class 800/801の概要、電気システムと特徴技術について述べる。



注: 略語説明 ECML (East Coast Main Line), GWML (Great Western Main Line)

図1 | 英国IEP向け高速車両Class 800/801と路線略図

日立は、日本で培った「A-train」のコンセプトを基に、英国のロンドンを起点とするIEP(Intercity Express Programme)向け高速車両を開発した。2015年から英国にて走行試験をした後、2017年から主要幹線であるECMLおよびGWMLで営業運転を開始し、高品質で安定した鉄道サービスに貢献していく。

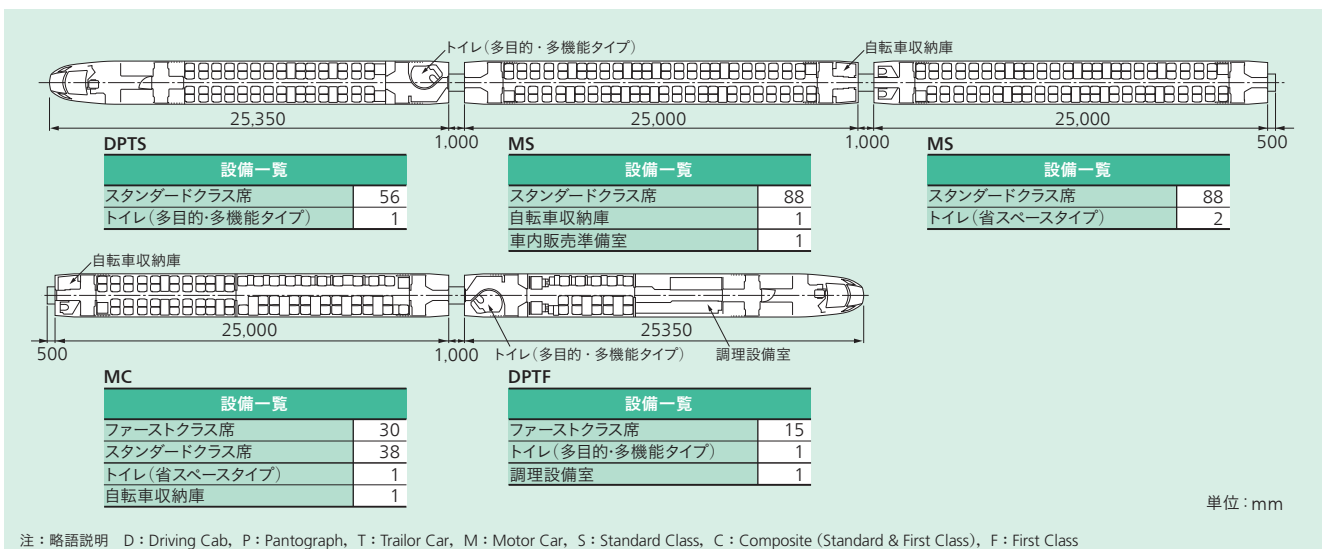


図2 編成図(5両編成)

編成は1編成5両および9両で構成され、両先頭車には開閉カバー付きの自動連結器を装備し、標準化された中間車の増減に加えて、最大2編成を連結した12両で営業運転する。

2. Class 800/801の概要

2.1 コンセプト

Class 800/801は、非電化区間を含む複数の路線、古いプラットフォームや橋梁(きょうりょう)を含む異なるインフラ条件、将来の電化計画や変動する旅客需要に柔軟に対応し、加えて欧州相互乗入技術要求(TSI：Technical Specifications for Interoperability)をはじめとする最新の欧州規格および英国鉄道規格(RGS：Railway Group Standard)に適合する必要があった。非電化区間における営業走行を実現するため、ディーゼルエンジン付き発電機(GU：Generator Unit)を搭載し、さらに標準化された中間車を増減させることにより、最大12両編成まで拡張できるユニット構成にした。また、日本国内で培った「A-train」コンセプト^{2), 3)}に加えて、英国High Speed 1向けに日立が開発し2009年より営業運転をしている高速車両Class 395向けの技術^{4), 5)}をベースにすることで英国鉄道システムへの適合を図るとともに高信頼性を実現している。

先頭形状は、空気抵抗・騒音低減による環境対策に加えて、最新の欧州規格に適合した衝突安全構造および駅停車時の編成車両の分割・併合時間短縮を目的とした自動開閉装置を統合した高速車両にふさわしい“One Motion Form”を実現した。

室内は、TSIの障がい者対応要求(PRM-TSI：Persons with Reduced Mobility-TSI)への適合、座席定員数の最大化に加えて、複数の鉄道運行会社の要望や将来の内装更新に対応する必要があった。そのため「A-train」のコンセプトである自立型内装構造により基本配置および車体構造を標準化し、デザイン段階で英国鉄道事業者、関連団体および第三者機関による審査を受けながら仕様を決定した。

2.2 基本仕様

車両の編成図を図2に、主要諸元を表1にそれぞれ示す。編成は1編成5両および9両で構成され、両先頭車には開閉カバー付きの自動連結器を装備し、標準化された中間車の増減に加えて最大2編成を連結した12両で営業運転する。営業運転中に途中駅で編成車両を分割・併合することがあるため、自動連結器は2分以内での連結、解放を可能とした。

車両先頭部、運転台、客室、多目的・多機能便所、台車の外観を図3に示す。車体はアルミニウム合金製とし、側・屋根・床は押し出し薄肉型材によるダブルスキン構造とした。さらに接合にはFSW〔Friction Stir Welding：摩擦攪

表1 車両の主要諸元

Class 800/801の主要諸元を示す。

| 項目 | 主要諸元 |
|--------|---|
| 車種 | 英国 Class 800 (Dual mode train), Class 801 (Electric train) |
| 編成 | 5両 (DPTS+MS+MS+MC+DPTF) 9両 (DPTS+MS+MS+TS+MS+TS+MC+MF+DPTF) |
| 座席定員 | 5両編成：ファーストクラス45人、スタンダードクラス270人 9両編成：ファーストクラス101人、スタンダードクラス526人 |
| 電気方式 | 交流25 kV, ディーゼルエンジン発電機 |
| 軌道間 | 1,435 mm |
| 最高運転速度 | 201 km/h (設計最高速度 225 km/h) |
| 加速度 | 0.70 m/s ² |
| 減速度 | 常用1.0 m/s ² , 非常1.20 m/s ² |
| 勾配条件 | 1/37 = 27‰ |
| ブレーキ制御 | 電気指令式空気ブレーキ |
| 主変換装置 | IGBTコンバータ・インバータ+ブレーキチョップ |
| 主電動機 | 226 kW連続 |
| 補助電源装置 | 240 kVA |
| 車体 | アルミダブルスキン構造 |
| 台車 | ボルスタレス台車 |
| 空調 | ヒータ暖房形冷暖房機(換気ファン内蔵) |

注：略語説明 AC (Alternating Current), DC (Direct Current), IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

拵(かくはん) 接合]を採用し、軽量かつ高強度でゆがみの少ない外観を実現している。また、200 km/hを超える速度で運用されることから、車内の圧力変動を抑えて快適性を維持するために気密構造を採っている。

運転台にはマスタコントローラのほか、各種のスイッチ類やモニタ類が運転席を囲むように配置されている。スイッチ類の操作性や視認性については、規格に適合させるとともに運転士およびヒューマンファクターの専門家による評価を受け、設計に反映した。

客室はファーストクラスおよびスタンダードクラスの2つのコンパートメントで構成されており、腰掛やテーブルなどの設備品はRGSおよびPRM-TSIに適合し、衝突安全性、耐火性に加えて、障がい者の利用に配慮した構成および配置とした。さらに、運行形態や編成車両数の変更に合わせて室内レイアウトを変更しやすい構造にした。出入口には、ユニバーサルデザインに配慮した大型の多目的・多機能便所に加えて、大型の荷物や自転車を保管する収納庫を設置した。さらに、長距離移動する旅客に十分な飲食サービスを提供するための調理設備室および車内販売準備



図3 | 車両先頭部、運転台、客室、多目的・多機能便所、台車の外観
先頭形状は高速車両にふさわしい「One Motion Form」とし(a)、運転台は操作性や視認性について運転士およびヒューマンファクターの専門家による評価を受け設計に反映している(b)。客室や便所は実物大のモックアップを製作し、ステークホルダーの審査を受けて仕様を確認するとともに改善点を抽出して設計に反映している(c)、(d)、(e)。9両編成中間車の従台車の台車枠をインナーフレーム化することで大幅な軽量化を実現している(f)。

室を設けた。これらインテリアは、実物大のモックアップを製作し、ステークホルダーである鉄道運行会社、乗客団体、乗務員組合、認証機関などの審査を受け、仕様を確認するとともに改善点を抽出し設計に反映した。

台車はボルスタレス式であり、走行安定性および曲線通過性能を考慮した設計とするとともに、軌道ダメージやメンテナンスコストの低減を考慮して、動台車および従台車の構造は可能な限り軽量化を図った。特に、9両編成中間車の従台車には、図3に示すように台車枠をインナーフレーム化することで大幅な軽量化を実現している。

3. Class 800/801の電気システム

本章では、乗務員の業務を支援するTCMS (Train Control and Management System)、保守作業を支援するデータ通信機能、架線およびGUを電源とする主回路システム、3種類の異なる保安装置から成る保安システムの特徴について述べる。

3.1 車上情報システム(TCMS)

Class 800/801における車上情報システムの構成図、運転台表示器の画面の一例、表示器の一例を図4、図5、図6

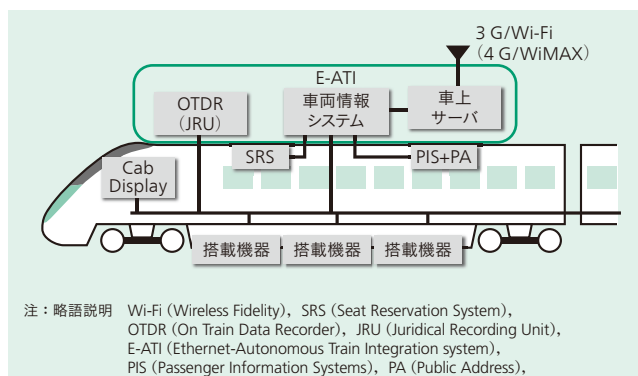


図4 | 車上情報システム構成図

Ethernet技術、完全独立二重化により、信頼性、冗長性の向上を図っている。SIL (Safety Integrity Level) 2認証を取得した。

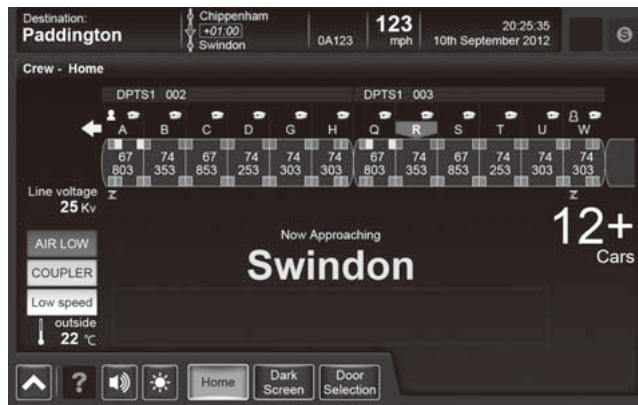


図5 | 運転台表示の一例

ETCS (European Train Control System) 画面との親和性、操作性を意識したボタン類の配置、配色、フォントを使用したデザインとした。



図6 | IEPの表示器

乗客の見やすさに配慮したサイズ、フォント、スクロール速度、表示内容とした[TSI (Technical Specification for Interoperability), RGS (Railway Group Standards) 準拠]。

にそれぞれ示す。Class 800/801のTCMSには、Ethernet^{※1)}をベースとした通信システムを適用したE-ATI (Ethernet-Autonomous Train Integration system)を採用した。E-ATIは、日立が新たに開発した基幹伝送システムであり、完全独立二重化による信頼性・冗長性向上を実現している。また、このシステムは、IEC61375に準拠し、安全に関わる機能については、EN50128-SIL (Safety Integrity Level) 2に準拠している。運転台表示器においては、後述するETCS (European Train Control System)画面との親和性、操作性を意識したボタン類の配置、配色、フォントを使用したデザインとした。表示器は、乗客の見やすさに配慮し、サイズ、フォント、スクロール速度、表示内容を決定した。もちろん、これらは、TSI、RGSに準拠している。また、地上とのデータ通信を担う車上サーバを搭載、3G、Wi-Fi^{※2)} (Wireless Fidelity)により、地上システムとのデータ通信を行う。また、オプションとして4GやWiMAX^{※3)} (Worldwide Interoperability for Microwave Access)にも対応できる構成とした。

このほか、RGSに準拠したOTDR (On Train Data Recorder)・JRU (Juridical Recording Unit) 一体型運転記録装置、EN規格に準拠した、消費電力および回生電力を記録するEnergy Meterを搭載した。

Class 800/801におけるTCMSの代表的な機能を以下に示す。

(1) 編成自動判別機能、分割・併合対応機能

編成種別 (Class 800/801) 判別機能、編成長および編成構成の自動認識機能、分割・併合対応機能 (救援時、最大

4編成24両)があり、編成組み替えおよび管理を容易に可能としている。

(2) データ通信機能

地上との通信機能により、車両状態のリアルタイム送信のほか、地上からのオンデマンド指令により、運転記録装置など各車上機器に記録されているモニタデータの地上システムへの送信、日々の運行ダイヤ、座席指定データの受信を実現した。また、アナウンスデータの更新、車上機器のソフトウェアの更新を可能とし、保守性を向上した。

(3) 位置情報による編成制御機能

GPS (Global Positioning System)により列車位置を特定し、客室内および車外表示器、車内放送装置[PIS (Passenger Information Systems) + PA (Public Address)]の自動制御、列車長よりプラットフォームが短い駅におけるドアのインターロック制御 [SDO (Selective Door Operation) 制御]、該当の走行区間における座席指定状態を表示するSRS (Seat Reservation System) 制御、ダイヤおよび走行区間に応じて、消費電力が最小となるように運転士に最適な運転扱いを提示するDAS (Driver Advisory System)などの機能のほか、走行区間を特定し、適切な駆動システムの電源を選択可能とする自動切り替え制御を実現している。

(4) 乗客サポート機能

乗客数を各車両ごとにカウントにするシステムを搭載しており車両の混雑状況を地上側にリアルタイムに送信できるほか、混雑していない車両への案内放送を可能としている。

3.2 駆動・補助電源システム(Traction/APSシステム)

Traction/APS (Auxiliary Power Supply) システムの概要を図7に示す。Tractionの電源を、主変圧器およびGUから選択できる構成となっている。電源側の変換機を両電源に対応できる構成とすることで、装置の小型・軽量化を

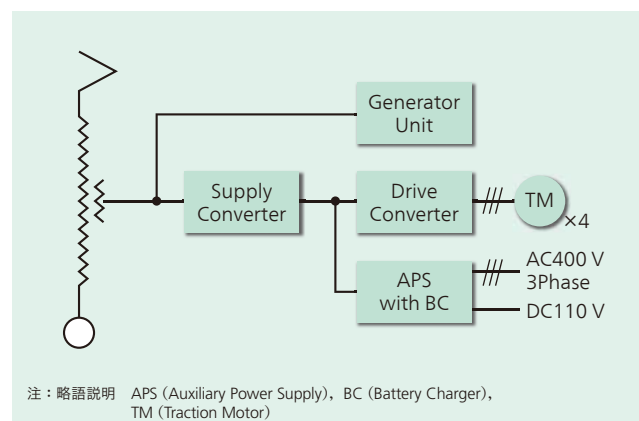


図7 | Traction/APSシステムの概要

電化区間では架線から、非電化区間ではエンジン発電システムからそれぞれ電力を得ることで、省エネルギーと列車の汎用性を両立している。

※1) Ethernetおよびイーサネットは、富士ゼロックス株式会社の登録商標である。

※2) Wi-Fiは、Wi-Fi Allianceの登録商標である。

※3) WiMAXは、WiMAX Forumの登録商標である。

図った。電化区間および非電化区間を走行する Class 800 では、Traction システムと GU が一対一の組み合わせであるが、電化区間での運用を前提としている Class 801 では、架線停電時の退避運転における駆動用電源および補助電源として、また機関車による牽（けん）引を前提とした非電化区間運用における補助電源用として、GU を編成長に応じて1~2台搭載する（5両~9両編成は1台、10両~12両編成は2台）。これにより、Class 801 の運用範囲の拡大、架線停電時などの地上システム不具合発生時の退避機能の実現を図っている。

Class 800/801 とともに同一の主回路構成 (Traction システム) としており、GU の積み下ろしにより、どちらの Class への転用も容易に可能な構成とし、将来の運用変更に対応できるようにした。

APS は、Traction システムの直流ステージから電源を得る方式とし、簡略化、制御性の向上を図った。また、車上の APS は、並列運転を行い、冗長性を確保した。

3.3 車上保安システム

保安システムの概要および ETCS の DMI (Driver Machine Interface) を図8および図9にそれぞれ示す。Class 800/801 では、英国全土で広く使用されている TPWS (Train Protection and Warning System) /AWS (Automatic Warning System), GWML の Paddington—Bristol 間で使用されている BR-ATP (British Rail-Automatic Train Protection), 今後、英国で導入が計画されている ETCS (Level2) を搭載する。車上 ETCS は、日立が開発し、V-Train3 プロジェクト

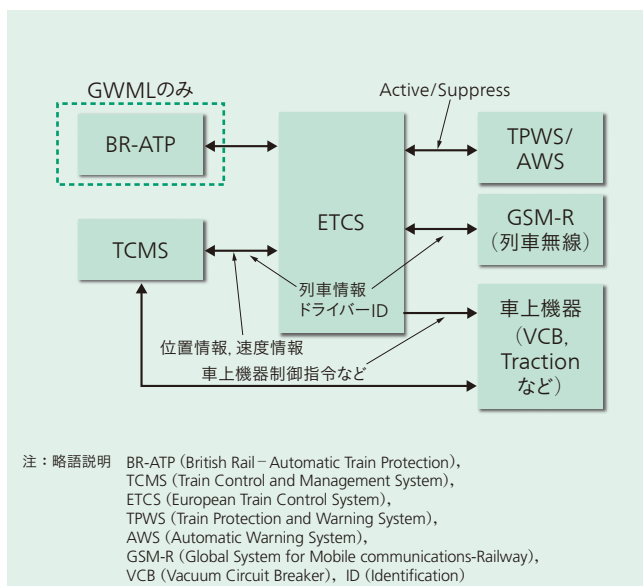


図8 | 車上保安システムの概要

英国全土で使用されている TPWS/AWS, GWML で使用されている BR-ATP, 導入が予定されている ETCS (日立自社開発) を搭載している。走行区間、地上システムに合わせた車上保安機能が動作するシステムとした。また、TCMS, 列車無線 (GSM-R) と列車情報を共有する。

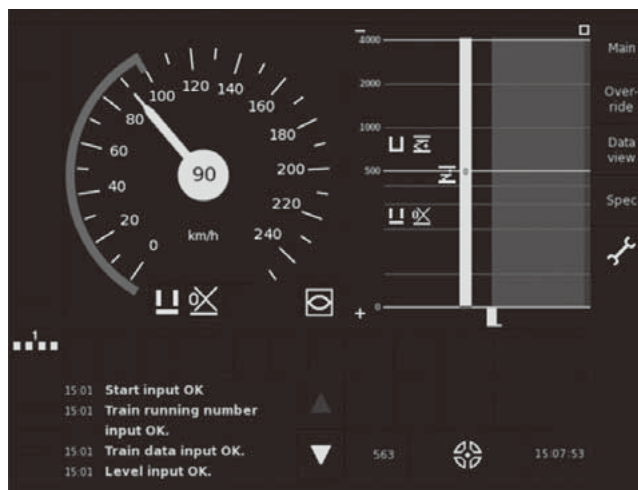


図9 | ETCSのDMI (Driver Machine Interface)

ERTMS (European Rail Traffic Management System) /ETCS規格およびRGSに準拠している。

を通じて EN012x シリーズの審査を受け、安全認証 SIL4 および ETCS 規格への準拠証明を受けた装置である。

この保安システムの設計、開発にあたっては、複数の異なる保安装置のシステムインテグレーションはもちろんのこと、車両制御の高度化にも対応するため、車両のシステムインテグレーションに重点を置き、以下に示す機能を実現した。

- (1) GWML, ECML の異なる地上信号システムを有する路線において、それぞれの路線における ETCS 導入前後の地上信号システムに合わせた車上信号装置切り替え機能
- (2) ETCS, TCMS, GSM-R (Global System for Mobile communications-Railway: 列車無線) における列車情報の共有機能 (乗務員の列車情報入力作業の手順の簡略化, 入力ミス防止に寄与する)
- (3) TCMS・ETCS の連携による位置情報を活用した車上機器制御機能 [走行区間に応じた電源 (架線/エンジン) 切り替え, SDO, 気密制御, ニュートラルセクションでの VCB (Vacuum Circuit Breaker) 開閉制御など]

4. 特徴技術

本章では、Class 800/801 向けに新たに開発した特徴技術である GU および衝撃吸収構造について述べる。

4.1 エンジン付き発電機

Class 800/801 における GU および周辺システムの特徴について以下に述べる。

GU の外観および主要諸元を図10に示す。Class 800/801 向けに開発した GU は、駆動車床下に 躡 (ぎ) 装するため、エンジン、発電機、ラジエータなどをパッケージ化し、省スペース化を実現した。エンジンは排気ガ

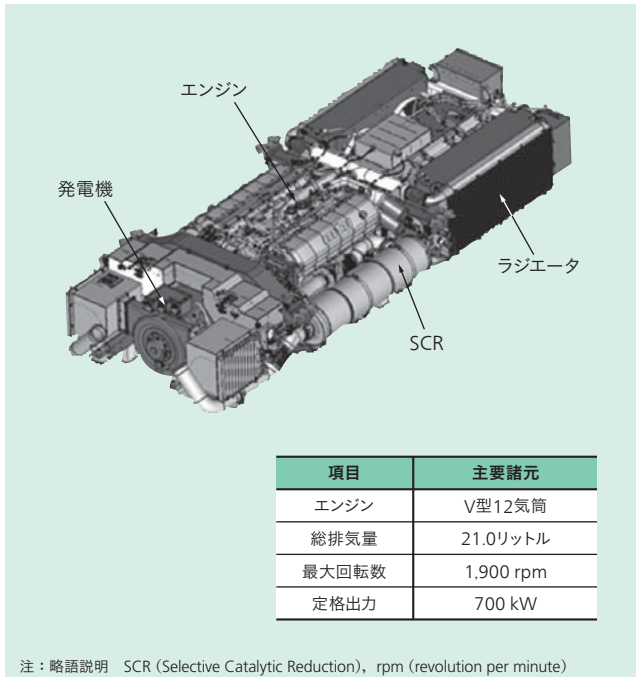


図10 | GU外観および主要諸元

エンジン、発電機、ラジエータなどをパッケージ化することで省スペース化を実現し、床下実装を可能とした。

ス浄化技術の一つである尿素SCR (Selective Catalytic Reduction) システムを採用し、EU (European Union) 排ガス規制ステージⅢBに準拠し、環境に配慮した設計としている。また、V型エンジンを採用することで振動を抑えて、客室の快適性を損なわないように配慮している。

駆動車床下にはGUのほか、トラクションコンバータ、燃料タンク、消火装置、ブレーキシステムなどの機器を搭載している。エンジン上部には万一の火災に備えて、自動消火装置を設置しており、高圧窒素ガスにより消火水を噴射することで初期消火が可能な設計とした。GU側面には側カウルを配置し、車外騒音の低減を図っている。GUは構体に対して防振支持され、さらに客室床板を弾性材により支持することで、エンジンから車体への振動伝搬を抑制し、快適な客室環境の提供を実現した。また、GU上部には、断熱構造を有したケーブルダクトを採用し、エンジン排熱による影響を最小化している。

4.2 衝撃吸収構造

欧州では過去の事故や鉄道車両の相互乗入を背景として、図11に示すような衝突安全性に関する規格要求がある。Class 800/801の先頭部には、図12に示すように、衝突時に圧潰してできるだけ多くのエネルギーを吸収して衝突時の加速度を低減する衝撃吸収構造が備わっている。Class 800/801における衝撃吸収構造は、Class 395向けの技術^{4), 5), 6)}を発展させて、軽量化および省スペース化を図ったうえで、さらに最新のTSI、衝突安全性に関する欧

| Scenario | Crash mode | Acceleration | Other |
|----------|---|--------------|--------------------------------|
| 1 | 18 km/h → 18 km/h 40 mm (40 mm vertical offset) | Below 5.0 g | Securing of the survival space |
| 2 | 80ton wagon → 36 km/h | | |
| 3 | 15ton Lorry → 110 km/h | Below 7.5 g | |

図11 | 衝突安全性に関する規格要求

High Speed TSI (Technical Specifications for Interoperability), EN15227, GM/RT2100に規定されている衝突安全性に関する要求を示す。

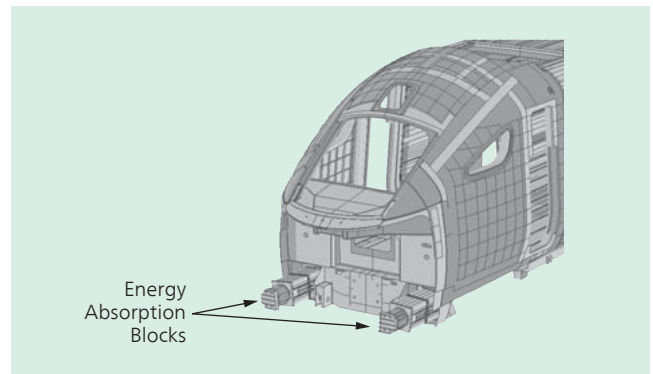


図12 | 先頭衝撃吸収構造

先頭部には、衝突時に圧潰してできるだけ多くのエネルギーを吸収して衝突時の加速度を低減する衝撃吸収構造が備わっている。

州規格EN15227、強度に関する英国鉄道規格GM/RT2100に適合させたものである。車両の先端部には、前照灯などの各種機器に加えて編成車両併結時に使用する開閉装置や連結器が収納されており、空力性能やエクステリアデザインとのバランスを保ちつつ限られた空間で衝撃吸収構造を実現している。

衝撃吸収構造の開発において、初めに、実物大車両先頭部の動的圧潰試験により、衝撃吸収構造の基本特性を確認した。併せて、数値解析によるシミュレーションで試験結果が再現できることを確認した。この数値解析手法を活用し、実際の試験では検証が難しい編成状態での衝突を模擬した評価も行って衝突安全性を検証している。

図13に試験結果と数値解析によるシミュレーション結果を示す。衝撃吸収構造は、「A-train」のコンセプトを生かしたアルミ合金製とし、軽量化、省スペース化、衝突特性、強度のすべてを満足する構造とした。試験結果から、規則正しいきれいな座屈しわが生じており、バランスよく安定して圧潰し衝突時のエネルギーを吸収していることが分かる。また、数値解析結果も同様の挙動をうまく表現できており、変位、圧潰荷重、エネルギー吸収量いずれの予測精度も誤差1%以下と、規格要求の10%以下に対して十

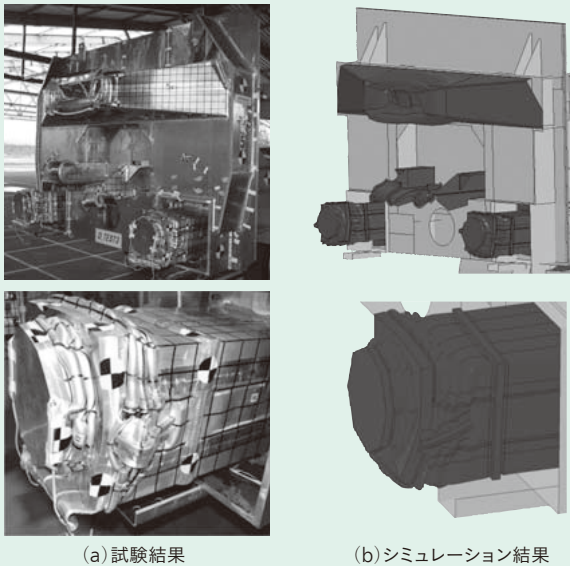


図13 | 動的圧潰試験結果と数値解析によるシミュレーション結果

実物大車両先頭部の動的圧潰試験により、衝撃吸収構造の基本特性を確認した。併せて、数値解析によるシミュレーションで試験結果が十分な精度で再現できることを確認した。

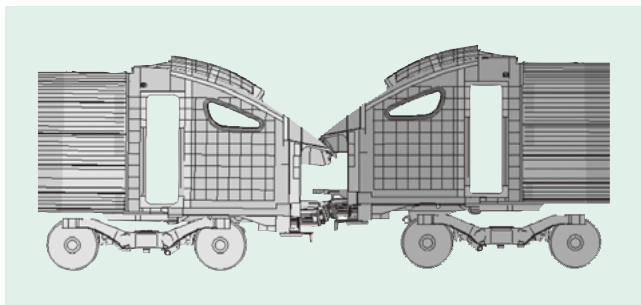


図14 | 編成車両同士の衝突を模擬した数値解析結果

サバイバルスペースである運転台および客室空間が潰れずに確保されていること、減速度が規定値内の5 G以下に収まっていることを確認し、設計の妥当性を検証した。

分な精度で予測できることを確認できた。図14は編成車両同士の衝突を模擬した数値解析結果で、サバイバルスペースである運転台および客室空間が潰れずに確保されていること、減速度が規定値内の5 G以下に収まっていることを確認し、設計の妥当性を検証している。

5. おわりに

ここでは、英国IEP向けClass 800/801の概要、電気システム、特徴技術について述べた。

日立は、これまでに国内および欧州で培った軽量化、高速化技術に、Class 800/801向けに開発した先進技術を加え、今後も欧州の鉄道システムに適したより快適で魅力ある車両を開発し、メンテナンスを含めて提供していく考えである。

参考文献

- 1) イノベティブエクスプレス—英国・都市間高速鉄道計画一、日立評論、95、1、6～15 (2013.1)
- 2) 岩崎、外：最新のA-train技術とGlobal A-trainの開発、日立評論、94、6、436～437 (2012.6)
- 3) 山田、外：最近の鉄道車両“A-train”、日立評論、85、8、545～548 (2003.8)
- 4) 用田、外：英国High Speed 1 向け高速車両Class 395の開発とメンテナンスサービス、日立評論、92、2、180～181 (2010.2)
- 5) Keith、外：欧州における鉄道事業展開と研究開発、日立評論、94、8、570～573 (2012.8)
- 6) 川崎、外：欧州鉄道向け車両技術、日立評論、89、11、872～875 (2007.11)

執筆者紹介



岩崎 充雄

日立製作所 交通システム社 笠戸事業所 笠戸交通システム本部 IEP 統括プロジェクト 所属
現在、輸出車両の設計取りまとめ業務に従事



稲荷田 聡

日立製作所 交通システム社 水戸交通システム本部 車両電気システム設計部 所属
現在、海外案件を中心に車上電気システムの取りまとめ業務に従事
博士(工学)
電気学会会員、IET (The Institution of Engineering and Technology) 会員



我妻 浩二

日立レールヨーロッパ社 所属
現在、海外向け鉄道車両プロジェクトの推進業務に従事



Andrew Rogers

日立レールヨーロッパ社 所属
現在、IEPプロジェクトの取りまとめ業務に従事
BEng, MBA (Master of Business Administration)



Chris Robinson

日立レールヨーロッパ社 所属
現在、IEPプロジェクトの推進業務に従事
IEng (Incorporated Engineer)
IET会員、IMechE (Institution of Mechanical Engineers) 会員



山本 隆久

日立製作所 交通システム社 笠戸事業所 笠戸交通システム本部 IEP 統括プロジェクト 所属
現在、欧州向け鉄道車両の設計に従事



小西 健太

日立製作所 交通システム社 笠戸事業所 笠戸交通システム本部 IEP 統括プロジェクト 所属
現在、欧州向け鉄道車両の設計に従事



用田 敏彦

日立製作所 交通システム社 笠戸事業所 笠戸交通システム本部 IEP 統括プロジェクト 所属
現在、欧州向け鉄道車両の設計に従事
PE (USA)
日本機械学会会員