feature article

英国High Speed 1向け高速車両Class395の開発とメンテナンスサービス

High Speed Railway Vehicle Class395 for UK High Speed 1 and its Maintenance

用田 敏彦 Toshihiko Mochida
山本 直諒 Naoaki Yamamoto
合田 憲次郎 Kenjiro Goda
松下 崇 Takashi Matsushita
亀井 貴志 Takashi Kamei

日立製作所は，英国初の高速専用線であるHigh Speed 1と英国在来線との双方を直通走行可能な交直両用の高速車両Class395を29編成174両納入した。この車両は，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。また，英国での走行試験による信頼性，快適性の確認と，納入後のメンテナンスサービスも日立グループが担当している。2009年12月から正式な営業運転を開始し，イングランド南東部の地域輸送高速化に貢献しており，2012年のロンドンオリンピックでは観客の会場間輸送での活躍が期待されている。

1. はじめに

ロンドンと英仏海峡トンネルを結ぶ全長109 kmの高速新線High Speed 1〔全線開業前は英仏海峡トンネル連絡線CTRL（Channel Tunnel Rail Link）と呼称。以下，HS1と記す。〕は，英国初の高速列車専用線として1998年から建設が進められ2007年に全線開業した。これにより，それまで英国内で在来線を走行していた国際高速列車ユーロスターの運行時間は，この区間で40分短縮されている。日立製作所は，この新線をさらに有効活用するとともに，沿線の地域輸送サービス（Domestic Service）を向上するプロジェクト向けに，HS1および在来線の双方を走行可能な新形式高速車両Class395を納入した（**図1**参照）。

英国顧客との契約にはメンテナンスサービスが含まれており，車両の設計段階から，メンテナンス性およびLCC（Life Cycle Cost）を考慮しつつ，顧客要求，現地規格に適合した車両とすることが重要であった。

ここでは，英国HS1向け高速車両Class395の概要と特徴技術，および，この車両向けに新設された車両基地でのメンテナンスサービスについて述べる。

2. Class395の概要

2.1 デザイン

先頭形状は滑らかで空気抵抗の少ない「ワンモーションフォルム」とすることで，高速車両にふさわしい理想的な

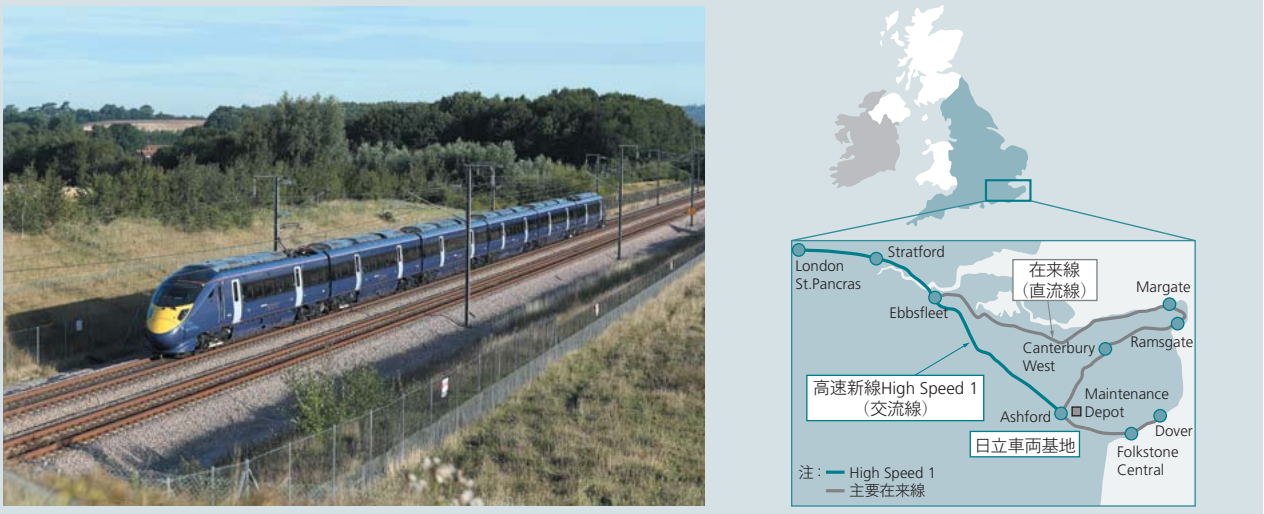


図1 英国High Speed 1向け高速車両Class395と路線略図
日立製作所は，日本で培った「A-train」のコンセプトを基に，英国のロンドンとドーバー海峡を結ぶ高速新線High Speed1と在来線の双方を直通走行可能な高速車両を開発して納入した。2009年12月から正式な営業運転を開始し，イングランド南東部の地域輸送高速化に貢献している。

(a)出入り口エリア(先頭車)　(b)客室一般部(中間車)

(c)運転台　(d)台車

図2　車両の客室内，運転台，台車の外観

出入り口エリアは客室との仕切りがないオープンタイプとし(a)，腰掛けは2人掛けを基本としている(b)。運転台は，事前に操作性や視認性について運転士の評価を受け，設計に反映している(c)。台車は，高速新線における走行安定性および在来線での曲線通過性能を考慮した設計としている(d)。

先頭イメージを創出するとともに，走行抵抗および騒音の低減を実現している。外装は車両運行会社指定のもので，ダークブルーをベースとし，先頭の前面部分は識別しやすいように黄色としている(**図1**参照)。

インテリアは，側壁･天井とも白を基調とした。通路幅，照明，室内機器配置は，英国RVAR(Rail Vehicle Accessibility Regulations)に準拠したユニバーサルデザインとしている。腰掛けは一般部の2人掛けを基本とし，先頭車に設けた車いすスペース部に1人掛け跳ね上げ腰掛けを配置している。出入り口エリアは客室との仕切りがないオープンタイプとし，風よけとなるドラフトスクリーンを設けている(**図2**参照)。

2.2　基本仕様

主要諸元を**表1**に，車両の編成図を**図3**にそれぞれ示す。

編成は1編成6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，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分割・併合することがあるため，自動連結器は1分以内での連結，解放を可能とした。

車体はアルミニウム合金製とし，側・屋根・床は押出し薄肉形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:摩擦かくはん接合)を採用し，軽量かつ高強度で，ひずみの少ない外観を実現している[1)]。また，200 km/hを超える速度で運用されることから，気密構造を採用している。

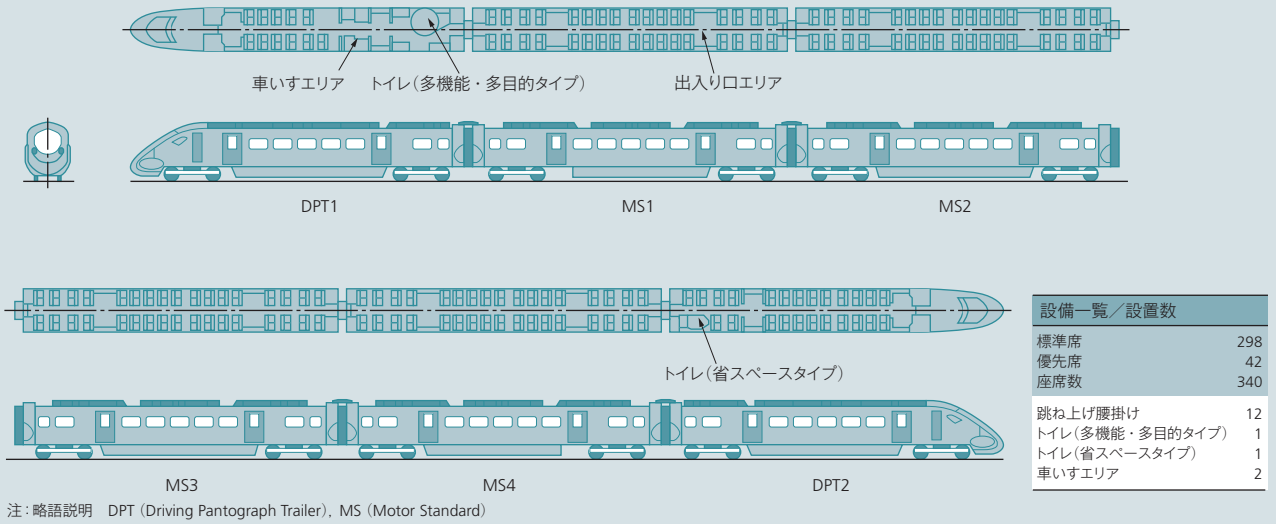
台車はボルスタレス式であり，高速新線における走行安定性および在来線での曲線通過性能を考慮した設計とするとともに，メンテナンス性を考慮して，動台車および従台

表1　車両の主要諸元

Class395の主要諸元を示す。

項　目	主要諸元
車　種	英国 Class395
編　成	6両(DPT1+MS1+MS2+MS3+MS4+DPT2)
座席定員	標準席298人，優先席42人
電気方式	AC25 kV，DC750 V
軌道間	1,435 mm
最高運転速度	225 km/h(交流架線)，160 km/h(直流第三軌条)
加速度	0.70 m/s^2
減速度	常用0.90 m/s^2，非常時1.20 m/s^2
こう配条件	最大25‰
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+ブレーキチョッパ×4台／編成
主電動機	210 kW連続×16台／編成
補助電源装置	110 kVA×3台／編成(AC 3相400 V+DC110 V)
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	ヒータ暖房型冷暖房機(換気ファン内蔵)

注:略語説明　D(運転台)，P(パンタグラフ)，T(付随車)，M(電動車)，S(普通車)，IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)，AC(Alternating Current)，DC(Direct Current)



注:略語説明　DPT(Driving Pantograph Trailer)，MS(Motor Standard)

図3　編成図

6両固定編成で，編成長は約122 mである。両先頭車には開閉カバー付きの自動連結器を装備し，最大2編成を連結した12両で営業運転する。

車構造は可能な限り共通化を図った。

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，衝突シミュレーションにより最適化したクラッシュパッドも設置している。事前にモックアップを製作し，スイッチ類の操作性や視認性について，運転士による評価を受け，設計に反映した。

3. Class395の特徴技術

Class395は，英国顧客からの要求はもちろん，現地の規格，運用，インフラなどの鉄道システムに合わせた車両とすることが重要な課題であった。そのため，日本向けの設計を適用できない個所が多くあった。そこで，Class395向けに新たに開発した技術や検証した項目の代表例について以下に述べる。

3.1 安全で快適な車内環境の創出

衝突，強度，耐火，騒音などの分野では，日本と規格の内容が大きく異なっている[2]。

例えば，鉄道車両が万一衝突した際，乗員や乗客の安全を確保するための衝突安全性が，欧州では社会的により強く求められてきた。このため，Class395の先頭および全車の車端構造は，RGS（Railway Group Standard：英国鉄道規格），TSI（Technical Specifications for Interoperability）に規定された要求を満足する衝撃吸収構造となっている。万一の衝突事故の際には，衝撃吸収構造が圧壊変形することによりエネルギーを吸収し，客室および運転室空間は変形することなく乗客および乗務員の生存空間を確保する設計思想に基づいたものである[3]。また，運転台，腰掛け，テーブルなどのインテリアについても，RGSやATOC（Association of Train Operating Companies）で規定された衝突安全性に準拠した設計となっている。

車両の火災対策についても，BS（British Standard：英国規格），RGS，ATOCと，複数の規格で耐火基準が定められている。車両に使用される非金属材料は，一部の例外を除いてすべてBSに基づいた耐難燃性が要求され，Class395では，これらの規格を十分に考慮した内装材を選定した。また，床構造はカーペット，床板，台枠を含めた構造で，車端部においても，断熱材，貫通ドアを含めた構造全体で耐火性能を保持するよう設計した。

このようなClass395の構造は，詳細な数値解析や要素試験による評価[4]に加え，**図4**に示す代表例のように実物大の供試体を用いた圧壊試験，インテリアクラッシュ試験，荷重試験，耐火試験など種々の試験により性能を確認している。さらに，英国認証機関による審査を受け，規格適合の承認を得ている。

3.2 英国鉄道インフラへの適応

(1) ゲージング（車両限界）

英国の在来線区間には，新車に適用できる静的車両限界が存在せず，新車導入の際，車両メーカー側が地上施設との空隙（げき）を考慮して車両のサイズを決め，型式認証取得の一部として車両が地上施設と干渉しないことを立証する必要があった。そこで，車両の動揺を動的解析で算出して，地上施設の実測データと照合し，必要な空隙を確保するように車両のサイズ，台車ばね系を設計した。

(2) 車両ダイナミクス

Class395は日本で言う新在直通車両であり，高速区間を最高速度225 km/hで安定に走行しつつ，在来線区間の急曲線を安全にスムースに通過することが要求される。この課題に対し，**図5**に示すダイナミクスシミュレータを活用し，高速走行安定性，乗り心地，曲線通過性能を両立する台車のサスペンションの最適化を行った。さらに，英国では英国独自の規格に適合するために，**図6**（a）に示す特

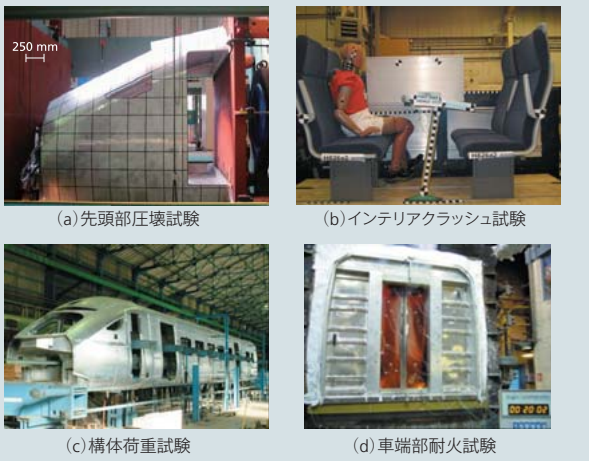


図4 試験による性能検証
実物大供試体試験により，規格への適合と数値解析の妥当性を検証した。

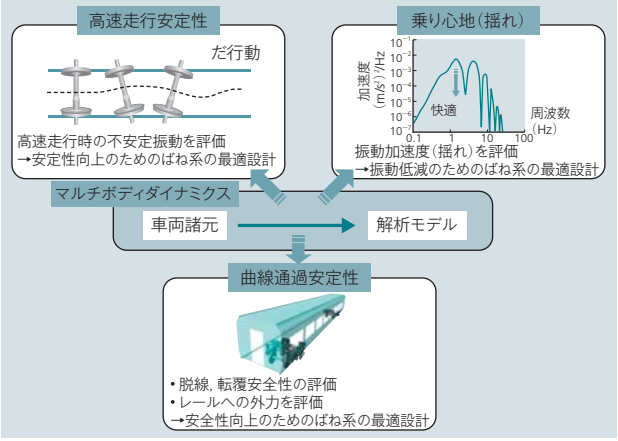
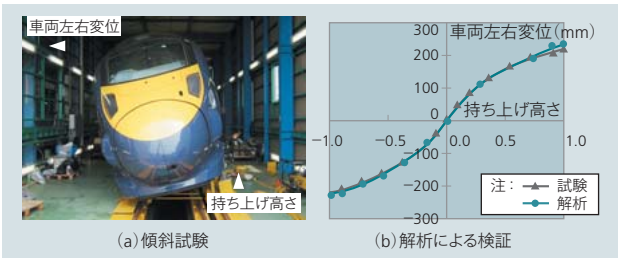


図5 ダイナミクスシミュレータ
鉄道車両の運動・挙動を解析することにより，安全性，乗り心地を予測／評価可能なシミュレーション技術である。



（a）傾斜試験　（b）解析による検証

図6　英国特殊傾斜定置試験対応の解析

試験での大変形・非線形状態を解析により模擬しており，解析結果は試験結果とよく一致している。

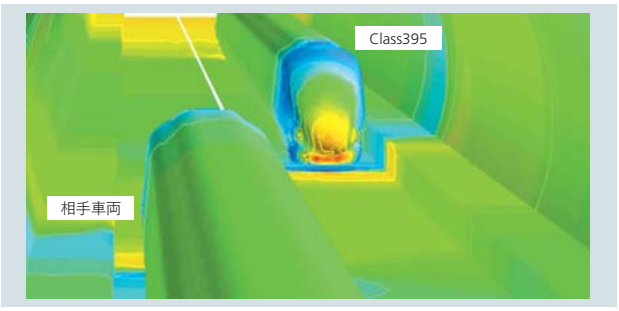


図7　トンネル内における車両のすれ違い解析

高速車両のすれ違い時における圧力変動を，スーパーコンピュータを用いて精度よく解析することが可能である。

殊な傾斜定置試験を実施し，車両変位の解析検証をする必要がある。**図6**（b）に示すように大変形状態での試験と解析結果はよく一致しており，解析による車両変位の予測精度が十分に高いことがわかる[5]。

（3）トンネル内圧力変動

英国をはじめとする欧州では，トンネル走行時における車内外の圧力変動を規定値10 kPa以下に抑えなければならない。これは，トンネル壁面にかかる圧力変動を抑えることにより，トンネル壁への影響を最小限に抑えるとともに，乗客の快適性に配慮するためである。このようなトンネル内の圧力変動について，数値流体解析[6]を用いて検証した。

トンネル内の圧力変動としては，一般的にすれ違い時に大きくなることが知られている。このようなトンネル内部における車両どうしのすれ違いを，三次元モデルを用いて解析した結果を**図7**に示す。この解析結果からトンネル内部の圧力変動を計測し，規定値以下となっていることが確認できる。実際には，トンネルや相手となる車両の断面積や形状によってこの値が変化する。そこで，効率よく評価するため一次元特性曲線法によりHS1にあるすべてのトンネルについて検証し，最も厳しい条件について三次元モデルを用いた数値流体解析を適用し，規定値以下であることを確認した。

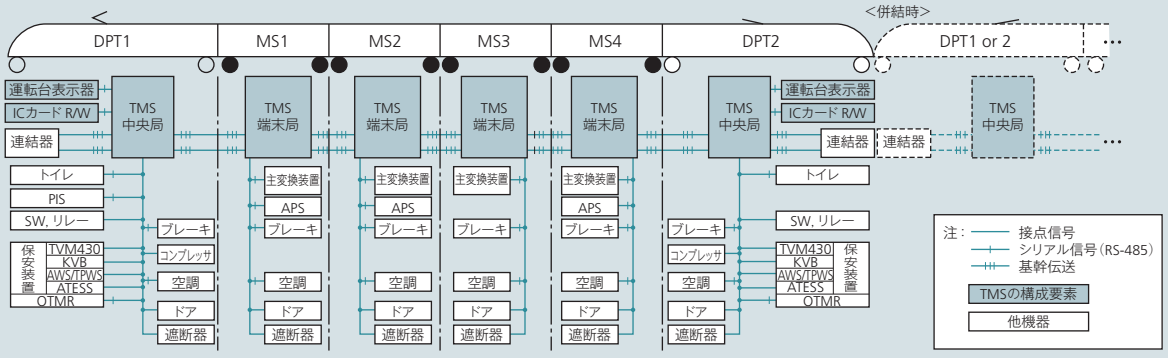
3.3　英国独特の運用に適応した列車運行制御

（1）TMSの概要

TMS（Train Management System）は，車両間の基幹伝送および対機器伝送を通じて情報の授受を行うことにより，各機器の状態表示や制御，自己診断など，乗務員，保守員に必要な機能を提供する装置である。

Class395向けTMSでは，フェイルセーフ2重系基幹伝送を有する標準ATI-C[7]（Autonomous Decentralized Train Integration System with Control Command Transmission）をベースとして開発し，SDO（Selective Door Opening）機能の信頼性を向上させることで，IEC61508規格で規定されている安全性水準のSIL2（Safety Integrity Level）を取得した。

Class395向けTMSのシステム構成を**図8**に示す。先頭車に中央局，中間車に端末局をそれぞれ配置し，これらの間は伝送速度3.2Mビット/s，2重系ラダー方式の基幹伝送路によって接続している。マスタコントローラなどのスイッチ類や電源などの状態を取り込むDI（Digital Input），SDO機能のドア開許可信号などを出力するDO（Digital Output）を備えているほか，主要な機器とはシリアル伝送によって機器状態の監視や，補機制御のための通信を行う。また，運転台にはこれらの状態表示や指令入力が行えるタッチパネル付きLCD（Liquid Crystal Display）を有する。



注：略語説明　IC（Integrated Circuit），R（Reader），W（Writer），TMS（Train Management System），PIS（Passenger Information System），SW（Switch），OTMR（On Train Monitoring Recorder），APS（Auxiliary Power Supply）

図8　TMS装置のシステム構成図

Class395向けTMSのシステム構成を示す。

(2) SDO機能

一般的な英国の車両では，乗務員がドアのロックを解除する「リリース操作」を行った後，個別のドアに付いている開閉ボタンを乗客が操作してドアを開閉するものが多い。また，停車駅のプラットホーム長が車両長よりも短い駅での運用が日常的に行われており，全ドアをリリース状態にすると，乗客が誤ってプラットホームのない個所のドアを開けてしまい車上から転落する可能性があるので，各停車駅のプラットホーム長に応じて開けてもよいドアを選択することが必要である。英国では乗務員に判断を伴う操作をできるだけ行わせないことが要求されているため，停車駅に応じて開けてもよいドアを自動的に選択するSDO機能が必要となる。

SDO機能は停車駅の認識に基づいてリリースを許可するドアを決定するため，停車駅の認識機能がきわめて重要である。既存車のSDO機能はGPS（Global Positioning System）を用いて駅を認識しているが，屋根がある駅などGPSの受信ができない場合は，SDO機能が正常に動作しないという問題があった。そこで，Class395向けのSDO機能では，GPSから検知する駅と独立に，速度から求めた位置情報から停車駅を検知し，二つの駅認識結果を比較して駅認識を行う手法を採用した。ドアリリース許可制御はこの駅認識と走行路線などの情報に基づいて行われる。代表的な4パターンのドアリリース許可制御について以下に示す。

(1) HS1を走行中の場合

高速路線であるHS1上の全駅は，プラットホーム長が車両併結時の最大車両数である12両よりも長いことが保証されているため，駅認識を行わずに停車時は全ドアのリリースを許可する。ドアがリリースされた際は，運転台表示器に駅確定画面が表示され，乗務員は現在駅と各ドアのロック／リリースの状態が確認できる（**図9**参照）。

(2) 認識駅の比較結果が一致の場合

在来線を走行時，GPSに基づく駅認識と走行距離に基づく駅認識が一致した場合，両者が認識した駅を停車駅として決定し，ドアリリース許可制御を行う。

(3) 認識駅の比較結果が不一致の場合

在来線走行時，GPSが受信できない，走行ルートが未設定などの原因で，GPSに基づく駅認識と走行距離に基づく駅認識が不一致となった場合，後者認識に基づく停車駅候補を画面表示して，乗務員に停車駅の確認を行い，乗務員の確認結果に基づいてドアリリース制御を行う。

(4) 駅認識が不能な場合

在来線走行時，GPSが受信できず，かつ走行ルートが未設定などの条件が同時に起こると，TMSが駅認識をするための情報がまったくない状態になるため，ドアリリース許可制御ができなくなる。このような場合には，乗務員に対して全駅のリストが記載された画面を表示し，乗務員が停車駅を設定することで駅を認識し，ドアリリース許可制御を行う。

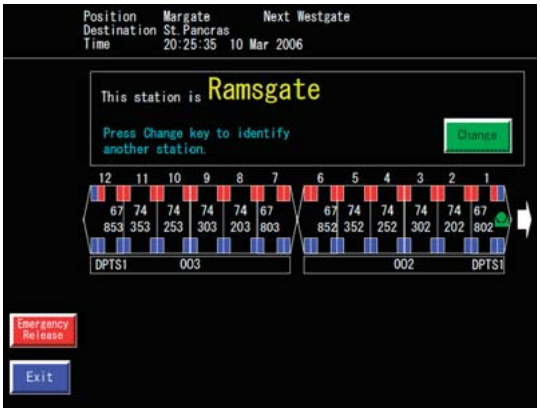


図9 停車駅確定画面
運転台表示器に停車駅確定画面が表示される。

4. メンテナンス

4.1 メンテナビリティの検討

この案件は，メンテナンスまでを含めた受注であり，設計検討当初からメンテナンスを配慮した設計が要求された。

日立グループ内にはこれまで車両メンテナンスの経験がないため，国内鉄道運行会社に出向いてメンテナンス技術の知見習得に努め，その結果を設計要求書としてまとめ，設計者に対するメンテナビリティの指針とした。そして，この要求書を順守する形で設計が進められた。

4.2 車両基地の建設

車両の設計・製造と平行し，車両基地の設計・建設も進められ，国内鉄道運行会社の協力をいただき，車両基地の設立に必要なノウハウの習得，具体的な基地設計への反映を行った。基地建設に際しては以下を考慮した。

(1) Class395に特化したレイアウト

(2) 作業動線の最適化検討

(3) スムースな入れ替えに適した線路配置

(4) 省人化の推進

(5) 情報技術を駆使したデータ管理方法の確立

車両基地のレイアウト図を**図10**に示す。まずAから電車が入場し，ここでは自動測定装置によるブレーキパッドなどの消耗品の状態測定が行われる。この情報はネットワークを介して基地管理システムに記録され，メンテナンス作業に活用される。この後，車両は留置線Bに留置されるが，検修庫Cへは，スイッチバックの必要がなく移動可能な線路レイアウトとした。検修庫Cは要求される各

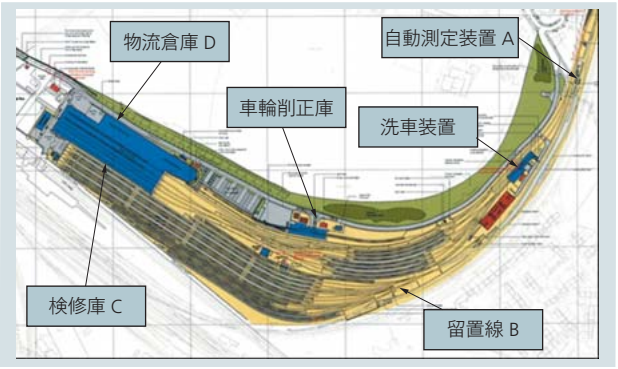


図10　アシュフォード車両基地レイアウト
Class395の保守に特化した車両基地のレイアウトを示す。

検査・修繕の作業がすべて可能となる設計としている。検修庫Cの横には物流倉庫Dを設け，動線を最適化して物品の移動の便宜が図られている。また，各検修線にはフォークリフト荷役が可能な線路間隔を確保している。

4.3　メンテナンス計画

英国における車両メンテナンスは，日本と異なり，法的に明確に定められた基準はなく，各電車に適したメンテナンス計画を提案し，関係審査機関からの承認を得るという方法が採られている。

Class395は，最高速度225 km/hの高速車両であり，日本の新幹線のメンテナンスに基づいて計画を策定した。Class395のメンテナンス周期とその概要を**表2**に示す。

4.4　メンテナンスの現状

2009年12月から正式な営業運転を開始しており，計画に従い車両を整備して運行会社に日々送り出している。オーバーホールについては2010年から開始予定であり，1回目のオーバーホールを無事に完遂すべく，現在詳細の検討を進めている。

表2　Class395のメンテナンス周期と概要
検査種別とそれぞれの検査内容を示す。

検査種別	検査の内容
出庫検査	出庫前に取り扱いに支障がないかを検査する。
7日検査	床下，屋根上，運転台を中心に目視にて異常がないか検査する。ブレーキ，ドアは動作チェックを行う。
28日検査	床下，屋根上，ドアなどを中心に検査，内部検査，動作チェックも行う。フィルタの清掃，消耗部品の交換も必要に応じて行う。
56日検査	基本的には28日検査と同等であるが，長い周期の部品が検査に追加され，規模が大がかりとなる。パンタグラフ動作チェックもこの検査で行う。
168日検査	56日検査に加え，保安装置の動作チェックなどを行う。
336日検査	すべての部品の検査を行う。作動油の交換も行う。
セミオーバーホール	台車を中心にした検査であり，台車は取り外し，専用工場で分解検査を行う。
オーバーホール	台車ほか，主要機器を分解して検査・修繕を行う。各機器の検査・修繕は専用工場で行う。

5.　おわりに

ここでは，日本の車両メーカーとして欧州における初の高速車両の納入事例となる英国HS1向け高速車両Class395の概要と特徴技術，および，そのメンテナンスについて述べた。

Class395は，計画どおり2009年12月に営業運転を開始し，イングランド南東部の地域輸送高速化に貢献している。また，乗り心地やデザインについても，高い評価を得ている。

日立グループは，これまでに培った軽量化，高速化技術に，Class395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合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）　山田，外：最近の鉄道車両 “A-train”，日立評論，**85**，8，545～548（2003.8）
2）　川崎，外：欧州鉄道向け車両技術，日立評論，**89**，11，872～875（2007.11）
3）　T. Mochida, et al.：Development of Crashworthy Structure Composed of Aluminium Alloys for High-speed Railway Vehicle，WCRR2008（2008）
4）　合田，外：車両分野におけるシミュレーション技術，日立評論，**90**，11，914～919（2008.11）
5）　干鯛，外：英国向け高速鉄道車両の定置試験，JRAIL2007（2007.12）
6）　阿部，外：圧縮性流体解析を用いたトンネル微気圧波解析，日本機械学会年次大会講演論文集 2009（2），S0503-3-2，157～158（2009）
7）　小岩，外：地上と車上をネットワークでシームレスに接続する新しいソリューション “B-system”，日立評論，**87**，9，711～714（2005.9）

執筆者紹介

用田 敏彦
1999年日立製作所入社，社会・産業インフラシステム社 交通システム事業部 笠戸交通システム本部 車両システム設計部 所属
現在，欧州向け鉄道車両の設計に従事
日本機械学会会員

山本 直諒
2007年日立製作所入社，社会・産業インフラシステム社 交通システム事業部 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，鉄道車両用の情報制御装置設計に従事

合田 憲次郎
1995年日立製作所入社，機械研究所 車両システム研究部 所属
現在，鉄道車両の台車開発に従事
日本機械学会会員

松下 崇
1997年日立製作所入社，Hitachi Rail Europe Ltd. 所属
現在，鉄道車両のメンテナンス業務に従事

亀井 貴志
1993年日立製作所入社，社会・産業インフラシステム社　IEP推進本部 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