

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 TTK5200 (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 TTK7000 (TCC, 1962) が開発される。その後、軽量ステンレス車両 TTK8400 (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 TTK 5200 (TCC, 1958), the first All-Stainless-Car TTK 7000 (TCC, 1962) was developed after technology transferred from USA. TCC developed originally the first Lightweight-Stainless-Car TTK8400 (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	7996
	J-TREC 横浜	-	-	-	769	861
	帝国車輛 大阪	18	-	-	-	18
	東急車輛 大阪	53	-	-	-	53
	JRE 新津	-	-	-	4293	4293
	J-TREC 新津	-	-	-	327	497
	合計	551	1606	2115	9184	13718

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はよく似ていた。



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、公営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、その雄姿を見ることが出来る。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）などの各国の会社が続いて、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箇所の子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。

図 7 京王 3000 系⁽²⁾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鉄路局向けに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。

台湾鉄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。



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、台湾鉄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ら、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 A A R 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、外板は腰部部に2本のビート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新津の両工場で製作された。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な意から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新したフラットですっきり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拡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的全編成が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