

## 「sustina」国内第1号車両の開発

Development of the First Domestic “sustina” Car

浅賀 哲也 Tetsuya ASAKA  
須田 剛 慈 Goji SUDA

茂木 正 綱 Masatsuna MOGI  
西 垣 昌 司 Shoji NISHIGAKI

当社は主力製品であるステンレス車両製造のパイオニアとして、これまで数々のステンレス車両開発を行ってきた。この度、アルミ車両に勝る付加価値・機能を有するステンレス車両として、「車体軽量化」、「外観の向上」、「構体水密性の強化」、「ぎ内装方法の改善」などの最新の技術を用いた「sustina」車両の国内第1号車両を完成させ東急電鉄殿へ納入、営業運転を開始している。

ここでは、第1号車両完成までの、開発経緯・内容・成果について解説を行う。

As a pioneer of stainless steel vehicle manufacturing, we have developed many stainless steel vehicles. As a new stainless steel vehicle which is superior to an aluminum vehicle in added value and functions, we have recently completed the first domestic “sustina” car using new technology to improve carbody weight reduction, exterior appearance, carbody watertightness and interior equipment work. This “sustina” car has been delivered to Tokyu Corporation and has started to run in commercial operation.

### 1 はじめに

当社はこれまで、前身の東急車輛製造時代より主力製品であるステンレス車両の開発に力を注いできた。

近年、首都圏の通勤車両はステンレス車両とアルミ車両がほとんどを占め、車両両数的には依然ステンレス車両が優位ではあるものの、JRを除く公営民鉄ユーザに限定した場合にはアルミ車両がステンレス車両を上回る実績を挙げており、今後のステンレス車両市場拡大のためには、ユーザにとって魅力のあるアルミ車両に勝る付加価値・機能を求められてゆくことが想定される。

こういった背景から2010年度より、新しい技術を用いた新しい考え方に基づくステンレス車両「sustina」の開発・試作・製造を行っており、この度、国内第1号車両を完成させ東急電鉄殿に納入するに至った。

なお「sustina」とは、当社で今後提案するステンレス車両のブランド名である。

### 2 「sustina」試作車両開発経緯と目標

まず車両開発の基本方針として、アルミ車両がステンレス車両に対して優位性を持つと考えられている項目、いわばステンレス車両の弱点ともいべき項目の克服・改善を最大の目標として以下のとおり設定した。

「車体の軽量化」

「外観の向上」

「構体水密性の強化」

「ぎ内装方法の改善」

「車体の軽量化」は、もともとの素材の比重がアルミに対してステンレスは約3倍であることから不利が想定されるなか、構体構造の改善・改良によりアルミダブルスキン構体と同等以下を目標とするものである。

「外観の向上」に関しては、スポット溶接主体の構体構造では板材の重ね合わせ部が車外に露出する構造であったが、これを極力回避し、側構体を一面フラットな構成にすることにより美観を向上させるものである。

「構体水密性の強化」に関しては、これまでステンレス車両に採用されるレーザ溶接部位が、外板と骨組みの結合部いわゆるスポット溶接方法の置き換えであったのに対して、水密強化と美観向上部位に絞った採用を行うものである。ゆえに、構体強度を担う接合に関しては従来どおりのスポット溶接にゆだねることとし、構体基本構造を抜本的に変更することなく、水密性の高い構造を実現するものである。

「ぎ内装方法の改善」に関しては、大型押出型材を用いたアルミ製のダブルスキン車両でも一般的となっている、車両レール方向の吊溝構造を天井部に設け、これを利用した室内モジュール構造を展開することにより、車両品質向上およびぎ内装工数を削減する狙いである。

これら4点に加え、製造メーカーの宿命でもある車両のイニシャルコストダウンについても主要目標の1つとし

て掲げ、社内で設計・生産技術・製造からそれぞれメンバーを選したプロジェクトチームを組み開発・設計・製造に取り組むこととなった。

### 3 「sustina」試作車両の製作

製品化に先立ち、新規開発項目についての技術的な検証およびトライアル要素を多分に含んだ試作車両を製作し、各種検証、工数分析を行った。

#### 3. 1 試作車両の構体構造

従来構造からの大きな変更点は以下のとおりである。

側一屋根結合部の雨どいを外板面の内側に配置し、側一屋根構体結合を従来車の水平外スポット構成（図1参照）から垂直外スポット構成（図2参照）に変更した。

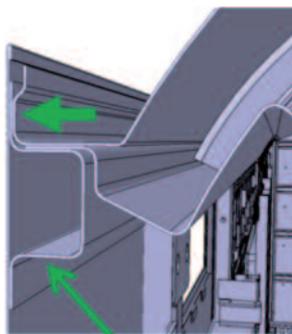
軽量化のため、側外板の板厚をt1.2（従来車t1.5）とした。また、この板厚低下による車体剛性低下の補剛材として、側構体最上部に車両長手方向に連続したハット型の骨材（軒帯：図2参照）を追加した。

水平外スポット



図1 側一屋根結合部（従来構造）

垂直外スポット



軒帯  
曲げ剛性向上効果

図2 側一屋根結合部（新構造）と軒帯

外板同士の結合部は従来のようなスポット溶接によるせぎり+シール構造を設けず、レーザ溶接技術を用いた突合せ溶接構造とした。

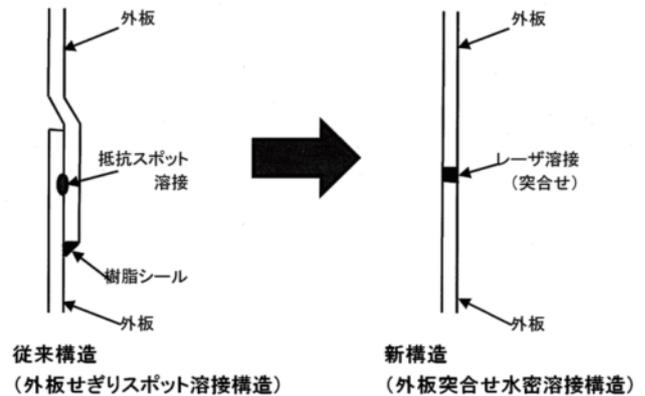


図3 外板結合部構造の相違

出入口フレーム部の車外に凸になる部材を外板の内側に配置し、周囲をレーザすみ肉溶接による水密溶接構造とした。

屋根構体天井骨組はカーテンレール状の吊溝構成とし室内ぎ内装品の取付作業性の向上が期待できる構造とした。

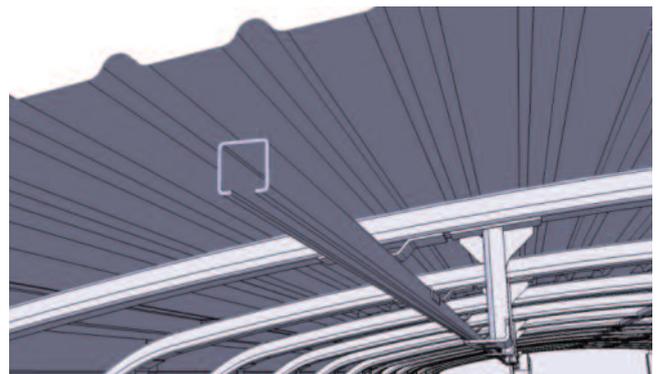


図4 屋根構体天井部吊溝構成イメージ

構体結合時および屋根天井骨結合時のアーク溶接（栓溶接）構造を極力廃止したアーク溶接レス構体構造とした。

側構体にはキャンパを設けず、台枠と屋根に個別に設ける構造とした。

妻構体にはプレス成型のビード外板を用い、骨組低減と軽量化を行った。

#### 3. 2 構体へのレーザ溶接技術適用

試作車両へのレーザ溶接適用箇所としては主に以下3箇所である。

「側外板、妻外板の突合せ溶接部」

「側外板と出入口フレームのすみ肉溶接部」

「妻外板と骨組間の重ね水密溶接部」

「側外板の突合せ溶接部」は、材料の歩留まり効率および溶接長が極力短くなるように、側出入口上部と側吹寄部をつなぎ位置とし、溶接後表面をステンレス車両の

外板仕上げである#80BG材に近い仕上げとなるような後加工による研磨を行っている。

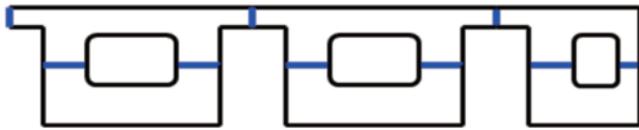


図5 側外板レーザー突合せ溶接部（青色部）

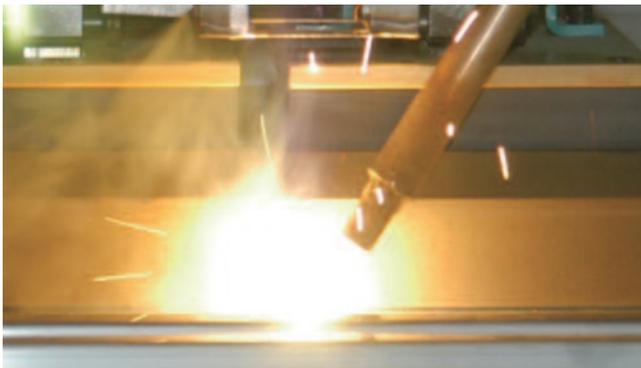


図6 レーザ突合せ溶接の様子

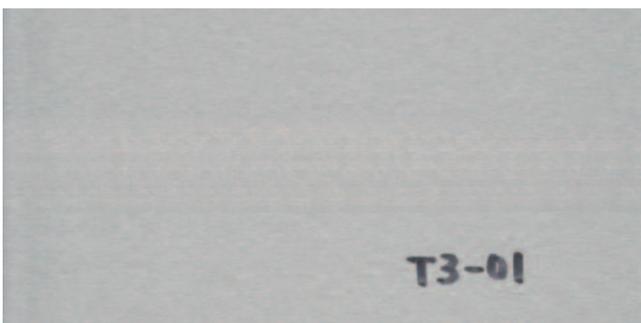


図7 研磨後の外板表面の様子  
(文字上の横方向に見える筋状の境界部が溶接線位置)

側出入口部周囲はフレームと外板の境界部にレーザーすみ肉溶接を行い、水密化を図るとともに外板材端部のバリを極力なくす構造とした。



図8 側出入口周囲すみ肉溶接部（赤色部）

妻構体には、外板周囲と幌枠部の重ね水密溶接と外板結合部の突合せ溶接にレーザー溶接を用いた。



図9 レーザ重ね水密溶接の様子

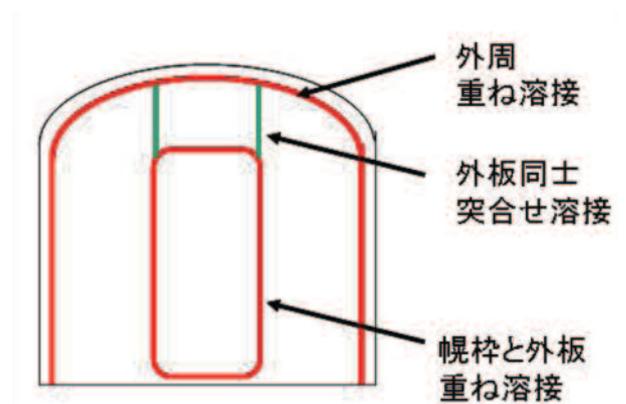


図10 妻構体へのレーザー溶接適用部位

このような、新規要素を含んだ試作車両構体は関係者の多大なる努力により2012年1月に完成した。



図11 (参考) 従来構造の完成構体外観



図12 試作車両の完成構体外観



図13 試作車両のビード外板連結妻構体



図14 試作車両構体内部

試作構体完成後、JIS規格に基づく構体荷重試験を行い、この試験範囲での強度上問題がないことを確認した。またその他に今回の構造変更特有の以下見解が得られた。

「新規構造の側一屋根結合部の結合剛性が高く、ねじり剛性値が従来構造よりも大きい」

「軒帯材を追加したことにより、外板板厚がt1.2であるにも関わらず、構体全体としての曲げ剛性が低下していない」

また、試作車両の構体質量は従来構造から約10%の低減効果があり、アルミ車両と同等の質量が実現できた。

### 3. 3 試作車のぎ内装

室内ぎ内装に関しては

- 「現車タップレス構造の採用」
- 「内装の美観向上（フラット化、押面類の廃止）」
- 「内倒窓の採用」
- 「側点検ふたパネル構造の採用」
- 「内装ロールバー構造の採用」
- 「非傾斜式妻引戸装置の採用」
- 「モジュール化の推進と割付共通化（シンメトリ）配置（天井配線・妻機器・腰掛）」

その他に、試作車独自のオプション的な開発要素として  
「LED灯具を用いた間接照明天井構造」

「ガラス製袖仕切構造」

などの検証も行っている。

試作車両では、これら多数の要素を検討するため、出入口間を単位として試作・内装仕様が異なる構成にした。

#### 3. 3. 1 現車タップレス構造

従来のステンレス車両では、内装品の取付は設備品の取付位置を決定した後に骨組みに穴あけ、タップ作業を行う。1品1品作業者が取付ねじの位置出し作業を行う形となっていた。

また、この作業に伴う切粉の発生や、その清掃にかかる工数も問題視されていた。

これに対して新構造では、天井設備品や重量物に対しては吊溝+ボルト固定、軽量な設備品に対しては、骨組に予めフローティングボルト・ナットを仕込んでおき、切粉の発生がなくなることによる品質向上および現車作業工数を低減させる工夫を随所に施した。

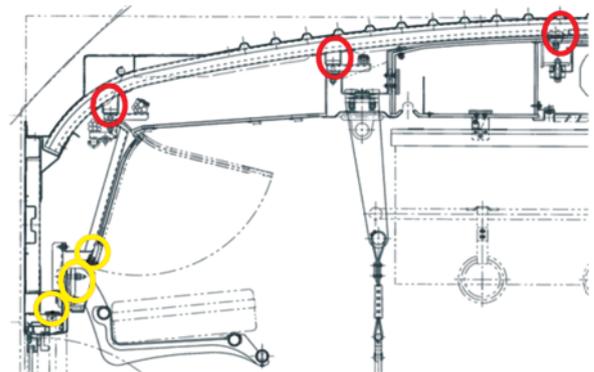


図15 現車タップレス構造部位の例

（赤丸部：吊溝+ボルト固定）

（黄丸部：フローティングボルト・ナット固定）

これによって、最終的に試作車において現車タップ作業ゼロの構造を実現することができた。

#### 3. 3. 2 内装の美観向上

荷棚受け・吊手棒受けといった大型の設備品の取付ねじを極力見えないような工夫を施し、同時に連妻部や戸袋部の押面類も廃止。室内点検用ふたや非常通報装置等を内壁面とフラット化することにより、シンプルですっきりとしたデザインを実現した。

#### 3. 3. 3 内倒窓の採用

海外市場（特に欧州）では一般的となっている車体外

面をフラット化するためには、窓構造部も平滑な構成にする必要がある。この場合、従来構造の下降窓方式ではどうしても車内に戸袋を構成するため、窓ガラス面を外板面と面一にすることができないという欠点があった。

これを解消しつつ客室内の非常時換気開口を確保する手段として、内倒窓の搭載を検討した。また、内倒窓装置は戸袋部をもたないことから部品としてのコスト低減も期待できる。

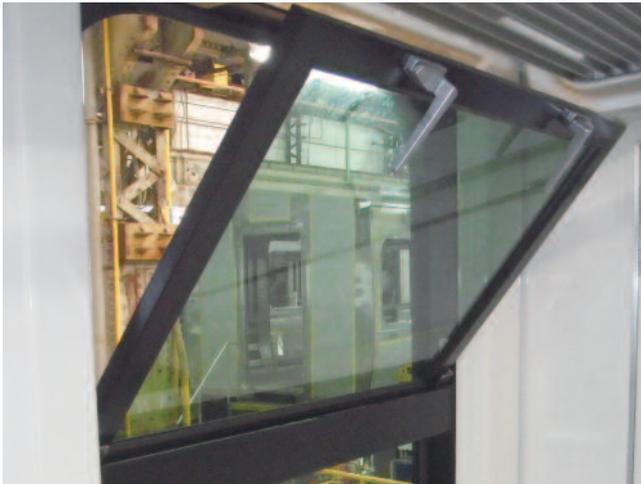


図16 内倒窓装置

### 3. 3. 4 側点検ふたパネル構造

客室荷棚上部の側天井部は、従来構造では、戸袋部の戸閉装置や行先表示器、車側灯などの点検ふた類が個別に丘付けに取付られた構造となっており、さらにその部位に広告レール等が重なることから、外観的にはスッキリとしたものでは無かった。

そこで試作車両では、側天井部を長手方向に全て開閉可能な構造とし、車内広告レールと一体化させた側点検ふたパネル構成とした。また、将来的に配線を追加するような場合においても、車体全長にわたり側天井部が開閉可能なことから作業が容易となる構造とした。



図17 側点検ふたパネル構造（閉状態）



図18 側点検ふたパネル構造（開状態）

### 3. 3. 5 内装ロールバー構造の採用

袖仕切、スタンションポール、吊手棒受を連続的な曲線で配置させ、客室内の見た目を損なうことなく、車両の剛性向上と側面衝突時の室内空間保持性能の向上させるものであり、4箇所ある各出入口の両側（1車両あたり8箇所）に配置した。



図19 内装ロールバー構造（全体）



図20 内装ロールバー構造（部分）

### 3. 3. 6 非傾斜式妻引戸装置の採用

連結妻の自動閉機能の戸閉装置は、従来の重力を利用したものから、重力を利用しない、引戸本体が上下方向の移動を伴わないタイプのもので検討した。またこの変更に伴い、妻引戸開時の乗客の操作性も向上させた。

### 3. 3. 7 モジュール化の促進と割付共通化（シンメトリ）配置

室内ぎ内装品は、極力モジュール化を図り、アウトワーク化による現車作業の削減と、部材リードタイムの縮小を実現している。主な構成要素としては以下のとおりである。

#### 「天井配線モジュール」

室内配線を大きく4系統に分け、それぞれを車両全長の長手方向で一物物として組んだもの。



図21 天井配線モジュール

#### 「妻機器モジュール」

妻部に配置される機器類とそれを扱う点検ふた類を一体化したもの。

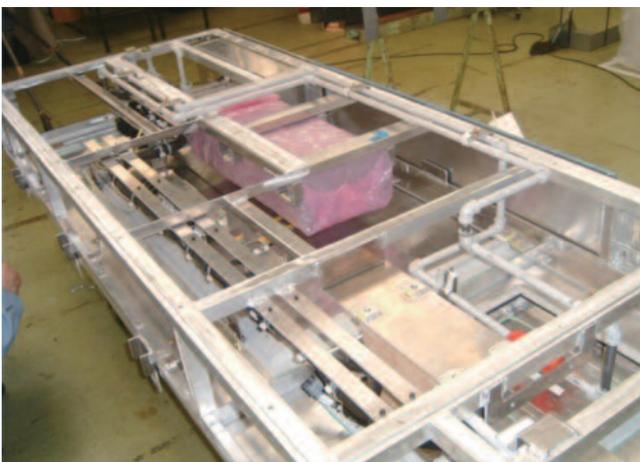


図22 妻機器モジュール

#### 「RA風道モジュール」

RA風道と天井板とロールフィルタ取付枠を一体に先組みしたもの。



図23 RA風道モジュール

#### 「腰掛モジュール」

腰掛とヒータを先組みしたもの。



図24 腰掛モジュール

試作車の内装設備品割付は、車体中心、側出入口中心に対して極力対称（シンメトリ）になるような割付を心がけ、図面枚数、部品点数、製作工数の低減に配慮した。

また、室内灯具の配置についても通常中間車1両あたり24灯配置であるところを、このシンメトリ配置に準ずることにより22灯に見直した割付計画となった。

### 3. 3. 8 LED灯具を用いた間接照明天井構造

試作車両では、通常の蛍光灯を単にLED灯具に置き換える検討だけでなく、LEDの高輝度を生かした間接照明構造の試作も行い、実際に灯具を点灯させた上で照度測定を行い、JIS規格照度を十分に満足しているかについて検証を行った。



図25 LED間接照明による客室天井部の様子

### 3. 3. 9 ガラス製袖仕切構造

今後の輸出車市場での需要予測があることや、室内デザインイメージを向上させる構造物として、ガラス（合わせガラス）製の袖仕切構造も採用・検討した。またその周囲の出入口きせと保護棒についてもそのデザイン（R形状）にマッチした形状とした。



図26 ガラス製袖仕切構造と出入口きせ

以上の新規開発要素を含んだ試作車両は2012年7月に完成し、車両走行振動によるぎ内装部品の低級音発生の有無と取付構造を変更した部位のねじ類のゆるみ発生の有無を確認するための振動試験を実施した。

その後、開発プロジェクト・設計・製造・品証メンバーによる現車出来栄え検討会等を行い、試作車の評価を行った。

2013年6月からは対外的に「sustina」を紹介するための車両として工場内に留置し、必要に応じて顧客等の見学要望への対応が可能な状態とした。

## 4 製品（第1号車両）へのフィードバック

試作車両で検証を行った項目のうち、製品展開をふまえて幾つかの仕様の見直しを行った。構体仕様の主なものとしては

- 「外板板厚の変更（t1.2→t1.5）」
- 「アーク溶接レス範囲の見直し」

「ぎ内装仕様の見直し」

が挙げられる。

「外板板厚の変更」は、ステンレス構体構造の基本であるモノコック構造では、垂直荷重に対して外板材がかなりの負荷を負うことになるが、この荷重負荷による外板表面の座屈変形（波打ち）が、開発目標である外観の向上を大きく損なう要因になると判断したため、従来車と同じt1.5に戻すこととした。

「アーク溶接レス範囲の見直し」に関しては、もともと修正工数の低減効果を期待したものであったが、低入熱のスポット溶接構造としても修正工数をゼロにすることはできず、結果的に効果が薄いと判断し、構体結合部は従来どおりのアーク溶接（栓溶接）を使用することとした。

「ぎ内装仕様の見直し」については、主に試作車両製作における作業性改善および材料コストダウンのための設計変更が主体となった。

## 5 「sustina」第1号車両の製作

その後、第1号車両の納入先である東急電鉄殿と具体的な設計会議を重ね、「sustina」1両を組み込む上で営業運転時における制約事項を検証しながら車両仕様を決定した。

構体構造はほぼ試作車両の仕様を踏襲したが、側窓は下降窓を採用することから、窓フレーム部構体は内嵌め水密溶接構造とした。

内装構造に関しても、配線モジュール、妻機器モジュールといった、ぎ内装モジュール構成を基本とした。

その他、付加価値的な機能である車両長手方向に開閉が可能な点検ふた構造や、内装ロールバー構造なども採用された。

構体製作後、JIS規格に基づく構体荷重試験を行い、構体強度的に問題のないことを確認した。



図27 完成した「sustina」第1号車両外観  
（東急電鉄5050系5576号車）



図28 「sustina」第1号車両 室内

## 6 車両完成後

車両完成後、対外プレス発表および当社内において来賓の東急電鉄殿を迎えての完成式典（除幕式）を行い完成車両の初披露を行った。



図29 完成式典の様子（2013年4月10日当社構内にて）

当該車両については東急電鉄殿へ納入後も、試運転および営業運転後の定期検査において、当該車両の新構造部である、現車タップレス構造採用部位のねじ緩み有無、および外板結合研磨部の汚れといった追跡調査を行い、構造変更部位の経年使用変化の有無について引き続き調査を進めていく。

## 7 おわりに

上記のとおり当社はステンレス車両のトップメーカーとしての優位性を継続すべく「sustina」の開発および第1号車両の製作納入を完了させた。この第1号車両を先駆けとして「sustina」シリーズを今後も進化させ、当社主力製品としての「sustina」ブランドを確立し、国内のみならず、海外へも拡販を図ってゆく所存である。

最後に、3年間に渡り「sustina」開発にあたりご協力をいただいた関係各位ならびに「sustina」第1号車両と

して5050系への導入をご英断いただいた東急電鉄殿に対して、この場を借りて厚く御礼を申し上げたい。

## 著者紹介



浅賀哲也  
生産本部  
技術部（sustina）主任技師



須田剛慈  
生産本部  
技術部（sustina）主査



茂木正綱  
生産本部  
技術部（sustina）主査



西垣昌司  
生産本部  
技術部 部長（設計）