

オールステンレス車両 sustina の技術革新 ー開発から量産化までー

Development of All-Stainless Steel Vehicles “sustina”

浅賀 哲也 Tetsuya ASAKA
長谷部和則 Kazunori HASEBE
鈴木 久郎 Hisao SUZUKI
杉山 隆 Takashi SUGIYAMA

堀越和義 Kazuyoshi HORIKOSHI
斉藤和彦 Kazuhiko SAITO
松岡茂樹 Shigeki MATSUOKA

当社は、次世代のオールステンレス車両 sustina の開発に当たり、共通プラットフォームという新しい概念を車両製造に導入した。そのコンセプトは、鉄道利用者の安全確保を第一とした上で設計をできる限り共通化し、鉄道事業者ごとの多種多様な要求にはオプションという形で提供することで、低コストの車両製造を実現するというものである。

本稿では、2013年に開発した sustina プロトタイプから、2017年に量産化が確立したフルコンセプトの sustina まで、その構体構造とコンセプトの両面から解説する。

J-TREC had introduced a new concept of common platform into manufacturing for development of the next generation all-stainless steel vehicle “sustina”. With priority put on safety, “sustina” allows excellent vehicles to be manufactured at low cost by utilizing common design at as many parts as possible, yet offering variety of options to satisfy needs of individual customers. This article describes both the structure and the concept of sustina from 2013 when its prototype was developed to 2017 when mass production of complete concept was established.

1 はじめに

総合車両製作所（以下、当社）は、2012年9月にベルリンで開催された国際鉄道見本市「Innotrans2012」にて、次世代ステンレス車両 sustina を発表した。sustinaとは、当社製ステンレス車両の新しいブランド名で、JISのステンレス鋼材記号であるSUS、環境に優しく持続可能な意からsustainable、地球環境問題を救う女神の意からラテン語の語尾である-ina（-イナ）を組み合わせた造語である。

翌2013年、当社は sustina のプロトタイプ車両として、東急電鉄5050系5576号車を開発した。同車最大の特徴は、レーザ溶接による外板のフルフラット化と、最適設計による構体軽量化である。

さらに sustina の開発に当たり、共通プラットフォームという新しいコンセプトを導入した。これは鉄道利用者の安全確保を第一とした上で、設計をできる限り共通化し、鉄道事業者ごとの多種多様な要求にはオプションとして対応することで、低コストの車両製造を実現するというものである。

本稿では、オールステンレス車両 sustina の開発から量産までを、構体構造とコンセプトの両面から解説する。

2 sustinaのコンセプトと特徴

2. 1 コンセプトの背景

昨今、地球環境問題の深刻化や、超高齢化社会の到来によって、モビリティには鉄道を中心とした公共交通へのシフトが求められている。

その中で鉄道車両は、使用される各線区のインフラがそれぞれ異なっていることから、運用する鉄道事業者によって軌間、車体長や車体幅、ドア数やシートの配置など、基本的な仕様がまったく異なっている。そのためこれまででは、それぞれの受注仕様に合わせた専用設計を行う典型的な少量多品種生産の形態を取らざるを得ず、長納期・高コストとなることが問題であった。

そこで当社は、より低コストの車両製造を実現するため、共通プラットフォームという新しい概念を車両製造に導入した。

2. 2 鉄道利用者の安全確保

sustinaのコンセプトの大前提として、「鉄道利用者の安全確保」がある。当社では設計・開発工程の中で、「鉄道利用者の安全面」の検討を十分に意識し、実際の設計・製造工程へ強く反映させている。その具体的な取り組みとして、万一の正面衝突時の衝撃吸収構造やオフセット

衝突時の車両間離反構造の採用、側面衝突時の構体骨組リング構造および内装ロールバーによる車体剛性の向上などが挙げられる。

2. 3 共通プラットフォーム推進によるイニシャルコスト削減

鉄道車両は、前述のとおり鉄道事業者ごとにカスタマイズされた少量多品種生産が主流である。近年は車両の機能が高度化し、新機軸の要求が高まっており、これも大きな価格上昇を招いている。そのため、イニシャルコストの低減は、鉄道事業者からのニーズとしても非常に優先度が高く、その解決方法の1つとして共通プラットフォームの採用がある。

共通プラットフォーム化による異なる車種間の図面流用率の向上は、設計時間削減に大きく貢献できるほか、共通プラットフォーム化された部品は新たな別車種にも採用できるため、部品単体の製造母数を大幅に増やすことができる。そのため、車両製造における共通プラットフォーム化は、大きなコストダウンが期待できると考えられる。

sustinaでは、構体、走行装置、電気装置・部品など、基本的な部分を共通プラットフォーム化し、開発コストと装置・部品コストの抑制をねらった。またその一方で、鉄道事業者が鉄道利用者に提供する価値向上の1つである沿線との調和、さらには沿線文化への貢献については、意匠性の高い部分などへの個別オプションを組み合わせることによって提供する。

2. 4 ライフサイクルコストの低減

イニシャルコストだけでなく、その車両が廃車になるまでのライフサイクルコストをいかに低減するかということは、鉄道事業者にとって大きな関心事である。

その中で、まだ構想段階ではあるが sustina ユーザの共通プラットフォーム機器や、システムの品質情報を共有化する「sustina ユーザ・アライアンス」を構築することで、メンテナンス品質を向上させることが可能になると考えられる。また、機器更新時の費用についても、母数の大きさによるコストダウンが期待できる。

3 プロトタイプと従来構体タイプ

3. 1 sustina プロトタイプ

sustina最初の車両は、東急電鉄5050系5576号車である(図1)。同東横線向け5050系8両編成のうち1両(5176編成5号車、サハ5576)を、sustina のプロトタイプとして製造した。

その最大の特徴は、外板のフルフラット化と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て、車体の台枠や屋根構体における構体材料、骨組の適正配置化を進め、妻部へのビード外板採用や内部構造における各部の受構造吊溝化による骨組低減により、従来車と比較して約0.5tの軽量化を図った。これによりアルミ構体と同等の質量を実現し、走行時の消費電力量削減などのエネルギー効率の向上が図られた。また、側外板のつなぎをレーザー溶接による突合せ溶接にすることでセグりを廃止するとともに、側窓部、側出入口部についてはフレームを外板の内側に収めた。その結果として、外板の凹凸部が大幅に廃され、従来のステンレス車両のイメージを一新したフラットな外観を実現した。さらに、側構体と屋根構体の結合構造を変更することで、これまで側構体外側に突出していた雨どいを廃止した。これにより、側構体を台枠から垂直に立上げることで室内有効スペースの増加が図られ、従来車よりも定員を1名増加させた。

構体の組立方法については、従来通りの抵抗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、妻幌枠部の接合においてレーザーによる連続溶接を採用した。これにより車両としての水密性向上が図られ、シール切れ発生時の雨水浸入を防止した。従来は抵抗スポット溶接主体の接合であったため、鋼板接合面の隙間には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。しかしレーザー連続溶接の採用によって、こうしたシーリング



図1 東急電鉄 5050 系 (5576 号車)⁽¹⁾



図2 国内向け sustina ロゴマーク

作業が不要となるだけでなく、経年で補修する必要がなくなったため、車体のメンテナンス性が向上した。

さらに当社は、sustina プロトタイプの発表に合わせて国内向け sustina のロゴマーク（図2）を制定した。これは、ステンレス車体の強みである環境性能の優位性をアピールするために“地球”をイメージしたデザインで、その後国内で展開しているsustinaブランドの車両には、その証として車内銘板とともに表示している。

3. 2 従来構体タイプ sustina

3. 2. 1 概要

sustina プロトタイプ・東急電鉄5050系5576号車の開発を通じて、レーザ溶接を用いた構体の量産化技術の確立には時間を要することが判明した。そのため、セギリ付きのフラット外板を使用する従来構体タイプ sustina の量産化を先行することとし、種々の sustina のコンセプトを反映させることで、

- ・S23シリーズ（車体長さ20m、片側3扉車両）
- ・S24シリーズ（車体長さ20m、片側4扉車両）
- ・S13シリーズ（車体長さ18m、片側3扉車両）
- ・sustina ハイブリッド
- ・海外 sustina

を次々と誕生させ、これらの車両は後の共通プラットフォームの基本形となった。

3. 2. 2 S23シリーズ

2014年10月に、S23シリーズ最初の形式である東日本旅客鉄道（以下、JR東日本）E129系が当社新津事業所で落成した（図3）。従来構体タイプ sustina としても初形式であり、同E233系をベースとした新潟地区向けの直流電車である。短編成設備や耐寒耐雪構造を備えているほか、1車両の2台車において電動台車と付随台車を装備する0.5M車方式を採用しており、編成中全車両が電動車となる。

新潟地区の需要に合わせたロングシートとボックスシートを含むセミクロスシートの座席配置を採用しており、地方線区向け一般形直流電車のスタンダードとして、全車を新津事業所で製造した。一部の編成では、側引戸かもい部に車内ビジョンを設置するなど、より高い情報サービスを提供している。



図3 S23 JR 東日本 E129 系⁽²⁾

3. 2. 3 S24シリーズ

2015年3月、S24シリーズ最初の形式であるJR東日本E235系量産先行車が、当社新津事業所で落成した（図4）。

sustina 初の量産車両であり、東急電鉄5050系5576号車で採用された技術を初めて量産化した。

外観上の大きな特長として、雨どいが外側に張り出さない車体断面形状としたことが挙げられる。これによって腰部に曲面を持ちながら外板を垂直に立ち上げた、独自性のある新しい拡張車体が表現された。

内装ではユニバーサルデザインを採用するとともに、車体剛性を向上させ、側面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は、JR東日本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。さらに、列車情報管理制御装置（INTEROS[®]）^(注1) 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）の車内搭載によるお客様サービスの向上が図られ、“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、雨どい部フラット外板、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、新世代のオールステンレス車両であり、2020年春に山手線的全編成を置き換えた。

3. 2. 4 S13シリーズ

S13シリーズ最初の形式である静岡鉄道A3000形（図5）は、静岡鉄道として43年ぶりの新型車両である。外観上の特長として、編成ごとに静岡県にちなんだ色などの車体のカラーリングを採用しており、さらに同社が2019年5月1日に会社創立100周年を迎えるにあたって、第6編成を100周年記念ラッピング車両として登場させた。

図4 S24 JR 東日本 E235 系⁽¹⁾図5 S13 静岡鉄道 A3000 形⁽³⁾

なお本形式は、2017年の鉄道友の会ローレル賞を受賞した。

3. 2. 5 sustina ハイブリッド

sustina ハイブリッドは、環境性能の大幅向上をねらって、外部供給動力の他に走行用として2次蓄電池を装備したシリーズ・ハイブリッド車両である。2次蓄電池に回生エネルギーを蓄えることによって、非電化区間でも電力回生によりエネルギー効率が向上できる。

① ディーゼル・ハイブリッド車両

ディーゼル・ハイブリッド車両は、2003年にJR東日本NEトレインで試作され、同キハE200形において世界で初めて実用化された。そして同HB-E300系、同HB-E210系と量産が行われている。

図6にディーゼル・ハイブリッド車両の主要機器構成を示す。本システムは、ディーゼルエンジンと発電機を組み合わせた電力供給源に、リチウムイオンバッテリーを主回路用蓄電池とするシステムであり、図中の矢印は力行時ならびにブレーキ時のエネルギーの流れを示している。

コモンレール式ディーゼルエンジン発電機を採用することで排気ガス中の有害物質の低減を図り、環境負荷の

低減を実現するとともに、ハイブリッドシステムによって回生エネルギーの有効利用を図っている。

ディーゼル・ハイブリッド車両である同HB-E210系は、東日本大震災の復興シンボルとして仙石東北ライン投入用に開発された（図7）。仙石線の直流電化区間と東北本線の交流区間、そして非電化の仙石線・東北本線接続線を行き来し、ハイブリッド車両のメリットを最大に実現した。ディーゼル・ハイブリッドシステムの採用は、量産車ではキハE200形やHB-E300系に次ぐ3形式目の事例となる。

車体幅をハイブリッド第1号形式のキハE200よりも30mm広い2950mmとし、構体は前述のS23シリーズとした。車内案内表示器や大型トイレを設置、バリアフリー化も実現しサービス向上を図っている。車体前面の「HYBRID TRAIN」は復興のシンボルを象徴している。なお本形式は、2016年の鉄道友の会ローレル賞を受賞した。

② 蓄電池駆動電車

蓄電池駆動電車は、2009年にJR東日本のNEトレインを改造して試作され、2014年よりJR東日本烏山線に同EV-E301系が、従来の気動車の置換えとして投入された（図8）。本形式は、当社の sustina ブランド初の営業用蓄電池駆動電車として開発され、愛称は「ACCUM」（アキュム）、形式のEVは「Energy storage Vehicle」の略である。

構体は、車体長さ20m、片側3扉の車両であるE127系100番代をベースに、蓄電池搭載のための補強を行っており、2両編成で各車片側の台車のみ主電動機を備えている。

烏山線の一部列車は、東北線（宇都宮線）に乗り入れており、宝積寺駅から宇都宮駅までの区間は架線走行し、走行中にリチウムイオンバッテリーに充電する。また電化区間から離れた烏山駅構内では、設置された充電設備によって駅停車中の充電を行うことができる。これらにより架線のない烏山線20.4kmの区間をモーターで走行することが可能になった。

なお本形式は、非電化路線の新たな動力方式を具現化する車両として、2015年の鉄道友の会ローレル賞を受賞している。

図9に本システムの動作モードを示す。架線ハイブリッドモードと蓄電池走行モード、そして急速充電の3つのモードに区別される。電化区間ではパンタグラフを上昇して架線からの電力により走行し、その際に蓄電池の充電率が低い場合は架線からの電力に加えてブレーキ時の回生電力分も充電される。一方非電化区間では、パンタグラフを降下して充電された蓄電池の電力で走行し、非電化区間でもブレーキの回生電力の充電は行われる。

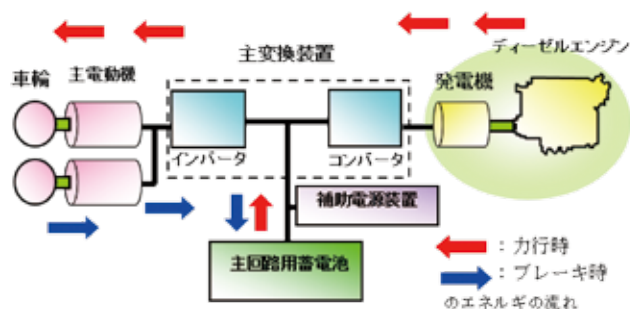


図6 ディーゼル・ハイブリッドシステム⁽⁴⁾



図7 JR東日本HB-E210系⁽⁵⁾

電力供給源を車外に依存する蓄電池駆動電車は、電化区間では架線から、非電化区間では終端駅などに設置された充電設備から充電する。

③その他のハイブリッド車両

前述のディーゼル・蓄電池ハイブリッドシステム、架線・蓄電池ハイブリッドシステムの他にも、sustinaと融合する燃料電池・ハイブリッド車両なども、将来的には十分な実用化の可能性が見込まれており、目下、JR東日本FV-E991系燃料電池・ハイブリッド試験車両の開発が進められている。同形式は、南武支線、鶴見線で2021年度から実証試験を実施すると発表されている。

車両内で発電する自立型では、電力供給源の選択は多彩である。ディーゼルエンジン・蓄電池ハイブリッドシステムは量産車搭載の技術となり、燃料電池・蓄電池ハイブリッドシステムは、水素の制御、長距離走行などの技術開発および法整備の下で実用可能となる。シリーズ・ハイブリッドシステム最大の利点は、電力供給源の技術開発の変化に対応できることである。また、リチウムイオンバッテリーの高性能化・コンパクト化も sustina ハイブリッドの今後の開発には不可欠であり、期待したい。



図8 JR東日本EV-E301系⁽⁶⁾

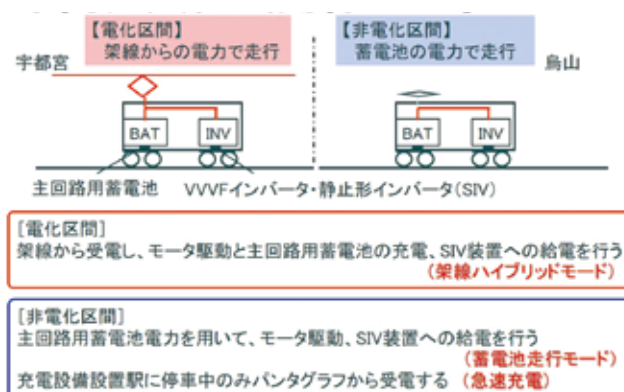


図9 架線・蓄電池ハイブリッドシステム⁽⁶⁾

3. 2. 6 海外 sustina

当社は、sustina のラインナップとして国内車両と並行して海外製品についても開発を進め、2015年に初の「海外 sustina」としてタイ・バンコクの都市鉄道パープルライン向け車両（図10）63両（3両編成21本）を、横浜事業所で製作し納入した。

パープルライン向け車両は、新系列ステンレス車両の技術をベースに欧州の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、今後の欧州規格に適用した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。

またパープルライン固有の車体仕様として、第3軌条方式で両先頭車が電動車であり、側引戸の外吊化による構体開口の拡大や、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。

なお、当社は海外 sustina を展開するに当たり、ロゴマーク（図11）を制定して、ステンレス車両のパイオニアメーカーとしての優位性を訴求することとした。

2019年にはフィリピン南北通勤鉄道向け鉄道車両104両を受注しており、さらなる海外 sustina の展開が期待される。



図 10 バンコクメトロ パープルライン⁽¹⁾



図 11 海外向け sustina ロゴマーク

3. 2. 7 従来構体タイプ sustina の今後の展開

従来構体タイプ sustina は、しなの鉄道SR1系（S23）、JR東日本の横須賀・総武快速線向けE235系（S24）に採用され、今後も設計、製造を継続する。これらの車両は sustina のコンセプトを、すでに技術的に確立しコストメリットもある従来構体の車両に適用したもので、sustina における「新しい技術や用途、仕様を提案、導入してブランドの確立を図る」という大きな役割を担っている。

4 フルコンセプト sustina の量産化

4. 1 フルコンセプトを具現化するための技術開発

4. 1. 1 3D設計の推進

当社では、これまでも車体設計に3D-CADを導入し、運転席部分の運転士の動線解析などに活用してきた。共通プラットフォームでは、構体・台車の設計の3D-CAD化を推進しており、その目的は鉄道事業者の独自性を象徴する車両先頭部をはじめとした内外装の意匠や、ユニバーサルデザインの創造と具体化、車体の構造・衝突解析への応用である。またさらに、製造現場での作業指示にも3D-CADを活用し、開発、設計、製造とシームレスな情報伝達を実現するとともに、各プロセスでの暗黙知の表出化というナレッジマネジメントにも寄与している。その効果は、後述する sustina 構体採用の6形式でも認められている。図12に先頭部の3D-CADモデルの一例を示す。

4. 1. 2 鉄道利用者の安全確保を目的とした技術開発

sustina 量産化に当たり、妻オフセット衝突対策構造と新型の内装ロールバー構造を新たに開発した。

妻オフセット衝突対策構造は、sustina 初の量産車両であるJR東日本E235系を筆頭に、各車種へ続々と適用を始めている。一方内装ロールバーは、乗客の荷棚へのアクセス性確保のため、量産化に当たり従来型（図13）へ改良を加え、従来と同等の側面衝突安全性を確保しつつ、荷棚との連結部を廃止した新型（図14）を開発した。



図 12 先頭部 3D 設計の例

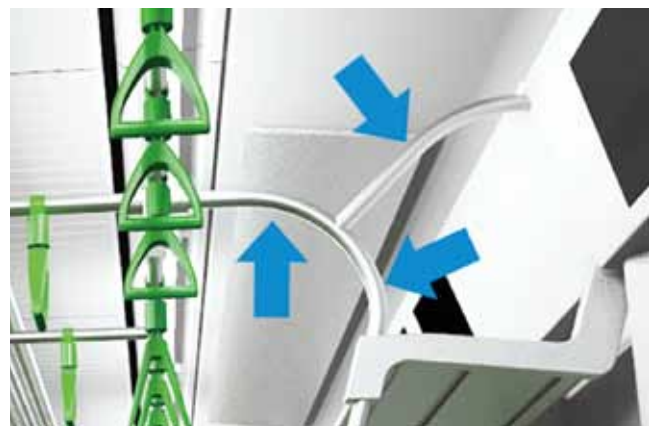


図 13 従来型内装ロールバーの概要図



図 14 新開発した内装ロールバーの概要図

4. 1. 3 ユニバーサルデザイン

2006年に実用化した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、つかみやすい吊手、さまざまな鉄道利用者に対応したバリアフリースペースなどを取り入れ、快適性を追求している。

4. 1. 4 構体美観ニーズへの対応～レーザ溶接の採用の経緯と効果

フルコンセプト sustina の構体（以下、sustina 構体）では、ステンレス車両の制約であった側外板に生じる段差を、構造の変更とレーザ溶接の採用によって解消した。後述するフルコンセプト sustina の6形式では、すべてフラットな側構体を採用している。

当社は、鉄道車両製造にレーザ溶接技術を早くから採用し、技術開発とともにノウハウや経験を積んできた。2002年には、世界で初めて構体の製造にレーザ溶接を採用したJR東日本モハE993-1号車を開発し⁽⁷⁾、横浜シーサイドライン2000型で量産化を実現した。これらは、レーザスポット溶接を主に使用し、外板同士の突合せ溶接にはレーザ連続溶接も使用している。

その後、20m級の sustina プロトタイプである東急電鉄5050系5576号車を完成させたが、この車両におけるレーザ溶接採用目的の一つは、樹脂シールの削減である。樹脂シールは事業者が定期的にメンテナンスする必要があるが、また車両の廃棄時には厳密な分別回収を困難にさせる一因となっている。そこで樹脂シール削減を狙い、図15に示すようにレーザ突合せ溶接で車両側面の外板同士を接合した。また図16に示すように、出入り口フレームと窓フレームを内嵌め構造とし、それらと外板との水密を確保するためレーザ重ねすみ肉溶接を用いている。妻部分の周囲と機器箱の周囲の接合には、レーザ重ね溶接によって水密性を確保し、樹脂シールの削減を実現した。

4. 1. 5 共通プラットフォームの具現化

図17、図18は共通プラットフォームを採用した車両構体外観である。図17はベーシックモデルの車両外観であり、先頭部は平坦で貫通路を設けていない。図18はオプションを選択したモデルであり、先頭部は曲面ガラスを採用した貫通路付きである。いずれも凹凸のないストレートな側構体で、カラーフィルムによるラッピングや塗装により鉄道事業者が意図する沿線の独自性の意匠を表現しやすくなっている。

sustina の外観は、車両長さ・幅、断面形状、ドア数によって、各種共通プラットフォーム車体の提供が可能である。



(セギリ構造)



(突合せ溶接部位)

図15 従来のセギリ構造と外板同士の突合せ溶接部位



図16 窓フレームと外板の水密溶接部位

表1に示す sustina 主要タイプは「S24シリーズ」と「S13シリーズ」に分類され、「S」は sustina の頭文字、「24」「13」といった数字は、それぞれ「車両長さ20m、片側4扉車」「車両長さ18m、片側3扉車」を意味している。さらに「車両長さ20m、片側3扉車」の「S23シリーズ」がある。

同様のコンセプトで、内装や運転台の仕様も共通プラットフォームとし、鉄道事業者の要求に応えるオプションを数多く用意することで、コストとニーズの両立を実現している。



図 17 sustina ベーシックモデルの概要図



図 18 sustina オプションモデルの概要図

表 1 sustina 主要 3 タイプの寸法 (単位: mm)

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	2270	1130	2950
S24-s (ストレート車)	3620	2270	1130	2778
S13-s (ストレート車)	3620	2270	1130	2760

また、内装品の共通プラットフォーム化と並行して、内装部品取付に関するモジュール化も推進している。プラットフォームとして準備された構体側には、フローティングナットと吊溝を配置し、内装品は部品単位のものとして構成することで、取付調整工数の低減とオプション仕様への対応を容易な構造としている。

4. 1. 6 ユーザ本位の新しい sustina デザインコンセプト

図19に sustina デザインの車両の例を示す。出入り口フレームと窓フレームを内嵌め構造とすることですっきりと洗練されたボディに、側面上部のラインを先進的で精悍なブラックフェイスに絡ませて流し込んだ sustina イメージ車両 (図20) のデザインが、sustina デザインの特徴である。

近年は同様のデザインの車両が増えてきたため、その独自性が薄らいでいるが、sustina デザインの本来の特



図 19 sustina 車両デザインの例



図 20 sustina のイメージ車両

長はこの見た目だけではない。例えば向かって左端に寄せられた非常貫通扉、このようなところにも sustina デザインの特長がある。これは、運転士の視界を少しでも大きくする目的で窓の柱を視界に入れないための方策であるが、前照灯や表示灯を扉に持たせなければならず、また形状によって端に寄せるほど本体との合わせが困難になるなどの制約が発生するため、設計も製造も高度な技術が要求される。当社は卓越した設計技術と、際立つ製造技術とが一体となることでそれらを実現しており、これこそが当社のユーザ本位の思考から生み出された sustina デザインの真骨頂であるといえる。

5 フルコンセプト sustina 6形式

5. 1 京王電鉄5000系

2017年に、sustina S24シリーズとして京王電鉄5000系 (図21) を開発した。本形式は、レーザ溶接技術を駆使した sustina 構体を採用した量産車の第1号である。

新たに京王電鉄、腰掛メーカ、当社で共同開発したロング／クロス転換腰掛を採用し、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



図 21 S24 京王電鉄 5000 系⁽¹⁾

できることが最大の特長である。これは、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、付加価値を高めた事例の1つである。

また、地下鉄区間乗入れのため、前頭部左側に貫通路を設けた複雑な運転台を有しており、3D-CAD技術を駆使した設計とフリージアコンソールによりこれを実現した。

5. 2 東京都交通局5500形

2018年に、sustina S13シリーズとして東京都交通局5500形(図22)を開発した。

羽田空港と成田空港という空の玄関口を結ぶ浅草線は、江戸文化が色濃く残る沿線である。そのため、エキステリアは浅草線沿線と縁の深い「歌舞伎」の隈取りのモチーフを現代風にアレンジして日本をイメージしやすいデザインとし、インテリアは、沿線の観光資源と日本を感じられる車内空間を目指し、腰掛に寄せ小紋、袖仕切には江戸切子調の柄、壁面には竹や和紙調など、和の素材感や柄を多く取り入れ、落ち着きを持たせた。腰掛は一人あたりの座席幅を従来から15mm広い475mmに設定し、訪日観光客をはじめ様々な体型にも適応できる配慮をした。

また、先頭車をMc車の構成としたほか、台車はボルスタ付きとするなど、乗入先に対応した装備、仕様を持たせた。



図 22 S13 東京都交通局 5500 形

5. 3 東急電鉄2020系／3020系／6020系

2018年に、sustina S24シリーズとして東急電鉄2020系(図23)を開発した。本形式は、田園都市線向けとしては5000系以来16年ぶりの新形式であり、多摩田園都市などの街づくりを意識したデザインとしている。

また本形式は、田園都市線用として10両編成としているが、JR東日本E235系と主要機器を共通化しながらも東急電鉄各線区の様々な編成両数に、大幅な設計変更をすることなく容易に対応できるシステム構成および機器配置としていることも大きな特長である。

この特長を活用し、同年には大井町線向けとして7両編成の6020系(図24)を開発した。本形式は、7両編成中1両に有料座席サービスの「Qシート」車を投入し、ロング／クロス転換腰掛を36席配置している。

さらに2019年に開発した、目黒線向け3020系(図25)は、東急電鉄目黒線、東京地下鉄南北線、埼玉高速鉄道埼玉スタジアム線、東京都交通局三田線への乗り入れに対応するとともに、相模鉄道線への乗り入れ準備工事を実施している。2019年秋から6両編成で暫定的に営業を開始し、地上設備が整い次第、順次8両編成化を行う予定である。



図 23 S24 東急電鉄 2020 系



図 24 S24 東急電鉄 6020 系



図 25 S24 東急電鉄 3020 系

5. 4 相模鉄道12000系

2019年に、sustina S24シリーズとして相模鉄道12000系（図26）を開発した。本形式は、sustina 構体で初めての拡幅車体を採用している。

また本形式では、共通プラットフォームにより部品を共通化してイニシャルコストを低減している一方で、個性的な先頭形状と外板塗装、インテリアデザインに対応している。特に先頭部、乗務員室内の設計には3D-CADを導入し、検証や仕様決定を容易にした。また、主回路構成は乗り入れ先のJR東日本の車両と同じ仕様としている。



図 26 S24 相模鉄道 12000 系

5. 5 sustina台車

東急電鉄2020系、3020系、6020系の台車は、今後のsustina への標準搭載を見据え、共通プラットフォームの考え方に基づき開発した、狭軌ボルスタレス sustina 台車である（図27）。

台車は一般的に、輪軸、軸箱支持装置、台車枠、ブレーキ装置、車体支持装置などの要素で構成されている。これらの詳細構造や部品類について、まずベーシックモデルやパーツを定め、これを共通プラットフォームとして、さらにお客様からの特別なご要求を満足するオプションパーツが揃えられたものを sustina 台車と呼んでいる。

その例として、東急電鉄向け sustina 各形式の駆動装置は、車内外の騒音低減のために、全閉外扇主電動機とオプション仕様の低騒音歯車装置・低騒音WN継手の組み合わせを採用している。なお、東京都交通局5500形のように、ボルスタ付きの台車を提供する場合も、共通プラットフォームの考え方に基づき、台車構造や取り付け部品の共通化を図った提案を積極的に行なっている。



図 27 狭軌ボルスタレス sustina 台車

6 まとめ

2013年、プロトタイプである東急電鉄5576号車1両で始まった sustina は、S23, S24, S13, ハイブリッド、海外と各シリーズの相次ぐ実用化により、共通プラットフォームの基本形を確立した。

共通プラットフォームは、鉄道事業者の多様なニーズに低コストで応える設計コンセプトであり、新系列車両の共通仕様準拠車両コンセプトの発展形である。

そして2017年に、フルコンセプトの sustina を開発し、レーザ溶接の量産化技術開発によって、外板のセギリやドアフレームの凹凸のない平滑な外観を持つ sustina 構体を量産化した。そのフルコンセプトの sustina は、その後2019年までのわずか3年間で、軌間や車体幅、車体長さ、ドア数、シート配置の異なる6形式で量産化されたが、これは共通プラットフォームによって sustina が、多様なユーザーニーズを低コストで実現できることを示している。

sustina の開発は、1958年に日本初のステンレス車両を開発してから連綿と受け継がれている技術の経験値と、常により良い車両を開発しようとする技術者のスピリット、そしてそれを実現することに日夜努力する製造現場のノウハウの承継により成し遂げられている。

今後も sustina の開発を通じて、安全で快適なモビリティ文化の創造に貢献したい。

参考文献

- (1) 松岡茂樹, 鈴木久郎:「ステンレス車両技術の系譜ーPioneer Zephyrから sustina までー」, 総合車両製作所技報, Vol.6, pp.8-21 (2017), (株) 総合車両製作所
- (2) 吉村雅和, 安在恵一郎, 三井健司, 澤井啓太, 西川信明:「JR東日本 E129系 一般形直流電車」, 総合車両製作所技報, Vol.5 (2016), pp.12-15, (株) 総合車両製作所
- (3) 杉山隆幸, 茂木正綱, 金子晃大, 横山大雅:「静岡鉄道 A3000形」, 総合車両製作所技報, Vol.5 (2016), pp.6-11, (株) 総合車両製作所
- (4) 鈴木久郎, 立石雅昭, 浅賀哲也:「ハイブリッド鉄道車両-JR東日本キハE200形の開発概要-」, 東急車輛技報, No.57 (2007), pp.32-39, 東急車輛製造 (株)
- (5) 藤澤朝岐, 半田直一, 横山大雅, 堀口健一郎:「JR東日本 HB-E210系 一般形ハイブリッド車両」, 総合車両製作所技報, Vol.5 (2016), pp.20-23, (株) 総合車両製作所
- (6) 麻生和夫, 関根眞一, 堀口健一郎, 平井明正:「JR東日本 EV-E301系 一般形直流電車」, 総合車両製作所技報, Vol.5 (2016), pp.16-19, (株) 総合車両製作所
- (7) 河村多計士, 浅賀哲也, 佐藤仁, 門脇文俊, 側垣正:「フルフラット構造 sustina の技術」, 総合車両製作所技報, Vol.6 (2017), pp.4-7, (株) 総合車両製作所
- (8) 及川昌志, 南田勝宏, 久米原宏之:「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 (2006), pp.1515-1519, (社) 精密工学会
- (9) 河田直樹, 河田直樹, 白石真一, 及川昌志, 大塚陽介, 岩木俊一, 久米原宏之:「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.8 (2009), pp.973-978, (社) 精密工学会
- (10) 側垣正, 室橋強, 門脇文俊, 越川純, 大塚広貴:「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 (2016), pp.58-61, (株) 総合車両製作所

(注) INTEROS[®]は東日本旅客鉄道株式会社の登録商標である

著者紹介



浅賀哲也
技術本部
技術部 部長 (設計)



長谷部和則
技術本部
技術部 部長 (次世代システム)



鈴木久郎
J-TRECデザインサービス (株)
設計部 担当部長 (ぎ装)



杉山 隆
J-TRECデザインサービス (株)
設計部



堀越和義
J-TRECデザインサービス (株)
取締役
(設計部担当)



斉藤和彦
技術本部
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
技術本部 技術部
部長 (国際規格・オープンイノベーション)

表 2 フルコンセプト sustina における 主要共通プラットフォーム諸元一覧

諸元(要素)	sustinaラインナップ(標準)			オプションの例
	拡幅20m4扉(S24)	ストレート20m4扉(S24)	ストレート18m3扉(S13)	
側構体外観	凹凸(額縁)あり または凸凹なし(フラット)	凹凸なし(フラット)		
運転台	従来構成 (非貫通)	フリージアコンソール (非常時左側面貫通)		フリージアコンソール (中央貫通)
衝突安全(前面)	先頭部衝撃吸収構成 または先頭部強化構成	先頭部衝撃吸収構成 または先頭部強化構成	先頭部強化構成	
衝突安全(側面)	構体骨組リング化			
衝突安全(オフセット)	内装ロールバー設置			
先頭部構体	妻構体オフセット対策構造設置			
車体塗装	FRP製			鋼製(オプション)
荷棚	アルミ型材	ステンレス無塗装 アルミ型材 ガラス式	パイプ式	ステンレス塗装(オプション) パイプ式・ガラス式・アルミ型材 (オプション選択可)
袖仕切	半透明透過部	ガラス透過部	ガラス透過部	半透明透過部, ガラス透過部, 透過部 なし, ロング・クロス転換腰掛対応 (オプション選択可)
腰掛	ロングシート腰掛			ロング/クロス転換腰掛(L&C腰掛)
台車	狭軌ボルスタレスsustina台車	標準軌ボルスタ付sustina台車		
主回路装置	VVVF(SiC)			
主電動機	全閉式誘導電動機(140kW)	全閉式誘導電動機(155kW)		
補助電源装置	待機二重系 260kVA	一重系 260kVA		
情報制御装置	INTEROS®(注)			CBM対応
主幹制御器	無接点マスコン(2ハンドル)	無接点マスコン(1ハンドル)		
ブレーキ制御装置	回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ装置			
空気圧縮機	オイルフリー			
戸閉装置	ラック&ピニオン			
情報提供装置	ドア上2台			荷棚上・妻デジタルサイネージ
表示器	フルカラー			
空調装置	50000kcal/h			

(注) INTEROS®は東日本旅客鉄道株式会社の登録商標である