

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isial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。



図6 内装ロールバー(新型量産タイプ)

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

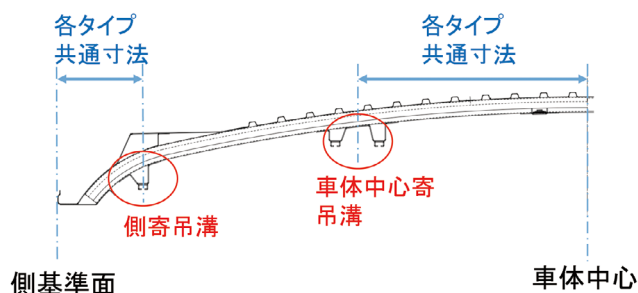


図4 屋根構体吊溝配置(半車体断面)



図7 3Dによる先頭部設計の例

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)

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。

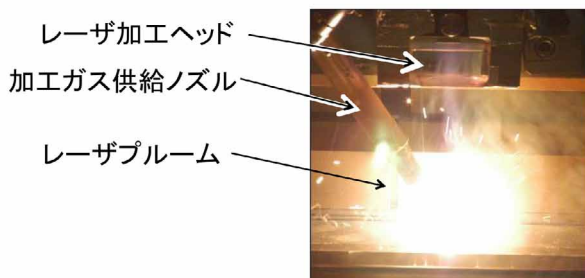


図8 レーザ溶接中のレーザープルーム

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