

総合車両製作所技報

J-TREC TECHNICAL REVIEW

Vol.6 2017.12

◆巻頭言◆

「技術の伝統」

◆特集寄稿◆

- ・フルフラット構造 sustina の技術 —京王電鉄 5000 系で量産化—
- ・ステンレス車両技術の系譜 —PioneerZephyr から sustina まで—
- ・ステンレス車体の溶接技術史
—抵抗スポット溶接の技術導入から世界初のレーザ溶接車体の開発まで—
- ・通勤近郊車両におけるユニバーサルデザイン (UD) 車内設備の開発史
—UD 手すり・UD 吊手・UD スペース—
- ・事故に学ぶ静止輪重管理方法の開発
- ・事故に学ぶ脱線検知装置の開発史

◆座談会◆

- ・鉄道コンテナ技術の源流をたずねて
—鉄道コンテナ誕生から PANORAMA BOX まで—
- ・PANORAMA BOX (鉄道輸送用 31ft 級三方開き有蓋コンテナ)

◆論文◆

- ・動的限界性能検証に関する研究と車体傾斜試験
- ・LTE 応用低コスト車内ビジョン「Train Viewer⁺」の開発

◆解説◆

- ・ワイヤロープ式遠隔操作型ボールコック「Air Lead Type R」の開発



特集 創立5周年【J-TREC技術の源流をたずねて】

目次

◆巻頭言◆

「技術の伝統」…………… 3
＜常務取締役 生産本部長 前田秀幸＞

◆特集寄稿◆

- フルフラット構造sustinaの技術 –京王電鉄5000系で量産化–…………… 4
＜河村多計士, 浅賀哲也, 佐藤仁, 門脇文俊, 側垣正＞
- ステンレス車両技術の系譜 –PioneerZephyrからsustinaまで–…………… 8
＜松岡茂樹, 鈴木久郎＞
- ステンレス車体の溶接技術史
–抵抗スポット溶接の技術導入から世界初のレーザ溶接車体の開発まで–…………… 22
＜大塚陽介, 及川昌志, 側垣正, 大河原克美, 木村億尋＞
- 通勤近郊車両におけるユニバーサルデザイン (UD) 車内設備の開発史
–UD手すり・UD吊手・UDスペース–…………… 32
＜斉藤和彦, 松岡茂樹＞
- 事故に学ぶ静止輪重管理方法の開発…………… 40
＜堀越和義, 松岡茂樹＞
- 事故に学ぶ脱線検知装置の開発史…………… 48
＜長本昌樹, 松岡茂樹＞

◆座談会◆

- 鉄道コンテナ技術の源流をたずねて
–鉄道コンテナ誕生からPANORAMA BOXまで–…………… 54
＜森川忠男, 西村哲, 松岡茂樹, 鈴木久郎, 及川昌志, 伊藤千明＞
- PANORAMA BOX (鉄道輸送用31ft級三方開き有蓋コンテナ)…………… 62
＜岡成豊＞

一般

◆論文◆

動的限界性能検証に関する研究と車体傾斜試験	66
	＜市川聡＞
LTE応用低コスト車内ビジョン「Train Viewer ⁺ 」の開発	74
	＜大山寛人，長本昌樹，松岡茂樹＞

◆解説◆

ワイヤロープ式遠隔操作型ボールコック「Air Lead Type R」の開発	80
	＜今岡憲彦，川上清温＞

◆トピックス◆

構体の長尺部品製造における安全性向上とコスト低減に向けた取り組み	84
----------------------------------	----

◆製品紹介◆

JR東日本 クルーズトレイン E001形「TRAIN SUITE 四季島」	88
JR東日本 E235系量産車 一般形直流電車	94
泉北高速鉄道 12000系	100
東急電鉄 5000系6扉車置換え4扉車	106
線路モニタリング装置取付改造	110
分岐器用PCまくらぎ	112
あとがき	114
お問合せ先 本社，事業所，事務所，支店	115

— 巻頭言 — “技術の伝統”



常務取締役
生産本部長
前田 秀幸

J-TREC創立5周年の技報を発刊するに当たり、現在当社主力製品のひとつとなっているsustina車両に繋がる技術の源流をたどってみる。

日本の鉄道車両メーカーとしては最後発であった当社が、優位性を得られる製品は何かを探す中で辿り着いたのは、ステンレスを構体の素材として取り入れるというものであった。

横浜事業所が会社組織として登記された10年後の1958年にセミステンレス電車を製作、さらにその4年後の1962年にはオールステンレス電車（以下sus車）を、いずれも日本で初めて生産することに成功した。特にsus車の製造は当時の日本の技術では加工できない部分が多く、その製造方法をアメリカBUDD社からライセンス契約で伝授を受けるとともに、生産設備の多くをアメリカから輸入して生産にこぎ着けるというチャレンジングかつ困難なプロジェクトであったと伝わっている。

その後、当社として幾つかの工夫を重ね、今日に至っているがその多くは軽量かつ剛性の高い車体を目指したものであり、これらはステンレス素材の開発とともに、その素材を巧みに組み合わせる車体構造の工夫でなされてきた。

特に側構体については、初期の車両では外板の変形を防ぐためにコルゲーション板が付けられていたが、構造解析技術の発達により外板にビードを加工する工法が確立され、軽量化とともに見栄えの向上が成された。さらに側構体からビードそのものを無くす構造が開発され、製造方法の簡略化とともにデザイン性の自由度が増し、今日に至っている。

sus車が日本で初めて完成してから半世紀を迎えるに当たり、sus車に対する一段のステップアップを計るためのプロジェクトが社内に結成され、新しいコンセプトの車両を開発することになった。

開発のコンセプトは、デザイン自由度の革新（車体表面の平滑化）、軽量化、シール剤使用の軽減、ぎ・内装作業のモジュール化、ドリル・タッパ作業の軽減を推進するものであった。

設計、生産技術、技術開発の各部門から専任者を選出し、製造、資材部門との連携を計りながら開発を進め、その成果として2013年に東急電鉄にご採用頂いたのが5576号車である。

構体のコンセプトを実現するために使用されたのがレーザー溶接であるが、当社におけるレーザー溶接を用いた構体は2002年に落成したACトレインのモハE993-1号車が最初であった。その後試行錯誤が続けられ2011年の横浜シーサイドライン2000型の量産に結び付いている。

横浜シーサイドライン2000型でのレーザー工法採用は、1.2mmのsus材を用いた外板でも歪がほとんど目立たない車体を実現し、車両の軽量化に大きく寄与した。

2012年会社の経営権が東急電鉄からJR東日本に承継されてからもこれらの技術開発は継続され、J-TRECとなってからはsustinaシリーズとして車両のブランド名を確立、環境にやさしく、持続性のある技術発展を目指している。

特に今期は、これら技術の蓄積を活かしたE235系、京王電鉄5000系、東京都交通局5500形、東急電鉄2020系の量産を開始しており、sus車両のルネッサンスを迎えていると捉えている。

今後さらに、車両メンテナンスの容易性、信頼性を高めるとともに、コストパフォーマンスの向上を目指して新たな技術革新に取り組みたい。特にレーザー溶接に関してはその適用範囲を拡充させ、車両のデザイン面でもさらなる向上を計るつもりである。

フルフラット構造 sustina の技術 — 京王電鉄 5000 系で量産化 —

Technology of Flat Surface Carbody for “sustina”
— Development of Keio Type 5000 EMU —

河村多計士 Takeshi KAWAMURA
浅賀哲也 Tetsuya ASAKA
佐藤 仁 Hitoshi SATOH
門脇文俊 Fumitoshi KADOWAKI
側垣 正 Tadashi SOBAGAKI

当社は、日本で最初にセミステンレス車両およびオールステンレス車両を製造した歴史を持っている。そして、2013年には次世代の技術となるレーザー突合せ溶接を用いたフラットな車体構造のステンレス車両を開発し、sustina というブランド名を与えた。その後、sustina のコンセプトについても煮詰め、設計・生産技術両面での技術開発を進めた。そして2017年6月にフルフラット構造 sustina の量産車として、京王電鉄5000系電車を完成させた。本稿では、sustina のコンセプトと特徴について紹介するとともに、フルフラット構造 sustina の量産を実現した技術について解説する。

1 sustinaのコンセプトと特徴

当社は、ステンレス構体車両のパイオニアとして、前身の東急車輛製造の時代に日本で最初にセミステンレス車両（東急電鉄5200系；1958年）、およびオールステンレス車両（東急電鉄7000系；1962年）を製造した歴史を持つ。

ステンレス車両はいくつかの段階を経て進化を続け、2013年に次世代の技術となるレーザー突合せ溶接を用いたフラットな車体構造の東急電鉄5050系5576号車を開発し、sustina というブランド名を与えた（図1）。

その後、sustinaのコンセプトについても煮詰め、設計・生産技術両面での技術開発を進めた。そして2017年6月にフルフラット構造sustinaの量産車として、京王電鉄5000系電車を完成させた（図2）。



図1 「sustina」の第1号車両⁽¹⁾
(東急電鉄5050系5576号車)

1. 1 共通プラットフォームによるインシャルコスト低減

お客さま（鉄道事業者）からのご要望の中で「低価格」の優先順位が高い。一方、日本国内における新造車両は、カスタマイズされた多品種少量生産が主流である。車両の機能が高度化する中で、このご要望に対する、ひとつの答えが“共通プラットフォーム（以下共通PF）”の採用である。共通PFとする事でその部分の製作母数が増え、コストダウンに結び付ける事を意図している。これをsustinaの第一のコンセプトとしている。

sustinaでは、構体、走行装置および電気装置、部品など基本的な部分をタイプに応じて共通PF化し、開発コストと装置・部品コストを下げている。その一方で、お客さまのそれぞれの考えを取り入れることができるオプション（デザイン性の高い部分等）の組み合わせにより、カスタマイズを実現し、運用される地域になじみ、その路線の文化にも溶けこむことが出来る車両を提供することを目指している。



図2 フルフラット構造 sustina 量産車
(京王電鉄5000系)



図3 内装ロールバーによる室内空間の確保

ほとんどが共通PFで構成される仕様をお選びいただいた場合、従来の交付材方式から一括発注といった方式も可能である。

また他ユーザの共通PFの機器・システムに関わる多くの品質情報を入手するアライアンスの形成も選択可能である。

1. 2 保守費などのライフサイクルコストの低減

イニシャルコストのみならず、その車両が廃車となるまでのライフサイクルコストをいかに下げて行くかは、お客さまにとっても大きな関心事である。そのため、メンテナンス軽減や軽量化による動力費の軽減など、トータルでコストを低減できる車両造りを目指すことが第二のコンセプトである。

当社の親会社が鉄道事業者であり、メンテナンスに対する認識をはじめ、事業者としてのライフサイクルコスト削減のノウハウを有している。当社はその共有化が可能なメーカーである。

例えば、検査周期延伸の実績のある装置をsustinaの共通PFとし、その効率的な保守体系を導入しやすい環境を整備し支援することも可能である。

また機器更新時の機器費用についても、共通PFとしての母数の大きさによるコストダウンを期待することができる。

将来、オプションとして線路や架線などのモニタ装置を搭載して次世代のCBM（状態監視保全方式）システムを実現し、事業としてのコスト削減といったことも可能である。

1. 3 ユニバーサルデザイン等快適・安心性の向上

ステンレス車両の輝きを生かした、インテリア・エクステリアとともに、美観・機能・バリアフリー・ユニバーサルデザイン、そして万一の際の安全等へ配慮したデザインを基本とし、その上にさまざまなオプションを用意することで、ニーズに応じた多様で魅力的な車両デザ

インも提供可能としている。

つかみやすく湾曲したユニバーサルデザインの握り棒をはじめ、座り心地の良い座席、つかみやすい吊り手、さまざまなお客さまに対応したバリアフリースペースなど、快適性を追求している。

安全性については、万一の正面衝突やオフセット衝突時の衝撃吸収構造や、内装ロールバーによる側面衝突時の室内空間の確保（図3）についても取り組み、さらなる安全を目指している。

2 量産形コンセプトを実現した設計技術

前記のコンセプトを実現すべく、また鉄道事業者のニーズや製造における量産性もふまえ、採用された主な項目は以下のとおりである。

2. 1 車体高さ方向寸法の統一

屋根高さ、室内高さ、床上面高さを共通設計とし、同じタイプの構成部材（構体ロールフォーミング材、内装部材）の配置が可能となるように配慮している。

各事業者の異なる車両限界への対応については、車体巾方向基準面間寸法の違いで異なるタイプ（S24-w（拡幅）、S24-s（ストレート）、S13-s（ストレート））を準備している（表1）。

2. 2 枕木方向屋根吊溝位置の統一

sustina共通プラットフォーム設計思想実現のため、枕木方向に配置している屋根吊溝6本のうち、車体中心寄りの4本を共通配置とした。側寄り2本については車体巾が異なるタイプに対応するため、側基準面からの寸法を統一して配置している（図4）。

2. 3 妻オフセット衝突対策構造の採用

sustina量産型第1号であるE235系で採用した構造をストレート車にも適用する形で、すみ柱、台ワクの形状変更を行い、各車に適用している。

2. 4 新型内装ロールバーの採用

sustina車両の特徴の1つとして、側面衝突安全性向上効果のある内装ロールバーの装備が取捨選択可能となっている。この構成について、初期のsustina車両では、荷棚受けとの連結部も含めてロールバーを構成していたが、その後、乗客の荷棚へのアクセス性向上のニーズに対応するため、荷棚との連結部を廃止した新しいタイプを開発した（図5、図6）。

効果についても、以前のものと同様であることをFEM衝突解析により確認・検証している。

2. 5 3D設計を積極活用した先頭部設計

前面デザインは事業者のオリジナリティが現れる部位でもあり、貫通扉軌跡や構成などでは3D-CAD設計を積極的に採用している(図7)。

その他、前面オオイ形状、ガラス形状、前面スカート形状など、曲面で構成される先頭部主要設備品についても3D-CADで設計し、設計時間の短縮、部材製作リードタイム削減およびコストダウンを実現している。

表1 sustina 主要3タイプの寸法

sustina 主要タイプ	屋根 高さ	室内 高さ	床上面 高さ	車体巾 基準面間
S24-w (拡幅車)	3620 mm	2270 mm	1130 mm	2950 mm
S24-s (ストレート車)	3620 mm	2270 mm	1130 mm	2778 mm
S13-s (ストレート車)	3620 mm	2270 mm	1130 mm	2760 mm

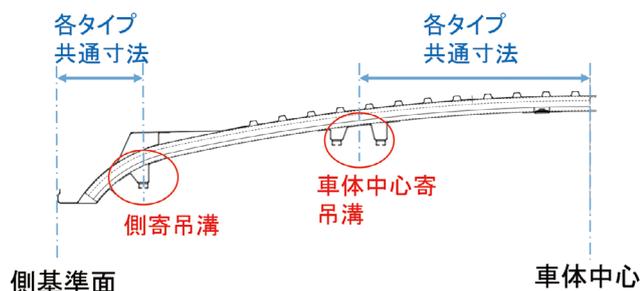


図4 屋根構体吊溝配置(半車体断面)

2. 6 共通内装設計部材の採用

sustina共通プラットフォーム設計思想は、側出入口カモイ、側出入口保護棒、荷棚上案内装置、ロールバーなどの内装関係部品について採用した。



図5 内装ロールバー(初期:旧タイプ)



図6 内装ロールバー(新型量産タイプ)



図7 3Dによる先頭部設計の例

3 フルフラット構造sustinaの量産技術

ステンレス車両構体の工程の概要は、ステンレス鋼板の切断加工、塑性加工、そして溶接加工による組み立てである。溶接加工では、抵抗スポット溶接、TIG溶接、レーザ溶接を使い分けている。フルフラット構造sustinaでは、レーザ溶接の採用が一つの特徴である。

3. 1 当社のレーザ溶接技術の背景

当社は、鉄道車両製造でのレーザ溶接技術のパイオニアでもある。1996年より車両構体へのレーザ溶接の適用を検討し、2002年に世界で初めてレーザ溶接を採用したステンレス車両(JR東日本モハE993-1号車)を新日本製鐵(当時)と製造した実績がある⁽²⁾。

その後、横浜シーサイドライン2000型を経て、レーザ溶接技術をさらに革新・展開させ、東急電鉄5050系5576号車ではフルフラットな車両構造を実現するため、レーザによる突合せ溶接を車両側面の外板の接合に採用

した。その他にも、ドアや窓周辺の水密を確保するためのレーザーによる重ね隅肉溶接などを採用している。

3. 2 レーザ溶接の量産化への技術革新

フルフラット構造sustinaシリーズの量産化にあたり、レーザー溶接品質の信頼性の確保と維持に向け、東急電鉄5050系5576号車から主に次に示す変更を行った。

(1) レーザ溶接箇所の変更

フルフラット構造sustinaの量産化では、車両構体の側面外板のレーザーによる突合せ溶接箇所を縮小し、幕板の突合せ溶接をレーザー溶接からレーザー溶接に比べギャップの余裕度が高いTIG溶接に変更した。これは両樋部分が塑性加工による3次元形状であり、レーザー突合せ溶接に必要な部材精度の確保が困難なためである。

(2) レーザ溶接品質の向上⁽³⁾

レーザー溶接中の、プロセス時間、レーザーの出力、加工物からの反射光、レーザー加工中に生じるレーザープルーム(図8)の強度の時刻歴を検出することで、機器の状態を常に監視し、これによって溶接品質を確保する方法を採用している。特にレーザープルームの強度の変化では、ギャップによる溶接欠陥を間接的に検出することができる⁽³⁾⁽⁴⁾。

(3) レーザ重ね隅肉溶接による水密性の確保

東急電鉄5050系5576号車では、出入り口フレーム、窓フレームと外板との連続発振レーザーによる重ね隅肉溶接を採用し、樹脂シールの使用を止め恒久的な水密性を確保した。量産化ではより安定した溶接品質を確保するため断続的な入熱となるパルスレーザーによる溶接を採用した。

3. 3 フルフラット構造sustina量産化への

技術革新のまとめ

レーザー溶接は熱歪が少なく、高品質なことが特徴であるが、レーザー溶接品質の確保には、レーザー溶接前・溶接中・溶接後のプロセスを確実に行うことが重要である。

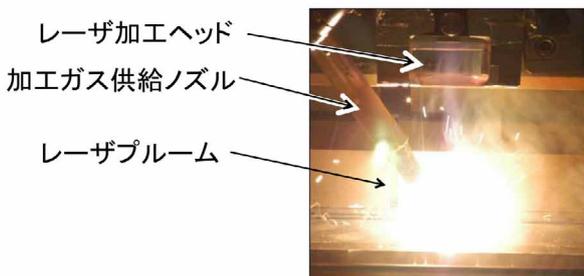


図8 レーザ溶接中のレーザプルーム

そこで、フルフラット構造sustinaの量産化では、レーザー溶接プロセスの前・中・後を一つのシステムであると捉え、課題を設定し解決を行うことで、量産化を実現した⁽⁴⁾。

参考文献

- (1) 浅賀哲也, 他:「sustina」国内第1号車両の開発, 総合車両製作所技報, Vol.2, 4-11, (2013), (株)総合車両製作所
- (2) 及川昌志, 他:「レーザースポット溶接によるステンレス鋼ダブルスキンパネルの開発(第1報)」, 精密工学会誌, vol.72, No.12, 1515-1519, (2006), (社)精密工学会
- (3) 河田直樹, 他:「ステンレス鋼板のレーザースポット溶接に関する品質評価システムの開発」, 精密工学会誌, Vol.75, No.9, 973-978, (2009), (社)精密工学会
- (4) 側垣正, 他:「sustina車両側構体の量産化について」, 総合車両製作所技報, Vol.5, 58-61, (2016), (株)総合車両製作所

著者紹介



河村多計士

生産本部
技術部 部長 (設計品質・コスト)



浅賀哲也

生産本部
技術部 (車体設計) 主任技師



佐藤 仁

生産本部
技術部 (車体設計) 主任技師



門脇文俊

生産本部
生産管理部 (生産技術) 課長代理



側垣 正

生産本部
生産管理部 (生産技術) 主査

ステンレス車両技術の系譜 － Pioneer Zephyr から sustina まで－

Technological History of Railway Vehicles made of Stainless Steel
－ From Pioneer Zephyr to sustina －

松岡茂樹 Shigeki MATSUOKA
鈴木久郎 Hisao SUZUKI

本稿では、世界初の米国 Pioneer Zephyr (BUDD, 1934) から、最新鋭の sustina (J-TREC, 2013) まで、ステンレス車両の技術史を述べる。日本では初のセミステンレス車両 TKK5200 (TCC, 1958) の後に、BUDD 社からの技術移転により、初のオールステンレス車両 TKK7000 (TCC, 1962) が開発される。その後、軽量ステンレス車両 TKK8400 (TCC, 1978) の開発により国産技術化され、BUDD 社との技術提携を終了する。軽量ステンレス車両技術は、JNR205 (1985) で技術公開、デファクト技術になって普及が拡大する。さらに、JRE 新津への技術移転、J-TREC への統合を経て、次世代ステンレス車両「sustina」の実用化に至る。

This paper describes technological history of stainless steel car from ‘Pioneer Zephyr’ the world premium (BUDD, 1934) to sustina with the latest technology (J-TREC, 2013). In Japan, the history began from the first Skin-Stainless-Car TKK 5200 (TCC, 1958), the first All-Stainless-Car TKK 7000 (TCC, 1962) was developed after technology transferred from USA. TCC developed originally the first Lightweight-Stainless-Car TKK8400 (TCC, 1978), its technology became de-facto standard and spread all over Japan after disclosing it. The technology was transferred to JRE Niitsu which was merged into J-TREC. Nowadays, J-TREC is developing ‘sustina’ using the latest technologies.

1 序論

わが国におけるステンレス車両の黎明期の歴史^{(1)~(4)}は、当社横浜事業所に保存されている日本機械学会認定「機械遺産」No.51ステンレス車両群（東急電鉄（以下、TKK）5200系と7000系^{(5)~(8)}）でたどることができる（図1）。日本初のステンレス旅客車両であるTKK5200系は1958年に、日本初のオールステンレス車両であるTKK7000系は1962年に、J-TRECの前身の東急車輛製造（以下、TCC）横浜製作所にて開発・生産された。

ステンレス車両の起源は米国にあり、米国から当社への技術移転（ライセンス）によりステンレス車両の本格的な普及が始まる。その後、当社における国産化開発により米国技術を超え、米国技術ライセンスは終了、やがて米国での生産が終了する。一方日本では、当社からの技術公開や技術移転により、デファクト技術となってゆく。

今や北は稚内から南は鹿児島まで、沖縄県を除く46都道府県でステンレス車両が走っており、まさにステンレス車両大国であるといっても過言ではない。

本稿では、わが国におけるステンレス車両の技術史を、表1に示す当社のステンレス車両の開発史でたどる。ステンレス車両は、技術のイノベーションの観点から、以

下の5世代に分類している。

- ・第0世代 セミステンレス車両（1958～）
- ・第1世代 オールステンレス車両（1962～）
- ・第2世代 オールステンレス車両（1978～）
- ・第3世代 オールステンレス車両（1992～）
- ・第4世代 オールステンレス車両sustina（2013～）



図1 日本機械学会 機械遺産 No.51⁽⁸⁾
ステンレス車両群（東急5200系と7000系）

表1 J-TREC におけるステンレス車両技術の系譜
(J-TREC 前身である東急車輛横浜・大阪, 帝国車輛, JRE 新津車両製作所を含む)

項目	第0世代 セミステンレス車両 (スキステンレス車両)	第1世代 オールステンレス車両 BUDDライセンス車両	第2世代 オールステンレス車両 軽量ステンレス車両	第3世代 オールステンレス車両 新系列ステンレス車両	第4世代 オールステンレス車両 sustina	生産 両数 合計
外観写真 (生産初号車)	TKK5200系 (1958)	TKK7000系 (1962)	TKK8400形 (1978)	JRE901系 (1992)	TKK5576号車 (2013)	
外観上の特徴	・外板のみステンレス ・コルゲート外板	・骨組みもステンレス化 ・コルゲート外板	・ビード成形外板	・フラット外板(セギリ付)	・フルフラット構造 ・外板継ぎセギリおよび開口部外フレーム廃止	
側外板 断面形状 (形状の総称)	(二山型コルゲート)	(台形コルゲート)	(ビード成形)	(セギリ)	(フルフラット)	
技術開発	・外板をステンレス化, 車体の無塗装化	・米国技術導入, 国産化 ・設計・解析技術 ・材料・塑性加工技術 ・スポット溶接技術	・自社開発 ・FEM解析による軽量化 ・車両用ステンレス鋼開発 ・静止輪重管理方法	・自社開発 ・量産化FA技術による低コスト化・軽量化 ・新保全体系	・自社開発 ・レーザー溶接による外観向上と省メンテ化	
技術供与		・米国BUDD社から技術導入・国産化 ・米国ライセンス技術のため, 東急車輛独占生産	・無償技術公開に伴い, 国鉄制式採用 ・デファクト技術となり, 全国に普及	・JRE新津車両製作所に技術供与 ・標準車両として普及		
生産 両数	東急車輛 横浜	480	1606	2115	3795	-
	J-TREC 横浜	-	-	-	769	92
	帝国車輛 大阪	18	-	-	-	-
	東急車輛 大阪	53	-	-	-	-
	JRE 新津	-	-	-	4293	-
	J-TREC 新津	-	-	-	327	170
	合計	551	1606	2115	9184	262

Note: 生産拠点は横浜・大阪・新津の3工場, 生産両数は1958~2016年度分, 2017.3.31現在

ステンレス車両の生産拠点は横浜・大阪・新津の3工場
で, 1958~2016年の3工場の累計生産両数は13718両で
ある。本稿では, 上記の世代別に, 技術史を概観する。

2 第0世代セミステンレス車両

2.1 日本初のステンレス車両の開発

日本における鉄道車両へのステンレス鋼の適用につ
いては, 旅客車両の前に, 貨車や機関車などに腐食対策と
して使用された事例がある。

例えば, 1950年には腐食性がある希硝酸用としてタン
ク体をステンレス鋼製とした日本国有鉄道(以下,
JNR) タム2100形貨車が新造されている。

さらに, 1953年以降, 関門トンネル用のJNR EF10
形電気機関車6両の腐食した外板を, ステンレス鋼板に
張り替えている。うち, EF10 24号機のみは銀色のまま
無塗装で使用された。

しかし, 一般的には日本初のステンレス車両は, 新造
の旅客車両であるTKK5200系(TCC製, 1958年11月)系
とされることが多い。

当時, TTK5200系とJNRサロ95形900番代(旧汽車会
社=現川崎重工業製, 1958年12月)にて, 両社の開発競
争になっていた。そして, わずか20日の差で先に完成し
たTKK5200系が, 日本初のステンレス車両となった。

当時は, 車体骨組まで全てステンレス鋼で設計・生産
する技術がなかったため, 外板のみをステンレス鋼製と
していた。後の米国技術によるオールステンレス車両の
登場後は, セミステンレス車両またはスキステンレス
車両と呼称されるようになる。

TKK5200系は, 当時量産されていたTKK5000系(通
称「青ガエル」)の生産最後の3両(後に中間車1両増備)
を, 外板のみステンレス化して無塗装で仕上げた車両で,
機能的にはTKK5000系と同じで, 混結も可能であった。

TKK5200系のステンレス外板に関しては、コルゲーションプレートの長尺物の加工の試行錯誤や、ステンレス外板と普通鋼製骨組の溶接部のモックアップ製作による検討など、数多くの加工技術の試行が行われた。

外板は、汎用材料のSUS 7の板厚1mmで、複数のRをつないだ二山型のコルゲート形状(表1)である。その形はヒダ付と称される独自のもので、当時の試行錯誤がうかがえる。

銀色に輝く車体は、沿線の子供たちから銀電車と呼ばれ、戦後復興、ならびに、高度経済成長期の中で次第にシンボリックな存在になっていった。それは、後述の米国における世界初のステンレス車両が、大恐慌からの復興のシンボルになったのとよく似ていた。



製造初年	1958.11	製造所	TCC横浜
軌間	1067mm	全長	18m
動力源	DC1500V	駆動方式	直角カルダン
特記事項	日本初のステンレス車両		
保存	J-TREC 横浜事業所内に保存 産業考古学会「推薦産業遺産」 日本機械学会「機械遺産No.51」		

図2 東急5200系

トップナンバーのTKKデハ5201は、TKK各線で使用された後、上田交通で活躍した。退役後はTKK長津田工場での復元保存・TCCでの保管を経て、TCC60周年の2008年に東急車輛産業遺産(現J-TREC産業遺産)として横浜事業所に保存された。

同車は、日本初のステンレス車両という顕著な価値だけでなく、日本の戦後復興や高度経済成長を支えたという社会的価値も高く評価され、後述のTKK7000系とともに産業考古学会「推薦産業遺産」、日本機械学会「機械遺産」に認定されている。

デハ5201は、戸袋内部の普通鋼製部に腐食が見られるものの、外板の輝きは59年前の誕生時のままである。

2. 2 セミステンレス車両の生産

試作的要素のあったTKK5200系の後、TKK6000系が量産化された。さらに、セミステンレス車両は技術的難易度が低かったことから、各社で生産され始めた。

しかし、セミステンレス車両は、外板はステンレス鋼板で無塗装化は可能であるが、骨組は普通鋼製のままであるため、軽量化効果はわずかであり、さらに骨組が腐食する問題があった。そのため、あまり普及せず、後述の米国技術の普及によりやがて駆逐されることになる。

ただし、後述の米国ライセンスが不要であるため、TCC独占となった第1世代のオールステンレス車両の開発後も、公共交通を中心に各社共同設計の車両で生産されていた。例えば、営団地下鉄(現東京メトロ)3000系・5000系は、TCC・旧帝国車輛(現J-TREC)、汽車会社・川崎車輛⇒川崎重工業(以下、R)・日本車輛(以下、N)・近畿車輛(以下、S)・日立製作所(以下、H)の計7社で、共同設計・生産された。

1968年にTCC大阪工場となる旧帝国車輛でも、1965年製営団5000系から生産を始めた(図3)。1970年TCC横浜工場への車両生産統合により、TCC横浜工場と共同生産したセミステンレス車両の泉北高速100系が、TCC大阪工場の最終出場車となった。

セミステンレス車両は、後述の第2世代ステンレス車両の技術公開・デファクト化後は、ほとんど採用がなくなった。



図3 帝国車輛での側構スポット溶接作業⁽⁹⁾

3 第1世代オールステンレス車両(BUDD技術提携)

3. 1 世界初のステンレス車両Pioneer Zephyrの開発

ステンレス車両の歴史は、米国に始まる。

ステンレス車両を世界で初めて開発したBUDD社(The Budd Company)はアメリカ・ペンシルベニア州フィラデルフィアを本拠地としたメーカーで、1912年に設立された。もともと自動車関係等の金属加工を手がけていたが、ステンレス鋼の特性を活かし軽量の鉄道車両の技術開発も進めていた。

世界初のステンレス車両は、BUDD社が1934年にシカゴ・バーリントン・クインシー鉄道（Chicago, Burlington and Quincy Railroad, 略称CB&Q）向けに製造したPioneer Zephyr（図4）である。



製造初年	1934	製造所	BUDD
軌間	1435mm	全長	60m(3 連接)
動力源	ディーゼル	駆動方式	電気式
特記事項	世界初のステンレス旅客車両		
保存	シカゴ科学産業博物館		

図4 Pioneer Zephyr⁽¹⁾

Pioneer Zephyrは、スマートな流線型のステンレス製車体に、ステンレス製フェアリングに包まれた連接台車を履き、8気筒600馬力のディーゼルエンジンとそれに直結する発電機を搭載するなど、蒸気機関車が主流の時代にすべてが革新的と思える電気式高速ディーゼル動車として誕生した。

外観設計に航空機技術者が参画したことや、通常の鋼材のリベット結合に代わるステンレス鋼のショット溶接（現在のスポット溶接に近いもの）の成功などが開発に寄与した。

車体のステンレス材の使用の特徴は、側外板から床下下部中心までもがステンレスコルゲーションプレートに覆われており、屋根部も床下下部も、どちらが天地であっても良いと思わせるくらい航空機の機体のように丸みを帯びている。

Pioneer Zephyr は、1929年の世界大恐慌の影響が残る暗い世相の中で、1930年代の流線型ブームに載って大成功を納め一世を風靡した。Pioneer Zephyrが登場した1934年は、日本ではC53型三気筒蒸気機関車が流線型に改造された年で、米国にあってもこの時代にPioneer Zephyrの銀色に輝く流線型の出現は衝撃的であったであろう。

Pioneer Zephyrは、誕生から83年経った現在、シカゴ科学産業博物館に、米国の鉄道黄金期の流線型の形態に復元され大切に保存されており、その雄姿を実際に見ることができる。シカゴ科学産業博物館でPioneer Zephyrを目の前にすると、一種独特のレトロフューチャー的な

工業製品に共感を覚える。著者が2013年に調査で訪れたときに、4歳くらいの男の子が銀色に輝く車体を見上げながら、“Very shining!”, “Big train!”と歓声を上げた光景は忘れられない。

3. 2 BUDD技術提携とTKK7000系国産化開発

日本におけるオールステンレス車両の歴史は、当時新興車両メーカーであったTCCが、世界にはばたくという理念のもと、BUDD社との技術提携(1958-1985)に踏み切ったことから始まった。

溶接構造のオールステンレスカー製造技術は当時BUDD社の独占するところであり、その技術の信頼は世界的であった。当社は1959年にBUDD社からオールステンレス車両の設計製造に関する技術提携契約を結んだ。ブラジル（Mafersa, 1944年設立）、ポルトガル（Sorefame, 1943年設立）、オーストラリア（Comeng, 1921年に前身となる会社が設立）などの各国の会社に続いて、いわゆる「BUDDファミリー」の第8番目の技術提携会社となった。

BUDD社の技術提携会社は各国1社に限られていたため、オールステンレス車両は日本ではTCCの独占技術となった。一方で、JNRや公営鉄道の共同設計車種には採用が困難となり、市場が限定されることにもなった。

米国からはステンレス車両の設計技術とともに、ステンレス鋼の塑性加工技術・溶接技術・品質保証技術が移転された。その技術により外板だけではなく骨組もステンレス鋼製となり、大幅な軽量化と耐腐食性の向上が実現した。

1961年9月にオールステンレス車体の専用工場が横浜製作所の所内に完成し、BUDD社のノウハウに基づいて新鋭設備がふんだんに取り入れられた。床下の機器吊り金具や一部の配管・ダクトなどを、台枠下面を上に向けたまま先に組み付ける床下反転ぎ装技術は、この時に日本で最初に導入され、鉄道車両業界では先駆として注目を浴びた。

強度要求に応じて調質処理により各種鋼種を供給できるオーステナイト系ステンレス鋼SUS39（現在のSUS301）を、専用の塑性加工機により加工し、ショット溶接（現在は抵抗スポット溶接）により組み立てるという基本形は、BUDD社のライセンスが終了した現在も、変わらずに承継されている。

戦後の新興会社である当社は、この時点で車両製造技術を飛躍的に発展させ、名実共に一流車両メーカーとなったとされている。

そして、1962年1月には、日本初のオールステンレス車両であるTKK7000系（図5）が開発された。TKK7000系は、BUDD社の技術移転を受け、当時最新鋭のBUDD

社製フィラデルフィア交通局PTC 600形（図6）を設計のモデルとして、TCCにて設計・製作された。PTC600形は、フィラデルフィア地下鉄マーケット・フラン克福ード線で1990年代まで活躍し既に廃車となっている。1960年に製造された606号車がペンシルバニア州にあるペンシルバニアトロリー博物館に保存されている。



製造初年	1962.1	製造所	TCC横浜
軌間	1067mm	全長	18m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	日本初のオールステンレス車両		
保存	J-TREC横浜事業所内に保存 産業考古学会「推薦産業遺産」 日本機械学会「機械遺産No.51」		

図5 東急7000系



製造初年	1960	製造所	BUDD
軌間	1581mm	全長	16.76m
動力源	DC600V	駆動方式	直角カルダン
特記事項	TKK7000系の設計モデル車両		
保存	ペンシルバニアトロリー博物館		

図6 フィラデルフィア交通局 PTC⁽²⁾

TKK7000系が、それまでのセミステンレス車両であるTKK5200系、TKK6000系とは全く異なり、PTC600形に良く似ているのは、まさに技術の系譜を示しているといえる。屋根のRが単円弧になっていて側構体との接続が折れ角になっている点や、側腰部の外板に採用されたコルゲーションプレートなどが踏襲されて外観上も共

通点が多くなった。

ステンレス鋼は、調質熱処理・冷間加工によって強度向上が可能なSUS39となり、側外板のコルゲートは、板厚が0.8mmの台形断面（表1）となった。コルゲートは、幅25.4mm（1インチ）、高さ12.7mm（ハーフインチ）である。

TKKで最晩年の2000年まで活躍し、TCCにて牽引車となっていたデハ7052（TCC、1965）が、J-TREC横浜事業所内に保存されている。さらに、トップナンバーのデハ7001（クハ7910に改造）は解体されたが、車号名板・製造所名板が同歴史記念館に保存されている。

現在でも、VVVF化・冷房改造されたTKK7700系と、各私鉄に譲渡された車両が現役で活躍しており、ステンレス車両の高寿命を証明している。

3. 3 国産技術化の進展

1962年1月のTKK7000系開発から1年あまりの間に、さまざまなタイプのステンレス車両が誕生する。

1962年12月初旬には、南海電気鉄道（以下、NDK）6000系が竣工した。車体長20mまで延長されるとともに、4箇所（片引戸出入口と戸袋部分）が設置された。また、屋根と側の接合部分には小Rを設けて接線的に接続する技術が開発され、一般的な車体断面を実現した。

オールステンレス車両のNDK6000系は72両が新製された。同時期に新製された軟鋼製のNDK7000系が老朽廃車される中で、車齢50年を超えてなお老朽化がみられず、1両も欠けることなく全車現役で運用されている。

1962年12月下旬に京王帝都電鉄（KTR、現京王電鉄KER）3000系（図7）が製作された。

ステンレス鋼は曲面加工が難しいことから、先頭部の上半部にFRPを初めて採用し、いわゆる「湘南タイプ」の先頭形状を実現した。FRPの色は、編成ごとにレインボーカラーの7色とされ、「ステンプラカー」という愛称で親しまれた。

FRP応用技術は、後述のJNR205系以降の軽量ステンレス車両で全面採用され、自由な先頭形状デザインを実現できるようになる。

1997年にデハ3005号（1964年製TCC製）が余剰廃車となり、その車体を利用したリサイクル実証試験が1998年に行われた⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

実証試験の結果、調質圧延による各種ステンレスの鋼種は、溶解すれば同一素材に戻るため、鋼種別分別が不要であることがわかった。さらに、ステンレス鋼に含まれているクロムCrとニッケルNiがリサイクル容易でスクラップ単価が高価なため、アルミ車両・鋼製車両よりもリサイクル容易でコストが安いことが実証された。



製造初年	1962.12	製造所	TCC横浜
軌間	1067mm	全長	18 m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	前面FRP初採用，ステンプラカーの愛称 廃車時リサイクル実験		

図7 京王3000系⁽²⁾



製造初年	1963.4	製造所	TCC横浜
軌間	1067mm	全長	20 m
動力源	ディーゼル	駆動方式	液体式
特記事項	JNR初のオールステンレス車両 初の外側構体結合（妻・側・屋根） 解体時腐食状況調査		
保存	碓氷峠鉄道文化むら		

図8 国鉄キハ35形900番代⁽²⁾

1963年には、JNRキハ35形900番代（図8）が登場している。このキハ35形は通勤型の気動車で、10両が試作的にオールステンレス車とされ、塩害の多い房総地区で使用された。これは耐久性を鋼製車と比較する目的があった。

この車両では、製作容易化のために、妻と側・屋根の構体結合が、外側からのスポット溶接が可能な構造となった。この構造は、のちに第3世代ステンレス車両から全面的に採用されることになる。

さらに、廃車時の解体調査でステンレス構体に腐食がないことが実証され、後の205系以降のJNRステンレス車両制式採用の基礎データとなった。

トップナンバーのキハ35 901は、晩年に八高線等で使用された朱塗装（朱色5号）のまま、群馬県安中市松井田町横川の碓氷峠鉄道文化むらに保存されている。

1966年に、初の海外向けオールステンレス車両となる台湾鐵路局向けにDR2700型特急用ディーゼル動車（図9）が開発された。片側1扉車で全長に渡ってコルゲーションプレートを配置したデザインで、長尺の圧延材の使用は特急仕様車にふさわしい優美性があった。この形式は西部幹線台北～高雄間の光華号として長編成で華々しくデビューした。

DR2700型は2014年に定期運用から退いたが、2017年現在も8両がイベント列車等で活躍している。海外でも50年以上にわたり第一線で活躍していることになり、ステンレス車の長寿命と美観維持の優位性を物語るものである。

DR2700型の後継車として、20年後の1986年に基本仕様は変えずにDR2800型気動車を製造し東部幹線用として納めている。

台湾鐵路局向けのオールステンレスディーゼル動車としては、当社が納めたこの2形式のみが外板裾絞りである。



製造初年	1966.9	製造所	TCC横浜
軌間	1067mm	全長	20m
動力源	ディーゼル	駆動方式	液体式
特記事項	初の輸出オールステンレス車両		

図9 台湾国鉄DR2700型

海外向けオールステンレス車両としては、台湾鐵路局向けオールステンレスディーゼル動車の他に、タイ国鉄向け気動車・寝台客車などを生産し、1984年にはクリーブランド交通営団向け地下鉄電車で、オールステンレス

車両の母国である米国にも輸出を果たした。その後の米国向けオールステンレス車両は、1987年にメトロノース鉄道向けM4形交直流電車、1991年にロングアイランド鉄道向けダブルデッカー客車と北米案件が続いた。



製造初年	1967.1	製造所	TCC横浜
軌間	1067mm	全長	18m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	初の下降窓採用（日本独自の進化）		

図10 東急7200系⁽²⁾

1967年に、TKK 7200系が開発された(図10)。この車両からは、日本独自技術としてバランス付きの1枚構成の下降窓が採用された。1枚の下降窓は、外観・通風・部品点数などで優位であるが、車体が腐食しやすいという欠点があり、採用は限定的であった。

しかし、オールステンレス車両では車体腐食の欠点はないことから、本形式以降オールステンレス車両では標準的に採用されることになる。

後述のJNR205系1次車は、軟鋼の201系と同じ2段式の上段下降・下段上昇のユニット窓が採用されていた。当時TCCに第1編成の完成検査に来たJNR技師が、隣の線にいた横浜市営地下鉄2000系の1段下降窓を見て、205系2次車以降については、1段下降窓に設計変更したいという考えを持ったというエピソードがある。

このように、BUDD社ライセンスによる第1世代オールステンレス車両は、米国技術をベースとしながらも、独自の技術開発と製法改良を進めることで、採用例が拡大していった。その独自技術の採用拡大とともに、米国へのライセンス料率も段階的に引き下げられていった。

4 第2世代オールステンレス車両（軽量ステンレス車）

4.1 軽量ステンレス車両の開発

1974年のオイルショック以降になると、さらなるエネルギー効率向上が鉄道にも求められて、そのためには車両の軽量化が望まれていた。第1世代オールステンレス車

両の開発の直後から、軽量性で大幅に優れるアルミ車両が開発されていた。



図11 軽量ステンレス試作構体⁽²⁾

そこで、ステンレス車両の競争力を抜本的に高めるため、「アルミ車両に勝つ」ことを目的に、軽量ステンレス車両の開発プロジェクトが始まった。

当時黎明期を迎えていたコンピュータを用いた有限要素法(FEM)解析を本格的に採用し、極限まで軽量化を進めた。米国車両ベースの設計基準を日本の車両の実情に合わせて緩和した。

つぎに、1976年に限界設計の試作構体(図11)を製作した。外板は1.2mmで腰にRを付け、構造的にもコルゲート板からビード成形板(表1)に変更され、外観の大幅な改善がなされた。これは、車体清掃の面でも有効であった。

この試作構体に、実際に荷重をかけて、強度・剛性が不足する部分だけに最小限の補強を追加してゆく手法で、最適設計化が行われた。実施された構体荷重試験は、実に7回を数えた。

さらに、日本の高混雑による高応力と高温多湿の気象条件による応力腐食割れ(SCC)対策として、鉄道車両用の低炭素ステンレス鋼SUS301Lが開発された。SUS301Lは、強度要求に応じて調質処理により部材強度を作り分けることができることから、軽量化に大きく寄与した。

1978年に軽量ステンレス車両の試作車として、TKK8000系の中間車8400形2両が製作された(図12)。

同一の機器を搭載した8200形と比較して、構体質量は2トン軽くなっている⁽²⁾。構体構造は試作構体による開発成果を盛り込んでおり、側外板のビード成形の位置や腰のR付けなども踏襲されている。側窓は8000系と同一のユニット窓を使用したため、試作構体では出入口間の開口が1窓分であったが、実情に合わせた2窓分に統一された。



製造初年	1978.12	製造所	TCC横浜
軌間	1067mm	全長	20m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	初の軽量ステンレス車両 (日本独自技術)		

図 12 東急 8400 形⁽²⁾



製造初年	1980.12	製造所	TCC横浜
軌間	1067mm	全長	20m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	初の量産型軽量ステンレス車両		

図 13 東急 8090 系⁽²⁾

1980年に軽量ステンレス車両8090系が登場した(図13)。8400形を営業線で使用した結果を基に、編成単位で量産に移行したもので、車体は8400形と同様とし、8000系と比較して2トンの軽量化が図られている。電機品やブレーキ装置なども可能な限り軽量化が図られ、最終的に1両あたり平均で2.8トンの軽量化に成功した⁽¹³⁾。

車体断面は腰曲がり、上部が車体中心寄りに傾斜した斬新なデザインの断面形状となった。

側外板は窓吹き寄せ部を梨地仕上げ、腰板と幕板は光沢のあるBG仕上げとし、ステンレス材の持ちえる変化を有効に使った表現となった。

また腰部と先頭部に接着フィルムによるラインカラーの帯を設けて、外観は従来のステンレス車両と一線を画す車両となり、先頭形状と併せて軽量ステンレス車両であることをアピールした。外板の仕上げの違いやカラー帯を設けることで外観に変化を持たせる手法は、当時、塗装をしなければモノトーンになりがちだったオールス

テンレス車両において見栄え感のアップを与える画期的なものであった。

以後、登場するオールステンレス車両では、腰板や幕帯にカラー帯を配置するデザインが主流となっていった。

4. 2 軽量ステンレス車両の普及

「軽量ステンレス車両」と命名された第2世代オールステンレス車両は、外観や軽量性が大幅に向上したこともあり、その後爆発的な普及をする。

「軽量ステンレス車両」の開発により、米国技術から国産技術化を果たし、1985年にはBUDD社との技術提携を終了する。やがてTCCはオールステンレス車両の生まれ故郷の米国にも輸出するようになり、BUDD社がステンレス車両から撤退する。そのため、日本生まれの「軽量オールステンレス車両」は元祖の米国技術を超えたといえるだろう。

軽量ステンレス車両は、1980年のTKK8090系の量産開始以降、NDK8200系、KTR7000系、東武鉄道10000系などが製作され、着実に民鉄における軽量ステンレス車両の採用が進み、銀色に輝くファミリーは拡大を遂げていった。



製造初年	1985.1	製造所	TCC横浜他
軌間	1067mm	全長	20m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	TCC軽量ステンレス技術無償公開 国鉄制式化の初形式、日本全国にステンレス車両が普及		

図 14 国鉄 205 系⁽²⁾

そのようなトレンドのなかで、JNRでも次世代の通勤車両として軽量ステンレス車両の研究を行うことになり、1982年から各車両メーカーと共同で、素材、溶接、塑性加工、検査基準などの検討を行った。

当社は、軽量ステンレス車両の技術を、JNRおよび車両メーカー各社に無償公開⁽³⁾する決断をした。公開したTCCの軽量ステンレス車両の技術をベースにしなが、加工法の一部には他社技術も採用された。

その結果、1985年の通勤型205系（図14）、近郊型211系を皮切りに、在来線の全車種に軽量ステンレス車両が制式採用された。さらに、JNR末期の1987年までに、121系、207系、213系、415系1500番代、キハ31、キハ54、キハ185系と、新幹線100系を除くほぼすべての新形式車両が軽量ステンレス車両となった。

オールステンレス車両は日本全国に広がり、生産メーカーはTCC 1社からTCC・R・H・N・S・富士重工・新潟鉄工所（現新潟トランス）の7社に拡大した。

TCCとしては、それまでの独占技術の100%から、市場シェアを大幅に落とすことになったが、市場が爆発的に増加したため、生産両数は倍増することになった。



製造初年	1986.3	製造所	TCC横浜
軌間	1067mm	全長	20m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	世界初の軽量ステンレス車体・ボルスタレス台車・VVVF制御の電車 営業開始直後に乗り上がり脱線、その後の技術基準となる静止輪重10%管理手法構築。鉄道の安全性向上に貢献		

図15 東急9000系⁽¹²⁾

1986年には、現在も標準的に採用されている三大技術（軽量ステンレス車体-ボルスタレス台車-VVVF制御）を、世界で初めて採用したTKK9000系（図15）が開発された。

クハ9001は営業運転3日目に横浜駅で乗り上がり脱線事故を起こすが、その再発防止策として静止輪重アンバランスを管理する方法を確立する起源⁽⁴⁾ともなった。この静止輪重10%管理は、2000年中目黒事故以降に技術基準となっている。TKKクハ9001は、鉄道の安全性向上に貢献したという観点からも、その技術的価値が再評価される必要がある。腰板のビード4本配置は当時のトレンドである。

1987年1月に、MTA (Metropolitan Transportation Authority of New York) の傘下であるMNCR (Metro North Commuter Railroad)：米国メトロノース鉄道向けM4形交直流オー

ルステンレス電車が完成した（図16）。

米国AAR基準である車端圧縮荷重360tが適用される。最高速160km/hの大型交直流電車である。



製造初年	1987.1	製造所	TCC横浜
軌間	1435 mm	全長	25.92m
動力源	DC700V第3軌条 AC13kV60Hz架線	駆動方式	平行カルダン
特記事項	ステンレス車両の故郷米国への輸出車両 AAR基準準拠 バイ・アメリカン法適用		

図16 メトロノース MTA M4⁽³⁾

側構は片側2箇所側に側出入口を有し、外板は腰帯部に2本のビードを付けたのみのフラット構造であり、長手方向に配置した骨組と一体になって車端圧縮荷重360tの一部を負担する構造とした。断面は腰部にRを持ち上方はやや内側に傾斜しているが側はりと側構との結合部にオフセットがあり概観に特徴的な印象がある。側柱は長土台の外側に取り付けられる構造とし、屋根の長けたと直接結合する構造としている。このように海外案件では、要求される仕様によって、国内車両に用いられるステンレス材料と同じものを使って、構体能力や概観デザインが全く異なる車両が生まれる。

当初、BUDD社からもたらされたストレスノートには、17-7ステンレスの使用の指示であったが、前述のとおり日本で開発された加工性の良い低炭素ステンレス鋼SUS301Lを主材として、複数の米国案件に対応していることは特記に値する。

M4形はバイ・アメリカン法が適用されたため、プロト車両6両を除き、米国現地で最終組み立てを行った。現地当局の要請を受け、マンハッタンのイーストリバーの東側に海軍工廠の跡地（通称ブルックリンヤード、戦艦ミズーリの製作場所）に最終組み立て工場を整備した。

しかし、パイ・アメリカン法やAAR基準の制約や、プラザ合意後の急激な円高の影響を受け、その後北米市場からは撤退することになった。現在では、当社から無償技術公開を受けた各社が、北米現地工場にて車両生産を行っている。

5 第3世代オールステンレス車両（新系列車両）

5.1 重量半分・寿命半分・価格半分JRE901系の開発

1987年のJNR分割民営化後は、各JRで独自の車両開発が進むようになる。

JNR時代の旧型車両の置換えを促進すべく、JR東日本（以下、JRE）では、「寿命半分、価格半分、重量半分」という次世代車両のコンセプトが掲げられた。このコンセプトを元に、各社で独自開発が行われた。

当社では、従来のオールステンレス車両技術の基本形は維持しながらも、大量生産を前提としてFA技術を用いた生産性向上が追及された。外板をビード出し外板からフラット外板にするとともに、外部からスポット溶接できる構体結合構造が採用された。さらに、OA技術であるFEM解析を深度化することで、軽量化とコストダウンを両立した第3世代オールステンレス車両を開発した。



製造初年	1992.3	製造所	TCC横浜他
軌間	1067mm	全長	20m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	初の第3世代オールステンレス車両 新保全体系の基礎を構築		

図 17 JR 東日本 901 系⁽¹³⁾

1992年に量産先行車としてJRE901系（図17）が製作された。先行車は、京浜東北線用として編成ごとに仕様の異なった10両編成3編成が製作された。編成ごとに制御装置、空調装置、電気式戸閉機、ワンハンドルマスコンなど、さまざまなシステムが採用され、性能試験や現車試験を行った。その結果、1993年からの量産化に際して基本仕様は統一され、209系として製作されることとなった。

車体の側外板はビード成形のないフラット（表1）なものとなり、車体基本仕様は統一するものの、性能と保守に直接影響のない箇所については、各車両メーカーの独自の構造が認められた。このことは当時の車両メーカー側の製造設備の負担を軽減、すなわちコストを抑えるもので画期的な発想であった。

製造のイニシャルコスト削減だけではなく、メンテナンス性の大幅な向上が行われた。その実運用データの蓄積により、画期的な新保全体系が確立されることになる。新保全体系が適用される車両を、新系列車両と呼んでいる。

5.2 標準車両としての展開

第3世代オールステンレス車両の技術は、JRE新津車両製作所（以下、JRE新津）に技術供与され、量産体制が整備され、1995年に第1号車であるJRE209系が出場した（図18）。



製造初年	1993.1	製造所	TCC横浜他 JRE新津
軌間	1067mm	全長	20m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	第3世代オールステンレス車両量産化 TCCからJRE新津へ技術供与 JRE新津初生産車両		

図 18 JR 東日本 209 系

1990年JREでは、新津車両所で車両を製造するプロジェクトが発足し、当社は三井造船とともに技術協力に参画した。

車両製造技術の伝承を目的に、JRE新津として出発させるもので、工場建屋や製造ラインを旧JR新津車両所の跡地に新設し、ステンレス車両を新造する巨大なプロジェクトであった。JRE新津は1994年10月から創業を開始している。

209系の生産を横浜から新津に移植する作業は、1992年ごろから徐々に始まり、ロボットを多用した生産設備に合わせたJRE新津用の生産図面がTCC横浜で作成された。

JRE新津のスポット溶接機に合わせた構体図面の作成や、TCC横浜で使われていたステンレスの板金物の加工図面を一品一様図に展開するなど、製作図面においても量産体制の事前準備がなされた。

新造プロジェクト発足から5年目の1995年に、JRE新津製の209系は完成した。このように、209系はTCC横浜とJRE新津の両工場で作成された。自動化・ロボット化の整ったJRE新津の生産ラインで製造された209系は、高い構体精度を持ち、外板のひずみも少なかった。



製造初年	1999.1 1999.1	製造所	TCC横浜 JRE新津
軌間	1067mm	全長	20m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	列車情報伝送装置によるぎ装束線大幅削減初の横浜・新津の共同設計		

図19 JR東日本209系950番代



製造初年	2001.10 2002.3	製造所	TCC横浜 JRE新津
軌間	1067mm	全長	20m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	初の標準車両		

図20 相模10000系⁽²⁾

1999年に、列車情報伝送装置を採用することにより、引き通し線などのぎ装束線を大幅に削減した209系950番代（後のE231系の試作車）を開発した（図19）。

この車両はTCC横浜とJRE新津の共同設計により、初めて製作された。製作図面については、CADデータを

共有化して一元管理することにより、効率的に設計を進める共創設計のしくみが導入された。

209系950番代では、従来の通勤型209系の車体幅2800mmから、近郊型E217系と同様の2950mmに拡大して、定員を増大した。これは、量産E231系以降、通勤・近郊型車両の車体仕様共通化によるコスト低減につながった。また車体外板の汚損防止とコストダウンの目的で、これまでのステンレス通勤車で用いられて来た腰板と妻板のダル仕上げを省略し#80BGを使用した。

第1編成は、1～5号車（6扉車1両を含む）がTCC横浜製、6～10号車がJRE新津製で登場している。

2000年になると、JRE E231系をベース車両として民鉄向けの標準車両をJRE新津と共同で開発することになり、相模鉄道（以下、STK）10000系が、2001年に製作された（図20）。2002年3月完成の第二編成は、前5両がTCC横浜製、後5両がJRE新津製10000系初車両として登場している。

車体の基本構造や車両システムはE231系と同じとし、車両限界、線路、運転条件などの違いにより車体幅やMT比率などを変更して登場している。先頭形状はSTK独自のデザインである。

車体構造を標準化するとともに、制御システムや補助回路システム、そしてブレーキシステムを共通化することによって、量産効果を生み、生産コストを抑え、さらにメンテナンスの軽減策によるライフサイクルコスト低減が確立された。

2004年には標準車両として、東京都交通局新宿線10-300形が、2007年にはベース車両をE233系とした小田急電鉄4000形が、2009年にはSTK11000系が製作されている。

また、車体のみ標準化したいわゆる準標準車両として、TKK5000系、NDK8000系などが開発された。



製造初年	2000.12	製造所	TCC横浜
軌間	1600mm	全長	20m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	初の欧州への完成電車輸出 欧州規格EN・BS・UIC準拠		

図21 アイルランド国鉄8520系EMU⁽¹⁴⁾

2000年から、アイルランド国鉄向けに8500EMUシリーズとして、8500系16両（2000）、8510系12両（2001）、8520系40両（2004）（図21）の3形式を納入した。外観的には全く異なるが、JRE E217系を設計のベースとしており、標準車両の思想が踏襲されている。8500系は、欧州向けとして日本初の完成電車の輸出である。首都ダブリンの近郊区間のみが電化されており、DART（Dublin Area Rapid Transit）の名称でEMUによるサービスを行っている。

国内向けの軽量ステンレス車両に対して、EN、UIC、BS等の欧州規格に適合した高い構体強度とクラッシュブルゾーンの付加が特徴である。ステンレス車両でありながら客先の要望により、妻面をのぞき塗装されている。

8500シリーズEMUは製造後10年以上経過した現在でも、既存の欧州製車両の4倍以上の高信頼性を誇っている。このことは、当社社長宮下のアイルランド国鉄訪問の際にも、現場に掲示された実際のデータとともに高評価が示され、ただちに全社員に情報展開されている。

6 第4世代オールステンレス車両（sustina）

6.1 sustina命名と試作車TKK5576開発

2012年にTCCの経営権がJREに移転してJ-TRECとなり、続いて2014年にはJRE新津がJ-TRECに統合された。経営変革のなかで第4世代オールステンレス車両としての次世代発展と技術継承の大きな転機をむかえた。

TCCでは、2010年度よりTKKと共同で軽量、高剛性、高強度、低コストな次世代通勤車両の開発に取り組んできた。J-TRECでは、その技術を継承しさらに発展させ、次世代ステンレス車両の開発を加速するとともに、国内外に展開すべくブランド構築することにした。

それまでのTCCによる「軽量ステンレス車両」のような質実剛健で男性的なイメージから、新生J-TRECによる環境に優しく美観も兼ね備えた車両ということで、スマートな女性的なイメージへの転換を図ることとした。

サスティナ（以下sustina）は、JISのステンレス鋼材記号からSUS（サス）、環境に優しく持続可能の意からsustainable（サスティナブル）、地球環境問題を救う女神の意からラテン語の語尾-ina（-イナ）を組み合わせた造語である。

sustinaは、レーザ溶接などの新技術により、外観・強度の向上や軽量化を図った次世代ステンレス構体技術の適用を基本としている。ただし、sustinaブランドは、新保全体系を実現できる高信頼性を次世代ステンレス車両に用いることにした。そのため、ハイブリッド車両や海外向け車両など、レーザ溶接を用いない第3世代構体技術を踏襲したsustina車両も存在する。

新製品となるsustinaは、2012年9月にベルリンで開催された国際鉄道見本市「Innotrans2012」の会場で発表された。sustinaシリーズ国内第1号車両は、TKK5050系5576号車である（図22）。TKK東横線5050系8両編成のうち、1両（5176編成の5号車、サハ5576）をsustina試作車両とした。最大の特徴は外板のフルフラット（表1）化と3Dモデリングを多様化した最適設計による構体軽量化である。

構体は軽量ステンレス構造を基本とし、車体の台枠や屋根構体において構体材料や骨組の適正配置化を進めるとともに、妻部にはビード付き外板材の採用による骨組低減、内部構造においても各部受構造を吊溝化して骨組低減を図るなど、従来車と比較してトータル0.5tの軽量化を図り、アルミ構体と同等の質量を実現した。これにより、走行時の消費電力量削減など省エネルギー性の向上が図られた。



製造初年	2013.4	製造所	J-TREC 横浜
軌間	1067mm	全長	20m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	初のsustina試作車 レーザ溶接フルフラット構体初採用 安全対策ロールバー初採用		

図22 東急5050系5576号車

側窓部、側出入口部は枠を外板の内側に収め、側外板のつなぎはレーザ溶接で突き合わせ接合してセギリを廃止した。その結果、凹凸部が少なくなり、従来のステンレス車両のイメージを一刷新したフラットですっきりとした外観を実現した。

さらに側構体と屋根構体の結合構造を変更し、これまで側構体外側に突出していた雨どいを廃止して側構体を台枠から垂直に立上げることにした結果、室内有効スペースの増加が図られ、従来車よりも定員が1名増加する結果となった。

構体の組立方法は従来通りのスポット溶接を基本としているが、側窓部、側出入口部、側外板部、妻外板部、妻幌部部の車体鋼板接合においては、レーザによる連続溶接を採用している。これにより、車両としての水密性の向上が図られ、シール切れ発生時におこる雨水浸入の防止に寄与した。

従来車では、スポット溶接が主体で点での接合となるため、鋼板の接合面の隙間からの水の浸入を防ぐ目的で樹脂シールによる水密シーリングを実施しており、これを定期的に補修する必要があった。しかし、レーザーによる連続溶接ではこうしたシーリング作業が不要となり、経年で補修する必要もないことから、車体のメンテナンス性が向上した。

6.2 sustina量産車の国内外への展開

sustinaシリーズは、2013年にsustina試作車両として開発したTKK5050系5576号車の後、安定したレーザー溶接の確立と、18m車・20m車のラインナップを基軸に、急速に量産体制時代に入る。sustina車両は、2014年以降の約3年間に、新津では、JRE E235系、TKK2020系など、横浜では、静岡鉄道（以下SOK）A3000型、KER5000系、東京都交通局5500形、TKK2020系などのJRE・公営民鉄向け車両を、それぞれの工場で、連続一貫生産している。



製造初年	2015.3	製造所	J-TREC 新津
軌間	1067mm	全長	20m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	sustina 量産車 フラット雨トイ量産化 対横風対策屋根上歩み板の一部廃止		

図23 JR 東日本 E235 系

E235系量産先行車は、2015年3月23日にJ-TREC新津事業所で落成した（図23）。現在、量産車を新津事業所で製作中である。

E235系は、sustinaの初の量産車両である。TKK5576で試作された技術が、E235系にて量産化された。E235系では雨どいが外側に張り出さない車体断面形状を採用した。腰部にRを持ちながら外板を垂直に立ち上げたことで幅車体に新しい独特性が表現された。また、横風に対する安全性を向上させるため、抵抗の影響が少ないクーラ部以外は屋根上の歩み板を廃止している。

ユニバーサルデザイン内装を採用するとともに、衝突時の安全性を向上するためのロールバーを採用した。

主回路のVVVFインバータ制御装置に、JREの営業用

車両としては初めて、低損失で耐熱性の良いSiCパワー半導体を採用し、さらなる省エネルギー化を図った。

列車情報管理制御装置（INTEROS）の導入によるWiMAXのデータ通信利用や、デジタルサイネージ（電子看板）の車内搭載によるサービス機器の向上が図られた。“人に優しい車両”として、また“お客様、社会とコミュニケーションする車両”として親しまれる工夫がなされている。

E235系は、フラット外板、メディアサービス向上、半導体チェンジによるエコ化の三大要素を持つ新世代オールステンレス車両である。2020年春ごろまでに山手線の全編成がE235系に置き換わる。



製造初年	2015.10	製造所	J-TREC 横浜
軌間	1435mm	全長	21.5m
動力源	DC750V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	初の海外向けsustina 欧州EN規格準拠		

図24 タイ・バンコク パープルライン車両⁽¹⁵⁾

初の海外向けsustinaとして、タイ王国バンコク都市鉄道パープルライン車両（図24）を2015年に製造した。パープルラインは2016年8月6日に、23km、16駅の通勤路線区間が全線高架線で開業した。

3両固定編成で63両を横浜事業所から出荷した。第3軌条方式で両先頭車が電動車である。

パープルライン車両は、第3世代のオールステンレス技術をベースとして、欧州のEN規格を適用して設計されている。強度評価はEN12663、耐衝突特性評価はEN15227、耐火性評価はEN45545とNFPA130、ボルトの締結においてはドイツの軍需規格であるVDI2230などが適用され、今後の輸出車両の基本を確立すべく開発された。車体は国内向け20m級通勤車よりも一回り大きい。

パープルライン固有の車体仕様として、側開戸の外吊化による構体開口の拡大、冷房装置の高さに合わせた屋根面のフラット化、幅広の貫通路などが挙げられる。

2017年7月、フルフラット構造sustina量産第1号として、KER5000系（図25）を開発した。レーザー溶接を最大限に駆使し、運転室には共通プラットフォームの考えに

基づく省力化設計のフリージアコンソールを搭載している。

同車は、2018年春に座席指定列車として運行開始が予定されている。通常列車時はロングシートに、座席指定列車時はクロスシートに、座席を転換できることが最大の特長で、sustina標準通勤車に転換座席をオプション的に搭載することによって付加価値を高めている。



製造初年	2017.6	製造所	J-TREC横浜
軌間	1372mm	全長	20m
動力源	DC1500V	駆動方式	平行カルダン
特記事項	初のフルフラット量産車両		

図 25 京王 5000 系

7 まとめ

日本初のオールステンレス車両TKK7000 (1962) は、世界初のステンレス車両Pioneer Zephyr (1934) を開発したBUDD社からTCCへの技術供与により誕生した。やがて、日本独自技術による軽量ステンレス車両開発(1978)により元祖である米国技術を超え、BUDD社がステンレス車両の生産から撤退 (1987) する。

BUDD社の生産期間は1934-1987年の54年間であるが、TCC⇒J-TRECは1958年から59年目に入っており、すでに元祖BUDD社の生産年数を超えている。

JNR末期に、軽量ステンレス車両は、TCCからの無償技術公開によりデファクト技術となり、いまや我が国は全国津々浦々でオールステンレス車両が走る、オールステンレス車両大国となった。

さらに、第3世代オールステンレス車両の開発、JRE新津への技術供与、公民鉄標準車両への展開を経て、TCC経営権移転でJ-TRECとなり、JRE新津を統合した。

現在、J-TREC横浜・新津共同で、第4世代オールステンレス車両sustinaの開発を加速させている。

オールステンレス車両の技術の歴史は、個々の要素技術の開発だけではなく、BUDD⇒TCC、TCC⇒JNR・他社、TCC⇒JRE新津という、技術移転 (Technology Transfer) とデファクト化 (De-facto Standard) の歴史であった。

その技術移転の歴史から、TCC⇒J-TRECは、世界初

のオールステンレス車両Pioneer Zephyrを起源とした80年以上に及ぶステンレス車両技術の正統な後継者であると、誇りを持って自負している。

今後も、次世代ステンレス車両sustinaの開発を通じて、すべての人に使いやすく、環境にやさしく、安全で快適な鉄道システムの構築に向けて貢献をしていきたい。

2018年は、銀電車TKK5200系生産から60年を数える。

参考文献

- (1) 松岡茂樹, ステンレス車両の技術史 -PioneerZephyrからsustinaまで, 日本機械学会誌Vol.116, No.1162, (2015)
- (2) 杉山隆, 東急車輛技報で迎えるステンレス車両の技術史, 東急車輛技報No.60, (2010), 東急車輛製造 (株)
- (3) 土岐實光, 電車を創る, (1994), 交友社
- (4) 荻原俊夫, 東急ステンレスカーのあゆみ, (2010), JTBパブリッシング
- (5) 松岡茂樹・長能良太, 日本初のステンレス鋼製車両群 (東急5200系, 東急7000系) 日本機械学会「機械遺産No.51」認定, 総合車両製作所技報No.1, (2013), (株) 総合車両製作所
- (6) Shigeki Matsuoka・Shinya Kudo, Preservation and Utilization of the First Stainless Steel Railcars in Japan, JSME Proceedings of ICBTT 2012
- (7) 松岡茂樹, 東急車輛における産業遺産の保存と活用, 日本機械学会年次大会2011基調講演, W203001
- (8) 日本機械学会ホームページ
- (9) 帝国車両, 会社案内, 1966ころ (J-TREC横浜事業所歴史記念館所蔵)
- (10) 内田博行・松岡茂樹, ステンレス車両のリサイクル, 東急車輛技報No.48, 30-38, (1998), 東急車輛製造 (株)
- (11) Shigeki Matsuoka, Recyclability of stainless steel railway vehicles, Proc. Instn Mech. Engrs Vol.217 Part F: J. Rail and Rapid Transit, F03202, 2003
- (12) 製品紹介:「東急電鉄9000系電車」, 東急車輛技報No.39, 40-41, (1989), 東急車輛製造 (株)
- (13) 表紙, 東急車輛技報No.42, (1992), 東急車輛製造 (株)
- (14) 製品紹介:「アイルランド国鉄8520系電車」, 東急車輛技報No.54, 36-39, (2004), 東急車輛製造 (株)
- (15) 特集寄稿:「バンコク パープルライン-車両紹介-」, 総合車両製作所技報Vol.4, 4-7, (2015), (株) 総合車両製作所

著者紹介



松岡茂樹

技術士 (機械部門), 日本機械学会フェロー
生産本部
技術部 部長 (開発企画)



鈴木久郎

生産本部
技術部 (ぎ装設計) グループリーダー

ステンレス車体の溶接技術史

—抵抗スポット溶接の技術導入から世界初のレーザー溶接車体の開発まで—

History of Technology in Stainless Steel Car Body
- From Technology Introduction of Resistance Spot Welding to Development of the World's First Laser Welding Car Body -

大塚 陽介 Yosuke OTSUKA
及川 昌志 Masashi OIKAWA
側垣 正 Tadashi SOBAGAKI
大河原克美 Katsumi OGAWARA
木村 億尋 Okuhiro KIMURA

鉄道車両構体は、設計技術、材料技術、加工技術によって成立し、加工技術の一つが溶接加工技術である。金属材料の溶接プロセスのメカニズムは未解明な部分がありつつも、実用技術は革新と同時に産業応用が進んでいる。当社は溶接技術の中でも抵抗スポット溶接技術とレーザー加工技術を革新し、鉄道車両の製造に採用してきた。今後も溶接技術の革新を進め、お客様の要求を満たす鉄道車両の実現に寄与する。本論文では、ステンレス鋼製鉄道車両製造の中核技術である抵抗スポット溶接技術と、レーザー溶接技術の歴史的変遷を述べる。

Railway car body structure consists of design technology, material technology, processing technology, and one of processing techniques is welding processing technology. Although the mechanism of the welding process of materials is still unknown, practical technology is progressing industrial application at the same time as innovation. We have developed resistance spot welding technology and laser welding technology and have adopted it for manufacturing railway car body shell. We will continue to innovate welding technology and contribute to the realization of railway car body shell that meet customer's requirements. In this paper, we describe the historical transition of resistance spot welding technology and laser welding technology, which is the core technology of stainless steel railway car body shell manufacturing.

1 はじめに

当社の前身である東急車輛製造（以下、東急車輛）は、日本におけるステンレス車両の開発、製造をリードしてきた。

鉄道車両構体は、設計技術、材料技術、加工技術によって成立し、加工技術の一つが溶接加工技術である。当社は溶接技術の中でも抵抗スポット溶接技術の開発をステンレス車両製造技術導入時の1958年より進めてきた。また、1996年よりレーザー溶接技術の車両構体製造への適用を検討し、レーザー加工技術を革新してきた。そして世界初のレーザー溶接を採用したJR東日本ACトレインを実現した。

本論文では、ステンレス鋼製鉄道車両製造の中核技術である抵抗スポット溶接技術と、レーザー溶接技術の歴史的変遷を述べる。

2 ステンレス車両と抵抗スポット溶接

2.1 抵抗スポット溶接の原理と歴史

抵抗スポット溶接は、2枚以上の板を重ねて、それらを電極で挟んで加圧し、大電流を流して抵抗発熱によって材料を溶かして接合するものである。抵抗発熱の原理は1856年にイギリスの物理学者ジュールによって発見さ

れた。その原理を応用した抵抗スポット溶接は、1888年にドイツ人の技術者によって初めて特許化され、その約10年後に銅電極を用いる現在の方式が確立されている⁽¹⁾。

抵抗スポット溶接は薄板の接合に適している。また、溶接電流、通電時間などのパラメータは、予めタイマと呼ばれる制御機に入力して、実際の溶接はボタンが押されると自動で行われる。そのため、ロボットと組合せた自動化が容易であり、自動車のボディの組立では、依然として主流な溶接方法である。

2.2 日本初のステンレス車両

当社の前身である東急車輛は、日本におけるステンレス車両の開発、製造をリードしてきた。

日本初のステンレス車両は、1958年に製造した東急電鉄5200系である。この車両は、東急電鉄5000系をベースとして、外板にステンレス鋼を使用したもので、セミステンレス車両と呼ばれる。外板は抵抗スポット溶接で骨組みと結合され、板の座屈と歪を防止する目的で側と妻の外板には波形に加工した板を使用している⁽²⁾。しかしながら、台枠や構体の骨組は普通鋼を使用しており、これらもステンレス鋼としたオールステンレス車両の製造にあたり、アメリカのBUDD社と技術提携を行った。

2.3 BUDD社との技術提携

オールステンレス車両の製造にあたっては、素材の加工やそれらを組立てるための溶接方法がポイントとなってくる。それらの内容についてBUDD社の技術者による講義が行われていたようで、その内容を記したノートのコピー(図1)が接合技術センターの書庫に残されている。年度に関する記述はないが、1ページ目の日付が2月29日(月)となっており、1960年のものと考えられる。日本語の文章に英単語が入り混じった手書きの資料で、当時の状況がわかる貴重なものである。

抵抗スポット溶接についても、その原理を含めた講義が行われている。この資料では「ショット溶接 (shot weld)」という単語が用いられているが、これは通常の抵抗スポット溶接機に溶接電流と通電時間を監視するレコーダを搭載したものを呼んでいて、BUDD社の商標名であった。1点ごとの溶接において、溶接電流と通電時間が正しく流れたかどうかをチェックしている。メモ書きによれば、「レコーダは電流と時間が正しく流れたかをチェックするもので、溶接が完全に行われたことを保障するものではなく、完全な溶接を行うためには作業者による正しい管理が必要」と書かれている。この考え方は、溶接条件選定試験や日常管理試験といった現在でも行われている抵抗スポット溶接の品質管理における基本

である。また、溶接条件選定方法や各種試験方法についても、細かく記載されているが、そのやり方は今も変わっておらず、現在の技術の基礎がここにあることがよくわかる資料である。

2.4 日本初のオールステンレス車両

BUDD社の技術提携の下で、1962年に日本初のオールステンレス車両の東急電鉄(旧)7000系を製造した。

ステンレス鋼は、普通鋼と比べて線膨張係数が大きい。そのため、溶接による入熱での変形が大きくなる。ステンレス車両では、その耐食性の高さを生かして無塗装で使用されるため、熱による変形は外観を損ねることになってしまう。そのため、点接合で入熱を抑えられる抵抗スポット溶接を多用して、車体を組立てている。ステンレス鋼は普通鋼よりも固有抵抗が大きい。そのため、発熱しやすい。また、熱伝導率は小さいので熱が溜まりやすい性質があり、抵抗スポット溶接を適用しやすい材料といえる。

2.4.1 抵抗スポット溶接の作業標準

2.3項の技術提携をうけて、オールステンレス車両を製造するにあたって、東急車輛社内の作業標準が作成されている。この時の標準書も接合技術センターの書庫に残されている。

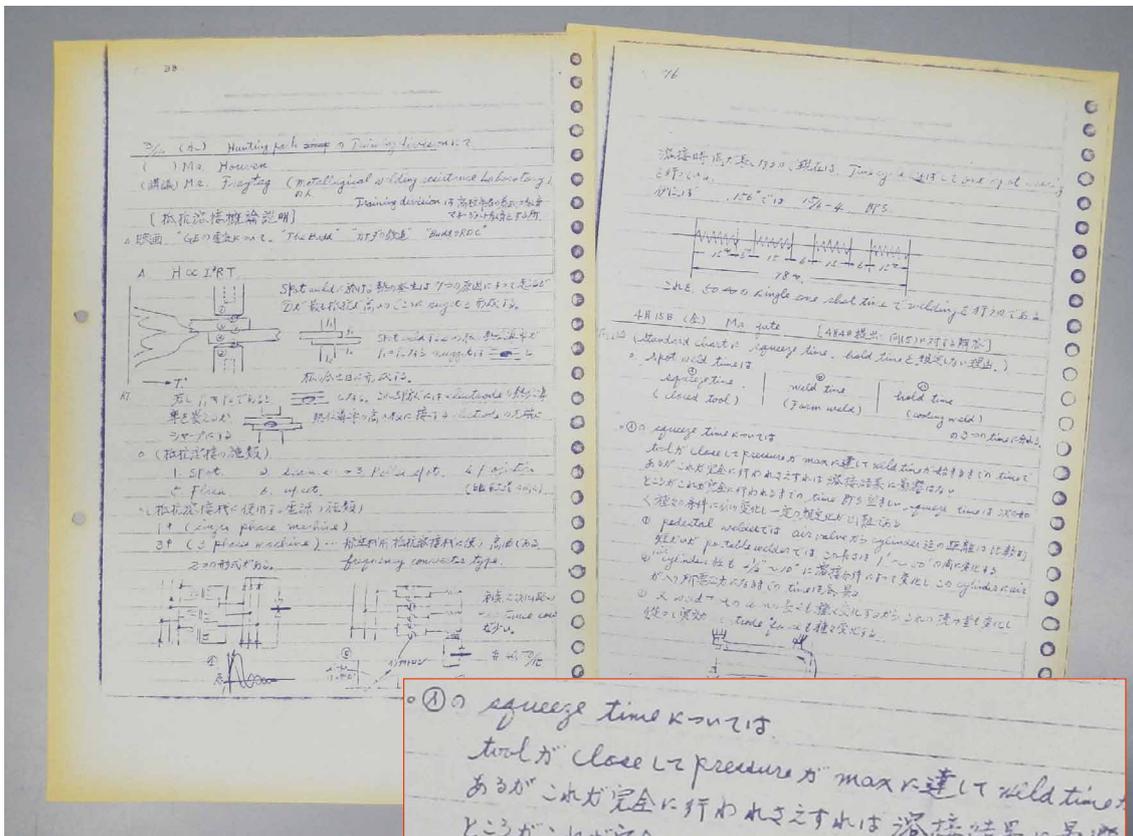


図1 BUDD社による抵抗スポット溶接の講義のメモ書きの一部

「^{ふしろうこう}不銹鋼点溶接作業標準」というタイトルで、1961年4月に登録されている(図2)。「不銹鋼」はステンレス鋼、「点溶接」は抵抗スポット溶接を意味している。文章の構成やそれぞれの内容と、現在当社の社内で運用している「ステンレス鋼スポット溶接作業規準」と比べても、大きくは変わっていないことがわかる。溶接条件選定試験では断面試験を実施するが、ナゲットの板に対する溶込み率や内部欠陥の許容率の数值はまったく変わっておらず、書かれている図も含め、この当時の技術が現在に継承されていることがわかる(図3)。

2. 4. 2 当時の製造方法

これらの作業標準等をもとに、東急電鉄(旧)7000系

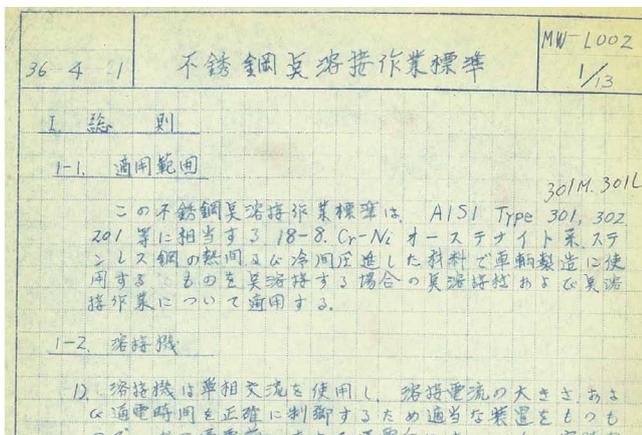


図2 不銹鋼点溶接作業標準

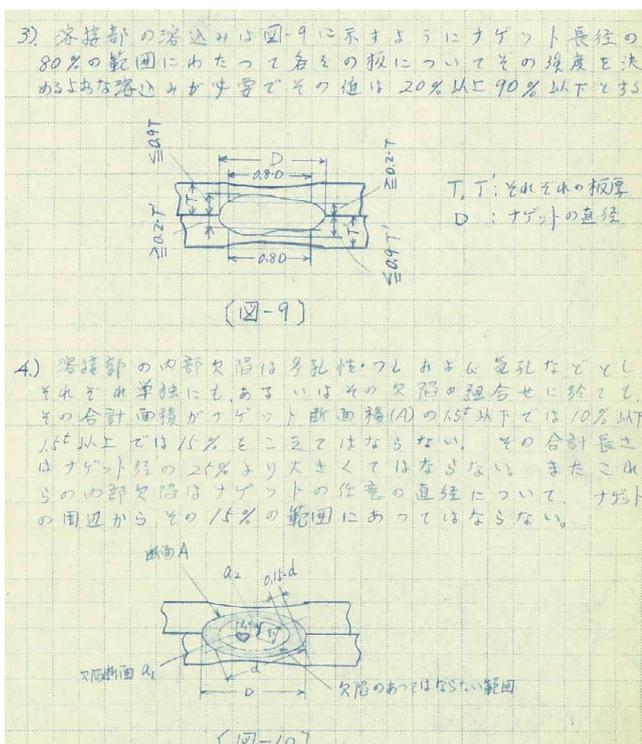


図3 断面試験に関する記述

を製造したわけであるが、当時の実際の製造状況を記録した映像資料「ステンレスカー」がある。東急車輛が宣伝用として自主的に制作した映像で、普通鋼製の車両と比べた様々なメリットなどが紹介されている。

構体製造の現場映像を見ると、抵抗スポット溶接は、ポータブルスポット溶接機を用いて、手作業で位置決めをして溶接をしている(図4~図6)。溶接の打点数も多く、作業には相当な時間がかかっていたものと思われる。屋根板のシーム溶接の風景も撮影されているが、こちらは材料の形状も含め、そのやり方は現在とあまり変わっていない(図7)。

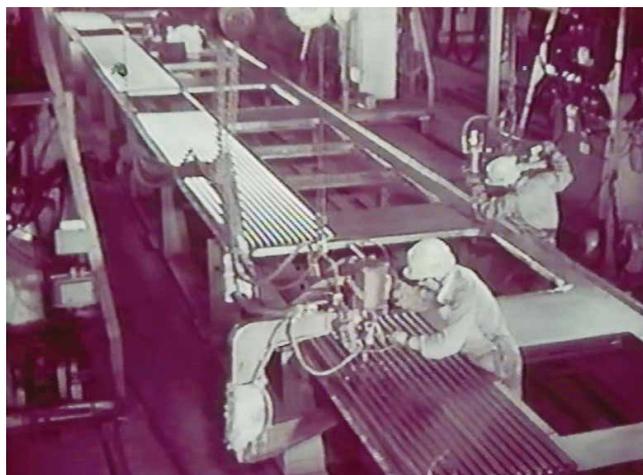


図4 側構体の抵抗スポット溶接⁽³⁾

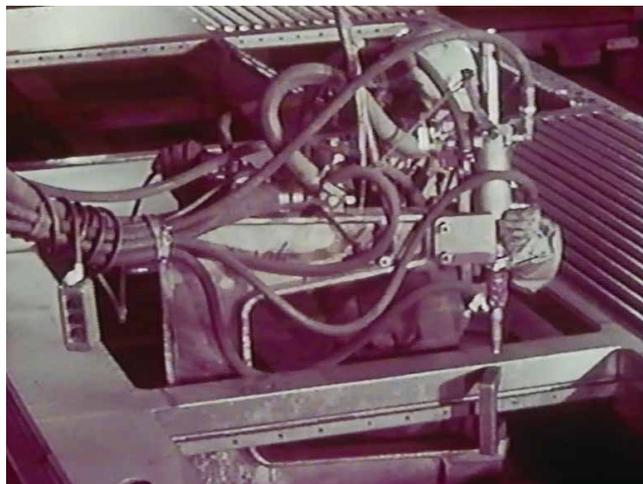


図5 側構体のポータブルスポット溶接機⁽³⁾

2. 4. 3 保存車両の抵抗スポット溶接部の現在

当社横浜事業所内にJ-TREC産業遺産第2号として東急電鉄(旧)7000系のデハ7052(1965年製)が保存されている(図8)。この車両の抵抗スポット溶接の圧痕(溶接部表面のくぼみ)は、現在製作している車両と比べると、全体的にやや形状がいびつである(図9)。図4に示すように、当時の側構体用のポータブルガンは1本の

ワイヤのみで吊られているので、ガンに多少の傾きが出て電極の当たりが悪くなっていた可能性がある。また、腰部はコルゲーションで全体のひずみを目立たなくしている構造であり、現在ほどは圧痕の状態に気を使っていなかったものと思われる。裾部に施工しているアーク溶接部では、周囲が粒界腐食と思われるサビが出てきているが、抵抗スポット溶接部は、製造当時の状態を保っている(図10)。急熱・急冷で入熱の小さい抵抗スポット溶接の特徴が生かされていることが、50年以上の月日を経て証明されている。

2. 5 軽量ステンレス車両 (第2世代・第3世代)

その後、ステンレス車両は軽量化や溶接の自動化などを行い、進化してきた。

今日、日本でオールステンレス車両が定着したのは、当時の国鉄でステンレス車両が制式採用されたことが大きい。1982年から国鉄、車両メーカーが合同で、素材、溶接、塑性加工、検査基準などの検討を行い、当社の技術・ノウハウを公開した⁽²⁾。ステンレス鋼の抵抗スポット溶



図8 J-TREC 産業遺産第2号 東急電鉄デハ7052⁽⁴⁾

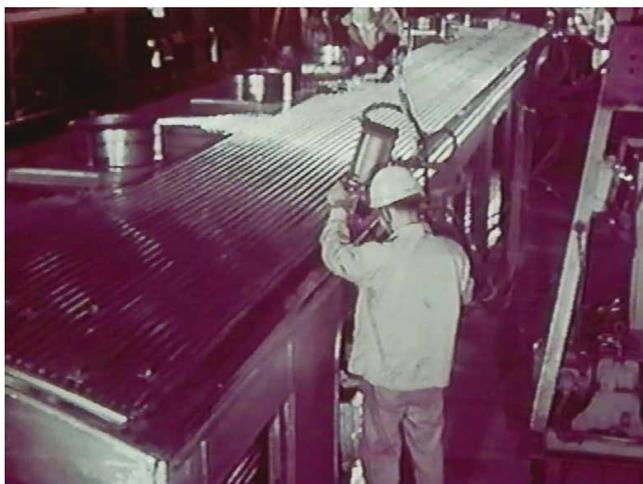


図6 屋根構体と側構体を結合する抵抗スポット溶接⁽³⁾



図7 屋根板のシーム溶接⁽³⁾



図9 側構体の抵抗スポット溶接の圧痕



図10 抵抗スポット溶接とアーク溶接

接については、2.4.1項で紹介した東急車輛の作業標準がベースとなって、当時の国鉄規格(JRS)が制定されている。この規格は、その後、日本鉄道車輛工業会規格(JRIS)として改めて制定され、日本国内の車両メーカーで共通に使用されている。また、板の組合せ等の設計に関わる項目は、JIS E 4048(鉄道車両-旅客車用構体-スポット溶接継手の設計方法)にも反映されており、

日本国内のステンレス車両の溶接技術の原点が当社にあることを改めて認識した。

また、抵抗スポット溶接は自動化が進んだ。側ブロックの製作は、ポータブルガンによる施工から、外板の平滑化とあわせて、外板側の電極を銅板とした自動溶接機の導入により時間短縮、外板のひずみ低減を図った(図11)。屋根構体では、ワンサイドアクセスが可能なシリーズスポット溶接の導入により、屋根板とタルキなどを自動溶接している。

側構体(外板)と台枠(側はり)の結合では、従来はポータブルガンを用い、構造的にガンが入らない部位ではアーク溶接で施工していたが、コンタクト電極を側はり下面にとって施工するインダイレクトスポット溶接の自動機の実用化により、外板部の結合もすべて抵抗スポット溶接となって、耐食性が向上した(図12)。

2.6 sustinaにおける抵抗スポット溶接

現在製作しているsustina車両でも抵抗スポット溶接を進化させて用いている。

sustina国内第1号車である東急電鉄5050系5576号車



図11 側ブロックの自動溶接機



図12 インダイレクトスポット溶接機

では、側構体の外板と骨などの接合に、電気サーボ式の加圧機構により可変加圧機能を有する抵抗スポット溶接機であるSmartRSW[®]を用い、溶接プロセス中の加圧力を変化させることで従来よりも圧痕外観の品質向上を図った⁽⁵⁾。その後のsustina量産車種の製造にあたっては、5576号車製造時の知見をもとに、エアシリンダによる加圧機構を用いて、板厚組合せに応じた適切な加圧力を設定することができる溶接機を導入し、板厚組合せに応じた最適な溶接条件を設定し、従来車と比べて圧痕の改善を図った⁽⁶⁾(図13)。

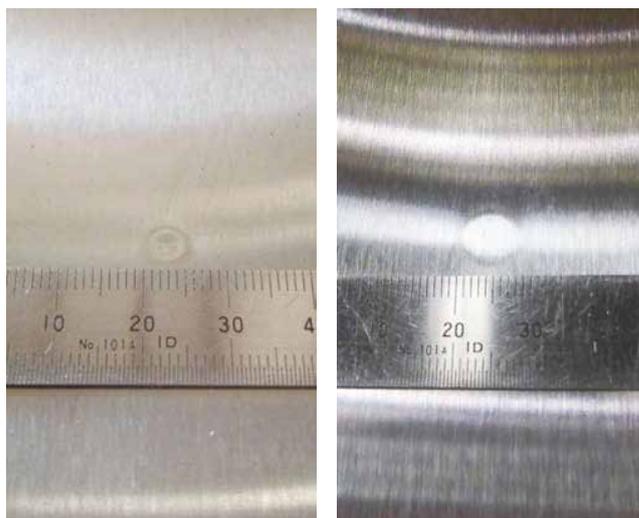


図13 側構体の圧痕(左: sustina 量産, 右: 従来車)⁽⁶⁾

2.7 これからのステンレス車両と抵抗スポット溶接

次章以降に示すレーザ溶接も、ステンレス車両の製造にあたっては大きな革新をもたらす可能性があるが、ステンレス鋼の材料特性と抵抗スポット溶接の溶接原理を考えると、この2つはとても相性が良く、今後も主流な溶接方法として用いられていくと思われる。

3 レーザ溶接の原理と歴史⁽⁷⁾

レーザ発振の最も基本的な原理は1917年にアインシュタインによる誘導放出(負の吸収)の理論まで遡るが、実際的なレーザ発振の原理は1958年に米国の物理学者タウンズとショウロウによって提唱されている。レーザ発振の実現は1960年5月16日にアメリカの実験物理学者メイマンによって行われ、同年7月8日付けのThe New York Timesの記事によってレーザ発振の実現が世界に知られるようになった(図14)。メイマンは前日の7月7日に新聞記者へレーザ発振のデモンストレーションを行っているが、そこで、剃刀の刃に対する穴あけを披露している。これがレーザ加工の始まりであり、レーザ溶接の起点でもある。

Light Amplification Claimed by Scientist

By JOHN A. OSMUNDSEN

Achievement of the first true amplification of light was claimed here yesterday by a Hughes Aircraft Company scientist.

The feat was said to have been accomplished with an experimental device developed at the company's research laboratories in Culver City, Calif.

Such a device, once perfected, could generate a fine light beam of sufficient intensity to illuminate from the earth small swaths of the moon's surface or to vaporize materials placed in its path. The distance to the moon is 238,840 miles.

A light signal is said to be amplified if its power is increased without changes in its wave length or frequency.

The light would also be of such purity as to permit more precise studies of the structure

Continued on Page 7, Column 5

The New York Times

Published: July 8, 1960

Copyright © The New York Times

図 14 世界初のレーザー発振を知らせる記事⁽⁸⁾

3. 1 レーザの特徴⁽⁷⁾

レーザーはLight Amplification by Stimulated Emission of Radiationの頭文字を繋ぎあわせた造語（アクロニム）であり、日本語では「輻射の誘導放出による光の増幅」となる。ここではレーザー発振原理は割愛するが、レーザーの特徴は波長がほぼ単一で位相の揃った人工の光であり、レーザー発振器の構成により、広がり角を非常に小さくできる。この特性によって、レーザーは加工分野に限らず、計測分野でも広く活用されている。レーザー発振から数年後にはアポロ計画で月面上にレーザーの反射板を設置し、地上から月面の反射板にレーザーを照射し、地上に反射光が届くまでの時間から月と地球の距離を数cmの精度で測定している。身近な製品では、DVDやBlu-rayディスク

クの信号の読み取り装置、スーパーなどで使われるバーコードの読み取り装置にレーザーが使われている。近年では自動車の衝突防止のためのレーザーレーダの実用化など、その応用例には枚挙に暇がない。光であるレーザーはレンズなどの光学装置によって、その大きさを自由に選択できる。太陽光をレンズで集めるのと同じようにレーザーもレンズによって集光することができる。例えば出力2kWの加工用レーザーでは、直径9 μ mに集光することもできる。その時の出力密度は、10¹¹W/cm²まで到達し、このような高出力密度のレーザーを金属材料などに照射すると、一瞬にして蒸発させることができる。

3. 2 レーザ加工とレーザー溶接の特徴⁽⁷⁾

1960年7月7日のメイマンによる世界初のレーザー加工のデモンストレーション、剃刀の刃への穴あけは、このレーザー加工の最も基本的な装置構成と原理を示している。1960年代前半には日本国内からもルビーレーザーを金属材料に照射し、溶接部を形成した報告が行われている。1970年代以降はレーザー発振器の安定化と高出力化が進み、1980年代からは日本国内でも各種の生産プロセスにレーザー加工が積極的に採用されるようになってきた。

レーザー加工は、エネルギー密度に応じ固相から気相まで瞬時に相変態を行う加工形態から、金属内部の熱伝導による加工形態を選択することができる。同じ出力密度でもレーザーの照射時間（レーザー出力の時間的分布）の制御によって様々な加工状態を選択することができる。低エネルギー密度のレーザー加工では、例えば炭素鋼の焼き入れ、ブリージングなどがある。対して高エネルギー密度のレーザー加工では、脆性材料の孔あけが可能である。レーザー溶接では概ね10⁷ ~ 10⁸W/cm²の出力密度の範囲で行うレーザー加工形態一つである。

従来のアーク溶接の出力密度は概ね10⁶W/cm²といわれ、レーザー溶接はそれより1~2桁高い。車両構体のようなステンレス鋼板の薄板にアーク溶接法を適用すると、熱歪みによる変形が大きく、高い施工技能が要求される。レーザー溶接ではレーザーを照射した箇所を選択的にエネルギーを集中できるため、レーザー照射部と周囲の温度勾配が急峻となり、アーク溶接法に比べると熱変形の小さな溶接となる。また、母材と溶融凝固部の境界に生じる熱影響層も少なく、溶融凝固部の冷却速度も速いため、一般に鉄鋼材料では溶接部の機械的特性の低下が少ないという特徴がある。その一方で、金属板の突合せ溶接や重ね溶接では、健全な溶接を得るためには材料同士の隙間が板厚の概ね10%以下とする必要があり、材料の寸法精度や材料の固定治具を工夫することが求められる。

レーザー発振媒質によって異なるものの、半導体レーザーや半導体レーザーの励起によるレーザー発振は、例えば出力0の状態から出力5kWを安定的に得る時間は数 μ sのオーダーで、時間に対する応答性が高い。また、加工物上のビーム径も熱的な影響を極力排除した集光光学装置によって出力数十kWまで安定的に得ることができる。レーザー出力の時間的空間的分布を比較的自由に選択できるので、加工物に対する入熱量を精密に制御することができ、例えば車両構体に使うステンレス鋼の溶け込み深さは0.1mm単位で制御することも可能である。ただし、加工雰囲気はレーザー溶接の品質に与える影響の考慮は必須である。鉄鋼材料のレーザー溶接では、酸素量1molあたりの発熱量はおよそ200kJであり、酸素量の多寡が溶け込み体積や溶接品質に影響を与える。また、加工雰囲気のガスの電離電圧もレーザー溶接品質に影響を与える。波長10.6 μ mの炭酸ガスレーザーでは、金属材料、加工雰囲気、およびレーザーの相互作用によって生じるレーザー誘起プラズマにより、安定溶接を得るためには電離電圧の高いHeを加工ガスに使う必要も生じる。2010年以降に高出力化した波長1 μ m帯のYAGレーザーやファイバレーザーでは、レーザー誘起プラズマは生成しないか、生成してもわずかであり、溶接品質の制御は、炭酸ガスレーザーに比べ格段に容易となっている。レーザー発振器に限らず、加工の目的別に加工ヘッドも市販されるようになり、波長1 μ m帯の高出力レーザーを用いたレーザー溶接のメカニズムの解明には未踏領域があるものの、利用技術の開発領域は十分に開拓されている。

3.3 鉄道の車体へのレーザー溶接の開発⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

鉄道車両構体へのレーザー溶接の採用の検討は、1996年に開始した東急車輛、JR東日本、新日本製鉄（当時）の3社の共同研究に遡る。そこでは、鉄道車両のコストダウンを背景に、車体をステンレス製のパネルで構成するという構想が描かれた。その解決策の一つが図15に示すステンレス鋼製ダブルスキンパネルである。これは、図に示すように、1枚の波板を2枚の平板で挟み込んだ段ボール形状であり、波板と平板の接合にレーザー溶接を採用したことが特徴である。このパネルの製造方法は図16に示すとおりである。平板の上に波板を重ね合わせ、波板と平板の接触部分にレーザーを照射し、レーザー溶接によって接合する。このとき、溶け込み深さを平板の厚さの30～50%とすることで、平板の表面にレーザー溶接部や熱歪みがほとんど生じないという特徴を得られる（図17）。次に平板と接合された波板に平板を重ね合わせ、波板と平板の接触部分にレーザーを照射し溶接すること

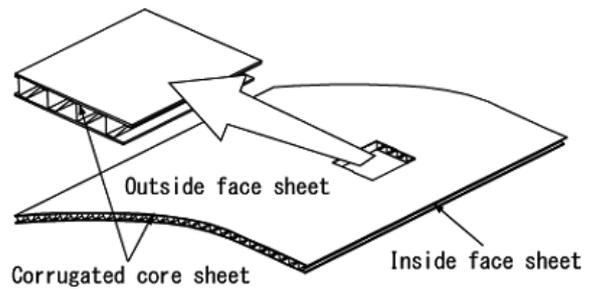


図15 ステンレス製ダブルスキンパネルの概要図

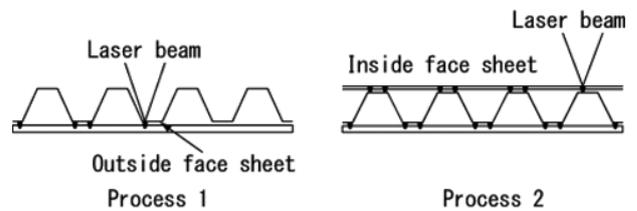


図16 レーザ溶接によるダブルスキンパネルの製造方法の概要図

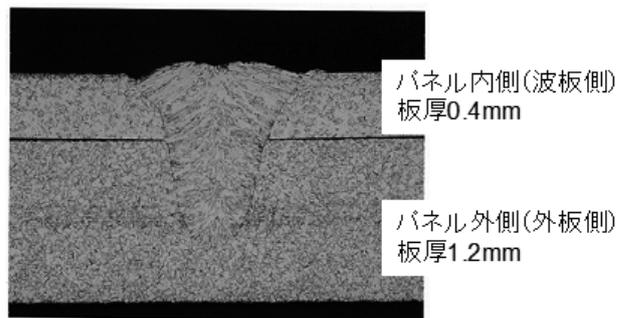


図17 レーザスポット溶接部

で、段ボール形状を得る。なお、この面にはレーザー溶接のナゲット（溶融凝固部）が形成されるが、車両の内側となり、内装材が取り付けられるので、外観の品質には影響しない。また、レーザースポット溶接では溶融凝固部がほぼ円錐形に形成されるので、連続溶接で生じるような角変形が少ないことも特徴である。薄板で構成する構造物の外板に角変形が生じると、特にこの外板にも応力を担持する場合にはせん断剛性の低下につながる懸念があるので注意する必要がある。さらに、同一平面内に複数のレーザー溶接線を形成すると、溶接線と直角の角変形に加えレーザー溶接線方向にも変形が生じる。

レーザー連続溶接の欠点を鑑みステンレス製ダブルスキンパネルの製造に採用したレーザースポット溶接は離散的な点溶接（レーザースポット溶接）であり、スポット溶接の数量や配置を適正化し、鉄道車両に適したパネルの強度を確保している。また、ステンレス鋼製鉄道車両の外板は、意匠のためベルトグラインダによる微細な磨き疵を付与しているが、この研磨の方向と、レーザー溶接の点列の方向を一致させることで、外板の意匠性を向上させ

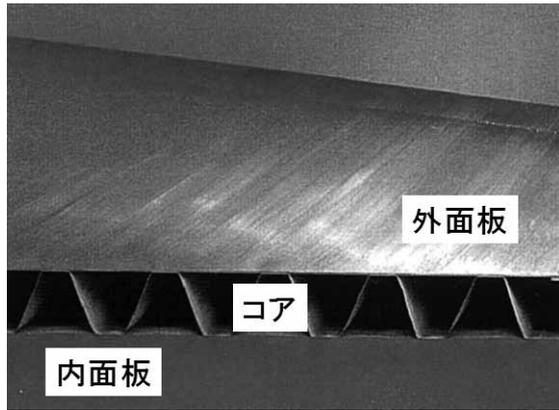


図18 レーザ溶接によるステンレス鋼製ダブルスキンパネルの外観

ることも検討した。レーザ溶接によるステンレス鋼製ダブルスキンパネルの外観を図18に示す。試作したパネルは、外板の板厚1.0mm、波板の板厚0.4mm、内板の板厚0.6mmであり、波板の高さは34.4mm、パネルの厚さは36mmである。

3.4 レーザスポット溶接による

ステンレス鋼製ダブルスキンパネルの開発⁽⁸⁾⁽⁹⁾

レーザ溶接によるステンレス鋼製ダブルスキンパネルが鉄道車両構体を構成するために適切な剛性と強度を得ているかどうかの検討を、車両の試作と荷重試験、および数値シミュレーションモデルを活用し検討を行った。車両構体全体をレーザスポット溶接部まで含めたパネルで構成すると車両モデルが莫大となり、計算時間を多く要するため、パネル単体での等価剛性モデルを作成し、妥当性を検証した。パネルは先に示したように波板を平板で挟み込む構成であり、かつ外板と内板の板厚が異なることから、カップリングを有する直交異方性のモデルの構築が必要となる。このモデルは図19に示すように積層板の理論にしたがう。

そこで、パネルの曲げ剛性、剪断剛性などの機械的特性を調査し、モデル(式1、図20)の妥当性を確認した。このモデルと図21に示した試験車両を用いた構体荷重試験によって、レーザ溶接によるステンレス製ダブルスキンパネルの妥当性を検討し、本パネルを採用した車両構体の機械的特性が適切であることがわかった。そして、実走行試験用の車両、JR東日本ACトレイン「モハE993-1」が2002年2月17日に出場した。これが世界初のレーザによる車両構体である(図22)。

3.5 レーザ突合せ溶接による側外板の平滑化の検討

レーザスポット溶接を従来構造の側外板と内部骨組み

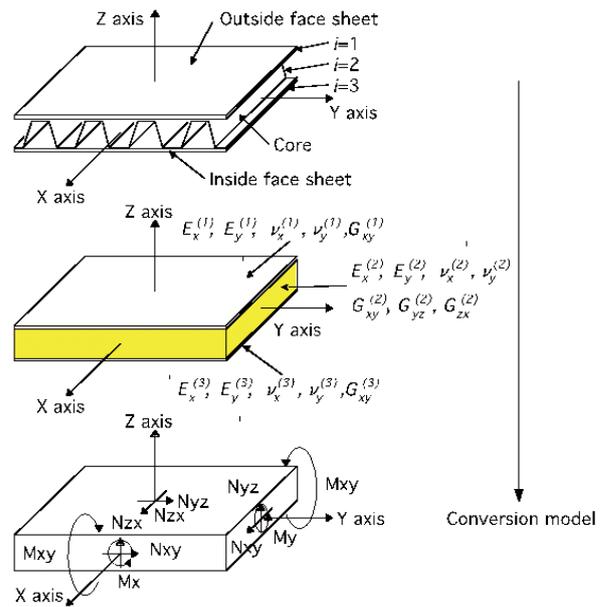


図19 ダブルスキンパネルの定式化の概要

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ N_{yz} \\ N_{zx} \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.94e5 & 1.04e5 & 0 & 0 & 0 & -1.43e6 & -4.37e6 & 0 \\ & 3.45e5 & 0 & 0 & 0 & -4.37e6 & -1.46e6 & 0 \\ & & 1.37e5 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5.08e5 \\ & & & 1.08e5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & 1.30e5 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & 1.21e8 & 3.17e7 & 0 \\ & & & & & & 1.06e8 & 0 \\ & & & & & & & 3.85e7 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_z \end{Bmatrix}$$

式1 ダブルスキンパネルの定式化

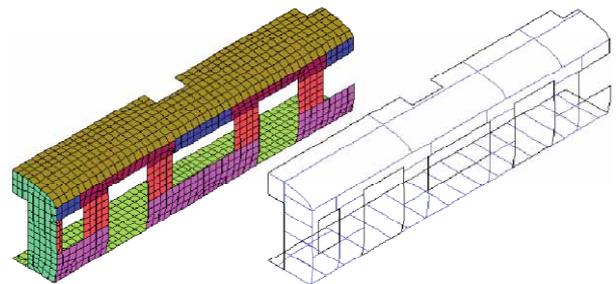


図20 ダブルスキンパネルを用いた車両のモデル

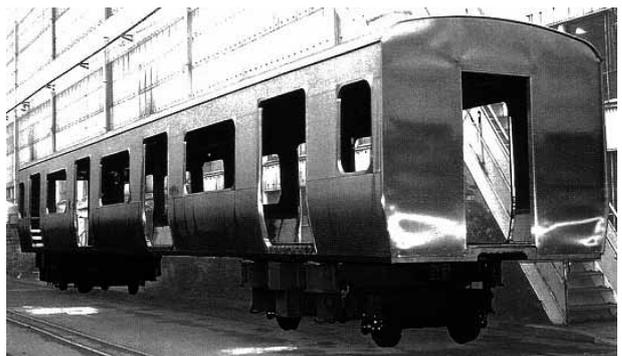


図21 構体荷重試験用の試作車両



図 22 世界初のレーザーによる車両構体



図 23 レーザスポット溶接とレーザー突合せ溶接を採用した横浜シーサイドライン 2000 型⁽¹¹⁾



図 24 東急電鉄 5050 系 5576 号車⁽¹²⁾

との接合に用い、レーザー連続溶接を側外板の突き合わせ溶接に採用した車両を図23に示す。これは2011年に運行を開始した横浜シーサイドライン2000型である。従来の鉄道車両の側面は高さ方向に複数枚の板を組み合わせて構成していた。これは製鉄メーカーで製造されるステンレス鋼板の幅による制約のためである。既往の側外板同士の接合では、一方の外板に背切りと呼ぶ段差を設け、段差部分を他の板と重ね合わせ、抵抗スポット溶接法によって接合する方法を採用していた。背切り構造は意匠上の制約になること、樹脂シールが必要であること、背切り部分の汚れが目立つことから車両側外板の平滑化を図った。

側外板の平滑化を徹底した東急電鉄5050系5576号車を図24に示す。その特徴は、横浜シーサイドライン2000型と同様に側外板へのレーザー突合せ溶接の採用、出入り口

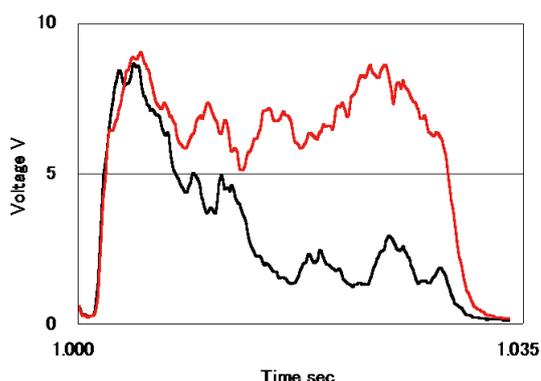


図 25 レーザスポット溶接でのプルームの時刻歴波形

フレーム、窓フレームと外板の重ね隅肉溶接の採用である。雨樋の構成も変更し、床下から屋根まで平滑化を行っている。

3. 6 レーザ溶接品質の確保の開発^{(13) (14)}

これまでに述べたように当社はステンレス鋼製鉄道車両構体の製造にレーザー溶接を採用してきた。

レーザー溶接品質の確保は、レーザー発振器と周辺装置の状態監視によって行う方法を採用している。レーザー溶接中には、レーザー出力、加工物から反射したレーザー、レーザープルームの強度の時刻歴波形の解析によって機器の状態を検知し、溶接品質の異常の可能性を示すことができる。

溶接品質の正常状態を計測することは困難であり、機器の異常を、例えばレーザープルームの時刻歴波形という代用特性によって評価している。

図25はレーザースポット溶接で発生するレーザープルームの材料同士のギャップに対する時刻歴波形を示す。フォトセンサの前に赤外領域を透過させるバンドパスフィルタを介している。図中の赤線はギャップありの場合、黒線はギャップ0 mmの時刻歴波形である。このように溶接欠陥の要因であるギャップを容易に判定することができる。一般に時刻歴波形の解析では、取得したデータにしきい値を設け、取得データとしきい値を比較する方法、取得したデータを正規化し、その上でしきい値を設け、しきい値と比較する方法、あるいは、しきい値とデータとの微分特性や積分特性による評価方法がある。求められるレーザー溶接品質、レーザー溶接の形態に対し、適切な波形解析を行う必要がある。

3. 7 sustinaにおけるレーザー溶接

現在のsustina車両でもレーザー溶接を進化させている。レーザー溶接の採用箇所は、側外板の平滑化が目的である外板の突合せ溶接、水密性の確保を狙った出入り口

レーム、窓フレームと外板との重ね隅肉溶接、同様に妻部の水密性確保を目的とした重ね溶接である。

車両構体に要求される機能とレーザー溶接の機能の合致によってレーザー溶接を積極的に採用している。

3.8 これからのステンレス車両とレーザー溶接

レーザー溶接を含むレーザー加工の革新は、レーザー発振器とその周辺機器の開発によって進化発展してきた。どの製品のどの部位にレーザー加工を使えるかという視座でレーザー加工は用途が探索されてきた。鉄道車両製造の分野では、鋼板のレーザー切断が先行し、レーザー溶接の採用は1990年代中盤から検討され産業分野の中でも比較的後発である。

近年のレーザー発振器とその周辺機器の価格の低下、高機能化によって車両へのレーザー加工の展開が見込まれる。レーザー溶接を含むレーザー加工は今度とも車両の高付加価値化に寄与すると確信している。

4 おわりに

鉄道車両構体は、設計技術、材料技術、加工技術によって成立し、加工技術の一つが溶接加工技術である。金属材料の溶接プロセスのメカニズムは未解明な部分がありつつも、実用技術は革新と同時に産業応用が進んでいる。当社は溶接技術の中でも抵抗スポット溶接技術とレーザー加工技術を革新し、鉄道車両の製造に採用してきた。今後ともお客様の要求を満たす鉄道車両の実現に寄与する。

参考文献

- (1) 松山欽一，他：「抵抗溶接の基礎と実際」，(2011)，産報出版（株）
- (2) 杉山隆：「東急車輛技報で辿るステンレス車両の技術史」，東急車輛技報，No.60，2-11，(2010)，東急車輛製造（株）
- (3) 「ステンレスカー」，東急車輛製造（株）
- (4) 松岡茂樹，他：「東急車輛産業遺産と横浜製作所歴史記念館の整備—産業遺産による技術の来歴の保存—」，東急車輛技報，No.60，62-69，(2010)，東急車輛製造（株）
- (5) 渥美健太郎，他：「抵抗スポット溶接システム SmartRSW[®]を用いた鉄道車両の圧痕外観向上に関する研究」，総合車両製作所技報，Vol.1，2-9，(2013)，（株）総合車両製作所
- (6) 側垣正，他：「sustina車両側構体の量産化について」，総合車両製作所技報，Vol.5，58-61，(2016)，（株）総合車両製作所

- (7) 新井武二：「レーザー加工の基礎工学」，(2013)，丸善出版
- (8) Light Amplification Claimed by Scientist：The New York Times，(1960.7.8)
- (9) 及川昌志，他：「レーザスポット溶接によるステンレス鋼ダブルスキンパネルの開発（第1報）」，精密工学会誌，vol.72，No.12，1515-1519，(2006)
- (10) 及川昌志，他：「レーザスポット溶接によるステンレス鋼ダブルスキンパネルの開発（第2報）」，精密工学会誌，vol.74，No.12，1287-1291，(2008)
- (11) (株) 総合車両製作所ホームページ「製品」，http://www.j-trec.co.jp/rw/New_transportation_and_streetcar/index.html
- (12) 浅賀哲也，他：「sustina国内第1号車両の開発」，総合車両製作所技報，Vol.2，4-11，(2016)，（株）総合車両製作所
- (13) 河田直樹，他：「ステンレス鋼板のレーザスポット溶接に関する品質評価システムの開発」，精密工学会誌，Vol.75，No.9，973-978，(2009)
- (14) 河田直樹，他：「ステンレス鋼板のレーザ溶接システムに関する品質評価システムの開発」，精密工学会誌，Vol.75，No.5，629-633，(2009)

著者紹介



大塚陽介
技術士（金属部門），IWE
生産本部
技術部（接合技術センター） 主査



及川昌志
博士（工学），技術経営修士
生産本部
技術部（技術企画） 課長



側垣正
生産本部
生産管理部（生産技術） 主査



大河原克美
生産本部
生産管理部 部長（生産技術）



木村億尋
生産本部
生産管理部 部長（統括）

通勤近郊車両におけるユニバーサルデザイン(UD)車内設備の開発史 — UD手すり・UD吊手・UDスペース—

Technological History on Universal Designed Interior Equipments for Commuter Vehicles
— UD Handrail, UD Strap, and UD Space —

齊藤和彦 Kazuhiko SAITO
松岡茂樹 Shigeki MATSUOKA

本稿では、近年採用例が急増している、通勤近郊車両のユニバーサルデザイン (UD) 車内設備の開発史について述べる。ロングシート部における UD 手すり・UD 吊手、車いすやベビーカー利用者のための UD スペースを例として、車内観察による移動制約者視点での使いにくさの気づき、使いやすい車内設備のコンセプト、人間工学実験における使いやすさの定量的検証という開発経緯を紹介するとともに、今後の展望を述べる。

This paper describes on the technological history of Universal Designed (UDeD) interior equipments for commuter vehicles. The UD handrails and UD straps installed in the longitudinal seat section and the UD space for users of wheelchairs and baby carriages are discussed. At first, the difficulty of use of existing equipments was recognized by the viewpoint of disabled passengers. Then the concept for improving the usability was invented and the usability of the UDeD equipments verified quantitatively by ergonomic experiments.

1 はじめに

日本の高齢化が進む中、移動制約者と呼ばれる人の割合は、確実にその数を増やしている。働く女性の支援、特に子育てを支援する方針が日本政府によって表明され、通勤車両の中にベビーカーが珍しくない時代になることが予想された。

移動制約者には、身体能力が低下している高齢者、妊産婦、視覚や聴覚障害者、病人やけが人、車いす利用者、ベビーカー利用者や幼児・小児、重い荷物を持った人、日本語の情報が得られない外国人、泥酔者など、非常に多くの種別があり、健常者であっても移動制約者になりうる割合は今後も増える。今までは問題とされなかった通勤近郊車両の車内設備でも、移動制約者には非常に使いにくいことが少なくなかった。

当社でのユニバーサルデザイン (UD) 研究は、その概念が日本に紹介され広まってきたころから調査をはじめていた。2004年からは、健常者と各種の移動制約者を含むすべての人に使いやすくするため、通勤近郊車両のUD化の研究^{(1)~(4)}を、鉄道総研と実施した。

鉄道車両にUDの概念を導入するにあたり、試行錯誤が行われ、研究開発へとつながることとなった。UDの定量化評価指標である鉄道車両のUD7+1原則⁽¹⁾により、使いやすさが既存品よりも向上したことが客観的かつ定量的に検証された場合にのみ、UDを冠する

ことができると考えた。

UD化には、潜在的な使いにくさへの気づきと、できる限り多くの人に配慮した設計コンセプト構築とアイデアの具現化、試作品を用いた人間工学実験による使いやすさの定量的検証が非常に重要である。

本稿では、ロングシート部のUD手すり⁽²⁾⁽⁴⁾と吊手高さのUD化⁽²⁾⁽⁴⁾、ベビーカー・車いす共用のUDスペース⁽³⁾について、観察と気づき、UD化コンセプト構築、実際の研究開発の経緯と実用化を振り返る。

2 車内観察によるUD化の気づき

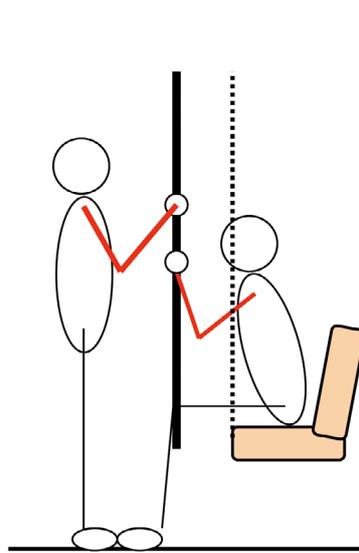
2.1 身長の高い方の使いにくさ

筆者が小学生ぐらいのころ、一人で電車に乗るなどということはなかったのではないかと記憶している。

その時の電車の車内設備がどれほど使いにくかったのか記憶にはない。記憶にあるのは、一緒に乗車した大人につかまって揺れをしのいでいた記憶ぐらいだろうか。実際に通勤近郊車両のUD化を行うに際しては、あらゆる人の立場に立って、使いにくさや、バリアを見つけ出し、対処していかなければならないが、自ら体験していなければ、なかなかイメージしづらい。そこで、それらを見つけ出すために通勤近郊車両の車内で、子供やお年寄りなどの移動制約者を中心に、車内設備品の利用形態を観察するようになった。



a) 気づき：手が届かない
 男児が腕を伸ばし手すりを保持。
 男児の足は、座位客のスペース
 (座席前縁から 250mm) にある。



b) 着想：手すりを前に出す
 立位客の保持、座位客の立上り
 補助の両方で、力が入れやすい。

である。この男児が座席前の手すりにつかまるには、足を座位客のフットスペース（座席前縁から 250mm）に踏み込まなければならない。

身長の高い方の使いやすさに配慮して、手すりを前に出すとともに、吊手を下げるべきだと着想した。それはすべての人に使いやすくなるはずである。

しかし、手すりは前に出すことで、立位客でも座位客でも使い易くなりそうだが、吊手の場合は、下げることによって、使いにくくなったり、邪魔になったりする可能性が高くなる。そこで、吊手高さの実験を行い、最適値を導き出せないかと試みた。

図 1 手すりの使いにくさの気づきと着想⁽⁵⁾

小柄な女性の場合、吊手につかまれないこともないが、つかまりにくいのか袖仕切の手すりにつかまる姿が目についた。立ち位置にもよるがしっかりつかめない場合は、腕が伸びきっていて、よろける場面もあったので、決して安心してつかまっている印象ではなかった。

女性よりも低身長の小学生ぐらいならば、どうなるのであろうか。そこで、実験してみたのが、図 1 の a)

2. 2 ベビーカー利用者の使いにくさ

今から 20 ～ 30 年前に、車いすスペースを設置した車両が導入され始めた。その頃ベビーカーが鉄道車両で、どれほど利用されていたのか定かではないが、当時はベビーカーを畳んで乗車するのがマナーとされていたように思う。つい最近まで、日本の鉄道車両にはベビーカーを畳まずに乗車するという文化は存在しなかったように思う。国の方針が出て、初めてベビーカーに



a) ドイツ鉄道
 ベルリン S-Bahn
 折り畳みロングシート
 共用スペースの実例



b) スイス連邦鉄道
 近郊電車 Flirt
 車いす利用者の明示



c) UD スペースピクトグラム
 上：UD スペース開発時 (2006)
 下：国土交通省の指針 (2013)

図 2 移動制約者視点の欠如の気づき⁽⁵⁾

子供を乗せたままで乗車してもよい雰囲気になってきた。それまでは、ベビーカーの居場所は鉄道車両にはなかったと言っている。このことは、鉄道総研によるベビーカー利用者調査からも裏付けられた。

図2 a) に示すドイツの実例から、車いすとベビーカーのスペース共用化の確信を得る。

図2 b) に示すスイスの標記では、車いすというモノと、車いすに乗ったヒトとが、明確に描き分けられている。

車いすというモノのためのスペースではなく、車いす利用者というヒトのためのスペースであるべきであり、ヒトの観点が欠落していたことに気付く。

車いす・ベビーカーというモノの視点ではなく、その利用者と同伴者というヒトの視点から設計した、移動制約者が共用できるユニバーサルスペース（UDスペース）という着想を得た。

3 ロングシート部のUD手すり・UD吊手の開発と実用化

3.1 UD化コンセプト構築

3.1.1 UD手すりのコンセプト

ロングシート部の座席前縁と荷棚前棒を連結する手すりには、以下の3機能がある。

- ① 定員着座のための座席区分
- ② 立位客の保持

③ 座位客の立ち上がり補助

図1 b) に、UD手すりのコンセプトを示す。

現行の座席前縁から直立する手すりでは、大人にとっても、立位客には遠すぎ、座位客には近すぎて、力が入れにくいと考えた。

そこで、手すりを前に出せば、身長の高い方だけではなく、一般健常者や高齢者を含む多くの乗客の使いやすくなると考えた。ただし、手すりを前に出し過ぎるとかえって使いにくくなることから、最適値が存在すると予想した。

3.1.2 吊手高さのUD化

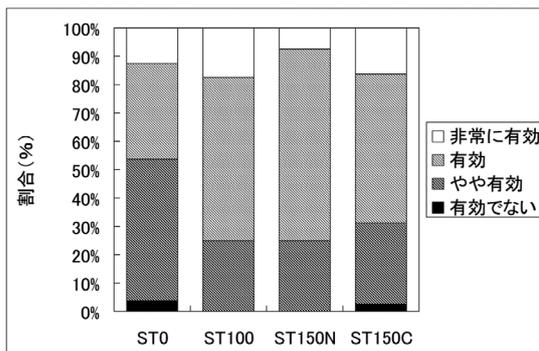
吊手は室内のパイプからベルトによって繋がれており、フリーの状態ではぶら下がることにより、人と干渉しても危険のないようにできている支持具である。

このように吊手は、支持具としては安定感に欠け、乗車するには邪魔な存在であるとも言え、海外では設置されていない車両もあるが、日本の通勤車両には欠かせない支持具である。UD研究における考察では、ハンモックのように揺られる感覚が、日本人に好まれるのではないかと予想した。

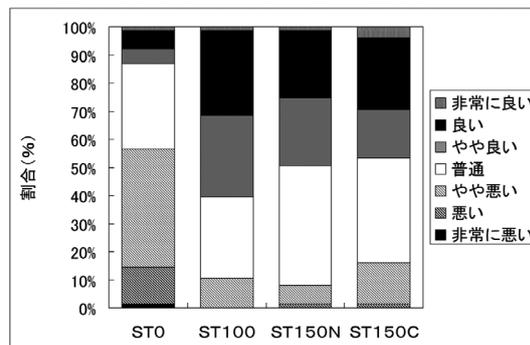
吊手の高さを低くすれば、つかまることができる人の数は増えるが、高身長の人には使い勝手が悪くなる。また、座位客の立ち座りに支障をきたす。



(記号) ST : STanchion pole, 数字 : 座席前縁からの距離、C : 着色ラバー巻



a) 立位の姿勢保持の有効性



b) 座位からの立上り補助の有効性

図3 UD手すりの有効性検証⁽⁵⁾



a) UD 手すり公開実験 (2005)



b) UD 手すり実用化 (2006)



JR東日本 E233系

図4 UD手すりの公開実験と実用化⁽⁵⁾

手すりと同様、吊手の高さについても最適値が存在するのではないかと予想した。

3. 2 研究成果と実用化

人間工学的実験により、手すりおよび吊手の位置寸法の最適値および推奨値を求めた。

3. 2. 1 UD手すりの経緯

手すり位置の最適値を、人間工学的実験により求めた。座席前縁からの寸法をパラメータとした予備実験により、100mm以上で有効、150mmが最適値、200mmでは座客の膝から前に出ることがわかる。

図3に試作したUD手すりと、定量評価結果を示す。従来のST0(座席前縁位置)に対し、100mm出したST100、150mm出したST150では、立位の姿勢保持の有効性、座位からの立上り補助の有効性ともに大幅に改善していることが検証された。

図4a) に示す、学識経験者と鉄道事業者を招いて実

吊手高さ別にみた推奨範囲外となる人の割合 (L275)

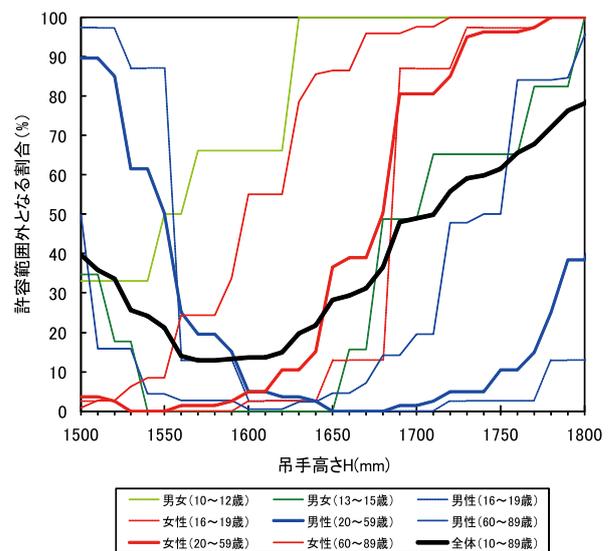


図5 UD吊手の実験データ⁽⁶⁾⁽⁷⁾



a) 吊手高さのUD化公開実験 (2005)



b) 吊手高さのUD化実用例 (JR東日本 E233系)



図6 吊手高さの公開実験と実用化

施した公開実験を行い、実用化に向けた課題を抽出し、設計的な微調整と追加評価を行った。

図4b)にUD手すりの実用化例を示す。東急電鉄5000系2006年度増備車で初採用され、お客様の声で高い評価を得る。JR東日本E233系では、手すりの握りやすさで高評価となった、ディンプルによる滑り止めと着色による視認性向上を図ったUD手すり⁽⁴⁾が初採用された。

UD手すりは各鉄道事業者に相次いで採用され、日本人間工学会から「平成24年度 人間工学グッドプラクティス賞 最優秀賞」を受賞する。

3. 2. 2 吊手高さのUD化

吊革の長さや吊手高さをパラメータとし、吊手高さの推奨値を求めた。図5は、吊革と吊手の長さ(L)が275mm(L275)のとき、吊手を高さ別にみて、推奨範囲外になる人(吊手を使いにくいと思う人)の割合が最小となるという考え方より、実験データをグラフ化したものである。このグラフから、1段のものは1630mmを、2段のものは1580mmと1680mmを推奨値とした。

しかしながら、実験での被験者へのアンケートでは、吊手が2段にすることは推奨するものの、高身長者ほど目障りに感じる割合が高いことや低い吊手が空いていないと高い吊手を選ばざるを得ないといった選択上のリスクなどから、2段吊手の高さに関しては、研究

の余地が残った。

この実験データは、交通バリアフリー整備ガイドラインの平成19年度改訂版⁽⁶⁾にも、掲載されている。

図6に公開実験の様態と実用化の事例を示す。JR東日本E233系の室内の吊手は一般座席前が1630mmで、優先座席前などが1580mmの身長の方の低い方に対応したものとなっており、UD実験で得られた高さ寸法となっている。

4 UDスペースの開発と実用化

4. 1 UD化コンセプト構築

ベビーカーに乗っている利用者(乳幼児)は健常者のように歩行できない。自力で歩行できない乗客の補助具という点からは、ベビーカーと車いすは何ら変わるところはない。

車いす利用者とベビーカー利用者を含む移動制約者の概念として、車輪(ホイール)系移動制約者ということにする。

車輪(ホイール)系移動制約者と同伴者の視点から、使いやすい空間を設計する。

乳児は視界から親が消えると、いなくなったと認識して泣くことがある。乳児の視点からは、視界の中に親が見える状態が、安心できる条件と考えた。

車いす・ベビーカー利用者と同伴者が、目と目が合う安心感というコンセプトを得る。そこで、車いす・ベビー



a) UDスペース立位タイプ

車いす利用者と同伴者が正対
車いす利用者：下手すり
同伴者腰掛け：両手すり



b) UDスペース立位タイプ

ベビーカー利用者と同伴者が正対
ベビーカー固定：上手すり
同伴者腰掛け：両手すり



c) UDスペース着座タイプ

ベビーカー利用者と同伴者が正対
折り畳み腰掛ボックスシート

2段手すり：上手すり：H=950mm、下手すり：H=700mm

図7 移動制約者と同伴者が正対するUDスペース⁽⁵⁾



図 8 UDスペースの公開実験と実用化⁽⁵⁾

カー利用者と同伴者が、正対して乗車できる空間を構成した。

図 6a) に示すように、車いす利用者とベビーカー利用者を共用化したUDスペース立位タイプと、健常者とベビーカー利用者を共用化したUDスペース着座タイプの、2種類を設計・検証した。

従来の車いす利用者のためのスペースを、ベビーカー利用者と共用するコンセプトが、UDスペース立位タイプである。

従来の1本の手すり(H=800mm)を、車いす利用者に適した下手すり(H=700mm)と、ベビーカーハンドル固定に適した上手すり(H=950mm)の2段手すりとした。2段手すりは、同伴者が腰を掛けるために適した寸法とした。同伴者は成人女性である確率が高いと考え、成人女性に適した寸法とした。

図 7a) は車いす利用者と同伴者が正対、図 7b) はベビーカー利用者と同伴者が正対、それぞれ目と目が合っている状況を示す。

従来のボックスシートを折り畳み座席にして、健常者とベビーカー利用者とを共用するコンセプトが、UDスペース着座タイプである。

図 7c) は、座先を折り畳むことで、ベビーカーに乗った乳幼児と同伴者が正対して着座、目と目が合っている状況を示す。

現状のスペースに比べて非常に高い評価を得た。

学識経験者および鉄道事業者への公開実験とフィードバックを経て、図 8b) の東急電鉄池上・多摩川線の新車7000系から実用化される。UDスペース立位タイプの2段手すりは提案のまま、UDスペース着座タイプのコンセプトは固定3人掛ボックスシートとなり、ベビーカー利用者が保護者と正対するスペースが確保されている。

ベビーカースペースではなく、ベビーカー利用者の乳幼児のためのスペースという視点から、図 7c) 上段の乳幼児とベビーカーを描き分けたピクトグラムを提案した。図 2c) 下段は国土交通省の指針で、同伴者・乳幼児・ベビーカーが明確に描き分けられている。

識者や業界団体から構成された「公共交通機関等におけるベビーカー利用に関する協議会」から、“公共交通においてベビーカーはたまたまに利用できる”という指針が出された⁽⁷⁾。



東京都交通局 10-300 形

京王電鉄 5000 系

図 9 当社における UD 手すりの例

4. 2 研究開発の経緯

図 8a) に示すUDスペースの有効性を人間工学実験で検証し、



東京都交通局 10-300 形



静岡鉄道 A3000 形

図 10 当社における UD 吊手の例

その指針を受けて、鉄道車両では、車いすスペースがベビーカースペースとして共用されることを前提に、ベビーカーマークの併記を始め、ベビーカーが利用しやすい車両環境を整える動きが活発化してきている。

この指針が示されたことにより、前述のUD化の研究成果が本格的な実用化に向けて動き出した。

5 次世代車両sustinaへの展開

当社における次世代ステンレス車両sustinaにおいては、UD車内設備は標準的に採用されている。

すでに広く使われているUD手すりの最近の傾向とし

ては、図9の事例のように、優先席の一部に採用されていた着色手すりを一般部にも採用した手すりや、表面を電界処理による梨地仕上げにした手すりなどがある。鏡面仕上げのみであった表面仕上げも、UD研究で行った、すべりにくいものを採用する方向になってきた。

吊手の高さに関しては、各事業者では、未だに試行錯誤が繰り返されているが、図10の事例のように、2段手すりを採用し、身長の高い方の利便性をあげているところもある。

すっきりしない見栄えの問題は、1つで高低それぞれ好みの高さを選んで掴める2段吊手を開発した。高さが100mm違う2つのバーがあり、低い位置に設置するため、ぶつかっても危険の少ないアールの大きな丸形状としている。さらに、つり革との取り付け部分を工夫することで、吊方向も90度変えられ、各事業者がどちらか好きな方を選んで設置が可能となっている。

2015年静岡鉄道A3000形に初採用され、昨年には関東鉄道5010形にも採用された。静岡鉄道は立位者から良く見え、とっさにつかまりやすいように横向きに設置したが、関東鉄道では一般的な三角吊手と同じように縦向きに設置されており、各社の個性が発揮されていて興味深い。

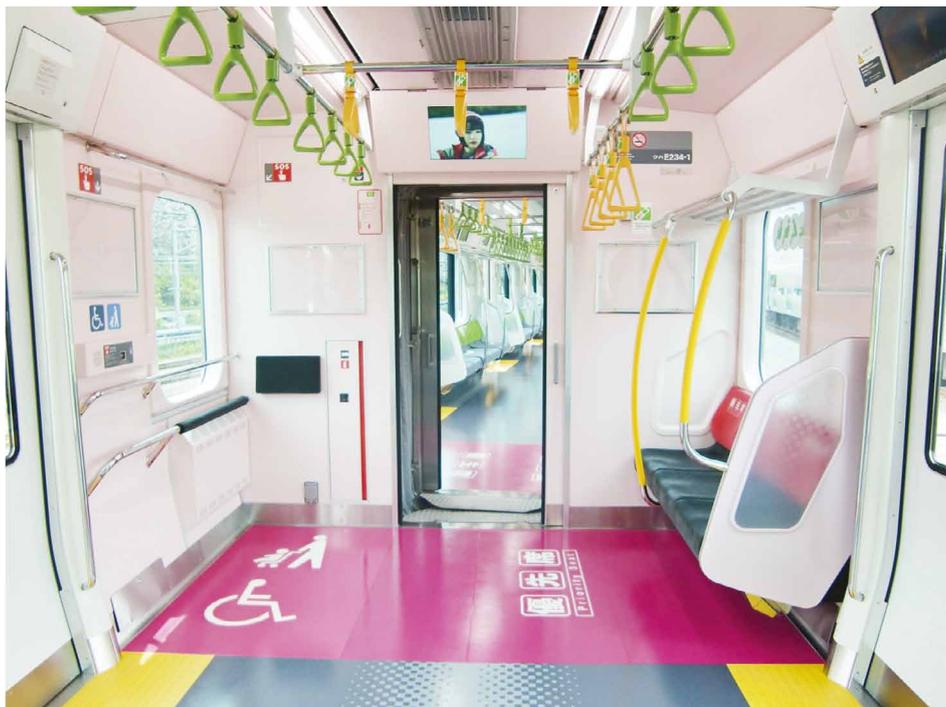


図 11 sustina における UD スペースの例 (JR 東日本 E235 系)

UDスペースに関してはベビーカーの存在が認識されると、様々なタイプのUDフリースペースが各社から登場してきた。1両に1箇所のフリースペースを各車両に設けるタイプや、比較的ひろいスペースを、編成に1カ所、ないしは2カ所設置するタイプなどである。どちらが良いかは、駅施設との兼ね合いもあるので、それを考慮しなければならないが、理想的にはエレベータの近くに設定され、ベビーカーでも使い易い場所を推奨している。

6 まとめ

sustinaシリーズのさらなるUD化は、少子高齢化社会のこれからの日本で、減少傾向にある鉄道利用者対策として最も有効な方策であると考えられる。

今後増え続ける高齢者に、鉄道車両をいかに利用してもらうのか、さらには、自動車利用の多いベビーカー利用者やファミリー層を新たな顧客として取り込んでいくのか、今後のUDの発展いかにかかっている。

本稿では、現在広く使われているUD手すり・吊手とUDスペースの技術史を紹介した。車内における観察から導かれた使いにくさへのUD的気づきがあり、それを専門的な観点から真剣に議論し、コンセプトを構築し、設計し、人間工学的実験で検証することによって、現在のUD車内設備は実用化され、普及してきた。これらの車内設備は、UD研究開発チームの諸氏、とくに鉄道総研の鈴木浩明氏、斎藤綾乃氏、元東急車輛製造(株)の平井俊江氏の熱意とチームワークなくしては、実用化には至らなかった。誌上をお借りして、心からの謝意を示したい。

参考文献

- (1) 平井俊江, 他:「通勤近郊車両のユニバーサルデザイン化の研究-第1報 鉄道車両のUD7+1原則-」, 東急車輛技報, No.55, 2-10, (2005), 東急車輛製造(株)
- (2) 松岡茂樹, 他:「通勤近郊車両のユニバーサルデザイン化の研究, 第2報 UDロングシート部の人間工学実験」, 東急車輛技報, No.55, 11-24, (2005), 東急車輛製造(株)
- (3) 平井俊江, 他:「通勤近郊車両のユニバーサルデザイン化の研究-第3報 移動制約者共用スペースの人間工学実験-」, 東急車輛技報, No.56, 18-31, (2006), 東急車輛製造(株)
- (4) 平井俊江, 他:「通勤近郊車両のユニバーサルデザイン化の研究-第4報「握りやすい支持具」の人間工学実験-」, 東急車輛技報, No.57, 22-31, (2007), 東急車輛製造(株)

- (5) 松岡茂樹:「通勤近郊車両のUD手すりとUDスペース 気づき・コンセプト・研究開発の経緯」, JREA, 第53巻11号, 43-46, (2015), (一社)日本鉄道技術協会
- (6) 斎藤綾乃, 他:「通勤近郊列車のつり革高さと手すり位置の検討」, 人間工学, Vol.42, No.1, 9-21, (2006), (一社)日本人間工学会
- (7) 国土交通省, 公共交通機関等におけるベビーカー利用に関する協議会,
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/sosei_barrierfree_fr_000043.html

著者紹介



斎藤和彦

生産本部

技術部 (デザインセンター) 主任技師



松岡茂樹

技術士 (機械部門), 日本機械学会フェロー

生産本部

技術部 部長 (開発企画)

事故に学ぶ静止輪重管理方法の開発

Development of Management Method of Wheel Load Unbalance Learnt from Actual Accidents

堀越和義 Kazuyoshi HORIKOSHI
松岡茂樹 Shigeki MATSUOKA

本稿では、乗り上がり脱線対策として技術基準化されている静止輪重 10% 管理方法の起源について述べる。1986 年、新開発の東急 9000 系が、営業投入 3 日目に東横線横浜駅で乗り上がり脱線した。事故原因は、製作公差でねじれていた車体が、緩和曲線でねじれた軌道上に停止し、輪重が減少率の目安値以下まで減少したことであった。そこで、輪重減少率の目安値 60% のうち、車体のねじれ等による減少分を 10% 以内に管理することを考案した。それを静止輪重管理手法として確立するとともに、左右輪同時測定輪重装置を開発した。

This paper describes the origin of Management Method of Wheel Load Unbalance specified in the Technical Regulation of Railway Vehicles. In 1986, Tokyu 9000 the brand-new EMU derailed after only three days from debut. The root cause of derailment was excess wheel unloading due to a combination of the car body twist within manufacturing tolerance and the track twist on transition curve. In order to manage the wheel unloading in the threshold of 60%, the limit value for static unbalance was specified to 10%. Then, the Management Method of Wheel Load Unbalance has been established and synchronized measuring machine for each wheel loads was developed.

1 序論

鉄道技術の進展は、重大事故が契機になっていることが少なくない。

例えば、衝突を防ぐための列車防護の歴史についてみると、1956年参宮線六軒事故をきっかけとして車内警報装置が整備され、1962年常磐線三河島事故をきっかけとして自動列車停止装置（ATS）や列車防護無線機が整備されている。

表 1 当社（旧東急車輛製造）発祥の安全技術

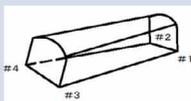
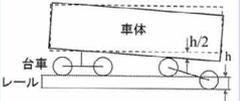
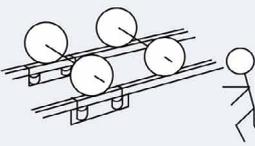
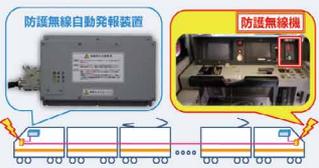
項目	静止輪重10%管理	脱線等検知装置	
契機の事故	1986.3.13 東急横浜駅脱線事故 ⁽¹⁾	2000.3.8 中目黒脱線・衝突事故 ⁽²⁾	2005.4.25 尼崎転覆・衝突事故 ⁽³⁾
事故の知識化	輪重が抜けなければ乗り上がらない	乗員が脱線を認知することは不可能	人間系を介した列車防護は機能しない
安全技術	 静止輪重10%管理	 脱線検知アルゴリズム ⁽⁶⁾	 防護無線機自動発報 ⁽⁷⁾
装置	 輪重測定装置 ⁽⁴⁾	 防護無線自動発報装置(脱線・転覆・衝突検知) ⁽⁷⁾	
備考	2000 中目黒脱線事故対策として技術基準 ⁽⁵⁾ 化	2013.9.17 相模湖駅脱線事故 ⁽⁸⁾ 脱線検知 2014.2.23 川崎駅衝突・転覆事故 ⁽⁹⁾ 衝突・転覆検知	

表 1 に、実際の脱線事故をきっかけとして当社で開発された安全技術を示す。

1986年の東横線横浜駅脱線事故⁽¹⁾をきっかけとして静止輪重を10%以内に管理する方法が考案され、2000年の営団中目黒脱線事故⁽²⁾をきっかけとして技術基準⁽⁵⁾化された。

また、同事故をきっかけとして、脱線検知装置⁽⁶⁾が開発され、2005年の福知山線尼崎事故⁽³⁾をきっかけとして防護無線自動発報装置⁽⁷⁾として普及した。

事故に学ぶという失敗学的な観点からは、事故が発生するメカニズムや被害が拡大す

るシナリオを分析し、それを知識化することで、効果的な再発防止とすることができる。

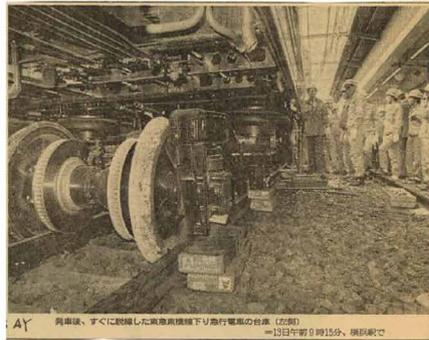
本稿では、そのような失敗学的観点から、静止輪重管理方法と装置の開発について述べる。

2 東横線横浜駅脱線事故⁽¹⁾の概要

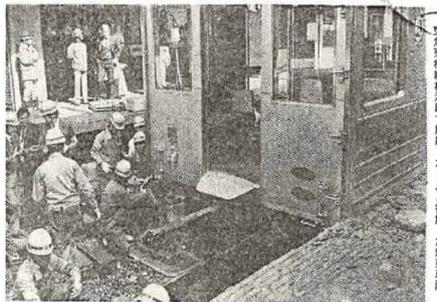
2.1 事象



a) 脱線地点：R200とR300の反向曲線に挟まれたカントで減速区間



b) ホーム側に2軸脱線した台車⁽¹⁰⁾



c) 車体とホームとの衝突⁽¹¹⁾

図1 東横線横浜駅脱線事故の状況

1986年3月13日、新開発の東急9000系が営業投入3日目に、横浜駅構内の出口緩和曲線にて、最後尾の前位台車が外軌側に乗り上がり脱線をした。図1に、東横線横浜駅脱線事故の状況を示す。

7時28分頃、東急東横線横浜駅構内（渋谷起点24.06095km）地点で、下り急行第59-071列車（元住吉発 桜木町行8両編成）が定時発車後（なお、最後尾車は約80名が降車してほぼ空車となった）、25m地点で最後尾車クハ9001号車の第1台車第2車輪が外軌に乗り上がり、7.05m走行して第1台車全軸が外軌側に脱線（渋谷起点24.068km）し、車輪と路盤、車体とプラットフォーム側壁がそれぞれ衝突し、列車監視をしていた車掌が、地震のような揺れを感じ、前方に砂塵が上がったのを発見、非常ブレーキスイッチを操作し、力行運転中（速度約28km/h）の運転士は、非常ブレーキスイッチ操作を感知し、制動の手配を取り、66m走行して停止した。負傷者はなかった。

2.2 原因調査

(1) 経過

脱線事故後直ちに、東急電鉄と旧東急車輛による9001号事故対策会議が設置された。なお、当時は政府等の事故調査委員会は設置されていなかった。

3月24日から26日にかけて元住吉検車区構内に試験線を建設、28日から29日に試験線での予備試験が行われた。

また、再現試験として脱線現場における深夜試運転が3月30日から4月20日にかけて4回にわたり実施され、原因究明および対策の効果確認が行われた。

事故報告書は、4月23日に運輸省に提出された。

(2) 現場および現車調査

脱線地点の現場調査の結果、緩和曲線におけるカント減速倍率は、基準473倍に対して、実測417倍となっていた。これは、東急9000系の台車中心間距離13.8mで換算すると、33mmの軌道ねじれに相当する。

現場での事故調査が完了し、車両が検車区に戻って来て直ぐに床下を調査したところ、車輪踏面の新製時のバイト目の残り

方の違いが注目された。この脱線軸の車輪踏面の様子を図2に示す。外軌側の踏面摩耗が少ないことから、外軌輪の輪重が少なく、左右輪でアンバランスがあることが疑われた。



a) 内軌側踏面(1位) バイト目が消えている



b) 外軌側踏面(2位) バイト目が残っている

図2 脱線軸の踏面の状況

左右の輪重差がある原因を調査した結果、脱線車両の車体は、台車中心間で11mmほどねじれていたことがわかった。

さらに、台車の軸ばねの初期高さの違いが、静止輪重に影響していることがわかった。

上記の軌道ねじれと車両ねじれが逆位相で相乗したことが、輪重変動の要因の1つと推定された。

(3) 試運転試験

80名降車による再現試験

9001号車脱線調査試験結果(横浜駅構内) S. 61. 3. 30

輪重と停車位置からの距離の関係 (第2車輪)

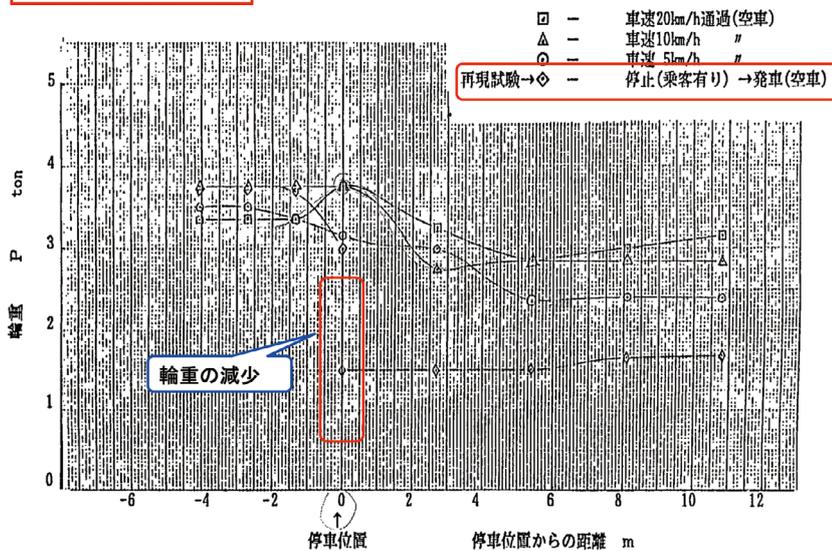


図3 本線再現試験における輪重測定結果⁽¹⁾

3月13日の事故後、元住吉検車区構内試験線での予備試験を経て横浜駅本線上で再現試験が行われた。

再現試験において、事故車が停車してから80名の乗客が降車、再び発車するまでの輪重変化を記録したグラフが図3である。図は停車位置の4m手前から11m先までを示している。

再現試験では、輪重が1.5tonまで減少し、静的輪重抜け割合(後述)としては58%が記録された。当該車輪についてはビデオで録画されており、傍らに車両の非常停止スイッチを設けたモニタからは、車輪が一瞬浮き上がる様子が観察された。

なお、乗り上がり脱線の限度については片輪のフランジがレールの肩に乗り上げた状態での横圧Qと輪重Pの釣り合いから求められる脱線係数 Q/P (ここで横圧Qは1対の輪軸について、車輪がレールを横方向に押す力を表し、輪重Pは車輪がレールを下方向に押す力)により求められるが、横圧Qは車輪とレール間の摩擦係数 μ に大きく支配されるために、文献⁽¹²⁾では普通の乾燥状態で $\mu=0.2$ 、フランジ角度 60° 、踏面勾配 $1/10$ と

して、静的輪重抜け割合だけに注目し、この限度を0.6(60%)と考えるのが妥当とされていた(ここで静的輪重抜け割合 $\Delta Ps/Pm$ とは、輪軸1対の左右どちらかの輪重(P_r または P_ℓ)が左右の平均輪重 $P_m = (P_r + P_\ell) / 2$ に対して減少している割合 $(P_m - P_r) / P_m$ または $(P_m - P_\ell) / P_m$ を表す)。

2. 3 事故原因と対策

横浜駅脱線事故の主な原因は、緩和曲線における軌道のねじれと、製作公差による車体のねじれが逆位相で重畳した結果、輪重が減少し、乗り上がり脱線に至ったと推定された。

軌道側の対策として、カント高さを下げることにより、カント減倍率を600倍とし、軌道ねじれ量を低減した。

車体側の対策として、対角の台枠の空気ばね座部分に、各t6ライナー⁽¹⁾を溶接することにより、車体ねじれに起因する静止輪重アンバランスを低減させ、これを10%以下に管理することにした。

この車両は当時の調整板が取り付けられた状態で、現在も営業に供されている。なお、その後も東急電鉄では同種の事故は再発しておらず、事故対策の妥当性が

示されたと考えられる。

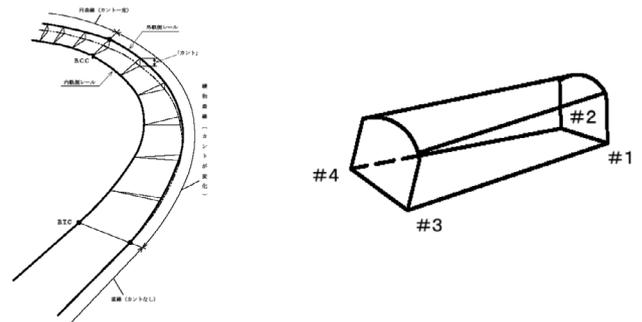


図4 輪重減少の要因：軌道・車体のねじれ

3 静止輪重10%管理手法の開発

3. 1 静止輪重の限度値設定の着想

「静的輪重抜け割合の限度は60%」とすると、運転整備時における静的輪重抜け割合 $\Delta Ps/Pm$ と運転中に生じる静的輪重抜け割合 $\Delta Pd/Pm$ の算術和が60%以内でなければならない。

そこで、「代表的な車両」の諸元を用いて、まず ΔPd

Pmを求め、 $\Delta Ps / Pm$ がどの程度に納まっていなければならぬかを求めることにした。ここで「代表的な車両」としては、脱線した車両に近い20mステンレス製通勤電車の付随車とし、条件の悪い空車で軌間は1067mmとしてこの諸元を用いて算出した。ここでは詳細な計算は省略するが、静的輪重抜け割合の内訳を簡単に表わしたものが図5である。

つまりカント上停止時の輪重抜け割合（軌道傾斜によるもの）は約20%、軌道ねじれによる輪重抜け割合は約25%である。すなわち、車両新製時／運転整備時に許される輪重アンバランスは、残りの約15%ということになる。このうちの5%を余裕分として、車両を初期アンバランスによる輪重減少を10%以内に管理するという着想を得た。

表2 静止輪重アンバランス 10% 管理の配分

部位	アンバランス要因	条件	個体差の輪重バランスへの影響 %
車体	ねじれ	4mm	3
ぎ装	機器左右質量アンバランス	4%	2
台車	軸ばね個体差	1mm	3
余裕	—	—	2
合計	—	—	10

以上により、脱線に対する静的輪重抜け割合の限度60%のうち、10%を車両の初期アンバランス分に割りあてる管理方法の基本が確立した。

3.3 静止輪重管理方法の開発

静止輪重を管理するには、表2の条件に加えて、a) 軸ばねやまくらばね／空気ばねの高さ調整が正しく行われることと、b) 輪重が正確に測定されることが必要である。ここでは a) について述べ、b) については3.4節で述べる。

脱線した車両を詳しく調査したところ、軸ばね調整板の量が各台車内の4箇所ですべて統一性が無く、ばらばらであったことに改めて気付いた。軸箱支持装置の基準高さに対しては図面で許容差が指定されているため、これを守ることに注力していたためである。これにより各軸ばねのたわみ量が異なれば、同一台車内の輪重が異なってしまうことは容易に想像できる。また、空気ばね対角内圧差が最大で20kPaあったことから、1両あたりの対角輪重差が生じてしまうことも当然である。

そこで改めて静止輪重バランスを考慮した高さ調整の手順について見直し、整理した。大きな流れを次の①～③に示す。

- ① 各台車の4箇所、基準荷重時高さの揃った軸ばねおよび同一量の調整板を組み込む。
- ② 空気ばねパンク状態で車体の左右重量アンバランスの補正分と全車体高さ補正分を考慮した軸ばね高さの調整を行い、軸箱支持装置基準高さを規定値内に納める。
- ③ 1台車ごと、左右同時に空気ばねの高さ調整を行う。4箇所同時に高さ調整を行わない。

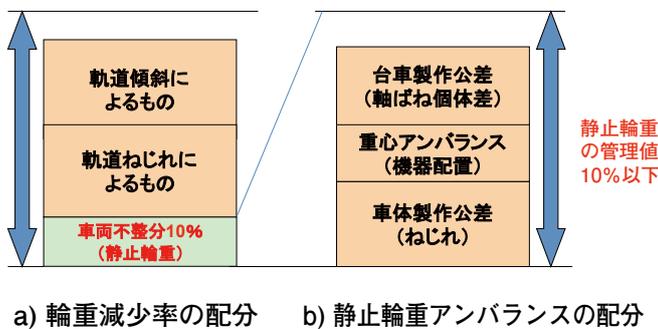


図5 輪重減少率配分

3.2 静止輪重10%管理の要因別配分

静止輪重を10%以内に管理するために、静止輪重アンバランスの発生要因を整理した。それは、事故調査結果から、

- ① 車体のねじれ
- ② ぎ装機器の配置による質量アンバランス
- ③ 台車軸ばね高さの個体差

であることが判明した。②は設計上の要因であるが、①③は製作公差が要因であるため、製造部門と協議した。

①車体のねじれについては、構体の段階で従来から管理していた端台枠の高さの差とともに空気ばね位置での高さの差の管理を強化することにより、台車入れ直前での車体ねじれを4mm以内に管理できることがわかった。

③台車軸ばね高さの個体差に対しては、1mm以内ならば選別組み合わせにより高さを揃えることが可能であることがわかった。以上を整理したものが表2である。

従って運転整備時の静止輪重アンバランスの限度を、8%に対して多少の余裕を見込んで10%とすることに決めた。

輪重測定と調整方法のフローチャート

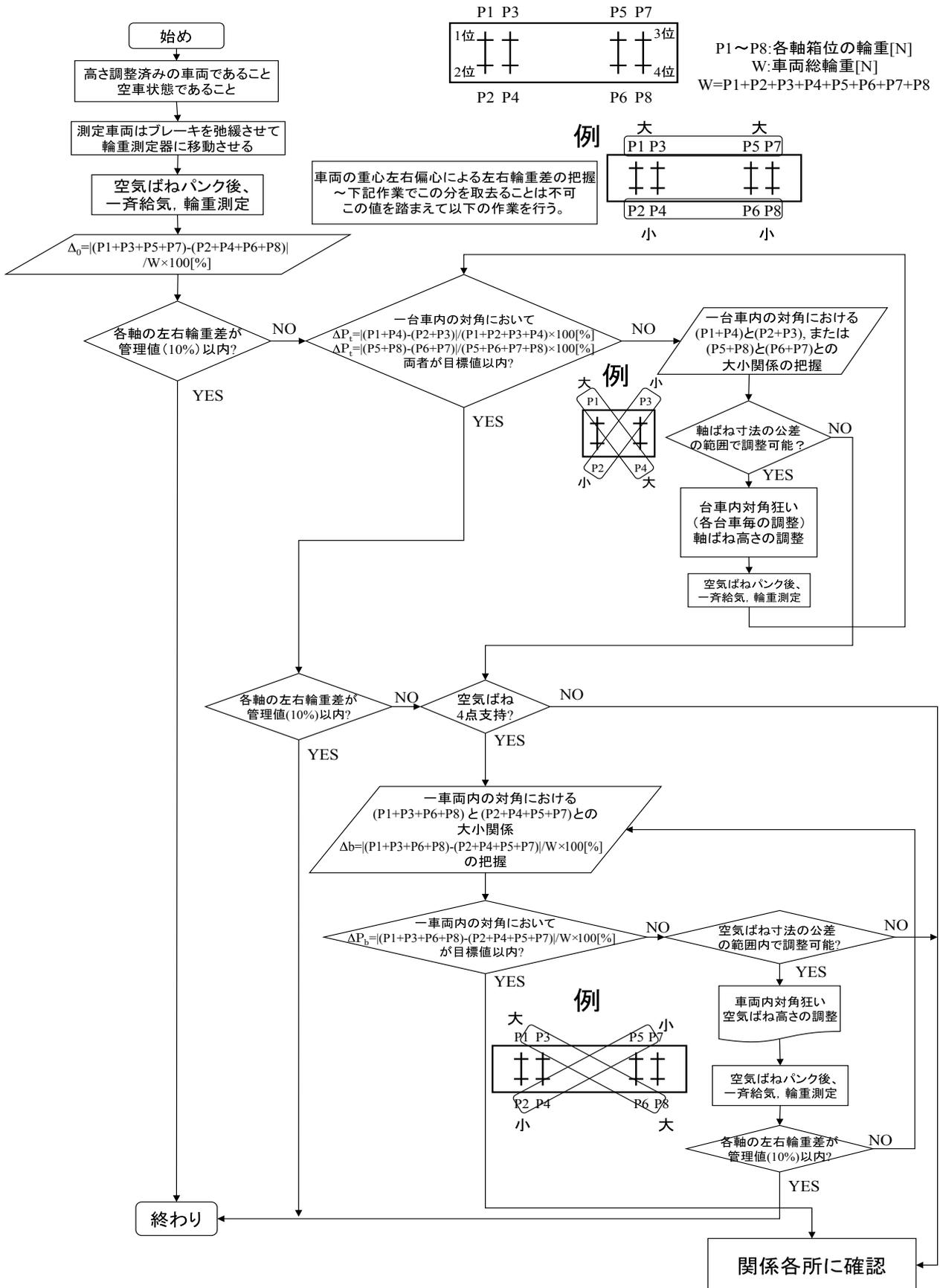
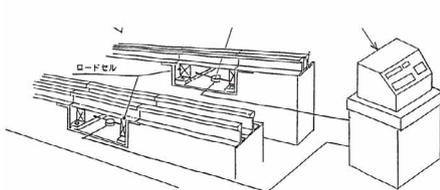


図6 輪重測定と調整方法のフローチャート⁽¹³⁾

結局この方法を採用することにより、ほぼ全ての車両が最終検査段階で再調整を要求されることなく限度の10%以内に納まったのである。

その後高さ調整方法についてはさらなる深度化を進め、「輪重測定と調整方法のフローチャート」⁽¹³⁾ (図6)に示す手順を確立し、社内規格として制定し、さらに日比谷線の脱線事故直後に国土交通省から(社)日本鉄道車両機械技術協会に委託された輪重研究会で報告させて頂き、他社の報告も含めた議論の末、2001年12月25日付け国土交通省令第151号に、「第6項 輪重に関する省令」として定められた。また(社)日本鉄道車両機械技術協会から、2002年3月付けの「静止輪重管理事例集」⁽¹⁴⁾として、鉄道車両業界関係者に配布された。

3.4 左右輪同時測定 輪重測定装置の開発



a) 1987年初代(1軸2輪同時測定)⁽¹⁵⁾



b) 1995年第2代(4軸8輪同時測定)⁽¹⁶⁾



c) 2012年第3代(4軸8輪同時測定)⁽¹⁷⁾

- 定格容量: 8500kg
- 測定精度 非直線性: $\pm 0.1\%$ RO
- ヒステリシス: $\pm 0.1\%$ RO
- 繰り返し性: $\pm 0.1\%$ RO
- 測定台数: 12台
- 測定台長さ: 1200mm
- 測定台精度保証範囲: 中心より ± 500 mm
- 温度補償範囲: $-10 \sim 60^{\circ}\text{C}$

図7 左右輪同時測定 輪重測定装置

静止輪重管理方法を究明する場合、輪重測定方法について正確かつ迅速な方法が求められたため、脱線事故翌年の1987年に当社試走線に設置されたのが1軸/2輪左右同時輪重測定装置である(図7a)。

これは3線軌道の一部を長さ1m程度に分離し、その下部にロードセルを配置したもので、標準軌と狭軌の双方に対応できるものとした。輪重測定では、4軸8輪同時測定が理想ではあるが、まず1軸2輪同時測定により、計測上の問題点の抽出や技術を積み重ねた上で、将来的に4軸8輪同時測定に繋げて行くことを目指していた。

従ってこの装置では、1車両を4回移動させて計測したり、能率を上げるために低速走行計測なども行ってデータを比較した。なお低速走行計測では、車両の微妙な

ローリングが、計測値の再現性に影響を与えたため、この計測方法は採用しなかった。しかし、多少能率は落ちるものの、静止計測を行えば計測精度としては十分なものであり、約8年間活躍した。初代の輪重測定装置である。

4 静止輪重管理の進展と社内基準化

1986年3月の横浜駅脱線事故後に3.3節で述べた高さ調整方法に改めたが、その後2年程の間にデータが積み重ねられたので、さらに理論的に整理し直した上で、1988年に改めて「軸ばね/空気ばねの高さ調整要領」として設計からの指針を定め、これに基づいて高さ調整が行われた。

その後1993年に、JR東日本209系という今までにない非常に軽いステンレス製通勤電車が出現したが、この編成の中間付随車は自重が20tonほどしかなく、そのため

に1軸測定方式のままで輪重アンバランスを確認することが精度的に厳しいことが判明した。そこで設計、製造、品証、生産技術各部門で半年以上にわたり審議した結果、4軸8輪同時測定装置を設置することになった(図7b)。これは狭軌、標準軌、20m車、18m車の各種の車両に対して4軸8輪同時測定ができるものであった。

測定精度については、初代のものがフルスケール7.5ton/輪に対して $\pm 0.2\%$ であったものを $\pm 0.1\%$ に上げた。

また軌道については水準精度向上のため、重軌条化を図り、50kgNレールとした。

その後2012年に更新工事が行われ、現在に至っている(図7c)。

5 技術基準化と知識の保存

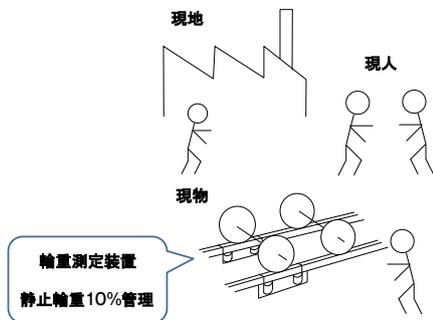
5.1 日比谷線中目黒脱線事故⁽²⁾と技術基準⁽⁵⁾化

2000年3月8日、日比谷線中目黒で脱線・衝突事故⁽²⁾が発生し、5人が死亡、63人が負傷した。脱線した8両編成の列車の最後尾の車両は、静止輪重差が過大であったことから、再発防止対策として2002年に当社発祥の静止輪重管理方法が、そのまま技術基準化された。

5.2 失敗学の三現主義への掲載

失敗学を提唱している畑村洋太郎東大教授(当時)が、中目黒脱線事故後に東急長津田車両工場を視察した。現地に行き、現物を見て、現人と議論するという、三現主義による勝手連調査を実行したものだ。同一要因

による横浜駅脱線事故後の対策として、輪重測定装置による静止輪重管理がすでに行われていることに非常に感銘を受け、失敗学の三現主義の図に輪重測定装置が掲載されることになった。



出典：技術の創造と設計（畑村洋太郎，岩波書店，2006年，ISBN4-00-005244-6 C0353）p305

図8 失敗学の三現主義の図に掲載された輪重測定装置⁽⁴⁾

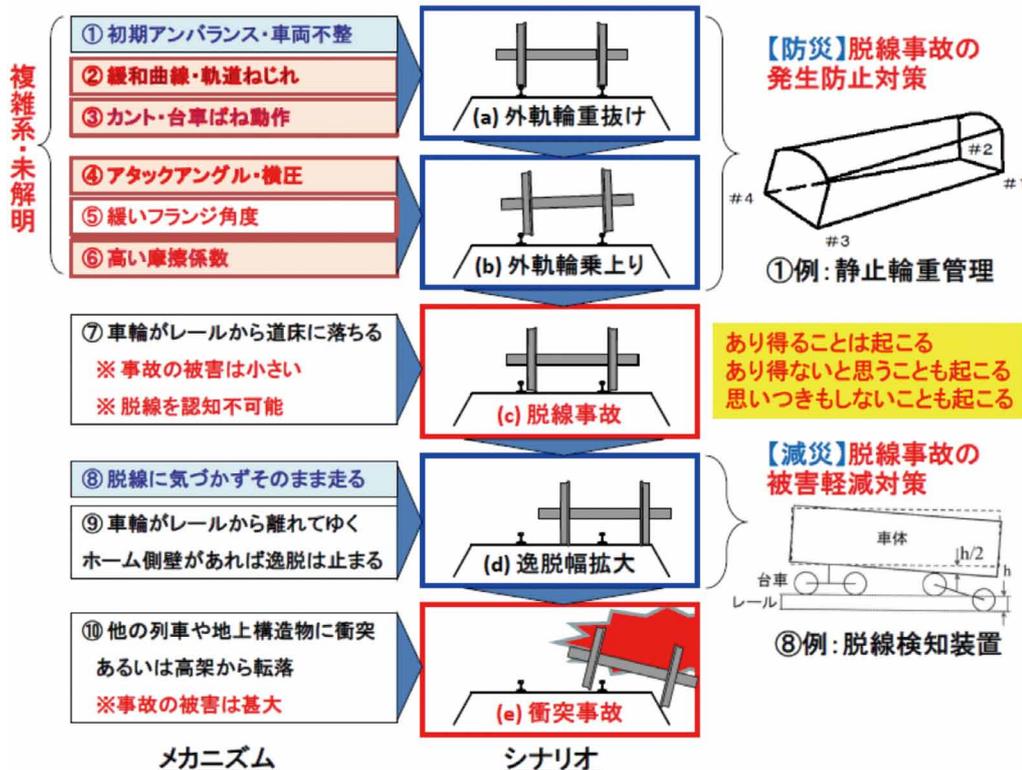


図9 乗り上がり脱線事故のシナリオ分析⁽¹⁶⁾

5.3 乗り上がり脱線事故のシナリオ分析

技術基準化により、乗り上がり脱線防止対策として、静止輪重10%管理は広く知られるようになり、また広く実施されるようになった。しかしながら、事故に学ぶという趣旨の書籍にも、静止輪重の管理基準がなぜ10%なのか、そもそも何のために静止輪重を管理するのか、記載されていなかった。

そこで、静止輪重管理の起源を記録するために、当時の東急電鉄と旧東急車輛の脱線事故の担当者を招き、社内講演会で座談会「横浜脱線事故に学ぶ」⁽¹⁵⁾を開催し、当事者の証言を記録するとともに、失敗学的手法であらためて知識化を行った。図9に、乗り上がり脱線事故のシナリオ分析結果を示す。

5.4 脱線車両東急クハ9001の現状と価値

三現調査という観点でみると、現地の横浜駅は地下化ですでに失われたが、現人の証言は座談会で記録し、現物の車両調査も実施した。

東急クハ9001は、8両編成でデビューして東横線で使用され、その後5両編成に短縮されて大井町線で使用されている。

図10に、東急クハ9001の現状を示す。現在も、ほぼ製造当時のオリジナルのまま使用されている。脱線台車の軸箱守の下面には、レールに落下したときの脱線痕が残っている。さらに、車体ねじれ修正のために挿入されたt6ライナもそのまま残っている。

あり得ることは起こる
あり得ないと思うことも起こる
思いつきもしないことも起こる

【減災】脱線事故の被害軽減対策
⑧例：脱線検知装置

東急9000系は、軽量ステンレス車両・VVVF制御・ボルスタレス台車という、今なお標準的に使われている3大技術を世界で初めて採用した車両であって、技術史上で顕著な普遍的価値(Outstanding Universal Value)を有すると考えられる。

事故車両ではあるが、技術基準になった静止輪重管理手法の確立につながった証跡も現車に残されており、同種の事故が少なくとも東急電鉄では再発していないという点で、鉄道システムの安全性向上に大きく貢献した車両であると考えられる。

そのような技術史のおよび失敗学的な観点から、同車の価値を再評価するとともに、引退後は後世に残すべく保存されることが望まれる。



初の軽量ステンレス VVVF 車両



現車に残る脱線補修痕



現車に残る対策工事痕
東急では同種の脱線事故は再発していない

技術基準となった静止輪重管理10%の
礎となり、安全性向上に貢献した車両。

TS-1005 ボルスタレス台車 ペDESTAL式

図 10 東急クハ 9001 (1986) の現状

6 結論

本稿では、1986年の東横線横浜駅脱線事故の再発防止として開発された静止輪重10%管理の開発の経緯を述べた。その後、その効果が評価され、技術基準に掲載されている。そのため、方法自体は鉄道関係者にはよく知られているが、どのように静止輪重管理方法を開発したか、なぜ基準値を10%としたかについては対外発表をしてこなかったことから、その起源については知られていなかった。

そこで、当社では当時の関係者による講演会・座談会を開催するとともに、現車調査を行い、その技術史を立体的に記録するとともに、社会に発信することにした。

本稿が、当社で生まれた安全技術である静止輪重管理の起源を記録するだけでなく、今後の安全技術の発展にも寄与することを期待したい。

本稿をまとめるに当たり、元東急電鉄 荻原俊夫氏、東急電鉄(元東急車輛)尾崎正明氏、東急電鉄 門田吉人氏には多くのご助言とご協力を賜った。誌上をお借りして、謝意を表したい。

参考文献

- (1) 東京急行電鉄株式会社：「列車脱線事故の原因調査結果ならびに防止対策に関する報告書」, (1986)
- (2) 事故調査検討会：「帝都高速度交通営団日比谷線中目黒駅構内列車脱線衝突事故に関する調査報告書」, (2000)
- (3) 航空・鉄道事故調査委員会：「西日本旅客鉄道株式会社福知山線塚口駅～尼崎駅間列車脱線事故 鉄道事故調査報告書」, (2007)

- (4) 畑村洋太郎：「技術の創造と設計」, (2006) 岩波書店
- (5) 国土交通省：「解説 鉄道に関する技術基準(車両編)改定版」, (2006)
- (6) 平林健一, 他：「本線走行に対応した脱線検知措置の開発」, 東急車輛技報, No.51, 2-7, (2001), 東急車輛製造(株)
- (7) 茂呂貴史：「安研型防護無線自動発報システム」, 東急車輛技報, No.58, 46-53, (2008), 東急車輛製造(株)
- (8) 運輸安全委員会：「東日本旅客鉄道株式会社 中央線 相模湖駅構内 列車脱線事故 鉄道事故調査報告書」, (2015)
- (9) 運輸安全委員会：「東日本旅客鉄道株式会社 東海道線(京浜東北線) 川崎駅構内 列車脱線事故 鉄道事故調査報告書」, (2015)
- (10) 朝日新聞, 1986.3.13夕刊, 東横線脱線朝の”足” 混乱
- (11) 神奈川新聞, 1986.3.14朝刊, 最新車両が脱線
- (12) 国枝正春, 他：「鉄道技術研究報告No.S3(車両編), 脱線に対する安全基準」, (1968), 日本国有鉄道鉄道技術研究所
- (13) 「輪重測定と調整方法のフローチャート」, 技術資料 DD-34414a, (2001), 東急車輛製造(株)
- (14) (社)日本鉄道車両機械技術協会 車両研究会：「静止輪重管理事例集」, (2002)
- (15) 松岡茂樹, 他：「J-TREC Engineering Forum (JEF) における失敗学的技術者教育 -自分で考え 自分で行動する 強い技術者への意識改革」, 総合車両製作所技報, Vol.4, 66-73, (2015), (株)総合車両製作所
- (16) 松岡茂樹：「脱線等検知システムの開発・実用化と動作実績に基づく開発コンセプトの検証」, 第12回 JSCMシンポジウム, (2015), レール・車輪接触力学研究会

著者紹介



堀越和義

J-TRECデザインサービス株式会社
取締役
設計部長



松岡茂樹

技術士(機械部門), 日本機械学会フェロー
生産本部
技術部 部長(開発企画)

事故に学ぶ脱線検知装置の開発史

Technological History of Derailment Detectors Learnt from Actual Accidents

長本昌樹 Masaki NAGAMOTO
松岡茂樹 Shigeki MATSUOKA

本稿では、実際の脱線事故に学び、事故被害の減災化のために開発された、脱線検知装置（JR 東日本向防護無線自動発報装置）について述べる。一般的に、脱線事故それ自体の被害は小さいものの、脱線走行を続けて2次的衝突事故が起こると被害が拡大する。そのような2次的事故を減災化するため、自動的に脱線を検知する脱線検知アルゴリズムを開発・検証することで、防護無線機を自動発報して列車防護する脱線等検知装置を開発し、首都圏各線に設置した。その装置は実際の2件の脱線事故で脱線・転覆・衝突を検知し、その有効性が証明された。

This paper describes the development of Derailment Detectors learnt from actual derailment accidents. The harm from derailment itself is very small, but if the derailed train continues running, a secondary crash/collision accident can occur and the harm can become very severe.

In order to reduce severe harm from secondary accidents, Derailment Detecting Algorithms (DDAs) have been developed and its Derailment Detecting Performance (DDP) has been verified in derailment experiments. Also Derailment-Rollover-Crash (DRC) detector with DDAs for activating the Train Protection Radio (TPR) has automatically been developed and now widely used in the metropolitan area of JR-East. In two actual accidents, it has been proven that DRC detector is very effective for preventing secondary accidents.

1 序論

車両・インフラ・運転・外乱などのさまざまな要因により、列車が脱線することがある。実際に、重大被害を伴う脱線事故が発生している。

実際の脱線事故を分析した結果、脱線事故そのものによる被害は、一般的には軽微である。脱線現象は、車輪が線路から落下する現象で、落下高さは在来線で153mm程度と、航空機など他の交通機械の落下高さにくらべると非常に小さい。

そのため、乗務員が脱線現象を認知することは困難であり、脱線状態のまま気付かずに走行を続ける場合がある。車両が脱線状態のまま走行して、線路から逸脱、建築限界を超過すると、対向列車や地上構造物と衝突して重大被害に至ることがわかった。

そこで、脱線を自動的に検知して、重大な2次被害に至る前に列車を止めるという、脱線検知装置の概念が佐藤国仁氏（元東急車輛 開発担当）により、1995年に世界で初めて発案され、構築⁽¹⁾された。

脱線検知装置は、JR東日本との共同研究開発により構築⁽²⁾され、2000年日比谷線中目黒事故⁽³⁾をきっかけとして脱線検知装置として開発⁽⁴⁾された。

さらに、2005年福知山線尼崎事故⁽⁵⁾をきっかけとして、

転覆・衝突検知機能を付加、防護無線自動発報装置⁽⁶⁾としてJR首都圏の各線に普及した。2013年中央線相模湖事故⁽⁷⁾、2014年京浜東北線川崎事故⁽⁸⁾で実際に脱線・衝突・転覆を検知して防護無線を自動発報し、脱線検知装置の有効性が実証^{(9)~(11)}された。

本稿では、当社発祥の脱線検知装置の技術史について述べる。

2 脱線検知の概念構築

2.1 脱線事故の想定

日本の鉄道における脱線の歴史を顧みると、1960年代までは、車軸折損などの車両破損、軌道破損や障害物、速度超過・信号冒進などの運転のミス、天災などの外乱要因など、ほぼ単一要因による事故が多かった。

しかし、その再発防止対策が進むにつれて、1963年の鶴見事故のように複合要因による事故が目立つようになる。当初はメカニズムが未解明で「競合脱線」と呼ばれていたが、現在では「乗り上がり脱線」としてメカニズムが解明されつつある。

さらに、大地震における車両の逸脱防止装置や脱線防止ガードの設置などの対策は行われてきているが、事実として脱線事故は毎年発生している。

このように、脱線要因は多岐にわたっており、また未解明である。また、踏切障害物や想定以上の天災などにより列車が脱線することは、起こり得ることとして想定しなくてはならない。

すなわち、脱線事故の発生を防止する対策だけでなく、脱線事故の発生を前提とした被害低減（減災）対策が必要であるといえる。

2. 2 脱線事故の知識化

【事例】中目黒脱線・衝突事故(2000.3.8)
脱線に気づかず走行し(脱線痕50m)、逸脱して対向列車と衝突した。



【知識化】脱線しても乗員は認知不可能。
・落下高は、高々レール高さ(50N-153mm)
・脱線後も、そのまま道床上を走行できる
※他の交通機械と落下との違い:脱線には対義語:復線がある

脱線検知アルゴリズム

【事例】尼崎転覆・衝突事故(2005.4.25)
事故列車の乗務員は車載の防護無線機を発報できなかった。
が、対向列車との2次衝突は避けられた。



【知識化】人間系を介した非常停止システムは、非常時に機能しない。

防護無線自動発報装置

図1 中目黒事故、尼崎事故の知識化⁽⁹⁾

図1左は、中目黒脱線・衝突事故⁽³⁾ (2000年)を示す。この事故で、5人が死亡、63人が負傷した。第一の事故である8両編成列車の最後尾車両が脱線した時点では、誰も負傷していなかった。しかし、乗務員は脱線現象を認めることができず、そのまま走行を続けた結果、対向列車との衝突という第二の事故に至り、死者・負傷者が発生した。

中目黒事故から学ぶべき最も重要な知識は、列車の乗務員が乗務中の列車の脱線を認知することができないということである。この知識から、佐藤氏提唱の脱線検知装置の概念が着目され、実用機の開発が始まる。

図1右は、尼崎転覆・衝突事故⁽⁵⁾ (2005年)を示す。この事故で、107人が死亡、562人が負傷した。列車の乗務員は、接近する列車との衝突を防止するために車両に装備されている防護無線機を発報することができなかった。

尼崎事故から学ぶべき最も重要な知識は、人間系を介した非常停止システムは、非常時には機能しないということである。

この知識から、4項にて後述する、防護無線自動発報装置の設計思想が確立した。

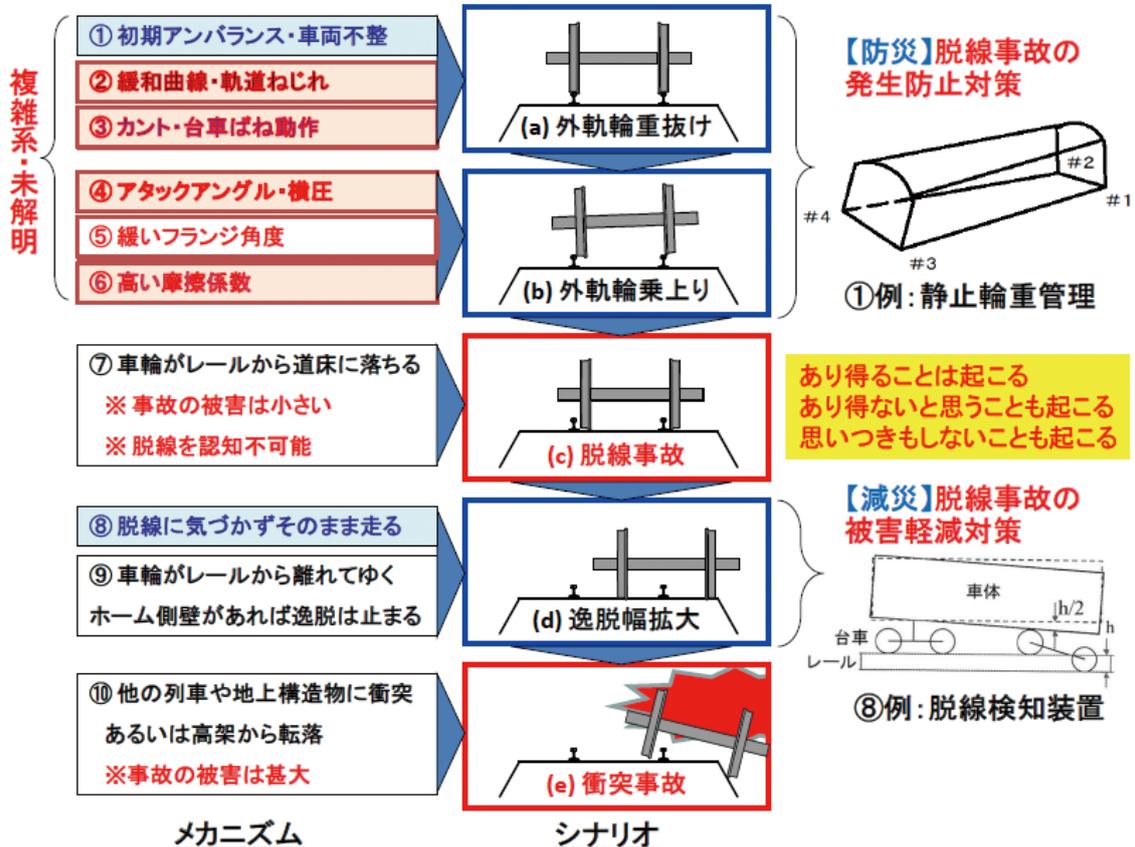


図2 乗り上がり脱線事故のシナリオ分析⁽⁹⁾

2.3 脱線検知の概念構築

前述のとおり、実際の事故で得られた知識から、当社では車両の脱線現象を検知して早期に停車させ、2次災害を軽減する脱線検知の概念を構築するに至った。当時の脱線検知装置の開発担当であった佐藤国仁氏（元東急車輦勤務）はこう語っている。

「脱線事故事例からシナリオ分析を行ってみると、脱線事故自体は通常は軽微な被害であるが、それに気付かず走り続けると、大きく逸脱して衝突など大規模な2次災害を引き起こすことになる。このことから脱線現象を検知して早期に停車させ、2次災害を軽減する脱線検知の概念を構築した。力学モデルを作成し、脱線時の確定現象である輪軸落下に着目、上下加速度の二重積分で演算。その後の確率現象である不整地走行検知も含め、検知が難しい低速脱線も検知可能であることを見出した。」(図2)

2.4 脱線検知アルゴリズムの構築

当社では、前述のとおり、脱線落下の力学モデルを作成、脱線時の確定現象である輪軸落下を、また脱線後の確率現象である不整地走行検知を検知方法として検討した。

前者の輪軸落下の検知は、車体上下加速度を計測ののち二重積分を行い、脱線時に車体の下方変位を得るものである(図3①)。

二重積分は次の条件を加えた特殊な条件で行う。

- (1) 二重積分開始時の変位・速度を0とする
- (2) 脱線変位を検知し軌道不整の影響を排除できる評価時間を設定する(200msに設定)
- (3) 車体変位の上昇分を分離するため、下方変位(沈下分)を検出する

上記手法により、縦曲線や軌道不整を含んだ軌道走行状態から得られる値と、脱線時における軌条からの落下から得られる値に差異があることを実車試験により検証した。

後者の不整地走行検知については、脱線後の上下加速度から脱線を判定する方法がある。開発時は2種類の脱線検知理論を構築し、実車試験にてこれらを評価した。

(1) 加速度による脱線検知理論1

鉄道車両が軌道上を走行する場合と脱線時に道床を走行してしまう場合とでは、加速度の振幅に差異がある。この差異を検知することで脱線を検知するが、一方でレール継ぎ目、分岐器、および部分的に大きな軌道狂いに対しても、瞬間的に振幅の大きな加速度が発生すると考えられる。

そこで、計測された車体加速度から、車両設計上通常加速度を抑えている周波数帯の加速度を抽出し、一定時

間(判定時間)分蓄積、この中で既決されているしきい値をこえた加速度の頻度を求め、その頻度が既決されている判定回数のしきい値を超えた場合に脱線と判断する。

(2) 加速度による脱線検知理論2

車両は車速の違いにより、車体上下振動も変化する。本理論ではしきい値を一意的に決定せず、かつ車体上下加速度以外の信号の入力を行わない方法を考案した。

車速は急激に変化せず、また、加速度は異常時突発的に大きく発生する。そこで、計測された車体加速度から車両設計上通常加速度を抑えている周波数帯の加速度を抽出し、一定時間の加速度を積算した加速度積算値を用い、現在の加速度積算値と、一定時間前の加速度積算値を比較し、極端に変化している場合に脱線と判定する(図3②)。

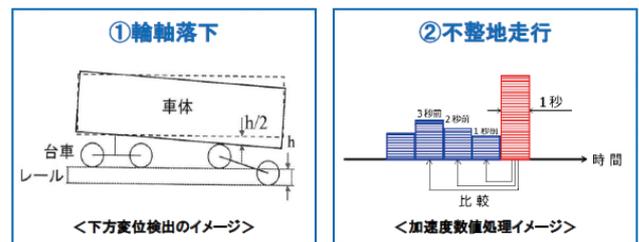


図3 脱線検知アルゴリズム⁽⁹⁾

上記で検討した脱線検知方法は、図4に示す実車両による脱線実験の実施により検証を行った。また、本線走行における、通常走行での妥当性確認も複数車種・線区にて2万kmで実施し、いずれの検知方法も本線走行での実用に耐えうるとの評価結果を得た。

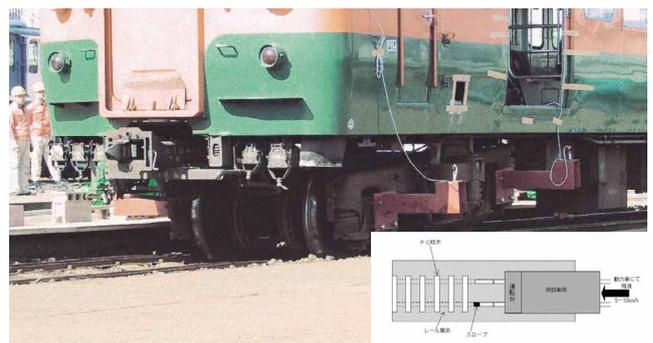


図4 実車両による脱線実験⁽¹⁾

3 JR東日本向け脱線検知装置⁽⁴⁾の開発

前項で説明した脱線検知アルゴリズムの考案とほぼ同時期、1999年から2000年にかけて、JR東日本との共同開発にて、脱線検知装置の開発を行った。開発にあたっては、考案した脱線検知アルゴリズムの検証のため、営業車両各形式での仮設モニターラン(7車種10線区20973.4km)および、実車両による低速脱線試験(図4)



図5 脱線検知装置外観⁽⁴⁾

を実施し、得られた成果から車両表面に1台車あたり1台搭載としてE993系試験電車に本格的に装着し、実車による加速度データ収集および稼動試験により、実用レベルを高めていった。

そして2006年、初の量産型脱線検知装置としてE331系電車(14車体16台車)に編成全数搭載、運用開始が実現した。メンテナンス性と低コスト性に配慮したセンサ部と制御部の一体構造を採用し、車両の取り付けにおいても事故損傷の可能性の低い、車両床上・室内の高所とし、乗務員室内または連結妻内に搭載された。この装置は、次項で述べる防護無線自動発報装置の礎となった(図5)。しかし、E331系自体の増備が無かったこと、また当社も車載向け量産製品の拡販・取扱ノウハウが未熟であり、その点でさまざまな解決が必要な課題を提供してくれた製品としても重要なエポックである。

4 JR東日本向け防護無線自動発報装置の開発

4.1 仕様

表1は、JR東日本向けの防護無線自動発報装置の仕様を示す。防護無線自動発報装置は通常、列車編成の各先頭車両の運転台に取り付けられるが、全車両の脱線を検知するために各車両の妻面に設置することも可能である。

防護無線自動発報装置は、異常モードに対応した3つのレンジの3軸加速度センサ、CPU制御基板と内蔵記録媒体からなる一体構造の装置である。

異常(検知)モードと検知アルゴリズムは、次項4.2で、検知後の動作については4.3項で説明する。

4.2 脱線・転覆・衝突検知アルゴリズム

表2は、防護無線自動発報装置に搭載される3つの異常モードと5つの検知アルゴリズムを示す。3つの異常モードは、防護無線を発報すべき事故で生じる「脱線」「転覆」「衝突」であり、5つの検知アルゴリズムは、脱線:

「輪軸落下」「不整地走行」、転覆:「転覆(車体ロール)」, 衝突:「前面衝突」「左右衝突」である。

表1 防護無線自動発報装置 仕様⁽¹⁰⁾を和文化

機能名	詳細仕様
異常検知モード	脱線(落下高さ・異常振動) 転覆 衝突(前面・側面)
脱線検知性能 (脱線実験より)	輪軸質量: 8t/輪 脱線車両速度: 1m/s 脱線軸数: 先頭2軸
検知後の動作	防護無線機自動発報 乗務員に通知(画面表示) 加速度データの記録
基本構成	3軸加速度センサ CPU CFカード
外形寸法・質量	230mm×380mm×68mm, 4.5kg

表2 防護無線自動発報装置 検知アルゴリズム⁽⁹⁾

異常モード	検知アルゴリズム	
脱線 (輪軸落下)	①輪軸落下 判定時分200ms 	②不整地走行 判定時分1000ms
	転覆 (ロール方向)	③転覆 判定時分700ms
衝突 (前後・左右)	④前後衝突 瞬時値判定 判定時分5ms 	⑤左右衝突 瞬時値判定 判定時分5ms

2つの脱線検知アルゴリズムは図3および2.4項で説明したものを採用している。転覆検知アルゴリズムは、車体の傾斜角度が大きくなると、装置におけるz軸方向の加速度(基本的に重力に支配)が縮小することを利用して。また、衝突検知アルゴリズムは、あらかじめ設定したx軸方向、またはy軸方向の瞬間的な加速度値によって検知する。

各々のアルゴリズムのしきい値は2.4項で述べた脱線実験を含む実車実験と、鉄道車両を模擬した実験装置を使用した衝突および転覆実験、5章で説明する営業列車における延べ数億kmにおよぶ通常状態での運用実績、およ

び事故時の検知実績で証明されている。

4. 3 検知時の動作

図6は、防護無線自動発報装置の検知後の基本的な動作を示す。防護無線自動発報装置が異常を検知すると、自動的に以下の動作を実行する。

- (1) 周辺の列車の運転席へ、防護無線を発報する。
- (2) 検知した列車の両運転台のモニタ表示器に通知する。
- (3) 装置の検知前後一定時間の3軸加速度データを記録し、外部記憶装置（CF）に保存する。

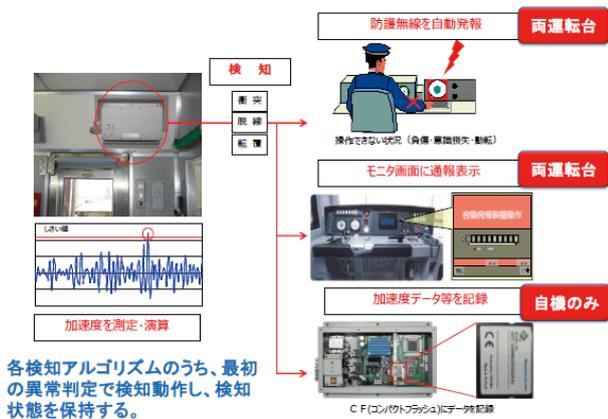


図6 防護無線自動発報装置 検知時の動作⁽⁹⁾

5

JR東日本向け防護無線自動発報装置の普及と実際に発生した事故時の動作

5. 1 首都圏各線への普及

図7に、JR東日本の首都圏での防護無線自動発報装置の普及状況を示す。



図7 JR東日本向け防護無線自動発報装置普及状況⁽⁹⁾

2008年に量産初期ロットが出荷され、JR東日本E233系に搭載・運用開始したのを皮切りに、首都圏の各線区と走行車種に順次搭載運用され、近年では防護無線自動発報装置がJR東日本の首都圏すべての線区で使用され

ている。2017年現在、首都圏の走行車両編成の90%において使用され、当社納入実績は1969台、976編成となっている。累積走行距離は、年間約3億kmとなっている。

5. 2 実際の事故における検知動作

図8および図9は、防護無線自動発報装置が事故を検知した2つの実際の脱線事故を示す。

図8は、相模湖脱線事故⁽⁷⁾（2013年）を示す。10両編成の列車の最後尾の車両先頭車より台車にある2本の車軸が脱線した。脱線の後、防護無線自動発報装置は脱線を検知して、防護無線を発報、そして運転士が非常ブレーキを扱い停車した。最後尾の車両は、脱線の影響でプラットフォームの側壁に衝突したが、幸いにして負傷者はいなかった。

この時の脱線検知アルゴリズムは、図3②に示す不整地走行検知モードで、脱線を検知した。

脱線と反対側台車の脱線を検知したことは、想定した設計仕様の範囲ではないが、通常の走行振動よりも過大な振動が反対側まで伝達したことにより、検知できたと考えられる。

乗務員が脱線を認知する前に脱線を検知して、防護無線を自動発報しており、この装置の設計思想が妥当であることが示された。



図8 実際の事故における検知動作（相模湖駅脱線）⁽⁷⁾

図9に、川崎脱線事故⁽⁸⁾（2014年）を示す。最終列車後の回送列車が人為ミスによって軌道に置かれた保守用機械に衝突し、先頭車両が転覆、その他の車両も脱線または大きな衝撃を受け2人の乗務員が負傷した。

列車が機械に衝突したとき、防護無線自動発報装置は衝突を検知して、防護無線を発報した。先頭車両は衝突後転覆したが、装置は転覆相当の検知加速度を記録していたことも確認された。

先頭車両の前面床部分は激しく損害を受けたが、防護

無線自動発報装置は運転室の天井付近に設置されていたため、損傷を受けずに、正常にその機能を発揮した。

このことにより、衝突被害を受けにくい天井付近に設置するという設計思想が妥当であることが示された。



図9 実際の事故における検知動作（川崎駅衝突）⁽⁸⁾

6 結論

実際の事故に学び、当社で発祥した脱線検知装置の技術史を概観した。

乗務員は脱線を認知できないと知識化し、脱線を自動的に検知することにより、重大な2次災害に至る前に列車を止めるという脱線検知の概念は、1995年に構築された。

脱線検知装置は2006年に開発・実用化され、防護無線自動発報装置として2008年に開発・普及した。2013年と2014年に発生した実際の脱線事故で検知することにより、その有効性が実証された。

鉄道システムの安全性向上に向け、脱線検知装置をさらに普及させるべく、開発を進めたい。

参考文献

- (1) 平林健一，他：「本線走行に対応した脱線検知措置の開発」，東急車輛技報，No.51，2-7，(2001)，東急車輛製造（株）
- (2) 金子健一，他：「脱線検知装置の開発（車体振動による検知方法とその検証）」，平成14年鉄道技術連合シンポジウム（J-Rail2002）講演論文集，131-134，(2002)
- (3) 事故調査検討会：「帝都高速度交通営団日比谷線中目黒駅構内列車脱線衝突事故に関する調査報告書」，(2000)
- (4) 平林健一：「車両モニタリングシステム」，東急車輛技報，No.53，65-67，(2003)，東急車輛製造（株）
- (5) 航空・鉄道事故調査委員会：「西日本旅客鉄道株式会

社福知山線塚口駅～尼崎駅間列車脱線事故 鉄道事故調査報告書」，(2007)

- (6) 茂呂貴史：「安研型防護無線自動発報システム」，東急車輛技報，No.58，46-53，(2008)，東急車輛製造（株）
- (7) 運輸安全委員会：「東日本旅客鉄道株式会社 中央線相模湖駅構内 列車脱線事故 鉄道事故調査報告書」，(2015)
- (8) 運輸安全委員会：「東日本旅客鉄道株式会社 東海道線（京浜東北線）川崎駅構内 列車脱線事故 鉄道事故調査報告書」，(2015)
- (9) 松岡茂樹：「脱線等検知システムの開発・実用化と動作実績に基づく開発コンセプトの検証」，第12回JSCMシンポジウム，(2015)，レール・車輪接触力学研究会
- (10) S. Matsuoka, K. Ishikami, M. Nagamoto, “Development of the Derailment-Rollover-Crash (DRC) Detector and its Derailment Detection in Actual Accidents” , Proceedings of the Third International Conference on Railway Technology, Civil Comp Press, 2016
- (11) S. Matsuoka, M. Nagamoto, “Development of the Derailment-Rollover-Crash Detector learnt from and Actual Accidents” , JREA Japanese Railway Engineering, Vol. 56 No.3 pp17-20, 2016.7

著者紹介



長本昌樹
生産本部
技術部（商品開発）課長



松岡茂樹
技術士（機械部門），日本機械学会フェロー
生産本部
技術部 部長（開発企画）

座談会 鉄道コンテナ技術の源流をたずねて —鉄道コンテナ誕生から PANORAMA BOX まで—

Special Talk on the Technological History of Railway Container
From the Dawn to 'PANORAMA BOX'

現在、総合車両製作所はライン生産設備を有する国内唯一の鉄道コンテナ製造メーカーである。日本における鉄道コンテナ輸送の源流は1959年製の試作コンテナ5000形で、6000形として実用化された。1966年に登場した量産形のC10系では、C11形にて3方開を実現している。また1971年に登場したC20系では5トンコンテナの12フィート化がされるとともに、ISOに対応した隅金具を取り付け、ISO国際規格化への対応の先駆けとなる。国鉄末期のC30系の時代には、モータリゼーションの影響からヤード廃止の輸送形態変化の影響を受ける。1987年に登場した18系コンテナからは容積拡大が図られ、1992年の現行19系へとつながる。また、この時期には30フィート、31フィートのコンテナが登場し、2017年の31フィート3方開のPANORAMA BOXへとつながる。そのような鉄道コンテナ技術の発達史を、鉄道博物館に保存されている黎明期の6000形と現行形の19D形の現物を前に座談会形式で語る。



司会 伊藤千明 Chiaki ITO	コーディネータ 及川昌志 Masashi OIKAWA	パネラー 西村哲 Satoru NISHIMURA	パネラー 森川忠男 Tadao MORIKAWA	パネラー 松岡茂樹 Shigeki MATSUOKA	パネラー 鈴木久郎 Hisao SUZUKI
技術部（技術企画）	博士（工学）、技術部 （技術企画）課長	和歌山製作所、 設計課長、 コンテナの設計・ 開発を担う。	1964年入社、当社 OB、コンテナの開発 に従事。	技術士（機械部門）、 日本機械学会フェロー、 技術部部長（開発企画）、 車両設計・開発、経 営企画を経て現職。	技術部（ぎ装担当）グ ループリーダー、鉄 道車両・産業遺産全 般に造詣が深い。

1 はじめに

及川：今日は「総合車両のコンテナ技術の源流をたずねて」をテーマに、さいたま市の鉄道博物館に場をお借りして、旧国鉄向け鉄道コンテナの開発に携わった森川さんと、現在のJR貨物向け鉄道コンテナの開発を行っている西村さんからお話を伺います。また、研究開発担当の松岡さん、車両設計担当の鈴木さんをパネラーにお招きしています。司会は伊藤さんです。

伊藤：よろしくお願ひします。では、まず鉄道コンテナの発達史について、振り返りたいと思います。

松岡：主力の5トンコンテナについての発達史を、表1に示します。ここにあるグリーンコンテナ（6000形）が1964（昭和39）年東急車輛製造（以下東急車輛）横浜製作所製で、紫色のコンテナ（19D形）が2001（平成13）年同じく大阪製作所製です（図1、図2）。

森川：6000形は最初の実用化コンテナで、その製作に携わりました。5000形が試作コンテナで、1959年に開発しました。

鈴木：日本初のステンレス車両の完成が、その翌年、1958年にコンテナを開発したのですね。

森川：当時は、台車設計で設計していました。その後、

海上コンテナにも進出し、コンテナ事業部として独立していた時代もありました。海上コンテナ技術が、鉄道コンテナにフィードバックされていた時代でもあります。

表1 鉄道コンテナの発達史⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

製造初年	製品群名称	5トン有蓋コンテナ代表形式	記事
1959	5000系	5000, 6000形	試作・実用化
1966	C10系	C10, C11, C12	量産化
1971	C20系	C20, C21	ISO規格 12ft化
1983	C30系	C30, C31, C35, C36	拠点間輸送
1987	C40, 18系	C40, 18A~18D	容積拡大
1992	19, 20系	19A~G, 20A~C	容積拡大



図2 コンテナの銘板（左側：6000形、右側：19D形）



図1 東急車輛製コンテナ（右側：6000形、左側：19D形、撮影場所：公益財団法人 東日本鉄道文化財団 鉄道博物館）

西村：現行形の19D形は、私が設計しました。いまでもマイナーチェンジをしながら、生産しています。開発当時の技術や設計思想が、今でも連綿と受け継がれています。

松岡：技術的にみると、緊締装置、大容量化、多扉化、標準化、低コスト化などがありますね。

伊藤：では、新旧コンテナを見ながら、鉄道コンテナ技術の源流をたどっていきたいと思います。

2 スタンダードを獲得した緊締装置

松岡：貨車とコンテナをつなぐ緊締装置は、当時の東急車輛のアイデアで、日本のスタンダードを獲得したと聞いています。

森川：1959年製の試作5000形コンテナで、東急車輛方式と富士重工方式の両方式が検討されました。

伊藤：その最大のポイントは何でしょうか？

森川：「構造が簡単でコンテナの移動中に絶対に外れてはならない」という基本コンセプトに対し忠実に設計・製作を行い、それがお客様に評価され、採用につながった。お客様の立場で考えた結果であると思います。

伊藤：その課題とはどのようなものだったのでしょうか？

森川：試作コンテナの締結装置は全自動でした。貨車とコンテナに突起と受けを設け、フォークリフトでコンテナを持ち上げる力で締結装置を開錠する。量産コンテナではコストも考え、半自動形に改良しました。

鈴木：1964年製の6000形コンテナが後ろにあるのですが、これですね（図3、図4）。

森川：グリーン色の逆三角形部分がコンテナに設けた突起で、茶色の貨車に開錠のためのレバーがあります。これは重量低減し、使い勝手を考えた量産形で、レバーによって開錠する半自動方式です（図4）。

松岡：年代を隔てたコンテナが同じ貨車に載っているというのは、互換性がある、すなわちスタンダードを勝ち取ったということですね。

西村：その通りです。この方式は今も標準になっていますが、実はコンテナ側の金具はコンテナの大容量化にともない、高さを12mm小さくしています。それでも互換性を持たせています。

伊藤：コンテナのスタンダードを確立し、互換性を持たせながら進化させ、高機能化しているのですね。

3 コンテナ設計の醍醐味

伊藤：緊締装置のお話から技術の進化を身近に感じられたのですが、大容量化をするにあたりどのような技術革



図3 6000形コンテナの緊締装置
(左から森川、西村、松岡)



図4 6000形コンテナの緊締装置（拡大）

新が行われたのでしょうか？

西村：我々の後ろにあるコンテナは、それぞれ5トンコンテナなのですが、容量が14m³から18.7m³へと34%も拡大しています。長さで約480mm、奥行きは約150mm、高さは約140mm拡大しています（図5）。

森川：基本的にコンテナは外形寸法が決まっています。貨車やトラックに搭載するとき法的な規制によって外形寸法に制限を受けます。

西村：そのような制約の中で、床を低くするなどの工夫で容量の拡大を行っています。

松岡：床面を下げると、台枠の厚みが変わってくる。そうすると、コンテナ剛性や強度に影響すると思うのですが、どのように行われたのでしょうか？

西村：先ほどの貨車とコンテナの緊締装置の高さが12mm小さくなっていることをお話ししました。その高さの差を最大限に活用しているのです。グリーン色の6000形と紫色の19D形の地上からの床面の高さを比べ

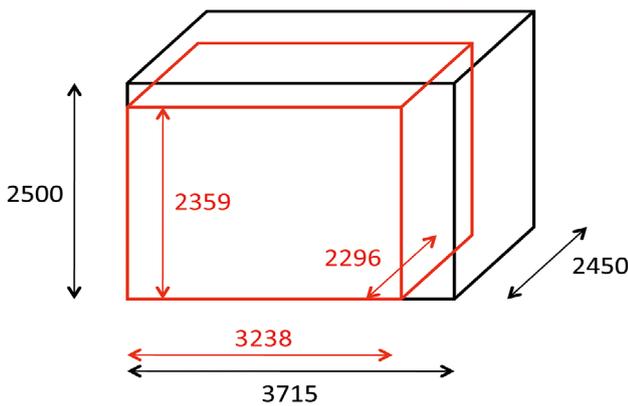


図5 6000形と19D形コンテナの外寸の比較
(赤字：6000形，黒字19D)

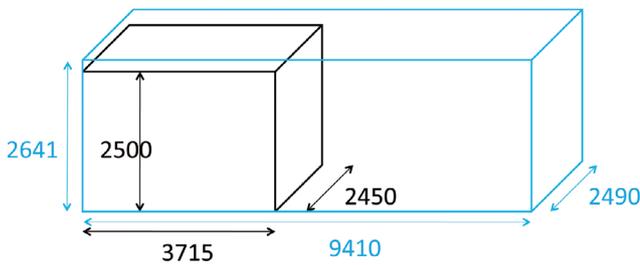


図6 12フィートと31フィートコンテナの外寸の比較
(黒字：12フィート，青字：31フィートコンテナ)



図7 トレーラに搭載した31フィートコンテナ

ると、6000形は253.2mm、19D形では220mmと約13%も低くしています。

鈴木：6000形と19D形を比べると外形寸法も拡大しているのですか！梁の曲げ剛性は梁の高さの3乗に比例しますので、13%とはとても大きい値です。

森川：決められた寸法内で外形も最大化しています。コンテナの容量を大きくすれば、お客様により多くの荷物を載せてもらえます。

西村：壁、扉、床、屋根を薄くして容積を拡大しながら

強度を維持する。これは相矛盾し、設計で最も難しいポイントです。より良い材料を探したり、鉄道車両製造で使われているレーザ加工の採用を検討したりと、常に新技術の導入を視野に入れています。生産上の制約を加味しFEMなどの数値計算による構造解析を進め、形状を適正化する。ここがコンテナの面白さであり醍醐味です。

4 技術革新とコストの問題

伊藤：最近のコンテナはもっと大きくなっている印象があります。

松岡：コンテナの大容量化には社会的な背景があります。地球環境とドライバー不足という問題が契機となり、トラックから鉄道へのモーダルシフトの気運があると思います。

西村：貨車に載せるコンテナには大きく分けて3種類あります。ひとつが後ろにある12フィートです。これよりも長い20フィート、30、31フィートという仕様もあります。10トントラックと鉄道で共通のコンテナを運ぼうとすると、31フィートが最も適したサイズです(図6、図7)。

鈴木：そうすると貨車への搭載量も変わってきますね。

森川：12フィートのコンテナは貨車に5個搭載できます。20フィートで3個、30、31フィートで2個です。

伊藤：コンテナへの搭載量が多く、数が少ないと貨車からトラック、トラックから貨車への移動、すなわち荷役も短時間になりますね。

松岡：その通り。31フィートのコンテナは、モーダルシフトを加速すると位置付けられています。それも一方向的なモーダルシフトではなく、鉄道貨物とトラックが共存するような新しい形のモーダルシフトです。

伊藤：コンテナは社会的な問題を解決する手段として、重要性が増しているのですね。6000形コンテナから19系への容積の拡大、そして31フィートへの技術革新はどこにあるのでしょうか？

西村：これは先ほどもお話したように構造設計がポイントなのですが、コルゲーション板の採用が良かったと考えています。厚みの薄い平板を波板形状にすることで剛性を高める構造です。

松岡：確かに。我々の後ろにある6000形の屋根はフラットな板が使われていますが、19D形の屋根にはコルゲーション板が使われていますね。鉄道用コンテナの歴史を見ると、第二世代からコルゲーション板が使われるようになっています(図8)。



図8 コルゲーション板の有無
(左側19D形は屋根と妻面がコルゲーション板を使用)

森川：鉄道用コンテナの5000形や6000形は、コンテナの歴史のスタート地点なのです。そこで培った技術で海上用コンテナの市場に進出しました。海上用コンテナは、屋根や側面にコルゲーション板を積極的に採用し、軽量で高剛性、そして大容量化を実現しました。これがお客様に評価され、1980年代初頭には世界最大の製造量数を誇りました。コルゲーション板の使用も含めた海上用コンテナで育てた技術を再び鉄道用コンテナに採用するということに、相互に作用させながら技術を革新してきました。

松岡：コルゲーション板を使うには何が難しかったのですか？

森川：フラットな板とコルゲーション板は剛性が全く違うため、溶接後に生じる歪みに違いがでます。試作の段階では溶接の技能者と非常に多く議論しました。塗装方法も工夫しないと均一な塗装面を得られません。

西村：コルゲーション板のいいところは、説明いただいたとおり平板に比べると剛性が高く軽量であることです。平板に補強材を接合しても同じ剛性を得ることができるのですが、多くの補強材が必要となります。コルゲーション板を使うと曲げ加工のみで壁面を形成することができ構造が簡単になります。すると製造コストが下がりますので、その分お客様もご購入しやすくなります。

森川：技術的課題が解決できても、コストが見合わなければお客様に歓迎されません。どのように両立するかは永遠の課題です。

松岡：気になることが一つあるのですが、コンテナのヒンジは溶接で取り付けられているのですね。溶接時の熱ひずみによる変形で位置合わせが難しいと思うのですが。

鈴木：通勤車両に限らず車両に使うヒンジのほとんどは



図9 溶接による外板とヒンジの接合

ネジやボルトで接合しています。位置合わせに苦労すると思います。

森川：部品費や取り付けのコストを考えると、どうしても溶接にしたかった。

西村：先輩方の苦労を引き継いでいます。これは現場の溶接技術が支えています。コンテナの溶接個所の多くには自動溶接機を採用していますが、この部分は自動機ではなく、手溶接なのです。

伊藤：詳しく教えてください。

西村：ヒンジと外板の部分の板厚の差がポイントなのです。板の薄い外板を適切に溶かすと、板の厚いヒンジが上手く溶けてくれない。ヒンジを溶かそうとすると、薄い外板に熱が入りすぎて溶け落ちてしまう。これは溶接の中でも最も難しい技術です。熱の微妙なバランスをとりながら、ヒンジと外板を適切に溶かして接合する。溶接技能者の研ぎ澄まされた感性によってできる溶接です(図9)。

森川：構造解析や設計技術だけでない。現場の技術によってコンテナが製造されている良い例です。製品では塗装によって外板の地肌が見えませんが、溶接時の熱で変形した箇所は、熱を加えて修正します。毒をもって毒を制するという溶接技能の賜です。

西村：そうなのです。溶接技能者の育成にも、技能の向上にも力を入れています。横浜製作所と一体となり、溶接技能を磨き続けています。

5 コンテナの社会的使命

松岡：ここにある19D形コンテナのほかに、19A形、19B形、19C形があります。その差異を調べていたら、コンテナの隅に取り付けられている金具の有無であることに気が付きました(図10)。

鈴木：確かに、19D形に限って隅金具が取り付けられていますね。

西村：隅金具を取り付けた契機は阪神淡路大震災です。19D形5001号から取り付けしています。震災で鉄道の交通網が寸断されると、鉄道貨車による大量輸送の手段がなくなってしまいます。そのようなときには船舶で輸送を代替しますが、そこで隅金具が必要になります。コンテナ同士を重ねたり、クレーンでコンテナを吊り上げたりするときに、隅金具の機能が発揮されます。

森川：鉄道コンテナと海上コンテナの両方の製品を開発した経験が生かされた成果です。

伊藤：コンテナは物流の基幹で、社会的な使命を担っているのですね。

6 お客様の要求にいかにかたえるか

松岡：31フィートコンテナはモーダルシフトのキーを握っています。容量拡大や緊締装置に限らず荷役の向上も必要だと思います。ここにある6000形コンテナを見ると、片方の妻だけが開くようになっている。19D形は側の両面が開くようになっていますね。扉は1枚より2枚、2枚より3枚と増えれば、設計と製造が難しくなると思うのです。開発に向けた動機はどのようなものでしょうか。

西村：12フィートコンテナもしばらくは主流であり続けると思います。31フィートコンテナを主流にさせるポイントは、お客様がコンテナを使われるシーンを想像して、使い勝手の良い31フィートコンテナを私たちが提供することであると考えています。

伊藤：お客様が使われるシーンとはどのようなことを想定しているのですか？

西村：現在の荷物の多くはパレットに載っています。最近ではタイヤ付きの鳥かご形のパレットも多く使われています。パレットに固定された荷物はフォークリフトで扱い、鳥かご形のパレットは人が押ししたり引いたりして移動させます。

鈴木：フォークリフトで取り扱う荷物は、トラックの側面からコンテナに載せていますね。

西村：フォークリフトを使ってコンテナの長手方向の両側面からパレットを出し入れしますので、側面の全てが開放されたコンテナが必要になります。

松岡：両開きのコンテナですね。その一方で、物流センターではトラック後方からパレットなどを出し入れしていますね。

西村：そうなのです。そうすると、コンテナの妻面も開ける必要が生じてきます。

伊藤：コンテナの3箇所を扉にするのですね。

森川：6000形の頃のコンテナではパレットを使わずに荷物の積み下ろしをしていました。次第にパレットに載せた荷物をフォークリフトで扱う量が増えてきました。つまり側面の三方が開くコンテナは、お客様の要求に応じて開発されました。初めて製造した三方開きコンテナにはC11形コンテナがあります（図11）。

鈴木：フォークリフトを使うと、扉はより大きく、側面と妻面の全てが開いて欲しくなる。開放する面が増えると、コンテナの剛性と強度に影響すると思うのですが、技術的な課題を教えてください。

西村：扉が増えると、剛性が低下し、それを補うためどうしても重量が増えてしまいます。また、扉の外側に取り付けの開閉装置があると、その分だけ容積を取られてしまいます。この要求をすべて成立させようとする、どうしても矛盾が生じてしまいます。



図10 隅金具の有無
(左側19D形には隅金具が取り付けられている)

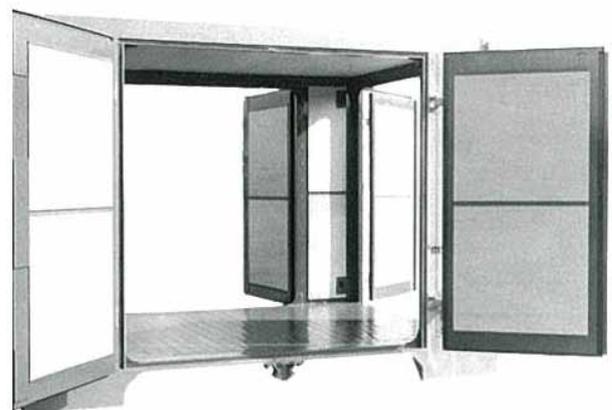


図11 C11形3方開コンテナ⁽¹⁾

松岡：扉の数と重量が相反し、扉の開閉装置の数と容積が相反する。そしてコストダウンも必要ですね。

西村：そうなのです。したがって、どこかを少しずつ妥協しながら、新しいアイデアを組み込んで設計をしないと対応できない。そしてコストが重要です。高機能であっても高ければお客様に使ってられません。

伊藤：その困難を乗り越えたのが、PANORAMA BOXなのです。31フィートと大形で、かつ3方が開く。開放的な感じが素敵です。技術的に高いハードルであったと思います（図12）。

西村：この開発は相当に苦労しました。コンテナの長手方向には壁がない。すると軽量化に優位なコルゲーション板を使えない。しかしながら、柱はできる限り細い方がお客様の使い勝手が良くなる。そこで森川さんや先輩の知識を活かしながら、営業部門との連携でお客様の要求に応えるように設計を行いました。当然、和歌山の仲間と一緒に課題解決に取り組みました。PANORAMA BOXの完成状態を想像しながら図面化する。それと同時に、生産のことを考える。実はPANORAMA BOXの実現のため小規模ながら生産設備の改造も行いました。

鈴木：そういえば、PANORAMA BOXという愛称を付け、マークもデザインしていますね（図13、図14）。

西村：コンテナに愛称を与えたり、マークを取り付けたりすることを初めて経験しました。

松岡：鉄道コンテナへの愛称は初めてだと思います。ステンレス車両に与えたsustinaの愛称と同じように、コンテナのブランド戦略の一つです。

伊藤：名付け親は西村さんですか？

西村：社内で相談し愛称を付けてもらいました。鉄道車

両のデザインを行う当社の横川デザイナーにこのマークを創ってもらいました。もちろん、当社の知財部門から商標登録の手続きも行いました。

伊藤：愛称とマークは大きさと解放感、そして力強さを連想させるデザインですね。これだけでもお客様へPANORAMA BOXの機能の説明ができそうです。

松岡：PANORAMA BOXという31フィートの大容量化と三方が開放するコンテナは、設計技術、生産技術、溶接技能の集大成ですね。



図13 PANORAMA BOXのマーク



図14 愛称の付いた PANORAMA BOX



図12 PANORAMA BOX：31 フィート 3方開コンテナ

7

コンテナはただの箱じゃない！ 技術がつまった高付加価値製品だ！

松岡：5000形コンテナからPANORAMA BOXまで、鉄道コンテナの技術革新を俯瞰して、どのように見えるか、お話し下さい。

森川：コンテナはお客様の要求や社会的な使命を負い、それぞれの時代に対応し進化してきました。また、PANORAMA BOXをはじめ我々の製品はお客様の要求に応えることはもちろん、お客様の要求を先取りした技術開発の一つの例ですが、時代とともに技術的課題はますます高くなっているように感じます。

西村：コンテナは地球環境問題やドライバ不足の問題を解決する一つの要素で、日本の物流の一翼を担っています。

鈴木：鉄道コンテナという製品は時代とともに変わりつつ、基本的な技術思想は変わらず、連綿と受け継がれているものだと感じます。

森川：社会にとって欠かせない技術であると自負を持って開発を行い、今は中堅の西村さんに完全にバトンを渡しました。50年以上もコンテナの開発に携わってきましたが、PANORAMA BOXには東急車輛時代から引き継いだDNAを感じることができる。和歌山製作所でPANORAMA BOX試作品に出会ったときは、とても嬉しく思いました。

伊藤：森川さんと西村さんのコンテナに対する熱い思いを感じることができました。森川さん、コンテナに対する思いを一言で表わしてください。

森川：コンテナはただの箱じゃない！技術がつまった高付加価値製品だ！

及川：森川さんの一言は技術者の魂を揺さぶられました。今日はお集まりいただきありがとうございました。座談会の場所を提供していただいた鉄道博物館の皆様にお礼を申し上げ終わりいたします。ありがとうございました。

参考文献

- (1) 社団法人日本鉄道車輛工業会 貨車技術発達史編纂委員会編：「日本の貨車 技術発達史」，(2008)
- (2) 吉岡心平：「国鉄コンテナのすべて（上）」，(2009)，ネコ・パブリッシング
- (3) 吉岡心平：「国鉄コンテナのすべて（下）」，(2009)，ネコ・パブリッシング

PANORAMA BOX（鉄道輸送用 31ft 級三方開き有蓋コンテナ）

生産本部 和歌山事業所



図1 製品外観



図2 製品外観

1 はじめに

近年、貨物輸送においては環境意識の高まりとトラックドライバの不足により、基幹輸送をトラックから鉄道に切り替えるモーダルシフトが急速に進んでいる。

コンテナメーカーとして、このモーダルシフトによる需要を確実に取り込むには、トラックと同等以上の輸送品質、積載効率の確保と輸送ニーズへの対応が必要となる。

また、これらを実現することで、モーダルシフト推進の一端を担い、さらなる需要拡大に努めなければならない。

トラック輸送では、荷役時間の短縮が図れることや長尺製品の積み込みが容易であることから、側面開放が可能なウイング式トラックが多く採用されている。

一方、10tonトラックの内容積に相当する当社の31ft級コンテナは、片妻面のみ開口する「妻一方開き」を主流としており、側面が全面開口する製品が無かったことから、両側面全面と片妻面が開口する31ft級三方開きコンテナ（以下PANORAMA BOX）を開発したので紹介する。

2 特長

- ① 両側面および片妻面の三面に扉を設けた構造である。
- ② 両側面の開口部には中間柱等が無く荷役が行い易い構造である。
- ③ 両側面の扉を同時開放し荷役が可能な構造である。
- ④ 手動開閉式のため電源や油圧発生装置の装備が必要ない。
- ⑤ 手動開閉式のためトラックやヤードからの給電が必要ない。
- ⑥ 油圧発生装置を搭載しないので油漏れによる積載品の汚損がない。
- ⑦ 構造がシンプルであるためイニシャルコスト、ランニングコストの低減が可能でありライフサイクルも長い。
- ⑧ 側面およびフロア面にラッシングレールを装備しているため荷物の固縛が容易である。
- ⑨ 扉方式であるため天井の低い建屋内でも荷役が可能である。
- ⑩ 通風器や天井結露防止塗料などオプション対応が可能である。
- ⑪ 妻一方開きコンテナとしての利用も可能な構造である。
- ⑫ PANORAMA BOX取扱者および近傍を通行する人の安全確保のため、扉が突風等により不意に動かないよう固定金具を設けた構造である。



図3 各扉開放状態

3 主要諸元

表1 諸元

項目	寸法
外法高さ	2641mm
外法幅	2490mm
外法長さ	9410mm
内法高さ	2290mm
内法幅	2224 mm
内法長さ	9248 mm
側入口高さ	2140 mm
側入口幅	8550 mm
妻入口高さ	2140 mm
妻入口幅	2224 mm
床面積	20.56 m ²
内容積	47.10 m ³
総質量	20000 kg
積載質量	13700 kg
自重	6300 kg



図4 PANORAMA BOX ロゴ

4 展示会

コンテナ完成後、プレスリリースを行うとともに東京、大阪で展示会を開催し、ご来場いただいたお客様と製品に関する意見交換を行った。

開催日 2017年1月18日

開催場所 日本貨物鉄道 越谷貨物ターミナル駅

開催日 2017年1月26日、27日、3月30日

開催場所 日本貨物鉄道 百済貨物ターミナル駅

開催日 2017年4月4日、11日、17日、20日

開催場所 日本貨物鉄道 隅田川駅

開催日 2017年5月26日

開催場所 日本貨物鉄道 東京貨物ターミナル駅

(鉄道貨物協会主催 高規格コンテナ説明会)

図5 展示会
越谷貨物ターミナル駅 コンテナ車載状態



図6 展示会
百済貨物ターミナル駅 コンテナ展示スペース



図9 展示会
東京貨物ターミナル駅 コンテナ仕様説明



図7 展示会
百済貨物ターミナル駅 コンテナ展示準備



図8 展示会
隅田川駅 コンテナ内装仕様説明

5 試験輸送

顧客ニーズの洗い出しおよび需要拡大のため、導入をご検討いただいているお客様や、輸送上の問題の有無に関する検証を希望されるお客様に対し、PANORAMA BOXを無償貸与し、試験輸送を実施いただいている。



図10 試験輸送
輸送品積み込み前



図11 試験輸送
輸送品積み込み



図 12 試験輸送
輸送品積み込み終了



図 13 試験輸送
輸送品とコンテナ側面 (内面) とのクリアランス



図 14 試験輸送
貨物駅に向けて出場

(岡 成豊 記)

動的限界性能検証に関する研究と車体傾斜試験

Validation Study for Vehicle Dynamic Gauge with Sway Test

市川 聡 Satoshi ICHIKAWA

鉄道車両の走行安全性を担保するために、車両の動的変位が建築限界へ侵入しないことを検証することはきわめて重要である。反面、輸送力確保、快適性確保のための車内空間確保も同時に要求される。車両限界が定義されていない場合、設計の初期段階で数値演算を用いた車両の動的挙動解析が行われる。本研究では、その結果に対して、現車を使用した車体傾斜試験（定置試験）および本線上での走行試験を行い、数値計算による車体ロールおよび左右変位の妥当性、精度を評価した。その結果、数値演算は、ほぼ正確に試験結果を評価でき、高い精度で車体の変位を算出できることを明らかにした。

It is extremely important to verify that the vehicle does not infringe the structure gauge in order to ensure safe operation. Meanwhile, larger size of car body is also required for maximizing carrying capacity and comfortable passenger space. When the vehicle gauge is not defined, the dynamic displacement of car body is calculated at the early design stage. This study has validated the calculated rolling and lateral displacement and evaluated their accuracy, compared with the results of sway test (stationary test) and running test using the actual vehicle on the main line. It has in consequence clarified that the calculation could determine highly accurate dynamic displacement.

1 はじめに

鉄道車両は、定められた限界に対して設計することで、地上構造物との衝突を避けている。限界は車両限界と建築限界が定められている。車両限界が定められていれば、静的な状態での車両の断面の大きさが決定できる。一方で、建築限界のみが定義されている場合、車両の設計には車両の動的な挙動を踏まえて、建築限界に侵入しないような設計を行わなければならない。この時、輸送力や車内の快適性の確保などのため、より大きな車体断面とすることも必要である。

海外では、UIC505-1およびUIC505-5、EN14363⁽¹⁾、GM/RC2641などで、限界と車両挙動の考え方、試験方法などが規格化されている。

一般に設計段階では、数値演算により動的挙動を評価し、車体断面が決定される。そのため、車両の動的挙動に対する数値演算の定量的な評価は、車両の走行安全性には重要な役割を担う。

このような研究成果例⁽²⁾は、いくつか見られるが、数値解析、定置試験ならびに走行試験までを体系化してまとめられたものはあまりない。

そこで、本研究では車両の挙動を数値演算で評価するとともに、定置試験および走行試験結果と比較することで、数値演算結果の妥当性、走行試験での車体変位を評価した。

その結果、数値演算はほぼ正確に試験結果を評価で

き、高い精度で車両の動的挙動、車体の変位を算出できることを明らかにした。

本研究では、ある標準軌車両を対象として、研究を進めた。台車方式は、空気ばねを用いたボルスタレス台車である。

本車両に対しては、建築限界のみが定義されており、車両限界は定義されていない。

2 設計段階での数値演算

2. 1 検討条件

検討を行うにあたり、車両の走行に関わる諸条件をまとめる。

2. 1. 1 軌道条件

最大カント高さ	: 150mm
最大カント不足	: 110mm

2. 1. 2 車両条件

荷重条件	: 空車と満員乗車時
空気ばね条件	: 正常時とパンク時
走行時の左右振動条件	: $\pm 0.1G$
車両速度	: 0 ~ 80km/h

2. 1. 3 走行条件

これら軌道条件と車両条件とを組み合わせ、2通りの走行条件を用いた。

- a) 最大カント上に停車の条件
- b) 最高速度で最大カント不足と最大左右振動での走行の条件

2.2 数値演算

これらの条件を整理したうえで、数値演算により車両の挙動、具体的には車体の左右変位およびロール角変位を算出した。

数値演算には、SIMPACKを用いた。車両の解析モデルを図1に示す。なお、数値演算手法は、次章に示す定置試験との比較を考慮し、次の手法を用いた。

- a) 最大カント上に停車
 - 初期状態と最大カント上での停車との差分を調査するために、直線軌道にカント0と150mmとを設定した軌道を極低速で走行させる。
- b) 最高速度で最大カント不足と最大左右振動
 - a) と同様に直線軌道にカント0と最大相当カントとを設定した軌道を極低速で走行させる。
 - 最大相当カントは、最大カント不足と最大左右振動との方向に作用する場合を考慮する。最大左右振動は0.1Gであることから、相当カント高さは150mmと考え、最大カント不足量110mmとの和である260mmのカントを設定した。

ここで得られた車体の変位を基に、建築限界に侵入しない車体断面を設定した。

解析結果は、表1に車体ロール角変位を、表2に左右ストッパ部における台車枠と車体との間の相対変位をまとめる。なお、車体ロール角変位が3.5度の場合、車体上部での左右変位は175mm程度になる。従って、車体ロール角変位を精度高く算出できることが、特に重要な因子となる。

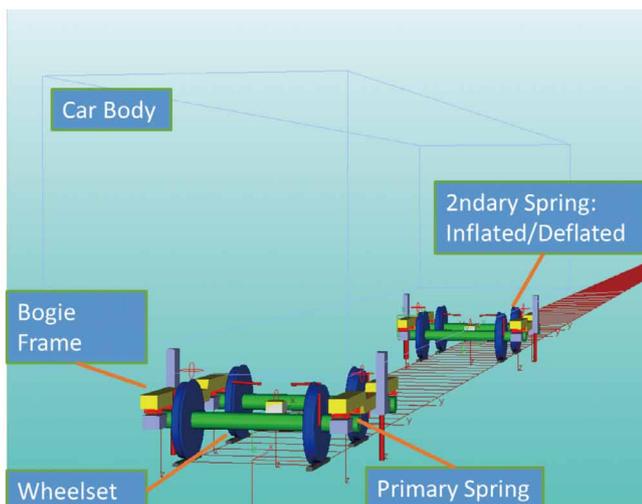


図1 解析モデル

表1 車体ロール角変位 (deg)

荷重条件	空車		満員	
	正常	パンク	正常	パンク
150mm	1.7	0.28	2.4	0.58
200mm	-	-	2.9	0.76
260mm	3.0	0.47	3.5	1.0

表2 左右ストッパ部車体左右変位 (mm)

荷重条件	空車		満員	
	正常	パンク	正常	パンク
150mm	18.2	21.4	22.6	25.6
200mm	-	-	25.1	27.8
260mm	22.4	25.1	27.6	29.6

なお、表1、2中のカント高さ200mmは、次章で述べる定置試験条件に合わせて、満員条件のみを解析した。

3 車体傾斜試験 (定置試験)

2.での解析結果を受けて、車体傾斜試験を実施した。試験は、EN14363:2005 4.3.3.1のMethod 1に従って実施した。試験条件は、基本的に解析条件と同じとした。

3.1 試験条件

荷重条件：空車および満員乗車時

空気ばね条件：正常時とパンク時

満員乗車時の条件では、車内に満員時の乗客相当の質量となる荷重を、鋼材および砂袋を用いて積載した(図2)。また、積載した荷重の重心高さは、乗客のそれと一致させ、数値演算とそのまま比較できるように設定した。これは、次章で述べる走行試験も同一の考え方で荷重を積載した。

試験はEN14363の要求に従って実施した。特に、空気ばねの自動高さ調整装置の調整棒を切り離して実施することが要求される。この際、車体傾斜試験の実施前後で空気ばねの高さの変化がなく、空気が十分に封じ込まれていたことも確認した。



図2 定置試験における満員荷重積載

3.2 試験方法

軸箱下部をジャッキで持ち上げ、車輪とレールとの間に適当なシムを挿入することで規定の車輪持ち上げ高さを設定した(図3)。安全を考慮し、1台車ごとにジャッキアップを実施した。段階的に車輪を持ち上げ、持ち上げ高さ25mm, 50mm, 111mm, 150mm, 180mm, 200mm, 220mmおよび260mmにて測定を行った。測定は、持ち上げ時とともに下げる時にも段階的に実施し、1サイクルとした。なお、満員乗車時の荷重では、車体の転倒に対する安全性を考慮して、200mmまでの試験とした。

また、EN14363に従い、ヒステリシスを確認する目的で、これらサイクルを右上げ→左上げ→右上げの順で3サイクルを実施した。



図3 車輪持ち上げ高さの設定

3.3 安全装備

車体を大きく傾斜させることから、作業の安全性には十分な配慮を行った。試験中、転覆や枕木方向への滑りの発生の可能性があったため、次の安全策を取り入れた。

- a) 車体重心位置からの重錘の吊り下げ(図4)
- b) 車体ジャッキ受下への転倒防止(図5)
- c) 車輪の横滑り防止策の実施
- d) 満員条件の荷重に対する滑り防止
- e) 満員条件では差圧弁の取り外し

本試験では、実走行時には発生しない傾きを与えた。この時、差圧弁が動作するといわゆるカント負けが生じ、車体が大きく傾いてしまう。それを防ぐため差圧弁を取り外し、空気ばね内の空気を封じ込め、所定のロール剛性を確保した。



図4 車体重心位置から重錘の吊り下げ



図5 車体の転倒防止策

3. 4 測定項目

最終的な安全性の判断基準は、車体と建築限界との関係であるが、ここでは数値演算との比較を行うため、次の項目を測定した。これら数値は、車輪持ち上げ後、車体が安定した状態で測定を行った。

- 車体ロール角度（水平面に対する角度）
- 輪軸ロール角度（水平面に対する角度）
- 左右ストッパゴム高さにおける車体と台車枠との間の左右変位
- 軸箱支持装置の左右変位

これらに基づき、車体のロール角変位および左右変位を求めた。測定結果を図6～9に示す。図6、7に、輪軸に対する車体のロール角変位の測定結果を、図8、9に、左右ストッパゴム高さにおける車体と台車枠との相対変位を示す。

図6に示す空気ばね正常時の車体ロール角変位では、車輪持ち上げ高さに対してほぼ線形の増加が見られる。この車両では、車体のロール角変位が1.7度程度になると圧縮作用をしている空気ばねの上下面板が接触する。上下面板の接触が発生すると、その後は下部の防振ゴムに支えられ、上下ばね定数が大きくなることにより変位が抑制される。しかし、車体のロール角変位を観察するとそのばね定数の大きさほど非線形性を生じていない。このことから、車体ロール角変位は、空気ばねのストッパ当たり後もそれまでと同じ割合で増大すると考えられる。ただし、車体ロール角変位が2.5度を超過するような大変位となった場合は、ロール角変位の増加が若干緩やかになる傾向が見られる。

図8、9に示す左右ストッパゴム高さにおける左右変位は、持ち上げ時と下げ時との変位が異なる結果であった。これは、左右ストッパゴム特性に大きく依存するため、ゴムのヒステリシスの影響である。

また、図9に示す空気ばねパンク時では、下げ時の変位は元に戻りにくい。逆方向の持ち上げを行い、車輪持ち上げ量が111mmとなった時点ですべるような変位を発生させた。この変位発生は荷重条件に依らずほぼ同じタイミングで観察された。この時の輪軸の水平面との間でなす角はおおよそ4.3度(0.07rad)である。この結果から、空気ばねの上下面板の接触面における摩擦係数は、0.07程度で安定していることが推測できる。

また、図9に示す車体左右変位のうち、空車時の変位の履歴を見ると、全体的に上側に偏っているように見られる。最大車輪持ち上げ両の260mmの場合、正の領域では29mmとなっているにもかかわらず、負の領域では22mm程度の変位である。平均値は25.5mmである。

このことから空車条件での試験は、空車時の試験では空気ばね正常の試験に引き続いて実施したため、初期に左右変位が生じた状態から試験を実施してしまった可能性がある。ここでは、初期変位がなかったものとして数値を整理することにする。

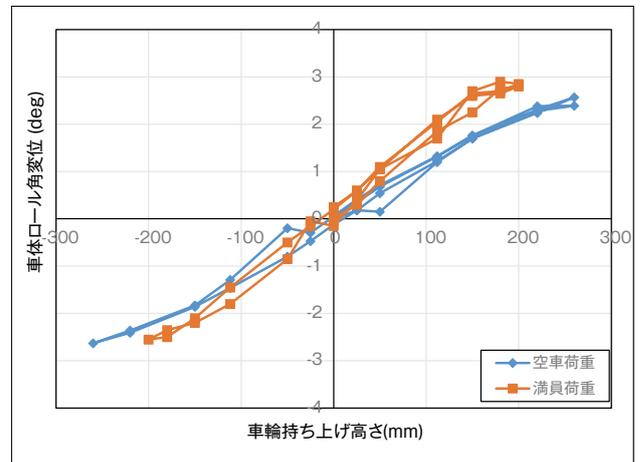


図6 車体ロール変位の測定結果（空気ばね正常）

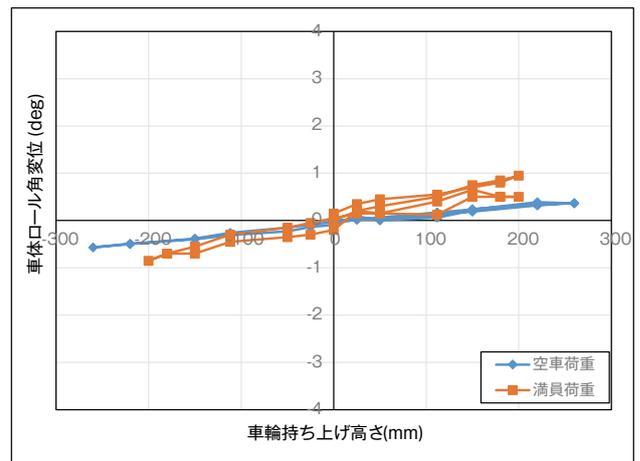


図7 車体ロール変位の測定結果（空気ばねパンク）

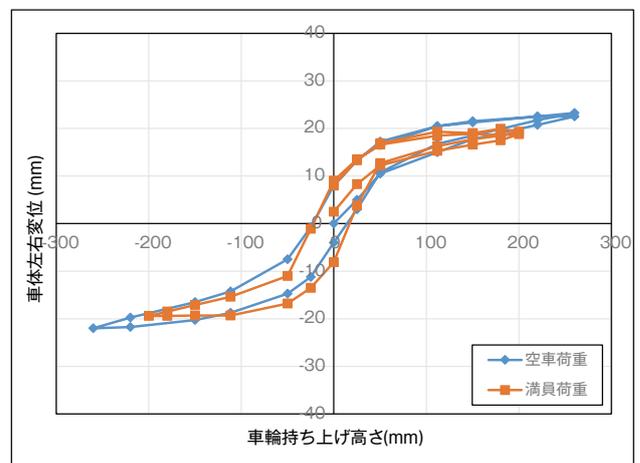


図8 車体左右変位の測定結果（空気ばね正常）

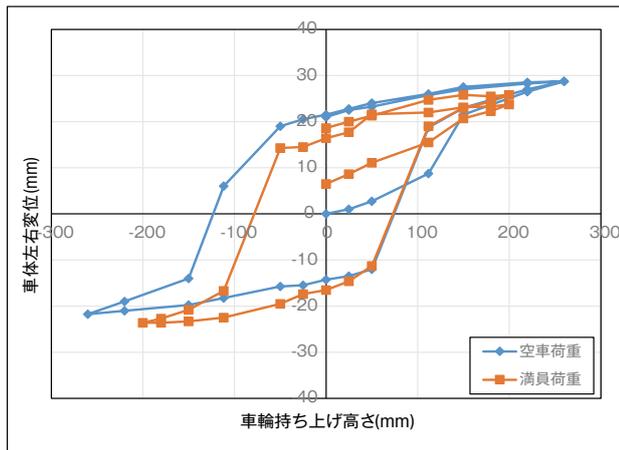


図9 車体左右変位の測定結果 (空気ばねパンク)

4 走行試験

2., 3. での結果を受けて, 現車を用いた本線走行試験を実施した. EN14363:2005 4.3.3.2のMethod 2に従って実施した. 試験条件は, 基本的に解析条件と同一とした.

一般にEN14363での要求は, Method 1または2のいずれかを実施すればよいが, 本研究では規格要求事項の比較を行うため, Method 1および2の両方を実施した.

4.1 試験条件

荷重条件: 空車および満員乗車時

空気ばね条件: 正常時とパンク時

EN14363の要求に従い, 定置試験と異なり空気ばねが正常な条件では, 自動高さ調整装置を通常どおり接続して走行試験を行った.

走行試験の条件は, 本車両が走行する区間の全線において, 通常速度とした.

4.2 測定項目

EN14363:2005 4.3.3.2に従い, 車体床面および軸箱左右加速度を測定した. 車体床面加速度は, 車端付近の床面に加速度計を設置した. 軸箱左右加速度は, 車体床面加速度測定位置に近い台車の軸箱体1ヶ所に加速度計を設置した. そこで, 曲線通過中に発生するカント過不足に対して, 準静的な加速度を評価した.

この時, 空車条件, 空気ばね正常の場合, 軸箱左右加速度と車体床面左右加速度との測定結果の例を図10に示す. この結果から, 走行中の準静的な軸箱左右加速度と車体床面左右加速度とは, 線形の関係があることがわかる.

この結果を直線近似し, EN14363に従い傾きを傾斜係数 S_R として算出し表2に示す.

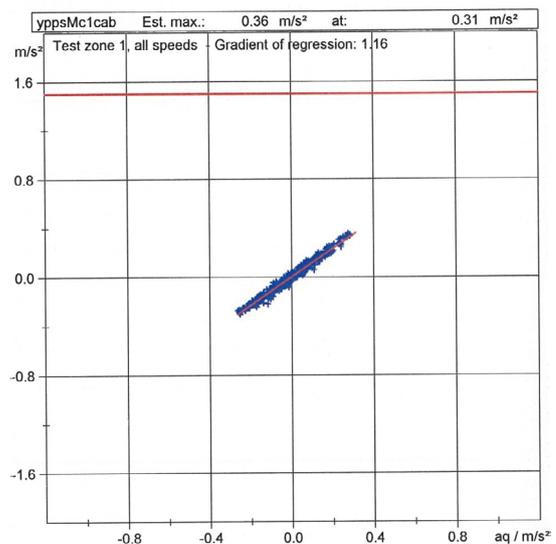


図10 車体床面左右加速度と軸箱左右加速度との関係 (空車時, 空気ばね正常の場合)

表2 傾斜係数 S_R

空気ばねの状態	正常時	パンク時
空車時	0.15	0.06
満員時	0.19	0.08

5 妥当性評価

数値解析の妥当性を評価するために, 定置試験を実施した. さらに走行試験結果を踏まえて, さらなる検証を実施した.

5.1 数値解析と試験結果 (定置試験)

車輪の片側を持ち上げることによる車体ロール角変位, 車体台車間の左右変位について, 数値解析と定置試験結果とを比較した. なお, 試験は3サイクルの連続実施を行ったが, 数値解析との比較に対しては, ヒステリシスの影響を受けない初回の持ち上げ時のデータを用いた. その結果を図11~14に示す. 図中, 試験結果を実線で, 数値演算を破線で示して比較する.

図11, 12に空気ばね正常時の比較結果を示す. 空気ばねが正常の状態のほうが, 車体の変位が大きくなるため, この場合の評価が重要である.

図11に示す車体の変位に大きく寄与する車体ロール角変位は, 空車, 満員ともほぼ一致しており, 数値演算は精度高く評価できることがわかった. 数値演算は, 空気ばね上下ばね定数を通常の空気ばねモデルを用いており, そこには自動高さ調整装置の影響を受けないモデル

である。試験も同様に高さ調整装置を取り外しており、両者の条件が一致していることから、数値演算の妥当性が示される。

図12に示すストッパ部の左右変位は、空車時ではほぼ一致する。これに対して、満員荷重時では車輪持ち上げ高さに依らず、数値演算のほうが5mm程度変位が大きくなる結果であった。ストッパゴムは初期すき間を有しており、そのすき間分の変位を生じる前から変位に差があることから、空気ばねの左右剛性が実車ではより大きめとなっていることが推測できる。

続いて、図13、14に空気ばねパンク時の比較結果を示す。

図13に示す車体ロール角変位は、空気ばねがパンクしてばね定数の大きな防振ゴムで支えられることから、変位は小さく、また、数値演算と良く一致している。

一方で図14に示すストッパ部の左右変位は、空車時の260mm持ち上げ以外では、試験結果のほうが数値演算より小さい変位となっている。

数値演算では、空気ばね上下面板間の摩擦を考慮しているものの、車体が傾斜するとすべりを発生していた。その結果、車体の左右変位量の決定には、空気ばね上下面板間の摩擦は寄与せず、左右ストッパゴム特性だけで決定された。一方で、試験結果では、ある程度摩擦で保持する荷重が存在する。特に空車荷重での111mm以下の車輪持ち上げ量の場合、これが顕著に現れ、試験結果は数値解析結果より変位が著しく小さかった。満員荷重では、両者の差はほぼ一定に5mm程度であり、摩擦力がある程度寄与しながら車体左右変位が決定されることが考えられる。

空車時の260mm持ち上げの場合の変位は、この結果のみ試験結果のほうが大きかった。ただし、3.4節でも考察したとおり、左右方向に初期変位を生じていた可能性がある。左右の持ち上げの変位の平均値を考慮すると、試験結果の当該変位は、25mm程度となり数値演算結果とほぼ一致する結果となる。

これらを考慮すれば、左右変位の解析結果は、十分に実車を模擬できる解析が行えることが明確となった。

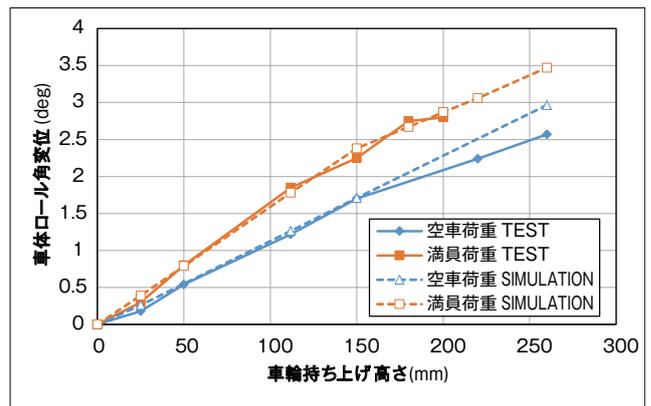


図 11 車体ロール角変位（空気ばね正常時）

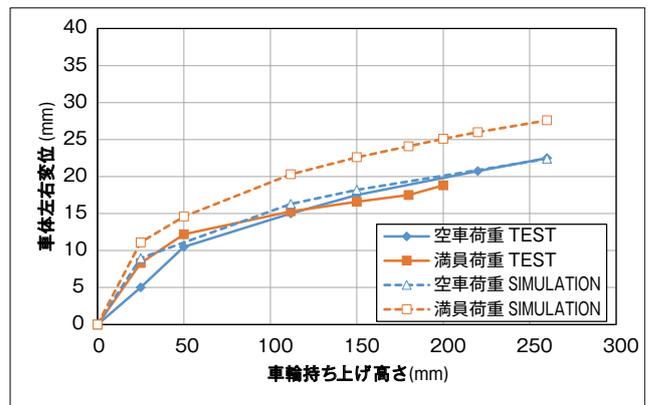


図 12 ストッパ部左右変位（空気ばね正常時）

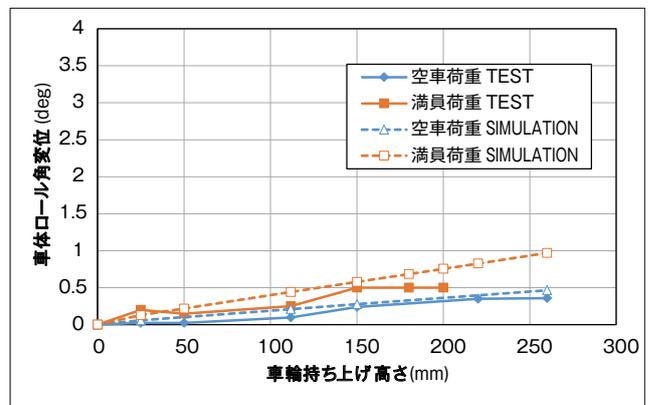


図 13 車体ロール角変位（空気ばねパンク時）

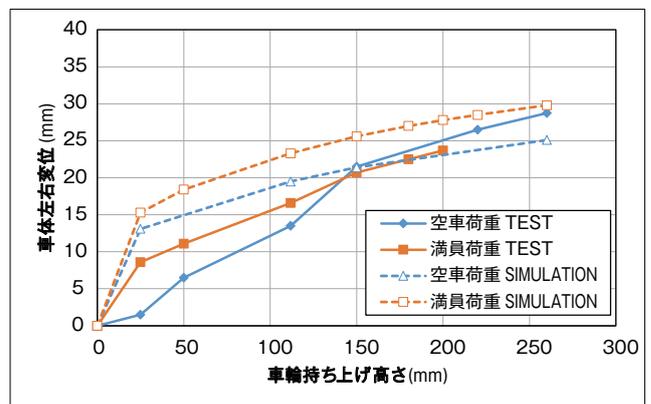


図 14 ストッパ部左右変位（空気ばねパンク時）

5.2 傾斜係数

前節で車体のロール角変位について、数値演算と定置試験との結果で妥当性を評価した。一方で、いずれも自動高さ調整装置がない状態を模擬しており、実走行の状態とは異なる条件での比較であった。これを受けて、現車の走行試験において車体の傾斜を測定し、実走行での車体傾斜を確認した。ここでは、参考として空気ばねパンク時のデータも同様の手法で整理する。

車体のロール角変位の評価は、EN14363に示される傾斜係数 (Roll Coefficient) S_R とした。

定置試験では、輪軸のロール角に対する車体のロール角変位をプロットし、その傾きを求めることで傾斜係数 S_R を得られる。その結果を図15, 16に示す。

図中に示される数式のxの係数が傾斜係数 S_R となる。

走行試験で得られた傾斜係数は、4章に示されるので、数値をまとめると表3、図17となる。

この結果、走行試験の傾斜係数は、定置試験の1/2程度であった。これは自動高さ調整装置の動作の有無によるものである。このことから、空気ばね正常時の走行試験での車体ロール角変位は、数値解析や定置試験の結果より十分小さい結果となることが明確である。

ただし、走行試験の結果は準静的な車体ロール角変位の結果であり、最大値を示すものではない。そのため、走行中に発生する、動的な車体ロール角変位の最大値は評価できていない。

したがって、本研究における数値演算や定置試験による車体ロール角変位は、実走行状態のおおよそ1/2を準静的な変位と残りを動的変位に使えるものとして算出していると考えるのが妥当である。

また、空気ばねパンク時の結果は、傾斜係数の値は小さいが、ほぼ同じ程度の結果を得た。従って、空気ばね部の条件を同一とできれば、定置試験と走行試験とでほぼ同一の結果を得られる。また、空気ばねパンク時には、空気ばねの防振ゴムばね定数は比較的大きく車体ロール角変位は小さいことから、建築限界に対しては余裕がある。

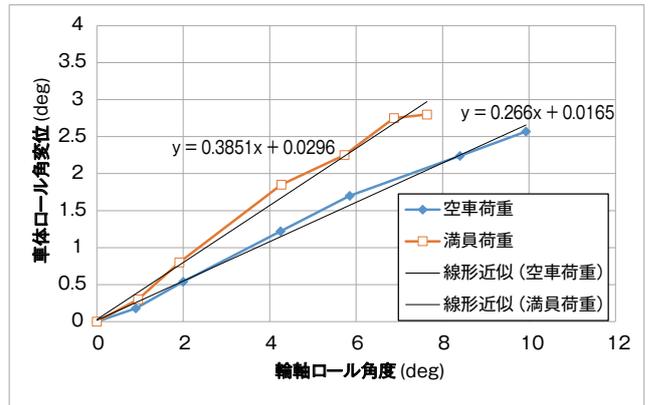


図 15 定置試験での傾斜係数 S_R (空気ばね正常時)

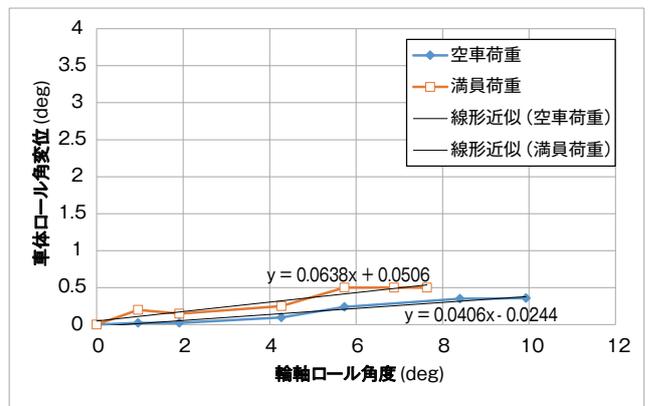


図 16 定置試験での傾斜係数 S_R (空気ばねパンク時)

表 3 傾斜係数 S_R

荷重条件	試験条件	空気ばね条件	
		正常時	パンク時
空車時	定置試験	0.27	0.04
	走行試験	0.15	0.06
満員時	定置試験	0.38	0.06
	走行試験	0.19	0.08

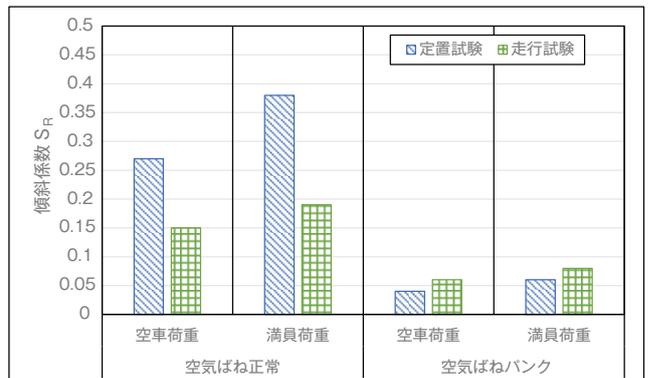


図 17 定置試験での傾斜係数 S_R (空気ばねパンク時)

5.3 車体変位

本研究結果から得られた車体の最大変位と建築限界との関係を図示すると図18となる。図18は、さまざまな条件から車体が最も建築限界に近接する場合である。

この結果、全てを考慮した最大変位と建築限界の間にはまだすき間があり、当該車両は与えられた建築限界に対して安全に走行できることが示された。

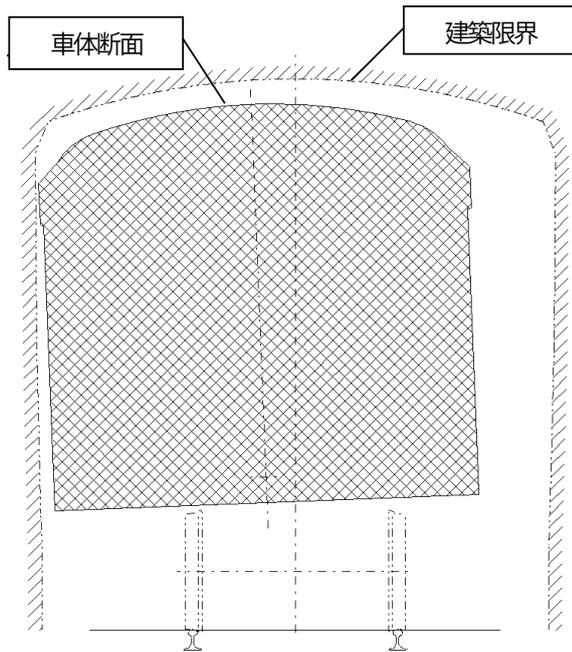


図 18 車体最大変位と建築限界との関係

は動的な変位の評価を行っていないため、今後の課題である。

本研究成果は、今後の輸出車両へのより精度高い数値演算へ適用できる。その結果、より大きな車体断面を有する車両の実現の可能性があると同時に、より確実な車両の地上建造物との接触防止に役立つものと期待できる。

参考文献

- (1) BS EN14363:2005, Railway applications – Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – Testing of running behaviour and stationary tests
- (2) 干鯛正隆, 他: 「英国向け高速鉄道車両の定置試験」, J-RAIL2007講演論文集, 669-670, (2007)

著者紹介



市川 聡
技術士（機械部門）
生産本部
技術部（台車設計）主任技師

6 まとめ

本研究により、次のことを明らかにした。

- 1) 試験に先立ち実施した数値演算による車体ロール角変位は、ほぼ定置試験結果どおりである。車体ロール変位は、車体上部の左右変位に大きな影響を及ぼすので、精度高い演算が必要となる。
- 2) 左右ストッパ高さにおける車体左右変位の演算は、5mm程度の差で一致する。
- 3) 走行状態における車体ロール角変位は、自動高さ調整装置の動作があるため、数値演算に対して十分小さい結果である。

これらの結果から、車体左右変位および車体ロール角変位の数値演算による算出は、定置試験結果に対して十分精度高く算出できることがわかった。さらに、実走行状態を考慮すると、準静的な車体ロール角変位は自動高さ調整装置の動作により、数値演算や定置試験に対して1/2程度の変位であることがわかった。ただし、ここで

LTE 応用低コスト車内ビジョン 「Train Viewer⁺」の開発

Development of Low-cost Vehicle Vision Using of LTE Communication

大山 寛人 Hiroto OYAMA
長本 昌樹 Masaki NAGAMOTO
松岡 茂樹 Shigeki MATSUOKA

首都圏線区では車内情報表示システムによる乗客への情報提供サービスが行われているが、車両基幹伝送に直結されている上、表示装置が高価であるため、首都圏線区以外には普及していない。そこで、首都圏線区外への乗客にも首都圏線区と同等の情報提供サービスを提供するために、車両基幹伝送と切り離して商用携帯電話向けの LTE 通信を活用するとともに、短寿命だが安価なコンシューマ部品をそのまま利用した、LTE 応用低コスト車内ビジョン「Train Viewer⁺」を開発した。

On the railway network in metropolitan area, information systems in the train vehicle provide information to passengers. However, these systems depend on the main transmission system of the train vehicle and do not spread in the area except the metropolitan area, because these display units are very expensive. Therefore we developed low cost train vehicle vision “Train Viewer⁺” using the consumer parts, but the life is a little short, which utilized the LTE for the commercial cell-phone to be able to broadcast information which are equal on the railway network in the metropolitan area.

1 はじめに

JR東日本では、鉄道をご利用されるお客さまへの情報サービスを目的として、「情報提供装置 (Visual Information System)」を首都圏地域の車両 (E231系500代, E233系およびE235系) に導入している。当該装置は各乗降口扉上部に設置した17インチまたは15インチ液晶ディスプレイにより、行先や乗換等の案内および異常時の列車運行等を表示し、タイムリーにお客さまに情報を提供しているほか、動画や静止画による映像広告、ニュース・天気予報などを放映し、広告収入にも寄与している。

しかし、当該装置は、車両基幹伝送を活用して構築されており、新造車両への設置を前提とした装置のため、改造での後取付には、大掛かりな工事が必要となるのが問題であった。

その問題を解決すべく、コンシューマ向け部品と商用 LTE (Long Term Evolutionの略) 通信を活用した低コスト車内ビジョン「Train Viewer⁺」を株式会社ジェイアール東日本企画 (以下ジェイアール東日本企画と記す) 新潟支店、JR東日本新潟支社と開発した。2016年から新潟地域の車両 (E129系) に試験搭載を実施し安全性や信頼性、保守性などの確認や改良を行い2017年12月より量産機の導入となった。導入に伴い、新潟 (Niigata) 向けを示すため商品名を「Train Viewer⁺N」とした。

2 LTE応用低コスト車内ビジョンの概要

LTE応用低コスト車内ビジョンは、「20インチLCDディスプレイ」、「スティックPC」、「LTE通信ドングル」(いずれも市場調達が可能なコンシューマ向け部品) を専用筐体に取付した構成となっており、車両の電源が投入されるとディスプレイとスティックPC (OS) が起動し、その後、サイネージ表示ソフトウェアが起動しコンテンツ (広告、ニュース、天気予報など) を表示する。コンテンツ内容の更新は、装置に搭載されたLTEドングルがLTE回線を使用し指定のサーバにアクセスすることでデータ通信を行う。LTE回線が使用可能な間は、常時通信を行い情報の更新を実施するが、山間部やトンネル区間等の圏外エリアでは、通信動作をせず更新前の情報を流している (図1)。

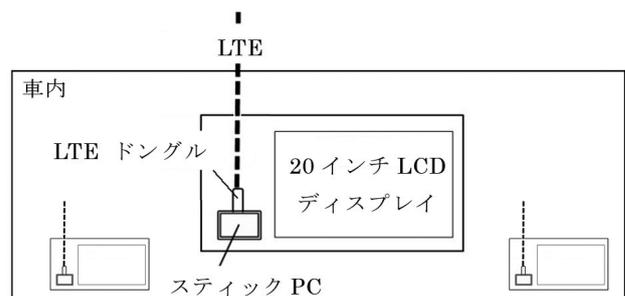


図1 表示システム構造⁽¹⁾

3 量産先行機

3.1 量産先行機の開発

量産機の開発にあたり安全性、信頼性を確認するため量産先行機の開発が行われた。開発はジェイアール東日本企画新潟支店製のデモ機をベースに検討を進めた。この装置は、量産先行機向け装置と内部部品構成は同じであるが、筐体の材質が不燃性FRP（Fiber Reinforced Plasticsの略）となっている（図2）。

3.2 量産先行機仕様

量産先行機の仕様を下記に示す。

3.2.1 筐体

量産先行機の開発にあたり、材料のコスト面での課題があり筐体の形状と材質を変更することにした。具体的には、取付部のカモイに設置されている車内スピーカ穴を避けるための切り欠きをなくして長方形の形状とし、材質はFRP（不燃性）から鉄製（SPCC）とした。ただしLTEの無線通信に支障がでないようするため通信装置付近はFRP（不燃性）の板を取り付けた（図3）。

3.2.2 内部構造

LTE Dongleは、スティックPCのUSBポートに接続し電源供給を行いLTE基地局とデータ通信を行う。



図2 ジェイアール東日本企画新潟支店製デモ機⁽¹⁾



図3 形状変更による試作筐体

3.3 実車検証

筐体の形状変更に伴い、車両（E129系）のドアチャイムの音量に影響が出ることが予想されたため、実車での測定を実施した。測定は、精密騒音計（NL-16:リオン株式会社製）を使用し、ドアカモイから約1mの距離で音量測定を実施した。測定場所は量産先行機、ジェイアール東日本企画新潟支店デモ機のほか、装置のないカモイの3箇所を実施した。その結果どの部分も約78～79dBで形状を変更しても音量に問題がないことが確認された（図4）（図5）。

4 車両搭載へ向けた試験

量産先行機を車両に搭載するために、鉄道車両用の規格であるJIS E 5006「鉄道車両電子機器」で定められた試験を実施した。その結果は、内部部品の性能が規格値に達していないため、温度試験の一部試験条件をクリアできないことを確認した。しかしながらJR東日本と協議し、実際の使用条件において試験搭載にて問題がないことを確認し車両搭載を実現させた（図6）。



図4 音量測定の様子

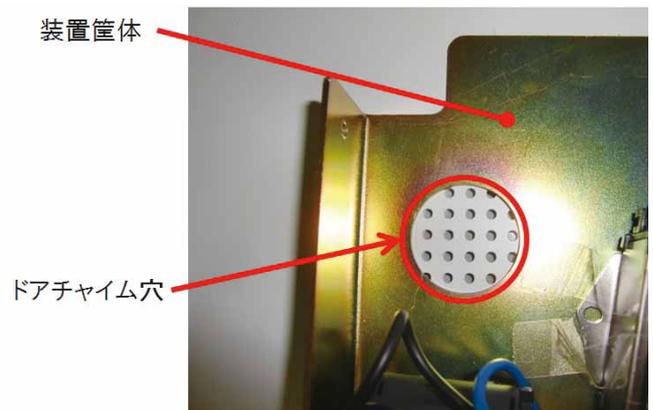


図5 ドアチャイム穴

5 車両への装置取付

量産先行機は、JR東日本新潟地域を主に投入されているE129系の2両編成車のドアカモイ部に、千鳥配置で6台取り付けを行った。取付は、既存の広告枠固定穴を使用し、可能な限り取付に必要な追加作業は少なくするような構造にした。また、車両側からの電源供給については、車両の予備線を使用し、車端NFBや床下のアース接続を実施し、新たな配線の引き通し等は行っていない(図7)(図8)。

6 量産先行機の安定稼働試験

量産先行機の安定稼働を現車で確認するため本線走行試験を実施した。試験は2日間実施され、1日目は新潟～長岡～水上～長岡、2日目は長岡～柿崎～長岡～上沼垂～新潟車両センターで行った。

試験では、以下の内容を確認した。

- ①LTE通信の強度変化による装置への影響。
- ②無線LAN通信を利用した表示コンテンツの更新動作確認

①の試験では車両に取付けた装置(6台)以外に評価用として取付た装置と同等品で、確認用機能を追加した装置1台を持ち込み確認した。

6.1 LTE通信の強度変化による装置への影響確認

LTE通信の強度変化による装置への影響確認として、走行区間での電波強度の推移と消費電流変動の確認を行った。確認は、以下の方法で実施した。

電波強度測定は、現在走行している位置での電波強度を計測するアプリケーションを自社開発した。評価機にインストールし確認を行った。このソフトは、装置のスティックPCのOSが起動すると自動的に起動し、動作を10秒ごとの一定周期に連続で実行し、当該装置動作中の電波強度を記録し続ける。記録したデータは、スティックPCに保存できるようにした(図9)。

消費電流変動確認では、スティックPCのUSBポートからLTEドングルへ流れる電流値を市販のUSB電源チェッカ(RT-USBVA3HV:有限会社ルートアール製)を使い確認した(図10)。

これらは、異常動作が発生した際にトレースが行えるように表示画面をビデオカメラで撮影して後日確認できるようにした(図11)。



図6 型式試験の様子(振動試験)⁽¹⁾



図7 取付作業(広告外し作業)⁽¹⁾



図8 予備線接続作業

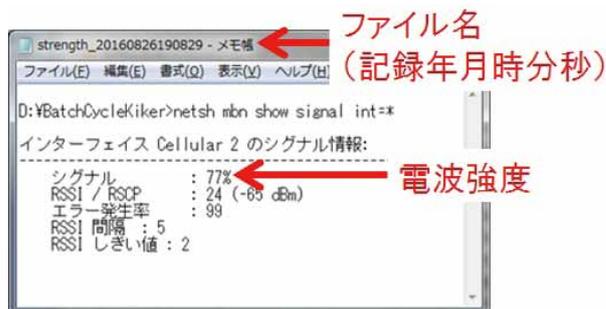


図9 電波強度を出力したファイル例⁽¹⁾



図 10 USB 電源チェッカ⁽¹⁾

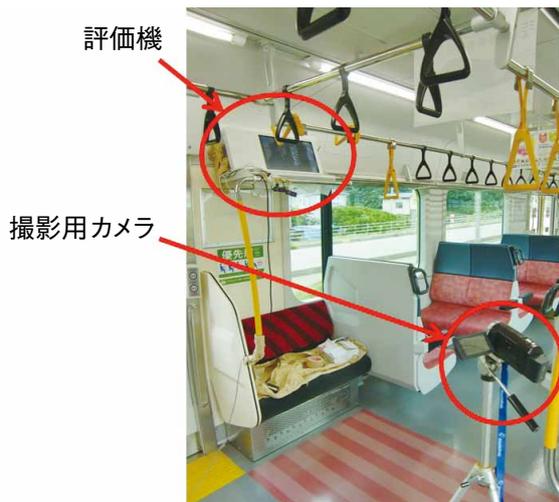


図 11 電源強度および電流値測定の様子⁽¹⁾



図 12 不具合発生時の状況⁽¹⁾

6.2 無線LAN通信による表示コンテンツ更新方式での動作確認

今回の試験ではLTEドングルを最小限にしてコストダウンや消費電力の削減効果を確認するため、LTE通信機をルータタイプに変更し、スティックPCの無線LAN機能（Wi-Fi）と接続した方式も動作状況を確認した。この試験は、車両に取付けた装置1台に仮設して状況を確認し、他の設置された装置の動作を都度見回り、異常動作が発生した際に当該機の動作状況を確認し、動作上の相違がないかを確認した。

7 量産先行機の安定稼働試験結果

今回、実施した試験の結果について下記に示す。

7.1 LTE通信強度変化による装置への影響

LTE通信強度変化による装置への影響を確認した結果、走行中に画面が不表示になる現象が発生した。この現象は、車両に取付けた装置（5台）だけでなく評価機においても発生した（図12）。

原因として、LTEの通信電波強度が弱く電源の電圧と電流値で変動が見られ不表示になることが考えられた。そこで、実際にビデオ録画した映像と電波強度を掛け合わせ画面が不表示になる時間帯の電圧と電流値を調査した。

その結果、電波シグナルに関しては2日間ともトンネルや山間部を除き低い区間はなかったが、一時的に電波のシグナル数が低くなると電源の変動が発生し、その結果電力不足になる可能性が高くなることが考えられた。図13は、画面不表示前の電源（電圧、電流）変動の一例である。不表示が発生した9:15:06では電波シグナルは74%であったが、直後の9:15:16では64%にダウンした。

このときの電圧は4.73～4.91Vであったが不表示になる直前で電流値が0.85Aから0.61Aとなり電流値の変動が見られた。このことから電波シグナルが弱くなると電波を受信するためLTEドングルの出力を上げる動作に入るが、スティックPCのUSBポートに流れる電源の出力に限度があり結果、電源ダウンとなってしまふと考えられる。

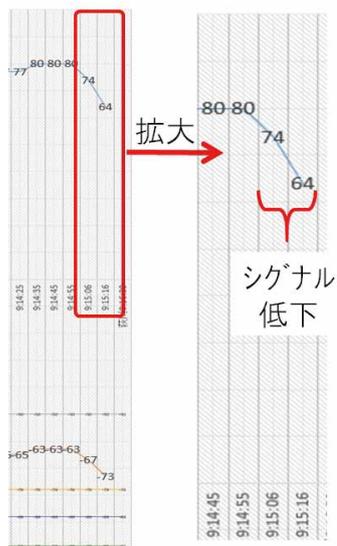
7.2 無線LAN通信を利用した表示コンテンツの更新動作確認結果

無線LANを使用した装置では、試運転開始から終了まで動作が安定した状態で推移した。通信は、山間部やトンネルなどでは圏外となり高頻度で更新するデータでは更新ができない状況になった（図14）が、電波状況が良くなるとすぐに通信を開始しデータの取得（回線接続）や更新を実施した。

7.3 結果まとめ

各結果の状況からLTEドングルをスティックPCに直接取付けする方法では、LTEの電波レベルが下がると消費電力の変動が発生し、ACアダプタやスティックPCのUSBポートの電源容量不足が発生してスティックPCやLTEドングルの電流値が低下することがわかり、この方式では営業線での運転に不向きであることが確認できた。

また、無線LAN通信による表示コンテンツ更新方式を変更した装置については、良好であり営業線での運用が可能との確認ができた。



時間	電圧(V)	電流(A)	シグナル(%)
9:15:06	4.89	0.83	74
9:15:07	4.89	0.85	
9:15:08	4.91	0.77	
9:15:09	4.89	0.74	
9:15:10	4.89	0.77	
9:15:11	4.90	0.73	
9:15:12	4.87	0.81	
9:15:13	4.84	0.85	
9:15:14	4.93	0.61	
9:15:15	4.73	0.73	
9:15:16	4.87	0.80	64

図 13 画面不表示前の電圧電流変動(一例)⁽¹⁾



図 14 トンネル内での表示画面⁽¹⁾

8 結果の評価と今後の対応

今回の試運転試験の結果から、開発した手法ではLTEの電波レベルが下がるとスティックPCのUSBポートが電力容量不足となり、それが原因でスティックPCの瞬停や起動失敗などの動作不安定が発生すると考えられる。また、LTEドングルの通信が長大トンネル(新清水

トンネル)に入ると「圏外」となり遮断されるが、トンネルを抜けたあと通信復帰しない場合が発生することも確認された。そのため今回の開発方式では、営業運転に不向きである。

今回の試運転で良好であった、LTEドングルをルータタイプにして、スティックPCの無線LAN機能(Wi-Fi)と接続した仕様については良好であったことから、量産先行機はこの仕様に変更を行った(図15)。仕様変更の際、LTEドングルの電源供給ルートスティックPCから電源アダプタに変更し、電源ダウンによる対策も行った。

この結果、本装置のトータルコストも、変更前より低減させることが出来、さらなる低コスト化に寄与している。

仕様変更後、LTE通信機あり(1台)となしの装置(2台)の組合せで各車に設置し営業列車にて試験放映を行っており2016年度は、特にトラブルなく運用が順調であったことを確認した(図16)。

9 量産機への対応

9.1 量産機仕様

量産機の仕様としてまず、装置本体の改良をした。改良点としては、筐体がLTE通信機ありとなしの種別が発生し、装置の構成や配置が異なるが、できるだけコストを抑えるため構成部品を固定する板金の構造を工夫し、

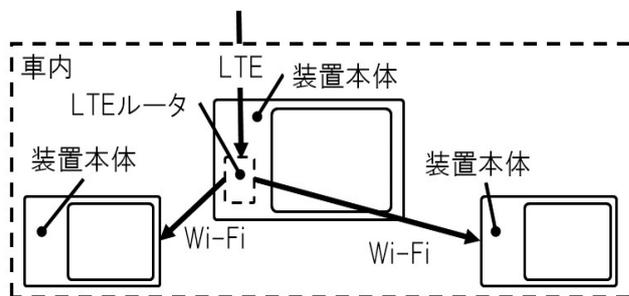


図 15 LTE通信機仕様変更による通信仕組み⁽¹⁾

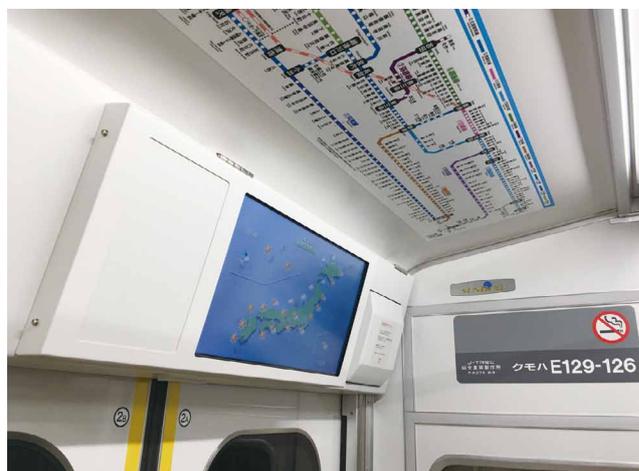


図 16 営業列車で試験放映中の量産先行機⁽²⁾

双方で機器のコンバートができることと不具合時の構成部品を単体レベルで交換できるようにした。つぎに、表示コンテンツ更新のための通信方式は、試運転で結果が良好であったLTE通信と無線LAN (Wi-Fi) 機能を使用した方式を採用した。それを採用することで装置の状態を地上サーバ側で遠隔監視し通信状況の確認をするとともに、不具合時の発生を把握すること可能となった。

その他、装置の拡販を目的にTrain Viewer⁺という名称を検討した。名称の由来については次項に記載する。

9. 2 Train Viewer⁺名称の由来

商品名称は、列車を示す「Train」、表示器を示す「Viewer」、サービス面の付加価値向上と車両への改造取付容易を示す「+」を組合せ、Train Viewer⁺ (トレインビューアプラス、図17) とした。

10 おわりに

LTE対応低コスト車内ビジョン「Train Viewer⁺」の開発において本装置は、低コスト化に向け機能システムを車両基幹伝送から切り離してLTE通信を活用することや、短寿命だが安価な既製品を利用することを実現化し今後、車両システムのこれまでの考え方を考える存在になると考えられる。

2017年度より低コスト車内ビジョン装置「Train Viewer⁺」の量産化を進めていくが、鉄道をご利用されるお客様へのサービス向上となれば幸いである。

本製品の開発に協力頂いた関係各社、各位に対し厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 大山寛人, 他: 「LTE通信の活用による低コスト車内ビジョンの開発」, 第54回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, (2017), 日本サイバネティクス協議会
- (2) J-TRECプレスリリース LTE応用低コスト車内ビジョン「Train Viewer⁺」を開発 (2017, 9, 14)
<http://www.j-trec.co.jp/news/060/20170914/170914.pdf>

著者紹介



大山寛人
生産本部
技術部 (商品開発)



長本昌樹
生産本部
技術部 (商品開発) 課長



松岡茂樹
技術士 (機械部門), 日本機械学会フェロー
生産本部
技術部 部長 (開発企画)



図 17 Train Viewer⁺ のロゴ

ワイヤロープ式遠隔操作型ボールコック 「Air Lead Type R」の開発

Development of “Air Lead Type R”, Remote-Operated Ball Valve, Actuated by Wire Ropes

今岡憲彦 Norihiko IMAOKA
川上清温 Kiyoharu KAWAKAMI

鉄道車両用空気配管に設置したボールコックの使い勝手を向上させるため、当社では2016年度に遠隔操作型ボールコック Air Leadを開発した。今回、南海電気鉄道へ向けて、通勤車両のドアコック操作性を改善するため、ワイヤロープ式遠隔操作型ボールコック Air Lead Type Rを提案した。試作品を使っての試験搭載を実施し、基本機能に問題無いこと、取付作業を短期間で行えること、などを確認した。さらに、試験搭載で見つかった課題を解決して、完成度を高めた量産品第1号を2000系に搭載した。

1 はじめに

鉄道車両用空気配管に多く使われているボールコックの使い勝手を向上させるため、当社では2016年度に鉄道車両用遠隔操作型ボールコック「Air Lead」（読み方：エアリード）を開発した⁽¹⁾。このAir Leadは、荷重伝達方法の違う3タイプを設定しており、今回、南海電気鉄道へ向けて通勤車両のドアコック操作性改善のため、ワイヤロープ式遠隔操作型ボールコック Air Lead Type Rを提案した。以下、量産品第1号を現車搭載するまでの概要を記す。

2 Air Leadとは

2.1 Air Leadの特徴

Air Lead（図1）は、鉄道車両用空気配管に使われているボールコック操作ハンドルの使い勝手を良くすることを第一に考え、当社が開発した。

AIRLEAD

図1 Air Lead（ロゴ）



図2 鉄道車両用空気配管とコック類

ボールコックは、ドレン抜き用などの一部を除き、配管途中に設ける必要がある（図2）。そのため、ボールコックの前後には最低2本の配管がつながっており、ボールコックを設置可能な位置は比較的限定されている。今まで以上に操作ハンドルの使い勝手を良くするためには、ボールコック本体と操作ハンドルを分離させることが必要となる。そこで、空気配管から離れた場所からでもボールコック本体を遠隔操作できる操作ハンドルの開発を行った。

Air Leadを使うことにより、以下のような効果を得られることがわかっている。

- ①配管経路のシンプル化による配管長縮減と車両軽量化
配管取り回しが減ることで配管が短くなり、車両軽量化を図れる。
- ②配管長縮減による管摩擦抵抗減少とエネルギーロス低下
配管長が短くなることで管摩擦抵抗が減少する。特に、取り回し箇所によく用いられている継手が減ることで、管摩擦抵抗が大きく減少する。管摩擦抵抗の減少はエネルギーロスの低下を意味し、空気圧縮機の容量低減や運転効率化による負荷低減、応答性向上などの効果を見込める。また、管摩擦抵抗を見込んで太い配管を使っている箇所サイズダウンできれば、車両軽量化になる。
- ③配管のシンプル化による機器類ぎ装位置自由度向上
配管取り回しが減ることで、従来まで取り回しのためだけに確保していたスペースが不要となり、他の機器類のぎ装に使えるスペースが増える。これにより、車両重量バランスを最適化しやすくなる。また、機器類のメンテナンス性向上を図れる。
- ④事故発生時の配管ダメージ回避
鉄道車両の空気配管は、平常時の取り扱いのしやすさを考慮して車端部近くにボールコックを配置している。そのため、踏切事故のような列車前頭部を破壊するアクシデントが発生した場合、空気配管がダ

メージを受ける可能性が非常に高くなる。ダメージを受けると、ブレーキ装置が動作しなくなって自走できなくなり、運転復旧に長い時間を要することになる。Air Leadを使い、操作ハンドルだけを車端部に設け、空気配管自体はダメージを受けにくい箇所に通せば、従来と同様の使いやすさのまま、事故の際のダメージを回避できる可能性が高まる。

- ⑤ボールコック操作ハンドルの集約が可能
特定の場所に操作ハンドルを集約することで、車両全体のボールコック開閉状態を1箇所で確認できる。これにより、ボールコックの操作ミスを減らせる可能性がある。

- ⑥複数位置からの遠隔操作・状態確認が可能
Air Leadは1つのボールコックに対して複数の操作ハンドルを設置することもできるので、複数位置からの遠隔操作も可能となる。その際、全ての操作ハンドルはつながっているの、ある操作ハンドルを動かせば、他の操作ハンドルも同期して動く。よって、操作した場所以外でもボールコックの開閉状態が確認できるようになる。

2.2 Air Leadの種類

Air Leadは、遠隔操作距離、およびボールコックと操作ハンドルの位置関係に合わせて3タイプ設定した。いずれのAir Leadにおいても、鉄道車両で通常使っている10G (3/8") から25G (1") のボールコックに対応している。

Air Lead Type Sは、ボールコックのステムを延長する形でシャフトを設け、空気配管から離れたところに操作ハンドルを設けられるようにしたものである。シャフトを介してトルクを伝達する。300mm程度の比較的短い距離を遠隔操作する場合に用いる。なお、Type Sという名称は、ステム (Stem) の頭文字から取ったものである。

Air Lead Type Fは、Type Sでボールコックのステムを延長しているシャフト部分を、剛体のロッドからフレキシブルシャフトへ変更したものである。フレキシブルシャフトを介してトルクを伝達する。Type Sではボールコックの回転軸と操作ハンドルの回転軸が同一線上に並んでいる必要があるが、Type Fでは操作ハンドルの設置位置に若干の自由度を持たせることができる。Type Fでは500mm程度の、比較的短い距離を延長する場合に用いる。なお、Type Fという名称は、主要構成要素であるフレキシブルシャフト (Flexible Shaft) の頭文字から取っている。

Air Lead Type Rは、他の2種類のAir Leadとは異なり、長距離遠隔操作を目的として開発したものであ



※黒い部分は、ワイヤロープを通すチューブ状の「アウト」

図3 ワイヤロープ (アッセンブリ)

る。ボールコックのステムにワイヤロープ (図3) を掛け、ステムの回転をワイヤロープの引張力に変換して遠隔操作する。Type Rでは標準的な遠隔操作距離を3mとしているが、15m程度まで伸ばしても問題はない。なお、Type Rという名称は、ロープ (Rope) の頭文字から取っている。

ワイヤロープは、自転車のブレーキに使われているものが最も一般的であるが、パワーウィンドウの駆動部分、内視鏡などにも使われている。鉄道車両でも、電気式ドアエンジンにおける本体と解錠ハンドルとの間の荷重伝達に使われている。

3 南海電気鉄道での現車搭載

3.1 試作品現車搭載

南海電気鉄道2000系 (図4、以下2000系) のドアコック操作性改善のため、2016年度秋から2両1編成に対し試験的にAir Lead Type Rの試作品を搭載した。2000系は、高野線南端の山岳区間を走行可能なステンレス鋼製通勤車両で、1990年から1997年にかけて導入された。



図4 南海電気鉄道 2000系

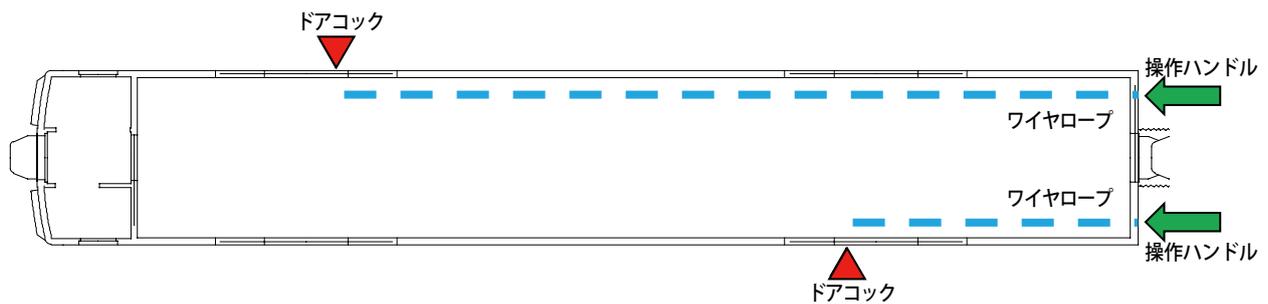


図5 装置類配置 (概略図)

操作対象のボールコックは床下設置のドアコックである。南海電気鉄道では、空気の吐出量を大きく取るため、ドアコックに三方コックを採用している。他の事業者で一般的に使われている側穴付きのボールコックではないので、専用の三方コック用取付金具を製作した。操作ハンドルは妻面に設置し、プラットホーム上からの操作を容易にしている。

床下設置のドアコックは、車体の左右それぞれに設置されている。車体中心に対しては点対称となる位置に存在しており (図5)、妻面からの距離が車体左右で異なる。長い方の遠隔操作距離は約14mとなった。このくらいの遠隔操作距離となると、ワイヤロープの操作抵抗が敷設状態によって大きく変わるので、試行錯誤を重ねながら、最適な敷設状態となるようにした。最終的に、ワイヤロープによる操作抵抗の増加はわずかなレベルに抑えることができた。

ワイヤロープは現車合わせで長さ調整できるようにした。これは、2000系が比較的長い期間にわたって導入された車両であり、次車ごとに大きささまざまな相違点が存在することと、導入後に搭載された装置も少なからずあり、車両ごとに床下の状態が異なる状況を踏まえている。

装置は、既存のボルト穴に共締めで固定し、また配管部品に締め付けることで、車体工事を一切行わずに取付できた。そのため、作業は短期間で完了した。ワイヤロープの敷設状態の試行錯誤を行ったことを含めても、2両1編成への取付工事所要期間は2日間であった。

車両への搭載後、定期的に状態確認を行った。

高野線南端の山岳区間は、冬季の外気温が氷点下となる。そこで、冬季の最も寒い時期での動作状態を確認したところ、問題となる事象は生じていなかった。

また、山岳区間には急勾配があり、ブレーキダストが非常に多く発生する環境である。現車試験搭載後の試作品内部に、若干のブレーキダスト侵入を認めた。

3.2 量産品での改良点

試作品現車搭載の状態から、Air Lead Type Rの基本機能に問題は無いことを確認できた。一方、完成度を高

めるために若干の課題解決が必要との認識を得た。課題解決後、Air Lead Type Rの量産品を製作した。試作品に対する量産品での改良点を以下に挙げる。

①操作抵抗の小さいアウトへの変更

ワイヤロープの敷設状態によって操作抵抗が大きく変化することは、先に記したとおりである。一方、操作抵抗の増加を抑えた、最適な敷設状態とするためには制約が多い。そこで、ワイヤロープと接触するアウトの種類を変更し、敷設状態が最適ではなくても操作抵抗の増加を極力抑えられるようにした。

②ブレーキダストの入らない構造への変更

試作品では、水が装置内に浸入してもすぐに排出できるよう、ケースへ大きめのすき間を設けていた。試験現車搭載時には、そのすき間からのブレーキダストの侵入を若干量認めた。確認時点での侵入量は少なかったが、経年による侵入量増加と、それによる操作抵抗の増加といった問題発生に対する懸念が生じたので、ブレーキダストが侵入しにくくなるようにすき間を極力減らした。なお、コストとメンテナンス性の面から、防水防塵構造のケースにはしていない。そのため、水のみが通過できる程度のすき間は残し、装置内が水浸しになることを防いでいる。

③ワイヤロープ長さ調整方法の変更

ワイヤロープを長さ調整しやすいように、装置内部のワイヤロープ固定方法を見直した。

3.3 量産品現車搭載

2017年9月に、Air Lead Type Rの量産品第1号を2000系へ搭載した。搭載状態の写真を図6～7に示す。試作品と同様に、非常に短期間で取付作業を完了した。

また、ワイヤロープの操作抵抗も小さく、ドアコック本体を操作する際の操作力とほぼ同等の力で操作できることを確認した。

今後、2000系および2300系の全車への取付を進める予定である。



図6 操作ハンドル取付状態

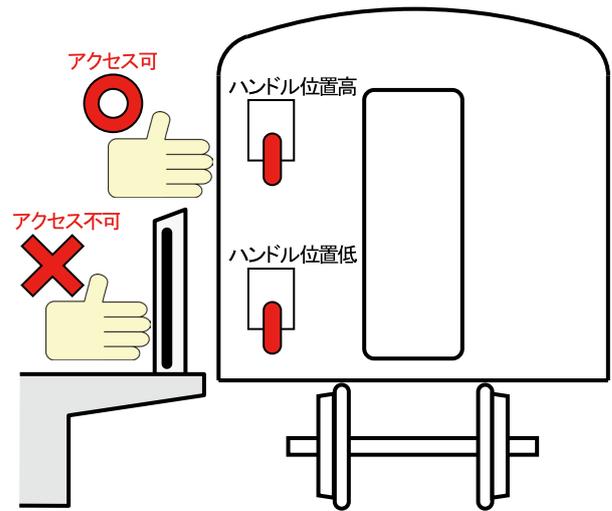


図8 ホームドア設置駅での操作性改善（概念図）



図7 ドアコック側装置取付状態

4 おわりに

以上、Air Lead Type R量産品の現車搭載について概要を紹介した。車体工事を行わずに、短期間で搭載できることから、新製車両の配管削減に限らず、既存車両への改造にも適した製品であると言える。

今回、妻面へ操作ハンドルを設置するためにAir Lead Type Rを使った。この使用方法を応用すると、ホームドアの設置によりホーム上から操作しにくくなったボールコックの操作性改善などにも使うことができる（図8）。

今後、さらなる改良を加えつつ、多くの鉄道事業者に活用していただけるように鋭意展開していきたいと考えている。

本装置の開発において、南海電気鉄道をはじめとする関係各位から多大なるご協力を賜った。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

- (1) 今岡憲彦，他：「鉄道車両用遠隔操作型ボールコックの開発と省配管化の検討」，総合車両製作所技報，Vol.5，42-47，（2016），（株）総合車両製作所

著者紹介



今岡憲彦
生産本部
技術部（商品開発） 主査



川上清温
生産本部
技術部（ぎ装設計）

トピックス

構体の長尺部品製造における安全性向上とコスト低減に向けた取り組み

生産本部 生産管理部

1 はじめに

鉄道車両構体には、約20mになる長尺の部品が数種類使用されているが、これらの部品を製造するにあたり、ロールフォーミングという装置を用いて加工を行っている。

ロールフォーミングとは、形状の異なる円形状の金型（成形ロール）を複数個連続して配置し構成されたロールフォーマという部分にコイル状の鋼板を通し、徐々に材料を送りながら成形することにより、必要とする断面形状で任意の長さ加工することが可能な装置である（図1）。

プレス加工などでは、長尺の製品を加工することは困難となるが、ロールフォーミングは、プレス加工と比較して、長尺の部品を精度良く安定的な加工が可能で、かつ、加工速度が速いという利点がある。

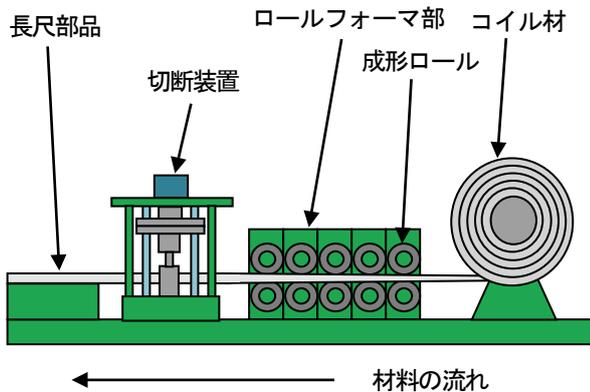


図1 イメージ図

加工と切断を繰り返していくと、最終的にコイルエンドやデータエンドで必要な寸法を満たすことのできない部分が残材として残ってしまう。

材料の送り装置の構成上、材料が長尺の状態では、多くのロールの送り力が働くため、材料はスムーズに移動させることができる。

しかし、材料が残材のように短尺な状態では、材料に接するロールの数が少なくなり、送り力が減少してしまうため、残材を自動で送り出すことができなくなる（図2）。

その場合、作業員が人力により残材を引き抜く作業を行っていたが、作業場所や作業姿勢が悪く、安全上の課題があるとともに、残材ではあるが重量物であるため、作業負荷も高く時間を要するため、コスト面においても改善が望まれていた。

そのことから、安全面、コスト面の両面における課題解決を目指し本テーマの取り組みを行った。

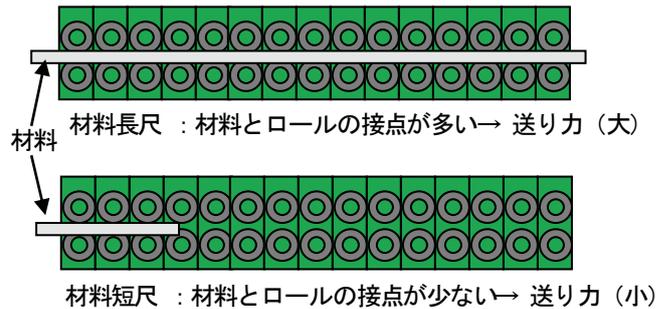


図2 材料の長さに対する送り力

2 従来の問題点

従来の残材引き抜き作業は、作業員がロールフォーミング装置の近傍でロールフォーマのペンダントスイッチの操作によりロールを送り方向に回転させながら、残材の引き抜き作業を作業員2名で行っていた。

そのとき、ロールフォーマの送り速度と作業員の引き抜き速度が異なる場合、ロール上でのスリップ等により、ロールの表面にキズをつけてしまうリスクがあった（図3）。

ロール表面のキズは、製品の品質に大きな影響を与えるため、補修や損傷が著しい場合は取替えが必要となり、多大なコストがかかるためキズの発生は回避する必要がある。

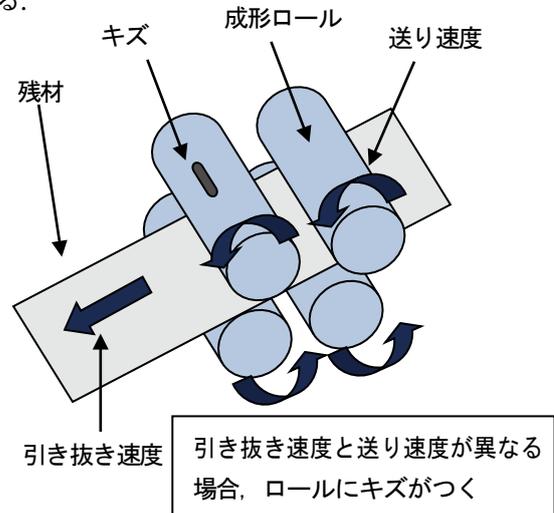


図3 残材の引き抜きとローラの送り速度

3 開発の目的と概要

残材の引き抜き作業では、前述したとおり、安全性の向上と作業コストの削減が課題となっていた。それらの問題点の解消にむけて、自動化を進め、安全で効率的な残材の引き抜きが可能となる機構の開発に着手した。

3.1 対象部品の選定

構体の製造に使用される長尺の部品は屋根部、側面部、床部に6種類使用されているが、全ての部品に対応することができなければ課題は依然として残ることになるので、形状の異なる6種類の部品を対象とした。図4に一例を示す。



図4 長尺部品の一例

3.2 自動化にむけての検討

安全性の向上と作業負荷低減によるコスト削減の両面を実現するには残材の引き抜き作業の自動化が必要となるためその検討を進めた。

人が手で引く力については、目安として図5から(約130N/一人) × 2人 = 260Nとした。

また、残材引き抜きの自動化の検討を行うに当たり、既存装置の有効活用も視野に入れ進めた。

既存装置には部材の切断装置が組み込まれており、

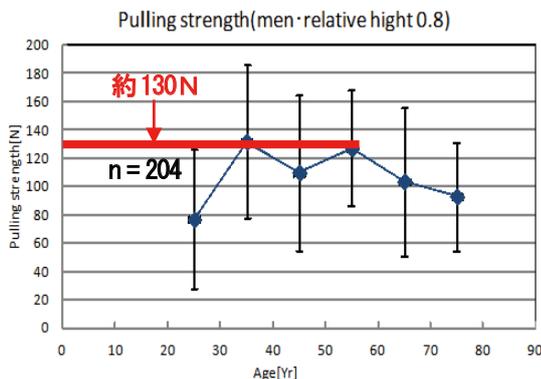


図5 操作グラフ 手で引く力(男性)⁽¹⁾
高さ：肘一頭高さ × 0.8

NC制御による上下の切断機能と前後の移動機能が備えられているが(図6)この機能を有効に活用することにより製作コストの削減が見込めることから、切断装置に新たに付加価値つけ残材を引き抜く機構を構築することとした。

切断装置の前後移動の推進力は約10kNであり前述した人が手で引く力(約130N/一人) × 2人 = 260Nをはるかに上回り、十分な推進力(引く力)を有している。

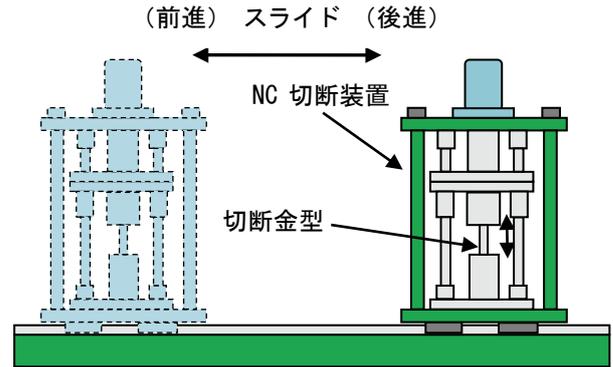


図6 切断装置部

3.3 新たに設けたクランプ機構

残材を引き抜く方法として切断金型の切断力を調整し、残材をクランプして引き抜く方法も考えられるが、この場合切断金型を損傷させるリスクも想定されることから、切断金型は使用せず切断装置に新たにクランプ機能を追加し、既存のスライド機構と併用して引き抜く構造とした(図7)。

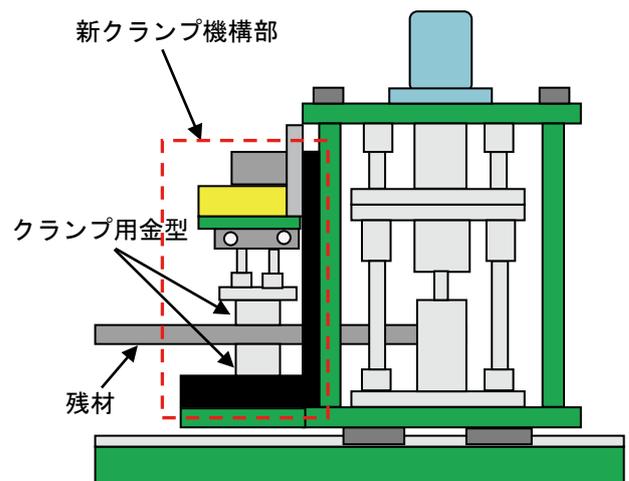
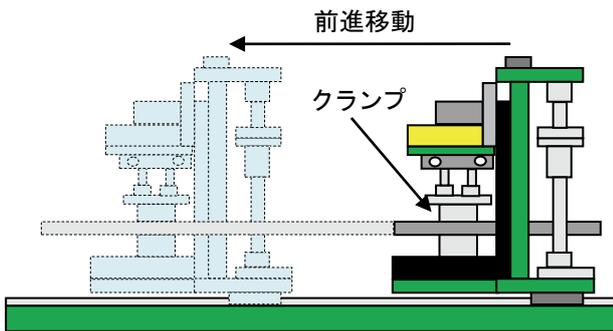


図7 新クランプ機構部

3. 4 引き抜き機構の概要

引き抜き機構を用いた引き抜き工程を図8に示す。材料のコイルエンド、またはデータエンドの残材の板端を検出した後、任意の位置まで残材を通す。その後、引き抜き機構を起動し、材料のクランプ→NC切断装置の前進→残材のアンクランプ→NC切断装置の後進を繰り返し、残材を引き抜く(図8 ①②を繰り返す)。

① 残材をクランプし前進する



② アンクランプし後進する

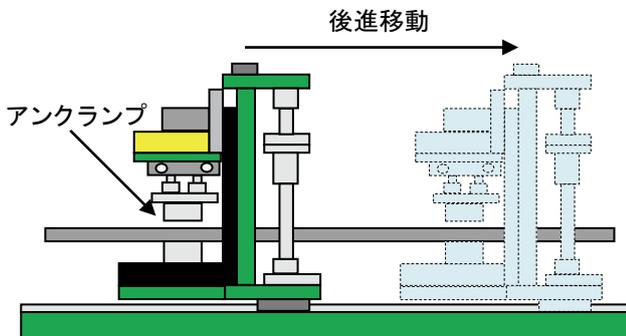


図8 残材の引き抜き工程

3. 5 クランプ用金型

クランプ用金型の形状は製作する部品の断面形状に合わせてあるが、引き抜きをより確実にを行うため、上下の金型に凹凸を設けて、残材に完全に穴を開け上金型の凸部が貫通した状態で引く抜く構造とした。

しかし、この方法では、残材を確実にクランプし、引き抜くことは可能となるが、引き抜いた後、アンクランプしたときに残材が上金型の凸部から開放されず、金型の上昇とともに持ち上がってしまう現象が起きてしまう(図9)。

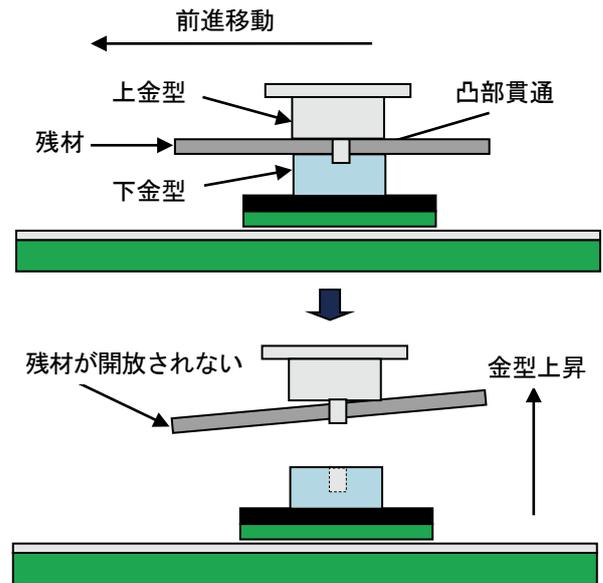


図9 金型凸部貫通によるクランプ

3. 6 クランプ用金型の改良

残材をクランプする際に確実に残材を保持、開放することが自動化にむけての必須条件になる。

前述した残材を引き抜いた後、上金型上昇時に残材が開放されないという課題を改善するために金型の凹凸の形状を変え、凸を貫通させず、残材に窪みをつける程度の形状とし、残材のクランプと同時にエンボス加工が可能な構造とした(図11)。



図10 エンボス加工

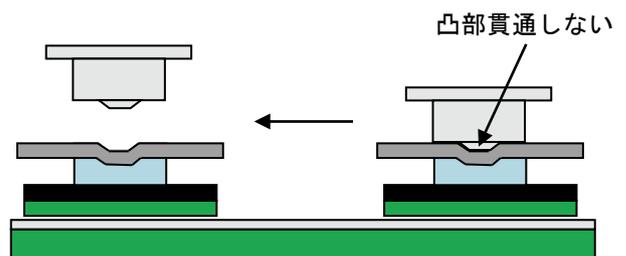


図11 金型凸部を貫通させないクランプ

クランプ部をエンボス加工としたことにより、上金型上昇時に残材が上金型とともに上昇してしまうという状態は改善され、円滑に開放することが可能となった。

3.7 引き抜き速度とロール送り速度の同調

残材を引き抜く速度とロールフォーマの送り速度が異なる場合、ロールにキズをつけてしまうというリスクもある。

その対策として、NC切断装置の移動速度とロールフォーマの送り速度を同調させる機構とした(図12)。

そのことにより、スリップ等の現象を防止することが可能となり、ロールの損傷を回避することができた。

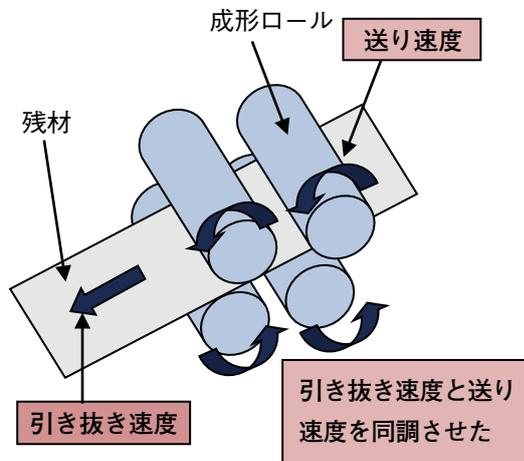


図12 引き抜き速度と送り速度の同調

4 試験結果と効果の確認

6種類の異なる形状の構体部品に対し、それぞれの形状に対応した金型を製作し試験を行った。いずれの種類においても、残材のクランプ、残材の移動、残材のアンクランプの一連の動作で異常は認められず、良好な試験結果が得られた。

それにより、残材引き抜き作業で大幅な自動化を実現でき、作業姿勢の問題や作業負荷に対してなど、作業環境の改善ははかられ、安全性の向上につながった。

また、作業時間については、全6種類中3種類について大幅な改善をはかることができた(表1)。

表1 作業時間短縮一覧

構体部品種別	改善効果
構体部品 A	▲83%
構体部品 B	▲83%
構体部品 C	▲70%
構体部品 D, E, F	▲ 0%

一連の動作をフローチャート(図13)に示す。

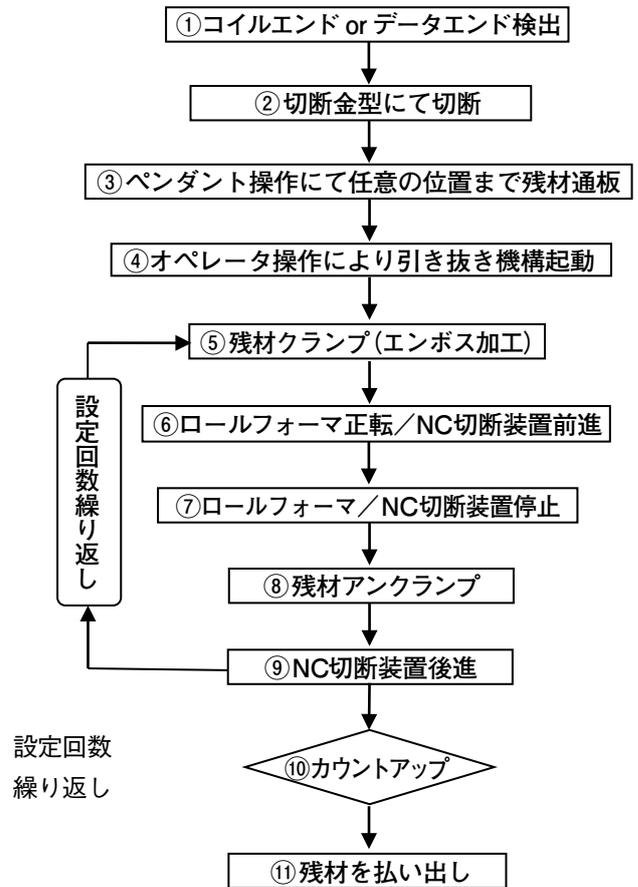


図13 引き抜き作業フロー

5 まとめ

本開発を遂行してきた中で、各種の検討と対策の実施、試験、検証を重ねた結果、これまで人手による作業で行っていたローフォーミングの残材引き抜き作業の自動化を実現し、当初の目的を達成することができた。

その結果、安全性の向上と作業時間の短縮に寄与することができたとともに、ロールフォーマとNC切断装置の速度を同調することで、スリップ発生の抑制も実現し、これによりロールに対するキズの発生を未然に防ぎ、修繕コストの抑制についても期待できる結果となった。

今後も現場作業における安全性、作業性の向上とコスト低減にむけて取り組みを進めていきたい。

参考文献

- (1) 独立行政法人 製品評価技術基盤機構 人間特性データベース 操作力グラフ 手で押す力・引く力 一部加筆

(西脇正, 鈴木正幸, 玉木将純, 山口敏明, 遠山肇 記)

JR 東日本 クルーズトレイン E001 形 「TRAIN SUITE 四季島」

生産本部 技術部



図 1 製品外観

1 はじめに

JR東日本では、日本の豊かで美しい自然を、また地域に根ざした産業や日々の暮らしに息づく文化を、列車ならではの「豊かな時間と空間の移ろい」の中で、さまざまに楽しむ旅を提案することを目的として、2017年5月から「TRAIN SUITE 四季島」の運行を開始した。

この列車は10両編成であり、当社ではラウンジ（5号車）、ダイニング（6号車）、四季島スイート・デラックススイート（7号車）の3両について、設計・製造を担当した。

2 構造および特徴

2. 1 車体

2. 1. 1 基本構造

車体寸法は、車内空間をできるだけ広く確保するため、車体長を従来の車両より800mm長い20800mmとし、車体幅を2900mm、屋根高さを4070mmとしている。

構体構造は、台車間が低床構造の2階建て車両をベースとした、ステンレス構体である。

床面高さは、車内の静粛性を実現するため1200mmを基本とし、常用乗降口となる5号車の側出入口部は、従

来の車両と同じ1130mmとしたほか、メゾネット個室やダイニング高床部など、斬新な室内空間実現のため、各部の床面高さを変えている。

側出入口は、外板面の平滑化と、室内空間をより広く確保するために、外プラグ式ドアを採用し、5号車の常用乗降口では両引き構造とすることで、約1500mm幅の開口を確保している。

照明については直流-交流切替区間、交流区間のセクション対策の為、通路柱灯を除き、予備灯と室内灯は直流点灯（DC100V）としている。また、客室内、ラウンジ、ダイニングの照明は調光機能を備えており、シーン選択子機で調光パターンを選択することができる。

2. 1. 2 5号車（ラウンジ）設備

車端部にシャワー室、トイレ、喫煙室、機器室を配置し、バーカウンタを含め1車両全体をラウンジとして、開放的な空間としている。

車体中央には大開口の側出入口をレール方向に1-3位側と2-4位側でずらして配置し、ドア正面には門柱やピアノを配置している。

側窓は特徴的な形状、大きさ、配置となっており、複数

の窓をまとめて1枚のパネルで覆うことで、室内にパネルの継ぎ目を少なくし、壁面の一体感を施した。また、側壁には樹木を連想させるディスプレイを4本配置している。

車体中央の一部を低床とし、テーブル4台と擬似暖炉を配置、その他の部位にテーブル5台を配置し、合計18席確保した。

主な内装材料としては、壁面はアルミパネルに砂壁調塗装、門柱は大理石、床はヘリンボーン調フローリング、低床部は絨毯、階段部は大理石を使用している。



図2 ラウンジ



図3 ダイニング



図4 キッチンカウンタ

2. 1. 3 6号車 (ダイニング) 設備

前位側にダイニング、後位側にキッチンと通路、側出入口を配置し、ダイニングの車体中央部を高床構造とし、その階下には冷凍冷蔵庫等を配置したキッチンストレージ (食料保管庫)、従業員用トイレ等を設けている。

ダイニング部の側窓はテーブル位置にあわせて大窓を配置し、大窓間には小窓を設けている。各窓にはレース調のフリーストップカーテンを設置し、手の届かない部位は電動カーテンとした。側および天井は表面柄に応じて分割した部品を部位ごとに一体化したパネル構造とし、窓の上下にはLEDを配置したスリットを設け、ライン照明としている。また、中央天井には有機ELのシャンデリアが配置されている。

キッチンには開閉窓、通路部には小窓が配置されている。

ダイニング中央には高床へ続く階段と、ワインセラー、作業台、ダイニングとキッチンの仕切部にはパントリー、キッチンには通路に面した部位にオープンカウンタをそれぞれ配置した。また、ダイニングにはテーブル9台を設置し、18席を確保している。

主な内装材料としては、ダイニング壁面はアルミパネルに突板、化粧シート貼り、スリット内部は漆喰塗装、通路部壁面はアルミパネルに突板、砂壁調塗装、キッ

ンはステンレス板、床はダイニングに大理石、通路部にフローリング、キッチンにビニル床を使用している。

2. 1. 4 7号車 (デラックススイート) 設備

前位側に床面がフラットタイプのデラックススイート、後位側にメゾネットタイプの四季島スイート、車端部に、クルー・スタッフ用個室を配置している。

各スイート内には、洗面・トイレ・バスルームを設け、バスルーム内には、シャワーと檜製の浴槽を設けている。浴室は1泊につき2人で計4回の利用を想定しており、その分の湯はりが可能な水量の水タンクを設けている。

各スイートには専用の分散型空調装置を搭載し、故障した場合を考慮し、スタッフ室、通路用の空調装置でスイートの空気調和が可能となるように空調ダクトにバイパス経路を配置した。

スイートの側窓は各2枚の大窓と、その周囲に小窓を複数配置した。各窓にはレース調および遮光の2重のフリーストップカーテンを設置し、手の届かない部位は遮光のみの電動カーテンとした。バスルーム内には1枚の

大窓を配置し、雪見障子を設置した。通路は小窓の連続配置としている。

デラックススイートにはソファベッド2台、擬似暖炉、クローゼット、シェルフを設置、四季島スイートにはベッド2台、堀座卓、座椅子2台、クローゼット、シェルフを設置した。

主な内装材料としては、スイート壁面はアルミパネルに和紙、突板、化粧シート貼り、アクセントとして漆塗りのパネル（赤色、黒色）、アルミの花模様の叩き仕上げパネル、樋目仕上げ梁、ガラスに突板を貼付けたLED面発光パネルを配置している。バスルーム壁は花崗岩とした。床はスイート内に絨毯、通路部にフローリング、バスルーム内にビニル床を使用している。



図5 デラックススイート

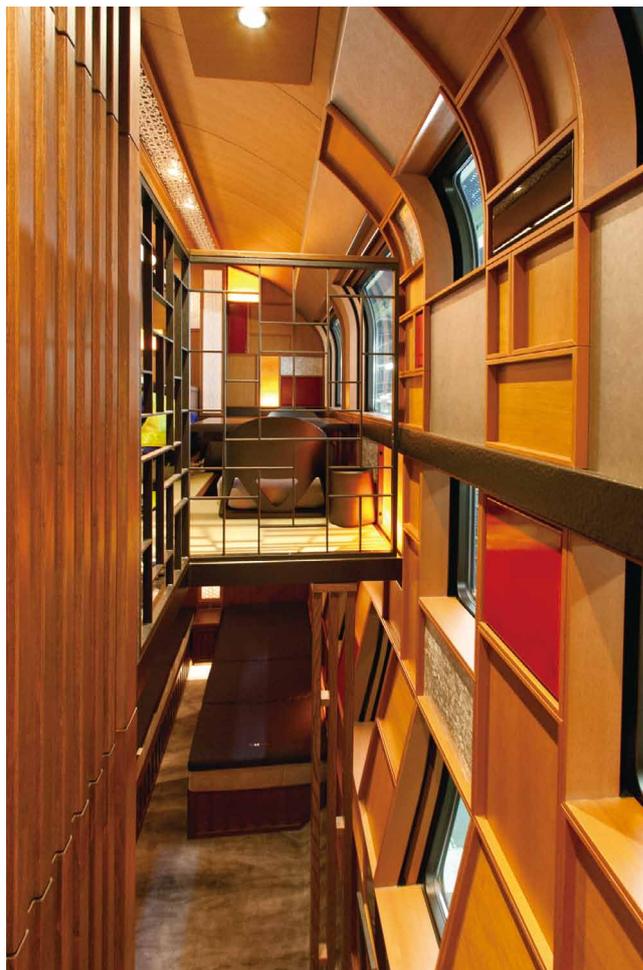


図7 四季島スイート

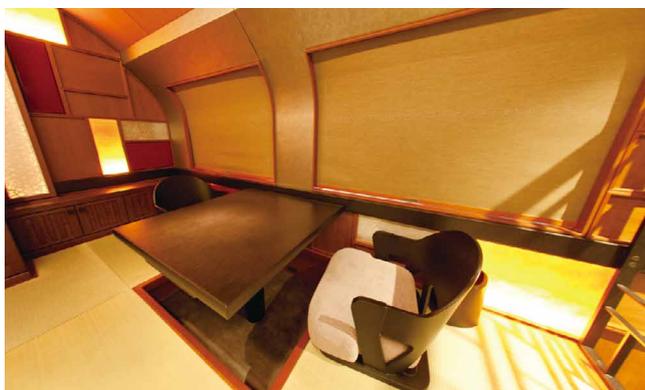


図6 四季島スイート階上



図8 四季島スイート階下



図9 バスルーム

2.2 ぎ装

本車両は、電化区間においてDC1500V、AC20000V (50/60Hz)、AC25000V (50Hz) での走行が可能のほか、非電化区間における自力走行を可能とするため、先頭車にはエンジン発電機が搭載されている。車両の制御は、JR東日本の車両において多数実績のあるTIMSにより行われている。サービスシステムとしては、BGMやアテンド放送、ライブ・イベント機材を備えている。

2.2.1 床下機器

台車間が2階建て車両と同じ構造であるため、床下機器は車端部のみに配置されており、滑走防止弁装置や汚物タンク、汚水移送装置等を搭載している。その他の機器は、搭載スペースの関係上、室内の機器室に収めている。耐寒耐雪仕様による雪害軽減と、エクステリアの配慮を目的として側カバーを設置している。

2.2.2 屋上機器

床下と同様、屋上においても車端部に機器を配置しており、外観に配慮した屋根側カバーを設置している。5号車と6号車には準集中式、7号車には分散式の空調装置が搭載されている。また、6号車と7号車には水タンクも搭載している。

2.2.3 室内機器

室内は、居住空間を最大限に確保する一方、床下や屋上において搭載できなかったものも含め、限られたスペースに機器を配置している。各車において妻部のほか、5号車や7号車では通路下、6号車では階下のキッチンストレージ等にも機器スペースを設け、TIMSやブレーキ、動揺防止制御装置や空調、戸閉、水揚・汚物、サービスシステムといった機器の設置と、引き通しの配管や

配線を敷設している。5号車の床中には水タンクを搭載しているほか、6号車の階下には厨房機器用の無停電電源装置を搭載している。また、各車において共用部となる出入台や通路には、防犯カメラを配置している。

2.3 台車

当社製作分の5、6、7号車はいずれも付随台車で、台車形式はTR267である。ボルスタレス式の空気ばね台車であり、軸箱支持方式は軸梁式である。

軸ダンパとヨーダンパを装備するほか、上質の乗り心地を提供するため、可変減衰上下動ダンパと左右方向のフルアクティブアクチュエータを装備する。可変減衰上下動ダンパは側ばりの側面に空気ばねと並列に配しており、台車枠と車体間の減衰を制御することにより乗り心地を向上する。

軸箱には、その下部に逸脱防止ガイドを装備し、また軸受異常発熱の検知用に温度検知器を設けている。空気ばね、ダンパ、軸ばね、ブレーキダイヤフラム等には、豪雪地帯での走行でも正常に動作するよう、カバーを設けている。

ブレーキは踏面片押しブレーキとディスクブレーキの併用方式である。車軸の端部には滑走検知用に速度発電機を装備する。



図10 TR267 台車

3 おわりに

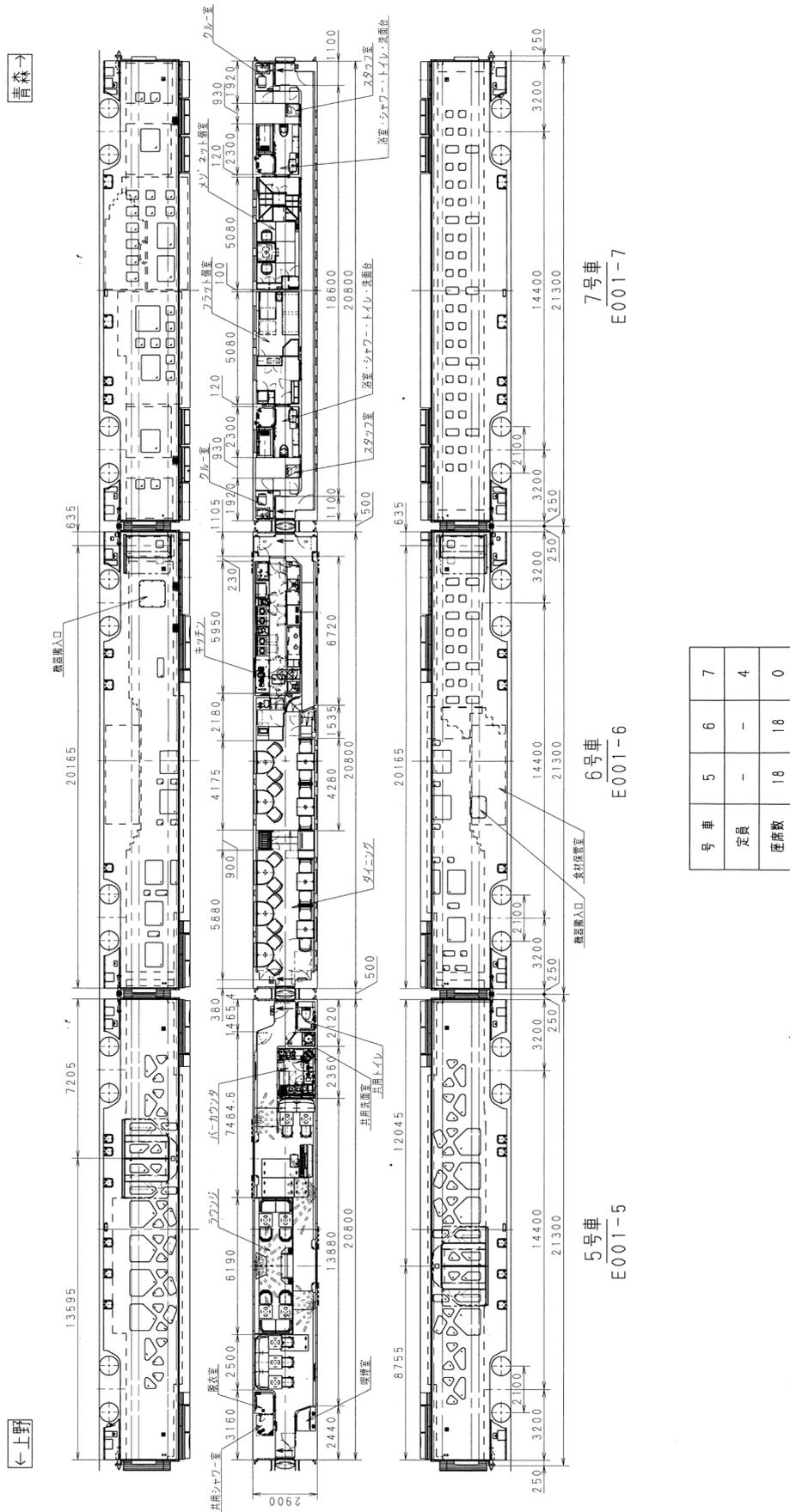
「TRAIN SUITE 四季島」が、JR東日本のフラッグシップトレインとして、非日常の極上空間でおもてなししていくことで、日本を楽しむ上質な体験や感動をお客様にご提供する車両でありつづけてほしいと願っている。

(小泉貴洋、三原啓輔、堀口健一郎、平井明正 記)

表 1 諸元表

編成		
最高運転速度	110km/h	
号車形式	5号車 E001-5	7号車 E001-7
定員 (人)	0	4
座席数 (席)	18	0
質量 (t)	44.6	50.5
連結面間距離	21300mm	
車体長さ	20800mm	
車体幅	2900mm	
屋根高さ	4070mm	
床面高さ	1200mm (5号車乗降口付近のみ1130mm)	
台車間中心距離	14400mm	
台車形式	TR267	
パンタグラフ	-	
主電動機	-	
主制御器	-	
補助電源	-	
電動空気圧縮機	-	
冷房装置	AU729-G2 (23.26kW) × 2	AU729-G2 (23.26kW) × 2
保安装置	-	
ブレーキ方式	回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ, 直通予備ブレーキ, 抑速ブレーキ, 耐雪ブレーキ	
情報装置	TIMS (列車情報管理装置)	
座席配置	9テーブル, 18座席	9テーブル, 18座席
側出入口	両引き式外ブラグドア装置	片引き式外ブラグドア装置
トイレ	共用トイレ	従業員用トイレ
シャワー	共用シャワー	シャワー付き浴室
喫煙室	1室	-
クルー, スタッフロム	-	-
サービス機器	クルー連結システム, 音響設備	
備考	軸梁式/ボルスタレス空気ばね台車 可変減衰上下動ダンパ付き フルアクティブアクチュエーター付き	

凡例：連結器 (+)：密着，-：半永久
車軸 (○)：T軸



号車	5	6	7
定員	-	-	4
座席数	18	18	0

図 11 編成図

JR 東日本 E235 系量産車 一般形直流電車

生産本部 技術部



図1 E235系量産車 外観

1 はじめに

JR東日本では、2006年から投入されてきた通勤・近郊車両であるE233系の次期車両として、E235系第1編成（トウ01編成）を当社新津事業所で製造し、量産先行車として2015年11月に山手線で運用を開始した（図1）。その後、運転やメンテナンスなどの意見をフィードバックして改善点を見出し、さらなる機能向上を目指して量産車の設計・製造を行い、2017年5月から量産車の運用を開始した。E235系は、今後の首都圏の快適な輸送サービスを担う存在として高く評価されたことから、鉄道友の会ローレル賞に選定された。

デザインコンセプトは、「お客さま、社会とコミュニケーションする車両」とし、前面の大きな窓や表示装置で、人と人、人と社会を繋ぐ情報の窓を表現している。また、居住空間を広く感じられるオープンなデザインとしている。

E235系は、当社で提案するステンレス車両のブランド名である「sustina」に位置付けている。

以下に、E235系量産車からの変更内容を中心に概要を紹介する（量産先行車の詳細は、総合車両製作所技報第4号⁽¹⁾で掲載）。

2 構造および特長

2. 1 車体

2. 1. 1 基本構造・外観

E235系は11両固定編成（6M 5T）とし、10号車のみ現状の山手線E231系（サハE231-4600）の改造車を充当している。ただし、量産車のトウ04編成およびトウ05編成のみE235系500代として10号車を新造している。各M車には主回路制御装置（VVVF）を搭載して、独立M車方式を採用している。ブレーキ方式は再生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキとし、最高速度はE233系と同一の120km/h、加減速度は山手線E231系と同一の加速度3.0km/h/s・減速度4.2km/h/sである。保安装置は、D-ATC車上装置を搭載している。

外観のデザイン面では、側引戸上部にある緑色とステンレスのドット柄のカラーフィルムは、量産先行車ではステンレス表面を表現した色であったのに対して、量産車ではステンレス地が見える透明なフィルムを新規に採用した。これにより、ステンレス表面の仕上げをそのまま表現することが可能になった。側引戸上部のカラーフィルムは、レール方向は出入口フレームの幅に合わせ、量産先行車より面積を拡大した。高さ方向は屋根絶縁塗

料との離隔を縮小して、下地のステンレスが極力見えなないように緑色の面積を拡大した。また、側引戸外側のカラーフィルムも、窓周りや下方にある取手周りなども同様にステンレス部が極力見えないう配慮した(図2)。

先頭車の側面にある保安装置標記や軸位標記は前面覆いの塗装面に貼り付けていたが、前面覆いの塗装時の再貼付作業を省略できるように無塗装であるステンレス外板部に移設した。また、前面覆い側面とステンレス外板との境界の色は、E233系を含めてシルバーの塗装であったが、車両製造性やメンテナンス性を考慮してブラックとしている。

2. 1. 2 内装

荷物棚の高さは、量産先行車では優先席および先頭車のみ一般席より50mm低い位置であったが、荷物へのアクセス性を向上するため、量産車は全車優先席と同じ高さに統一している(図3)。

車端部に設置されている、車いすやベビーカーなどのお客さまが利用しやすいフリースペースと隣接する優先席とのエリア区分をより明確にするため、優先席の床敷物の色を桃色から赤色に変更した(図4)。

一般席の袖仕切の保護棒と腰掛前にある保護棒(スタンションポール)は、特殊な表面処理を施して指紋跡が目立ちにくく、洗浄性がよいものとした(図5)。

ロールバーは、量産先行車では荷物との接続があったが、荷物へのアクセス性向上を図るため、荷物への接続を廃止して、吊手棒と構体のみの接続としつつ量産先行車と同等の側面衝突時の安全性確保を実現した(図6)。

側引戸上にあるかもいは、ヒンジ部が見えない構造として、解錠ハンドルふたを室内側へ突出した形状からフラットな形状にすることによりスタイリッシュな外観とした。かもいの両隣にある側引戸の上レール用点検ふたの開口を拡大して、メンテナンス性の向上を図った(図6)。

2. 2 ぎ装

2. 2. 1 床下機器

各車の列車情報管理システムとしては、量産先行車と同様にINTEROS (INtegrated Train communication networks for Evolvable Railway Operation System) を搭載している。保安装置としては、量産車からATS-Pを抹消してD-ATCとし、R-ATC (以下ATACS) の準備工事を行っている。指定編成にはモニタリング装置やレール塗油装置を搭載している。

2. 2. 2 屋根上機器

量産先行車と同様に先頭車には信号炎管、列車無線用の広帯域空中線アンテナ、WiMAXアンテナの本工事、GPS / 準天頂衛星対応アンテナの準備工事を行っている。量産車では2、10号車にATACSアンテナの搭載を準備している。パンタグラフは量産車ではPS33Hを搭載し、指定編成号車には電力モニタリング装置を搭載している。

2. 2. 3 室内機器

空気清浄機は量産先行車と同様に横流ファン近傍に搭載しており、量産車から搭載数を倍増させている。側引戸の開閉表示灯はCUD (Color Universal Design) 対応部品としている。

2. 2. 4 乗務員室機器

起立運転に対応するための腰掛は体格の適合範囲を拡大させるように量産先行車から変更している。客室からの前方視認性や取扱い性を向上するため前方カメラの記録装置や機器類を移設している(図7)。

3 おわりに

E235系は、新たな標準車両として位置づけられ、安全・安定輸送を前提に新機軸をハード・ソフト両面で取り入れた車両であり、量産車が順次投入され、2020年春ごろまでに現在の主力であるE231系500代と置き換わる予定である。

E231系500代、6扉車置換えで新造した7号車と10号車、そしてE235系と現在山手線で運用している車両は全て新津事業所(旧JR東日本 新津車両製作所も含む)で設計・製造している。世代交代は、車両のみならず設計・製造関係者も少しずつ進んでおり、感慨深いものである。

参考文献

- (1) 松島千裕, 他: 「JR東日本 E235系 一般形直流電車」, 総合車両製作所技報, Vol.4, 94-99, (2015), (株)総合車両製作所

(松島千裕, 小嶋元寧, 水谷恵介 記)



図2 側引戸周囲のカラーフィルム



図5 表面処理を施した保護棒



図3 客室内



図6 ロールバー



図4 優先席部とフリースペース部



図7 乗務員室

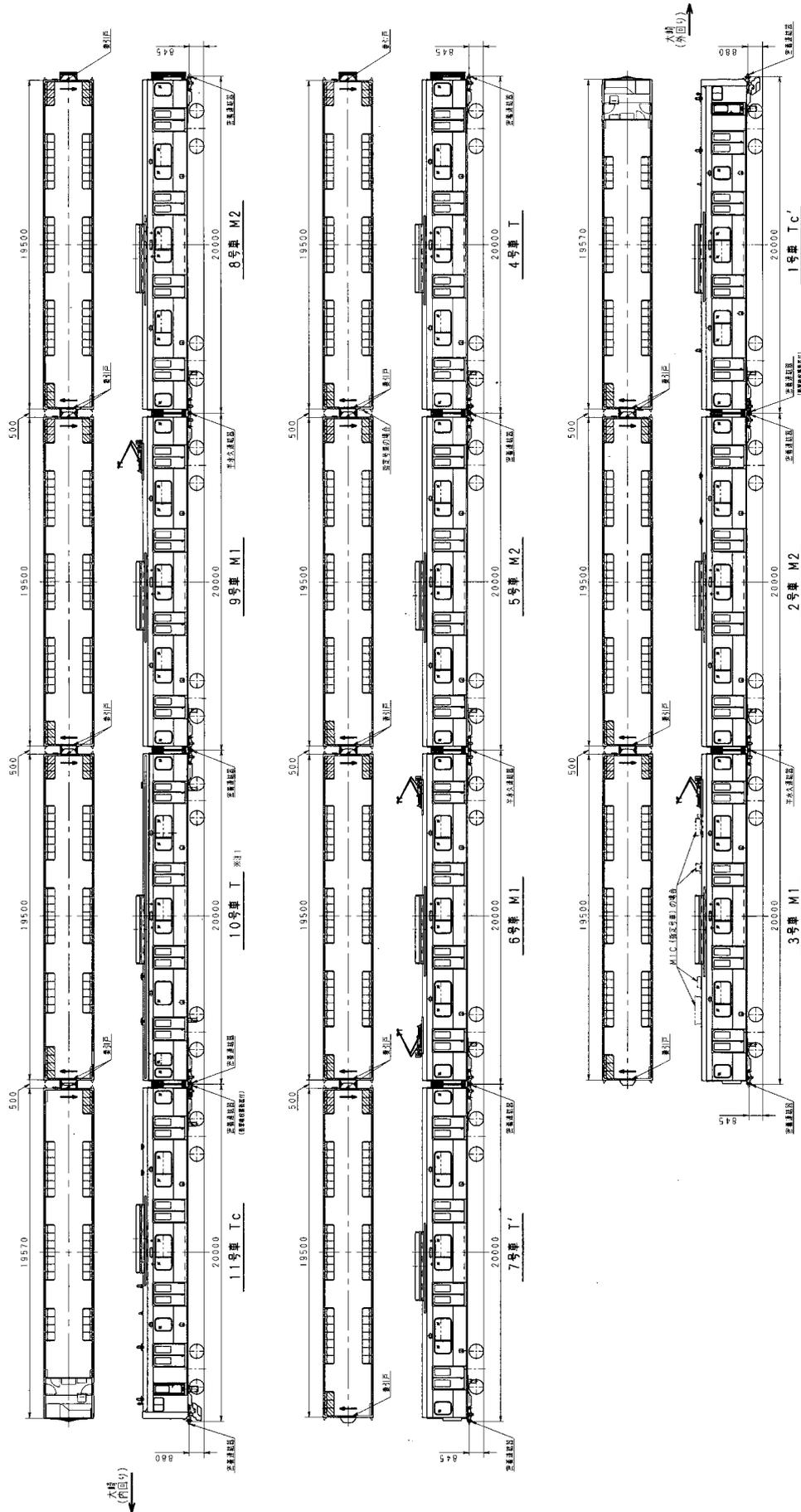


図 8 編成図 (10号車改造)

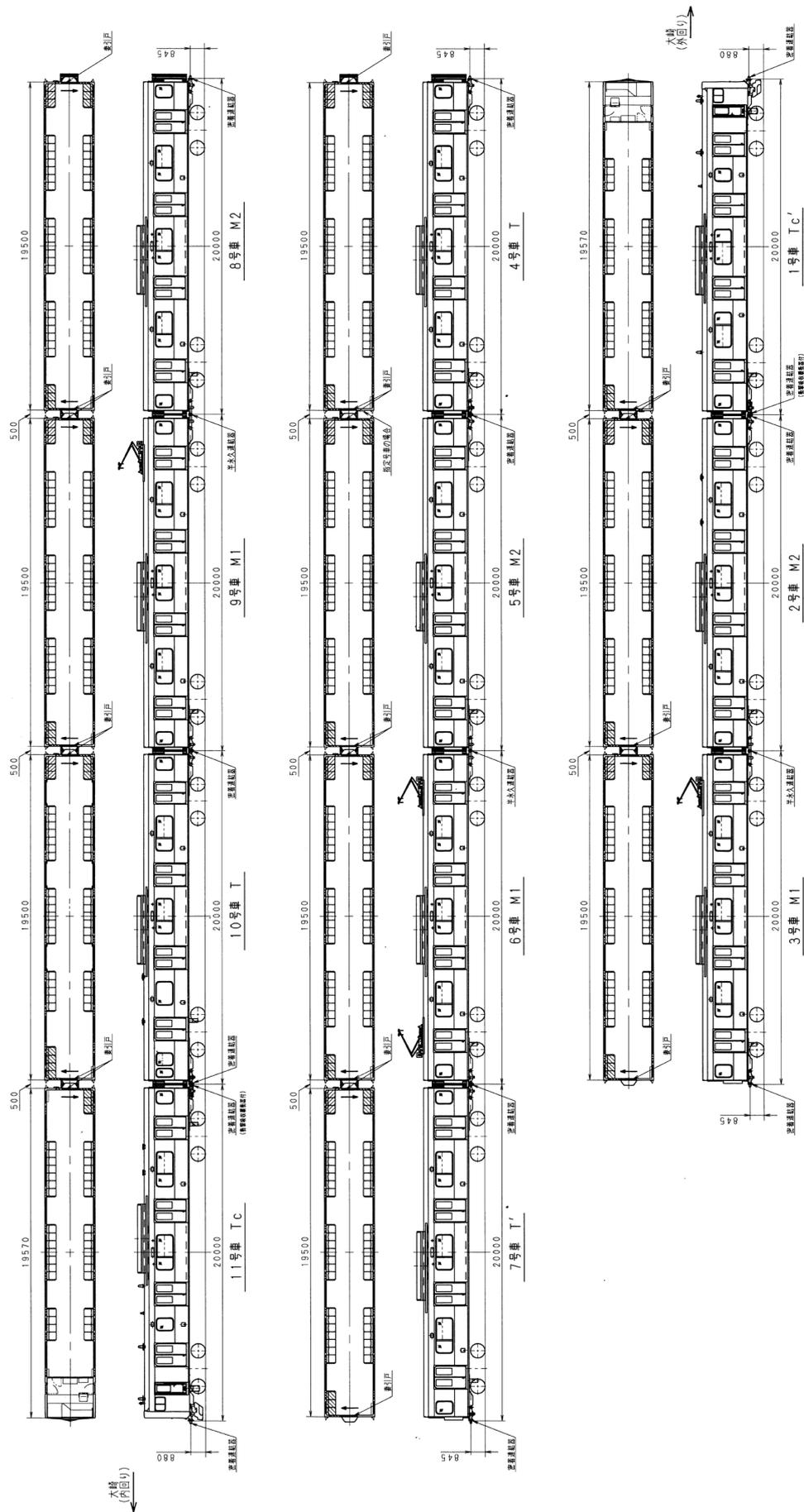


図9 編成図 (10号車新造)

表 1 諸元表

編 成	← 内回り ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ →											外回り →
	一部を除きE231系の改造											①
編 成												<p>11両編成 (6M5T)</p> <p>5・8号車: TLK付</p> <p>6号車前位パンタ: 予備用</p> <p>6・9号車: 補助蓄電池付</p> <p>4号車 (3・6位トア部): 非常梯子搭載準備工事</p> <p>7号車 (3・6位トア部): 非常梯子搭載</p> <p>10号車: 突削位置 (一部を除きサハE231-4600を改造)</p>
最高運転速度	120km/h (曲線通過: 基本の速度)											<p>加速度 3.0km/h/s</p> <p>減速度 4.5km/h/s</p>
形 式	M1 (3・6・9号車)	M2 (2・5・8号車)	T (4号車)	T (10号車)	T' (7号車)	T (11号車)	T' (1号車)					Tc' (1号車)
定員(人)	160 (51)											142 (39)
標記質量	33t											33t
車体寸法	車体長さ	19500mm										19570 mm
	車体幅	2950mm										
	屋根高さ	3620mm										
	床面高さ	1130mm										
	台車中心距離	13800mm										
台車形式(歯数比)	DT80系 (1:7.07)											
主要機器	パンタグラフ	PSS3H										先頭台車は駐車ブレーキ付, ヨーダンパンおよび軸タンハ準備工事
	主電動機	MT79×4										M車は母線断流器付
	主制御器	SC104										全閉外扇型誘導電動機
	補助電源	IvHB										ICAM, 高圧回路開閉器付, SIC素子使用
	電動空気圧縮機	-										260kVA, 待機2重系 1600 L/min, オイルフリーコンプレッサー
空調装置	集中式冷房装置 AU737系 (58.1kW (50000kcal/h)) + シーズ線式暖房器											
保安装置	D-ATC車上装置, デジタル列車無線, EB・TE装置, 防護無線 (自動発報装置付)											
制御方式	VVVFインバータ制御方式, 回生ブレーキ付											
ブレーキ方式	回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ, 直通予備ブレーキ, 耐雪ブレーキ, 駐車ブレーキ											
	非貫通 (高床構造)											
運転室構造	列車情報管理装置 (INTEROS)											
情報装置	ロングシート, 車いすスペース付 (各車1箇所), 優先席増設 (中間車3名×2→3名×3)											
座席配置	片側扉数4, 電気式戸閉装置 (戸抜き安全機能付), 3/4閉機能											
側出入口	フルカラー行先表示器, 情報提供装置 (LCD), 自動放送装置, 車外スピーカー, infoPiC, 前方カメラ											
サービス機器	TASC支援装置, ホームドア車上装置 (1号車にトランスポンダ), 地上モニタリング装置, 移動禁止システム, 非常梯子, 客室LED照明, LED前照灯											
その他	地上モニタリング装置は指定車のみ ATACS準備工事											

凡例: [○]: 車椅子スペース, 連結器 [+]: 密着, -: 半永久

泉北高速鉄道 12000系

生産本部 技術部



図1 製品外観

1 はじめに

泉北高速鉄道では、和泉中央～難波間を結ぶ特急「泉北ライナー」を2015年12月5日より運行開始しているが、2017年が泉北ニュータウンのまちびらき50周年、トリヴェール和泉の25周年を迎えるアニバーサリーイヤーにあたることから、ニュータウン活性化の一助とすべく、新型特急車両・泉北12000系を新造した。この車両は、南海本線の「サザン」として既に営業運転している南海12000系をベースとしながらも、外観・車内のデザインを大きく変更して個性あるものとしている。

2 構造および特徴

2.1 車体

2.1.1. 基本構造

編成は、ベース車両である南海12000系と同じ4両の固定編成(2M2T)である。

2.1.2 デザイン

外観は、基本色を金色とし、青と黒の優美に描くラインを施して、きらびやかなデザインとした(図1)。側面は、ラッピングフィルムによる着色とし、側開戸窓を除く車体側面の窓部にもフィルム貼り付けをしてデザインの連続性を持たせている。窓部のフィルムは微細な穴があいており、車外にはデザイン表現をしつつ車内から車外を眺めることができる。和泉中央先頭車両(Mc2車)の車体側面には、泉北ライナーのシンボルマークを配置した。シンボルマークは、中央の星が「新しさ」、周囲の4つの丸が「ニュータウンの4つの地域(泉ヶ丘、梅、光明池、トリヴェール和泉)」をそれぞれ表現している。4つの丸は京都オパール[®](注1)にて装飾し、光り輝くニュータウンを表現している(図2)。

(注1)京都オパール[®]は京セラ株式会社の登録商標で、同社が装飾用素材として展開しているカラーオパールなどの合成オパールを総称した愛称である。



図2 シンボルマーク

客室は、明るい木目調とダークな木目調を用いて落ち着きとやすらぎの上質な室内空間を演出した。また、車両ごとに腰掛とカーテンの色をシンボルマークの4つの丸と同系色として、シンボルマークとの統一感や一体感を持たせるとともに、乗車するたびに異なる雰囲気を楽しめる仕様とした。和泉中央方の1号車 (Mc2車) が黄、2号車 (T2車) が緑、3号車 (T1車) が紫、4号車 (Mc1車) が赤という配色である (図3～図6)。



図5 3号車客室 (T1車)



図6 4号車客室 (Mc1車)



図3 1号車客室 (Mc2車)

デッキ部は、黄金の空間として、非日常を感じさせる特別な仕様とした。光に吸い込まれるような空間とするため、側出入口部のダウンライトを各箇所1灯ずつ増設した。押面や広告枠などのディテール部材は極力黒色とすることで、空間を引き締める重要な役割を持たせた。洗面所のカーテンを赤色として、黄金の空間に彩りと華やかさを持たせた (図7)。



図4 2号車客室 (T2車)



図7 デッキ (Mc2車)

トイレについても、デッキの一部というくくりとして、黄金の空間を模したデザインとした(図8)。

T2車難波方の側出入口準備工事は、ベース車新造時には喫煙室としていたが、近年の流れにのっとして廃止とし、泉北12000系ではフリースペースとした(図9)。フリースペースと多目的室は、客室デザインとあわせた明るい木目調のデザインとして落ち着き感を持たせた。



図8 大型共用便所 (Mc2車)

2. 1. 3 車体設備

客室内には、液晶ディスプレイ式の車内案内表示装置を採用し、4ヶ国語による表記や画像を用いた多彩な情報案内をおこなっている(図10)。また、ベース車両と同じく、客室側天井部分にプラズマクラスター®イオン発生機(注2)を設置している。

(注2) プラズマクラスター®およびPlasmacluster®は、シャープ株式会社の商標である。

デッキ部には、防犯カメラを設置し、安全・安心な車内空間としている(図11)。

前照灯、室内灯、ダウンライト等のすべての灯具については、LED式として消費電力の削減を図った。

トイレについては、ベース車の無水式小便器を清水式小便器に変更した。また、大型共用便所と女性用便所には、壁面に便座除菌クリーナー用ディスペンサを設置した。



図9 フリースペース (T2車)



図10 液晶ディスプレイ式車内案内表示装置



図 11 デッキ部の防犯カメラ

3 おわりに

「泉北高速鉄道12000系」は、2017年1月27日より営業運転を開始している。製造にあたり泉北高速鉄道株式会社をはじめ関係各所から多大なご指導・ご鞭撻をいただいた。本稿の紙面を借りて謝辞を申し上げる。

参考文献

- (1) 泉北高速鉄道株式会社：「泉北ライナーに新型特急車両12000系を導入します」，2016年10月26日ニュースリリース

<http://www.semboku.jp/cat-news/4845/>

(横川浩大，西岡伸博，上関仁護，深澤悦史 記)



図 12 運転台

表 1 諸元表

車種	制御電動車 Me1		付随客車 T1		付随客車 T2		制御電動車 Me2		
形式	「モハ」12021		「サハ」12821		「サハ」12871		「モハ」12121		
車両番号	12021		12821		12871		12121		
軌間	1067mm								
電気方式	DC1500V 架空線式								
自重(t)	41.5		30.5		32		40.5		
旅客定員(人)	97		107		108		95		
座席定員(人)	60		68		64		50		
立席定員(人)	37		39		44		45		
最大寸法	長さ	20765mm	20665mm	20665mm	20665mm	20765mm	20765mm	20765mm	
	幅	2820mm							
	高さ	4140mm	4050mm	4050mm	4050mm	4050mm	4140mm	4140mm	
車両性能	加速度	2.5km/h/s							
	減速度(常用)	3.7km/h/s							
	減速度(非常)	4.0km/h/s							
	最高設計速度	120km/h							
車体	ステンレス製								
集電装置	形式	PT7144-B2	—	—	—	—	—	PT7144-B2	
	台数	シングルアームパンタグラフ 1台	—	—	—	—	—	シングルアームパンタグラフ 1台	
台車		SS177M	SS177T	SS177T	SS177T	SS177M	SS177M	SS177M	
		モノリンク式ボススタレスト台車 ユニットブレーキ採用							
連結装置	先頭	CSD-90 廻り子式密着連結器	—	—	—	—	—	増粘着剤噴射装置付 CSD-90 廻り子式密着連結器	
	中間	CSE-76 半永久式連結器							
主電動機	三相かご型誘導電動機 MB-5091-A3 180kW 4台		—		—		三相かご型誘導電動機 MB-5091-A3 180kW 4台		
駆動装置	WN式平行カルダン WN-1075-BMO 継手 WN-2103-A 歯車比 98 : 15 6.53		—		—		WN式平行カルダン WN-1075-BMO 継手 WN-2103-A 歯車比 98 : 15 6.53		
制御装置	VF1-HR1421F VVVFインバータ制御 速度センサレスベクトル制御 4M1C		—		—		VF1-HR1421F VVVFインバータ制御 速度センサレスベクトル制御 4M1C		
制動装置	MDSA型デジタル電気指令式電空併用 ブレーキ応荷重・直通予備ブレーキ付き								
補助電源装置		SVH75-4045C1 ダイレクト変換2レベルインバータ 75KVA 3相220V 60Hz	—	—	—	SVH75-4045C1 ダイレクト変換2レベルインバータ 75KVA 3相220V 60Hz	—	—	
		—	MBU1100T-4	—	—	—	MBU1100T-4	—	
空気圧縮機	—		6M40A-12 (40AH) 焼結式モノブロックアルカリ蓄電池		—		6M40A-12 (40AH) 焼結式モノブロックアルカリ蓄電池		
蓄電池	—		TK-103A型 2台		TK-103A型 2台		TK-103A型 2台		
戸閉装置	側扉	TK-103A型 2台							
	仕切扉	EDR-08-4 1台							
	共用便所引戸	—	—	—	—	—	—	EDR-08-4 1台	
冷房装置	セミ集中型 CU-7321 マイコン制御 23.26kw(20000kcal/h)2台		セミ集中型 CU-7321 マイコン制御 23.26kw(20000kcal/h)2台		セミ集中型 CU-7321 マイコン制御 23.26kw(20000kcal/h)2台		セミ集中型 CU-7321 マイコン制御 23.26kw(20000kcal/h)2台		
暖房装置	客室	AC220V 400W電気暖房器 30台	AC220V 400W電気暖房器 34台	AC220V 400W電気暖房器 32台	AC220V 400W電気暖房器 25台	AC220V 400W電気暖房器 25台	AC220V 400W電気暖房器 25台	AC220V 400W電気暖房器 25台	
	共用・女子便所	—	—	—	—	—	—	AC220V 250W壁掛電気暖房器 2台	
	多目的室	AC220V 700W温風暖房器 1台	—	—	—	—	—	—	
乗務員室	AC220V 700W温風暖房器 1台 AC220V 800W温風暖房器 1台	—	—	—	—	—	—	AC220V 700W温風暖房器 1台 AC220V 800W温風暖房器 1台	
前照灯	DC100V 27W/16W LED前照灯 2灯×2個		—		—		DC100V 27W/16W LED前照灯 2灯×2個		
標識灯	LED式 2個		—		—		LED式 2個		
照明装置	客室天井灯	AC220V 40W蛍光灯型LED 26本 AC220V 20W蛍光灯型LED 6本 DC100V 40W蛍光灯型LED 4本	AC220V 40W蛍光灯型LED 32本 AC220V 20W蛍光灯型LED 6本 DC100V 40W蛍光灯型LED 4本	AC220V 40W蛍光灯型LED 29本 AC220V 20W蛍光灯型LED 6本 DC100V 40W蛍光灯型LED 4本	AC220V 40W蛍光灯型LED 23本 AC220V 20W蛍光灯型LED 3本 DC100V 40W蛍光灯型LED 4本	AC220V 40W蛍光灯型LED 29本 AC220V 20W蛍光灯型LED 6本 DC100V 40W蛍光灯型LED 4本	AC220V 40W蛍光灯型LED 23本 AC220V 20W蛍光灯型LED 3本 DC100V 40W蛍光灯型LED 4本	AC220V 40W蛍光灯型LED 23本 AC220V 20W蛍光灯型LED 3本 DC100V 40W蛍光灯型LED 4本	
	客室網棚灯	AC220V 20W蛍光灯型LED 30本	AC220V 20W蛍光灯型LED 34本	AC220V 20W蛍光灯型LED 32本	AC220V 20W蛍光灯型LED 26本	AC220V 20W蛍光灯型LED 32本	AC220V 20W蛍光灯型LED 26本	AC220V 20W蛍光灯型LED 26本	
	出入口灯	DC100V 9.5W LEDダウンライト 4個							
	通路灯	DC100V 9.5W LEDダウンライト 1個	—	—	—	DC100V 9.5W LEDダウンライト 2個	DC100V 9.5W LEDダウンライト 2個	DC100V 9.5W LEDダウンライト 2個	
	便所・洗面所灯	—	—	—	—	—	—	DC100V 9.5W LEDダウンライト 7個	
	洗面所鏡裏	—	—	—	—	—	—	—	
	多目的室天井灯	DC100V 20W蛍光灯型LED 1本	—	—	—	—	—	—	
乗務員室灯	DC100V 20W蛍光灯型LED 2本	—	—	—	—	—	DC100V 20W蛍光灯型LED 2本		
放送装置	放送(自動放送付), 連絡, 通話式非常通報								
表示装置	列車種別行先	カラーLED式側面種別行先表示器 2台 カラーLED式正面種別表示器 1台	カラーLED式側面種別行先表示器 2台	カラーLED式側面種別行先表示器 2台 カラーLED式正面種別表示器 1台					
	車内案内	カラーLCD車内表示器 2台							
ATS装置	地上点制御速度パターン式連続速度照査方式 地上点制御直交同期検波式速度照査方式 列車種別選別機能付(デジタル伝送方式)								
列車無線装置	空間波半複信式								

東急電鉄 5000系6扉車置換え4扉車

生産本部 技術部



図1 製品車内

1 はじめに

東急電鉄では、2020年度を目標に東横線・田園都市線・大井町線の全駅へのホームドア設置を進めているが、田園都市線における4扉車と6扉車でドア位置が異なるという課題があった。これを解決するため、5000系車両をベースとしつつ快適性を向上させた中間4扉車を新造し、従来の6扉車との置換えを行っている。

2 構造および特徴

2.1 車体

2.1.1 基本構造

既存の6扉車との置換えとなるため、編成は、従来の5000系と同じ10両の固定編成（5M5T）となる。

また車体断面は、従来の5000系と同じである。

2.1.2 デザイン

インテリアデザインは、二子玉川や田園調布などに見られる、沿線の洗練された街並みと豊かな自然が共

存するイメージを採り入れ、東急電鉄としての次世代通勤車内装デザインを目指した。白を基調とした明るい色調をベースに、ナチュラルな木目調素材とグリーンの腰掛をアクセントとして採り入れ、都会的でありながら、居心地の良い爽やかなやすらぎ感のあるデザインとした（図1）。

エクステリアデザインは、既存編成に組み込まれるため、統一性を重視して従来の5000系と同じデザインとした（図2）。



図2 製品外観

2. 1. 3 車内設備

腰掛は、5050系4000番台Shibuya Hikarie号と同じハイバック仕様とし、一部にはヘッドレストを追加した(図3)。ヘッドレストは、さまざまな体格の方を含めて検証をおこない、多くの方が心地よく利用できる高さとした。表皮は、背ずりに若々しいグリーンを用いて大波のようにゆったりと流れるデザインとし、沿線がもつ洗練されつつも豊かな緑を表現した。一方、座面は車内空間に落ち着きを持たせるため、しっとりとした落ち着いた深いグリーンの表皮とした。



図3 ハイバックシート

フリースペースを全ての車両に1ヶ所設置した。車椅子やベビーカー利用のお客さまに配慮し、2段手すりや暖房器などの設備を充実させた。また、床面には車椅子とベビーカーのピクトグラムを掲出し、スペースの明確化を図った(図4)。



図4 フリースペース

荷棚は、低身長のお客さまにも荷物の積み下ろしがしやすいよう、従来よりも低い位置に設定した。

吊手は、従来よりも大型のタイプとし、とっさの時に多くのお客さまが掴まれるよう配慮した(図5)。

袖仕切は、大型の袖仕切として包み込まれるような

安心感を持たせたつつ、立席客と着席客とが不用意に触れ合わないよう配慮した。出入口側をアルミ化粧板、腰掛側をFRPとして、アルミフレームにて固定する構造とした。

床面には、濃淡2色の床敷物を用い、境目に木目調のラインを入れることでデザイン上のアクセントとするとともに、足の投げ出しを心理的に抑制する効果を狙った(図6)。



図5 大型の吊手

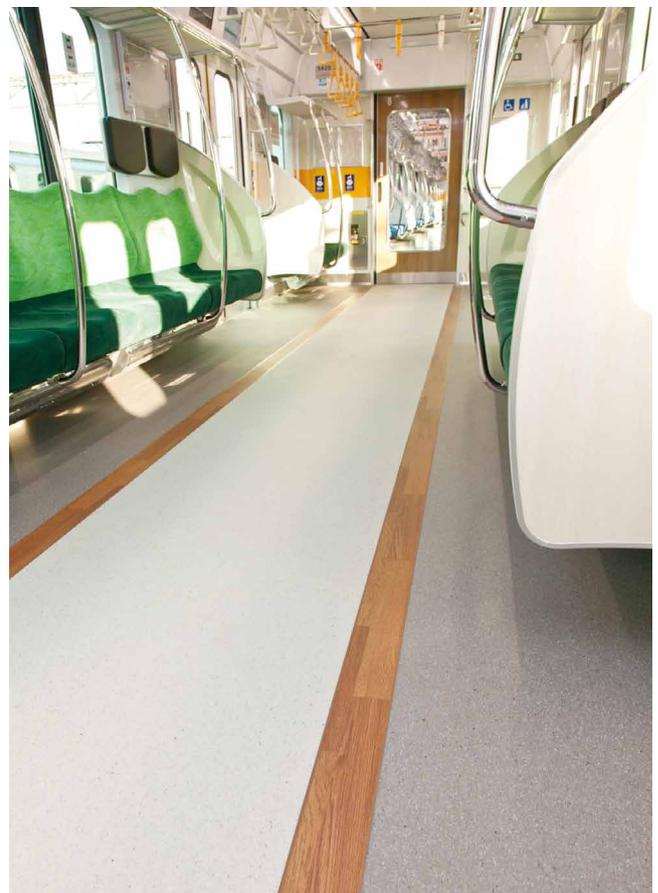


図6 床敷物

3 おわりに

5000系の4扉車への置換えは全編成において終了し、2017年5月22日に置換えの最終編成が営業投入された。

参考文献

- (1) 東京急行電鉄株式会社：「田園都市線6ドア車を、順次4ドア車に置き換えて運転します」、2015年12月7日ニュースリリース
<http://www.tokyu.co.jp/company/news/list/?id=2358>
- (2) 鉄道ファン2016年3月号：「CAR INFO」, 76, 交友社

(横川 浩大 記)

表1 諸元表

形式(種別)	サハ5400 (T3)	サハ5500 (T2)	サハ5800 (T1)
自重	25.2 t	24.7 t	25.0 t
定員(着席)	150 (51) 名	150 (51) 名	150 (51) 名
車種	オールステンレス鋼製2軸ボギー付随車		
最大寸法	長さ20000mm×幅2800mm×高さ4050mm 床面高さ1130mm		
軌間	1067mm		
電気方式	直流1500V 架空電車線方式		
車両性	設計最高速度：120km/h 加速度：3.3km/h/s 減速度：常用3.5km/h/s, 非常4.5km/h/s		
集電装置	—		
台車	TS-1020A形：ボルスタレス式空気ばね台車 軸はり式軸箱支持 Zリンク式けん引装置 軸距離：2100mm		
基礎ブレーキ装置	ユニットブレーキ 自動すき間調整機能付き		
駆動装置	—		
主電動機	—		
制御装置	—		
制動装置	HDRA-2電気指令式電空併用ブレーキ(回生付き) 遅れ込め付き フラット防止装置付き		
補助電源装置	—		
蓄電池	T1車のみ：焼結式アルカリ蓄電池 直流100V/60Ah, 直流24V/30Ah		
空気源装置	スクロール式/スクリュウ式 三相かご形誘導電動機 交流440V		
戸閉装置	電磁空気式ベルト連動両開き(ドアコック, 戸ばさみ制御付き)		
点灯装置	室内 LED灯：交流254V/40W形20本, 直流100V/40W形(予備灯兼用) 4本		
連結装置	固定棒連結器 緩衝器：NRW-60形		
保安装置	—		
空調装置	エアコン	冷房：61.05kW (52500kcal/h) 暖房：23.0kW (CU708形), 25.6kW (HR B504形) 集中形 冷媒：R407C使用 ヒータ・送風器とともにマイコン制御(除湿運転, 温風暖房運転可)	
	ヒータ	客室：シーズワイヤ形 座席下750W, 車椅子スペース250W	
	送風機	ラインフローファン(強・弱・微切替機能付き) 交流100V/51W 1670rpm 各車10台	
放送装置	自動音量調整機能付き 自動放送・車外放送可能		
非常通報装置	乗客と乗員の通話が可能なシステム：各車3台 遠隔/個別リセット機能付き		
無線装置	T3車のみ：誘導無線, 非常発報付き		
列車情報装置	—		
車外表示装置	側面種別：フルカラーLED表示式 側面行先：白色LED表示式		
車内表示装置	17インチ液晶表示器 各車16台		
車両情報装置	制御指令伝送機能/各種モニタ・検査機能 モニタ対象機器間伝送 RS-485または20mAカレントループ伝送		

線路モニタリング装置取付改造

生産本部 技術部



図1 取付外観

1 はじめに

JR東日本では、営業列車に搭載させる線路設備をモニタリングする装置を開発し、その計測データにより、軌道の点検保守の精度向上、迅速化、労務の軽減化を進めている。

当社では、線路モニタリング装置を車両に搭載するための改造設計・工事を担当したので、その概要を述べる。

2 取付改造工事の歴史

2.1 試験搭載

線路設備モニタリングに関する技術開発成果の、営業列車への搭載に向けた最終的な性能・耐久性確認のため、2011年度、209系試験電車（MUE-Train）に装置が搭載されることとなり、この取付の改造設計・工事を、当社の前身である東急車輛製造が担当した。

この試験の結果、性能および耐久性とも良好な計測が出来ることが確認された。

2.2 営業車両への搭載

209系試験電車搭載のモニタリング装置の性能・耐久性が確認できたので、各線区の車両に搭載工事を進める

ことになった。

2013年度から、E233系京浜東北線営業車両への搭載を皮切りに、中央線、山手線、東海道線他JR東日本の全線区車両に搭載する工事が始まり、2023年度まで搭載改造工事が継続して進められている。

3 搭載機器および構成

- ・ 軌道変位測定装置（検測ユニットNo.1, 検測ユニットNo. 2, 制御ユニット）
- ・ 軌道材料モニタリング装置
- ・ キロ程補正装置（データデポ）
- ・ 機器箱
- ・ 搭載車両からの電源、速度信号からなる。

搭載機器の概略構成を図2に示す。

3.1 軌道変位測定装置（図3, 4, 5）

軌間の測定（線路の幅）、レールの通りおよびレール表面等を測定する。

3.2 軌道材料モニタリング装置（図6）

レール締結装置（レールと枕木の固定装置）が正しく

固定されているかを確認をする。

3.3 キロ程補正装置（データデポ）（図7）

線路モニタリング測定地点を検知する。

3.4 機器箱（図8）

箱内にキロ程補正装置の処理機器、各モニタリング機器の電源装置および電源回路機器を装備している。

この機器箱は、当社設計・製作の製品である。



図3 軌道変位測定装置
検測ユニット No.1



図4 軌道変位測定装置
検測ユニット No.2

4 搭載改造設計および工事

4.1 搭載改造設計

搭載車両の取付スペース条件により、装置すべてを1車両に搭載するケースと、軌道変位測定装置と軌道材料モニタリング装置を別車両に搭載するケースがある。

車両重量増加の確認、重量バランスの確認、電源容量の確認、速度発電機信号受信など、各車両に見合った最適な方法で搭載設計を行っている。

4.2 改造工事

現在営業している車両に搭載するため、取付車両が千差万別で、取付機器の金具、配管配線工事でかなり大掛りな工事となっている。測定機器の取付は計測器の制約条件から、レール面からの距離、機器周り制約条件等があるため、1両分の床下機器移設や、配線・配管の改造も含めた工事となる。

今後の新設計車種については、新造時に取付が行われる。



図5 軌道変位測定装置 制御ユニット



図6 軌道材料モニタリング装置

5 終わりに

今回当社が取付改造設計・工事を担当した線路モニタリング装置が、今後の線路設備メンテナンスに役立つことを期待したい。



図7 キロ程補正装置（データデポ）

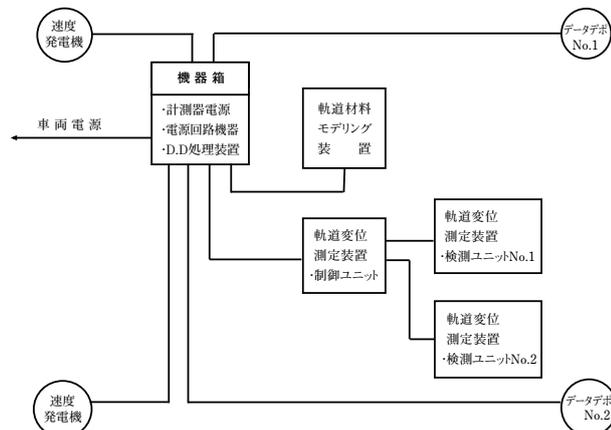


図2 線路モニタリング構成図



図8 機器箱

（黒川賢治 記）

分岐器用 PC まくらぎ

生産本部 和歌山事業所



図1 製品組立状態（和歌山事業所内での仮組立状態）

1 はじめに

分岐器とは軌道を二つ以上に分ける軌道構造である。まくらぎとレールの固定には、まくらぎに下穴をあけ、レール用ねじくぎや角とめくぎで締結装置を固定して行っている。分岐器は構造上、まくらぎの長さを統一することができず、下穴の位置もまくらぎごとに異なる。そのため、分岐器のまくらぎには、現物に合わせた任意の位置に穴をあけることができる木まくらぎや合成まくらぎ（ガラス長繊維によって強化された発泡ウレタン樹脂）が広く使われてきた。

しかし、これらのまくらぎはバラスト道床の場合、列車荷重による部分的なたわみが生じ、それが原因で軌道状態が悪化することがある。また、木まくらぎは腐食による耐久性にもやや問題がある。

そこで当社では、健全な軌道状態の維持やライフサイクルコスト低減を狙った新たな分岐器用まくらぎとして、重量が大きく軌道の安定化に貢献するコンクリート製の分岐器用PCまくらぎを開発した⁽¹⁾。横浜事業所の試走線での試験敷設を経て、今般、鉄道会社線での採用が実現し、拡大しつつあるので紹介する。

2 採用の実例

2. 1 直線部分（2015年4月、東急電鉄梶が谷）

横浜事業所での敷設実績はあったものの、営業線での採用は初めてであったため、試験敷設という位置付けで、列車通過本数が比較的小さい分岐器に付帯する直線部分において採用された。



図2 分岐器付帯の直線部分

敷設後、2年間にわたる追跡調査を実施し、軌間、通りおよびまくらぎ間隔の変動を調べた。その結果、大きな変動もなく良好な状態を保っていることが確認できた。また、き裂の発生もないことが確認できた。

2. 2 伸縮継目 (2015年11月, 東急電鉄江田付近)

新しい形状の伸縮継目 (ロングレールの伸縮およびふく進を処理する装置) を考案し採用されることとなり、あわせて当社の分岐器用PCまくらぎを組み込むこととした。



図3 伸縮継目

この形状の伸縮継目は2台受注したが、もう1台には従来からある他社製のPCまくらぎが採用され、両者の比較が行われた。結果、上面をフラットにしていることにより敷設時やメンテナンス時の細かい調整が可能である点をはじめ、敷設からメンテナンスに至るまでの総合的観点から当社製のPCまくらぎを評価していただき、追加注文の際には当社製のPCまくらぎを採用いただいた。

なお、伸縮継目においてはまくらぎの間隔を保持するために、まくらぎ両端にまくらぎ継材が使用されており、これを取り付けるための埋込栓を初めて設置した。

2. 3 クロッシング部分 (2017年8月, 東急電鉄溝の口)

分岐器本体内に敷設する初めてのものである。採用された分岐器は内方分岐器であり、曲線の本線から曲線内側に分岐する形状の分岐器で、分岐器全体にカントが設定されており、傾いた状態で敷設されている。



図4 内方分岐器のクロッシング部

その影響もあり、クロッシング部の合成まくらぎが中央付近でたわみ、左右2本のレールの高低差である「水準」の調整が困難になっていた。敷設当初、他の分岐器において同様の事象が発生していたことから、クロッシング部については合成まくらぎの厚さを通常140mmのところを160mmとして強化していたが、効果は限定的であった。さらなる対策として厚さをさらに大きくするよりも、剛性が高いPCまくらぎに交換する方が効果があると期待し採用された。

事前に和歌山事業所内で仮組立を実施し、軌道の状態を確認した上で出荷した。1本当たりの最大長さが3700mm、重さ490kgと重いため、PCまくらぎ26本を、1日2本ずつ、既設のまくらぎと交換し敷設した。



図5 交換工事風景

今後、軌間、水準等の推移を調査し、PCまくらぎに交換したことによる、総合的判断での有効性を確認し、他の分岐器にも適用拡大することを目指す所存である。



図6 一部PCまくらぎ化した状態 (工事途中)

参考文献

- (1) 三木啓太郎:「分岐器用PCまくらぎ」, 総合車両製作所技報, Vol.2, 112-115, (2013), (株)総合車両製作所 (萩岡亮介 記)

あとがき

『総合車両製作所技報』第6号をお届けいたします。

今回はJ-TREC創立5周年を迎え、【J-TREC技術の源流をたずねて】と題し特集いたしました。

J-TRECの前身の旧東急車輛製造時代に開発したステンレス車両の黎明期第0世代セミステンレス車両「東急電鉄5200系」1958年製造と、第1世代オールステンレス車両「東急電鉄7000系」1962年製造は、当社正門通路横に日本機械学会認定「機械遺産」として展示してあります。ほとんどメンテナンス無しで約60年経過した今もステンレスの輝きを維持しております。

耐久性とメンテナンス性、軽量化を合わせ持った、鉄道車両に最適なステンレス構体を更に進化させたステンレス車両を、sustinaブランドとして今年は新規に4車種出場させて頂きました。JR東日本山手線E235系量産車、京王電鉄5000系、東京都交通局5500形、東急電鉄2020系の4車種です。京王電鉄5000系は、レーザ突合せ溶接を用いたフラットな車体構造の初の量産車となりました。またsustinaでは、ステンレス構体のみならず、走り装置、電気部品、機械部品、客室設備品など、できるだけ共通プラットフォーム化を図り製作母数を増やすことにより、品質の安定、コスト低減をコンセプトにしております。東京都交通局5500形、東急電鉄2020系は、フラットな車体構造とトータルシステムを一括受注させていただき、製作いたしました。今後とも共通プラットフォームをさらに充実させ、顧客の皆様のご期待に添うべく努力してまいります。関係各位皆さまのご支援ご鞭撻をよろしくお願いいたします。

取締役 生産本部技術部長

新井 静 男



株式会社 総合車両製作所

- 本社・横浜事業所 〒236-0043 横浜市金沢区大川3番1号
TEL 045-701-5155

- 新津事業所 〒956-0032 新潟市秋葉区南町19番33号
TEL 0250-23-4900

- 和歌山事業所 〒649-6402 和歌山県紀の川市北勢田770番地8
TEL 0736-78-1101

- 東京事務所 〒108-0074 東京都港区高輪二丁目18番10号 高輪泉岳寺駅前ビル7階
TEL 03-4334-6550

- 西日本支店 〒541-0048 大阪市中央区瓦町三丁目4番15号 瓦町SFビル8階
TEL 06-6202-5424

☆ホームページアドレス (株)総合車両製作所 <http://www.j-trec.co.jp/>

☆総合車両製作所がお贈りする鉄道グッズのインターネットショップ
【電車市場 楽天市場店】 <http://www.rakuten.co.jp/tetsu/>

J-TREC

総合車両製作所

Thank you All



総合車両製作所
Thank you All

J-TREC

株式会社 総合車両製作所



総合車両製作所
Thank you All



総合車両製作所
Thank you All



総合車両製作所
Thank you All