

# 欧州鉄道向け車両技術

Technology on Railway Vehicles for Europe

川崎 健 Takeshi Kawasaki

用田 敏彦 Toshihiko Mochida

山口 貴史 Takashi Yamaguchi



図1 欧州向け高速車両(英国Class395形式車両)

日立製作所は、日本で培った軽量化、高速化の技術と「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海峡連絡線用の高速車両を開発し納入した。今後も、欧州のニーズを踏まえた鉄道車両を開発する。

日立製作所は、英国向けの高速度車両174両を受注した。日本で培った技術を欧州のシステムに適應させるためには、顧客要求のほか、現地規格への対応が重要になる。そこで、この車両の開発にあたって課題となった規格を日本と比較して紹介すると同時に、規格への適用例として衝突時の安全性の確保に関する取り組みについて紹介する。英国を高速度で走行する車両は、英国と欧州の規格双方を満足させる必要がある。そこで、実物大試験片を用いた圧壊試験とシミュレーション技術を駆使し、規格を満足する構造を開発した。

## 1.はじめに

日立製作所は、英国ロンドンとドーバー海峡トンネルを結ぶ海峡連絡線(CTRL:Channel Tunnel Rail Link)を最高速度225 km/hで走行する高速車両Class395形式車両を174両受

注した。これは、日本の車両メーカーとして英国を含めた欧州における高速車両の初めての受注となる。この車両は、2012年に開催されるロンドンオリンピックに向けて高規格化工事が進められている路線を2009年から走行する。2007年8月にはプロトタイプ車両1編成6両がすでに英国に到着しており、10月より走行試験を開始している(図1参照)。

Class395形式車両は、「A-train」のコンセプト<sup>1)</sup>を基に、日本で培った軽量化、高速化技術を英国の鉄道システムに適應させた。このため、英国顧客の要求に応じたレイアウトを提供することはもちろん、現地の規格に合わせた構造とすることが重要な課題であった。

ここでは、日立製作所における欧州鉄道向け車両技術として、Class395形式車両の開発で課題となった国際規格と、衝突安全性への対応について述べる。

## 2. 規格への対応

英国を走行するClass395形式車両が満足すべき規格として、英国および欧州によって制定された規格がある。日本と比較して大きく内容が異なる規格のうち、主なものの幾つかを表1に示す。主な規格として、英国におけるRGS( Railway Group Standards )<sup>1)</sup>、欧州におけるTSI( Technical Specification for Interoperability )<sup>2)</sup>を挙げることができる。TSIとRGSはおのおの独立した鉄道に関する規格であり、前者は欧州指令、後者はRSSB( Rail Safety and Standards Board )<sup>3)</sup>により制定される。RGSは英国で従来から定められていた鉄道システムを網羅する規格である。また、TSIは域内の国々に開かれた鉄道システムとするために、各国間の相互乗り入れを前提とした規格である。すなわち、各国と欧州の両規格を満足することにより、従来規格との整合性と欧州域内での汎用性の双方を確保していることになる。

### 2.1 衝突特性

欧州では、鉄道車両が万が一衝突した際、乗員や乗客の安全を確保するための衝突安全性が社会的に強く求められてきた。このため衝突安全性に関する研究は古くから実施されており、英国では10年以上前にはすでに衝突安全性に関する規格が制定されている。

### 2.2 荷重条件

JIS( Japanese Industrial Standards )では通常運用時に構体に作用する荷重の条件として3条件が規定されているが、RGSでは21条件となっている。また、RGSの荷重条件はJISと同等かそれ以上に厳しい内容が規定されている。

### 2.3 材料強度

JISでは静的強度が規定されているが、疲労強度は定めら

表1 英国および欧州における鉄道車両の規格

英国および欧州では、複数の規格によって細かく内容が規定されている。

	英国	欧州	日本
衝突	RGS, ATOC	TSI (EU指令)	なし
構体 作用荷重	RGS	EN	JIS
材料強度	BS	EN( BS )	JIS
空気力学	RGS	TSI (EU指令)	なし (顧客仕様書)
騒音	RGS	TSI (EU指令)	環境庁告示
耐火	BS, RGS, ATOC	なし	国土交通省令

注:略語説明 RGS( Railway Group Standards )  
 ATOC( Association of Train Operating Companies )  
 TSI( Technical Specification for Interoperability )  
 JIS( Japanese Industrial Standards ), BS( British Standards )  
 EN( European Norm ), EU( European Union )

れていない。BS( British Standards )では静的強度、疲労強度ともに規定されている。なお、今回のClass395形式車両の開発にあたっては、静的強度はJISを、疲労強度はBSの評価方法を適用した。

### 2.4 空気力学

RGSでは、列車走行時に発生する圧力パルスの上限值が規定されている。また、TSIではトンネル通過時の圧力変化に関する規格が定められている。日本では規格は存在しないが顧客仕様書に定められている。

### 2.5 車外騒音

日本では、走行時の車外騒音に関し、環境庁告示により新幹線に関する環境基準が定められている。欧州では、2002年に制定された欧州の環境騒音指令に基づき、鉄道のTSI規格にも騒音規制値が盛り込まれ、現在、英国を含む各国で国内規制の見直しが行われている。

### 2.6 耐火

日本では、国土交通省令として車両の火災対策に関する内容が規定されている。英国ではBS, RGS, ATOC( Association of Train Operating Companies )の複数の規格で耐火基準が定められている。

## 3. 衝突安全性

前述した規格のうち、衝突安全性は、乗員乗客の安全を確保するうえで重要であるにもかかわらず、日本と英国では状況がまったく異なる。そこで、規格への対応技術の代表例として、衝突安全性の確保に対する取り組みを以下に述べる。

### 3.1 規格

規格の詳細を図2に示す。英国の規格RGSは車両単体に着目し、1 m以内の構造で1 MJ以上のエネルギーを吸収し、圧壊時に生じる荷重が3,000 kN以下となるように規定している。また、衝突モードは、運転台では正面衝突と乗り上げ衝突、中間連結面では正面衝突を規定している。一方、欧州指令に基づく欧州鉄道規格TSIはRGSとは対照的に編成車両全体での挙動に着目し、衝突時の最大加速度を5 g( gravity )と定めている。衝突モードは、同一編成車両どうしの相対速度36 km/hでの正面衝突( 上下オフセット40 mm )、バッファ付き貨車との36 km/hでの衝突、ローリーとの110 km/hでの衝突の3種類である。

### 3.2 車体構造のコンセプト

衝突時の安全性を確保するためには、乗員乗客が搭乗す

対象	衝突モード	エネルギー吸収量	ピーク荷重	許容長	シナリオ	衝突モード	加速度	その他	
運転台	正面衝突	1.0 MJ 以上	3,000 kN 以下	1.0 m 以下	1	18 km/h	7.5 g 以下	運転手の生存空間確保	
	乗り上げ	0.5 MJ 以上				18 km/h			
中間	正面衝突	1.0 MJ 以上	36 km/h						
(a)RGS					(b)TSI				

図2 衝突安全性の規格  
英国独自の規格であるRGS (a)と欧州の規格であるTSI (b) 双方によって衝突安全性を十分に確保している。

る部分の変形を抑え、衝突時に車両自体が持つ運動エネルギーを吸収して車体に作用する加速度をできるだけ小さくする必要があります。このため、今回開発した衝突安全構造では、車体を客室部分とエネルギーを吸収する部分にモジュール化することによって安全性を確保した。まず、客室部分はアルミ合金中空押し出し材で構成し、FSW Friction Stir Welding: 摩擦かくはん接合を用いた低入熱接合により、十分堅牢(ろうな構造とした<sup>4)</sup>。一方、乗員乗客が搭乗しない部分は衝突エネルギーを吸収する構造(以下、衝突緩和構造と言う。)とし、衝突時に部材を塑性変形させることによって運動エネルギーを吸収することとした。これにより、衝撃時に乗員乗客に

作用する加速度を可能なかぎり小さくした。

### 3.3 衝突緩和構造の概要

図2に示した規格を満足するためには、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必要があります。これに加え、高速走行に伴って、軽量化やトンネル通過時の圧力変動に対応しなければならない。

エネルギーの吸収に関しては、小型軽量でエネルギーを効率よく吸収できるエネルギー吸収材を開発した。開発したエネルギー吸収材の圧壊挙動を図3に示す。圧壊が進むとともに規則正しいきれいな座屈しわが生じており、エネルギーを吸収していることがわかる。また、シミュレーション結果も同様の挙動をうまく表現できていることから、予測精度は十分に高いことがわかる。

さらに、他の条件も満足するために、衝突緩和構造はA-trainのコンセプトを生かしたアルミ合金により構成した。コンピュータシミュレーションを基に、軽量化、衝突特性、強度のすべてを満足する構造とした。

衝突緩和構造は安全性に直結する重要な部品なので、RGSに関しては実物による圧壊試験を実施して特性を確認する。一方、TSIに関しては実物車両による確認は困難であるので、シミュレーションによって挙動を把握した。

### 3.4 衝突時の挙動

英国規格RGSおよび欧州規格TSI双方を満足した衝突緩和構造の変形の状況を以下に示す。

先頭の衝突緩和構造、および、この構造を対象にしたRGS正面衝突に対する実構造を用いた圧壊実験とシミュレーション結果を図4に示す。変形は衝突緩和構造のみに限定されており、運転台などその他の部分は変形していないことがわかる。さらに、実験を模擬したシミュレーション結果は、変形モードと圧壊中の荷重をよく表しており、衝突時の挙動を十分な精度で予測できていることがわかる。圧壊中の荷重は規格で定められた3,000 kN以下であり、エネルギー吸収量は規格

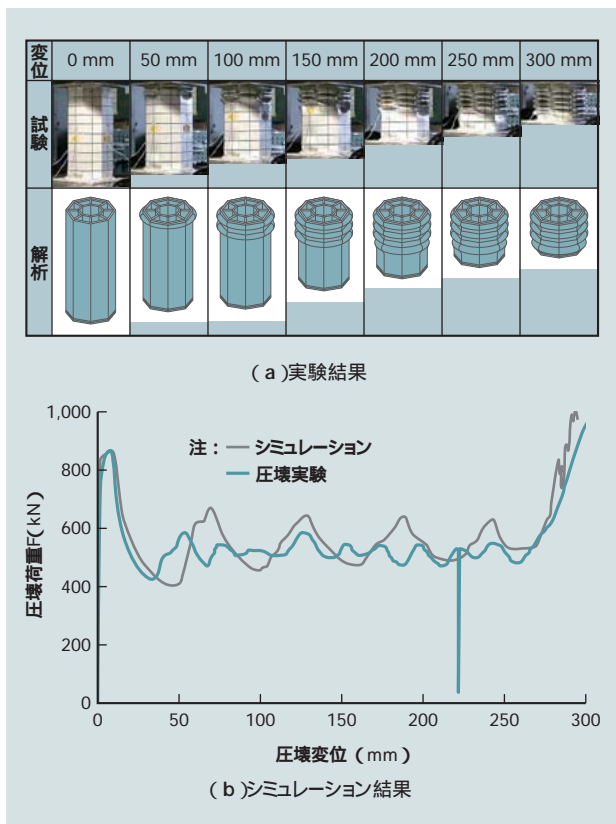


図3 エネルギー吸収材の圧壊挙動  
実験結果(a)とシミュレーション結果(b)を示す。きれいな座屈しわにより、エネルギーを吸収していることがわかる。また、圧壊時には安定的な荷重でエネルギーを吸収している。



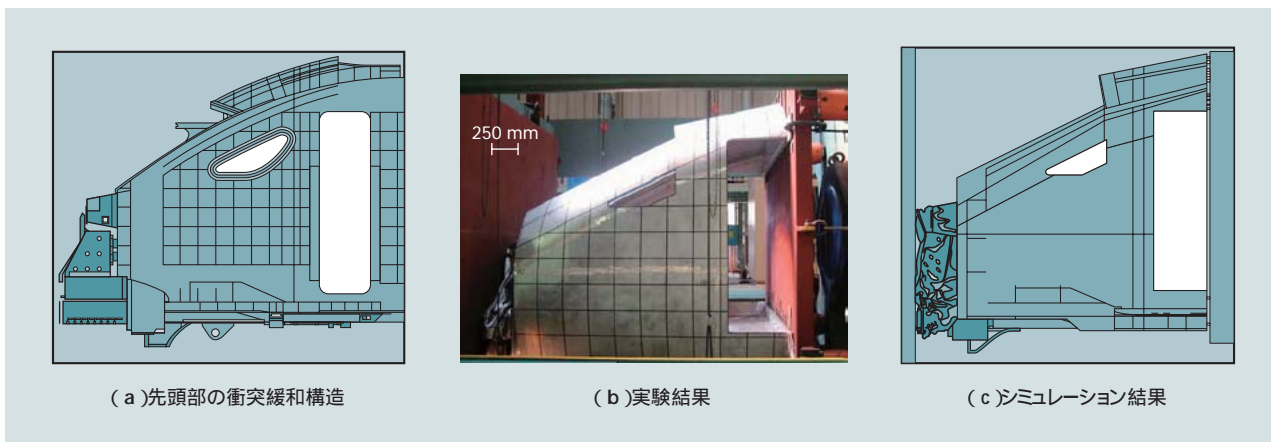


図4 RGS正面衝突条件下における先頭衝突緩和構造の変形

エネルギーを吸収する部材のみが変形していることがわかる。また、シミュレーションは実験結果とよく一致していることがわかる。

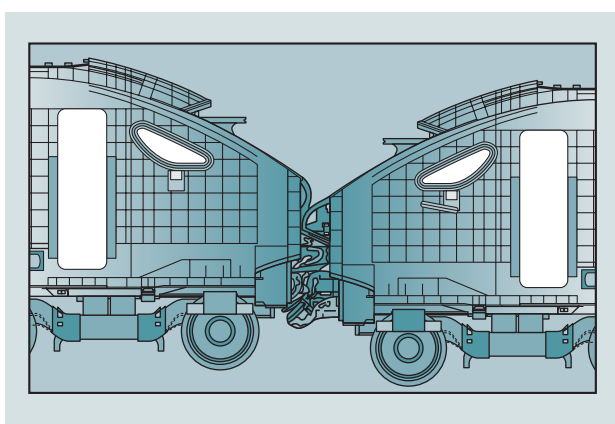


図5 TSIシナリオ1(正面衝突条件)における変形

衝突緩和構造のみが変形していることがわかる。また、運転手の生存空間が確保されている。

値1.0 MJを上回る1.1 MJを吸収している。

TSIの例として、編成車両同士の衝突を規定したシナリオ1における運転台部分の変形図を図5に示す。変形は編成中いずれの車両においても衝突緩和構造に限定されており、最も大きな変形が生じる運転台においても運転手の生存空間

は十分に確保されていることがわかる。これにより、客室部分は衝突時の変形から保護されている。また、この衝突時に生じる最も高い加速度は0.9 gであり、規格で定められた5 gを大幅に下回っている。

#### 4. おわりに

ここでは、欧州鉄道向け車両技術として、Class395形式車両を納入するにあたって課題となった国際規格への対応、特に衝突安全性の確保について述べた。

今後も、欧州の顧客仕様や規格に沿った車両を開発していく考えである。

#### 参考文献など

- 1) 山田, 外: 最近の鉄道車両“ A-train ”, 日立評論, 85, 8, 545 ~ 548 (2003.8)
- 2) RSSB(英国鉄道安全規格委員会), <http://www.rssb.co.uk/>
- 3) EU(欧州連合), [http://ec.europa.eu/transport/rail/legislation/interoperability\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/rail/legislation/interoperability_en.htm)
- 4) 川崎, 外: 中空押出形材で構成した鉄道車両構体に対するFriction Stir Weldingの適用, 日本機械学会論文集A編, 71, 701, 170 ~ 176(2005.1)

#### 執筆者紹介



**川崎 健**  
1994年日立製作所入社, 電機グループ 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, 海外向け鉄道車両の開発に従事  
工学博士  
日本機械学会会員



**用田 敏彦**  
1999年日立製作所入社, 電機グループ 交通システム事業部 笠戸交通システム本部 CTRLプロジェクト室 所属  
現在, CTRL向け鉄道車両の設計に従事  
日本機械学会会員



**山口 貴史**  
1987年日立製作所入社, 機械研究所 第三部 所属  
現在, 海外向け衝突緩和構造の開発に従事  
工学博士  
日本機械学会会員