

# 総合車両製作所技報

## J-TREC TECHNICAL REVIEW

Vol.5 2016.12

◆巻頭言◆

「モジュール構造とオープンアーキテクチャ」

◆特集寄稿 「sustina シリーズ S13/S23/HYBRID」◆

- ・「sustina シリーズ」の概要
- ・「sustina S13」 静岡鉄道 A3000形
- ・「sustina S23」 JR東日本 E129系
- ・「sustina HYBRID」 JR東日本 EV-E301系
- ・「sustina HYBRID」 JR東日本 HB-E210系
- ・「sustina HYBRID」 JR東日本 HB-E300系編成

◆論文◆

- ・SEA法を用いた高速車両の車内騒音解析
- ・高速車両用サイクロン式集塵装置の開発
- ・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

◆解説◆

- ・フリーズアコンソール
- ・ステンレス鋼板の表面状態と耐食性
- ・sustina車両側構体の量産化について
- ・マグネシウム合金のレーザ溶接技術
- ・国内と海外の溶接技術検定の比較検討
- ・抵抗スポット溶接品質の安定化に向けた取り組み
- ・レーザブレイジングを用いた異材接合の検討
- ・非接触式車体通り測定機構の開発

# 特集【sustinaシリーズS13<sup>\*1</sup>/S23<sup>\*2</sup>/HYBRID<sup>\*3</sup>】

## 目次

### ◆巻頭言◆

「モジュール構造とオープンアーキテクチャ」…………… 3  
＜常務取締役 生産本部副本部長 長谷川裕＞

### ◆特集寄稿 「sustina シリーズ S13/S23/ HYBRID」◆

- 「sustina シリーズ」の概要 …………… 4  
＜常務取締役 生産本部長 前田秀幸＞
- 「sustina S13」 静岡鉄道 A3000形 …………… 6  
＜杉山隆幸, 茂木正綱, 金子晃大, 横山大雅＞
- 「sustina S23」 JR東日本 E129系 一般形直流電車 …………… 12  
＜吉村雅和, 安在恵一郎, 三井健司, 澤井啓太, 西川信明＞
- 「sustina HYBRID」 JR東日本 EV-E301系 一般形直流電車 …………… 16  
＜麻生和夫, 関根眞一, 堀口健一郎, 平井明正＞
- 「sustina HYBRID」 JR東日本 HB-E210系 一般形ハイブリッド車両…………… 20  
＜藤澤朝岐, 半田直一, 横山大雅, 堀口健一郎＞
- 「sustina HYBRID」 JR東日本 HB-E300系 櫛編成…………… 24  
＜府馬竜也, 木元裕勝, 横山大雅, 森田康平, 深澤悦史＞

sustina シリーズ名称について

- \*1 : 「sustina S13」 車体長さ18m, 扉数3扉
- \*2 : 「sustina S23」 車体長さ20m, 扉数3扉
- \*3 : 「sustina HYBRID」

EV-E301 : 架線集電方式+リチウムイオン蓄電池駆動電車

HB-E210, HB-E300 : ディーゼルハイブリッド方式 (蓄電池併用電気式)



## －巻頭言－

### “モジュール構造とオープンアーキテクチャ”

常務取締役  
長谷川 裕



今回はsustinaの新ラインナップとしてS13, S23シリーズと、さらに動力モジュールの新顔であるハイブリッドシリーズ、蓄電池駆動（EV）シリーズをご紹介できることになりました。

ソフトウェアの世界から始まった「モジュール構造とオープンアーキテクチャ」の動きは、様々な分野で技術革新を生み、それによって周辺の産業構造も大きく変化させてきました。

ここでは、システムを構成するモジュール間の繋がりが密なものを「摺り合わせ型アーキテクチャ」、それに対して疎な繋がりのものを「オープンアーキテクチャ」と呼びます。

通信やモバイル端末の世界で起きた「モジュール構造とオープンアーキテクチャ」は、人々の日常生活を大変便利なものに変えました。その成果は鉄道の世界にも組み込まれて多くの新しい価値を提供しています。

ユーザから見た「モジュール構造とオープンアーキテクチャ」の価値は単なるコストダウンの手段に止まらず、新たな価値を容易に手に入れる土俵作りの意義が大きいと思います。

鉄道車両と相似な一面を持つ自動車の世界では、ご承知のとおり地球環境保護の要請に応じてエンジン駆動から「バッテリー+モータ駆動」へ、あるいは「燃料電池+モータ駆動」への移行が始まっています。この過程で動力システムモジュールのアーキテクチャのオープン度は一気に上がり、その結果Tesla Motorsなどの新規参入者が生まれて、高性能大容量バッテリーなどの技術革新を加速させています。

制御システムモジュールではアンドロイドで成功したGoogleが自動車を含めた広義のロボット制御用OSへの参入を目指しており、自動車メーカーとの主導権争いが耳目を集めているところです。この延長線上にある自動運転技術の実用化は、ライドシェアサービス等の新ビジネスの動向とも相まって、いずれ公共輸送としての鉄道事業を巻き込んだ構造変革に繋がるかも知れません。

当社のsustinaシリーズでは、車体構造・駆動システム・車両制御システムなどあらゆる観点で、擦り合わせ型のアーキテクチャからオープンアーキテクチャへの構造転換と、それに基づく新技術の取込みを志向しています。

明治の汽笛一声以来、「電化（地上電力輸送網+車上モータ駆動システム）」が鉄道の動力近代化の象徴でありましたが、バッテリーモジュールのエネルギー密度が飛躍的に向上する中で、鉄道車両の世界でもハイブリッド車両や蓄電池駆動車（EV）の選択枝が現実のものとなりました。今回sustinaシリーズのラインナップにこの2シリーズが加わりましたが、さらに今後鉄道で燃料電池が真価を発揮できる環境が整えば、この方向の進化も考えられます。

輸送密度によっては、既設の電化区間においてもこうしたシステムが地上側電力輸送網の維持コストを含めたトータルコストで有利になることが考えられます。新世代ソリューションの登場で、「非電化」が動力近代化の終着点になるかも知れません。

sustinaはオープンアーキテクチャの環境の中で、この他にもIoTによる保守業務の近代化、新しい出力技術（ウェアラブル、VR、MR）による情報伝達、などの新しい価値を取込みながら今後も進化することを目指します。

総合車両製作所は、14000両の鉄道車両を運用する鉄道グループの目線で車両の進化の行く末を見極め、ユーザの皆様に新しい価値を提供していきたいと考えています。

## sustina シリーズの概要

### Outline of “sustina” Series

前田 秀幸 Hideyuki MAEDA

sustina ブランド車両のシリーズ中で、生産ロットが比較的小規模となるタイプの車両を開発し、落成することが出来た。車両が使用される環境に対する最適化と顧客の思いを取り入れながら、コストパフォーマンスの高い車両として開発することを目指してきたものが製品となり、客先に納入されたのでその概要を紹介する。

#### 1 はじめに

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電車（東急5200系；1958年）、およびオールステンレス車両（東急7000系；1962年）を製造した歴史を持っている。

オールステンレス車両はステンレス材の持つ優れた耐食性、耐熱性、リサイクル性などが評価されて今日まで通勤車両の多くに採用されており、特に耐食性の良さは無塗装化につながり、環境への負荷軽減、メンテナンスの軽減に大きく寄与して、ライフサイクルコストの低減にもつながっている。

初代オールステンレス車両7000系は製造されて以来50年を超えているが、首都圏で活躍したのち、地方鉄道で今なお現役で活躍している車両が多数あり、その耐久性の高さが証明されている。

#### 2 sustinaコンセプト

その後オールステンレス車両はいくつかの段階を経て進化を続けているが、2012年に当社がJR東日本グループ入りしたことを契機として、再度の技術的ステップアップを推進しており、そのコンセプトから導き出した新基軸の技術を取り入れた車両には“sustina”の称号を与えている。そのsustina コンセプトを図で表したものを図1に示す。“sustina”の第1号車両は東急電鉄5050系5576号車（図2）である。この車両の構造および特徴等の詳細については、総合車両製作所技報 第2号で「特集寄稿」として掲載しているのので、そちらをご参照いただきたい。

日本国内における鉄道車両の新形式車生産は、鉄道事業者ごとに基本設計から始める、多品種少量生産が主流となっているが、車両の機能が高度化するに従いその設計に必要とされる期間やマンパワーが増大し、リードタイムおよびそのコストに大きな影響を与えている。

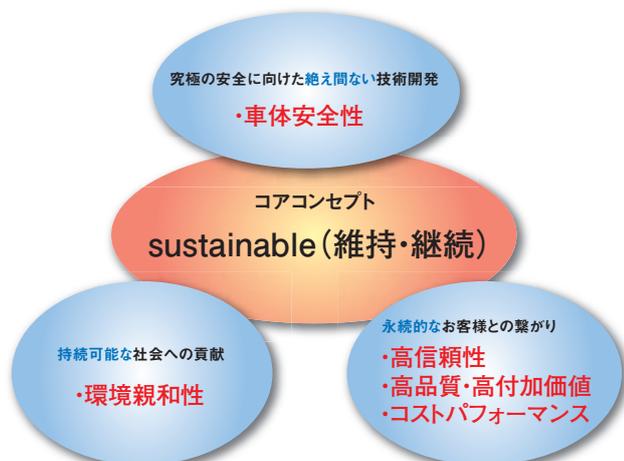


図1 sustina コンセプト図



図2 “sustina” 第1号車両外観<sup>(1)</sup>  
(東急電鉄5050系5576号車)  
2013年5月営業運転開始

sustinaでは、同じような性能をもしくは運用方法を車両に期待されている複数の鉄道事業者採用頂けるよう、共通プラットフォーム化を推進して、基本構体、台車およびそれに使用される装置、部品などをタイプに応じて共通化し、開発コストと装置／部品コストを下げると共に、鉄道事業者の思いを取り入れることができるオプションを組み合わせることで、運用される地域の人々になじみ、その地方の文化にも溶けこむことが出来ることを目指している。

今回この技報で紹介するタイプの車両については、冒頭に述べたとおり生産ロットが比較的小規模であるため、その開発コストが車両全体のコストに大きな割合を占めることになっていたが、プラットフォームを共通化することでQCDを高めていけると考えている。

今回開発されたsustina車両は、

- ・車体長18mで2両編成ながら運転間隔は6分程度と乗客の利便性が高い静岡鉄道向けA3000形電車
- ・車体長20mで2両編成もしくは4両編成を単独運用はもちろん、自由に編成の組み合わせをすることで様々な運用に対応できる新潟地域向けE129系電車
- ・車体長20mで、2両編成の複数編成が連結可能であり、環境負荷への負担が低いこと、電化・非電化を問わずに直通運転ができること等の特徴を活かし、仙台－石巻間の通勤時間を大幅に短縮することに寄与している、ディーゼルハイブリッドHB-E210系車両
- ・車体長20mで、4両編成、HB-E210系車両同様その環境負荷への負担の低さを活かして、秋田・青森地区の観光路線を快適に走行し、地域観光活性のために役立てていただいている、HB-E300系車両
- ・車体長20mで、2両編成、電化区間から非電化区間を直通運転し、車両自体からはCO<sub>2</sub>をまったく排出する事がないことで世界からも注目を浴び、烏山線で運用されているEV-E301系蓄電池駆動電車

以上である。それぞれの車両形式の持つ特徴が、車両運用上のニーズと合致する、もしくはこれに近い鉄道事業者採用頂くことができると考えている。

### 3 おわりに

特に世界的に関心が高まっている、環境にやさしいHybrid車両については、世界に向けてその運用実績を基にした優秀性を伝え、認知頂くことも大切である。

車両の共通プラットフォームとなる部分をさらにレベルアップすると共に、お客様の思いを取り入れるオプション部分への対応の迅速さを磨き上げることで、車両が運用される地域に貢献をしていきたいと考えている。

### 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 第2号, 4-11, (2013), (株)総合車両製作所

### 著者紹介



前田秀幸  
常務取締役  
生産本部長

## 静岡鉄道 A3000 形

生産本部 技術部



図1 製品外観

### 1 はじめに

静岡鉄道では、約40年前から使用されてきた静岡清水線の1000形車両（以下、既存車と記す）の老朽化に伴う置き換え用として、新型式A3000形を新造することとなった。車両形式の頭文字である「A」には、「Activate（活性化する＝沿線の活性化）」「Amuse（楽しませる＝乗って眺めて人を楽しませる）」「Axis（軸＝静岡市が目指すコンパクトシティの軸となる）」の思いが込められている。

A3000形は、当社で提案するステンレス車両のブランド名である「sustina S13」に位置付けている。

以下に、A3000形の概要を紹介する。

### 2 構造および特徴

#### 2.1 車体

##### 2.1.1 基本構造

編成はMc+Tcの2両固定である。側出入口の位置は

ホームでの乗車位置、ホーム柵を考慮して既存車と同一とした片側3扉の配置である。

車体は軽量ステンレス構体とし、台枠等の一部を除きステンレス鋼を使用している。外板表面処理はBG（ベルトグラインダ）仕上としている。

前頭構体は踏切事故対策として前面強化を図った。側面からの衝撃に対する安全向上策として側構体の柱の位置に屋根構体の垂木の位置を合わせる構造を採用した。連妻構体はオフセット衝突対策として、隅柱の断面形状の一边を斜め45°にし、衝突した車両同士が離反する機能を盛り込んでいる。

車体のカラーリングは静岡が誇る「1番」をモチーフとし、編成ごとに異なる色を選定した。第1編成は富士山をモチーフとしたクリアブルーで、静岡鉄道の創立100周年となる2019年度までに7色すべてが揃う計画としている。なお、第8編成以降はステンレスの地肌を活かした外観になる予定である。

## 2. 1. 2 車内設備

室内は出入口間が9人掛，車端が3人掛の座席配置とし，車いすスペースに隣接する箇所のみ6人掛としている。座席は一人ずつの座席位置を明確にしたバケット形にするとともに，一人当たりの座席幅は460mmとし，既存車よりも45mm広げ，快適性を向上させている。そで仕切部と9人掛の中間2箇所および6人掛の中間1箇所に，車体中心に向かって湾曲したユニバーサルデザインの握り棒を設けた。

室内灯については昨今，標準となっているLED照明としており，従来の蛍光灯と同等の明るさを確保するとともに消費電力を抑制している。

荷物棚は出入口間の中心部に3人掛座席幅相当のものを4箇所に設置した。棚板はガラス製で，床上面からの高さを1730mmとし，既存車に比べて75mm低くすることで小柄なお客様へ配慮した。吊手の高さは2種類とし，低い方の吊手は新たに二段式のものを開発した。この吊手は床上面から1640mmと1530mmの2箇所を握ることができ，身長に合わせて高さを選べる形状となっている。高い方の吊手は一般的な三角形で，床上面からの高さは1800mmである。吊手の正面はすべて車両の側面に向けてあり，とっさの時に吊手を認識しやすくすることで安全性の向上を意図している。



図2 室内

側窓は下降窓と固定窓を組み合わせた配置とし，UVカット仕様の強化ガラスを採用している。

側引戸は車内外ともにステンレス鋼板を使用し，車内側引戸先部には，開閉時の安全性向上を目的に，警戒色である黄色帯を設置した。側引戸窓ガラスは引戸内板との段差をなくし，戸袋への指巻き込みに対する安全性を向上している。

側出入口上部のかもい部には，開閉動作を表すチャイムと表示灯を設けるとともに，32インチハーフサイズの

大形液晶ディスプレイの車内案内表示器を，1両当たり3台，千鳥配置となるよう設置した。

先頭寄車掌側には車いすスペースを設けた。側面には二段式の手すりを設置し，車いすでの使用のほか，立席客が寄り掛かることもできるよう配慮している。

## 2. 2 ぎ装

### 2. 2. 1 床下機器

McとTcの両先頭2両編成で，新静岡寄の先頭車Mcには，主回路機器であるVVVFインバータ装置，フィルタリアクトル，断流器を搭載している。また，非常用の電源装置である充放電装置と非常走行装置バッテリーを取り付けるスペースを確保している。第1編成には塗油装置を搭載している。新清水寄先頭車TcにはSIV装置，トランスフィルタ，整流装置，電動空気圧縮機，蓄電池箱を搭載している。電動空気圧縮機はオイルフリーとしており保守低減を図っている。Mc，Tcともに，床下機器のスペースを確保するため，供給空気タンク，制御空気タンク，保安空気タンクは縦型を採用した。主電動機は内扇全閉形を採用した誘導電動機とし，電動空気圧縮機と同様に保守低減を図っている。

### 2. 2. 2 屋根上機器

パンタグラフはMc車の連妻寄に1台搭載している。また，車外からでもパンタグラフを上げることができるように手動の鍵外し装置を設置している。また，Tc車の連妻寄には列車無線用のアンテナを設けている。

### 2. 2. 3 室内機器

戸閉装置は民鉄各社で実績のある空気式を採用している。また，防犯対策として，室内天井に監視カメラを設置している。



図3 室内防犯カメラ

このほかには空調関係の機器として空両接触器と横流送風機を設置している。

連妻かもし部においてはMc、Tcともに空調制御器、サービス機器配電盤を設置し、Tcのみ列車無線用の制御器と電源装置を設置している。

#### 2. 2. 4 乗務員室機器

客先からの要求を満足するため、なるべくテーブル面には機器を取り付けない構造とした。テーブルの前寄りには走行の画像を記録する前方カメラを搭載している。



図4 運転台



図5 前方監視カメラと記録装置

運転士腰掛はワンマン運転により各駅の停車ごとに折り畳むので、座布団の擦り切れを防止するため、カバーを設けている（図6矢印部）。

乗務員室に各2個設置しているサンバイザのうち、運転士寄のものは通常の前後回転だけでなく、上下移動と左右回転機構を兼ね備えたものを採用している。

運転操作に必要なスイッチ・表示灯、計器類を運転位置およびその手元に整理して配置することにより、運転士の視認性および操作性の向上を図っている。



図6 運転士腰掛（擦り切れ防止カバー）

ワイパのメンテナンスを考慮し、運転台ユニット内に空間を確保し、正面に点検フタを設けている。

主幹制御器は両手操作のT形ワンハンドルであり主ハンドルの位置検知をアブソリュートロータリエンコーダにより検出しているため、有接点マスコンの既存車にくらべ信頼性が向上した。制御部に故障診断機能を設けるとともに、待機二重系として冗長性の向上を図った。

列車衝突時に安全対策として緊急防護（TE）スイッチを設けた。スイッチが押されると、警笛鳴動、非常制動、列車無線発報、発炎信号動作、パンタグラフ降下が同時に行われる。

運転士異常時列車停止装置は既存車と同じ、主ハンドルの握りの有無により動作するデッドマン装置とした。

車掌スイッチユニットには、車掌スイッチのみならず中扉締切スイッチ、全開スイッチ、車外放送スイッチ、ハンドマイク、車外警報スイッチ等を集約して配置して、お客様の動向を把握しながら操作できるようにした。また、多客時等での後方乗務員室の補助係員が乗務し列車監視をする際、この係員が直ちに列車を停止できるように、車掌スイッチユニットに非常ブレーキスイッチを設けている。

警笛は二段式とし、軽く踏むと電子警報が鳴動、強く踏むと空気式警笛が鳴動するようにして非常用と注意喚起用を区別した。

その他、発炎信号、扉開放コック、列車防護用具箱、合図灯、手旗等も既存車と同様に設置している。

消火器は運転室仕切り部に埋め込み、運転室、客室双方から取り出せる構造とした。

客室内と同様に室内灯（乗務員室灯）はLEDとし、前照灯、種別標識灯、尾灯の各灯具についてもLEDとした。前部灯については高輝度LED灯とし、配光を広くとっている。

左側面には計器類（電圧計、電流計）とEBリセットSW、i-ATS復帰SWを設置した。

### 2.3 台車

形式をTS-840形（Mc台車）、TS-841形（Tc台車）と称する。全閉型主電動機のような最新機器を取付け可能な構造とする一方で、既存車との部品互換性を考慮し、既存車の構造を極力変えない事により信頼性の維持と容易な保守性および点検整備の統一化を考慮した設計を行っている。これにより客先からの要求とコスト低減を両立させている。

基本的な構造は既存車を踏襲して設計されたダイレクトマウント式のまくらはり付き台車である。従来と同様、空気ばねの横剛性を利用する方式を採用している。

まくらばねはφ550の空気ばねを使用し、垂直、水平方向の特性を利用している。また上面板とベローズとの間にポリエチレン製カバーを入れることにより、ベローズの耐久性が増すよう考慮している。

まくらはりは台車枠上に側受すり板を介して載っており、まくらばりと車体との間に空気ばねを取り付け、空気ばねの横たわみによって車体の横揺れを許容できる構造である。空気ばねを直接車体に取り付けたことにより給気は車体配管により行われ、台車側の配管は省略している。車体とまくらばりの間には空気ばねの異常上昇止めを兼ねた台車吊り上げ金具を備えてあり、まくらばりと台車枠の間には吊り上げ機能を備えた中心ピンを設け、車体と台車を同時に持ち上げることが出来る。また車体側にまくらばりを残し台車を抜き取ることもできる。まくらばりは空気ばねの補助空気室としても利用し、左右の空気ばねそれぞれに対応して空気室が二つ用意されている。また、レールへの追従性を良くするため片台車の左右の空気室は繋がった構造にしている。

側受は車体荷重を全側受支持とし、蛇行動防止のため台車の回転抵抗を適切に与えている。

自動高さ調整装置はLV-3形調整弁を車体側に取付けた構造である。

台車枠は既存車の構造を踏襲した鋼板溶接構造である。

車輪には丸リング付圧延車輪を採用し、防音性能を備えている。ゴムを巻いたリングが車輪に嵌められ、振動を減衰させることで高周波音、特にきしり音の低減に効果がある。

軸受は120複列円筒密封ころ軸受を使用し、グリスが外に漏れず、保守性も高い構造となっている。軸ばねは既存車と同じばね定数で、軸箱の上に防振ゴム、軸ばね

を直列に配する既存車と同じ構造とした。

ブレーキ装置も既存車を踏襲した片押し式踏面ブレーキを採用している。ブレーキシリンダはφ120mmのゴムシリンダを使用し、ストローク調整は横ばりに設けた隙間調整装置により行える構造とした。ブッシュはポリウレタンを使用し騒音防止と保守の容易化を図った。またMc車の後位台車にはフランジ塗油器を設けている。



図7 台車

### 3 おわりに

A3000形は2016年3月24日に営業運転を開始した。今後は年間1～2編成のペースで新造を行い、8年後にはすべての車両がA3000形に置き換えられる予定である。

(杉山 隆幸, 茂木 正綱, 金子 晃大, 横山 大雅 記)

表1 A3000形 主要諸元表

車種	電動制御客車 (MC)	制御客車 (TC)
形式	クモハA3000形	クハA3500形
定員 (座席)	119 (39)	119 (39)
車体寸法	18000×2742×4050 (パンタ折たたみ)	18000×2742×4015
自重	34.3 t	29.5 t
台車	ボルスタ付空気ばね TS-840	ボルスタ付空気ばね TS-841
主電送機	全閉内扇式三相かご型誘導電動機 120kW	
駆動装置 (歯車比)	中実軸平行カルダンTD継手 (7.07)	
集電装置	ばね上昇式シングルアーム パンタグラフ (手動下降装置付)	
制御装置	IGBT VVVF制御 (2M制御×2)	
補助電源装置		静止形IGBTインバータ装置 100kVA
電動空気圧縮機		スクロール式オイルフリー400L/min×3台
蓄電池		焼結式アルカリ蓄電池 50Ah
ブレーキ装置	全電気指令式電磁直通ブレーキ方式 電力回生ブレーキ (MC) 保安ブレーキ 滑走再粘着制御	
戸閉装置	両開きベルト連動式 戸挟制御付 6台	
冷房装置	52.3kW (45000kcal) 1台	
暖房装置	客室 シーズ線式 750W×13台 (MC)・12台(TC) 乗務員室 温風ヒータ 1700W/850W	
放送装置	乗務員室 マイクロホン2台・スタンドマイク1台 車内スピーカ4台 車外スピーカ2台	
車両情報統合システム	タッチパネルLCD表示 モニタ・自動放送装置・車内案内表示器・ 車外表示器制御機能 (運転状況記録装置内蔵)	
車内案内表示器	32インチ LCD表示器 3台	
車内灯・前照灯	LED車内灯 31W×20個 LED前照灯 31W/15W×2個	
自動列車停止装置	変周式ATS (点制御速度照査式) i-ATS (変調方式 (MSK) 車上パターン制御方式)	
列車無線装置	アナログ1波単信 400MHz 無線機1台/編成 操作器1台/両	
その他	ドライブレコーダ (乗務員室) 1台 防犯カメラ (客室) 4台	

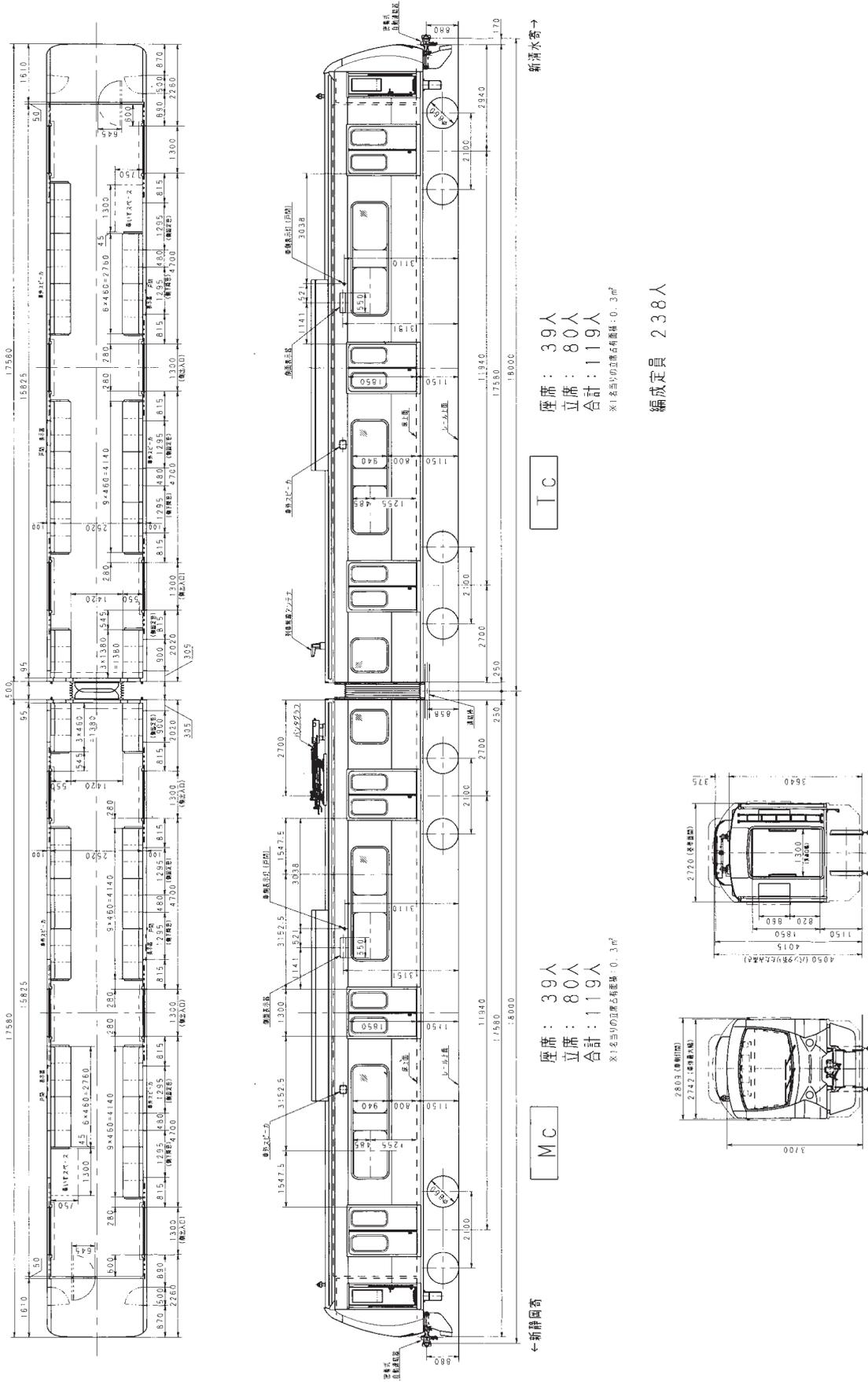


図8 編成図

## JR 東日本 E129 系 一般形直流電車

生産本部 技術部



図1 E129系 外観

今号の特集「sustina シリーズ」として「sustina S23」である、JR東日本E129系一般形直流電車を紹介する。

E129系(図1)は、新潟地区の普通電車の主力として使用されてきた115系直流電車の老朽取替、および北陸新幹線開業に伴った「えちごトキめき鉄道株式会社」へのE127系車両譲渡による不足車両の補填のために新造された。この車両は現在首都圏の主力形式であるE233系の技術に、仙台地区で活躍するE721系の地方線区向け短編成設備を追加し、さらに新潟地区での使用実績や新技術も投入して開発している。

なお、車両の構造および特徴等の詳細については、すでに総合車両製作所技報 第4号で「製品紹介」として掲載しており、そちらをご参照いただきたい。

E129系は新潟地区の通勤通学時間を快適なものとするだけでなく、グループ旅行などの長時間乗車の場合でも快適に過ごせる車両を目指して設計、製造を行った。登場から2年が経ち、すでに100両以上が地域の主力とし

てお客さまのもとで日々活躍している。新たに長岡駅ー直江津駅間、長岡駅ー越後中里駅間でワンマン運転も行われており、都市部を含めた地方線区の輸送ニーズに合わせ、きめ細かな運用がされている。また、一部の編成において側引戸かもい部に「車内ビジョン」を追加設置するなど、より高い情報サービスを提供している。

今後、新潟地区のシンボルだけでなく、地方線区向け一般形直流電車のスタンダードとして期待している。

### 参考文献

- (1) 吉村 雅和, 他:「JR東日本 E129系 一般形直流電車」, 総合車両製作所技報 第4号, 88-93, (2015), (株) 総合車両製作所

(吉村 雅和, 安在 恵一郎, 三井 健司,  
澤井 啓太, 西川 信明 記)



図2 外観デザイン



図6 優先席のつり手・握り棒



図3 客室内<sup>(1)</sup>



図7 車いす対応大型洋式便所<sup>(1)</sup>



図4 11人掛ロングシート



図8 TR255D 台車<sup>(1)</sup>



図5 クロスシート<sup>(1)</sup>



図9 DT71C 台車<sup>(1)</sup>

表 1 主要諸元表 (1)

← 車両		新 車 上 →		
編 成				※ 併結パターン(営業運転): 最大6両(2+2+2+2+2+2、2+4、4+2) ・他形式との併結運転無し ・車種ごとの併結パターン(指定編成) ・パンタグラフ位置E127系と同じ
	最高運転速度(km/h)	110 km/h(山線通過:基本の速度才)		
形式	Mc	Mc	Mc'	Mc'
	クハ/EI29-0	クハ/EI29-100	モハ/EI28-0	クハ/EI28-0
定員(人)	140 (54)	154 (60)	133 (46)	133 (46)
	(37.2)	(37.2)	(32.7)	(37.2)
車体長さ	19,570 mm	19,500mm	19,570 mm	
		2,950mm		
車体幅	3,620mm			
	1,130mm			
床面高さ	880mm			
	13,800mm			
連結器高さ	動台車DT171系、従台車TR255系			
	PS33G	-	PS33G	-
台車形式(箇數比)	編成内引き通し有り M'-M 間手動開放機構付き			
	パンタグラフ	MT175B×2		
高圧引通線	SC102	-	SC102	-
	主電動機	IvHB	IvHB	SC103
主制御装置	-	-	-	-
	補助電源	○	○	○
電動空気圧縮機	集中式冷房装置 AU725系(48.8kW(42,000kcal/h))			
	冷房装置	ATS-Ps・ATS-P(統合型)、デジタル列車無線2形、EB・TE装置、防護無線		
保安装置	VVVFインバータ制御方式、回生・発電ブレーキ付			
	制御方式	回生・発電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、抑速ブレーキ		
ブレーキ方式	貫通、半室運転台、ワンマン対応			
	運転室構造	MM風通、レールヒーター、機器レータ装備		
耐寒・耐雪構造	MON23(運転状況記録機能付)			
	情報装置	セミクロスシート、車内スペース(Mc')		
座席配置	片側3扉(両開き)、半自動機能付、空気式戸閉装置(戸狭み安全機能付)			
	側出入口	車内寸対応洋式		
トイレ	-			
	サービスマシ	前面先行表示器(LED)、側面先行表示器(LED)、車内案内表示器(1段式LED 千鳥配置)、車外スピーカー、自動放送装置		
その他	ワンマン機器、セマシック噴射装置(2両編成のみ)、転落防止放送装置、移動禁止システム、非常通報装置(各車両)			
	その他	4両編成はワンマン機器スペース準備のみ(地上カメラシステム)		

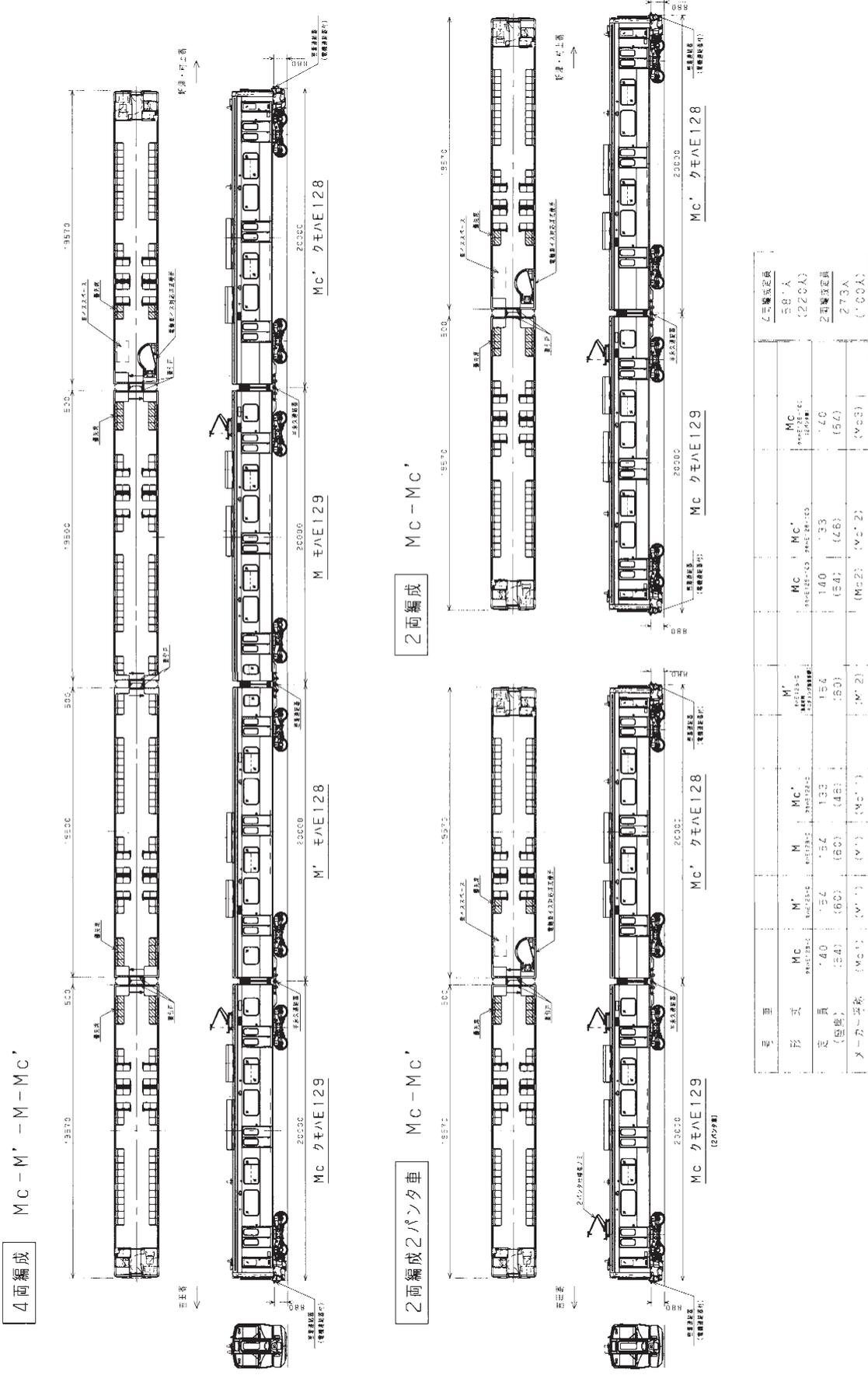


図 10 編成図 (1)

## JR 東日本 EV-E301 系 一般形直流電車

生産本部 技術部



図1 EV-E301系 外観

今号の特集「sustina シリーズ」として、「sustina HYBRID」であるJR東日本EV-E301系一般形直流電車を紹介する。

EV-E301系(図1)は、蓄電池駆動システムを搭載した直流電車である。この電車は、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する。その際に蓄電池の充電率が低い場合は、架線からの電力やブレーキ時の回生電力で充電を行う。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にて走行する(図2)。この時、非電化区間でも、ブレーキの回生電力で充電出来るため、エネルギー効率の上昇にも寄与している。

なお、車両の構造および特徴等の詳細については、すでに総合車両製作所技報 第3号で「製品紹介」として掲載しており、そちらをご参照いただきたい。

EV-E301系は、2014年3月15日より営業運転に投入され、現在は1編成2両が東北本線(宇都宮～宝積寺)および烏山線(宝積寺～烏山)の普通列車として運用されている。今後は、烏山線の気動車全車両を同車両に置き換える(※1)計画が進んでいる。(※1:2012年11月JR東日本プレスリリースより)

なお、EV-E301系は2015年にローレル賞を受賞した。

ローレル賞に選定した鉄道友の会は、「架線と大容量蓄電池のハイブリッド方式により、非電化路線鉄道の新しい動力方式を具現化した点で、EV-E301系は意義の大きな車両である」と同車両を高く評価している。

### 参考文献

- (1) 藤澤 朝岐, 他:「JR東日本 EV-E301系 蓄電池駆動電車」, 総合車両製作所技報 第3号, 64-69, (2014), (株)総合車両製作所

(麻生和夫, 関根眞一, 堀口健一郎, 平井明正 記)

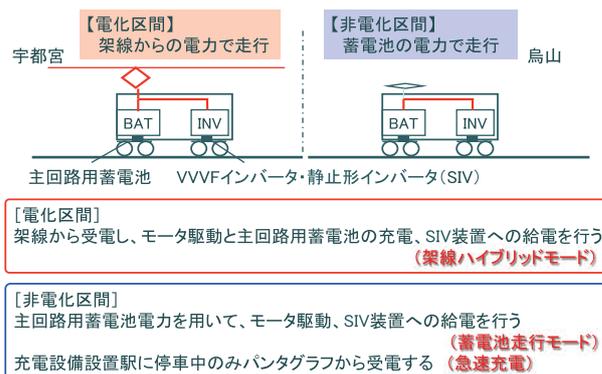


図2 車両システム動作モード



図3 ローレル賞受賞式典



図7 パンタグラフ



図4 客室内<sup>(1)</sup>

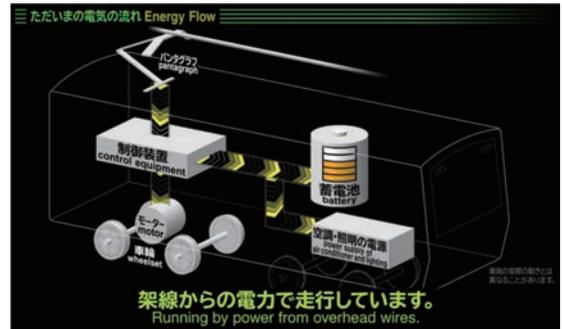


図8 車内情報提供表示器



図5 車椅子スペース<sup>(1)</sup>



図9 架線認識異常扱いスイッチ箱<sup>(1)</sup>



図6 主回路用蓄電池箱



図10 電動台車 (DT79 台車)<sup>(1)</sup>



図11 付随台車 (TR255D 台車)<sup>(1)</sup>

表 1 諸元表 (1)

編成	← 烏山 ② > ① < > + - - + ○ ● ● ● ○ ○		宝積寺→	2両編成
	車軸 (○ : T軸, ● : M軸)			
最高運転速度	100km/h			
号車	2号車	1号車		
車種	Mc	Mc'		
形式	EV-E301	EV-E300		
定員 (人)	133 (48)	133 (48)		
質量 (t)	40.2	37.7		
連結間距離	20000mm			
車体長さ	19570mm			
車体幅	2800mm			
屋根高さ	3620mm			パンタグラフ折りたたみ高さ : 3980mm
床面高さ	1130mm			
台車間中心距離	13800mm			
台車形式 (歯車比)	TR255D (前位台車) DT79 (後位台車) (1:6.06)			軽量ボルトスタレス台車 軸間11067mm, 軸距2100mm
パンタグラフ	PS38形×2			シングルアーム (急速充電対応)
主電動機	MT78A×2			三相誘導電動機 1時間定格95kW
主制御器	SC100形 (主回路電圧633.6V (22モジュール))			
補助電源	—			
電動空気圧縮機	—			
冷房装置	AU736形 集中式冷房装置38.4kW (33000kcal/h)			
保安装置	ATS-P形 (車上装置1台/両を運転室に搭載), デジタル列車無線, EB・TE装置, 防護無線			
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, 抑速ブレーキ 高運転台, 非貫通, ワンマン対応			応荷重・滑走制御機能付
運転室構造	モニタ装置 MON22形			
情報装置	ロングシート, 車椅子スペース付			
座席配置	片側扉数:3, TK116B形空気式戸閉装置 (戸ばさみ安全機能および半自動機能付), 側開閉表示灯付			有効開口幅1300mm
側出入口	—			
トイレ	—			
サービス機器	行先表示器, 車内案内表示器 (ワンマン表示器兼用), 車内情報表示器 (1台/両) 自動放送装置, 車外スピーカー			



## JR東日本 HB-E210系 一般形ハイブリッド車両

生産本部 技術部



図1 HB-E210系 外観

今号の特集「sustina シリーズ」として「sustina HYBRID」である、JR東日本HB-E210系一般形ハイブリッド車両を紹介する。

HB-E210系（図1）は、「仙石東北ライン」を走行する車両である。「仙石東北ライン」を走行する車両には、仙石線の直流区間、東北本線の交流区間、接続線の非電化区間を走行できることが求められる。そのため、HB-E210系ではキハE200形やHB-E300系で実績のあるディーゼルハイブリッドシステムを搭載し、回生エネルギーの有効利用を図るとともに、排気ガス中の有害物質を低減するコモンレール式エンジンを採用して、環境負荷の低減を図った。

なお、車両の構造および特徴等の詳細については、すでに総合車両製作所技報 第4号で「製品紹介」として掲載しており、そちらをご参照いただきたい。

HB-E210系は2015年5月30日から仙石東北ラインで営業運転を開始している。

また、2016年の鉄道友の会ローレル賞を受賞した。鉄道友の会によれば、受賞理由は「HB-E210系は、ディーゼルハイブリッドシステム、3扉車の2両編成、ステンレス車体などにより、環境性能向上、旅客サービス向上、

メンテナンスコスト低減などを具現化し、今後の地方都市近郊の鉄道輸送に大きく貢献する優れた車両であることから、ローレル賞に選定いたしました。」とあり、HB-E210系が改めて評価されたことを喜ばしく思う。受賞式典は、2016年8月6日、仙石東北ラインの女川延伸の出発式に合わせて行われており、HB-E210系がなお一層、震災復興および地域に貢献していくことを願う。

### 参考文献

- (1) 藤澤朝岐, 他: 「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 第4号, 82-87, (2015), (株) 総合車両製作所

(藤澤朝岐, 半田直一, 横山大雅, 堀口健一郎 記)



図2 室内<sup>(1)</sup>



図5 燃料バルブ回り止め金具<sup>(1)</sup>

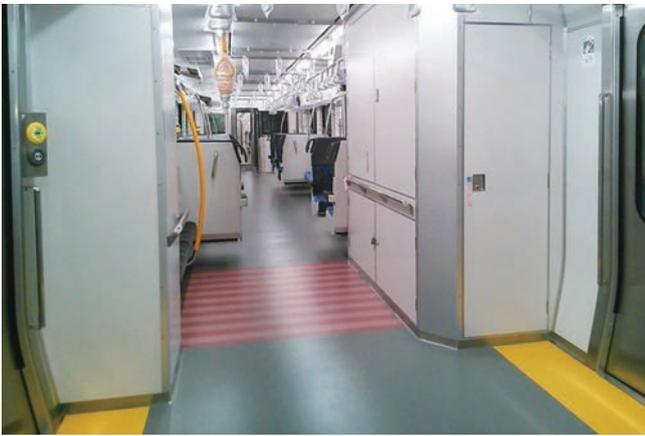


図3 機器室（右側）と煙突部（左側）<sup>(1)</sup>



図6 屋上 主回路バッテリー<sup>(1)</sup>



図4 燃料タンク用 燃料漏れ検知センサ<sup>(1)</sup>



図7 室内機器室内<sup>(1)</sup>



図8 客室ハイブリッドモニタ<sup>(1)</sup>



図9 運転台<sup>(1)</sup>



HB-E210向け  
「移動禁止システム専用蓄電池」の構造

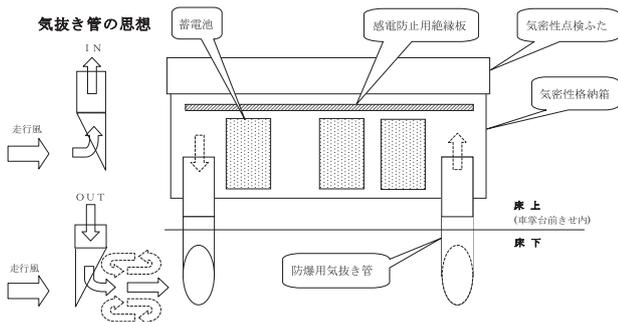


図10 移動禁止システム専用蓄電池



図11 DT75B 電動台車 (中間台車)<sup>(1)</sup>



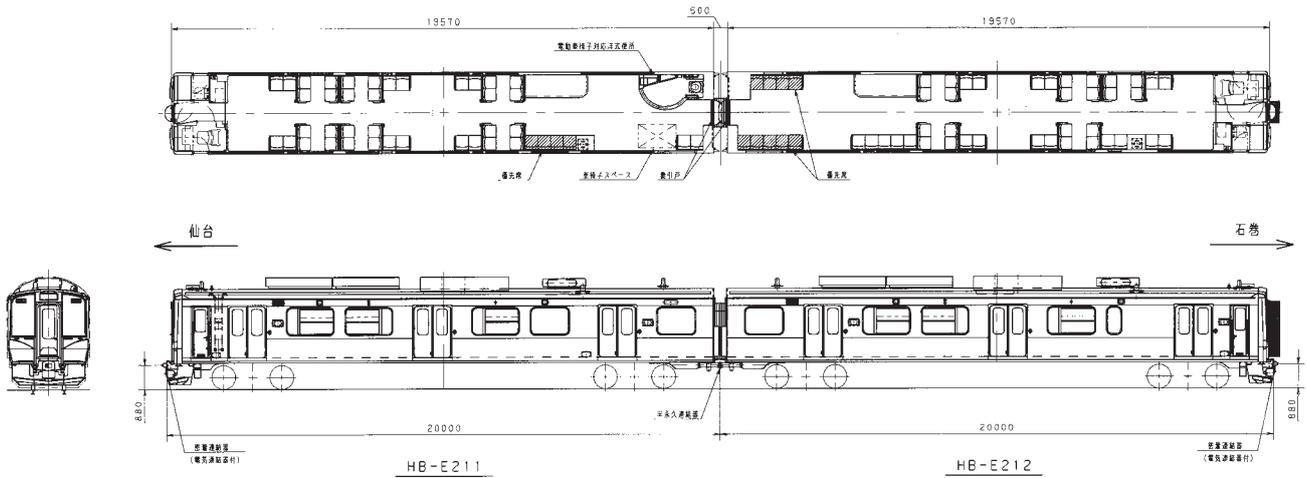
図12 TR260B 付随台車 (先頭台車)<sup>(1)</sup>



図13 ローレル賞受賞式典



図14 女川延伸出発式



号車			編成定員
形式	HB-E211	HB-E212	262人
定員 (座席)	128 (42)	134 (48)	(90人)
製造等称	(E211)	(E212)	

図 15 編成図<sup>(1)</sup>

表 1 諸元表<sup>(1)</sup>

形式	HB-E211	HB-E212	記事
編成	凡例 ●●：動台車 便：車椅子対応洋式トイレ ー：半永久連結器 ㊦：自動解結式密着連結器(電連付) ←郡山・仙台 石巻→ 		
運転台	片運転台(貫通型)	←	
定員(人)	128(42)	134(48)	セミクロス ( )内座席定員
重量(t)	39.6	38.4	運転整備重量
最高運転速度(km/h)	100	←	加速速度：2.3km/h/sと1.8km/h/sを切替可能 減速度：3.5km/h/s
制御装置	コンバータキVVVFインバータ制御		
ブレーキ装置	再生・発電ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ(応荷重・滑走・再粘着機能付)、直通予備ブレーキ、抑速ブレーキ、耐雪ブレーキ		
保安装置	ATS-Ps形〔統合形ATS車上装置(Ps形)を編成に1台〕、デジタル列車無線(3形)、防護無線、EB・TE装置		
保安装置	ATS-P形車上子取付準備工事		
側出入口 間寸法(mm)×個数	1300×3	←	高さ：1850mm、ステップ無し
主要寸法	車体長(mm)	19500	←
	車体幅(mm)	2950	←
	屋根高(mm)	3620	←
	台車中心間距離(mm)	13800	←
	床面高(mm)	1130	←
台車形式(歯車比)	動台車:DT75B(1:707)×1、従台車:TR260B×1 ホルタレス式空気ばね台車、軸はり式、1本リンク		
機関	方式	直噴式直列6気筒横型ディーゼルエンジン×1	
	型式×台数	DMF15HZB-G×1	
	出力	331kW(450PS)/2100rpm	
燃料タンク	容量×台数	550ℓ×1	油面センサ・燃料漏れ検知装置付き、強化型
主回路	主発電機	DM113形×1 270kW	
	主回路用蓄電池	MB3形 リチウムイオンバッテリー 新製時15.2kWh 2群構成 電圧：680V	
	主電動機	MT78形×2 定格95kW	
	主制御装置	CI24形×1	
補助電源装置	補助電源装置	CI24形×1 (三相440V 70KVA)	
	電動空気圧縮機	MH-3125-C600N形×1 500ℓ/min以上	
冷房装置	AU732A形 38.4kW (33000kcal/h) ×1		
暖房装置	客室10.7kW+空調ヒータ8kW	客室11.9kW+空調ヒータ8kW	三相440V駆動
便所	車椅子対応洋式トイレ	無	電動車椅子対応、真空式汚物処理装置
ワンマン設備	準備工事	←	
モニタ装置	○	←	
その他	軽量ステンレス車体、耐寒耐雪構造、半自動機能付側引戸(空気式、弱め制御、レールヒータ)、LED式行先表示器、車内案内表示器(側引戸上部)、自動放送、外部スピーカ、移動禁止システム、主回路蓄電池開閉器、LED式客室照明、車椅子スペース、密着式連結器(電気連結器付)、転落防止放送装置(電子ホン共用)、燃料漏れ検知装置、強化型燃料タンク、強化型スノーブラウ(車体装架)		

## JR 東日本 HB-E300 系 檜編成

生産本部 技術部



図1 HB-E300系 檜編成 外観

### 1 はじめに

JR東日本では、2016年7月から開催された全国大型観光キャンペーン「青森県・函館デスティネーションキャンペーン」にあわせて、五能線を走行するハイブリッドシステムを搭載した新型リゾートトレインHB-E300系4両1編成を愛称名「リゾートしらかみ檜」として導入した。

HB-E300系は、2007年7月から小海線にて営業運転を開始した世界初のハイブリッド営業車両キハE200形の後続となるハイブリッド車両で、ハイブリッドシステムの基本仕様を踏襲、一部の機器の改良を図った上で、車窓からの風景を楽しんでいただく等のリゾート列車としてのサービス面のコンセプトを付加することでその期待に応えた車両である。

このHB-E300系 檜編成は、「sustina HYBRID」の1つであり、最新のハイブリッドシステムを有する車両である。

### 2 構造および特徴

#### 2. 1 車体

##### 2. 1. 1 基本構造

編成はHB-E301-5+HB-E300-105+HB-E300-5+HB-302-5の4両編成で、形式は、便所付先頭車をHB-

E301-5形、半個室中間車をHB-E300-105形、便所付中間車をHB-E300-5形、便所なし先頭車をHB-E302-5形としている。車体寸法は、連結面間距離：21100mm、車体長：20600mm、車体幅：2920mmの拡幅車体となり、主要寸法は既存のHB-E300系リゾートしらかみ青池編成と同一である。床面高さは、レール面から1130mm（側出入口ステップ高さは970mm）で、キハE200形およびキハE130系列と同等としている。

構体は、キハE200形と同様の軽量ステンレス構体。また、側面衝突に対する安全性向上対策として、側構体の柱と屋根構体の垂木ピッチを極力合わせることで、構体にリング構造を構成している。さらに、これらの骨部材同士の継手結合強度を向上させることによって、車体の側面強度向上を図っている。

ハイブリッド車は、一般の電車・気動車と比較して搭載機器が多いため、車体部品に関しては随所に軽量化対策を図っている。構体部品については、FEM解析による強度解析結果と構体構造の見直しを繰り返し行い、台ワク・構体部材の形状や板厚の最適化を図ることで軽量化を実現している。また、車内外の設備品についても、部材板厚の見直しや、可能な限りアルミ製部品を多

用することで軽量化を図っている。

エクステリアデザインは、車体側面を樺の木立をグリーン濃淡でグラデーションしたカラーフィルムで構成している。さらに、ハイブリッド車両ということを表示するために、『RESORT HYBRID TRAIN』ロゴを表示している。

デザインは、インテリア・エクステリアとも「KEN OKUYAMA DESIGN (代表：奥山清行氏)」が担当している。



図2 エクステリアデザイン

## 2. 1. 2 車内設備

一般客室の座席部分は、窓からの眺望を満喫できるよう通路面より137mm高い高床構造としている。高床周囲は、天然木床に対してダークブラウンの縁面を用いることで、段差を明示している。

側窓は固定窓とし、換気量確保のため、屋根上に換気扇を搭載している。窓寸法は、展望室部分を幅1800mmの大窓とし、一般客室部は幅950mmとしている。また、高さ寸法を極力大きく確保し、キハE200形（窓高さ940mm）に対し、1120mmまで拡大している。ガラスは、熱線・紫外線吸収機能を持つグリーンの複層ガラスを使用している。窓キセにはリサイクル性の高いFRPを採用して環境への配慮を図ったものとしている。

照明は、客室内を天井全長に通したアルミ製のキセ内にLED灯を配した間接照明とし、デッキ部にはダウンライトを配置している。

腰掛は、2+2列の回転リクライニングシートを、現行のリゾートしらかみ青池編成と同じ前後ピッチ1200mmで配置している。脚台は、足元空間を確保できるよう中央1本足構造とし、座面下には、ヒータを設置している。背ズリ背面には、収納式のテーブルを設けたほか、座席を向い合せにして使用する場合を考慮し、インアームテーブルも内蔵している。HB-E301-5形の出入台寄りには1+1列の車イススペースを設けている。

HB-E301-5形、HB-E302-5形の運転室と一般客室と



図3 客室内部

の間には、既存のリゾートしらかみと同様に展望室を設け、シンボルツリーや側窓からの景色を楽しむための秋田・青森県産の木製の固定スツールを配置している。また、天井にはイベントカメラを設置している。照明は、一般客室に白色LED灯を用いているのに対し、展望室エリアには電球色のLED灯を用いることで空間の違いを演出している。



図4 展望室

HB-E300-105形には半個室を設け、一部の個室には対面式の可動スライド腰掛を設けている。ボックス席は既存の青池編成よりも眺望性の良い、開放感のあるスペースとしている。

半個室テーブルには、青森県・秋田県産の天然木を、独特な製法で加工した照明が備え付けられており、温かみを感じられる空間となっている。



図5 半個室腰掛

JR東日本秋田支社で内装工事を施工したHB-E300-5形には、新たにORAHOカウンタとシンボルツリーを設けている。地酒やスイーツなど沿線の特産品を販売し、車窓を眺めながら飲食ができるスペースとしている。また、車窓からの景色を楽しむため、側窓に向かって回転引き出しのカウンタ腰掛を設置している。



図6 ORAHO カウンタとシンボルツリー

内装は複合パネルを主とした構造で、内部骨組の低減により、内装部品の軽量化を図っている。客室内は、側壁・天井部を天然木でまとめ、妻壁、荷物室をシックな木目調、床を天然木とすることで、落ち着いた空間となっている。

客室と出入台の間には機器室および荷物スペースを設けている。



図7 荷物スペース

HB-E301-5形とHB-E300-5形の出入台には車イス対応洋式便所、小便所、洗面所を設置している。車イス対応洋式便所は、割付をE721系・キハE200形・E130系列と同等とし、電動・手動車イスで使用可能な空間を確保している。扉はボタン操作で開閉できる自動扉としている。トイレ入口付近には手荷物用のカウンタを設け、収納式のオムツ交換台や炎検知器も設置している。小便所は、車体軽量化のために、FRP製の小便器を採用している。汚物処理装置は真空式を採用し臭気対策を図っている。



図8 便所内部(左)車椅子対応洋式便所(右)小便所

## 2. 2 ギ装

### 2. 2. 1 床下機器

HB-E300系における床下機器配置の最大の特徴は、新幹線電車で見られるような同方位同機器配置であり、後ろ向き先頭車HB-E302-5形の車体構造の方転に対して床下機器配置は方転していないことにある(図13)。

このことは床下機器配置を先行のキハE200形に準ずる配置をベースにHB-E300系に方転しない形で展開したもので、屋根上の排気管の位置も同じ側になることか

ら屋根上搭載のリチウムイオン電池の煤煙対策に大きく寄与した。また、台車間の機器配置を1種類としていることは最大のコストパフォーマンスと言える。

床下の機器の並びは、HB-E301-5形、HB-E300-105形、およびHB-E300-5形は前位より、HB-E302-5形は後位より、主変換装置、ラジエタ、電動空気圧縮機、除湿装置、550L燃料タンク、ディーゼルエンジン・発電機、断路器箱、DC100V蓄電池、冷却ファン、ブレーキ制御装置、消音器、供給空気タンクを配置している。汚物処理装置は、HB-301-5形およびHB-E300-5形の妻下部に配置した。

発電セットは、コマツ製6気筒450PSエンジンと日立製270kW発電機の組み合わせで、エンジン停止時は発電機に電氣的な制御を掛けエンジン振動の減衰を速めている。

HB-E300系ではキハE200形より冷却能力をアップした新型ラジエタを採用したことで燃料タンクの形状を含むラジエタ周辺の機器配置をキハE200形から変更している。いずれにせよキハE200形同等の高密度実装の要求から、冷却水および排気系を最小スペースに留め、機関関連の実装面積を床下面積の半分以下で実現した。ラジエタは排熱熱源の発電機から遠ざける対角配置とし、ヒートバランスを最大限に考慮した点はキハE200形の実績から成る。また、システム起動スイッチ箱をエンジン近傍に設け、気動車のエンジン始動と同様の立ち上げ操作を実現した。

燃料タンクには飛石などからの影響を防ぐため、タンクの下半分にステンレス板を追加し、燃料タンクを強化している(図9)。また、HB-E210系同様、燃料タンクの吸い込む空気の流速をみて燃料漏れを判断する燃料漏れ検知装置用のセンサを床下に配備している。

主回路蓄電池から主断路器の間の回路位置には、感電事故防止のため主回路を遮断する主回路蓄電池用NFB(遮断器)箱をHB-E210系同様、配置している。



図9 強化型燃料タンク

## 2. 2. 2 屋根上機器

屋根上機器は、床下機器配置に見られる同方位同機器配置であり、HB-E301-5形、HB-E300-105形、およびHB-E300-5形は前位より、HB-E302-5形は後位より、主回路用蓄電池2台、空調装置、元空気タンクと排気管の順で配置されている。HB-E300系では、主回路蓄電池用リアクトルが床下の主変換装置に内蔵されたため屋根上からリアクトル箱が無くなったこと、また換気扇が展望室屋根上に追加されたことがキハE200形と異なる(図14)。

排気管先端の突出口は、絞り構造を持ちエンジンの排気をより高く導くことで他の屋根上機器への煤煙の影響を軽減している。

## 2. 2. 3 室内機器

客室天井にはLEDランプ40Wが配置され、展望室天井にはLEDランプ40WおよびLED灯が配置されている。また、客室の前後妻壁にはLED式案内表示器、天井中央部および端部には17インチワイド画面の液晶表示器を搭載している。液晶表示器には、運転室前方のカメラ映像、展望室のイベントカメラ映像およびDVD映像を放映することができる。

トイレ内にはHB-E210系同様、炎検知装置を設けたほか、非常通話装置も設置している。通話ボタンを足元にも設置し、転倒時でも通話可能にした。

戸閉機には、キハE200形と同様に空気式戸閉機が採用されている。

機器室には、配電盤、ディーゼルエンジンおよびラジエタの制御装置、直通予備ブレーキ装置等が格納されている。

## 2. 2. 4 運転室機器

運転室機器配置は、観光列車のイメージを持つ先頭部傾斜角24度の前面に非貫通型運転台機器配置を組み合わせている。

運転台はコンソール高さを1050mmとし、一般的な通勤車における低運転台と高運転台の中間高さを設定することで、乗務員の前方視界と展望室からの前方視界の両立を図っている(図15)。

衝突時における乗務員の保護のため、車体前頭部の構造強化を図っている。運転室と客室との仕切扉は運転士寄りに配置し乗客の前面眺望を損なわぬよう、乗務員室背面の仕切窓を最大限に取った構成としている。運転席背面の仕切扉は客室側にクラッカプレートを設置している。非常時にプレートを割り施錠を解くことによって、乗客を運転室側開き戸から車外へ誘導可能としたほか、事故障害時の運転士の客室からの救出作業を可能としている。

E233系直流電車と同様に運転席側に予備ワイパを設けている。ワイパブレードの停止位置は寒地向け積雪対応としてブレードは縦方向で停止する。助手席ワイパ装置は運転席ワイパ装置とワイヤで連結しているため、バランスの良い視界が得られている。

運転操作に関するスイッチ類の配置は、基本的には電車と同等のスイッチ類配置であるが、パン上げスイッチの位置にはシステム起動スイッチを、パン下げスイッチの位置にはシステム停止スイッチなどハイブリッドシステムに必要な機器を装備したキハE200形を踏襲するものである。また、主幹制御器は左手操作のワンハンドル形とし、右手手掛け内に勾配起動スイッチを設置している。

光線除けはフリーストップ式カーテンとしている。運転席のみの配置であり、助手席側は前方視界サービスのため設置していない。



図 10 運転台

運転室では、運転台コンソール、背面機器ユニット箱、その他の機器取付部材の全てをアルミニウム製の筐体としておりこれまでの通勤車より軽量化を図っている。

運転士前面上部キセの中にはLED式後部標識灯を配置している。LED式前部標識灯は運転台ユニットの左右端部に位置しているが灯具ユニットの交換は外部アクセスである。なお、前照灯ガラスは曇り防止のため、熱線入りにしている。

保安装置は、統合型ATS車上装置 (Ps形)、デジタル列車無線装置 (2形)、および防護無線のほか、EB・TE装置を設置している。

## 2. 3 台車

台車は、電動台車がDT75A、付随台車がTR260Aと称するボルスタレス台車である。主な構成は、既に導入されているキハE200形ハイブリッド車両用のDT75/TR260台車を基本とし、部品の共通化を図っている。

軸箱支持装置は軸梁式である。台車枠は、横梁にシームレスパイプを用いた鋼板溶接構造で、横梁パイプは空気ばねの補助空気室を兼ねている。

車体支持装置は、車体直結式空気ばねおよび1本リンク式牽引装置から成る。空気ばねは、キハE200形と共通である。左右ダンパには防雪カバーを設けている。

基礎ブレーキ装置は踏面片押しユニット式で、各台車共通である。制動時の滑走検知再粘着は軸単位で制御される。

各車両4軸のうち、1ないし2軸に滑走・空転防止用のセラミック噴射装置を装備している。「sustina HYBRID」車両用台車として客先からの多様な要求に応えられるように、追加で装置を取付け可能な座も準備工事として設けている。

また、台車周囲の空間が確保された車両へ台車が転用された時には、先頭台車にフラップ付きの強化型雪かきを取り付けることが出来る構造となっている。

先頭軸には液体タイプのフランジ塗油装置を装備している。

## 3 システム構成

### 3. 1 HB-E300系編成のハイブリッドシステム

JR東日本が採用するハイブリッドシステムは、エンジンの機械的動力をエンジンに直結する発電機によって電気エネルギーに変換するシリーズハイブリッドシステムである。従来の気動車に見られるエンジンの機械的動力を、トルクコンバータを介して車輪に伝達する系は無く、このことはメンテナンス面では優位と言える。

HB-E300系のディーゼル方式のシリーズハイブリッドシステムは、ディーゼルエンジンとリチウムイオン蓄電池を組み合わせ、駆動力に台車内の電動機を使用する。発車時は蓄電池充電電力を使用し、加速時はディーゼルエンジンが動作して発電機を動かし、蓄電池電力と合わせて電動機を回転させる。減速時は台車内の電動機を発電機とし利用し、回生・発電ブレーキエネルギーを電気に変換して蓄電池に充電するシステムである。

編成のハイブリッドシステムは、直近のハイブリッド車両であるHB-E210系同様のシステムである。基本構成はキハE200形からの流れ（上述の通り）を踏襲している。HB-E210系以降、主変換装置内の非常バッテリーによる主変換装置の再始動が可能となっているが、今回新たに、外部バッテリー接続により主変換装置を起動させることが可能なシステムとしている。これは万が一主変換装置内の補助バッテリーが枯渇した場合のためであり、専用の操作盤をHB-E301-5形の機器室内に搭載している。

### 3.2 その他のシステム構成について

基本的な構成についてはHB-E300系青池編成を踏襲する。客室設備として青池編成同様のAVシステムを搭載し、イベントスペースの様子や、前面展望などを客室内のモニタに表示することができる。変化点として、保安装置はE129系と同様の統合型ATS車上装置（Ps形）を

搭載する。また、無線は青池編成のC型列車無線に対し、編成はデジタル列車無線(2型)を搭載する。客室照明はすべて、LED照明とし、より環境に配慮した車両となっている。前照灯についても同様にLED照明を採用し、視界の確保と消費電力の軽減を図っている。

(府馬竜也, 木元裕勝, 横山大雅, 森田康平, 深澤悦史 記)

表1 諸元表

形式	HB-E301	HB-E300-100	HB-E300-0	HB-E302
車号	HB-E301-5	HB-E300-105	HB-E300-5	HB-E302-5
号車	1号車	2号車	3号車	4号車
編成	4両			
用途	観光列車, イベント列車			
運転台	片運転台(非貫通全室)	-	-	片運転台(非貫通全室)
定員(着席定員)	34人	36人	28人	44人
重量	42.5t	40.7t	40.8t	41.9t
最高運転速度	100km/h			
制御装置	コンバータ+VVVFインバータ制御			
ブレーキ装置	回生・発電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・抑速ブレーキ(機関・排気ブレーキ)			
保安装置	統合型ATS車上装置, デジタル列車無線(2形), 防護無線, EB-TE装置			
側出入口	1010mm×2			
主要寸法	車体長	20600mm		
	車体幅	2920mm		
	屋根高さ	3620mm		
	台車中心間距離	14400mm		
	床面高さ	1130mm(ステップ高さ970mm)		
台車(歯数比)	ボルスタレス式空気ばね台車, 軸梁式, 1本リンク式 動台車: DT75A形(1:707)×1, 従台車: TR260A形×1			
機関	DMF15HZB-G形 直噴式直列6気筒横形ディーゼルエンジン×1 出力331kW(450PS)/2100rpm			
燃料タンク	550L×1 油面センサ付			
主回路	主発電機	DM113形×1 270kW		
	主回路用蓄電池	MB3形 リチウムイオンバッテリー 新製時15.2kWh		
	主電動機	MT78形×2 定格95kW		
	主制御装置	CI24形×1		
	補助電源装置	CI24形×1 (3相440V 70kVA) 主制御装置と一体化		
	電動空気圧縮機	MH3125-C600N形×1 500NL/min以上 3相440V起動		
冷房装置、暖房装置	AU732A形 38.4kw(33000kcal)×1 電気暖房機 客室約11.8kW+空調ヒータ8kW			
便所(E301, E300-0)	電動車いす対応洋式便所, 真空式汚物処理装置, 自動扉			
モニタ装置	MON18A, B形			
その他	軽量ステンレス車体, 耐寒耐雪構造, 密着式連結器(電気連結器付き), 車いすスペース, 電子閉そく装置, LED式行先表示器, 車内案内表示器(両妻), 自動放送, 引戸(空気式, 弱め制御付), 外部スピーカ, セラミック噴射装置, 液体式フランジ塗油装置(先頭軸), 三相接触器, AVシステム, 燃料漏れ検知装置, 主回路用蓄電池2セットとリアクトルは屋根上に装備, 元空気タンクは床下と屋根上に分散配置, 直通予備ブレーキ指令及び直通予備空気タンクは室内機器室内に配置, キハE200形との併結運転			

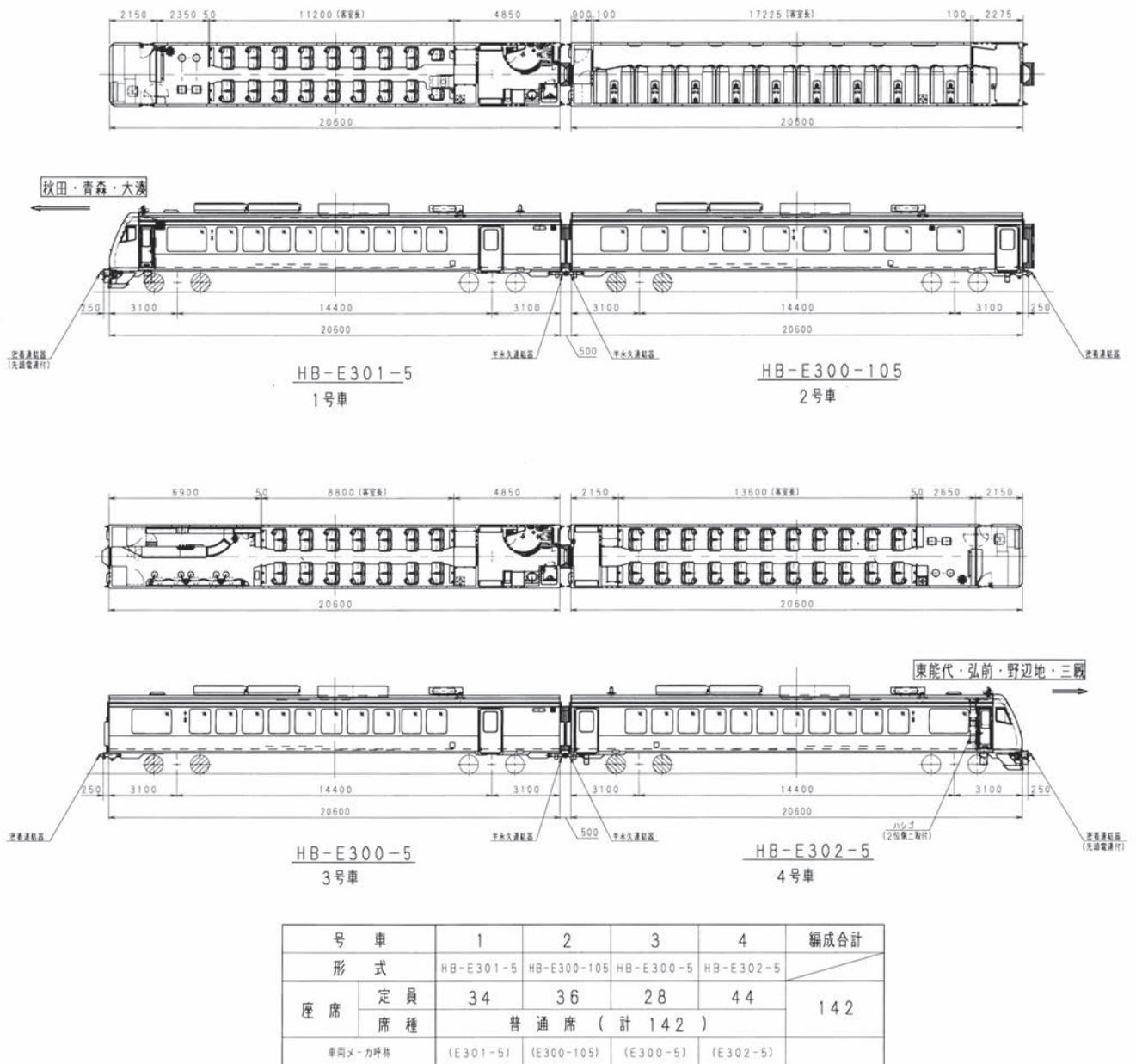


図 11 編成図

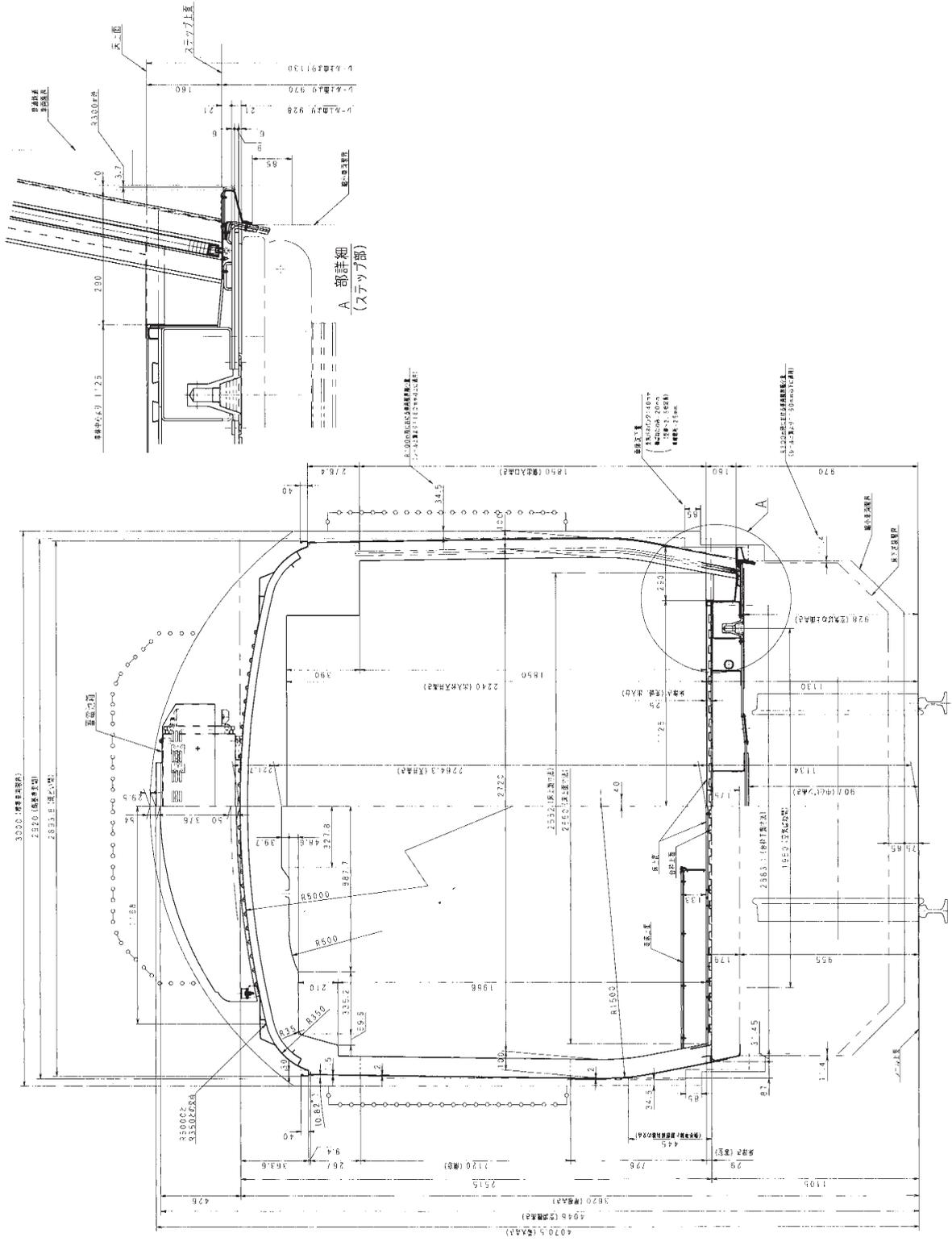


図 12 車体基本断面

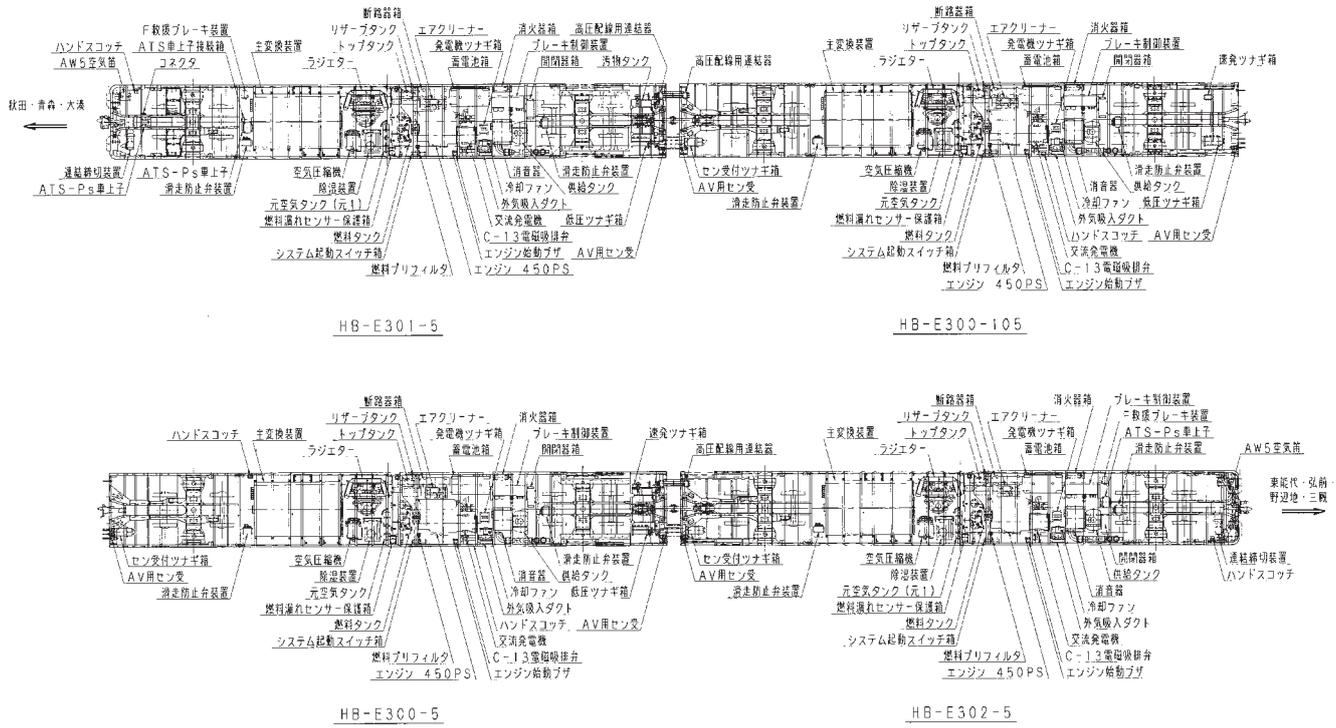


図 13 床下機器配置

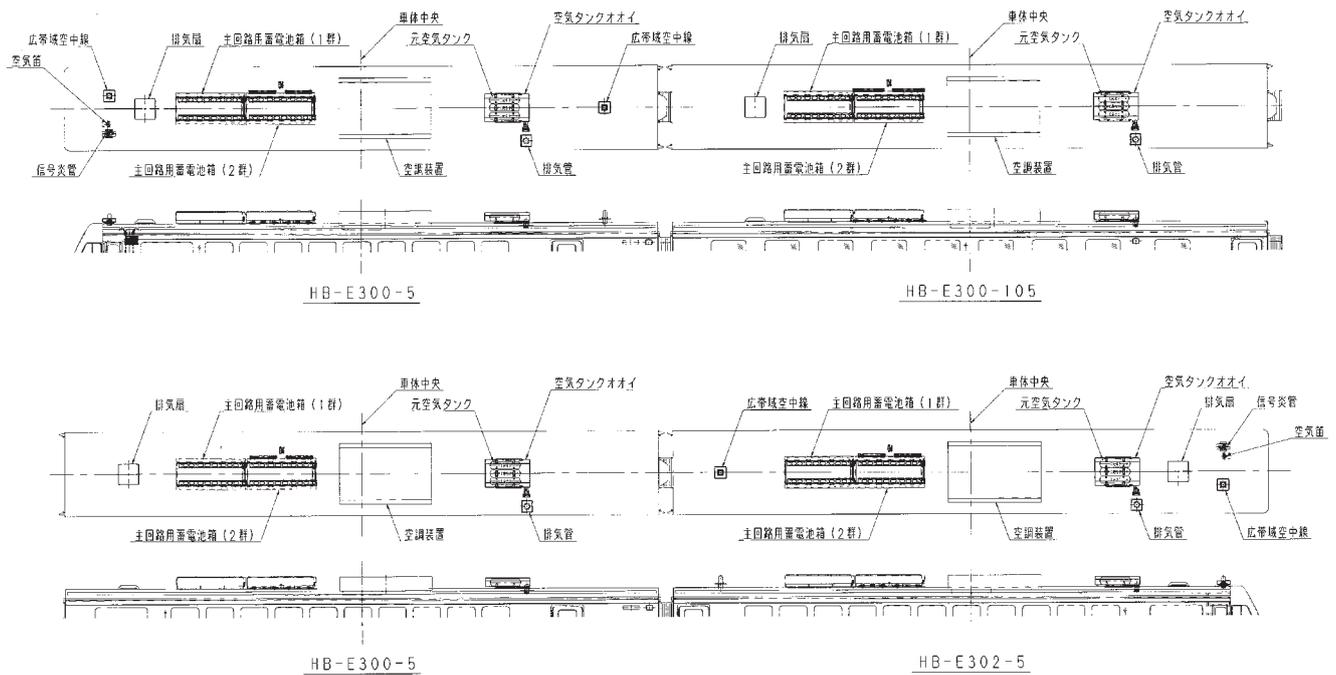


図 14 屋上機器配置



## SEA法を用いた高速車両の車内騒音解析

Development of the Noise Prediction in the Passenger Area of the Railway Vehicle by the SEA Method

橋本克史 Katsufumi HASHIMOTO  
谷口宏次 Koji TANIGUCHI

鉄道車両にとって、車内静粛性はお客様に快適にご利用いただくための重要な要素である。特に高速走行する新幹線車両では、車内騒音を低減する構造が強く求められる。車内騒音低減策の開発に向け、車内騒音の現状分析や騒音低減策の効果の予測が重要であることから、SEA法を用いた解析手法について開発を進め、実際の測定値との比較で実用的なレベルまで精度を上げることができた。今後は、車内騒音低減策の開発に使用するとともに、さらなる精度向上もすすめていく。

Quietness of the passenger area is important, for the railway vehicle. Particularly, it is important to the high-speed vehicle. Because when a vehicle runs at high speed, the noise increases. It is important that we can analyze the noise, to develop structure to reduce the noise. So we develop a method to analyze by the SEA method. The SEA model of the vehicle which we built collated it with measurements and was able to secure analysis precision. We analyzed using this model, to develop structure to reduce the noise.

### 1 はじめに

鉄道車両にとって、車内静粛性はお客様に快適にご利用いただくための重要な要素である。特に新幹線車両は高速走行するため車内騒音が大きくなる傾向があり、車内騒音を低減する構造が強く求められる。一般に、騒音低減策は質量が増加する方向になるが、高速走行のため新幹線車両には軽量化も求められている。今後の新幹線の速度向上に向け、相反するこれらの性能を満足させるため、軽量の車内騒音低減策の開発が必要である。

車内騒音低減策の開発にあたっては、車内騒音の現状分析や騒音低減策の効果の予測が重要である。そのため、車内騒音解析手法の確立が必要と考え、SEA法を用いた解析手法について開発を進めている。

### 2 SEA法について

SEA法はStatistical Energy Analysis Methodの略で、統計的エネルギー解析法と訳されている。SEA法では、「音響」と「音の元となる振動」を統一してエネルギーとして扱い、実測データなどを用いて統計的手法を適用してモデルを作成し解析を実施する。

従来、音響、振動の解析はFEMを用いて実施されてきたが、鉄道車両のような複雑で規模が大きい構造物の場合、計算負荷が非常に大きくなり、200Hzを超える高い周波数域での解析は難しい状況である。SEA法

では解析モデルの要素数が少なくできることから、計算負荷が小さく、比較的短時間で高い周波数域の解析ができ、これが最大の特長となっている。比較的新しい解析手法であるが、現在は解析ソフトが市販されており、建築、船舶、自動車などの分野でも利用されている。

SEA法では、解析対象物を幾つかの要素に分けて解析モデルを構築し、パワーとエネルギーを用いて解析を行う。要素数が2つの場合の概念を図1に示す。

鉄道車両に適用するには構体、内装、断熱材、車内外空間などをそれぞれ複数のサブシステムに分解し、サブシステム間の接続を設定する。各サブシステムは、構成材料の密度、ヤング率、ポアソン比、吸音率、厚さなどを特性として設定し、サブシステム間のパワー伝達係数(Coupling Loss Factor: CLF)とサブシステムの内部損失係数(Internal Loss Factor: ILF)をパラメータとして設定する。構造が複雑なサブシステムについては、特性を決定するために、FEモデルによる解析や実測によるデータの取得が必要となる。

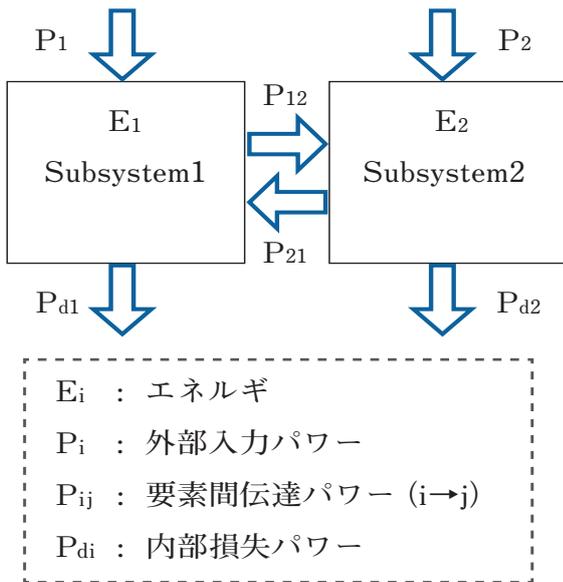


図1 SEA法の概念

### 3 SEAモデルの開発

#### 3.1 開発手順

最初に車両の形状、寸法、使用材料などの特性を元にSEAモデルを作成し、仮のパラメータ (CLF, ILF) を設定する。これと並行して実際の車両での音響・振動測定を実施しデータを取得し、コリレーション分析によりパラメータの値を同定する。開発手順を図2に示す。

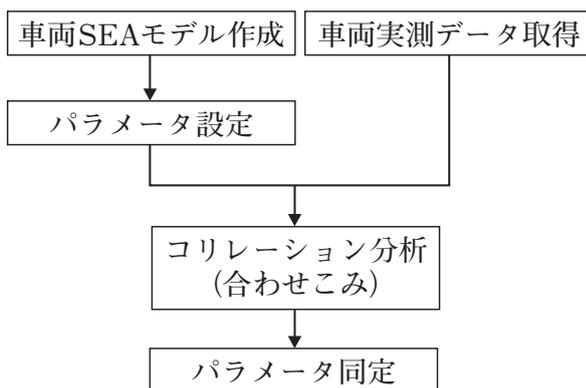


図2 SEAモデル開発手順

#### 3.2 SEAモデルの作成

図3に新幹線車両の構造を示す。車外空間と室内空間の間には、構体と内装パネル、床があり、さらに、この間には断熱材、空調ダクト、空気層などが設置されている。また窓部は構体がなくガラスが車内外を隔てている。これらの全ての部位について、SEAパネルを作成する。それぞれの部位は解析精度を考慮して複数のSEAパネル

に分割して構成する。車両全体のSEAパネル構成を図4に示す。

これらのSEAパネル間の接合を設定して、車両のSEAモデルが完成した。車両全体で要素数は2269となった。

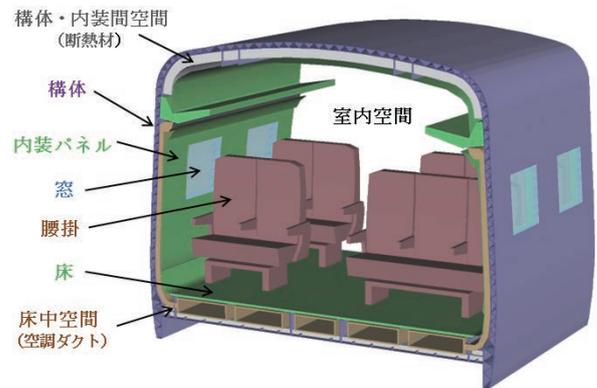


図3 新幹線車両の構造

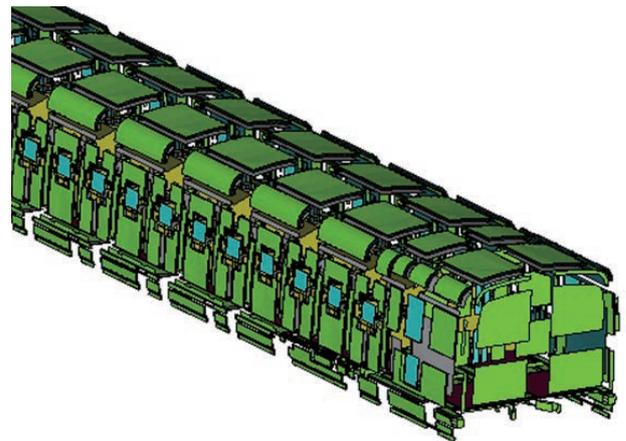


図4 車両全体のSEAパネル構成

SEAパネルに設定する特性は、対象が単純な形状をしている場合は計算が可能で、解析ソフト内に用意された計算式や数値を使用することができる。しかし、新幹線車両の構体はアルミ中空押出型材で構成されており、その形状は複雑であり、計算でパラメータを求めることができない。そこで、構体については先行してFEモデルを作成し、解析を実施し、その結果を用いてSEAパネルのパラメータを設定した。その他の部位については解析ソフトに用意されている計算式や数値を使用してパラメータを設定した。図5にその手順を示す。

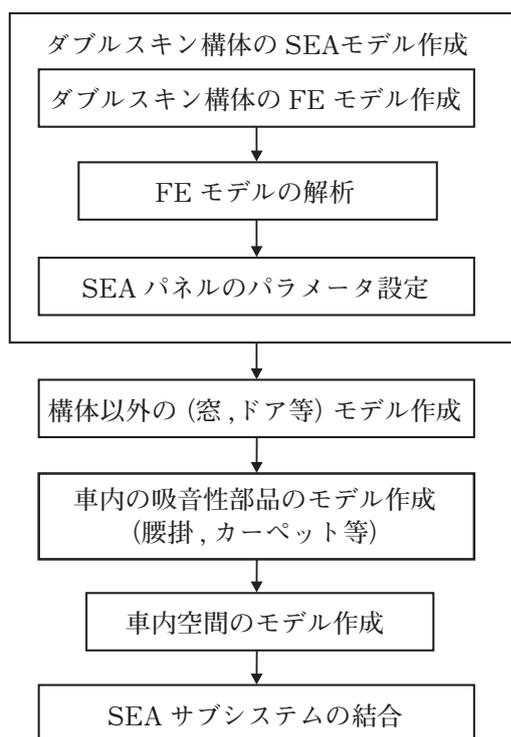


図5 車両 SEA モデル作成手順詳細

### 3. 3 車両実測データの取得

SEAモデルのパラメータの同定に使用するため、実際の車両での測定を実施した。加振条件はインパクト加振とスピーカ加振の2種類とし、車内中央の床面上1.2mで音圧を測定するとともに、車内の内張パネル、床、窓の振動を測定した。

#### (1) インパクト加振試験

インパクトハンマにより車体外面を打撃して加振。

#### (2) スピーカ加振試験

車体外側に設置したスピーカからの音を出し加振。

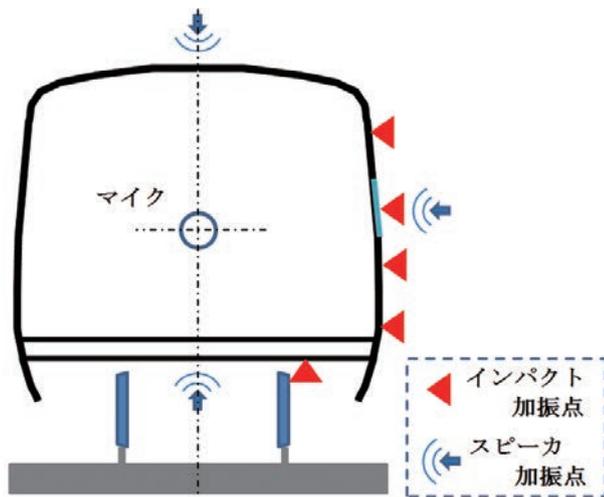


図6 実測データの測定方法

### 3. 4 解析結果

車両での測定データを用いて、コリレーション分析を実施し、各パラメータを同定した。その結果、実用可能な解析精度を得ることができた。解析結果と測定値の比較例を図7と図8に示す。現時点では、入力部位によっては精度が十分でない結果も出ており、今後も改良を進める必要がある。

解析結果が測定値と一致せず、検討により改善することができた例として窓ガラスについて紹介する。窓ガラスから侵入する音の車内騒音への寄与は比較的高く、車内騒音低減を検討するうえで重要な部位である。当初の解析結果と実測値の比較を図9に示す。現状の窓ガラスは特定の周波数にピークが現れる特徴があるが、解析結果ではこれが再現できていなかった。窓ガラスは車外側と車内側のガラスの間に空気層がある複層構造である。当初はこれをSEAパネルでモデル化しパラメータ設定をしたが、SEAパネルは単純な平板が基本であるため、中間の空気層の再現ができていないと考えられた。そこで、窓ガラスについては、FEモデルを作成して置き換え、解析を実施することとした。解析結果を図10に示す。特定の周波数のピークが再現され、解析精度が向上している。このようにFEモデルとSEAモデルを混合したハイブリット解析は、精度向上に有効であるが、解析時間は増加するため注意が必要である。

## 4 まとめ

車内騒音低減策の開発に向け、車内騒音の現状分析や騒音低減策の効果の予測が重要であることから、SEA法を用いた解析手法について開発を進め、実際の測定値との比較で実用的なレベルまで精度を上げることができた。今後は、車内騒音低減策の開発に使用するとともに、さらなる精度向上の検討を進めていく。

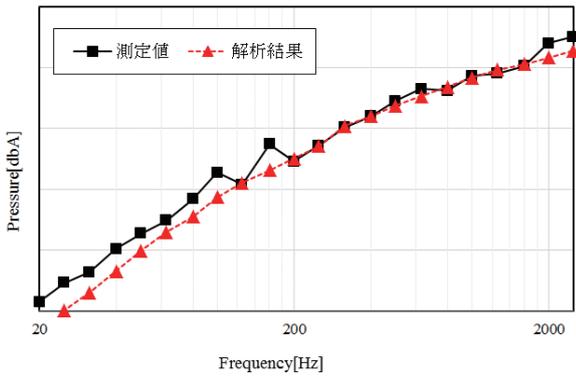
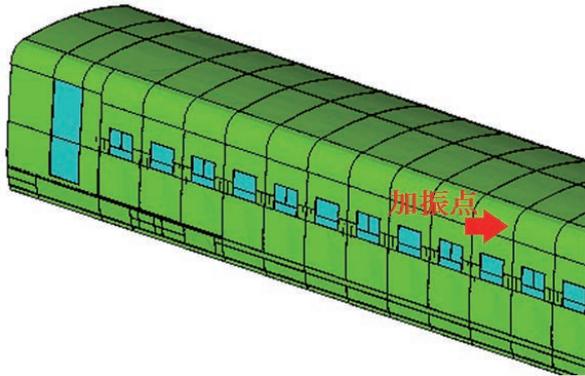


図7 解析結果と測定値（インパクト加振）

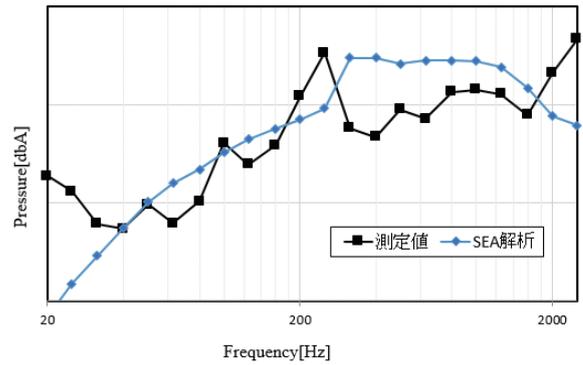


図9 当初解析結果と測定値（窓ガラス）

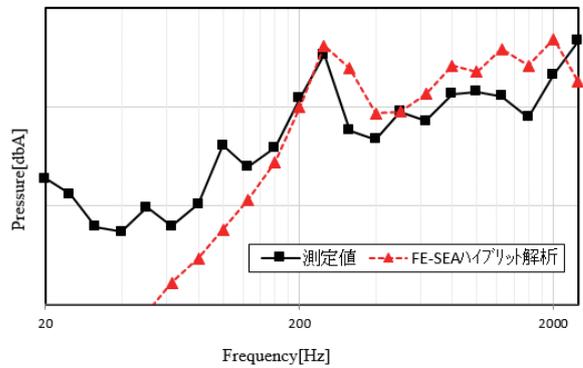


図10 改良解析結果と測定値（窓ガラス）

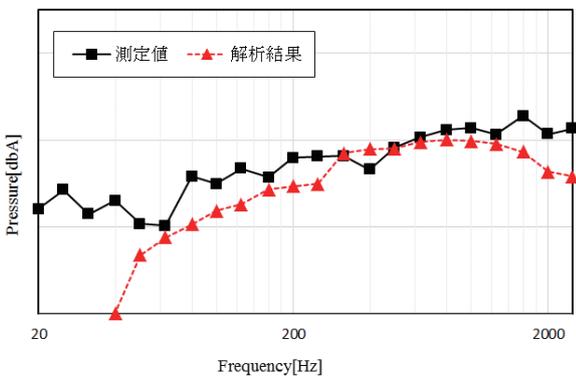
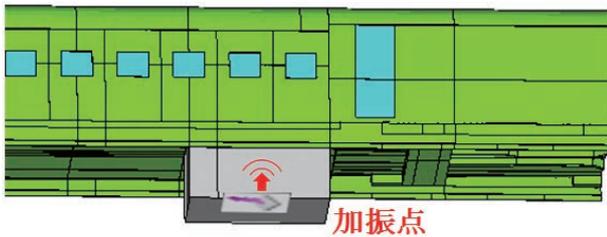


図8 解析結果と測定値（スピーカ加振）

## 著者紹介



橋本克史  
生産本部  
技術部 部長（高速車両）



谷口宏次  
技術士（機械部門）  
生産本部  
技術部（車体設計） 主任技師

## 高速車両用サイクロン式集塵装置の開発

Development of Cyclone Dust Collector for High Speed Vehicle

橋本 克史 Katsufumi HASHIMOTO  
小泉 貴洋 Takahiro KOIZUMI  
大須 賀 晋 Susumu OOSUGA  
太 野 明 Akira FUTONO

新幹線車両は車内の空気の清浄性を保つため、換気装置を設置して常に車外から新鮮な空気を取り入れている。車外から取り入れる空気には塵埃が含まれるため、換気装置の吸い込み口にフィルタを設置している。フィルタに塵埃が多く付着すると給気風量が減少するため、メンテナンスの際に定期的なフィルタ交換が行われている。フィルタ交換作業を軽減することを目的に、サイクロン方式の集塵装置の開発を進めている。集塵装置は床下の換気装置に隣接して設置可能な寸法形状とし、集塵性能を向上する検討を重ね試作機を製作した。換気装置を模擬した試験装置を使用した試験により基本性能を確認し、営業車両での実用化に向け、さらに改良開発を進めている。

Ventilation equipment to keep clean air in passenger area, is installed in the Shinkansen vehicle. It supplies outside fresh air into the passenger area. Since the outside air contains dust, in order to remove the dust, the ventilation equipment has a filter to the inlet port. To avoid reduction of the ventilation volume due to clogging of the filter, periodical maintenance of filter is needed. We are developing cyclone type dust collector, in order to prevent ventilation volume decline and to reduce maintenance. In this development, we confirmed basic performance of cyclone dust collector.

### 1 はじめに

新幹線車両は車内の空気の清浄性を保つため、換気装置を設置して常に車外から新鮮な空気を取り入れている。しかし、走行する線路の周囲環境の影響により、車外から取り入れる新鮮空気には、さまざまな塵埃が含まれていることから、換気装置の吸い込み口にフィルタを設置して、これらの塵埃を捕集し清浄な空気のみを取り入れる構造としている。このフィルタに塵埃が多く付着すると、給気風量が減少するため、メンテナンスの際に定期的なフィルタ交換が行われている。このフィルタ交換作業を軽減することを目的に、新たな集塵装置の開発を進めている。

なお、本集塵装置の開発はJR東日本からの委託を受け実施しているものである。

### 2 新幹線車両の換気方式

前述のとおり、新幹線車両は車内の空気の清浄性を保つため換気装置を設置して常時換気を行っている。新幹線車両の換気空調系統の概略を図1に示す。

新幹線車両は高速走行するため、トンネル通過中に車外の圧力が大きく変動する。この圧力変動が車内に伝わると、耳に不快感（耳つん）が発生する。これを防止す

るため車体を気密構造とし、換気装置には高い静圧特性を持つ送風機が使用されている。換気装置には給気送風機と排気送風機があり、給気・排気の風量を調整し、車内圧力が車外圧力より僅かに高くなるように設定している。

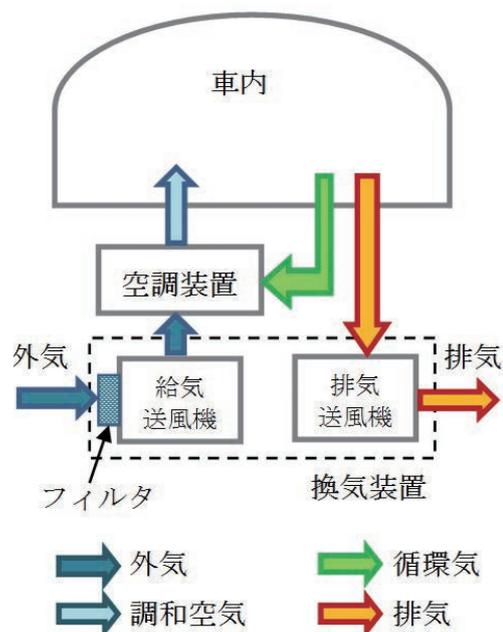


図1 新幹線車両の換気空調系統

換気装置の吸い込み口に設置したフィルタに塵埃が多く付着すると、給気量が減少するため、車内空気の清浄性が低下するだけでなく、車内圧力が低下傾向になり耳つんが発生しやすくなるため、メンテナンス作業の際、フィルタを定期的に新品に交換している。このフィルタ購入と交換作業がメンテナンス上の負担となっているのが現状である。

### 3 新幹線車両の換気方式

#### 3.1 集塵方式の選定

集塵装置の方式を比較検討し、メンテナンスの軽減が見込め、新幹線車両の換気方式に適した集塵方式を選定した。

現在、一般に使用されている集塵装置は、重力式、慣性式、遠心式、洗浄式、ろ過式、電気式の6種類に分類され、現状はろ過式が採用されている。他の方式のうち、重力式、慣性式、洗浄式、電気式については、その性能を確保するためには、塵埃を含んだ空気の流速を比較的低くする必要があり、集塵装置が大きくなる。一方、新幹線車両の集塵装置設置可能スペースには限りがあり、寸法の制約が厳しいことから、これらの方式の採用は不可能であると判断した。

遠心式（サイクロン方式）は、他方式と比べ圧力損失が高めの傾向にあるが、一般的には現状のろ過式と大差なく、集塵性能についても遜色がない。また、集塵した塵埃の回収は必要であるが、フィルタの交換は不要となること、フィルタの目詰まりによる給気風量の減少がないことから、メンテナンスの負担の軽減が可能な方式として、開発を進める方式として選定した。サイクロン方式は、近年、家庭用掃除機としても広く使われているが、紙パック（フィルタ）の交換が不要で、吸引力の低下がないことが長所であり、同様の効果を新幹線車両に期待するものである。

#### 3.2 サイクロン集塵装置の基本構造

サイクロン集塵装置の基本的な構造と動作を図2に示す。上部が円筒形で下部が円錐形をしており、上部円筒面に設けた吸込口から流入した塵埃を含んだ空気が、筒内を旋回しながら下方方向に流れる。旋回により遠心力が働き、塵埃は外周方向に移動し内壁に衝突する。内壁に衝突した塵埃は下方に落下し分離される。塵埃量が減った空気はサイクロン下部から反転上昇して上部の排出口から排出される。この気流を発生させるためには、吸込側か排出側のいずれかに送風機が必要である。新幹線車両では、上部の排出口を換気装置の給気口に接続し塵埃

量が減った空気を供給する。空気の流れの発生源は換気装置内の給気送風機が担う。

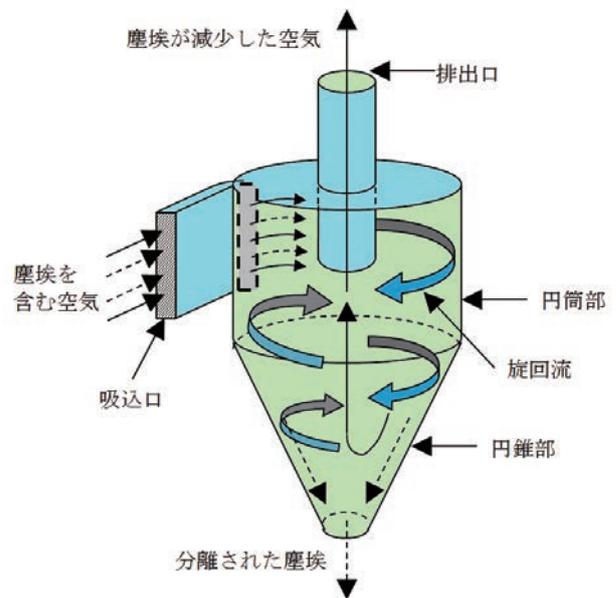


図2 サイクロン式集塵装置の構造

#### 3.3 新幹線車両用集塵装置の試作

##### 3.3.1 設置位置

集塵装置の排出口を換気装置の給気口に接続する必要があることから、換気装置に隣接して設置することとした。換気装置は車両の床下に配置されている。車両の床下には多くの機器が配置されており、それらの機器との干渉を避けるほか、メンテナンス作業の障害にならない範囲に収める必要がある。一方、換気装置の給気性能を阻害しないためには、極力圧力損失を抑えることが必要であり、支障がない範囲で使用可能なスペースを最大限に使用して構成することとした。車両床下の設置位置を図3に示す。

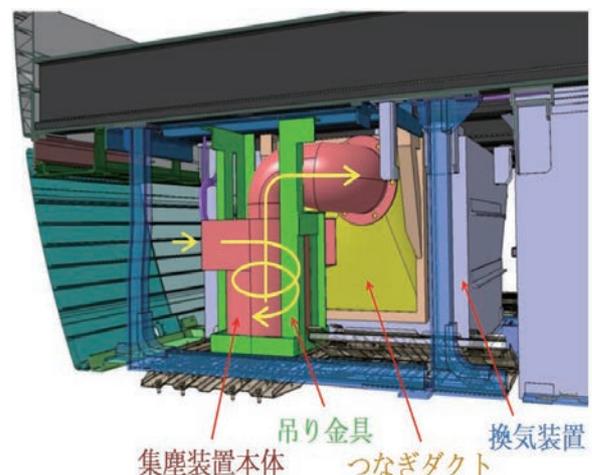


図3 集塵装置の設置位置

### 3. 3. 2 構造

集塵装置は「集塵装置本体」、集塵装置と換気装置給気口をつなぐ「つなぎダクト」、車体に固定するための「吊り金具」から構成することとした。

機能上、「集塵装置本体」上に「排気口ダクト」を配置する必要があり、これらが上下に重なった構成にならざるを得ないため、高さ方向の寸法制約が厳しく、一般的なサイクロン式集塵装置と比べ、高さ方向寸法が短い形状とした。

集塵装置最下部には、捕集した塵埃を蓄積するスペースを設け開閉可能な蓋を設置した。運転時は蓋を閉め塵埃を蓄積し、メンテナンス時に蓋を開けて塵埃を回収し廃棄する。開発した集塵装置本体の外形を図4に示す。

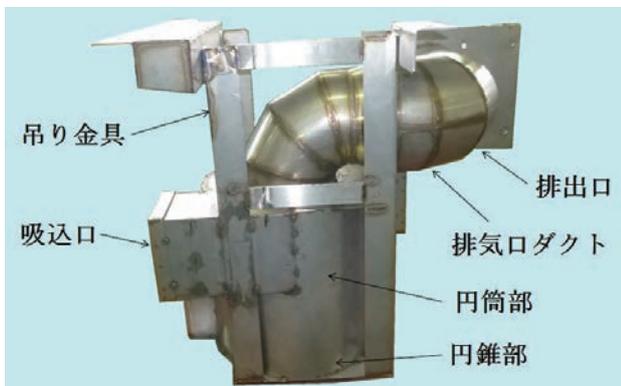


図4 集塵装置本体外形

### 3. 3. 3 集塵対象となる塵埃

集塵の対象となる塵埃について、実際の車両で使用済のフィルタを回収して、捕集されている塵埃を採取し成分を調査した。分析の結果、ケイ素、アルミニウム、鉄が多く含まれていることが判明した。これらの成分は鉄道車両の運転環境における特有のものと考えられ、これらを主たる対象塵埃として、解析や試験を実施して開発を進めた。

### 3. 3. 4 集塵性能向上の検討

遠心力を利用して塵埃を分離する方式であることから、基本的には装置内の旋回流の速度を向上することと、円筒部・円錐部の高さを十分確保することが集塵性能向上に繋がる。しかし、旋回流速の向上は圧力損失の増加に繋がる。給気風量を確保するため圧力損失は極力低減させる必要がある。また、円筒部・円錐部の高さは車両スペースの制約から拡大できない。このような制約のもとで、集塵性能の向上が図れないか検討を進めた。いくつかの改良案について検討した結果、円筒内面に上下方向のスリットと衝立を設け、円筒内面に沿って旋回する塵埃を強制的に減速させ、下部の塵埃蓄積部に導く方法を

を考案した。また、この方式ではスリット内に捕集した塵埃が舞い上がって再度円筒内に戻ることが懸念されたため、外周に円筒を追加する方式も考案した。前者を「タイプA」後者を「タイプB」とし、上面から見た断面図を図5に示す。

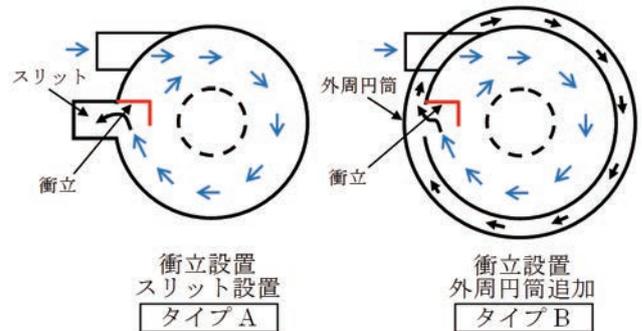


図5 集塵性能向上案

### 3. 3. 5 集塵性能の評価方法

集塵性能の評価には集塵率を用いた。集塵率は、「集塵装置の集塵効果を示す数値で、装置が捕集したダスト及びミストの量と、処理前の量との比を百分率で表したもの」(JIS B 9909集塵装置の仕様の表し方)とされている。解析、試験において、集塵装置が捕集した塵埃量と投入した塵埃量との比を百分率で表し集塵率を算出した。

### 3. 3. 6 集塵性能の評価

タイプA、Bの2方式について、流体解析を実施して、集塵率を比較した。換気装置は車両の走行状態によって、「高速」「中速」「低速」の3種類の運転モードがあり、風量が異なる。解析は3種類の運転モードについて実施し、解析対象の塵埃は「鉄粉」「アルミ粉」「ケイ砂」とした。

高速モードでの解析結果を表1に示す。中速、低速モードでも同様な結果が得られた。解析の結果から、タイプAの構造を選定し、以後の開発を進めた。

表1 集塵性能向上策の解析結果

換気装置 運転モード	対象塵埃	集塵率 (%)	
		タイプA	タイプB
高速	鉄粉	◎	○
	アルミ粉	○	○
	ケイ砂	○	×
集塵率		◎ 76～100%	
		○ 50～75%	
		× 0～49%	

## 4 模擬換気装置による試験

### 4.1 模擬換気装置の製作

塵埃を用いた集塵率測定は実際の車両では実施できないことから、模擬換気装置を製作し測定を実施した。

模擬換気装置は、換気装置内の給気送風機と同等の性能を持つ送風機を用いて、インバータ制御と送風機吸い込み口に設置した風量調整板により、換気装置の3種類の運転モードに合わせた風量が設定できる構造とした。模擬換気装置を図6に示す。

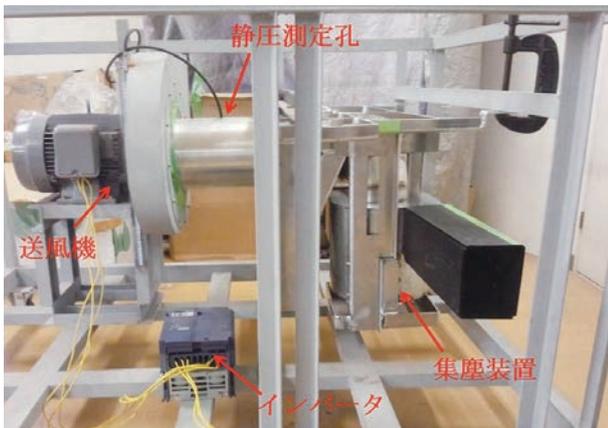


図6 模擬換気装置

### 4.2 試験方法

模擬換気装置による試験では、集塵装置の吸い込み風量、静圧、集塵率を測定した。試験粉体は、鉄粉、アルミ粉、ケイ砂を使用し、それぞれについて3種類の換気装置運転モードで実施した。試験用粉体の投入量(重量)は一定とし、一定時間模擬換気装置を稼働させた後、集塵装置内の塵埃を回収して重量を測定し集塵率を算出した。

高速モードでの集塵率算出結果を表2に示す。集塵率は他の運転モードで、全ての試験粉体について良好な結果を得た。

表2 集塵率測定結果

換気装置 運転モード	対象塵埃	集塵率 (%)
高速	鉄粉	◎
	アルミ粉	◎
	ケイ砂	◎
集塵率		◎ 76～100% ○ 50～75% × 0～49%

また、風量、静圧の測定結果から、集塵装置の圧力損失を算出した。その結果、給気装置の性能の範囲内であり、規定の風量が供給できることを確認した。

試験の際に集塵装置内の風量分布も測定し、これまでに実施した解析結果との比較も行い、解析結果が実測値と一致することも確認できた。

## 5 まとめ

高速車両の換気装置のフィルタの目詰まりによる給気風量低下の防止と、メンテナンスの軽減を目的として、車両床下の換気装置給気口に設置できるサイクロン式集塵装置の開発を実施した。集塵率向上策を検討し、結果を反映させた試作機を製作し模擬換気装置による試験を実施した。その結果、集塵率、給気風量、圧力損失などの基本性能を確認することができた。今後は、実際の車両に設置しての試験などにより実環境でのデータを取集し、実用化に向け更なる改良を進めていく。

### 参考文献

- (1) 齋藤寿彦, 他: 「新幹線車両用サイクロン集塵装置の開発」, 日本機械学会 第24回 交通・物流部門大会 講演論文, (2015)

### 著者紹介



橋本克史  
生産本部  
技術部 部長 (高速車両)



小泉貴洋  
生産本部  
技術部 (車体設計) 主査



大須賀晋  
生産本部  
技術部 (技術解析) 主査



太野 明  
東日本旅客鉄道(株)  
新幹線総合車両センター  
車両技術主任

## 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

The Remote-Operated Ball Valve, Detail of Development and Feasibility Study of Simplification for Air Pipe

今岡憲彦 Norihiko IMAOKA  
長本昌樹 Masaki NAGAMOTO  
半田直一 Naoichi HANDA  
川上清温 Kiyoharu KAWAKAMI  
松岡茂樹 Shigeki MATSUOKA

鉄道車両の床下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、遠隔操作可能なボールコック「Air Lead™」を開発した。遠隔操作方式を3種類設定することで、ボールコックと操作ハンドルの距離、位置関係に合わせた使い分けが可能である。これらを組み合わせることで、ボールコックの使い勝手を良くする他に、空気配管をシンプルにする（省配管化）ことができ、管摩擦抵抗減少によるエネルギーロス低下、機器設置自由度の向上などの二次効果を得られる。さらに、踏切事故時の配管ダメージ回避、複数位置からの遠隔操作も可能となる。モデル配管に対して省配管化効果の確認を行ったところ、配管長は最大53%減、管摩擦抵抗は最大63%減となった。

To improve ball valve operation on railcar, we developed three types of remote-operated ball valves. These ball valves are variety of Air Lead™. These ball valves, different in transmission of operate power, exist for assigning to several situation; relative position between air pipe and operate handle. Air Lead™ provide good benefit, improving usability of ball valve, simplifying air pipe, reducing energy loss on air supply, and improving space utilization. Air Lead™ can supply multiple operation handles. Furthermore, Air Lead™ can keep air pipe away from collision area on level crossing accident. By feasibility study of simplification for air pipe, Air Lead™ can reduce 53% pipe length, and 63% friction resistance in pipe.

### 1 はじめに

鉄道車両用空気配管には、切り替えおよび締め切りのために多くのボールコックを使っている。床下に設置しているボールコックの大半は、取り扱いのしやすさを考慮して、車体側面近くや車端部近くに設置されているが、配管の端部ではなく配管途中に設ける必要がある（図1参照）。それら配管の取り回しの関係から、ボールコック取り付け可能位置に制約が生じ、使い勝手向上の余地が残っている。

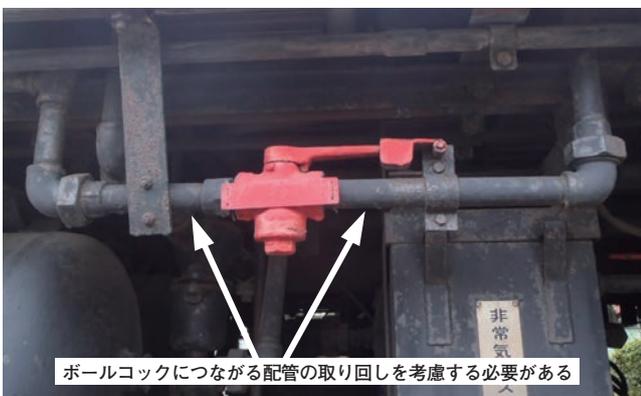


図1 車体側面近くの空気配管とボールコック

当社では、現状よりも空気配管用ボールコックの使い勝手を向上させるため、Air Lead™（読み方:エアリード）

という名称の鉄道車両用遠隔操作型ボールコックを開発した。Air Lead™は、ボールコック本体と操作ハンドルを分離することで、ボールコック前後の配管の取り回しを考慮しなくても、取扱者が操作しやすい位置に操作ハンドルを設置することができる。

また、Air Lead™を使うことで、操作ハンドルの位置をずらさずに、空気配管を最短距離で設置することも可能となる。そこで、既存の鉄道車両の空気配管に対する削減効果の検討も行った。併せて以下に記す。

### 2 Air Lead™開発の背景

鉄道車両における空気装置は、鉄道車両に真空ブレーキが搭載されたところから100年以上にわたる非常に長い歴史がある。鉄道車両の主要な空気装置はブレーキであり、安全な運行に密接に関係する装置であることから、非常に保守的な考えに基づいて設計されている。これまでも大小さまざまな改善・改良案が各方面から提案され、ブレーキ制御装置内などの限られた場所では改良が進んでいる<sup>(1)</sup>が、車両全体で見ると改善・改良が進んでいるとは言い難い。安全性を非常に重視する装置であるので、実績の無いものは受け入れられにくい状況にあることが理由である。そのため、戦前に制定された基準がそのまま使われているケースもある。

近年では、空気ばね車両が一般的となり、また、高度なブレーキ制御や、車体の振り子制御を空気圧で行う車両も登場している。複雑な配管を持つ車両が出てきており、またそのような車両では床下機器も多いため、配管取り回しが一層難しくなる。このような状況において、当社では、次世代ステンレス車両sustinaの量産車開発に向けて、鉄道車両用空気配管の改善・改良に取り組んだ。現状よりも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、さらに、現状よりも自由に敷設できてシンプルな経路にすることができる空気配管を目指した。空気配管はシンプルな経路にすることにより、エネルギーロスを少なくすることが可能である。

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。そのため、ボールコックの前後に最低2本の配管がつながっている。ボールコックの設置可能範囲は比較的限られており、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、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。

改善・改良にあたっては、実績を非常に重視する状況を踏まえ、高圧空気の接する部分は実績豊富な従来部材のみを使用することとした。そのようにして改善・改良した成果の一つが、今回紹介する新開発品のAir Lead™である。

### 3 Air Lead™の概要

本章では、Air Lead™のコンセプト、使用の効果を記す。

#### 3.1 Air Lead™の基本コンセプト

前述の通り、Air Lead™は鉄道車両の床下空気配管にあるボールコックの使い勝手を向上させるため、ボールコックを遠隔操作可能にする装置として開発した。

床下空気配管には、元空気ダメ管 (MR管)、ブレーキ管 (BP管)、空気ばね用の圧縮空気供給管などがある。いずれの配管に設けられたボールコックも、営業運転中に車上から操作する必要がないものである。また、異常発生時にのみ使うボールコックも多いので、操作の際には外部からエネルギーの供給を受けられない可能性が高い。それらの状況を踏まえ、

- ①過酷な環境下でも破壊・故障しにくい簡便な構造。
  - ②エネルギー供給が無い状態でも手動で操作可能。
  - ③空気管路部分は従来の部品で構成可能。
  - ④既存の空気配管部品に後付け可能な装置構成。
- となるコンセプトの製品とすべく、開発を進めた。

Air Lead™は、これまであまり考えられてこなかった形で鉄道車両用空気配管を改善・改良するアイテムである。

そこで、開発に際しては関連する技術の特許を出願した。

#### 3.2 Air Lead™名称の由来

Air Lead™の名称は、空気配管の装置であることを示すAirと、「引く」、「導く」などの意味を持つLeadを組み合わせたものである。Leadには「先導する」、「先進の」という意味もあり、新しい考えに基づいて開発したAir Lead™の持つイメージも表現している。図2にAir Lead™のロゴを示す。



図2 ロゴ

#### 3.3 Air Lead™使用による効果

Air Lead™を使用することにより、現時点では以下のような効果が得られることがわかっている。

- ①配管のシンプル化による配管長の縮減と車両軽量化  
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、取り回しの際に用いる多くの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、応答性向上を見込める。また、配管径をサイズダウンすることによる車両軽量化も可能となる。
- 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に確保していたスペースが不要となり、他の機器類のためのぎ装スペースが増える。これにより、空気配管以外の機器類のメンテナンス性向上や、重量バランスの最適化を図れる。
- 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、壊れる可能性が非常に高くなる。仮に空気配管がダメージを受けると、ブレーキ装置が動作しなくなることで自走できなくなり、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、空気配管自体を車端部から離れたところに通せば、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確認できる。これにより、ボールコック切り替え時の操作ミスの発生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

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で、複数位置から遠隔操作が可能となる。その際、全ての操作ハンドルはつながっているため、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き、開閉状態の確認も行えるようになる（図3（b）参照）。従来の空気配管では、ボールコックを配管に直列ないしは並列に設置することで、複数個所で操作できるようにしていたが、各ボールコックの開閉状態は、それぞれの操作ハンドルを直接的に確認するしかなかった（図3（a）参照）。

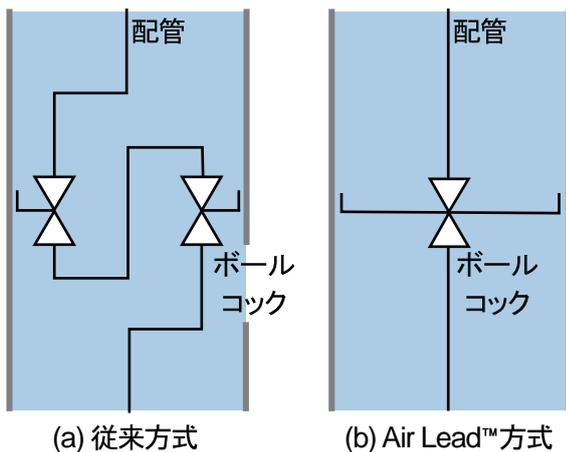


図3 複数位置からの操作方法の違い

## 4 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種類設定した。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。以下、それぞれの概要を記す。

### 4.1 Air Lead™ Type S

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（図4参照）。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。

後述する2種類のAir Lead™と異なり、ボールコック



図4 Air Lead™ Type S

本体と剛結合している。そのため、通常のボールコック操作ハンドルとの操作感の違いはほとんど無い。また、部品点数が格段に少ないのが特徴である。

### 4.2 Air Lead™ Type F

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に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。

フレキシブルシャフトは、フレキシブルグラインダ、フレキシブルドライバ、チューブクリーナなどに使われている。比較的一般的な部材である。

Type Fでは、ねじり剛性の高いものを使用する。そのため、通常のボールコック操作ハンドルとの操作感の違いはあまり無い。

### 4.3 Air Lead™ Type R

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る。ボールコックのステムにワイヤロープを掛け、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（図5参照）。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おり、ドアエンジンから離れた位置でのドアロック解除を可能にしている。なお、今回使用したワイヤロープは、過去に鉄道車両での使用例の無い樹脂皮膜付きのものなので、鉄道車両用材料の燃焼性試験（一般に、車材燃試と呼ばれる試験）を実施した。難燃性評価を得ている。

Type Rのワイヤロープは比較的伸びにくいタイプのものを選定している。また、ボールコックの開閉動作それぞれのために引張用のワイヤロープを設けている（つまり、ワイヤロープを使って圧縮力を伝えない）ので、通常のボールコック操作ハンドルとの操作感の違いはあまり無い。

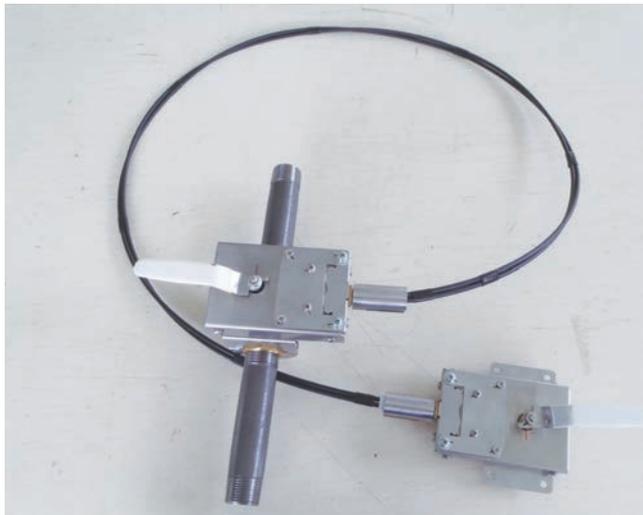


図5 Air Lead™ Type R

## 5 Air Lead™を使っでの省配管化検討

本章では、Air Lead™を使っでの省配管化効果の検討をおこなう。

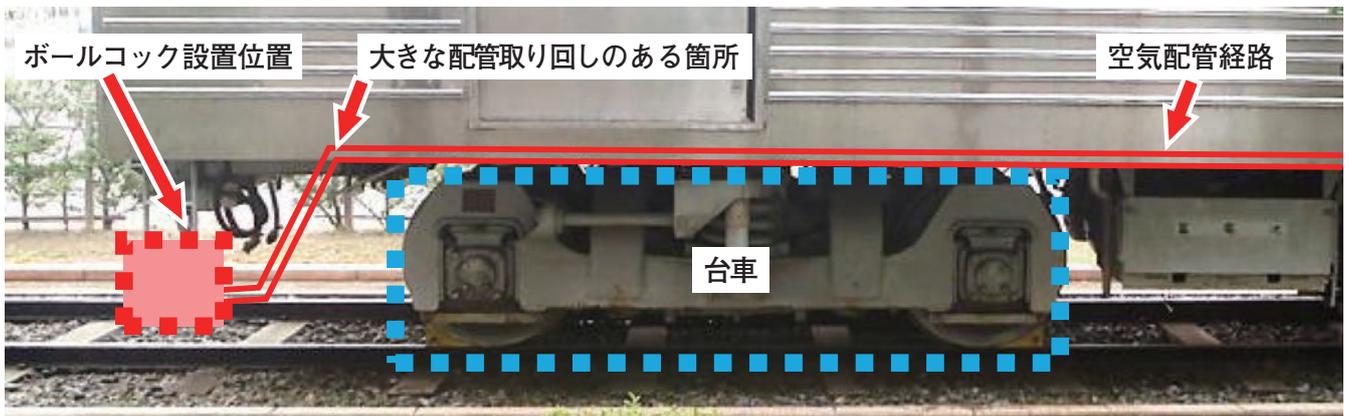


図7 台車近傍



図6 車端部ボールコック

### 5.1 省配管化検討対象

車端部のボールコックは、車両の連結・解放の際に操作するため、車体隅柱の直下付近にある。ピット線でも操作しやすくするため、設置位置は比較的低い（図6参照）。

台車近傍の空気配管は、台車の運動を支障しないように車体中心寄りの台枠内を通していている。そのため、車端部の空気配管は、水平方向にも垂直方向にも大きな取り回しが必要になっている（図7参照）。

そこで、車端部の空気配管を模擬した一般的な配管モデルを基準にして、Air Lead™の省配管化効果を検討する。

### 5.2 省配管化検討

基準となる車端部空気配管図を図8に示す。これは、通勤車両車端部の空気配管を一般的なモデルに変換したものである。

図中の配管は全て25G（1"）としている。継手類は基準どおりのものを使用。ただし、通常では多用するユニオンは、検討を簡便にするため取り付けていない状態とする。

ボールコックは枕木方向の配管の途中に取り付けている。車体床上面から500mm下方にある。

台車直上の配管は、車体床上面から59mm下方にある。一方、端バリ下の配管は、端バリをよけるために車体床上面から246mm下方にある。

配管延長（ここでは、継手部分を直角と見なした上での配管中心線の総延長と定義）は1986mm。継手個数は6個となった。これ以降、配管延長の低減量を省配管化効

果とみなす。

Air Lead™ Type Sを使った場合の配管図を図9に示す。

車体上面視での配管位置は図8の基準とあまり変わらないが、車体下方への配管取り回しが不要となり、車体断面視での配管配置は図8の基準と相違がある。

配管延長は1476mm。基準に対して-510mm（基準比26%減）となる。継手個数は5個。基準に対して1個減となった。

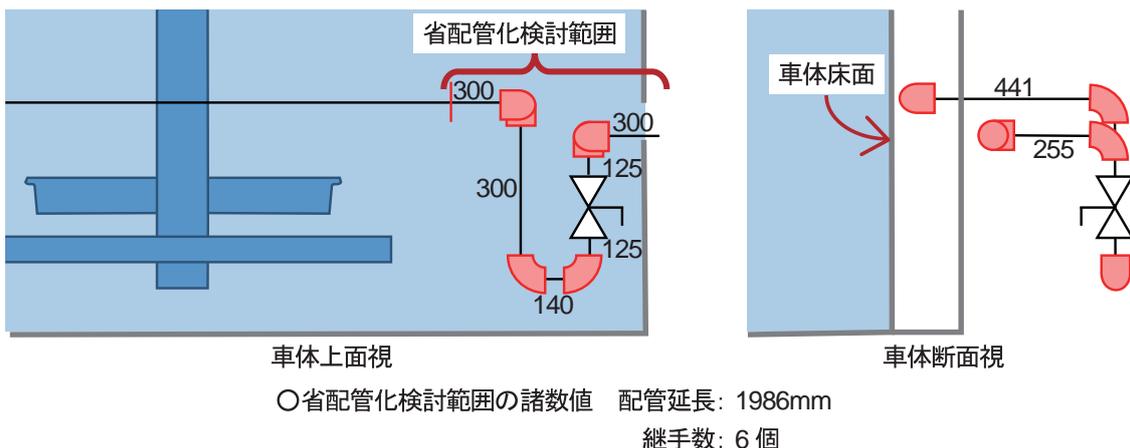


図8 車端部空気配管図 - 基準：従来技術のみ使用の場合

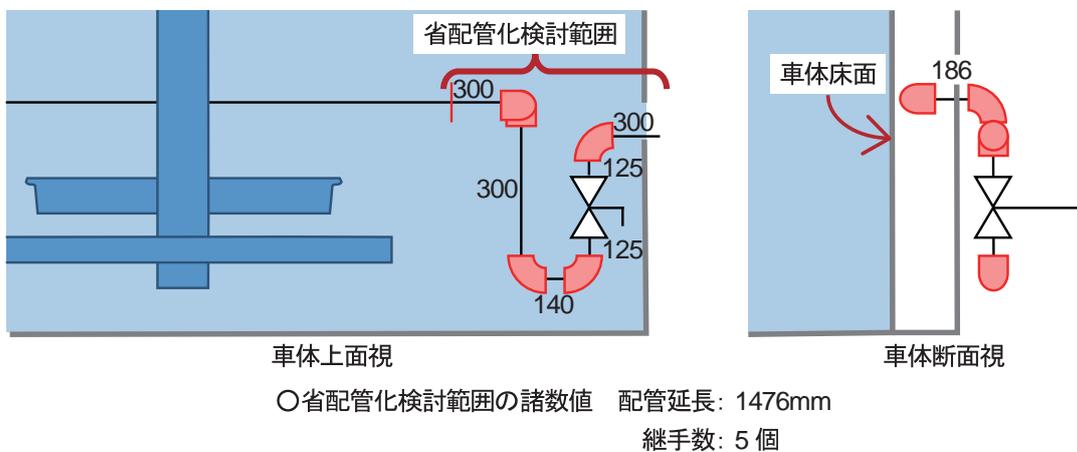


図9 車端部空気配管図 - Air Lead™ Type S 使用の場合

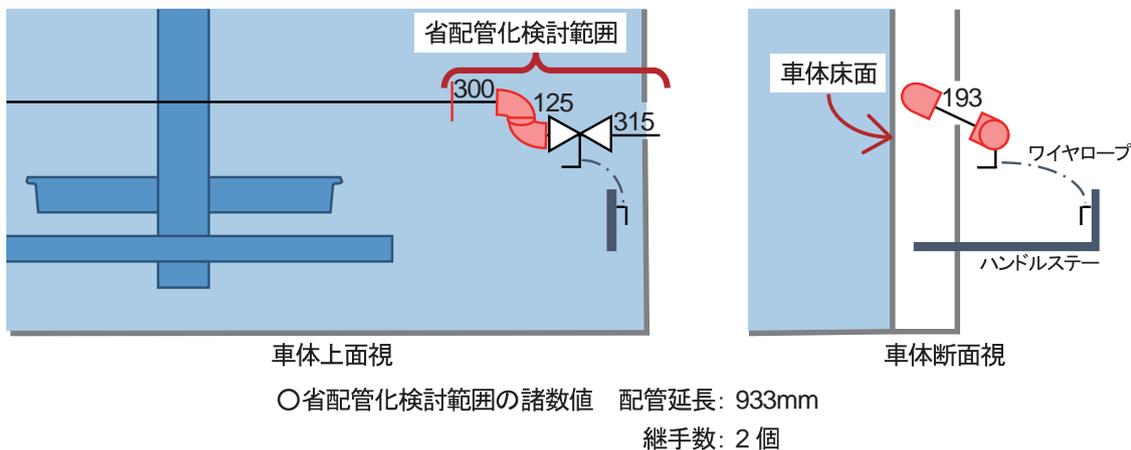


図10 車端部空気配管図 - Air Lead™ Type R 使用の場合

Air Lead™ Type Rを使った場合の配管図を図10に示す。配管配置は大きく変わり、配管取り回しがほとんど無い状態になっている。

配管延長は933mm。基準に対して-1053mm（基準比53%減）となり、ほぼ半減となる。継手個数は2個。基準に対して4個減となった。

次に、管摩擦抵抗の減少量について検討する。ここでは、25G（1"）90度エルボの相当管長（継手の管摩擦抵抗を、直管で同じ管摩擦抵抗になる時の長さで表したものを）を900mmと仮定する。

基準の配管図の管摩擦抵抗を直管の配管長さで表すと $1986+900\times 6=7386\text{mm}$ となる。同様の計算法によれば、Air Lead™ Type Sを使った場合は5976mm（基準比19%減）、Air Lead™ Type Rを使った場合は2733mm（基準比63%減）となる。省配管化検討範囲の狭い範囲に限った話ではあるが、Air Lead™使用により管摩擦抵抗が大幅に減少することがわかる。

## 6 Air Lead™使用例

現時点で、南海電気鉄道の2000系一部編成に試験搭載している。車外の側引戸一斉開放コックにAir Lead™ Type Rを取り付け、一斉開放コックの操作性向上を図っている。

## 7 まとめ

Air Lead™を開発し、省配管化効果を確認した。

一般的な通勤車両の車端部を模擬したモデル配管に対する省配管化効果は、Air Lead™ Type Sで26%減、Air Lead™ Type Rで53%減となる。継手個数の減少も伴っているため、管摩擦抵抗はAir Lead™ Type Sで19%減、Air Lead™ Type Rで63%減となった。

今後、ユーザの意見を聞きながら、Air Lead™の完成度を高めていきたいと考えている。

## 参考文献

- (1) 三菱重工業：「新接合技術の2次元集積配管「M-iPIS（ミピス）」を開発」、三菱重工ニュース3926号、(2001)

## 著者紹介



今岡憲彦  
生産本部  
技術部（商品開発） 主査



長本昌樹  
生産本部  
技術部（商品開発） 課長



半田直一  
生産本部  
技術部（ぎ装設計） 主任技師



川上清温  
生産本部  
技術部（ぎ装設計）



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（商品開発）

## フリージアコンソール

### Development of Freesia Console

半田直一 Naochi HANDA  
齊藤和彦 Kazuhiko SAITO  
天沼秀章 Hideaki AMANUMA  
藤谷晃 Akira FUJITANI  
三原啓輔 Keisuke MIHARA

池田大樹 Daiki IKEDA  
上関仁護 Jingo UWAZEKI  
川上清温 Kiyoharu KAWAKAMI

従来、運転台の機器配置は、事業者や線区において違いが発生する部位であり、車種ごとに設計を行っていた。それを、モジュール構造の運転台を共通部分と可変部分に分け、共通部分は1度の設計で流用を可能とし、可変部分は機器配置など、客先の仕様に合わせ最小限の設計で対応できる構造とした。本稿では共通部分と可変部分の導入により、設計の統一化が出来る運転台モジュールの開発経緯について紹介する。

#### 1 開発経緯

運転台は、運転台ユニットとして設計・製造される。運転台ユニットは、きせおよび骨組に機器を取り付けた大型部品である。運転台ユニットの骨組はユニット内の機器配置にあわせて設計されるため、機器配置が変わると骨組も変える必要がある。また、乗務員室構体構造や貫通扉の有無も、運転台ユニット外形に大きく影響する。

ユニット骨組の図面は非常に細かい図面であるため、乗務員室の設計においても設計時間の掛かる面倒な図面の一つである。したがって機器配置に合わせて、きせや骨組を変更する作業も大きな設計ボリュームを持っており、大抵の場合は新しく図面を書き起こさなくてはならない。これが各種案件ごとに毎回発生している。

また、機器配置が決まらなると、ユニットの骨組が確定しないところも問題の一つである。骨組の図面は内容が細かく情報量が多いため、製造する側も図面を読み、製作するのに時間が掛かる。そのためユニット骨組の図面は早い段階で仕上げたいというのが設計・製造の思いである。ところが実際は設計後半になって機器の外形や仕様が変わったり、スイッチ類の追加が必要になったりと機器配置を変えなくてはならない状況が発生する。機器配置の変更が図面に与える影響は大きく、設計途中での機器の追加や配置の変更は設計の大きな出戻りを招くほか、後工程にも影響を与えかねない。

昨今の鉄道ユーザが求める車両は、先頭形状におけるデザイン性が重要視されており、デザイン確定から乗務員室構体構造が確定するまで、長い期間を要することも少なくない。このことにより、確定してから運転台設計に取り掛かれる時間は少なく、設計者は、変更があるこ

とを前提に運転台設計を進めていかざるを得ない状況に陥っている。

#### 2 運転台の共通化

運転台を共通の形状にすれば設計の手間は大きく減らすことが出来る。しかし運転台の形状は乗務員室に合せて最適化されているため、どの車種にも搭載可能な運転台の形状となると全ての運転台の論理積を取ったような、小さい運転台になってしまう。しかも運転台の形状を共通化しても機器配置が変わるたびに図面を書き起こさなくてはならない問題は解決しないままである。製造側の都合によりユーザの意向を反映できない車両では、現在の鉄道車両としては成立しない。

運転台の形状の問題と機器配置の変化(=ユーザーズ)への柔軟な対応、この2つの問題をクリアする必要があった。

課題を克服するにあたっては床下機器配置の考え方を参考にした。

床下の機器配置もまた車種ごとに異なる。しかし、機器取付の母体となる床下の骨組(台枠)の設計は機器配置の確定を待たずしてほぼ完了する。ここに着目した。

なぜこのような設計ができる構造なのか。まず床下の骨組は取り付けピッチがほぼ決まっており、それに合せて機器を取り付ける。機器の取り付け穴ピッチと骨組のピッチが合わない箇所は取付金を作成し、機器と骨組のインタフェースをとる。これを運転台に適用できないかと考えた。つまりベースとなる運転台には取り付け用の骨を設け、機器と骨組のインタフェースとして取付金(モジュール)を作ることで機器配置が変わってもモジュールの変更のみで対応できる構造を基本とした。このモジュ

ールの考え方をユニット内部と上面に適用し、それぞれ内部モジュールと上部モジュールとしてモックアップの作成を行った。

### 3 内部モジュール

機器取付のベースとなるユニットの骨組はC型チャンネル材の骨を横断させ、そこに機器取付盤を設置する構造とした。機器取付盤の形状は機器取付用の釘鉾を逃がすため、骨と盤面は20 mmオフセットさせ、M6ボルトで盤と骨組を締結する。盤の板厚は2.3mm、剛性を上げるために4辺に曲げを入れている。実際のユニット機器取付の設計に当たってはこの平面な盤から機器取付骨を伸ばすか、機器を盤に直接固定する。不要なスペースは切欠穴を設けることで軽量化と配線ルートに使用可能である。

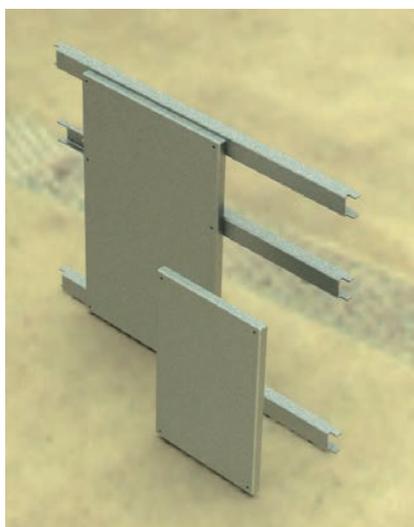


図1 内部モジュール

### 4 上部モジュール

運転台上面にも機器が搭載されそのための切欠穴が空いている。運転台上面に搭載される機器のモジュール化にあたっては複数の方式をモックアップで検討し、実際に現場作業者に扱ってもらい採否の検討を行った。上部モジュールの候補は以下の5点である。

- ①. 切欠穴を大きくあけておき、機器を取り付けた盤(平板)を釘鉾で固定する方式
- ②. ～④. 機器取付きせとして3次元的なきせを作成、それを上面に取り付ける方式。きせの取付方式で4パターン検討した。運転台上面の切欠穴は機器を逃がすための穴もしくは配線穴として使用する。②. ～④. について以下に説明する。
- ②. きせの4面ある側面のうち2面を釘鉾で固定する方式。
- ③. きせの側面1面を釘鉾固定、一箇所を上下拘束する差込ばねで固定する方式

④. きせの側面1面と底面を釘鉾固定する方式。底面のビスまではガイドパイプを用いる。

⑤. きせの側面1面と上面を釘鉾固定する方式。上面にビスが露出する。

きせの上面形状を自由にカスタマイズ可能なのは②. ～④. であり、現場作業者にどの方式が作業性に優れているか感想を聞いたところ、③. の差込ばね方式がもっとも評価が高く、②. は適用可能箇所が限定される、⑤. は釘鉾が露出し、盤上面まで固定用の受けを出す必要があるなどのデメリットがあるものの、作業性としては同等であった。④. は最も評価が低かった。よって上部モジュールとしては③. の差込ばね方式を基本とすることとした。

併せて上部モジュールでは皿小ねじを廃止し、代わりにトラスビスを使用している。これは皿小ねじの皿穴と皿小ねじのテーパ部が合わないによりねじの弛みに繋がる場合があるため、現物調整が必要な箇所のすり合わせの調整工数ならびに皿きり加工の工数低減を狙ったものである。

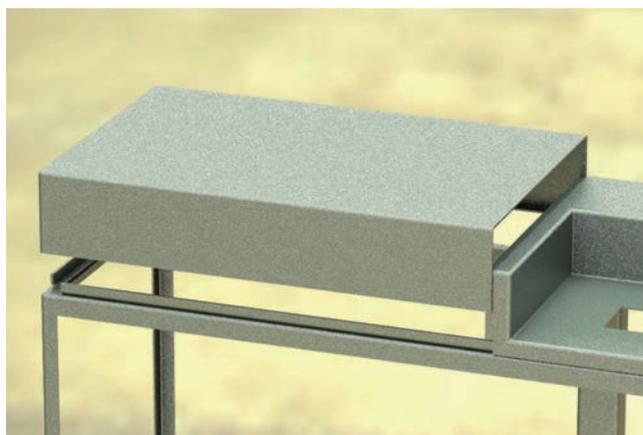


図2 上部モジュール

### 5 中継コネクタの開発

運転台を取り付ける際、車体側配線とユニット配線をつなぐために中継コネクタという部品を設計・搭載している。これは中継する配線の本数・線径に合わせてコネクタの点数、個数配置などをカスタマイズしている。そのためユニットによって使用しているコネクタの種類・個数がまちまちである。そして中継コネクタの取付先がユニット内部にある場合、ツナギ図配線図が決まらないうと中継コネクタの詳細が決まらず、骨組が決まらないという悪循環を抱えている。また、新しいコネクタ(コンタクト)を使用すると現場作業における圧着工具が増え、工具管理上の問題もある。この問題を解決すべく、以下の3つの基本コンセプトを設定し、開発を行った。

A. コネクタが決まらなくても取付先の金物の製作が可能のように共通のフレームにコネクタを入れ子方式で組み換えできること。

B. 既存のピン・ソケットコンタクトが使用できること。

C. 取付ピッチに並進対称性を持たせること。

C項については、取付面の上下左右に取付ピッチ分等間隔であけた取付穴があればフレームを増設可能なものにするための条件となる。こうすることで仮にフレームの個数が決まらなくても等間隔で取付穴さえあけておけばフレームを追加可能となる。

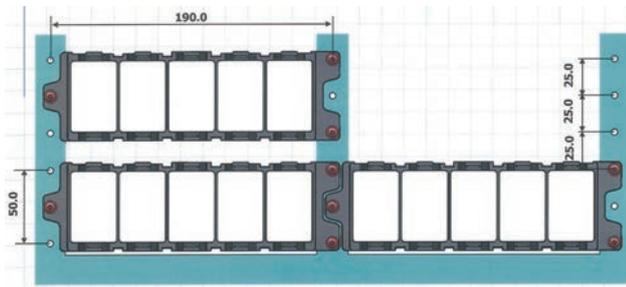


図3 新開発コネクタ

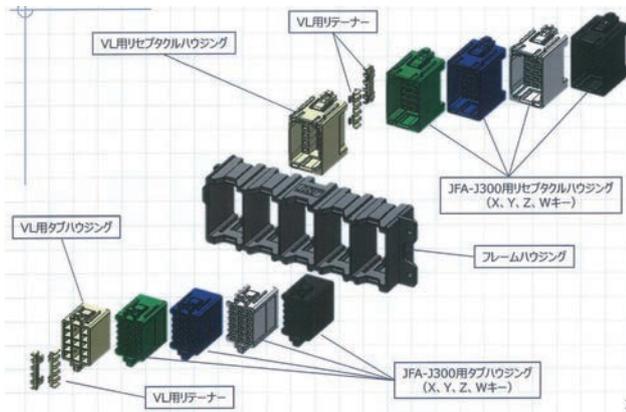


図4 誤勘合防止構造

コネクタには日圧製J300コネクタをベースにしたコネクタ（18極，適用電線：C-WL1-2.5sq以下）4種別とVLコネクタをベースにしたコネクタ（10極，適用電線：C-WL1-3.5sq以下）を1種別開発し，既存のコンタクトを流用可能で使用温度範囲も従来のコネクタと同じである。適用電線径は従来から運転台中継用に使用している電線径を基本にした。J300コネクタをベースにしたコネクタは色とキーイングを1対1で対応させた4種別を開発し，物理的および視覚的に誤勘合防止を図っている。1つのフレームにはコネクタを5個まで搭載可能である（最大180極/フレーム）。

## 6 ブロック構造

前述におけるモジュールとコネクタ化により，機器取付や配線における共通化は図れたが，依然として，乗務員室構体に影響する運転台ユニットの外形の問題は残っている。どの構体にも少量の変更のみで対応できる柔軟な運転台ユニット，これを考えるにあたり，どの運転台も同じような構造をしている運転台左側のきせ部分に着目した。形状はそのままに，寸法変更のみで対応できないかと。

そこで，構造運転台ユニットを1つのユニットではなく，左部分，正面部分，右部分等といくつかのブロック構造にして分け，それらブロック構造を積み木式に組み合わせることで運転台ユニットとする構造を検討した。共通で問題ないブロックはそのままに，変更が必要なブロックだけ設計すればよいので，たとえ仕様決定の遅れや，戻りが発生したとしても，変更が必要なブロックのみの設計となるため，設計ボリュームは大幅に減る。また，共通部分については部品調達・製造を進めることができるので，後工程への影響が少なく，また，同構造における量産が可能のため，品質・単価の向上が期待できる。

ほか，新造時だけでなく，他線区転配などによる改造が必要な場合や，メンテナンスでの部品交換や不具合発生時の調査時においても部位ごとでの確認・交換となり，現地での作業時間の短縮が図れる。

ブロック構造のプロトタイプとして，モックアップを製作した（モックアップは11月完成）。

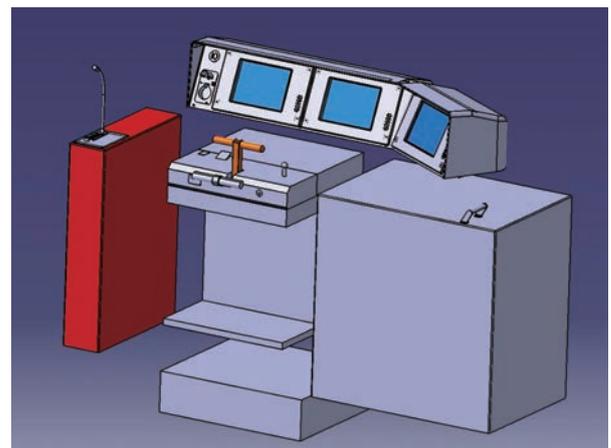


図5 運転台構造 (3D)

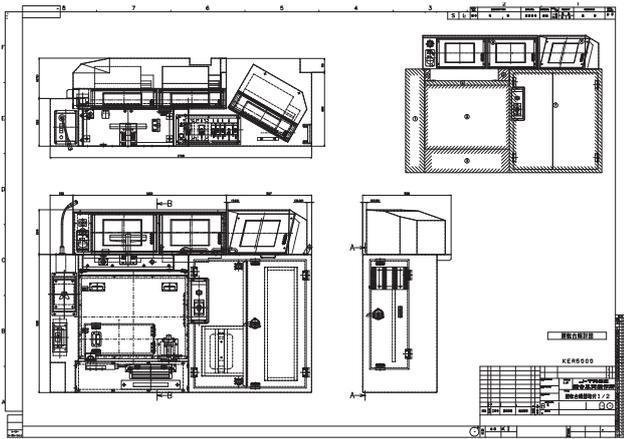


図6 運転台図面 (2D)

## 7 フリージアコンソールとして

問題としてきた課題について、解決する方法を模索・検討してきた結果、設計者ならば誰もが夢見た「構体構造に囚われず、鉄道ユーザの要望に柔軟に対応ができる運転台ユニット」が現実のものとして見えてきた。「自由自在」(Free, Freely)に「安全且つ迅速に対応できるスタイリッシュ」(safety, speedy, stylish)でかつ「主体性」の強い“華”のある運転台の開発を「進める」(advance)べく、それぞれの英語と頭文字と、“華”と“花”を掛け、当社開発の運転台「フリージアコンソール」と名づけた(商標登録出願済み)。

フリージアの花言葉「純潔」「親愛の情」「期待」から、設計・製造にやさしく、乗務員・メンテナンスにもやさしい当社独自の運転台の開発を目指す。



図7 ロゴ

## 8 おわりに

本プロジェクトの発端は設計・製造の手間を解消し、より良い品質の車両をより低コストに造るということに主眼を置きつつも、ユーザニーズに柔軟に対応可能したいという思いからきている。この取り組みが拡大し、鉄道車両の造り方にイノベーションが起きる、そのきっかけになることを祈る。

## 著者紹介



半田直一  
生産本部  
技術部 (ぎ装設計) 主任技師



斉藤和彦  
生産本部  
技術部 (デザインセンター) 主任技師



天沼秀章  
生産本部  
技術部 (ぎ装設計)



藤谷 晃  
生産本部  
技術部 (ぎ装設計) 主査



三原啓輔  
生産本部  
技術部 (ぎ装設計) 主査



池田大樹  
生産本部  
技術部 (ぎ装設計) 主任



上関仁護  
生産本部  
技術部 (ぎ装設計)



川上清温  
生産本部  
技術部 (ぎ装設計)

## ステンレス鋼板の表面状態と耐食性

Surface Condition and Corrosion Resistance Rating of the Stainless Steels

福元 誠一 Seiichi FUKUMOTO  
鈴木 一宏 Kazuhiro SUZUKI

現在の通勤車両で幅広く使用されている SUS301L 鋼板は、無塗装でも高耐食で錆びにくい鋼板である。しかし、ステンレス鋼板の一般的な特徴として、塩分が付着するような厳しい環境に長時間さらされると、実用上の問題はないが発錆する場合がある。そこで、SUS301L 鋼板の試験片で腐食促進試験を実施したところ、ステンレス鋼板の表面状態によっては、耐食性がさらに向上することが確認された。また、この結果により、次世代ステンレス鋼製車両「sustina」の付加価値向上に寄与できる可能性を得たので報告する。

### 1 はじめに

当社が製造する通勤車両の構体は、一部を除いて、ステンレス鋼板で構成されている。現在構体で幅広く使用されているステンレス鋼板は、オーステナイト系ステンレス鋼である SUS301L であり、高耐食、高剛性、高強度であることが特徴である。これによって、ステンレス鋼製車両は無塗装においても錆びにくく、メンテナンスコストの削減などに寄与している。

ステンレス鋼板の耐食性評価に関する研究報告については、一般的に幅広く使用されている SUS304 や SUS316、SUS430 などを対象とした報告はあるものの、SUS301L に特化した報告は非常に少ないのが実状である。そこで、本報告では現在の車両に使用しているステンレス鋼板である SUS301L について、実使用履歴や表面仕上げの異なる試験片を準備して、腐食促進試験により耐食性の差異を評価した。

### 2 試験片

試験片は、表1に示す未使用で表面仕上げの異なるステンレス鋼板（以下、「未使用鋼板」）2種類（試験片①・試験片②）と、実働後に解体されたステンレス車両（以下、「実働後車両」）「A」、「B」の側外板から採取した、それぞれ表面仕上げが異なる4種類（試験片③～試験片⑥）である。なお、実働年数は「A」より「B」の方が長い車両である。また、2種類の表面仕上げについて、様相を図1に、各試験片の化学成分を表2に示す。

表1 試験片詳細

	実働年数	表面仕上げ	材質(寸法)
①	未使用	#80BG	SUS301L-DLT (70×150mm)
②	未使用	DF	
③	A	#80BG	
④	A	DF	
⑤	B	#80BG	
⑥	B	DF	



← #80BG・研磨方向

[#80BG仕上げ]

[DF仕上げ]

図1 試験片の表面仕上げ様相

表2 試験片の主な化学成分 (%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
①	0.022	0.46	1.08	0.030	0.001	7.07	17.2	0.14
②	0.023	0.40	1.02	0.027	0.001	7.14	17.5	0.15
③	0.014	0.51	1.44	0.034	0.001	6.68	17.5	0.23
④	0.016	0.51	1.45	0.031	0.001	6.79	17.4	0.16
⑤	0.022	0.49	1.05	0.023	0.001	7.19	17.4	0.12
⑥	0.019	0.55	1.46	0.026	0.004	6.77	17.3	0.01

### 3 試験方法および結果

#### 3.1 腐食促進試験

##### 3.1.1 試験方法

腐食促進試験はJIS H 8502 (1999) -8.1[めっきの耐食性試験方法]に基づいた複合サイクル試験で行い、耐食性の差異を評価した。複合サイクル試験は、複合腐食試験機を使用して、図2に示す条件で、塩水噴霧2時間、乾燥4時間、湿潤2時間を1サイクル(cyc)として、21cycを行った。耐食性の評価は試験片全体を目視により観察し、発錆の有無を確認した。なお、観察は3cyc、6cyc、9cyc、12cyc、21cycにおいて行った。

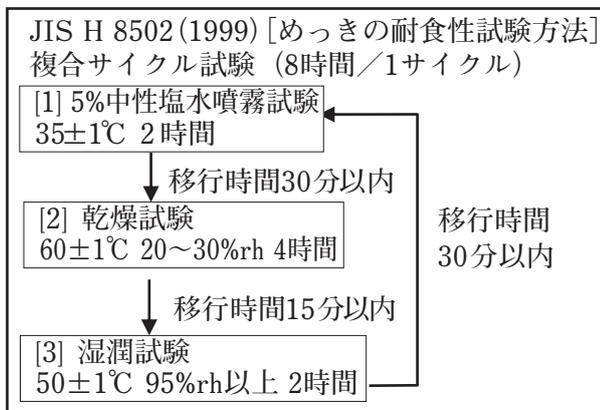


図2 複合サイクル試験条件

##### 3.1.2 試験結果

表3および表4に複合サイクル試験の結果を示す。

未使用鋼板から採取した試験片①、試験片②は「3cyc」で発錆が認められた。特に[#80BG仕上げ]の試験片①は、発錆後も時間経過ごとに錆の範囲が拡散し、「21cyc」では試験片全体にまで拡散していた。[DF仕上げ]の試験片②は、「3cyc」で発錆が認められたものの、その後の進展や拡散は軽微であり、「21cyc」においても、発錆は試験片全体に対してわずかであった。これに対して、試験片③、試験片④は、「21cyc」では発錆しなかった。また、試験片⑤、試験片⑥は、「21cyc」でわずかに発錆が認められた。

未使用鋼板より採取した試験片①と試験片②は、実働後車両より採取した試験片(③~⑥)よりも早期に発錆だけでなく、表面仕上げの違いによる耐食性の差も認められた。これに対して、実働後車両より採取した試験片はいずれも耐食性が優れており、表面仕上げの違いによる差も認められなかった。このことから、耐食性の優劣は、実働の有無が大きく影響しており、未使用鋼板と実働後車両とでは、この不動態皮膜の状態に差があった可能性が考えられる。

表3 複合サイクル試験結果\*

	3cyc (24h)	6cyc (48h)	9cyc (72h)	12cyc (96h)	21cyc (168h)	拡散具合 (21cyc)
①	発錆	→	→	→	→	全体拡散
②	発錆	→	→	→	→	軽微
③	○	○	○	○	○	発錆なし
④	○	○	○	○	○	発錆なし
⑤	○	○	○	○	発錆	軽微
⑥	○	○	○	○	発錆	軽微

\* : 結果判定・[○ : 発錆なし, → : 錆進行・拡散]

表4 複合サイクル試験後の試験片外観

	試験前	3cyc後	21cyc後
①			
②			
③			
④			
⑤			
⑥			

### 3. 2 表面粗さ測定

#### 3. 2. 1 試験方法

表面状態と耐食性については、一般に表面粗さが粗いほど発錆しやすいとされている。そこで、粗さと発錆時期の相関の検証として、ステンレス鋼板の表面粗さ測定による加工目の山の最大高さを測定した。測定は走査電子顕微鏡で行った。

#### 3. 2. 2 試験結果

表5および図3～4に表面粗さ測定による加工目山の最大高さ測定結果を示す。

【#80BG仕上げ】による加工目の山の最大高さは、試験片①、試験片③、試験片⑤ともに約10.0μmであり、耐食性の差に影響するような違いは特に認められなかった。

【DF仕上げ】による加工目の山の最大高さは、試験片②では27.0μm、試験片④では17.5μm、試験片⑥では13.5μmであり、未使用品の方が高い傾向であった。しかし、試験片④および試験片⑥の山形状は崩れていたことから、洗浄等の繰返しにより、低くなった可能性も考えられ、耐食性の差に影響するような違いは特定できなかった。

表5 表面粗さ測定結果 (μm)

	#80BG仕上げ			DF仕上げ		
	① (未使用)	③(A)	⑤(B)	② (未使用)	④(A)	⑥(B)
加工目山高さ	11.0	10.0	10.0	27.0	17.5	13.5

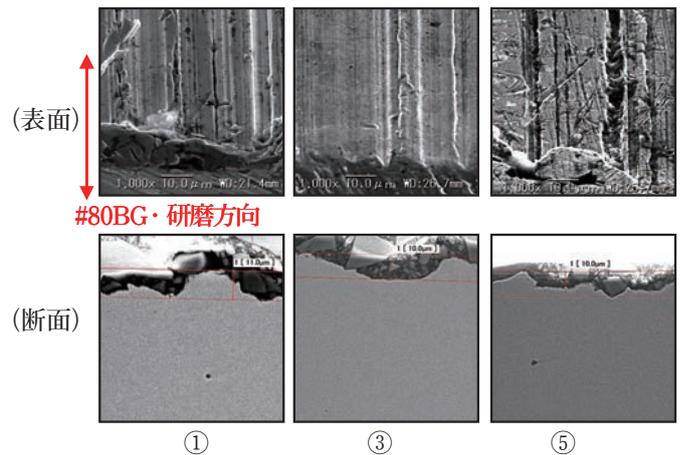


図3 表面粗さ測定結果【#80BG仕上げ】

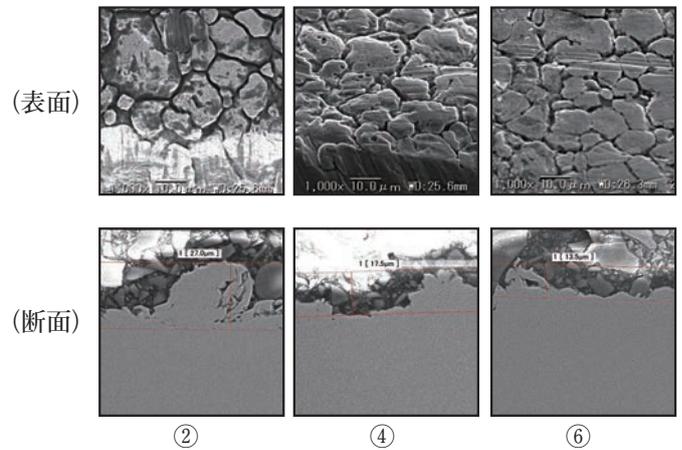


図4 表面粗さ測定結果【DF仕上げ】

### 3. 3 孔食電位測定

#### 3. 3. 1 試験方法

孔食電位測定によって得られる電位は、値が高いほど耐食性に優れた材料であるとされている。ステンレス鋼板は鉄に11%以上のクロム(Cr)を含有した合金であり、表面には不動態皮膜と呼ばれるクロム(Cr)と酸素(O)からなる、厚さ約2~3nmの薄膜状の水和オキシ水酸化クロム層が形成されている。ステンレス鋼板の表面は、この不動態皮膜によって腐食環境から保護されている(図5)。

そこで、未使用鋼板と実働後車両の不動態皮膜の状態の比較として、JIS G 0577(2005) [ステンレス鋼の孔食電位測定方法]に基づいて各試験片の孔食電位測定を行い、電位値およびアノード分極曲線挙動と発錆の相関について評価した。

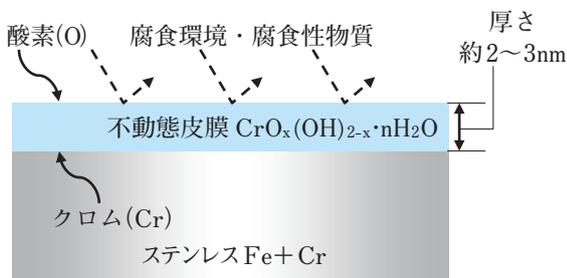


図5 ステンレス鋼板表面層の模式図

#### 3. 3. 2 試験結果

表6に孔食電位の測定結果を示す。なお、試験は腐食促進試験で腐食度合いの差が顕著であった、[#80BG仕上げ]の試験片3種類(試験片①, 試験片③, 試験片⑤)を代表して行った。

試験片①と試験片⑤の電位値はほぼ同値であったが、試験片③の電位値は試験片①や試験片⑤よりも特出して高い値である。次に、図6~8に孔食電位測定時に得られたアノード分極曲線の挙動を示す。各試験片の曲線挙動を比較すると、試験片①の挙動は、図6に黄囲みで示したように、孔食電位よりも低い電位においても、電流密度 $10\mu\text{Acm}^{-2}$ を超える電位域が認められる。この挙動は、孔食電位よりも低い電位ではあるが、試験片表面では不動態皮膜の破壊が起り始めていることを示している。これに対して、試験片③および試験片⑤は孔食電位に達するまで、電流密度 $10\mu\text{Acm}^{-2}$ を超える様相は見られなかった。

このことから、試験片③と試験片⑤は試験片①に比べて安定した不動態皮膜が形成された状態であり、孔食、つまり腐食が起りにくい表面状態であったということを示している。したがって、実働後車両より採取した試験片③および試験片⑤は耐孔食性を高め、不動態を安定にするための処理が施されていた可能性が考えられる。

表6 孔食電位  $V'_{c,100}$  の測定結果

	①(未使用)	③(A)	⑤(B)
孔食電位測定(平均値)	0.232[V]	0.417[V]	0.225[V]
電流密度の推移*	0.01~100 [ $\mu\text{Acm}^{-2}$ ]	0.01~1.0 [ $\mu\text{Acm}^{-2}$ ]	0.01~1.0 [ $\mu\text{Acm}^{-2}$ ]

\* : アノード分極曲線において、孔食電位値に到達するまでの電流密度の推移範囲

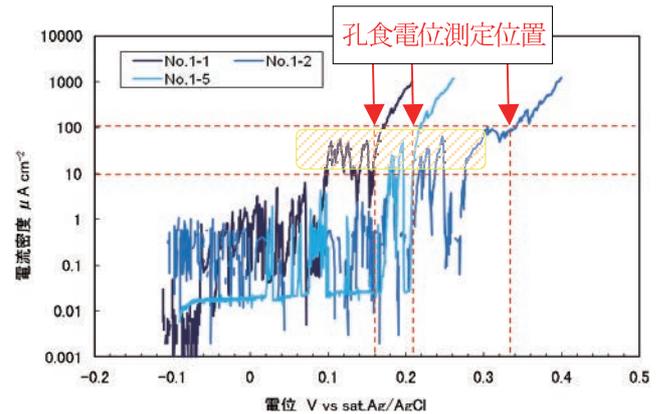


図6 孔食電位測定で得られたアノード分極曲線 [試験片①(未使用)]

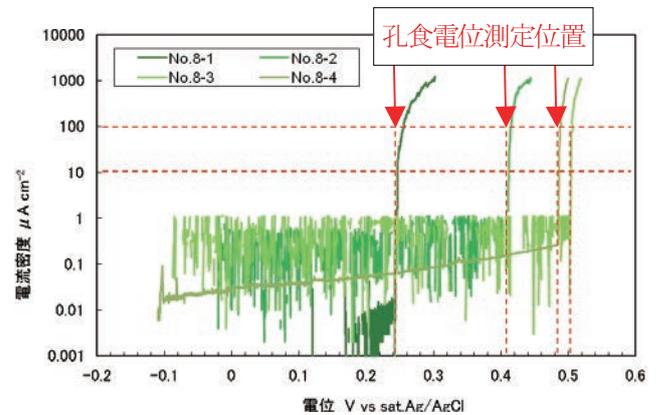


図7 孔食電位測定で得られたアノード分極曲線 [試験片③(A)]

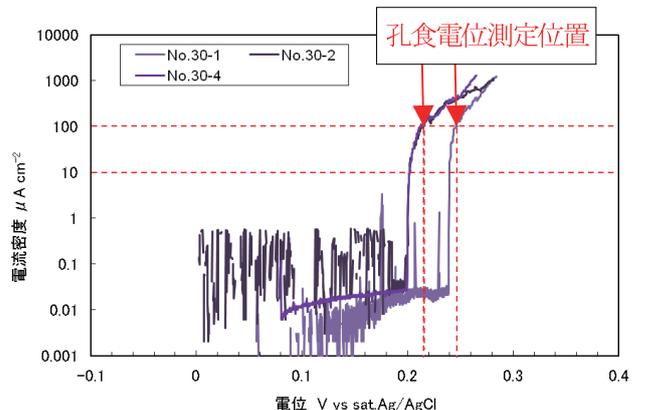


図8 孔食電位測定で得られたアノード分極曲線 [試験片⑤(B)]

### 3. 4 表面皮膜の構造解析

#### 3. 4. 1 試験方法

不動態皮膜は一般にクロム(Cr)量が高いほど安定し、耐食性が優れるということが知られている。したがって、表面部のCr量の差について着目し、エックス線光電子分光法(XPS)で素材最表層部から板厚(深さ)方向の成分分析を行い、Cr量と発錆の相関について評価した。試験は[#80BG仕上げ]の試験片3種類(試験片①, 試験片③, 試験片⑤)を代表して行った。なお、ステンレス鋼板そのもののCr量については、試験片①, 試験片③, 試験片⑤ともに約17%であり、大きな差がないことは確認済みである。

#### 3. 4. 2 試験結果

表7にXPSによる最表層部のCr量測定結果を示す。また、図9～11にXPSによる深さ方向分析結果を示す。なお、横軸の「Sputter time」は板厚深さ方向へのエッチング時間を示しており、その速度は1nm/minである。したがって、本報告では「Sputter time (min)」≡「板厚方向深さ (nm)」と換算できる。試験は[#80BG仕上げ]の試験片3種類(試験片①, 試験片③, 試験片⑤)を代表して行った。なお、ステンレス鋼板そのもののCr量については、試験片①, 試験片③, 試験片⑤ともに約17%であり、大きな差がないことは確認済みである。

最表層部のCr量は、試験片①が22%であるのに対して、試験片③が42%、試験片⑤が45%であり、約20%の差が認められる。ステンレス鋼板の表面にはCrを主体とした不動態皮膜が形成されており、表面のCr量が高くなるということが知られている。この皮膜は表面加工等で除去されてもすぐに再生されるが、試験片③と試験片⑤は、試験片①と同じ表面仕上げが施されているにも関わらず、最表層部のCr量が試験片①よりも高く、特異な状態であった。したがって、試験片③と試験片⑤は不動態皮膜を強化する処理が施されていた可能性が考えられる。

なお、試験片①, 試験片③, 試験片⑤ともに、深さ約3nmの位置で、最もCrの濃化が認められ、値は42～50%であった。ステンレス鋼板表面の不動態皮膜の厚さは約2～3nmであるため、このような傾向となることは妥当であると考えられる。

表7 XPSによる最表層部のCr量および最大濃化位置

	①(未使用)	③(A)	⑤(B)
最表層部Cr量	22%	42%	45%
最大濃化位置	深さ3nm (42%)	深さ3nm (47%)	深さ3nm (50%)

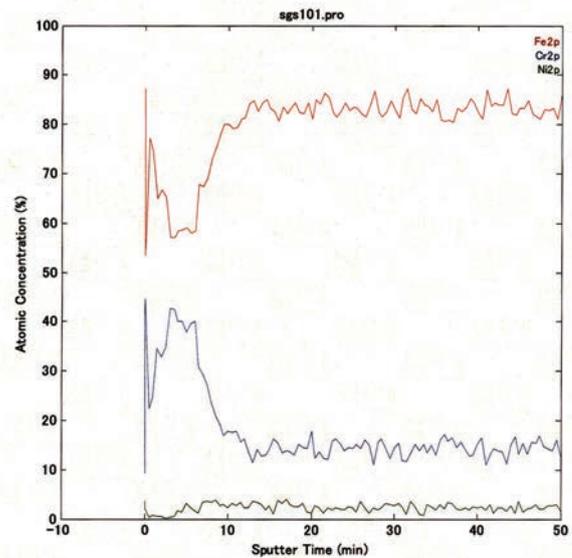


図9 XPSによる深さ方向分析結果 [試験片①(未使用)]

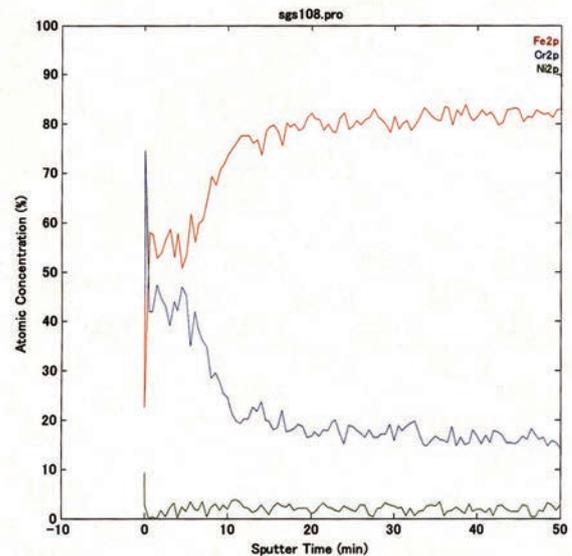


図10 XPSによる深さ方向分析結果 [試験片③(A)]

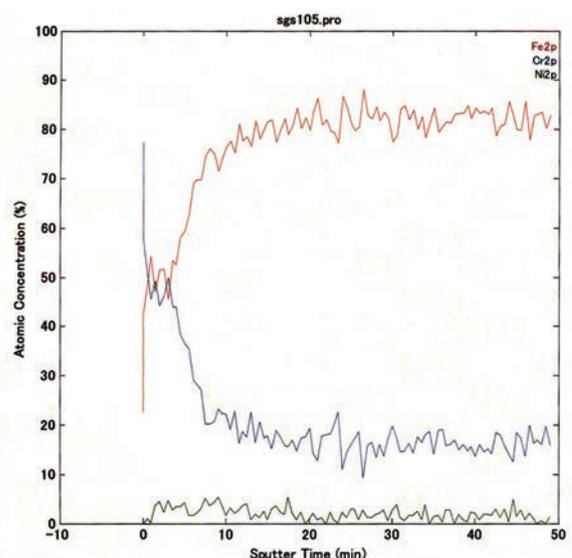


図11 XPSによる深さ方向分析結果 [試験片⑤(B)]

## 4 まとめ

未使用ステンレス鋼板から採取した試験片と実働後ステンレス車両から採取した試験片について、腐食促進試験および表面状態の評価を行ったところ、以下の結果を得た。

- ①未使用鋼板試験片と実働後車両試験片とでは、未使用鋼板の方が早期に発錆した。
- ②未使用鋼板の表面状態において、[#80BG仕上げ] 試験片と [DF仕上げ] 試験片とでは、[DF仕上げ] 試験片の方が、錆の拡散具合は軽微であった。このことから、[DF仕上げ] の方が [#80BG仕上げ] よりも耐食性に優れることが明らかとなった。
- ③実働後車両においては、[#80BG仕上げ] 試験片と [DF仕上げ] 試験片とでは、発錆時期や発錆具合に明確な差は認められなかった。
- ④孔食電位測定およびアノード電極曲線の挙動において、実働後車両試験片は未使用鋼板試験片よりも腐食が起こりにくい、安定した不動態皮膜が形成されていたことが明らかとなった。
- ⑤XPSによる成分分析により、未使用鋼板試験片および実働後車両試験片ともに、最表層部にはクロム (Cr) の濃化が認められたが、割合は実働後車両試験片が約20%高かった。

以上のことから、未使用鋼板試験片と実働後車両試験片との耐食性の差は、不動態皮膜の状態、つまり最表層部のCr量の差であることが明らかとなった。実働後車両については、新造時から経年で繰返し洗浄されてきたため、最表層部のCrが濃化され、不動態皮膜が強化されたことで、耐食性がより高くなっていた可能性が考えられる。

したがって、最表層部のCr量を人為的に高めることができれば、より高耐食で高品質な車両が製造でき、次世代ステンレス鋼製車両「sustina」の優位性をさらに高めることができると考えられる。このためには、最表層部のCr量を高める方法を確立し、耐食性向上効果について検証した後、車両構体へ実用するための最適条件を構築していくことが課題である。

## 参考文献

- (1) 根本力男：「ステンレス鋼の基礎と上手な使い方」, 6-10・54-55, (2011), 日本工業出版 (株)
- (2) JIS H 8502:1999 めっきの耐食性試験方法：「JISハンドブック 41金属表面処理」, 493-495, (2010), (財) 日本規格協会
- (3) JIS G 0577:2005 ステンレス鋼の孔食電位測定方法：「JISハンドブック 1鉄鋼 I」, 1080-1085, (2014), (一財) 日本規格協会

## 著者紹介



**福元誠一**  
生産本部  
技術部 (材料センター) 主任



**鈴木一宏**  
生産本部  
技術部 (材料センター) 課長

## sustina 車両側構体の量産化について

Manufacturing Method of the Side Structure of “sustina”

側垣 正 Tadashi SOBAGAKI  
室橋 強 Tsuyoshi MUROHASHI  
門脇 文俊 Fumitoshi KADOWAKI  
越川 純 Jun KOSHIKAWA  
大塚 広貴 Hirotaka OTSUKA

sustina 車両は外板を繋ぐセギリ、窓や出入口のフレーム類による凹凸を少なくした外観デザインが特徴である。2013年度の第1号車製造以降、実現しなかった平滑な外観を持つ側構体の製造ラインを2015年度に設置した。そこにはsustina第1号車で得た知見や技術を生かしている。本稿では側構体における各製造工程に沿って、そこで用いる設備や工法について解説する。

### 1 はじめに

2013年度、東急電鉄に第1号のsustina車両<sup>(1)</sup>を納入した。その側構体は外板同士を突合せ溶接に変更し、出入口、窓周囲の凹凸もなくした平滑な外観を実現していた。

しかし、その量産化にあたっては課題があり、その後のsustina車両では平滑な外観を実現することができなかった。

2015年度、構造と製造手順の見直しにより、量産における課題を解決し、平滑な外観を実現できるsustina車両側構体の量産設備を導入した。

本稿ではsustina側構体における各製造工程に沿って、そこで用いる設備や工法について解説する。

側構体の組立手順は以下の通りである。

(1) レーザ溶接を用いた側外板の突合せ溶接（出入口上部で分割したブロック単位）

並行して車端、出入口間の骨組みブロックを製作

(2) 外板結合部の仕上げ

(3) 抵抗スポット溶接を用いた骨組みブロックと外板の接合

(4) 側総組立（ブロック同士の結合）

(5) レーザ溶接を用いて出入口や窓周囲の隅肉溶接

当社はこれまで、一部の側外板や屋根板の接合に対し、レーザを用いた突合せ溶接を積極的に採用してきた。レーザ溶接は、従来のTIG溶接や、MIG溶接よりも入熱量が格段に少なく、歪みがほとんど出ないため、外観品質が向上した。また、施工後の修正作業も不要であるため、生産性向上と工数低減ができた。さらに、手作業による薄板の突合せ溶接には高い技能が必要だったが、自動化の実現により、技能レスも実現している。

しかし、レーザ溶接による良好なビードを得るためには、材料同士の目違いや隙間の管理を厳しく行わなければならない。鉄道車両の側外板の溶接線は数メートルになるため、全長に渡って目違いや隙間をなくすことは非常に難しい。従来はそれらを目視や手で触れた感触により、その状態を人手で修正しながら施工していたため、1枚あたりの施工にかなりの時間を費やしていた。

2015年度、外板突合せ溶接専用の設備を導入した(図1参照)。この設備は溶接部における材料同士の目違いや隙間をセンサによって計測し、良否判定を行う。その結果を基に自動的に修正できるものは設備が修正し、できないものについては人が修正を行ってから施工を行うことにより、生産性が向上し、材料の無駄も最少にすることができた。



図1 レーザ溶接設備

### 2 側構体製造工程について

#### 2.1 外板の接合工程

sustina車両の側外板は戸袋部で上下2分割になっている。まず、レーザ溶接を用いて上下の板の突合せ溶接を行う。

## 2. 2 外板突合せ溶接部の仕上げ工程

レーザ溶接により外板を突合せ溶接した後、外板を正転（車外側が上）し、溶接部を周囲の母材の外観に近い状態にするための仕上げ作業を行う。

従来、突合せ溶接部の仕上げ作業は100%手作業で行っていたが、高い技能が必要なうえ、作業者によるばらつきも発生していた。そこで技能レスと品質の安定化を目的に自動研磨設備を導入した。

本装置は外板に対する加圧力、研磨ベルトの回転速度やその送り速度等を任意に変更できる。

仕上げ条件の決定にあたっては、sustina第1号車で得た知見を深度化し、そこに現場作業者のノウハウを付加した。結果的に図2のような母材の外観に溶け込むような仕上げ状態を実現できた。

さらに自動化と作業手順の統一により、作業者が変わっても、ほぼ同じ外観品質を得られるようになった。

この自動研磨設備による外観品質と仕上げ作業時間は前述の突合せ溶接の出来栄への影響を大きく受ける。突合せ溶接部に目違いがあると、研磨ベルトが外板に対して触れない部分が出るため、その場所が図3のように筋として残る。この筋を消すには外板をさらに削り込む必要があるため、それだけの追加作業が加わり、さらに外板の強度低下も招く。したがって、外板の溶接工程では目違いに対して細心の注意を払う必要がある。

また、加圧力や回転速度等のパラメータを統一しても、研磨材の磨耗状態によって、外観が変わってしまう。常に同じ外観を得るためには、使用時間や距離等で研磨材の管理をする必要がある。

仕上げの良否に対する判断については当面の間、限度見本を製作し、それと比較する官能検査に依ることになるが、いずれ自動的に判定する機能を付加したいと考えている。



図2 仕上げた外板

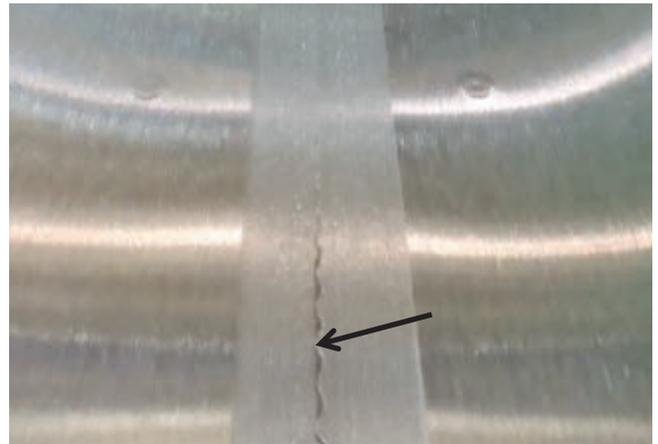


図3 目違いによる仕上げムラ

## 2. 3 外板と骨組みの結合工程

外板を結合し、突合せ溶接部を仕上げた後、自動スポット溶接設備を用いて、銅定盤の上で外板と骨組みブロックや外板補強等を結合する（図4参照）。

sustina側構体の量産化にあたり、自動抵抗スポット溶接設備も更新した（図5参照）。この設備は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与えることができる。これにより圧痕の改善を目指している。

図6はSUS301L-1/4H厚さ1.5mmの外板とSUS301L-H厚さ0.8mmの外板補強の組合せにおける、従来の抵抗スポット溶接部の圧痕と、新自動抵抗スポット溶接設備による溶接部の圧痕の外観写真である。新設備の圧痕の方が従来のものよりも直径が小さいが、ナゲットの溶け込み深さと直径はJRISの規定値を満たしている。

しかし、圧痕は小さくなったが、焦げ付きはなくならないため、電解作業はなくなっていない。

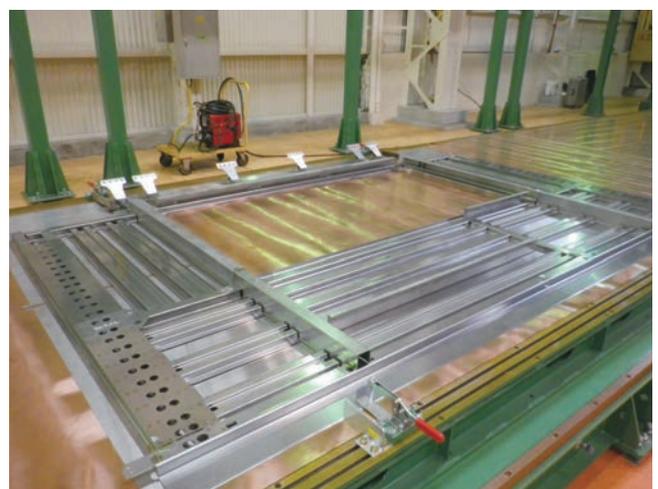


図4 銅定盤上の試作側構体



図5 側自動スポット溶接設備

sustina第1号車ではロボットの先端にレーザ加工ヘッドとセンサを取り付け、隅肉溶接を行ったが、20mの可動範囲を持つ設備は場所を取るうえ、全開口部のティーチング作業、あるいはその修正作業は非常に手間のかかるため、ハンドタッチ型<sup>(2)</sup>のものに変更した。ハンドタッチ型のレーザはセットも扱いも非常に簡単だが、隅肉溶接部（図8参照）に対する狙いは非常にシビアであるため、トーチの角度を一定に保つ補助具が必要になる。

課題は外板とフレームをとめるための抵抗スポット溶接の歪によって発生する隅肉溶接部の隙間である。隙間の状態によっては全く溶接できないことがあるため、その管理は非常に重要である。

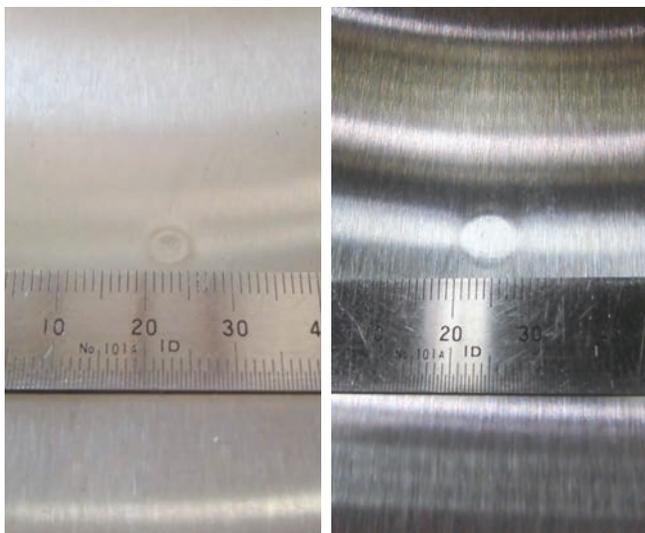


図6 圧痕外観写真（左：新設備，右：従来機）



図7 試作構体を用いたハンドレーザの練習の様子

## 2.4 側構体総組立工程

出入口開口ごとに組み立てられた側ブロックは組立工程で結合され、側構体になる。sustina第1号車では、20mもの銅板上で側構体にしたが、1ステージにおける滞留時間が長くなってしまったため、量産車からは従来通り、出入口間のブロックごとに製造し、総組立工程で出入口上部で結合することにした。

## 2.5 出入口部、窓部の隅肉溶接工程

最後に出入口部と窓部の隅肉溶接を行う。sustina側構体は、平滑な外観を得るために、従来、車外側から取り付けられている出入口フレームや窓フレームが車内側に入っている。したがって、雨水等が外板とフレームの隙間から浸入したり、剥き出しになった外板の端部にお客様が手で触れて怪我をしたりといった可能性があるため、出入口周囲、窓周囲に対し、レーザ溶接で隅肉溶接施工する（図7参照）。

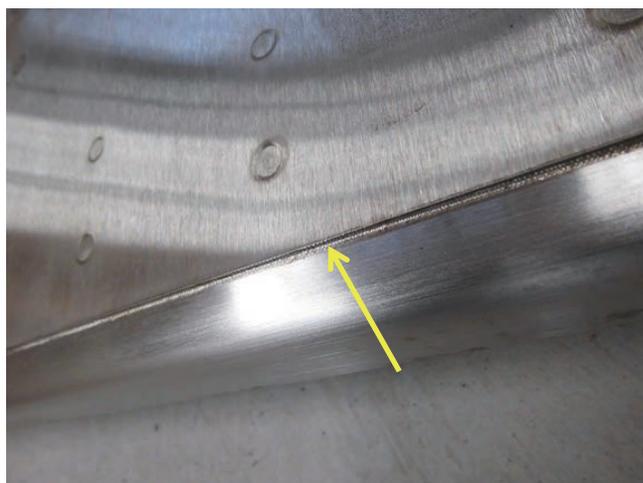


図8 溶接ビード（矢印先端）

### 3 おわりに

sustina車両の側構体量産化について、製造工程順に製造設備も併せて紹介してきた。この側構体量産設備の構築にあたってはsustina第1号車で得た技術やノウハウを生かし、設計や、工順、工法の見直しを行った。

特に外板の突合せ溶接工程と外板仕上げ工程については、外観品質だけでなく、大幅な生産性向上を実現できた。これらの工程を量産に乗せることができたことは、他社との差別化をするうえで大きな意味を持つ。

今後は量産ラインを運用しながら、さらなる安定化と生産性向上を目指す。

#### 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 第2号，4-11，(2013)，(株)総合車両製作所
- (2) 遠藤翔太，他：「ハンドトーチ型レーザーによる水密溶接技術の開発」，総合車両製作所技報 第4号，46-51，(2015)，(株)総合車両製作所

#### 著者紹介



**側垣 正**  
生産本部  
生産管理部（生産技術） 主査



**室橋 強**  
生産本部  
生産管理部（生産技術） 課長



**門脇文俊**  
生産本部  
生産管理部（生産技術） 課長代理



**越川 純**  
生産本部  
生産管理部（生産技術）



**大塚広貴**  
生産本部  
生産管理部（生産技術）

## マグネシウム合金のレーザー溶接技術

Laser Welding of Magnesium Alloy

吉澤正皓 Masaaki YOSHIZAWA

マグネシウム合金は、既存の実用金属の中でも軽量かつ高強度である。現在の高速鉄道車両にはアルミニウム合金が使用されている。将来においてアルミニウム合金よりも軽量であるマグネシウム合金を鉄道車両構体に用いるための研究が各所で行われている。鉄道車両製造には溶接が必須技術である。アーク溶接、抵抗スポット溶接が鉄道車両製造における溶接方法の主流である。このほかに近年ではレーザー溶接やFSWも広く使用されている。当解説ではマグネシウム合金のレーザー溶接について解説する。

### 1 はじめに

当社の製造する鉄道車両の大半はステンレス鋼製である。これは主に通勤車両として使用されている。対して特急車や新幹線車両においては軽量のアルミニウム合金が使用されている。

車体が軽量であることは鉄道車両において重要な開発目標の一つである。近年、アルミニウム合金より軽量のマグネシウム合金を鉄道車両用の材料として使用する動きがある。マグネシウム合金は密度がアルミニウム合金の約2/3であり、大幅な軽量化が見込まれる。

マグネシウム合金はアルミニウム合金同様に圧延材、押出型材の製作が可能である。現在、アルミニウム合金製車両はダブルスキン押出型材を溶接により組み立てている。マグネシウム合金製車両についてはさまざまな構造を検討中である。

マグネシウム合金の溶接については種々の方法が検討されている。具体的にはアルミニウム合金製車両の主な溶接法であるMIG溶接、TIG溶接、このほかにFSW、レーザー溶接等である。

種々の溶接法の中でレーザー溶接には施工上の利点として低ひずみ、高速溶接がある。これらをマグネシウム合金製車両の製造で実現するため、マグネシウム合金の溶接性の確認実験を実施した。この結果を「マグネシウム合金のレーザー溶接技術」として解説する。

### 2 マグネシウムの物性

鉄道車両構体を構成する材料の熱物性を表1に示す。ただし、合金の種類によって物性値が異なるため、主な構成元素で示した。

表1よりアルミニウムとマグネシウムでは、ほぼ同じ融点、比熱であることがわかる。ただし、マグネシウムの熱伝導率はアルミニウムの約2/3程度である。マグネシウムと鉄では融点、比熱、熱伝導率に2倍以上の差がある。マグネシウムは熱物性としてはアルミニウムに近い性質がある。

表1 熱物性<sup>(1)</sup>

材質	融点 (°C)	沸点 (°C)	比熱 (J/kg・°C)	熱伝導率 (W/m・°C)
Fe	1536	2860	456	78
Al	660	2520	917	238
Mg	649	1090	1038	156

レーザー溶接では表1の熱物性に加えて、材料固有のレーザー波長に対する吸収率という性質が重要である。これは、レーザーを材料に照射したとき、どれだけエネルギーが吸収されるかを示すものである。ここではYAGレーザーやファイバレーザー、半導体レーザーの波長に近い1000nm付近のデータを表2に示した。

表2より、たとえば鉄の場合は吸収率が約40%であるから、投入したレーザーのエネルギーの約40%が熱となり加工に寄与する。三種の金属を比較するとマグネシウムは鉄とアルミの中間に位置する吸収率を有していることがわかる。

表2 レーザー波長 1000nm 付近の吸収率<sup>(2)</sup>

材質	Fe	Al	Mg
吸収率	約40%	約10%	約25%

マグネシウムの吸収率はアルミニウムに比べて2倍以上であり、なおかつ2つの材料の熱物性は同程度であることから、マグネシウムはアルミニウムよりレーザによって加熱が容易であると考えられる。また、マグネシウムと鉄を比べた場合、熱物性、吸収率に大きな差がある。

次章においてはマグネシウム合金と、実際に鉄道車両構体に使用されるステンレス鋼について溶接性の比較を行う。両合金の諸物性は省略するが、マグネシウム合金とステンレス鋼の物性の関係はマグネシウムと鉄と同程度である。

### 3 マグネシウム合金の溶接性

#### 3.1 マグネシウム合金の溶け込み

レーザ溶接におけるパラメータは溶接時に容易に変更可能なレーザ出力、溶接速度、加工ガス流量や、装置側の構成を変更する必要があるビーム径、ガスノズル径・角度等がある。

まず初めに溶接速度とガスノズル径をパラメータとした時のマグネシウム合金の溶け込みについて調査した。表3に結果の断面マクロ写真を示す。材料は板厚が3mmのマグネシウム合金である。継手はビードオンプレートとした。溶接部近傍は溶接前にワイヤブラシにより酸化被膜を除去した。使用したレーザは波長940nmの半導体レーザである。レーザ出力は3kW、ガス流量は純Ar 15L/minに固定した。

表3 マグネシウム合金の溶け込み

溶接速度 (m/min)	ガスノズル 径φ4	ガスノズル 径φ12
4.0		
5.0		
6.0		
8.0		

表3よりガスノズルが細いほうが、比較的溶け込みが深い傾向にあることがわかる。この傾向はステンレス鋼板の場合においても同様である。3mm板を貫通溶接するには、およそ4.0m/min未満の溶接速度が必要であると考えられる。

板厚3mmのステンレス鋼において、同様にレーザ出力3kWで溶接した場合の断面マクロ写真を表4に示す。ここでは溶接速度をパラメータとしている。なお、ガス流量は純Ar 30L/minである。

表4の中で最も速い溶接速度3.0m/minにおいては、およそ1mm程度しか溶け込み深さが得られていない。3mmの厚さを貫通溶接するためには0.6m/minの溶接速度が必要となっていることがわかる。

表4 マグネシウム合金の溶け込み

溶接速度 (m/min)	ガスノズル 径φ4
0.6	
0.9	
1.5	
3.0	

これらの断面マクロ写真から求めた溶接速度ごとの溶け込み深さの比較を図1に示す。なお、溶込み深さ3mmの位置のステンレス鋼板のプロットは、貫通溶接されているため参考の点である。グラフを横軸方向に見ていくと、Mg合金がある溶込み深さを得ようとした場合、ステン

レス鋼板に比べて5倍程度速い溶接速度でよいとわかる。

表2のレーザ吸収率ではマグネシウムは鉄の半分程の吸収率であったが、マグネシウム合金はステンレス鋼よりも高速で溶接が可能であることがわかった。

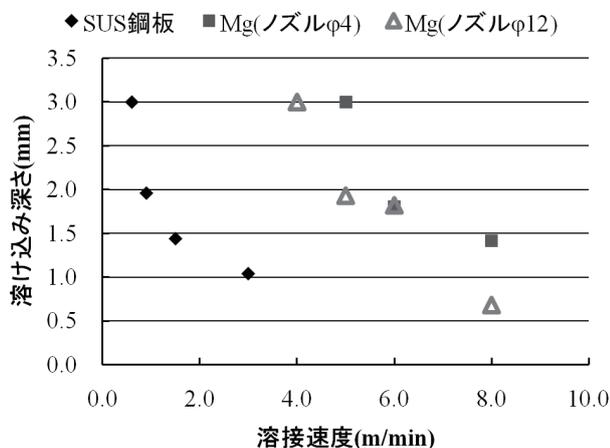


図1 溶け込み深さの比較

### 3.2 マグネシウム合金の酸化被膜

アルミニウム合金のレーザ溶接では母材に比べて融点の高い酸化被膜が溶接を阻害する。またアーク溶接においても溶接欠陥を発生させる原因となる。マグネシウム合金の表面に存在する酸化被膜も同様に、レーザ溶接にとって有害である。しかし、実際に酸化被膜を除去しない状態でレーザ溶接を行った例は少ない。ここでは引き続き前節の半導体レーザを用いて、マグネシウム合金表面の酸化被膜を除去した場合としない場合でどのような結果となるかを確認した。

継手形態は突合せとして、溶接予定線の前半は酸化被膜をワイヤブラシにより除去し、後半は材料のままとした。板厚は3mmである。溶接条件はレーザ出力3kW、溶接速度5.0m/min、ノズル径φ4である。図1によると約3mmの溶込みが得られる条件である。

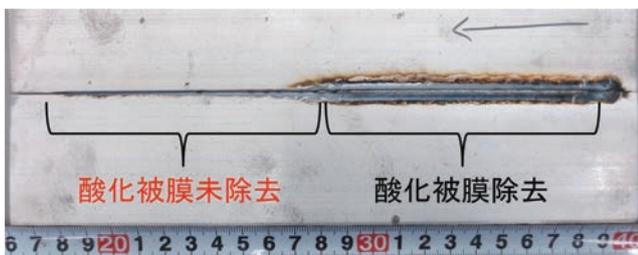


図2 突合せ継手の外観

レーザは紙面右から左に向かって進行している。初めに酸化被膜を除去した区間を通過する。ここでは溶接ビードが形成されビード止端の周囲にヒュームが付着して

いる。後半の酸化被膜を除去していない区間では、溶接ビードが形成できていない。わずかに板の表面の一部と、ルート面が若干溶融しただけである。レーザ出力は一定のまま、一定速度で溶接を行っているわけであるから、この差異は酸化被膜の有無が原因にほかならない。

酸化被膜を除去していない部位に照射されたレーザは一部が材料に吸収されるが、材料を溶融させる程ではない。大部分は反射し空間中に拡散していったと考えられる。酸化被膜の除去はレーザ溶接に際して重要なことがわかる。

## 4 マグネシウム合金の溶接継手の例

図3は厚さ3mmの板を突合せ溶接（裏当て有り）した断面マクロ写真である。レーザ装置は半導体レーザである。第3章で述べたようにマグネシウム合金はステンレス鋼に比べて高速で溶接することが可能である。その反面、突合せ溶接では裏波や一部母材の蒸発等により、ビード表面が落ち込みやすい。

溶込みは裏当て板にまで達しており十分であるが、ビード表面に若干のアンダカットが発生している。このアンダカットを低減する方法としては溶接条件や光学系、またはワイヤの添加が考えられる。

ここではワイヤを添加する方法について述べる。ワイヤを添加する方法にも種々ある。レーザによる溶融池に対して常温のワイヤを送給する方法、ワイヤに電流を流しジュール発熱により融点直下まで加熱し、送給するホットワイヤという方法、またはレーザとアークを併用したレーザアークハイブリッド等である。

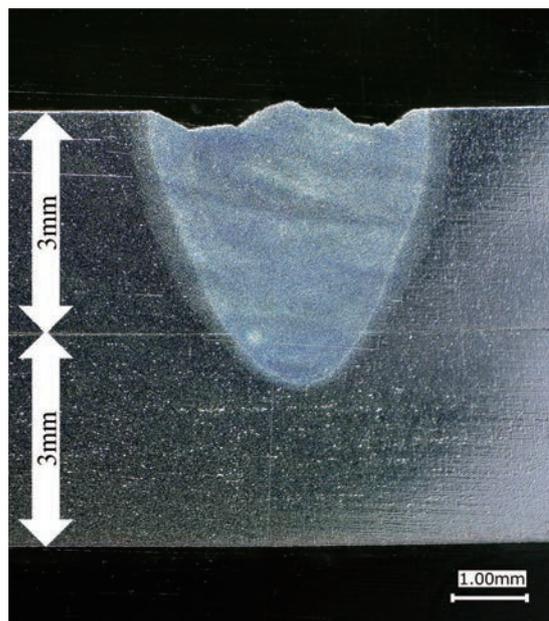


図3 半導体レーザによる突合せ溶接（裏当て有）

図4に半導体レーザーにおいて常温のワイヤを添加し溶接した断面マクロ写真を示す。図3に比べてカットは減少している。余盛りが低い、現在溶接条件の調査中であり今後改善を行っていく予定である。

この方法の場合、レーザーのエネルギーにより母材およびワイヤを溶融させなければならない。そのため、入熱量が増加してしまう。また、ワイヤの狙い位置、ビーム径、溶接速度とワイヤ送給速度の関係等、通常のレーザー溶接に比べてパラメータが増える。現在は、溶接速度とワイヤ送給速度の比であるワイヤ送給比を主なパラメータ設定し実験を継続して行っている。

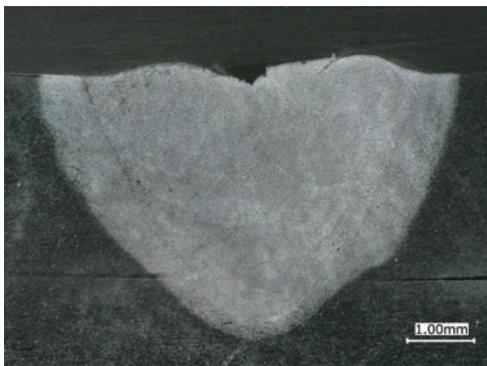


図4 ワイヤを添加した例（半導体レーザー使用）

図4の方法に対してホットワイヤ法では、先に述べたようにジュール熱によりワイヤを融点近くまで加熱させるため、レーザーはほとんど母材を溶融させるだけで良い。また、通常のワイヤ送給に比べて溶着金属の量を制御しやすいという利点がある。ホットワイヤ法による溶接部の断面マクロ写真を図5に示す。使用したレーザーはファイバレーザーである。熱影響の範囲も小さく、なおかつ非常に整った余盛りを形成している。

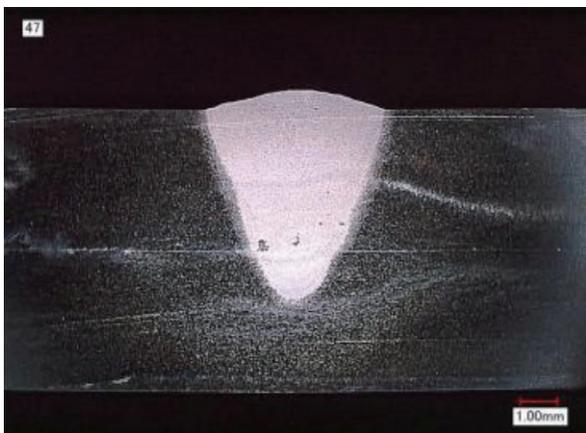


図5 ホットワイヤによる溶接例（ファイバレーザー）

## 5 おわりに

マグネシウム合金とステンレス鋼との溶込みの比較、およびワイヤを添加したいくつかの実験を実施し、基礎的なマグネシウム合金の溶接性を確認した。

マグネシウム合金はステンレス鋼よりも高速で溶接が可能な合金であることがわかった。また、酸化物がレーザー溶接に与える影響について確認した。ワイヤを添加した溶接試験ではホットワイヤの有効性を確認した。

今後は溶接条件の最適化を行い、より実際の構造物に近い試験体での実験を行いたいと考えている。

## 参考文献

- (1) (一社) アルミニウム協会：「アルミニウムハンドブック（第6版）」，29，（2001），（株）昭栄社印刷所
- (2) 中田一博：「マグネシウム合金の溶接」，溶接技術，121，（2012），産報出版（株）

## 著者紹介



吉澤正皓  
生産本部  
技術部（接合技術センター）

## 国内と海外の溶接技術検定の比較検討

### Comparison of Domestic and Foreign Welder's Qualification Testing

大塚陽介 Yosuke OTSUKA

溶接作業においては、溶接士の技量が大きく品質に影響する。そのため、溶接技術検定による技量管理が必要となる。日本国内の鉄道車両製造では、JIS規格に基づいて検定試験を行い、公的機関や各事業者によってその認証が行われている。海外においてはISO規格やEN規格等で同様の規格が発行されているが、その内容は国内のものとは異なっている。今後、海外案件を受注するにあたって、ISO規格等の国際的に認知された規格の適用が要求されることが想定される。ここでは、従来実施しているJIS規格による検定とISO規格によるものについて、その内容を比較し、ISO規格の検定を行う上での課題について述べる。

#### 1 はじめに

溶接作業においては、溶接士の技量が大きく品質に影響する。そのため、溶接技術検定による技量管理が必要となる。日本国内の鉄道車両製造では、JIS規格に基づいて検定試験を行い、公的機関や各事業者によってその認証が行われている。海外においてはISO規格やEN規格等で同様の規格が発行されているが、その内容は国内のものとは異なっている。今後、海外案件を受注するにあたって、ISO規格等の国際的に認知された規格の適用が要求されることが想定される。ここでは、従来実施しているJIS規格による検定とISO規格によるものについて、その内容を比較し、ISO規格の検定を行う上での課題について述べる。

#### 2 溶接技術検定に関する規格

溶接技術検定は、検定試験と資格認証の2つに大別される。軟鋼の半自動溶接に関する検定試験と資格認証における国内のJIS規格と海外のISO規格の構成を表1に示す。これ以外にもヨーロッパのEN規格、アメリカのAWS規格によるもの等がある<sup>(1)</sup>。ヨーロッパは、以前はEN 287シリーズの独自の規格であったが、鋼 (steel)

についてはEN ISO 9606-1に置き換わり、ISO規格を参照するようになっている。また、JIS規格による検定試験の資格認証は、日本溶接協会規格のWES 8241によって行われているので、これも参照する。

#### 3 規格の要求事項の比較

JIS Z 3841 : 1997およびWES 8241 : 2013と、ISO 9606-1 : 2013に関して、それぞれの規格の重要な項目について詳細に比較を行う。

検定試験の流れは、検定材の溶接および学科試験→外観試験→破壊試験または非破壊試験である。

##### 3.1 必須確認項目 (essential variables)

ISO 9606-1では必須確認項目として以下の8項目を規定している。これら8項目についてJIS規格との比較を行う。

- ① welding process 【溶接法】
- ② product type (plate or pipe) 【製品の種類】
- ③ type of weld (butt or fillet) 【溶接の種類】
- ④ filler material group 【溶接ワイヤのグループ】
- ⑤ filler material type 【溶接ワイヤの種類】
- ⑥ dimension (material thickness and pipe diameter) 【寸法】

表1 軟鋼の半自動溶接に関する検定試験・資格認証の規格

項目	国内 (JISまたはWES)	海外 (ISO)
検定試験	JIS Z 3841	ISO 9606-1
溶接施工要領書	—	ISO 15609-1
承認範囲	鉄道車両の場合JRIS W 0121	ISO 9606-1
資格認証	WES 8241	ISO 9606-1
外観判定基準	JIS Z 3841 および 外観試験の合否判定指針	ISO 5817

## ⑦ welding position 【溶接姿勢】

⑧ weld detail 【溶接の詳細】 (backing, single side welding, both side welding, single layer, multi layer, leftward welding, rightward welding)

また、ISO規格では承認の範囲をこの規格にて規定している。JIS規格では規定していない。団体規格である日本溶接協会規格 (WES 7101) や日本鉄道車輛工業会規格 (JRIS W 0121) にて資格とその作業範囲について規定がある。ここでは鉄道車両の溶接作業について取り扱うため、承認範囲についてはJRIS規格との比較を行う。

## 3. 1. 1 溶接法 (welding process)

ISO規格では溶接法ごとに試験を行い、承認することになっている。JIS規格では溶接法または材料によって規格が分けられていて、承認範囲も同様である。

## 3. 1. 2 製品の種類 (product type)

ISO規格では板-板、管-管、板-管 (すみ肉) の溶接の3種類を規定している。JIS規格では板-板、管-管の2種類である。これは3.1.3項のとおり、JIS規格ではすみ肉がないためである。

## 3. 1. 3 溶接の種類 (type of weld)

ISO規格では突合せとすみ肉の2種類があり、突合せとすみ肉はそれぞれに対して試験を行うことを要求している。ただし、追加のすみ肉試験を実施すれば、突合せの承認範囲ですみ肉も承認される。

一方でJIS規格では突合せのみとなっている。突合せ溶接はすみ肉溶接と比べて高い技量が要求されるため、突合せだけで十分とする思想と考えられる。

## 3. 1. 4 溶接ワイヤのグループ (filler material group)

ISO規格では溶接ワイヤを材料の種類によってグループ分けしている。試験に用いた溶接ワイヤのグループに加え、他のグループ材料も承認する場合がある。

JIS規格では、基本的には同様であるが、試験に用いた溶接ワイヤの種類のみ承認している。そのため、材料ごとにJIS規格の資格を保有している。

## 3. 1. 5 溶接ワイヤの種類 (filler material type)

ISO9606-1は、ティグ溶接も含んだ規格となっているため、溶加材の使用の有無について規定がある。溶加材を使用した場合、溶加材を使用しない溶接は承認していない。これの逆も同様である。また、試験で使用した溶

加材のほかに、別の種類の溶加材を承認する場合がある。

JIS Z 3841は半自動溶接に関する規格のため溶接ワイヤは必ず使用する。ティグ溶接に関する規格はJIS Z 3801であるが、特に溶加材の使用の有無については規定していない。

## 3. 1. 6 寸法 (dimension)

ISO規格は、突合せではその承認範囲に関して3種類の板厚区分がある。試験に用いる材料の板厚については受験者が自由に選択できる。板厚に対する承認範囲は、突合せの場合は溶接金属の厚さ $s$  [mm] により、3 mm未満は $s \sim 3$ ,  $2s$ の大きいほう、3 mm以上、12 mm未満は $3 \sim 2s$ , 12 mm以上は3 mm以上としている。すみ肉は板厚 $t$  [mm] により、3 mm未満は $t \sim 3$ ,  $2t$ の大きいほう、3 mm以上は3以上となる。

JIS規格でも板は3種類の板厚区分となっているが、これは試験に用いる材料の板厚の種類である。軟鋼の場合は3.2mm, 9.0mm, 19.0mmとなっている。また、板厚に対する承認範囲はJRIS規格では規定されていない。WES規格 (WES7101) では試験に用いた母材板厚の $1/2 \sim 2$ 倍までという規定があるが、あくまでも目安として考えるものである。板厚に関する承認範囲については、双方の規格で大きく異なる点の一つである。

## 3. 1. 7 溶接姿勢 (welding position)

溶接姿勢に関する承認範囲を比較したものを表2に示す。ISO規格では、突合せでは下向 (PA), 横向 (PC), 立向上進 (PF), 立向下進 (PG), 上向 (PE) の5種類がある。下向が一番難易度は低く、横向、上向の順で高くなる。そのため、横向の姿勢で受験すれば、下向も承認される。上向きの場合は下向と横向も承認範囲となる。立向については、上進の場合は下向も承認されるが、下進ではその1種類のみ承認となり、下向は承認されない。基本的な考え方は、実際の作業姿勢がその承認範囲に入らなければならないということである。

JIS規格では下向、横向、立向、上向の4種類がある。JIS規格では立向の溶接方向 (上進、下進) を指定していない。作業の承認範囲については鉄道車両ではJRIS規格に規定がある。取得している溶接姿勢によってそれらを級別に分けて、実際の溶接作業を行う部位の溶接等級とリンクさせている。台車のような一番重要な部位はA級となり、溶接資格は下向、立向、横向のすべてを取得した1級の溶接士でなければならない。ここでは実作業での溶接姿勢は問われない。

表 2 溶接姿勢に関する承認範囲

項目	国内 (鉄道車両の場合)			項目	海外 (ISO)		
規格	JRIS規格 (検定試験に関するJIS規格では承認範囲を規定していない)			規格	ISO規格 (検定試験に関するISO規格の中で承認範囲も規定している)		
資格の級別	1級	2級	3級	試験姿勢	下向	横向	上向
取得している溶接姿勢	下向 立向 横向	下向 立向	下向	資格の範囲 (作業可能な溶接姿勢)	下向	下向 横向	下向 横向 上向
作業可能な溶接等級	A級	B級	C級				
特徴	取得している溶接姿勢が多いほど、技量が高いと判断している。重要部位の溶接は1級の溶接士が行う。その際の溶接姿勢は問わない。			特徴	高い難易度の試験姿勢であれば、それより低いものも資格の範囲に入る。実際の溶接作業は、資格の範囲に入っていなければならない。部位の重要度は関係ない。		

### 3. 1. 8 溶接の詳細 (weld detail)

#### a) 裏当て (backing)

ISO規格では裏当て有り、無し2種類がある。裏当て無しで合格すれば裏当て有りも承認している。

JIS規格でもISO規格と同様に裏当て有り、無し2種類である。

#### b) 片面溶接, 両面溶接 (single side welding, both side welding)

ISO規格では片面溶接と両面溶接の2種類がある。片面溶接に合格すれば両面溶接も承認される。

JIS規格では難易度の高い片面溶接のみである。

#### c) 1層, 多層 (single layer, multi layer)

ISO規格では1層と多層を区別している。1層の溶接の場合は1層のみ承認し、多層の溶接の場合は両方を承認する。

JIS規格では層数に関する規定はない。

#### d) 左進溶接, 右進溶接 (leftward welding, rightward welding)

ISO規格では左進溶接と右進溶接の規定をしているが、承認範囲には含めていない (いずれでもよい)。これはJIS規格でも同様である。

## 4 試験方法

### 4. 1 試験片

ISO規格では突合せ継手の試験片寸法は125×200を最小としている。この寸法はJIS規格のものと同じである。

### 4. 2 溶接方法

ISO規格では溶接施工要領書 (WPS【Welding Procedure Specification】) に従って溶接を行う。また、初層と最終層で少なくとも1回アークを中断して、つながなければならない。途中、ビードのグラインダでの修正は認められているが、最終層で外観として残る部分は修正してはならない (中断後、溶接でかぶせてしまうクレータ部はよい)。

JIS規格では規定は無く、溶接士が自分で溶接条件を考えて溶接を行う。また、中断の規定もない。この点もそれぞれの規格で大きく異なる点である。

### 4. 3 試験内容

ISO規格では外観試験と破壊試験 (曲げ試験, 放射線透過試験, 破壊試験のいずれか) を要求している。

JIS規格では外観試験と破壊試験 (曲げ試験) を要求しており、同等である。

## 5 合格基準

### 5. 1 外観試験 (Visual test)

ISO規格ではISO 5817の品質レベルB (またはC) を合格としている。突合せ継手では確認項目は20種類である。

JIS規格では詳細な内容は規定されていない。そのため日本溶接協会が発行する「外観試験の合否判定指針」により補完されており、これにより判定を行っている。突合せ継手では確認項目は19種類である。

外観試験の判定基準についてISO規格と国内のものを比べると、ISO規格のほうが国内の基準よりも厳しいものが多い。

## 5.2 曲げ試験 (Bend test)

ISO規格では3mm以上の割れは認めないとしている。また、1mmを超え、3mm未満の割れの合計が10mm以上でも不合格となる。

JIS規格では同じく3mm以上の割れは認めていない。さらに3mm未満の割れの合計が7mm以上、ブローホールや割れの個数が10個以上も認めないとなっている。この点はJIS規格のほうが厳しい。

ISO規格とJIS規格を比べると、JIS規格は外観試験の合格基準がISO規格よりもやや低いが、曲げ試験はISO規格よりも厳しい。両方を総合的に判断すると同等である。

## 6 学科試験

ISO規格では学科試験は任意である。資格認証を規定しているWES規格では学科試験を要求しており、正解率60%以上を合格としている。

## 7 有効期間

ISO規格では証明書の有効期間は6ヶ月となっている。以降、作業内容を証明することによって延長が可能となっている。再評価は、以下の3種類の方法のいずれかで行う。

- ①3年経過した時点で再試験する
- ②2年ごとに溶接部の放射線透過試験または超音波試験の記録を検証して、2年延長する
- ③溶接士が同一事業所に所属し、ISO 3834の品質マネジメントの下で作業していて、その溶接品質が合格していることを記録されている場合は、さらに6ヶ月延長する

JIS規格では有効期限は12ヶ月で、証明によって延長が可能である。また、3年経過した時点で再試験を受ける。

## 8 まとめ

溶接技術検定に関するJIS規格とISO規格において、

その内容が異なる項目を表3に示す。それぞれの規格の内容は、大きく見ればほぼ同等と考えられるが、ISO規格は、細かいところまで規定がなされている。国内のJIS規格についてはやや大らかといった印象である。現状のJIS規格による検定を合格できる溶接士であれば、ISO規格によるものもクリアできると思われるが、溶接の中断などの溶接方法の違いや外観試験の基準の違いがあるため、溶接士に対して十分な教育が必要である。

## 9 おわりに

JIS規格による溶接技術検定とISO規格によるものについて、その内容について比較検討を行った。現状、国内はJIS規格による検定が主体であるが、日本溶接協会ではISO規格による資格認証も始まったところである。しかしながら、両方の認証をとるには費用面での負担も大きく、使用者として最も望まれるのは、それらの規格の統一である。これも非常にハードルが高く、難しいことである。今後の海外展開を考慮するとISO規格による資格認証の重要性が増すと考えられるため、その動向について引き続き注視していく。

## 参考文献

- (1) 日本工業標準調査会 標準部会：「溶接技術検定制度に関する報告書(案)」, 溶接技術専門委員会 第4回溶接技術検定小委員会 配付資料, (2009), 日本工業標準調査会

## 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

表3 国内と海外の溶接技術検定で内容の異なる項目

項目	国内	海外
板厚の承認範囲	WES規格で目安となるものはあるが、詳細には規定していない。	試験した板厚に対して、明確な承認範囲が規定されている。
溶接姿勢の承認範囲	鉄道車両業界では、取得している溶接姿勢により溶接士を級別に分け、それを部位の重要度(溶接等級)とリンクさせている。実際の作業姿勢は問われない。	試験した溶接姿勢により、作業可能な溶接姿勢の承認範囲が決まっている。難易度の高い溶接姿勢では、それより低いものも認証される。溶接品の重要度とはリンクしていない。
溶接条件	溶接士自身が溶接条件を考えて行う。溶接の中断は必要ない。	用意されたWPSに従って溶接を行う。また、溶接の中断と再スタートが必要である。
学科試験	必須であり、合格点は60点以上である。	学科試験は任意である。

## 抵抗スポット溶接品質の安定化に向けた取り組み

Study of Technology to Improve the Robustness of Resistance Spot Welding

渥美健太郎 Kentaro ATSUMI  
河田直樹 Naoki KAWADA  
大塚陽介 Yosuke OTSUKA  
石川 武 Takeshi ISHIKAWA

一般的に溶接に要求される品質には強度、じん性、延性などがあるが、それらの諸特性が安定的に得られることも重要な要素となる。ステンレス鋼製車両で使用する抵抗スポット溶接に関しても同様に、溶接部（ナゲット）が安定的に得られることが求められる。抵抗スポット溶接における安定性を阻害する要因の一つにギャップを挙げることができるが、このギャップに対する安定性（ロバスト性）を向上するために何の因子が重要であるのか調査した文献は少ない。そこで、溶接条件の各要素がギャップに対するロバスト性にどの程度寄与するのかを調査した。

### 1 はじめに

当社ではステンレス鋼製車両を主に車両製造を行っているが、その構体製造ではアーク溶接、抵抗スポット溶接およびレーザー溶接を用いて接合が行われている<sup>(1)</sup>。

抵抗スポット溶接は2枚以上重ねられた被溶接材を1対の電極で加圧しつつ電流を流し、その接触面に発生する抵抗発熱によって加熱し接合する溶接法である。

抵抗スポット溶接では良好な溶接品質を得るためには適切な溶接条件を選定することが重要であるが、外乱によって溶接品質がばらつくことが考えられる。抵抗スポット溶接における外乱のひとつとして、図1に示すような被溶接材どうしのギャップなどが挙げられる。

抵抗スポット溶接における溶接品質のばらつきとはナゲット径の大きさのばらつきや溶込みのばらつきを指す。また、場合によっては図2に示すようなチリをとともなうことも考えられる。

溶接品質が良好な溶接結果を安定的に得るためにはギャップを抑制していくとともに、ギャップに対してロバスト（頑健）であるような溶接条件を選択していくことが重要となる。そこで本稿では、溶接条件の各因子がギャップに対するロバスト性に与える影響を調査した内容について報告する。

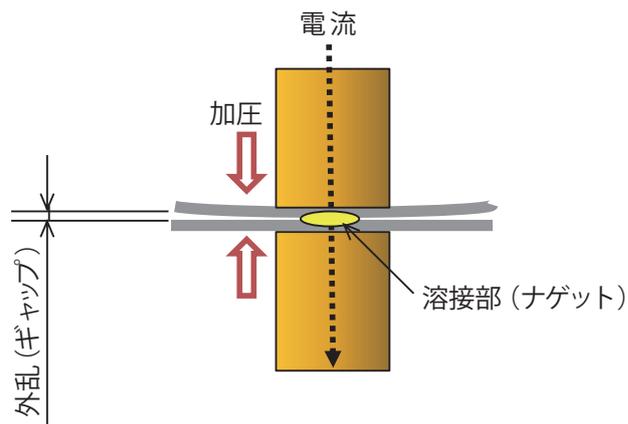


図1 抵抗スポット溶接の外乱（ギャップ）



図2 抵抗スポット溶接のチリ

## 2 実験方法

### 2.1 パラメータ設計の導入

実験にはパラメータ設計を導入した。パラメータ設計は、品質工学（タグチメソッド）による最適化手法で、具体的には「SN比」、「損失関数」および「直交表」の3要素を用いて、研究開発した技術や製品が市場または製造工程で成立するか否かを推し量る評価手法である<sup>2)</sup>。設計対象の基本的な「機能」を定義し、SN比によってその「機能」が誤差や外乱に対してロバスト（頑健）であるかどうかを評価する。また、「直交表」によって、ロバスト性の高い設計因子の抽出と、パラメータの決定が容易になるという特徴がある。SN比とはばらつきが小さく、かつシステムの働きの良さを示す尺度で、以下の式で表わされる。本稿では動特性のSN比を用いている。

$$\text{SN比 } \eta = \text{有効な情報 } \beta^2 / \text{有害な情報 (誤差) } \sigma^2 \dots (1)$$

分母にある誤差（ばらつき）が小さいと、SN比が大きくなり、機能をばらつかせる要因（今回はギャップ）に対してロバスト性が高いことを示している。

### 2.2 実験計画

抵抗スポット溶接に使用する熱エネルギーの収支をシステムと捉え、その入出力関係を基本機能とした。入力には溶接に必要なエネルギーの代用特性として、溶接すべき量に比例する総板厚を選び、出力には溶接に使われた熱エネルギーの代用特性として、実際の溶接断面から得られるナゲット径と溶け込み深さを選んだ。

よって、信号因子は板厚組合せとし、表1に示すものとした。信号因子とはコントロールすることはできるが、設計者が自由に決めることのできない因子のことである。

誤差因子は被溶接材間のギャップとし、その値を表2に示す値とした。ここでは、ギャップ有りの場合の値を経験的に生産現場で発生している1.0mmに設定した。

制御因子は各種の溶接条件とし、それらを表3に示す値とした。そこで用いる標準条件は、信号因子である板厚組合せ（M1からM3）ごとに表4に示す値に設定した。制御因子とは、設計者が自由に決めることが出来る因子のことで、今回は電源、溶接ピッチ、電極形状、加圧力、電流値、通電時間およびスロープ時間とした。

なお、標準条件は信号因子ごとに現場で施工している溶接条件を参考に決定した。なお、誤差因子、信号因子および制御因子の各因子の関係は図3に示す通りである。

表1 信号因子 M

	M1	M2	M3
板厚組合せ	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">SUS301L-H(HT) t0.8</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">SUS301L-1/4H(DLT)t1.5</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">SUS301L-H(HT) t1.5</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">SUS301L-1/4H(DLT)t1.5</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">SUS304 t4.0</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">SUS301L-H(HT) t1.5</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">SUS301L-H(HT) t2.0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">SUS301L-1/4H(DLT)t1.5</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">SUS301L-1/4H(DLT)t1.5</div>

表2 誤差因子 N

	N1	N2
ギャップ (mm)	密着	1.0

表3 制御因子

	1	2	3
A: 電源	直流インバータ電源	交流インバータ電源	-
B: ピッチ (mm)	30	40	50
C: 電極形状 (上)	Φ12-100R	Φ16-100R	Φ16-100R
(下)	銅板 (Flat)	銅板 (Flat)	Φ16-100R
D: 加圧力 (kN)	標準条件 -20%	標準条件	標準条件 +20%
E: 電流値 (kA)	標準条件 -20%	標準条件	標準条件 +20%
F: 通電時間 (cyc)	標準条件 -20%	標準条件	標準条件 +20%
G: スロープ (cyc)	1	3	5

表4 標準条件

	M1	M2	M3
D: 加圧力 (kN)	8.0	7.5	8.0
E: 電流値 (kA)	7.0	8.0	8.0
F: 通電時間 (cyc)	15	30	50

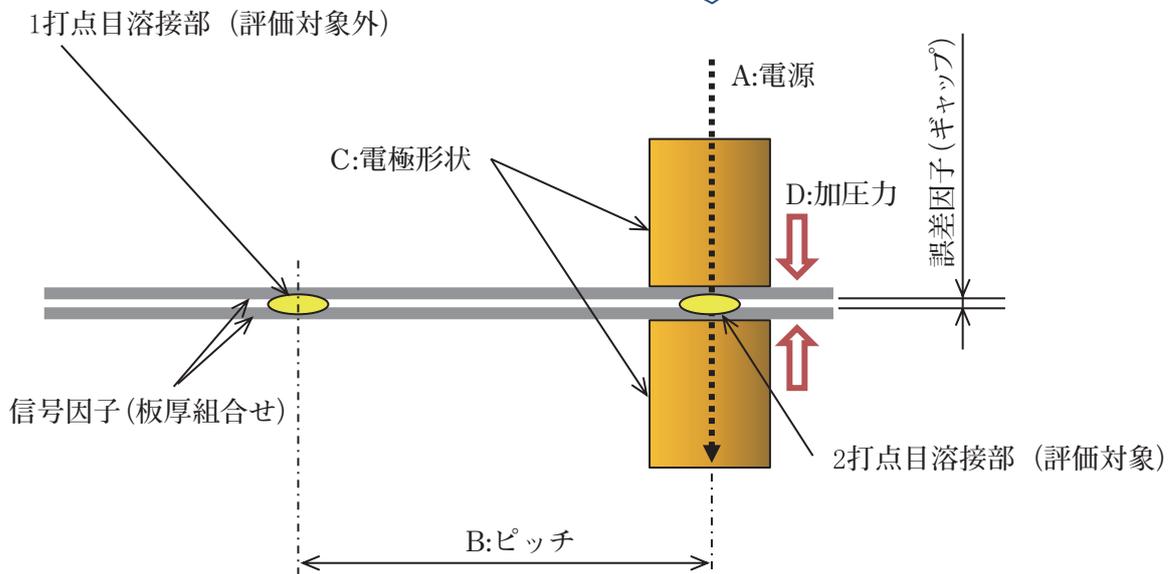
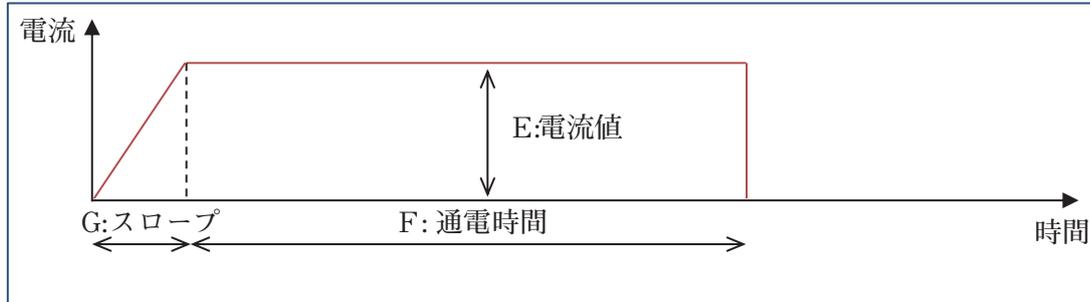


図3 信号因子・制御因子・誤差因子

### 2.3 評価項目

溶接部断面におけるナゲット径（上側および下側）と最も外側の板への溶込み（上側および下側）を測定し、それらの値を計算のうえSN比で評価した。各測定項目の位置関係は図4に示す通り。

なお、試験片は精密切断機にて溶接部の中心を通る断面で切断、その後準備研磨機にて切断した断面を研磨し、シュウ酸水溶液にて断面を腐食させて観察を行った。

### 3 結果

断面測定の結果から得られた要因効果図を図5、寄与率を表5、結果の概要を表6に示す。ここでは解析にSN比を用いたが、SN比は水準間の差が大きい場合に値が高い水準を選択すると、ロバスト性が高いことを示している。

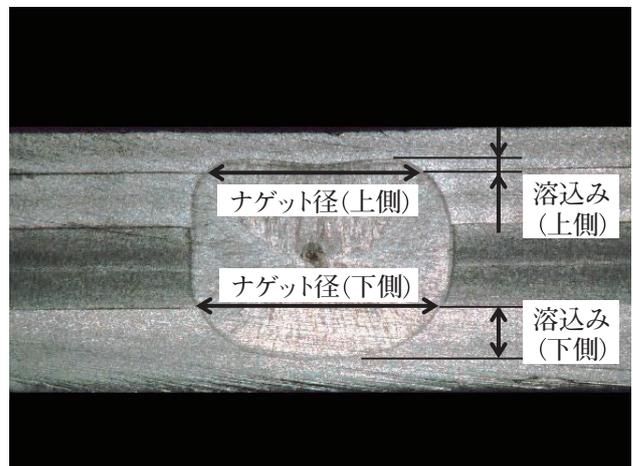


図4 評価項目

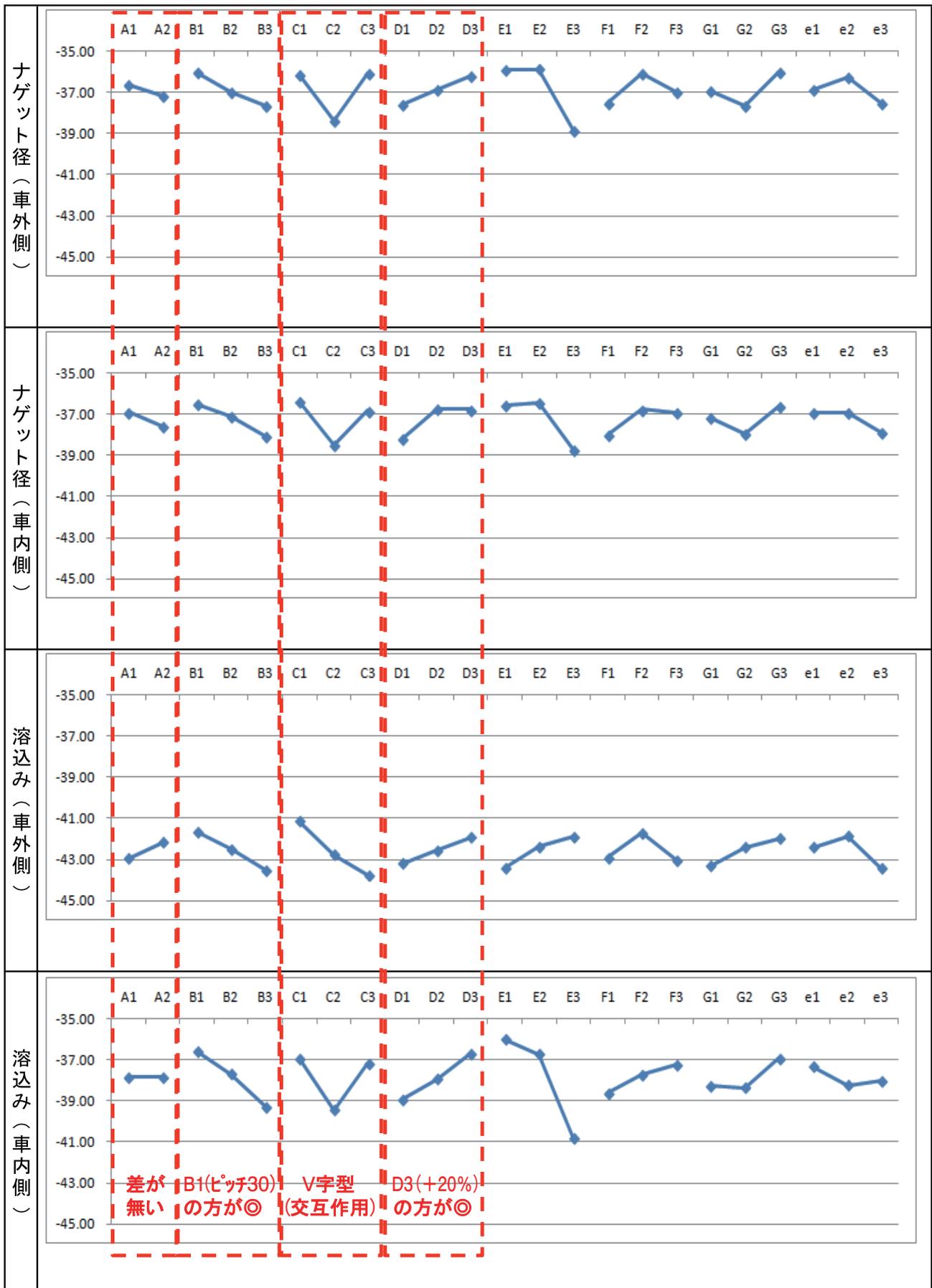


図5 要因効果図

表5 寄与率

	寄与率 [%]							
	A	B	C	D	E	F	G	e
ナゲット上	1.19	7.71	19.01	5.14	32.55	6.05	7.31	16.35
ナゲット下	2.89	9.93	19.49	10.70	26.66	7.36	7.52	10.74
溶込み上	3.88	15.23	30.15	7.06	9.98	9.32	8.00	5.48
溶込み下	0.00	13.77	14.17	9.28	50.26	3.70	4.80	2.34

表6 結果概要

項目	結果概要
A 電源	A1とA2の差がいずれも1dB以下 ⇒ ギャップに対して、電源の差は優位性が無い
B ピッチ	B1(=ピッチ30mm)にすればギャップに対して安定する結果 ⇒ 安定的に分流している可能性有り
C 電極	V型の形状を呈している ⇒ 交互作用
D 加圧力	D3(=標準条件の120%)にすればギャップに対して安定する結果
E 電流値	寄与率がいずれの測定項目でも高い ⇒ ギャップに対する優位性が高い
F 通電時間	寄与率がいずれの測定項目でも比較的低め ⇒ ギャップに対する優位性はそれほど高くない
G スロープ	いずれもG3(=スロープ5cyc)が高い ⇒ スロープは長く設定する方がギャップに対して安定する
e 誤差列	

なお、解析手順は以下に示す通り。

<手順1>全データの2乗和 $S_T$ を求める。

$$S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + y_{13}^2 \dots (2)$$

<手順2>線形式Lを求める。

$$L = M_1 y_{11} + M_2 y_{12} + M_3 y_{13} \dots (3)$$

<手順3>有効除数 $r$ (単位の2乗量)を求める。

$$r = M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 \dots (4)$$

<手順4>比例項の変動(有効成分) $S_\beta$ を求める。

$$S_\beta = L_A^2 / r \dots (5)$$

<手順5>全2乗和から有効成分を差し引き、誤差変動 $S_e$ を求める。

$$S_e = S_T - S_\beta \dots (6)$$

<手順6>自由度 $f$ の値で割り、誤差分散 $V_e$ を求める。

$$V_e = S_e / f \dots (7)$$

<手順7>公式に則り、SN比 $\eta$ [db]を求める。

$$\eta = 10 \log \{ (S_\beta - V_e) / (r \times V_e) \} \dots (8)$$

### 3. 1 制御因子A：電源（寄与率：0.00～3.88%）

すべての測定項目で2水準（交流or直流）の差は1dB程度であり、寄与率も他の制御因子よりも小さい値となった。このことから、制御因子A〔電源〕はギャップに対する優位性がほぼ無いことを示している。

### 3. 2 制御因子B：ピッチ（寄与率：7.71～15.23%）

すべての測定項目でも3水準（ピッチ30, 40, 50mm）のうちB1（ピッチ30mm）のSN比が高い値となった。このことから、ギャップに対して制御因子B〔ピッチ〕はC1（30mm）にした方が溶接結果は安定することを示している。

### 3. 3 制御因子C：電極（寄与率：14.17～30.15%）

3つの測定項目において谷型となった。これは、制御因子Cには交互作用があることを示している。

### 3. 4 制御因子D：加圧力（寄与率：5.14～10.70%）

すべての測定項目で3水準のうちD3（標準条件+20%）でのSN比が最も高い結果を得た。これはギャップに対して、制御因子DはD3（標準条件+20%=高加圧力）にした方が溶接結果は安定することを示している。

### 3. 5 制御因子E：電流値（寄与率：9.98～50.26%）

3つの測定項目においてE1（標準条件-20%）でのSN比が最も高い結果を得た。これはギャップに対して、電流値はE1（標準条件-20%=低めの電流値）にした方が溶接結果は安定することを示している。

### 3.6 制御因子F：通電時間（寄与率：3.70～9.32%）

すべての測定項目で3水準の差は1dB程度であり、寄与率も比較的小さい値となった。このことから、制御因子F [通電時間] はギャップに対する優位性が低いことを示している。

### 3.7 制御因子G：スロープ（寄与率：4.80～8.00%）

すべての測定項目で3水準の差は1dB程度であり寄与率も比較的小さい値となったが、G3（スロープ5cyc）にした方がSN比は高い値となった。

## 4 考察

今回の実験ではギャップを誤差因子Nに設定しているため、寄与率は「ギャップがN1（ギャップ=なし）とN2（ギャップ=1.0mm）のどちらの値であっても溶接品質（ナゲット径・溶込み）を安定させたい場合、制御因子AからGを変化させることでどの程度影響を与えることができるのか」を表している。制御因子A（電源）の寄与率は最大でも3.9%であったことから、ギャップに対する溶接品質への寄与は低いものと考えられる。

一方で、寄与率が高かったのは制御因子E（電流値）で50.26%であった。これは、時間 $t$  [sec] の間に発生する熱量を $H$  [J]、抵抗を $R$  [ $\Omega$ ]、制御因子E（電流値）を $I$  [A] とすると、

$$H = I^2 \times R \times t \quad \dots (2)$$

と表されることが知られている。

溶接品質（ナゲット径・溶込み）のロバスト性は、発熱量 $H$ の安定性と言い換えることができる。ギャップの有無は抵抗 $R$ の大きさに影響を与えるが、その際に制御因子E（電流値）である $I$ は式(2)の中で2乗の項であることから、発熱量への寄与率が大きいことが分かる。

## 5 まとめ

抵抗スポット溶接におけるギャップへのロバスト性に、溶接条件の各因子が与える影響について調査した。得られた知見は以下の通り。

- ・ロバスト性を上げるためには低めの電流、高めの加圧力、長めのスロープが良い結果を得た。
- ・制御因子の中で条件を変えると、ロバスト性の寄与率で高いのは電流値、電極、溶接ピッチおよび加圧

力の順であった。

## 参考文献

- (1) 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 60号, 2-11, (2010), 東急車輛製造 (株)
- (2) 河田直樹：「研究開発における品質工学の活用」、総合車両製作所技報 1号, 38-45, (2013), (株) 総合車両製作所

## 著者紹介



**渥美健太郎**  
生産本部  
技術部（接合技術センター）



**河田直樹**  
博士（工学）  
生産本部  
技術部（接合技術センター）主査



**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



**石川武**  
博士（工学）  
生産本部  
技術部（接合技術センター）課長

## レーザーブレイジングを用いた異材接合の検討

Study of Laser Brazing of Dissimilar Materials

遠藤 翔太 Shota ENDO  
河田 直樹 Naoki KAWADA  
吉澤 正皓 Masaaki YOSHIZAWA

鉄道車両や自動車の業界では車体の軽量化が重要視されている。鉄道車両では高速化（運転速度の向上）を実現する上で軽量化が着目されている。軽量化を達成する上で部位ごとに最適な材料を配置するマルチマテリアル化が進められている。マルチマテリアル化を実現する方法の一つに異材接合がある。

異材接合には機械締結、構造用接着材、クラッド材を用いた接合がある。ここでは、レーザーブレイジング（レーザーによるろう付け）が持つ金属間化合物の抑制や接合品質の管理がしやすいといった点に着目し、レーザーブレイジングによる異材接合を検討した。

### 1 はじめに

鉄道車両や自動車の業界では車体の軽量化が重要視されている。鉄道車両では高速化（運転速度の向上）を実現する上で軽量化が着目されている。また、自動車では燃費や運動性能の向上のため、例えばボンネットのアルミニウム合金化、ルーフのマグネシウム合金化などが着目されている。

軽量化を達成する上での一つの方法が部位ごとに最適な材料を配置するマルチマテリアル化であり、それを実現する方法の一つに異材接合がある。自動車では異材接合には機械締結、構造用接着材、FSW、レーザー溶接、クラッド材を用いた接合などの工法がある。ここで取り上げるレーザーブレイジングは既存のレーザー溶接システムを使用することで自動化が容易で接合品質の管理がしやすい特徴がある。さらに接合条件の最適化により、接合時の温度を極力抑え金属間化合物の生成を抑えることによって<sup>(1)</sup>、剥離強度を向上させることができる。このためレーザーブレイジングは鉄道車両のハイブリッド構体<sup>(2)</sup>へ適用できる可能性がある。

また、レーザーブレイジングはぬれ性が良いため、図1に示すように在来工法のレーザーによる水密溶接<sup>(3)</sup>に比べギャップ裕度の向上が期待できる。

例えば、在来工法である抵抗スポット溶接法は、その形態が点接合であるために、溶接部間の隙間から水が浸入する懸念がある。

それゆえ、樹脂シールなどで水密性を確保する必要がある。樹脂シールは劣化するためメンテナンスが必要であり、この部分に後述するレーザーブレイジングを適用できる期待がある。

以上により、レーザーブレイジングを用いた異材接合について検討する。

### 2 レーザーブレイジング

レーザーブレイジングは被接合材料の表面上に、レーザーを照射しフラックスを活性化させてろう材を供給する接合方法である。ろう付けはぬれ性がよいため確実に面を接合でき、既存の設備を利用できるため、比較的安価に施工できる方法である<sup>(4)</sup>。

そのためレーザーブレイジングは点接合の抵抗スポット溶接や線接合のレーザー溶接やアーク溶接と比較して、有利である。

#### 2. 1 レーザーブレイジングを可能とした異材接合用フラックスコアードワイヤ

現在、当社で使用している異材接合用のろう材はナイス(株)が開発した新開発のフラックスコアードワイヤのレーザーブレイジング用 (Alu S4Le φ1.2) であり、構造はワイヤの中心にフラックスを配置してその周囲を皮材

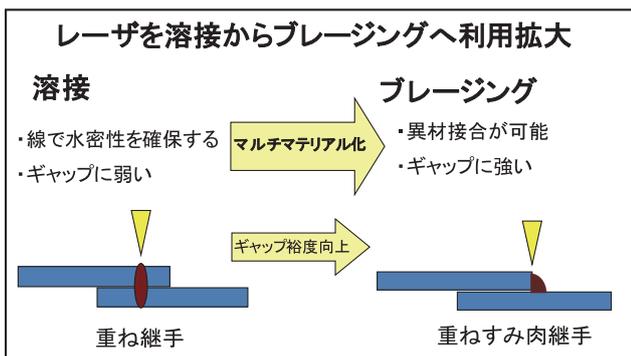


図1 レーザ溶接とブレイジングの比較

(ろう材)でコーティングした2層構造になっている。特徴は、内部のフラックスに特殊な素材を充填しており、皮材も特殊なAlで構成されている点である。フラックス(種類/量)、成分条件および接合条件を最適化することによって接合時の温度を極力抑え、金属間化合物の生成を抑えている<sup>(1)</sup>。特に剥離強度においてAl/GA鋼板の異材接合の場合、従来の技術では接合界面の破断となっていたものが溶着金属等での破断となるデータが示されている<sup>(1)</sup>。

従来のろう付けでは活性化させたフラックスとろう材を被接合材料表面上に供給する難しさがある。さらに自動機でろう付けを行うためには、フラックスの塗布、活性化の制御、およびろう材供給の難しさがある。

一例を挙げるとフラックスが十分に活性化しない状態でろう材を供給するとフラックスの持っているぬれ性を促進する作用が得られず、ろう材とワークが馴染まずろう材が飛散することがある(図2)。

一方、ナイス(株)のろう材はフラックスコアードワイヤであるため、フラックスをあらかじめワークに塗布する必要がない。そのため、フラックスと皮材を同時に供給することが可能である。これによりフラックスが活性化したと同時に皮材が溶着金属となり、フラックスのぬれ性を促進する効果が十分に発揮できると考えられる。

以上により、フラックスコアードワイヤを用いることで従来法に比べフラックスの活性化とワイヤ供給のタイミングの制御が容易にでき、安定したビードを形成できると言える。

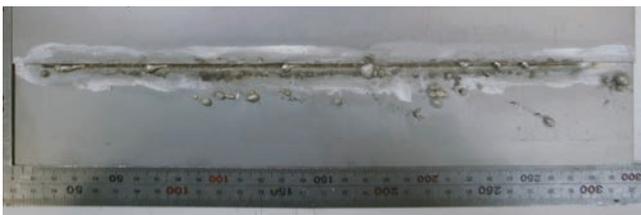
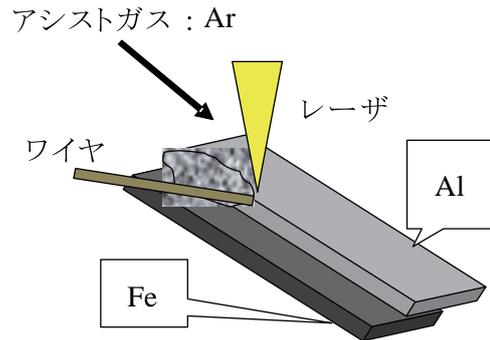


図2 フラックスが活性化しない場合

## 2.2 レーザブレイジングの異材接合の原理

軟鋼(以下Fe)と/アルミニウム合金(以下Al)の異材接合を例に図3で説明する。レーザーブレイジングはFeを溶かさず、Alにレーザーを当てAlの溶融池にフラックスコアードワイヤ(以下ワイヤ)を投入して接合する方法である。この例ではAlを溶融させるために3kW以上(推奨4kW以上)のCWレーザーの使用が好適であると報告されている<sup>(5)</sup>。



ワイヤをレーザー照射部に供給

図3 レーザブレイジング

## 3 レーザブレイジングによる異材接合試験

本検討ではテストピースによる異材接合の基礎試験を実施した。また、レーザーブレイジングの特徴の一つである面接合はレーザー溶接などの線接合に比べ接合部の密閉性が高いため塩水の侵入を防ぎ、応力腐食割れや粒界腐食の発生を抑制できると考えられる。したがってその優位性を確認するため、耐食性試験を合わせて実施した。

### 3.1 試験方法

当社のレーザーブレイジングシステムを使用した試験方法について述べる。レーザー発振器は波長940nmで出力6.0kWの半導体レーザー(DDL)を使用しており、図4と図5に示すように進行方向後方からガスノズルによりアシストガスを吹き付け、進行方向前方からワイヤ供給装置によりワイヤを供給する装置構成としている。本試験ではステンレス鋼(以下SUS)とAlの異材接合について検討した。継手の形態は図5に示す重ね隅肉継手である。なお、SUSはSUS304 t1.5でAlはA6061-T6 t2.0を用いた。

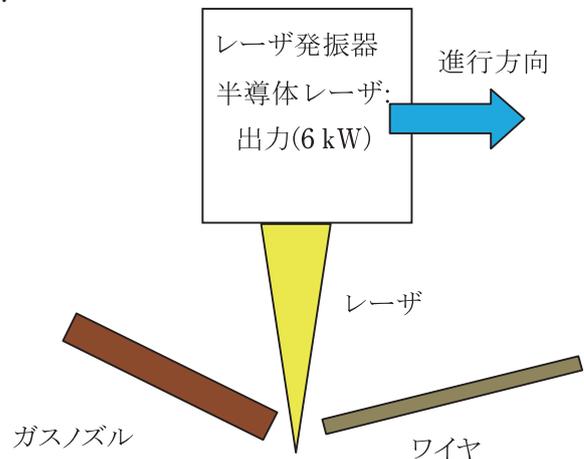
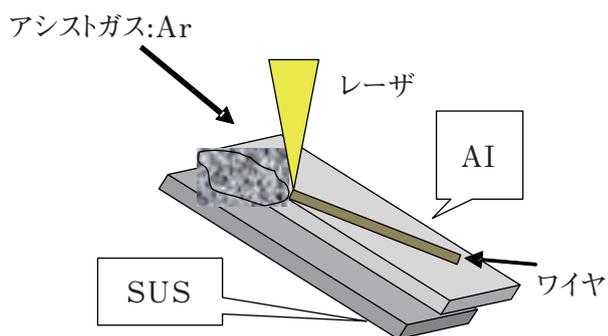


図4 装置構成



ワイヤをレーザー照射部に供給

図5 SUS/AIの異材レーザーブレイジング概略

ここでのポイントは、Al側は熔融させSUS側は熔融させない接合条件を選定すること<sup>(1)</sup>、レーザーの狙い位置及びワイヤの供給角度である。試験では図6に示すようにAl材を上配置しレーザー照射位置はAlの端面とした。

また、ワイヤの狙い位置は図7に示すようにワイヤをレーザーで溶かして滴下する方法と図8に示すようにAlを溶かすことによって発生する熔融池にワイヤを供給する2通りのワイヤ供給方法を検討した。その他の接合条件を共通条件として次に示す。

共通条件

Al : A6061-T6 t2.0 100×300

SUS : SUS304 t1.5 100×300

レーザー照射位置 : Al端面

板材の重ねしろ : 50mm

3.2 試験結果

試験の結果からワイヤをレーザーで溶かして滴下する方法は表1に示す通りワイヤが爆ぜるもしくは玉状に固まってしまう、良好な接合ができなかった。

一方でAlを溶かした熔融池にワイヤを供給する方法は表2に示すように安定したビードを形成する接合が可能となった。

この結果からワイヤの供給方法は図8に示すように Alを溶かすことによって発生する熔融池にワイヤを供給する方法が良いことが分かった。また、レーザーブレイジングにおいてはワイヤの供給条件の管理が重要事項であることが分かった。

4 異材接合継手の評価

異材接合で起きる問題として電位差による腐食がある<sup>(1)</sup>。電位差による腐食を確認するため、レーザーブレイジング

により重ね隅肉継手を製作して、接合部の耐食性試験を実施した。試験は自動車用材料腐食試験方法であるJASOの複合サイクル試験を用いた。図9に複合サイクル試験の概要を示すが、複合サイクル試験とは塩水噴霧、乾燥、湿潤を1サイクル8時間で繰り返すものであり、通常の塩水噴霧試験に比べより過酷な試験である。この複合サイクル試験を72時間まで実施し24時間ごとに外観を観察した。

比較用としてフィラワイヤ（溶加材）を投入したSUSのレーザー溶接サンプルも併せて上記の耐食性試験を実施した。

表3に示す72時間後の外観からSUS/AIのAl母材と接合部の比較をした場合にどちらも発錆等は認められなかった。この結果から、接合部の電位差による接触腐食は発生の可能性が低いと考えられる。さらに錆が認められないため粒界腐食の発生の可能性も低いと考えられる。

同様に72時間後のSUSのレーザー溶接サンプルも錆の発生は認められない。

以上のことから72時間まではSUSのレーザー溶接サンプルと同等の耐食性能を持っていると言える。

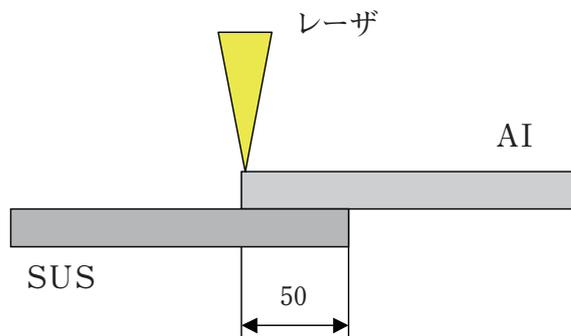


図6 ワークとレーザーの狙い位置の関係

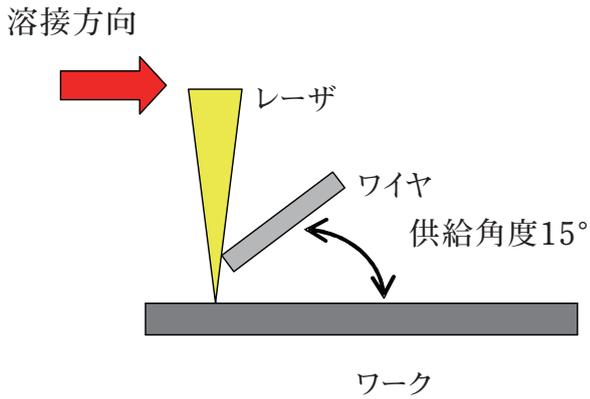


図7 ワークに滴下するためのワイヤ供給方法

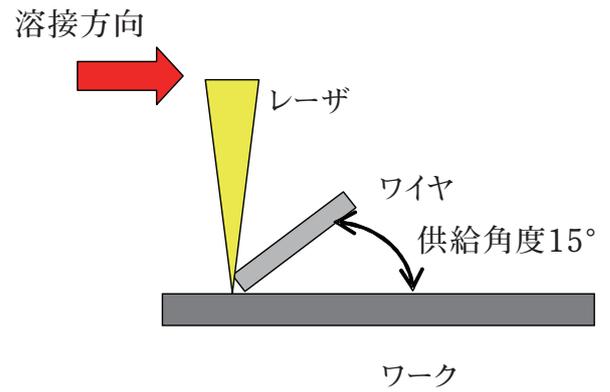


図8 ワーク (Al) の溶融池にワイヤを供給する方法

表1 ワイヤをワークに滴下した結果

試験 No	出力(kW)	溶接速度(m/min)	ワイヤ供給速度(m/min)	ワイヤ供給比	ワイヤ供給角度
1	3.0	3.0	5.0	1.7	約 15°

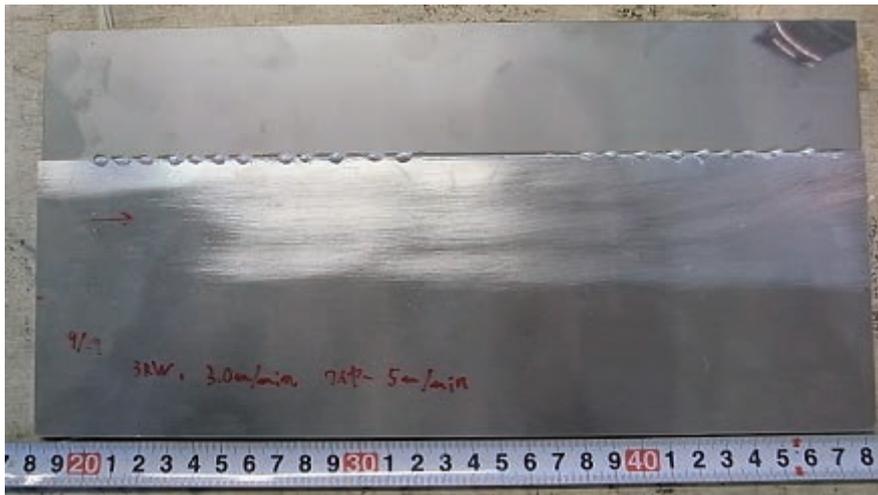


表2 ワイヤをワーク (Al) の溶融池に供給した結果

試験 No	出力(kW)	溶接速度(m/min)	ワイヤ供給速度(m/min)	ワイヤ供給比	ワイヤ供給角度
2	2.0	0.96	2.5	2.6	約 15°



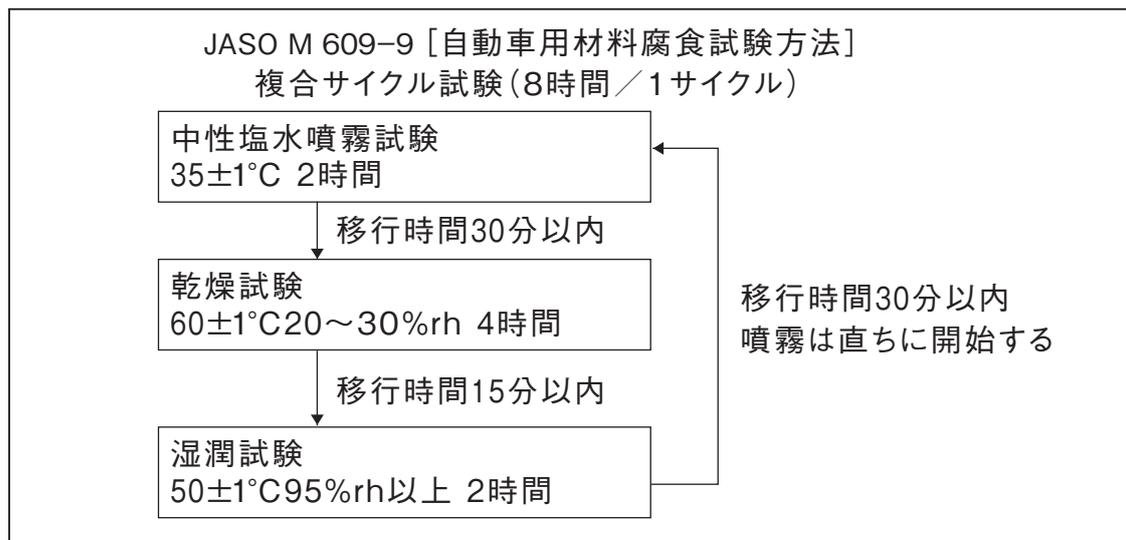


図9 複合サイクル試験の概要

表3 0～72時間まで SUS/SUS, SUS/AI の耐食性試験結果

時間	SUS/SUS (フィラワイヤ(溶加材)使用)	SUS /AI(フラックスコアードワイヤ使用)
0	<p style="text-align: center;">試験開始前</p>	<p style="text-align: center;">試験開始前</p>
72	<p style="text-align: center;">72時間後</p>	<p style="text-align: center;">72時間後</p>

## 5 おわりに

レーザーブレイジングによるSUS/AIの異材接合試験を実施し、安定したビードを形成する異材接合の継手が得られた。

また、試験の結果から、ワイヤの供給条件の管理が重要であることが分かった。さらに耐食性試験の結果から72時間までSUS/SUSのレーザー溶接サンプルと同等の耐食性能を持つことが分かった。

以上より鉄道車両へのレーザーブレイジングを用いた異材接合の可能性を得た。

今後は機械的特性（静的強度、疲労強度、剥離試験など）を中心に評価を進める。

さらに当社は過去にSUS/Alの異材接合を用いたハイブリッド構体<sup>(2)</sup>を検討しており、材料間の接合にはクラッド材やボルト等を使用していた。その上で今後は材料間の接合にレーザーブレイジングを用いたハイブリッド構体を検討する。

最後に、本解説を執筆するにあたり多大なご協力を頂いたナイス株式会社各位に感謝の意を述べる。

### 参考文献

- (1) 大西武志：「レーザー，ミグブレイズ用溶接材料による鉄鋼とアルミニウム合金の異材金属接合」，溶接技術7月号，46-49，(2014)，産報出版（株）
- (2) 松岡茂樹：「鉄道車両のハイブリッド構体の構体結合構造」，軽金属溶接Vol27，No.10，17，(1989)，（一社）軽金属溶接協会
- (3) 遠藤翔太，他：「sustinaステンレス構体水密化のためのレーザーすみ肉溶接技術の開発」，総合車両製作所技報 第2号，12-17，(2013)，（株）総合車両製作所
- (4) 宮澤靖幸：「最近の低環境負荷へ向けたろう付け技術」，溶接技術6月号，55，(2014)，産報出版（株）
- (5) 大西武志：「鉄鋼とアルミニウム合金の異種金属溶接用フラックスコアードワイヤ」，軽金属溶接，Vol.52，No.11，5，(2014)，（一社）軽金属溶接協会

### 著者紹介



**遠藤翔太**  
生産本部  
技術部（接合技術センター）



**河田直樹**  
博士（工学）  
生産本部  
技術部（接合技術センター）主査



**吉澤正皓**  
生産本部  
技術部（接合技術センター）

## 非接触式車体通り測定機構の開発

Development of the Device for Measuring the Distortion of the Car Body by Non-Contact

磯部 光一 Koichi ISOBE  
金子 貴史 Takashi KANEKO

車体製造過程において車体側面の通り（歪み）を測定する際、車体側面に平行に張ったピアノ線を基準として車体とピアノ線との距離を直尺で測定しているが、ピアノ線は極めて細いため見えにくく、作業者が気付かずに引っかかってしまうリスクがあった。そこで、測定作業の安全性向上を目的として、レーザ距離計を活用し、その測定値から演算によって通りを求めることにより、ピアノ線を使用しない測定方法を開発した。

### 1 はじめに

鉄道車両の車体製造過程で、幕板部と腰板部における車体側面の通りを測定している。その方法は、車体側面の前位と後位を両端として、同じ寸法Aの基準となる駒を挟んでピアノ線を張り、ピアノ線と車体との距離を直尺で測定している（図1）。この挟み込んだ駒の寸法Aが基準寸法であり、張られたピアノ線は車体に平行な基準線となることから、直尺による測定値と基準寸法Aとの差が車体の通りということになる（図2）。

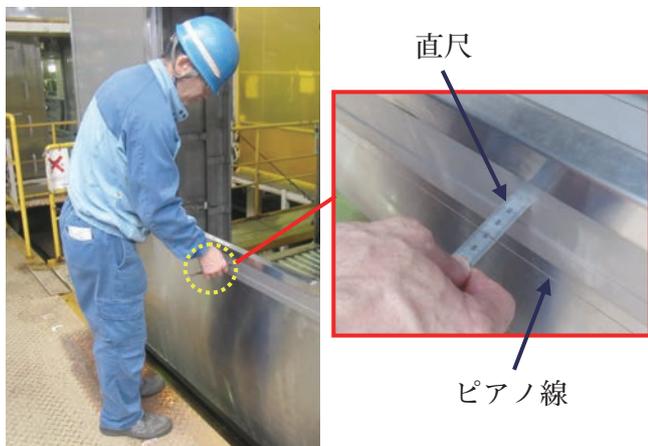


図1 ピアノ線を用いた通り測定（腰板部測定時）

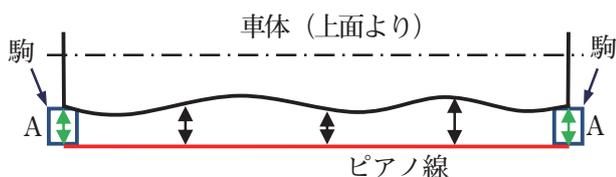


図2 ピアノ線を用いた通り測定方法

しかし、ピアノ線は極めて細いため見えにくく、作業者が腰板部の高さに張ってあるピアノ線に気付かずに引っかかってしまうリスクがあった。そこで、測定作業の安全性向上を図るため、ピアノ線によらない新規測定方法を開発した。

### 2 開発の概要

#### 2.1 測定装置の構成

アルミフレームで組み立てた測定スタンドにBluetooth®通信機能付きレーザ距離計、タブレット端末、USBハブを取り付けた構成であり（図3）、このほかに、測定操作を行うためのリモコンがある。USBハブにはリモコン受信器とBluetooth®アダプタを装着しており、リモコンとタブレット端末はRF（ラジオ波）方式による無線通信、タブレット端末とレーザ距離計はBluetooth®による無線通信を行っている。測定スタンドは幕板部の通り測定にも対応できる高さとなっており（図4）、レーザ距離計を装着する位置によって任意の高さでの測定を行うことができる。

タブレット端末には通り測定専用に関開発したプログラムをインストールしているが、各機器は汎用品を採用している。



図3 測定装置（腰板部測定時）



図4 測定装置（幕板部測定時）

## 2.2 測定方法

作業者は、タブレット端末の画面で測定を行う車種と測定部（腰板部もしくは幕板部）を選択する（図5）。測定スタンドをプラットフォームの端部に設置し、手元のリモコン操作によってレーザー距離計で車体までの距離を測定する。測定後は次の測定箇所へ測定スタンドを移動させ、車体までの距離を測定する（図6）。これを繰り返して、必要な箇所の測定を行う。

測定操作をリモコンで行えるようにしたことで、測定実行時にタブレット端末の画面へのタッチや、レーザー距離計のボタン操作を必要とせず、作業者が直接触れることによる測定スタンドの揺動を未然に防いでいる。

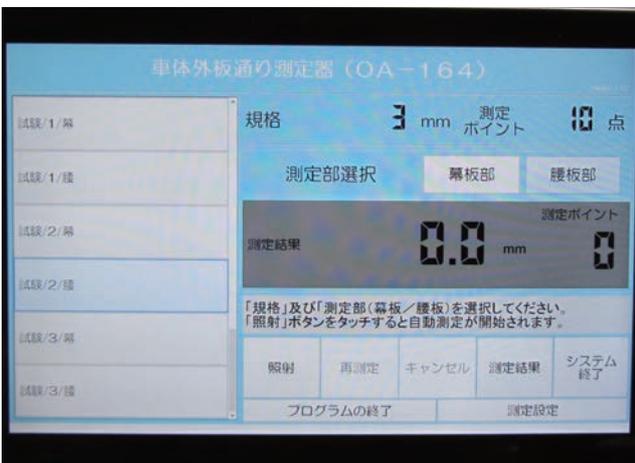


図5 測定時の表示画面

## 2.3 測定結果の表示

各測定箇所間の距離をあらかじめ設定しておくことで、



図6 開発品を用いた通り測定（腰板部測定時）

測定開始箇所と測定終了箇所における測定値の差から、車体に平行な直線の傾きが求められる。この直線をピアノ線に代わる仮想基準線として、各測定箇所における通りを演算で求め、結果をタブレット端末に表示する。通りを直感的にイメージできるように、画面中央部に折れ線グラフ、下部にその値を表示させた（図7）。



図7 測定結果表示画面

通りの値は仮想基準線に対する凹凸により+と-で表され、混在した表示では基準寸法内に収まっているのかを瞬時に判断できない。そこで、通りが基準値内かを判定する機能をもたせ、設定した基準値内であればOK、超えていればNGと表示させた。

さらに、測定データはタブレット端末内に保存されるため、測定日と車両をリストから選択することで過去の測定結果を表示することや、測定データをCSV形式に変換してパソコンに取り込むことも可能とし、簡易にデータ分析できるようにした。

また、演算によって通りの値を求めるには、測定スタンドをレール方向に直線移動させなければならないが、実際のプラットフォーム端部は直線とは限らないため、対策として、その凹凸に相当する値を補正值として設定しておくことで測定スタンドの直線移動を模擬し、影響を受けないようにしている。

## 2.4 演算で通りを求める方法

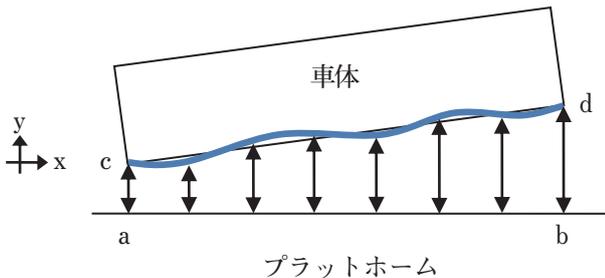


図8 開発品で通りを求める方法

図8はプラットフォームと車体を真上から見た平面図である。車体は必ずしもプラットフォームに平行に設置できないため、その傾きを求めることで車体に平行な仮想基準線を設定する。ここでは、プラットフォーム上のaからbまで移動しながら車体までの距離を測定していくものとし、ac間の距離とbd間の距離の差と、ab間の距離から直線cdの傾きを算出する。この直線cdが仮想基準線であり、cを原点とした座標系において次の式で表される。

$$y = \frac{\text{車両両端での測定値の差}}{\text{測定箇所間の距離}} \times x$$

$$= \frac{bd - ac}{ab} \times x$$

上式を用いて求められるyにacを加算した「計算上の距離の値」と、「実際の測定値」との差が通りの値である。

例として、図9のeにおける通りを求めてみる。まず、cからプラットフォームに平行な直線を設け、efと交わる点をgとする。

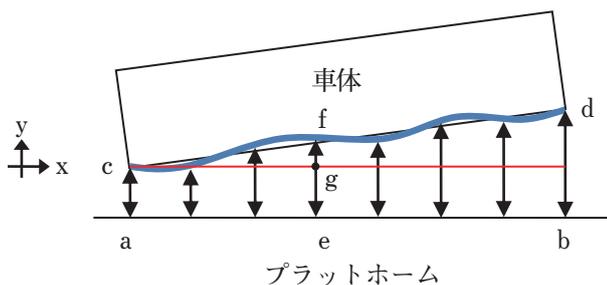


図9 開発品で通りを求める方法の例

ここで、

$$ac = eg = 500$$

$$ef = 503$$

$$bd = 505$$

$$ae = 8000$$

$$ab = 20000$$

であった場合、仮想基準線は

$$y = \frac{505 - 500}{20000} \times x$$

で表され、

$$y = gf = \frac{5}{20000} \times 8000 = 2$$

となる。つまり、計算上は

$$ef = eg + gf = 500 + 2 = 502$$

であり、この値（計算上のef）と実際のeにおける測定値efとの差が通りの値である。

したがって、通りは

$$503 - 502 = 1$$

と求めることができる。

## 3 成果と課題

本開発品の精度は、使用するレーザ距離計そのものの測定精度に依拠するところが大きいですが、各測定箇所における測定スタンドの設置の仕方も誤差に関係してくる。そのため、プラットフォーム上に測定スタンドを設置する際は細心の注意が必要ではあるが、検証の結果、従来のピアノ線を用いて測定した通りの値と同等の通りの値を得られることを確認した。ピアノ線を用いずに通りを測定できることで、当初の目的である安全性向上につながるものと考えている。

一方で、今回の開発の範囲においては、通り測定に要する工数の低減について課題が残る。測定箇所に作業者が移動しつつそれぞれ測定を行うという作業の流れは、従来と変わらない。また、測定装置の軽量化についても、移動をとまなう測定方法では大きなウエイトを占めるものである。今後の工数低減に向けては、幕板部と腰板部を同時に測定可能とすることや、最終的には全自動で測定を行えることが理想であると考えている。

## 4 おわりに

製造車種が変わる場合、測定箇所の位置が変わることが考えられる。そのような場合でも、従来のピアノ線を張って直尺で測定する方法では特別な準備作業などしな

くてもフレキシブルに対応できるが、今回の開発品では測定箇所間距離やその位置に応じた補正値を新たに設定する必要が生じる。この間、ピアノ線を不要とする通り測定についてさまざまな方法を検討してきたが、長年続けられている方法よりもさらに優れた方法を見いだすというのは容易なものではないと実感した。

しかし本開発により、測定器を直線移動させながら対象物までの距離を測定することで、演算によって通りを求められると実証できたことは、新たな測定方法確立に向けて前進したものと言える。さらに、車体の通りに限らず、そのほかの歪み測定にも活用できるものであり、今後さらなる発展の可能性をもっているものとする。

## 著者紹介

---



**磯部光一**  
生産本部  
新津製造部 構体課 係長



**金子貴史**  
生産本部  
技術部（技術管理）新津技術管理

## 塗装品質向上に向けた取り組み

生産本部 生産管理部

### 1 はじめに

当社では2014年2月に自動塗装設備を導入し、全塗装車体への適用・運用を開始した。

多くの試行錯誤を経て現在に至るが、手作業による従来の塗装工法と比較し、様々な面で良好な結果を得ることができた。

本稿では、当社における自動塗装設備の概要と、塗装品質を左右する塗装条件選定に関し、これまで検討してきた塗装試験の事例を交え、塗装品質向上に向けた当社の取り組みを紹介する。

### 2 自動塗装設備の概要

自動塗装設備は、静電塗装装置とベル回転霧化式塗装ガン（以下、塗装ガン）（図1）をアーム先端に装着した内圧防爆構造多関節ロボット（以下、ロボット）（図3）、それらを移動させる搬送台車、主制御装置、その他補機類で構成されている。同じ構成の設備が2組あり、被塗物である鉄道車両車体の両側、妻構体の他、1-3位、2-4位の側構体を同時に塗装が可能である。



図1 ベル回転霧化式塗装ガン

ロボットは、被塗物の3Dデータを用いることによりオフラインでのティーチング、各種のシミュレーション、動作確認も可能である。実際のロボットアームが被塗物へアプローチする動作や塗装軌跡、曲面に対する微調整・補正等、最終的な調整・動作確認は実車を用いてオペレーターが行っている（図2）。

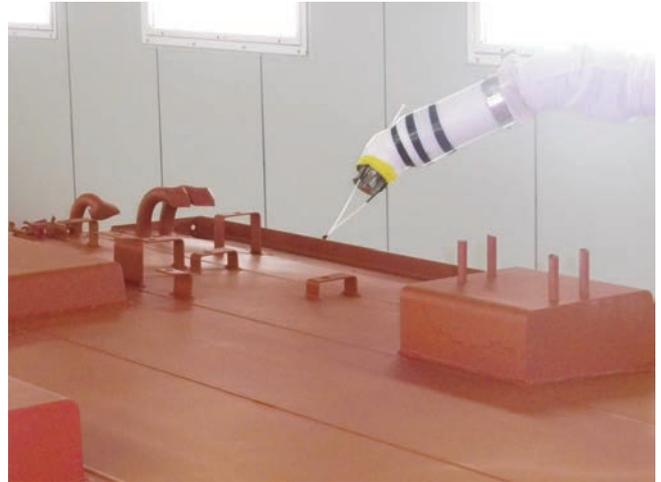


図2 実車でのティーチング確認

これらロボットに関するティーチングプログラムその他、周辺機器の動作プログラムを統合し、マスタプログラムとして一連の塗装工程を教示する。これにより、同一色であれば一時停止や作業者の介在なくプログラムされた塗装作業が完了する。

また、プッシュプル型塗装ブースとも連携し、複雑な操作を必要とせず、一連の工程を自動で完了できる。

プッシュプル型塗装ブースには乾燥機能も備わっており、塗装後、ただちに乾燥することにより、時間短縮、ならびに品質の安定に寄与している。

#### 2.1 静電塗装装置

静電塗装とは、被塗物をプラス極（アース状態）に保ち、塗装機をマイナス極とし、塗装機に高電圧を供給して両極間に静電界を形成し、霧化した塗料粒子にマイナスの電荷を与えることによって、塗料粒子を被塗物に塗着させる塗装技術である。

この塗装方式では、被塗物に対し塗料を吹き付ける正面だけでなく、側面あるいは背面まで回りこんで塗着する現象を利用できるため、複雑形状に対し、ロボットと組合せることにより、一定方向、速度で動作させることができるため、手作業を上回る仕上りが期待できる自動塗装に適した方式である。

## 2. 2 多関節ロボット

塗装ガンを機械的に自動で移動動作させる方式は多種に渡るが、車種ごとに異なる断面、形状をもつ鉄道車両には多関節ロボットが適している。車体形状を忠実にトレースが可能なおうえ、塗装ガンと被塗物との距離や角度を一定に保つことができ、手作業と比較し、確実性と品質の安定に大きく寄与している。



図3 多関節ロボット

## 3 塗装条件の選定

自動塗装を行うにあたり、溶接機での電流、電圧、送り速度などの条件と同様に、塗装機に設定する各種パラメータを決定し、塗装条件とする必要がある。

塗装条件を形成するパラメータには、塗料に関するもの、塗料粒子に印加する電圧などに関するもの、塗装ガンの被塗物との距離や、送り速度、塗料吐出量、塗料粒子径に関するものなど多岐にわたる。

それらを決定するには、パラメータの各項目をそれぞれ調整し、実際の試験塗装の結果をもって微調整、再試験、再調整を繰り返して行い、精度を向上させる。

最初に使用する大まかな塗装条件は、過去の実績から類似の塗料、塗装仕様、色彩などで決定し、試験塗装を繰り返しながら各パラメータの調整を行い、詳細を決定することが多い。

試験塗装に実際の車体を用いて行うことが困難であるため、代替方法を用いて試験し、条件を決定する必要がある。その試験の一部を紹介する。

### 3. 1 テストピース塗装

被塗物である車両車体と同材質の板（テストピース）（図4）を用い、実際と同様の下地処理を行った後、試験塗装により、仕上り状態を確認する。

テストピースとして用いる板の大きさは、使用する塗料や、車体塗装面積などにより適宜選定している。

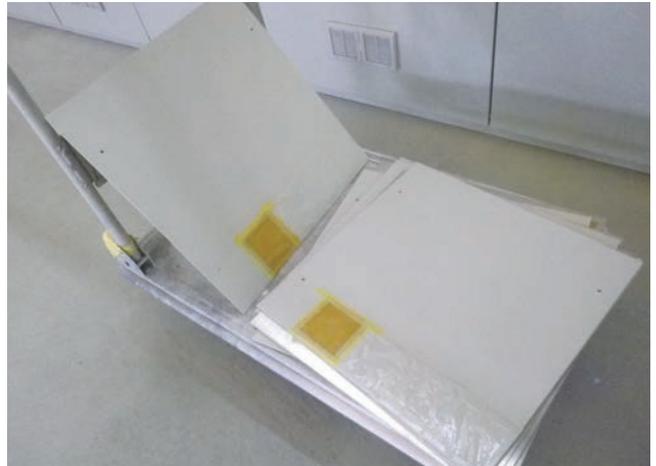


図4 試験で用いるテストピースの一例

### 3. 2 モックアップ塗装

3.1で平面的に塗装したものの評価で良好だった条件であっても、車体の形状に沿った塗装をした際に、最も重要である視覚的に望まれる塗装状態には仕上がらない場合がある。これは、車体形状により、光の反射等に影響を及ぼすためと考えられる。

形状に起因すると思われる最終仕上り状態を確認、予測する方法として、被塗物である車両形状の一部を忠実に模した試験板（図5）、または実車の一部を模したモックアップを使用し、実際と同一の塗装を実施し、確認、評価を行っている。

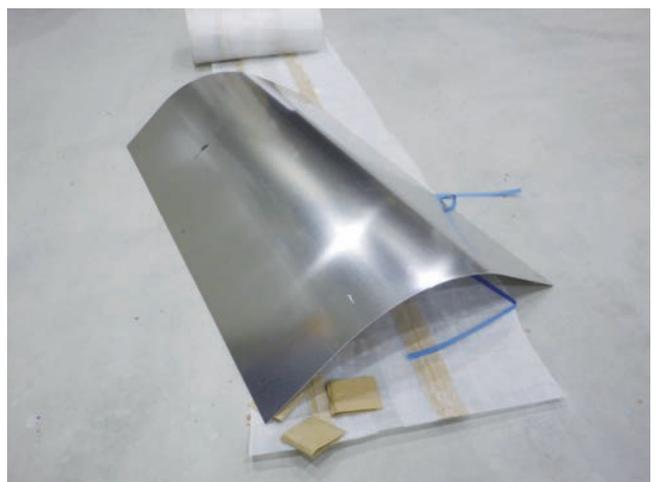


図5 車体形状の一部を模した試験板の一例

また、モックアップを用いた塗装試験では、車体形状に応じた多関節ロボットの動作範囲（塗装可能範囲）、干渉物の確認のほか、塗装軌跡の確認を行うことができる（図6）。



図6 モックアップを使用したロボット動作範囲確認

モックアップを用いる試験では、養生方法の選定にも一役かっている。数種の養生方法を施したもの（図7）に塗装を行うことで、塗膜付着後の重量が増した養生材の挙動の確認や、固定方法の妥当性確認、養生材によるブース気流の変化挙動の確認が行えるなど、塗装前後作業の確認にも有効である。



図7 モックアップを利用した養生方法の選定

### 3.3 塗装評価、塗装条件の決定

仕上り状態は隠ぺい度の確認、目視のほか、膜厚、光沢、色彩、色度を測定し、客先承認塗装見本板と比較し、評価を行う。

特にメタリック系色やパール系色の場合は単色（ソリッド色）と異なり、塗料中に含有する微細な光輝材（アルミフレークなど）が一様な方向に並んでいないと「ムラ」となって見えるため、当社では、メタリック、パール系塗装の評価に適しているとされるマルチアングル方式の計測器を用いて、目視以外の定量的な評価を行っている。

これらの評価により、客先承認塗装見本板との差異が許容できる範囲内であることを確認し、塗装条件として決定するが、数値には表れない視覚的要素が存在するため、最終的には人の目による目視評価も合わせて行っている。

評価には複数人の目で多角的に評価し、選定された塗装条件を確定する。この最終目視評価は、室内照明下と太陽光下では大きく異なるため、製品の使用環境と同一である太陽光下で行う。特にメタリック、パール系塗装の場合、塗膜内部で複雑な光の反射、屈折をする光輝感（図8）は太陽光下以外では適正な評価を行うことができないためである（図8）。



図8 太陽光下での仕上り評価

## 4 2コートマイカ塗料の静電塗装適用

今まで当該設備を用い、単色（ソリッド色）およびメタリック色を上塗り塗料として、静電塗装を行った実績があるが、一般にパール色と呼ばれる2コートマイカ塗料を上塗り塗料として、当社では初めてとなるステンレス鋼製車両への静電塗装適用検討を行った。

### 4.1 2コートマイカ（パール色）塗料について

今回ステンレス鋼製車両に適用した2コートマイカ塗料は、一般的に真珠のような輝きを見せる「パール色」が採用された。

パール色は光輝材として微細なマイカ（雲母）をソリッド色に添加させたものであり、光が当たると光を透過しつつ、塗膜内部で複雑な光の反射・屈折により、真珠のような独特の光輝感を生み出す。

メタリック色同様、パール色も塗装表面の光沢を出す目的に加え、塗膜表面の保護のため、上塗り塗装後、無色のクリア塗装を施す。

今回、2コート塗装と3コート塗装（コートとは塗り重ねる回数）が検討されたが、将来にわたり客先で行われ

る、補修性・施工性を考慮した結果、2コート塗装が採用されるに至った。

#### 4. 2 2コートマイカ塗料の塗装条件選定

条件選定は、3項と同様の方法で実施した。

選定する条件のベースは、過去実績のあるメタリック色の塗装条件を用い、前述のような塗装試験を繰り返し、最適な条件を探索した。

今回は初めてのパール色ということ、車体塗装面積が広く、ロボットの動作軌跡に工夫が必要であることなどのほか、「ムラ」の発生傾向と最適な塗装軌跡を確認するため、テストピース板は通常当社で使用していたものよりも大きい板を使用した(図9)。



図9 大判テストピースを用いた確認

今回、実際の車体の一部を模した、モックアップを製作・使用し、あらかじめ試験で選定していた塗装条件の確認と、ロボット軌跡の妥当性を確認した。

また、車体形状に起因して発生する「ムラ」や色の濃淡、塗料の溜まりや流れなどの有無も確認した(図10)。



図10 車体モックアップによる塗装確認

#### 4. 3 実車での塗装評価

今回2コート塗装を適用したステンレス鋼製車両は、パール色が車体全体におよび、広い面積を有するため、車体そのものを屋外に出し、太陽光下にて全体的な仕上り評価を行った(図11)。



図11 実車での広面積仕上り評価

また、塗装したテストピース塗装板や客先承認塗装見本板と、塗装完了車との仕上り状態を比較し、光沢、色彩など、複数人で確認し、視覚での差異が無かったことを確認した(図12)。



図12 条件確定版と実車との仕上り比較

### 5 おわりに

自動塗装設備の導入により、従来の手作業と比較し、品質の安定と、作業者が高所作業などの危険が回避できるなど、品質面と安全面で良い効果が得られた。今後、研究、実績を重ね、更に設備の適用範囲拡大に取り組んでいく。

(門脇文俊、及川則久、佐藤信幸、今西由幸、高梨貴広、毛利優、中谷まどか、清野凌、本間邦夫、佐々木晨、山崎誠 記)

## バンコク パープルライン — 開業までの現地作業 —

海外事業本部 海外事業推進部



図1 本線での試運転

### 1 はじめに

タイの首都バンコクでは、世界一とも称される交通渋滞が社会問題となっている。解消する方策として、温室ガスの排出が少ない環境に優しい都市鉄道のプロジェクトが進められている。そのひとつであるパープルライン（正式名称：チャローン・ラチャタム線<sup>1)</sup>は、これまで鉄道の恩恵のなかったバンコクの西、チャオプラヤ川西岸のノンタブリ地区バンヤイと都心を結ぶ、16駅、全長20.94kmの第3軌条方式による高架鉄道で、2016年8月6日に開業を迎えた。

今回は、同線向けに納入された車両（21編成63両）が現地に納入されてから開業までの様子を紹介する。

### 2 現地作業

#### 2.1 実施体制

国内での製造が進む中、現地への搬出と受け入れ態勢が議論された。その結果、海外事業本部が主体の下、現地責任者にコンサルタントのマーチン・ハント氏を置き、駐在の2名に総務を担当させ、現地での試験を実施する

検査グループと現地での工事を遂行するグループを置くことにした。

また、現地での試験は、形式を代表して行われる「タイプテスト」、全編成に実施される「ルーチンテスト」の2つのほか、横浜からの「引渡し前試験」の3つに分類できる。ルーチンテストはTUV-ZUDジャパン社に依頼したため、同社に所属するタイ人スタッフのドアクモル氏を総括サポートとして試験の実施を円滑に行う体制とした。

#### 2.2 港での水切り作業とお披露目式典

パープルライン向け車両の第1ロットの3編成9両は、第2、第3編成と第1編成に分載して2隻の船で横浜港を出港した。到着したレムチャバン港は、バンコクから南東へ約100kmに位置するインドシナ半島で最大規模の港で、横浜港を上回る東南アジアで一番のコンテナ扱い量を誇る。船から搬出された車両はタイに3両しかないといわれる各車輪に操舵機能がついた特殊なトレーラに積載され、一時保管の管理用地に移動された。



図2 レムチャバン港と車両基地<sup>(2)</sup>



図3 港で陸揚げされる車両

車両基地（以下デポ）への搬出前日になって、タイ側から急遽、運輸大臣も出席する車両のお披露目を目的としたセレモニーを港で開催する旨の通知があった。当社から現地駐在員と本邦から現地作業対応として派遣された製造・検査の関係者3名がサポート要員として対応した。

### 2.3 載線と組成作業

レムチャバン港を夕方出発したトレーラーは、未明にバンヤイのデポに到着した。載線作業は朝3時に召集され、線路保守用車の保守を行う建屋で行われた。車両をジャッキアップして行う方式で、1両載線してはシャクタービークルによるけん引でダブルピットのライトメンテナンスを行う箇所へ移動され、組成作業が実施された。

載線作業は1日に1編成（3両）のペースで実施され、ピット線へ移動し据付ける前に、輸送のため取り外されていたコレクタシューの取り付けと2車間のホロの接続作業を行った。ただし、シャクタービークルは移動作業

を優先するため利用できず、ピット線内の小移動は作業者の人力によって行うという困難なものであった。

組成作業を終えた編成は着後の整備が進められたものの、スティングによる外部電源の供給ができず、それによりコンプレッサを起動して圧縮空気を送ることができなかった。そのため台車の高さ調整等の作業は、スティング加圧後に実施することになり、作業者の滞在日数の調整もあって再度訪タイして実施することになった。



図4 整備線に搬入された3編成

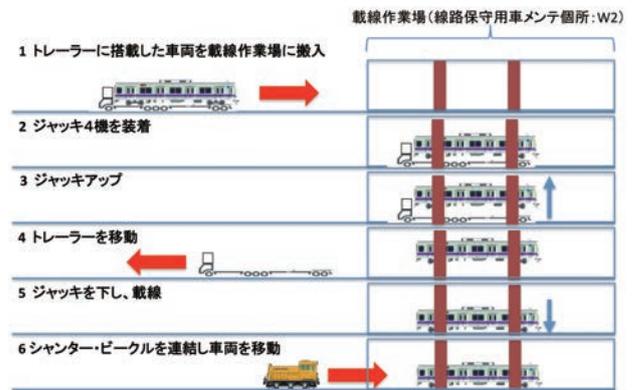


図5 載線作業の手順

### 2.4 持ち越し試験の実施

第1ロットの3編成は、現地で持ち越し試験を行うこととなり、

- 1) スティング加圧前までに終わらせておくべき試験
- 2) 試走線走行までに終わらせるべき試験
- 3) 本線走行前に終わらせるべき試験

以上がマイルストーンとして設定された。

現地に派遣された検査の実施部隊は、このスティング加圧が9月末日と予定されたため、それを目標にして接地・絶縁に関する試験を実施することにした。持ち越し試験の実施にあたり、クライアント等が立ち会うこともあった。

## 2. 5 スティング加圧

当初9月末と予定されたスティング加圧は、度々延期され、10月19日ようやく可能となった。さらにスティングを装着することが可能であることを実証するため、これまで実施した試験データおよび、スティングを取り扱う手順書の提出が求められた。いずれも当初の計画にはなかったものである。外部電源を確保できたため、持ち越し試験の消化も順次進められた。

## 2. 6 構内および試走線走行

コレクタシューから給電する走行は、すでに横浜事業所の試走線で終えているものの、現地での走行には力行ブレーキといった制御系の機能が正確に動作するといった安全性に関する試験の実施と、ドキュメントの提出が要求された。あわせて、信号や通信といった他のサブコンから車両を必要とする試験の実施を求められた。

その最中の11月4日に、来賓を招いてのデポの開所式が実施された。その準備として、当社には車両をあらかじめ指示のあった場所に整列させるよう指示があった。当日はデポ内のレセプションルームで、初めに僧侶による読経、その後来賓挨拶と続き、建物と車両を聖水によって清め、安全を祈願した金箔の塗布と呪文の筆書きが行われた。いかにも仏教国らしい式典の後は、500人を超える来訪者に昼食がふるまわれた。

式典は滞りなく終了したものの、デポ事務所に電源を供給する発電機の軽油100リットル以上が前夜から朝までの間に何者かに盗出され、式典中待機していた者が灼熱の事務所で見守っていたという事態もあった。



図6 構内走行

次のマイルストーンであるデポ構内と試走線の加圧は、11月6日と通達され、それをターゲットとして現地では試験を実施するとともに、その結果を横浜に送りドキュ

メントとして提出する作業が繰り返された。6日14時になっても加圧を開始した連絡はなく、空振りに終わると思われたものの、翌日、早朝からの最終確認の後、11時から走行が可能となった。この日、約700mの試走線を8往復し、速度を5km/hから試走線の許容速度である35km/hまで順次上げることができた。

## 2. 7 車両保守とドライバ育成

このプロジェクトでは、車両の保守も車両メーカーとして担当することになった。整備途上の車両でありながら、営業線を走行する車両と同様の保守が求められた。すなわち、構内を走行した日を起算日として、日ごと、週ごと、3週間ごとといった周期に応じて、車両の動作確認や摩耗品のチェックと交換を行うというものである。

表1 車両保守項目

検査名称	内 容
Daily (日常検査)	車両移動または出区前の各種機能検査
Weekly (週間検査)	運転室および客室内の機能チェック。台車の消耗品チェック。
Monthly (毎月検査)	運転室および客室内の機能チェック。台車、連結器消耗品チェック。
3 Months (3か月検査)	床下機器箱及び客室配電盤を開けて状態チェック ドア関係
6 Months (6か月検査)	3か月検査内容＋非常貫通扉の開閉チェック

検査周期とその項目はユーザに提出されるマニュアルに基付いたものであるが、実施要領とチェックリストはJR東日本からの出向社員を中心に作成され、実施された（後に施工両数が増えた後、当社の製造現場の社員の協力も必要となった）。

もうひとつ、動力車乗務員の育成があげられる。当社の契約事項の一つであるため、コンサルタントによる育成で準備を進めてきた。クアラルンプールから派遣された現役運転士4名の育成を当社が担当することになった。現役の運転士であることから、基本的な運転理論等は割愛し、パープルラインの車両に慣れてもらうことを第一として、マニュアルを基にした車両の説明と試走線でのハンドル訓練を実施した。

### 3 本線走行と開業までの準備

#### 3.1 第2ロットの搬入

試走線での走行試験を進める中、本線での80km/h走行に向けた検討も進めてきた。これまで信号の保護によって走行することを前提としてきたが、信号担当のサブコンの進捗が思わしくなく、11月中旬を過ぎて2週間に渡るピット線での調整作業と試走線を使った走行試験を申し入れてきた。当初は予定になかったものだが、安全に関する信号保安装置の完成がプロジェクトの成功には最も重要と判断し、サブコンへの車両提供を最優先にデポでの作業を進めることにした。あわせて通信を担当する別のサブコンからも現車作業の申入れがあり、車両の増備が待たれる状況となった。

このような中、本邦では残りの編成の製造が進み、第2ロット（3編成9両）が11月末からバンコクに搬入されることになった。以降年明けの1月にかけて、第3、第4、第5ロットとして5編成15両ずつ搬入されることになった。

#### 3.2 本線走行

本線を走行するにあたり、車両の救援に関する機能の確認が要請された。救援時に連結した状態でのけん引・推進運転が曲線を走行できることや、勾配での起動が可能であることなどである。これらも試験走行を行うとともにPDFとして編成ごとに立証することになった。さらに、本線走行が可能な区間での携帯電話やトランシーバの連絡手段の確認も実施した。本線の列車無線が使用開始前なので、車両を走行する側が検証を求められたためである。本線上を100mごと歩いては携帯電話とトランシーバでデポ事務所に連絡をとって感度を確認した。

また、現地での工事は夜間作業で対応することになったが、現地では土曜日でも作業日であったため、南国の暑い気候も加わり、作業者の体調管理も難しい日々であった。地上側の工事もサードレールの離隔距離が十分であるかの検証が進められた。

そして、いよいよ12月3日から本線走行が可能となった。信号設備は未完のため、最高30km/hという制限走行である。

#### 3.3 首相参加の式典

タイ王国の首相がデポを訪問し、デポから最寄り駅まで乗車されるというイベントが12月14日に実施されることになった。当社は開催当日の車両配置と、首相が乗車する車両の運転士の提供をすることになり、リハーサル

も実施することから、10日から車両移動を始め、関係者と停車位置の調整を行った。当日首相が乗車される編成は、第2編成とすることにし、現地での整備作業を中心に担当してきた当社作業員がハンドルを握ることになった。マレーシアの運転士もすでに本線走行ができるまでに習熟していたが、クライアントからの強い要望もあって、当社が運転士を輩出することになったものである。

当日は、朝5時にパスポートを持参してデポに召集され、事前に警察と軍により各所のセキュリティチェックが実施された。9時に首相が到着、式典は予定どおり進行し、11時までに全てが終了。日本のニュース、メディア関係者も参加し、「タイで初めて日本製の車両が走行した（正確には、国鉄向けにディーゼル動車が既に30年前に納入され、現在も運行されている）」とTVでの放映や動画配信サイトへ投稿されることになった。

#### 3.4 80km/h走行

本線走行が可能となった次の課題は、要求仕様にある最高速度80km/h走行を実現することであった。車両側の力行と制動性能を確立するため、各種制御パラメータをチューニングするのが目的である。当初、信号の保護の下で走行することを目論んでいたものの、信号担当のサブコンの進捗により、車両側のみで実現する方策を模索することになった。

車両改造の内容は、横浜のシステム設計で検討し、年明け1月7日から実施することをターゲットに測定機材の仮設等の準備が進められた。充当する編成は、その後予定されているエネルギー効率の測定と、荷重を積載したEMCの測定試験を考慮して第1編成とし、走行区間は曲線と分岐器のない駅間が選ばれた。そして15日に80km/hでの走行が実現できた。

#### 3.5 各種テストの実施と現地作業の進捗

最高速度での走行ができたことで、性能のチューニングができた。そのため第1編成は、走行に関するタイプテストを進めることになった。また他の編成は、ルーチンテストを実施できるものの、ここで現地要員が十分でないため実施できないという壁にぶつかった。

このため、横浜の協力会社からの派遣のほか新津事業所からの加勢を含めて、約90名の出張者がバンコクに派遣されることになった。あわせて車両の運行時間帯を従来の8:00～20:00から7:00～23:00に拡張し対応することとなった。これにより、これまでは同一時間にホテルへ帰着してきたが、担当する作業により出勤時間を変更することになった。その概要は、早朝デポ内が加

圧される前に当日走行する予定の車両の出区前検査を終了させるため、保守要員を増加して、毎週、毎月といった他の保守業務は別のグループが実施する。車両の入換えと試験走行のグループを新設して、通常検査の要員から完全に分離する。また、ルーチンテストの外注先を増加し複数編成を並行できるようにしたうえで、現地作業は遅番で対応することにした。

以上の取り組みによって、3月末までに当社が実施する試験を全て終了することができた。

### 3. 6 マニュアルの整備と訓練・教育への対応

現地業務で大きなウェイトを占めたのが、現地車両運用者に対する訓練・教育があげられる。これらは車両のマニュアルに基づいて実施されることになっていたが、車両の取り扱いだけでなく、保守業務や予備品、特殊工具や各種部品といった分野で構成され、その作成がボトルネックとなった。マニュアルそのものは、コンサルタントの協力を得て整備されたが、保守業務だけでもオーバーホールまで包含しなければならず、多岐に渡ること起因する。

また、ドライバの育成も車両メーカーが担当する契約であったため、車両の提供に加え講習の準備とその進行も当社で担当することになった。さらに、デポの検査・試験設備の受け入れ試験へ車両を提供するほか、クライアントを対象にした現地での技術移転（TOT：Transfer of Technic）も実施している。

### 3. 7 商務対応とプロジェクトチーム

本プロジェクトを支えた関係者は数多いが、海外営業部とその下に置かれたプロジェクトチームの功績は大きなものがある。

契約が成約した後もクライアントを相手に緻密なデータと資料を準備し、時には現地に出向いて地道な交渉を繰り返してきた。また、関係するサブコンとの納期の交渉や督促にもあたってきた。また、海外出張者の航空券、宿泊先の手配もすべて担当することになった。

プロジェクトチームは入社3年目の若手を中心に、横浜事業所の現業とクライアントのインタフェースとして機能し、ドキュメントの取り纏めに大いに貢献した。また、現地でも裏方として、検査業務をはじめとした現地作業の進捗にはなくてはならない存在であった。

## 4 開業式典とその後のフォロー

### 4. 1 業務移行

以上の経緯を経て、6月1日をもってデポや車両に関する業務は、車両運行を担当する現地企業（Bangkok Expressway and Metro社、以下BEM社）に移管されることになった。BEM社による“Trial run”と位置づけられ、これまでは、本線運転の車両の充当、基地内の車両移動計画と実行は当社が担当してきたが、BEM社によって計画・実行されることになった。車両保守業務はメンテナンスを対応する企業が担当しているが、実務では当社がサポートするものもあり、当面の間は一緒に仕事を続けることになる。

メンテナンス対応企業による保守業務は、消耗品の補充といった予備品の管理がなければ遂行することができない。



図7 貸倉庫に保管された予備品

デポ内の保管庫が十分に機能するに至っていないので、横浜や海外からの調達品は、一時当社が手配した貸倉庫に保管している。こうした予備品の発注はもちろん、現地への輸送・搬入と検品は、海外営業部が担当した。

### 4. 2 プレイベント

開業が8月6日と案内されてから、開業前の一般試乗会というプロモーションが開催された。これまでは政府関係者といった来賓を対象にしたイベントだったが、一般のお客様が駅を利用して乗車するというものである。既に車両は引き渡されているものの、故障や障害といった異常時の対応要員として添乗するようBEM社から要請があった。このため、早朝3時から出勤する変則勤務で対応した。

### 4. 3 開業式典

8月6日、いよいよ本線開業の日である。

式典は、14：00にバンコク側の始発駅、タオポーンに

シリントン王女をお迎えしての開催となった。このパープルラインの紫色は、王女ゆかりの色である。また王女は、皇太子に次ぐ王位継承権もあるため、タイ国民からは絶大な敬意の念を受けておられる。

14:20に王女が乗車した列車がタオポーンの駅を出発、14:57にデポに到着した。同列車には当社社長と専務も同乗した。15:09に王女様により運行開始の合図がされたことで、初列車が15:30にクロン・バンパイの駅を出発し、これをもってパープルラインが正式に開業したことになった。

開業後、デポではレセプションが開催され、日本政府から石井国交相をはじめとする面々が出席した。

困難の連続であったプロジェクトが、実を結んだ日であった。

#### 4. 4 開業後の報道

開業から3週間となった8月22日付の現地新聞には、パープルラインの利用者が2万人程度で当初見込みの10万人を下回るという記事が掲載された。都心側の終端駅タオポーンが他の路線との接続ができていないのが一番の要因と分析している。同駅からは地下鉄ブルーラインと国鉄のバンスー駅まで700mほど離れているため、この区間にはシャトルバスが運行されているが、利用者には理解を得られていないようである。実際に利用してみると、歩いて移動できる距離ではなく、シャトルバスも運賃が無料ということもあり、想像していたよりひどい混雑である。このため、タイ政府は運賃の値下げを検討していると伝えている。

しかし、バンコク・スカイトレインや地下鉄ブルーラインの開業時も、利用者の多くは鉄道の利便性を知っている海外からの旅行者や駐在員であり、現地の人々には、原油高により路線バス運賃が上昇し、鉄道との価格差がなくなったことで浸透し始めた経緯もある。また、全線地下区間のブルーラインでは、地下鉄を利用しない理由として「窓から景色が見えないから」という回答があったほどである。とりわけ自動車の便利さを知った人々に鉄道の利便性を理解してもらうには、もうしばらく時間が必要であろう。また列車に乗るだけでなく、駅を利用していただくための取り組みとして、駅周辺の開発も必要と思われる。この区間には、バンコクでも渋滞が最もひどいと評されるノンタブリ地区ライ (Lai) 交差点がある。Google mapには「地獄の交差点 (Hell Junction)」といった書き込みもあるほどだ。これから雨季の終わりにかけて、スコールによって自動車の渋滞にはさらに拍車がかかる。その時に、鉄道の利用が増えることを期

待したい。

## 5 おわりに

昨今、日本のインフラ技術の輸出が取りざたされ、特に鉄道技術の海外展開が注目されている。経済誌でも半年に一度は鉄道特集が掲載され、本プロジェクトもバンコクにて取材された経緯がある。高い安全性と信頼性を有する鉄道技術がありながら、海外展開で採用されたのは、台湾新幹線とドバイメトロ等と希少な例しかない。事実、バンコクの都市鉄道では、バンコク・スカイトレイン、地下鉄ブルーラインとエアポートリンクはドイツのシーメンス社が受注している。そうした意味で、本プロジェクトで日本の車両が採用されたのは、特筆すべき事例で、今後の評価が注目される。

#### 参考文献

- (1) 特集【海外向けsustina出場記念】、総合車両製作所技報 第4号、3-29、(2015)、(株)総合車両製作所
- (2) Googleマップ  
<https://www.google.co.th/maps/@13.4926325,100.7097233,10z?hl=ja>

(五十嵐 英晴 記)

# 製品紹介

## 京浜急行電鉄 新 1000 形 1800 番台 (15 次車) (正面中央貫通車)

生産本部 技術部



図 1 新 1000 形 1800 番台 (15 次車) 外観

### 1 はじめに

今回製作した京急電鉄 新1000形1800番台 (15次車) は、正面中央貫通構造の先頭車で、4両編成単独での運用と、4両編成を2本つないだ8両編成での運用を可能とするものである。8両編成時は、幌を装着して貫通構造とし、都営地下鉄浅草線および京成線等への乗り入れができるため、広範囲な運用が可能となる。

### 2 構造および特徴

#### 2. 1 車体

##### 2. 1. 1 基本構造

先頭車の乗務員室構体は、正面中央貫通構造のものを新たに設計した。乗務員室の構体構造は、従来のステンレス車 (6～14次車) と同じく、軟鋼製構体とし、正面中央に貫通路を設けた構造である。

客室部の構体および客室設備は、既存車と同一であり、構体構造は、軽量ステンレス構体である。

車体長さは先頭車および中間車とも17500mm、連結面間距離は18000mmとなっている。また、車体断面は既存のステンレス車と同一であり、床面高さは1150mmである。

##### 2. 1. 2 デザイン

先頭部の外観デザインは、正面中央貫通構造とするも

の、これまでのステンレス車 (6～14次車) を踏襲したイメージとした。幌の取付を考慮して、幌取付面は垂直形状とした。周囲となじむよう塗装仕上げとし、従来のステンレス車との統一感をもたせている。

側面の外観デザインは、アルミ車 (1～5次車) までのイメージを踏襲するため、ほぼ全側面にカラーフィルムを貼り付けた。窓枠やドア枠を除き、窓周りはクリーム色とし、幕板部と腰板部は、赤色を貼り付けている。

##### 2. 1. 3 乗務員室設備

先頭車同士を連結したときに、通り抜けができるよう、サン板と幌が装着できる構造としている (図2)。連結により、貫通状態となったとき、貫通路から乗務員室に乗客が立ち入れないように、貫通路仕切を設けた (図3)。貫通路仕切は、中央通路と運転室、中央通路と車掌室を仕切るものである。貫通路は直線とし、かつ運転台部分はこれまでと同じ配置とした。

貫通路として構成するには、正面貫通開戸を開き、運転士側の仕切の一部として利用し、折りたたみである貫通路仕切開戸を閉じることで、運転士側を仕切ることができる (図4)。貫通路仕切開戸の手掛の下に設けた小フタは、背面仕切引戸の取手をつかむためのスペースを確保するために設けたもので、貫通路として仕切る時には



図 2 先頭車連結状態 (車外)



図 3 先頭車連結状態 (車内)



図 4 乗務員室 (運転士側)



図 5 乗務員室 (車掌側)

閉じることにより、平滑な仕切となる。車掌側を仕切る場合も同様、折りたたみである貫通路仕切開戸を180度回転して閉じ、通路と車掌室を仕切ることができる(図5)。

貫通路として使用しないときは、運転士側および車掌側共、貫通路仕切開戸を180度回転して仕切機能を解除し、通常の乗務員室として使用できるものとなっている。貫通路仕切には窓を設け、右側前方の運転視界の影響が少なくなる配置としている。

貫通路仕切の上部から天井までの間には垂壁を設けて、通路と乗務員室を仕切っている(図6)。前面表示器部は、点検時に支障のないよう、垂壁が折りたたむ構造となっている。これにより、前面表示器フタを外すスペースを確保している。このような仕切構造とすることで、通路と乗務員室を完全に仕切ることができた。



図6 乗務員室天井(前方寄)

乗務員室内に設けたカバン置台は、車掌側の貫通路仕切開戸に取り付けた(図7, 図8)。貫通時には、仕切開戸と共に車掌室内に回転移動するため、乗客の通行に妨げにならない。



図7 カバン置台(使用時)

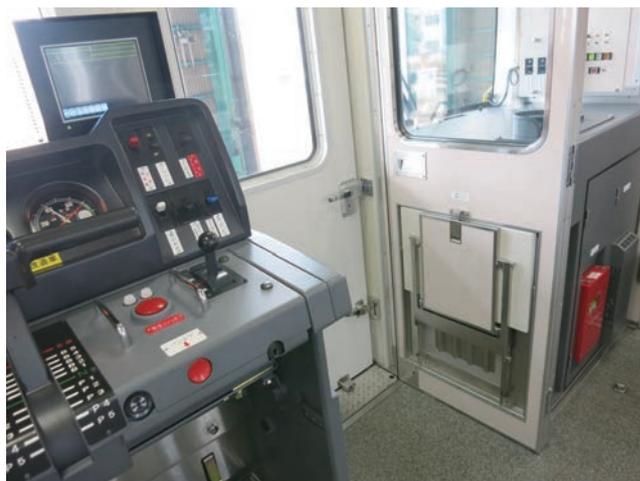


図8 カバン置台(折りたたみ時)

## 2. 1. 4 客室設備

客室部については、前回のステンレス車の正面中央貫通構造ではない14次車と同一である。但し、乗務員室背面仕切戸は、先頭車同士を連結した際、隣接車両の客室間を自動で閉じることができる構造とするため、開戸から引戸に変更となった。

背面仕切を引戸に変更すると、非常梯子の収納スペースとして利用していた場所が、引戸の戸袋領域となるため、前回ステンレス車(14次車)と同じように非常梯子を収納することができなくなった。そのため、非常梯子収納箱を客室側へ張り出して設けた(図9)。このため、立席スペースが減り、定員は14次車に比べ、1名減の117名となっている。中間車については、14次車との変更点はなく、定員は129名となっている。



図9 乗務員室背面仕切(左側:非常梯子収納箱)

### 2. 1. 5 車外設備

先頭車に取り付けるサン板は、連結するときのみ取り付けるボルト結合式としているため、すっきりした印象となっている。サン板上面は乗務員室床上面との段差があるため、スロープを設けた。スロープはサン板と一体化しているので装着しやすくなっている。

先頭車用の幌についても連結時に素早く取り付けられるよう、着脱性と機能性を考慮したものを製作した。

正面の標識灯は、車外から点検できる構造に変更したため、灯具を取り出すスペースが必要となる。そのため、ガラスよりひと回り大きい標識灯枠を設け、脱着可能な構造のボルト固定式とした。

正面表示器（行先、種別、運行番号）は、幌取付に必要な高さを確保するため、前回までのステンレス車（6～14次車）より開口部を40mm上昇した位置とし、構体上部の塗分けラインの赤と黒の境界内に収まる位置とした。

### 2. 1. 6 外装色

これまでのステンレス車とは異なり、側面は新1000形アルミ車に準じた配色のカラーフィルムを貼り付けた。窓枠およびドア枠は凸部形状となっているので、カラーフィルムを貼っておらず、ステンレスの無塗装仕上げとなっている。この結果、1800番台はアルミ車に準じた赤とクリームの配色となっているが、窓枠およびドア枠はステンレスが輝き、この車両独特のアクセントとなっている。

## 2. 2 ぎ装

### 2. 2. 1 床下機器

主回路は従来の4両編成および6両編成と同じ東洋電機製のシステムを採用。先頭車に電動空気圧縮機、補助電源装置、蓄電池を搭載している。

### 2. 2. 2 屋根上機器

パンタグラフは編成で2台搭載。M1s1車には準備工事でもう1台追加できる仕様となっている。6両化した際の集電効果向上を考慮している。

### 2. 2. 3 乗務員室機器

前面は中央貫通車で、運転台と車掌台に別れている。運転台としては従来より縮小されたため、一部の機器は、操作性も考慮し、乗務員室上部の壁に配置した。運転士側に電動ワイパ、車掌側には手動ワイパを搭載している。車掌台の点検ふたはスペースと操作性を考慮して、2段階式開閉機構とした。



図 10 運転台



図 11 車掌台



図 12 車掌台 2 段階式点検ふた

## 2.3 台車

台車については、前回車までと同様、車体直結空気ばね方式で、ボルスタ付の台車となっている。軸箱支持装置は円筒案内方式を採用している。

## 3 おわりに

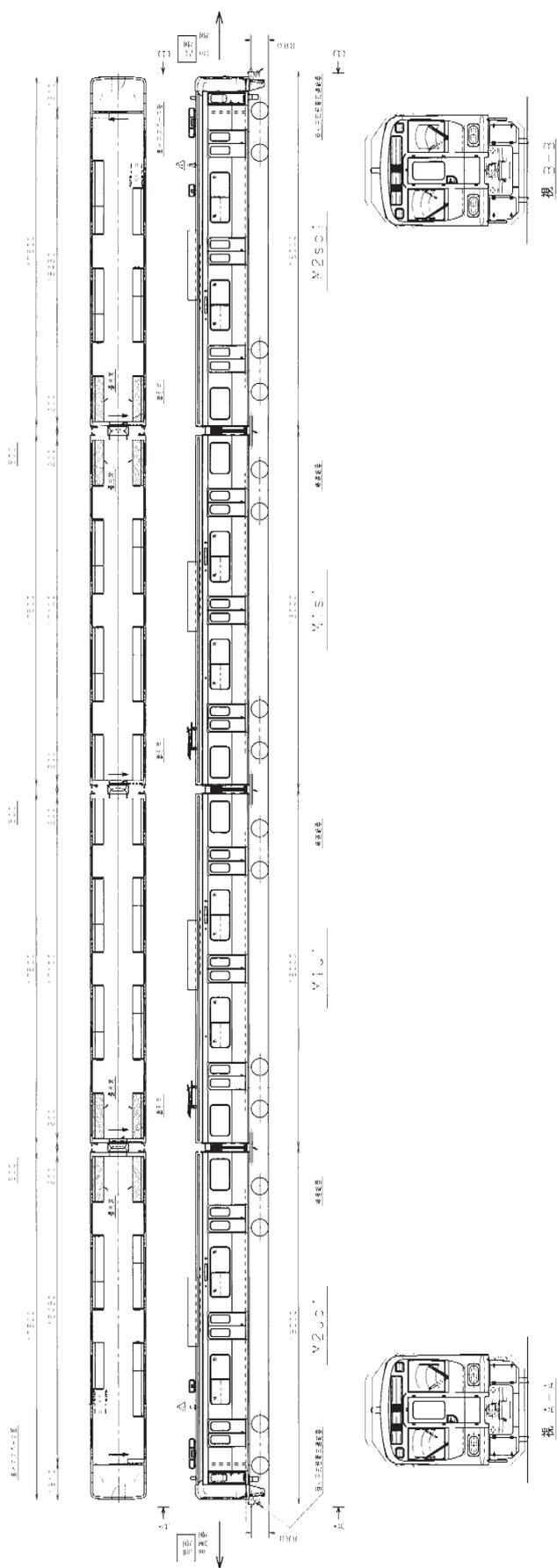
新1000形1800番台は、2016年3月4日から営業運転を開始した。3月27日にはデビュー記念イベントが開催されるなど、多くの皆様に迎えられた。

この1000形1800番台が京急電鉄の沿線の皆様に永く愛され活躍することを心より願っている。

(宮田陽一、茂木正綱 記)

表1 諸元表

編成	←南方				北方→			
	M2uc1		M1u1		M1s1		M2sc1	
	+ ●●		●● - - ●●		●● - - ●●		●● - - ●● +	
	SIV CP 蓄電池		VVVF 受給電		VVVF		SIV CP 蓄電池	
	+ : 廻り子式密着連結器 - : 棒状連結器							
号車	1号車		2号車		3号車		4号車	
車種	M2uc1		M1u1		M1s1		M2sc1	
定員(人)	117		129		129		117	
自重(t)	35.0		33.0		33.0		35.0	
連結面間距離	18000mm							
車体長さ	17500mm							
車体幅	2791.8mm							
屋根高さ	パンタ付車: 4050mm パンタ無車: 4026.5mm							
床面高さ	1150mm							
台車間中心距離	12000mm							
側出入口	(幅)1300mm × (高さ)1850mm 片側3扉 両開き							
電車性能	加速度0.97m/s <sup>2</sup> 、減速度1.11m/s <sup>2</sup> (常用)、1.25m/s <sup>2</sup> (非常)、最高速度130km/h							
集電装置	PT7117-A シングルアームパンタグラフ							
連結装置	先頭車: 廻り子式密着連結器(空気電気自動解放方式) 中間車: 棒状連結器							
主電動機	三相かご形誘導電動機 155kWh 1100V 55Hz すべり率1.9%							
制御装置	VVVF制御装置(1C4M2群)							
ブレーキ装置	応荷重装置付回生ブレーキ併用全電気指令式電磁直通ブレーキ(保安ブレーキ付)							
補助電源装置	170kVA440V 静止形インバータ							
電動空気圧縮機	スクロール式1600L/min							
戸閉装置	単気筒複式Vベルト方式							
冷房装置	屋上集中式 スクリューコンプレッサ フルロード&アンロード容量制御 41.9kW 急速暖房式							
蓄電池	ニッケルカドミウムアルカリ蓄電池 100V(60Ah)24V(30Ah)							
放送装置	各車別自動音量調整方式 簡易自動放送付 車内スピーカー6台/両							
非常通報装置	ブザーおよび通話機能付							
緊急スイッチ	非常ブレーキ・非常発報信号・パンタグラフ下げ 3機能連動							
ATS装置	C-ATS方式							



車種	2	3	4	編成合計	
V2J0	V1J	V1S	V2S0	V2S1	
39	52	52	99		
乗員	76	77	77	76	300
合計	117	129	117	482	

図 13 編成図

## 京王電鉄 事業用車両 デヤ901・902形, サヤ912形

生産本部 技術部



図1 製品外観

### 1 はじめに

京王電鉄では、京王線で営業列車と同速度、同負荷条件下で軌道・架線検測が可能なクヤ900形「総合高速検測車(DAX)」を有している。従来、牽引車両としてデワ600形、資材輸送を行うチキ290形を運用していたが、車両寿命による置き換えと降雪への対応を目的とした後継車両導入が決定され、受注、製造した。

以下に新しい事業用車両デヤ901・902形、サヤ912形の概要を紹介する。

### 2 構造および特徴

#### 2.1 車両概要

デヤ901・902形およびサヤ912形は、デワ600形およびチキ290形の代替車両として設計するものであり、その構造は省エネルギー対策・メンテナンスフリー化の改善を図っている。デヤ901・902形の先頭台車には排雪板を備え、降雪時に運行させることで線路上の除雪を行い、列車運行への影響を軽減させることを可能としている。

#### 2.2 車両編成

車両形式は、デヤ901形(Mc1)+クヤ900形(Tc)+サヤ912形(T)+デヤ902形(Mc2)の4両編成(2M2T)である。

検測時は4両編成で運用されており、降雪作業時にはクヤ900形を切り離れた3両編成での運用を想定している。

#### 2.3 デザイン

正面デザインは、営業列車との差別化および夜間走行時の視認性を考慮し、塗装は黄色とした。編成での一体感を創出するため側面には帯状のラッピングを施した。

#### 2.4.1 基本構造(デヤ901・902形)

車体は、軽量ステンレス構体で、20mの片側4扉車とした。



図2 デヤ901・902形 室内

室内の化粧板は白系で統一し、明るく、清潔感のある色調とした。

また、作業員の待機用として、車端に4人掛け片持ち腰掛を2ヶ所配置している。

#### 2. 4. 2 基本構造 (サヤ912形)

当社としては初の無蓋貨車である。台枠は軟鋼製で、床板は腐食への配慮からステンレス製縞鋼板としている。検測など日中時間帯でも運用されるため、お客様の誤乗車防止柵を配置している。荷物の出し入れを容易にするため、柵は取り外しが可能な構造とし、先頭構体同様、視認性向上のため黄色塗装が施されている。

また、車端部には転落防止ホロを配置し、ホームからのお客様の転落防止を図っている。



図3 サヤ912形外観

### 2. 5 ぎ装

#### 2. 5. 1 床下機器 (デヤ901・902形)

床下ぎ装は主に主回路関係と補助電源装置、空気源装置を京王電鉄のメンテナンスおよび重量バランスに配慮し配置している。

主制御器としては、主回路素子にIGBTを用いた2レベルインバータ方式の応荷重機能、回生ブレーキ付きVVVFインバータ制御装置を搭載。主電動機2台を制御する1C2M×2群構成で、台車ごとに群開放を行なうことで故障発生時にも加速性能を確保できる。

補助電源装置には、170kVAで出力電圧は三相交流440V、60HzのIGBT素子を用いた2レベルインバータ方式の静止形インバータ装置を採用している。

空気源装置としては、低騒音・低振動のスクロール回転式交流コンプレッサを採用している。吐出量は、1067 L/minである。

ATC受電器は、9000系に比べ台車先頭寄りに排雪板を備えている関係から、先頭寄りへ配置している。そのため先頭下部覆いの一部が受電器の金属隔離距離に入ることから形状を変更している。

客車牽引も考慮して、先頭の連結器下部には電気連結器を備えている。

#### 2. 5. 2 床下機器 (サヤ912形)

低圧つなぎ箱内のWAGO端子台に配線を接続する際にフェール端子を使用し、結線の容易化・経年における不具合を低減させている。

#### 2. 5. 3 屋根上機器 (デヤ901・902形)

屋根上は車両中央に集中型の空調装置を搭載し、先頭寄りにSR列車無線の空中線を配置している。

また集電装置は、離線の関係からデヤ901形は連結妻寄りに配置し、デヤ902形は先頭寄りに配置している。

#### 2. 5. 4 室内機器 (デヤ901・902形)

両先頭車とも基本的には共通の機器配置となっており、京王電鉄のメンテナンスを配慮して、京王形デジタルATC装置やブレーキ制御装置、蓄電池箱、空気タンク、低圧つなぎ箱などの機器が機器ラック構造で室内に搭載されている。



図4 デヤ901・902形 室内機器

蓄電池箱に関しては、室内配置としていることから万が一の安全配慮のため密閉箱とし、防爆用の空気ダクトを左右の側引戸袋内に開口を設けることで、外観を損ねることなく車外の空気を走行方向ごとに強制的に給排気できる構造としている。



図5 デヤ901・902形 蓄電池箱

室内灯は蛍光灯形のLEDランプを使用し、千鳥配置としている。

非常通話装置は、客車扱いをしないため非設置となっている。

### 2. 5. 5 乗務員室機器 (デヤ901・902形)

乗務員室構造は、都営新宿線への乗り入れが設定していないため、非乗り入れの9000系 (8両編成) を基本としている。

## 2. 6 台車

台車は9000系用台車の基本構造を踏襲したボルスタレス台車である。台車形式は、電動台車がTS-1017A (先頭台車) とTS-1017 (中間台車)、付随台車がTS-1018Aである。

軸箱支持装置は9000系台車と共通仕様の軸はり式である。ただし、TS-1018A台車のみ空車質量がベース車より軽くなった関係で軸ばね荷重～たわみ線図を三段階のばね特性を持つ仕様へ変更した。

台車枠は横はりにシームレスパイプを用いた鋼板溶接構造で、横はりパイプは空気ばね補助空気室を兼ねている。

車体支持装置は車体直結式空気ばねおよび一本リンク式牽引装置で構成されている。

ブレーキ装置は踏面片押し式で9000系と同一仕様のユニットブレーキと制輪子である。

輪軸は9000系と同一仕様である。車輪はゴムリング付き防音波打車輪を採用し曲線通過時のきしり音の低減を図っている。



図6 TS-1017A 台車



図7 TS-1017 台車



図8 TS-1018A 台車

9000系用台車と異なる点は降雪時に運行させることで線路上の除雪を行い、列車運行への影響を低減させるため先頭台車に排雪板を備えている。



図9 排雪板

## 3 おわりに

デヤ901・902形、サヤ912形は総合高速検測車クヤ900形と編成を組み2016年6月20日の公式試運転を経て運用に就いた。

京王電鉄のご指導、ご協力のもと、竣工させることができたことを感謝申し上げますと共に、今後長きに渡り活躍されることを心から願う。

### 参考文献

- (1) 石川和弘, 他: 「京王電鉄 総合高速検測車クヤ911」, 東急車輛技報 58号, 82-85, (2008), 東急車輛製造(株)

(佐藤仁, 佐藤祐三, 川上清温 記)

表 1 主要諸元表

編成	←本八幡	京王八王子←	←本八幡	京王八王子→
凡例：連結器（+：密着自動，-：半永久） 車軸（○：T軸，●：M軸）				
最高運転速度	110km/h			
号車	-			
車種	Me1		Me2	
形式	デヤ901形		デヤ902形	
形式			サヤ912形	
定員（人）	8			
質量（t）	37			
車体寸法	連結面間距離	20000mm		
	車体長さ	19500mm		
	車体幅	2833mm		2730mm
	屋根高さ	4100mm		2399mm
	床面高さ	1130mm		1218.5mm
	台車間中心距離	13800mm		
台車形式（歯車比）	先頭台車：TS-1017A, 中間台車TS-1017(85/14=6.07)		TS-1018A	空気ばね・ボルスタレス台車 軌間1372mm, 固定軸距2200mm
主要機器	パンタグラフ	シングルアーム PT7110-F形		
	主電動機	三相かご形誘導電動機（EFO-K60） 170kW×4台/両		
	主制御器	VF1-HR2415K形VVVFインバータ制御装置		
	補助電源	INV153-G0形静止型インバータ装置		
	電動空気圧縮機	スクロール回転式 MBU1100Y-4形		
冷房装置	CU711D形集中式冷房装置			
保安装置	京王形デジタルATC装置, 列車無線装置			
制御方式	VVVFインバータ制御方式, 回生ブレーキ付き			
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 保安ブレーキ, 耐雪ブレーキ		電気指令式空気ブレーキ 保安ブレーキ, 耐雪ブレーキ	
その他	運転室構造	-		
	情報装置	-		
	座席配置	連妻寄車端ロング		
	側出入口	片側扉数:4, 空気式戸閉装置		
	トイレ	-		
サービス機器	行先表示器, 車外スピーカ			

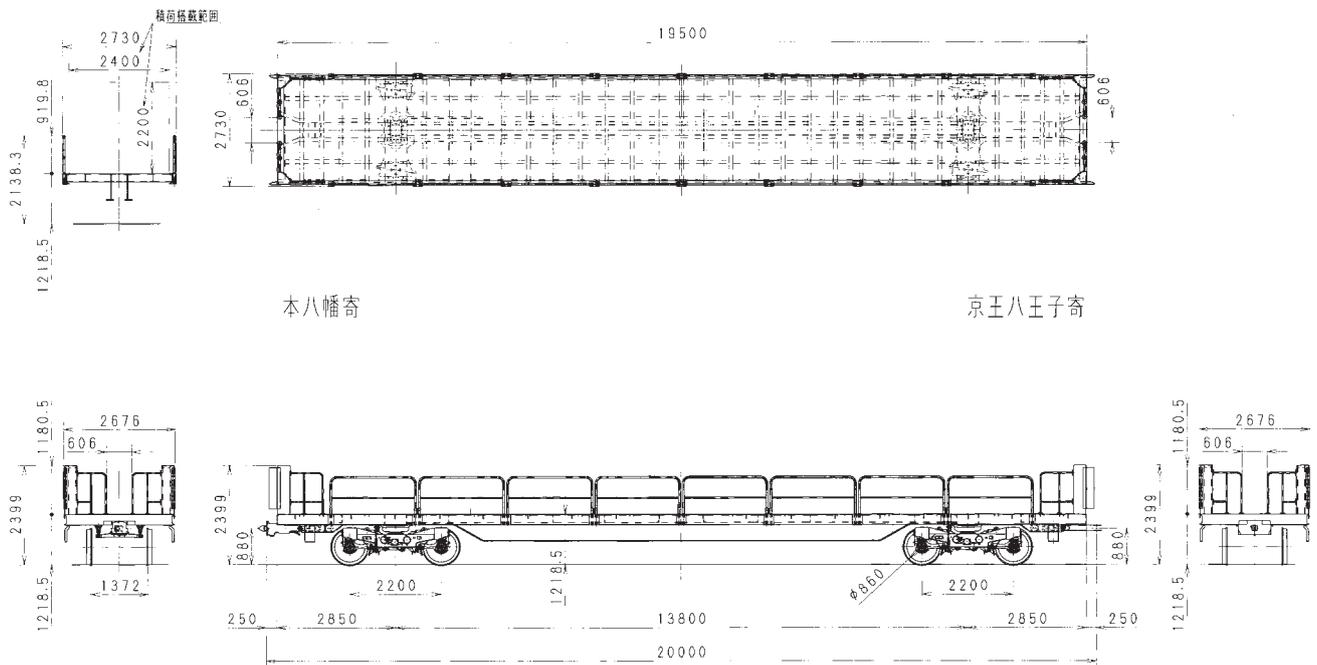
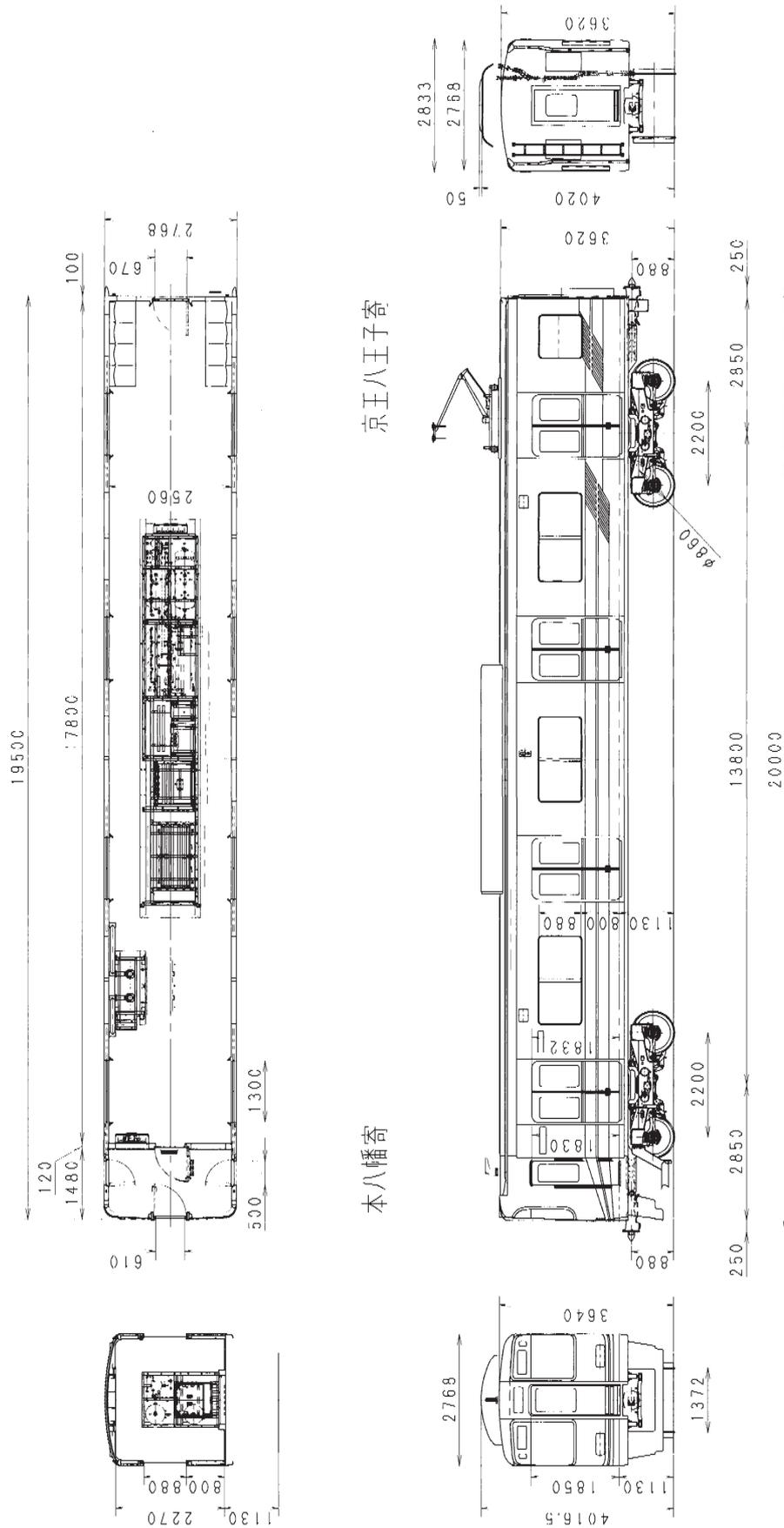


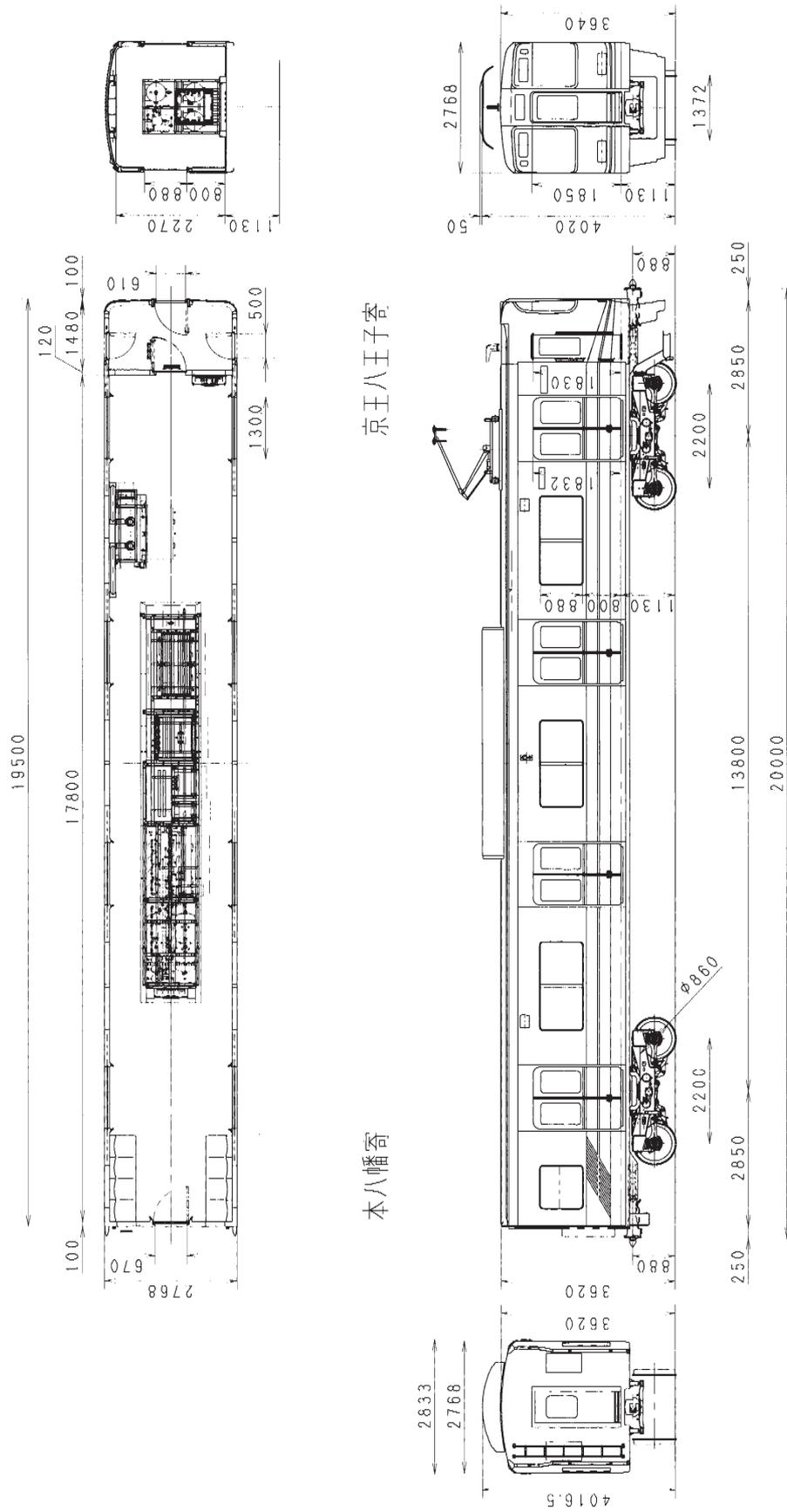
図 10 サヤ912形 車両形式図



京王八王子奇

本八幡奇

図 11 デヤ 901 形 車両形式図



京王八王子客

本八幡奇

図 12 デヤ902形 車両形式図

# 製品紹介

## 西武鉄道 4000系改造 観光電車 —「西武 旅するレストラン 52席の至福」—

生産本部 技術部



図1 4000系 観光電車 外観

### 1 はじめに

西武鉄道では、100周年事業の一環として新しいサービスを提供するために、1988年に当社で製造した4000系1編成4両を観光用に客室設備を改め、併せてトイレや座席をバリアフリー対応に改造した。

都心の池袋駅や西武新宿駅から西武秩父駅や本川越駅間を主体に2016年4月17日より土・休日を中心に営業を開始した。

### 2 構造および特徴

#### 2.1 基本構造、外観

編成は4両編成 (Tc1+M1+M2+Tc2) のままとし、車体外部は空色を基調に秩父と武蔵野を流れる荒川の水を表現したデザインをベースとしたフルラッピングを行い、1から4号車で秩父の春夏秋冬をイメージした風景を配置している。

#### 2.2 室内設備

1号車（多目的スペース車両）は出入口前後に仕切をたて、仕切間の座席を全て取り払いイベント等に使用する多目的スペースとした。大型スクリーンとプロジェクターを取付けることができるほか、天井にはイベントなどの

飾付け用としてピクチャレールを室内全長に設置した。

暖房は温風ヒータ式に変更し側窓下部に配置した。

多目的スペース前位の仕切から運転室まではバックスペースとして、車掌側に子供用展望台と運転士側にカーテンで仕切る授乳スペースを設け、後位の仕切から妻まではエントランススペースとし既設の和式トイレを大型洋式トイレと男性用トイレに改めた。



図2 1号車多目的スペース

2号車（座席車両）は表面には不燃処理をした柿渋和紙を貼付けたアーチ形状の天井パネルを長手に通した。

天井パネルの隙間からは既設空調の冷風が車内に吹き込む構造とした。

また、車両中央の隙間にはダウンライトを配置し通路照明とし、側窓上の両サイドに間接照明を設け柿渋和紙のアーチ天井を照らしている。

腰掛は新たに、2人掛け用テーブル5組と4人掛け用テーブル4組を配置し座席定員26人とした。腰掛の表地はダークブルー系の生地を使いテーブル、タイルカーペット、壁はダークブラウン系を配色することで落ち着いた車内を演出している。

3号車はキッチン車両で2号車の方からクローズドキッチン、中央部分にオープンキッチンとメインカウンタを配置している。4号車方の出入口から妻までを立席のカウンタとしお客様が座席以外にもくつろげる場所を提供している。

メインカウンタ、立席カウンタの天板には人口大理石(コーリアン)を、通路の壁やオープンキッチン内の収納棚にはメタリック調木目のアートテックを採用する事で上質で高級感のある空間を演出した。

クローズドキッチンを除く範囲の天井には杉木目の突板平面材を段々に張り詰めることで開放感のある仕上がりとなり、オリジナリティの高いパーツが集まるキッチン車両でも一番の特徴となっている。

4号車(座席車両)は西武線沿線の西川材(杉)を不燃処理して天井のルーバとして採用した。

ルーバは、その形状と配列により、波打つように見え荒川の水の流れを表現している。

ルーバの隙間にはダウンライトを配置して2号車の間接照明とは趣の異なる室内を演出している。

新たに配置した腰掛は、2号車と同様に配置し座席定員26人として腰掛の表地はダークブラウン系の生地を採用し、テーブル、タイルカーペット、壁もブラウン系を配色することで2号車に比べて少し明るめの室内を演出している。

### 2.3 床下機器

3号車をキッチン車両とするために、既設の空気圧縮機と調圧器、空気タンクを4号車に移設し、空いたスペースにキッチンで使用する清水・汚水タンクと変圧器を設置した。

### 2.4 室内機器 ・ AV機器

照明設備は既設の客室蛍光灯を全て撤去し、電力消費量削減のためLED照明に改め、色温度を3000K(ケルビン)の暖色系として室内の雰囲気を高め、料理を美味しく見

せる演出をしている。

SIVの電力不足を補うため電力制御回路を設けた。

イベント放送用に放送装置を追加し、映像サービス用に1号車に24型2台、2号車に32型2台、4号車に32型1台の液晶モニタを設置した。



図3 2号車 客室



図4 3号車 キッチン



図5 4号車 客室

リニューアルした4000系で「52席の至福」を味わう一人として乗車してみたいかがでしょうか。

(杉山隆, 中澤義郎, 橋本伸夫, 河内昭仁 記)

表 1 主要諸元表

編成	← 飯能, 西武新宿 (多目的スペース車両) (座席車両) (キッチン車両) (座席車両) 池袋, 本川越 → (座席車両) (キッチン車両) (座席車両)		4両編成 (2M2T)
最高運転速度	110km/h		
車号	4009	4110	4010
車種	Tc1	M2	Tc2
形式	クハ4001	モハ4101	クハ4001
定員 (人)	0	26	26
質量 (t)	34.4	44.1	34.4
連結面間距離	2000mm	2000mm	2000mm
	19550mm	19500mm	19550mm
車体長さ	2800mm	2800mm	2800mm
車体幅	3660mm	3660mm	3660mm
屋根高さ	1190mm	1190mm	1190mm
床面高さ	13600mm	13600mm	13600mm
台車間中心距離	FS072	FS372 (86/15)	FS072
台車形式 (備車比)	シングルアームパンタグラフ×2台 (M1車に搭載)		
主要機器	パンタグラフ		
	直流直巻補極付 150KW 375V 450A		
	総括制御自動加減速多段式電動機操作カム軸式電空併用ブレーキ, 抑速ブレーキ付		
冷房装置	SIV 150kVA AC440V 60Hz		
	屋根上集中形 42000kcal/h×1		
制御方式	総括制御自動加減速多段式電動機操作カム軸式電空併用ブレーキ, 抑速ブレーキ付		
	電氣指令式電磁直通ブレーキ装置 (応荷重装置付) (HSC-D)		
ブレーキ方式	電氣指令式電磁直通ブレーキ装置 (応荷重装置付) (HSC-D)		
座席配置	2人掛けクロス×5テーブル 4人掛けクロス×4テーブル	-	2人掛けクロス×5テーブル 4人掛けクロス×4テーブル
側出入口	片側2扉の内, 片側1扉, 開口1300mm, 空気式戸閉装置, (半自動式付) 片側1扉は閉鎖。		
トイレ	大型洋式便所, 小便所	-	清水空圧式汚物処理装置



## 改良型転てつ棒について

生産本部 和歌山事業所



図1 製品外観

### 1 はじめに

当社はJR西日本が主催する分岐器研究会に参画し、2006年より本テーマに取り組み各種検討を進めてきた。一部では実績も出来たが、この度マイナーチェンジを行い、信頼性の向上とコストダウンを実現したので下記に紹介する。

### 2 経緯

分岐器ポイント部の転てつ棒は、連結板を介し転てつ棒ボルトによりトングレーと接続する構造となっている。このボルトは転てつ棒の下側から差し込み、上からナットで締める構造のため作業効率が悪い。また、ボルトが折損した場合に大事故を招く恐れがあることから、

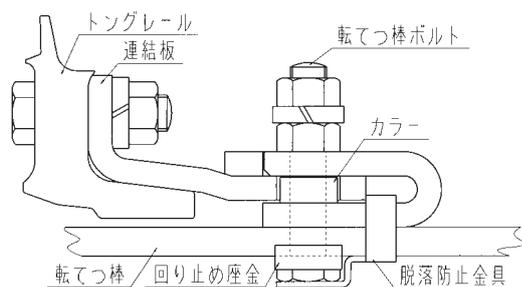


図2 連結板・転てつ棒接続部構造

ボルトが折損しても脱落させないための脱落防止金具を用いるなど部品点数が多くなっている(図2)。

### 3 初期型

#### 3.1 コンセプト

転てつ棒ボルトの代替となる連結構造を開発するにあたり、トングレーと連結板および転てつ棒とスイッチアジャスタの接続に使用する部材は従来品を使用し、転てつ棒と連結板の接続部に構造改良を施すこととした。改良品の主な特徴は次のとおりである。

#### 3.2 構造

構成する部材数の縮減を図り、上部から挿入できるものとするため、従来のカラーは不要とし、従来品のカラーの外径と同じφ38mmのピンを転てつ棒ボルトの代わりに適用した(図3)。なお、ピンはカラーと同様、炭素鋼の熱処理品である。転てつ棒は、従来品と近い構造であることとしたが、前述のピンが下部に抜けない構造とするため、転てつ棒本体には水抜き用穴(φ7)のみ設けた。また、ピンがφ38mmであるため、ピンを差込む鋼板(U字鋼)の穴径を従来の24.5mmから38.5mmへ変更し、あわせて鋼板(U字鋼)の上部幅を50mmから65mmへ変更した(図4)。



図3 ピン



図4 U字鋼

### 3.3 抜け止め対策

ピンの抜け防止として、既製品の脱落防止金具を流用して抜け止めとした(図5)。さらに二重の措置として、この金具を結束バンドあるいは被覆番線により固定する。ただし、この金具は本来、転てつ棒本体部(板厚19mm)への取付用であり、U字鋼が通常の板厚16mmのままであると、ガタを生じ、ピンの押えが不十分となることから、U字鋼板厚を19mmとし、下部溶接面に3mmの切削を施している(図6)。



図5 脱落防止金具取付

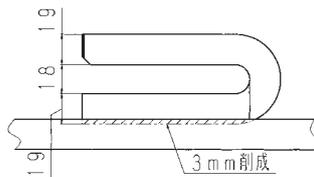


図6 U字鋼断面

## 4 営業線における敷設

表1に本改良型転てつ棒の敷設実績を表す。いずれも転換回数が10回以下/日の分岐器である。JR西日本については敷設後約2年半経過した2014年8月に解体による追跡調査を行ったが、目立った摩耗、傷は見受けられず、現在も問題なく稼働している。ただし、ピンの取り外しに苦慮することが分かった。

表1 使用実績

	敷設年月	期間	備考
JR西日本	2012年1月	4年8ヶ月	
関東民鉄	2014年10月	1年11ヶ月	
関東民鉄	2015年2月	1年7ヶ月	金具形状が若干異なる

## 5 お客様からのご意見

2012年のJR西日本での敷設後は、鉄道技術展への出展や各鉄道会社へのプレゼンなどを行ってきた。その中でお客様から得られる声の多くが以下の2点である。

- ・脱落防止金具の信頼性
- ・コストアップ

## 6 マイナーチェンジによる信頼性向上とコストダウン

本改良型転てつ棒のお客様の受け取る印象として、脱落防止金具が頼りなく、また、番線や結束バンドを使用することも難色を示される場合が多い。よって一手間増えることになるが、抜け止め金具をボルト止めとし、ハードロックナットを使用することで信頼性を向上した(図7)。また、従来の脱落防止金具の使用をやめることで、U字鋼の板厚を19mmとし、3mm切削するという不経済な構造を取る必要がなくなった。

そして、ピン形状は取り外し時の作業性向上のために、首部を設けることで掴みやすくした(図8)。



図7 抜け止め金具

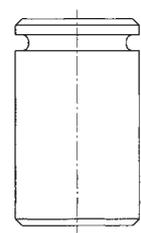


図8 ピン(新)

## 7 レールサイズ種類

この改良型転てつ棒のラインナップとして50kgNレール用と60kgレール用を用意する必要がある。従来構造ではピンの高さ違いにより、2種類用意する必要があったが、このマイナーチェンジ後は、ピンは共通とし安価な抜け止め金具で区別することとする(図9, 10)。誤使用の懸念については塗色により区別することとする。

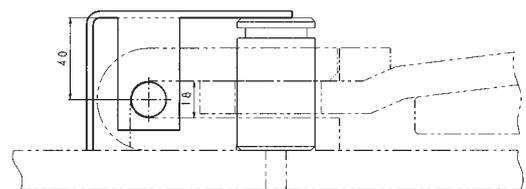


図9 50kgN レール用断面

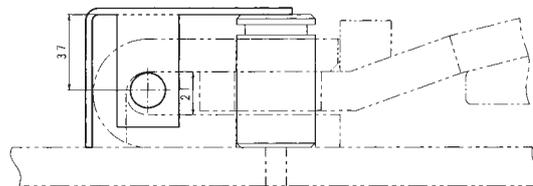


図10 60kg レール用断面

## 8 おわりに

以上のマイナーチェンジにより、信頼性の向上と大幅なコストダウンを実現した。今後も顧客ニーズを的確に捉え、新製品開発および既存製品の改良に取り組んでいく所存である。(松川周平 記)

## 28ft 級蓄電池搭載設置型コンテナ

生産本部 和歌山事業所



図1 製品外観（現地設置後）



図2 製品外観（事業所内完成検査時）

### 1 はじめに

近年、再生可能エネルギー需要の高まりと共に蓄電池設備やパワーコンディショナ等を装備することを目的とした設置型コンテナの需要が増えている。太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーは、時間や天候の影響による発電量の変動が大きいことから発電量の多い時は蓄電池に貯め、少ない時には蓄電池から出力することで電気の安定供給を可能にし、発送電設備の効率的な維持管理が可能となる。

今回、GSユアサから受注製作した蓄電池搭載コンテナを紹介する。

まず、2014年度にリチウムイオン蓄電池および付帯設備を搭載、運用することを目的としたコンテナ（1号機）を受注した。このコンテナは、GSユアサ京都本社敷地内に設置し現在も展示、試験運用を行っている。これに続き2015年度に2号機、3号機を受注した。この2号機、3号機は、中国電力西ノ島変電所に納入、設置された。

これまで海上輸送用コンテナに改装工事を行ったものや局舎と呼ばれる製品は存在したが、今回当社が製作したコンテナは、蓄電池設備の搭載を目的に専用設計を行い工場内で付帯設備を取り付け、その状態での輸送を可能とする強度を有することで現地での工事を大幅に簡略化し工期短縮を実現した。

### 2 構造および特長

- ① コンテナ外法寸法は、蓄電池設備、付帯設備搭載に無駄のない最適な寸法に設定している。
- ② 現地での配線作業、メンテナンス作業性を考慮し床にケーブル導入口、マンホールを設けている。
- ③ コンテナには、2箇所の出入口を設けている。また、出入口に設けた各扉には高い耐久性、防犯性を備えた鍵を備える。
- ④ コンテナ壁面の強度は、風速40m/s、地震力（水平力）1G、積雪3mに耐えうる構造である。
- ⑤ 現地搬入時の作業性を考慮しクレーンによる1点吊りが可能な強度を備えている。
- ⑥ 付帯設備を和歌山事業所内で設置することで、現地での工期短縮を実現している。
- ⑦ 静電気による蓄電池設備の破損防止を目的に帯電防止床材を装備している。
- ⑧ リチウムイオン蓄電池に最適な庫内温度維持を目的に空調設備、吸排気設備を備えている。
- ⑨ 空調設備、吸排気設備は自動運転や遠隔操作が可能なシステムとなっている。
- ⑩ 日射による庫内温度上昇抑制のため各壁面（床、屋根）に断熱材を装備している。
- ⑪ 万一の事故に備え防火ダンパ、避圧ダンパ、煙感知センサ、熱感知センサ、自動消火設備を備えている。
- ⑫ 海浜地域への設置を考慮し塗装仕様は重防食仕様としている。

## 3 主要諸元

全	長	8550mm
全	幅	2450mm
全	高	2800mm
内法	長さ	8428mm
内法	幅	2328mm
内法	高さ	2489mm
常用口	高さ	2384mm
常用口	幅	1300mm
非常口	高さ	1800mm
非常口	幅	650mm
床	面積	19.62m <sup>2</sup>
コンテナ	自重	5500kg
積載	質量	15500kg
総	質量	21000kg

(岡 成豊 記)



図5 排気口部



図6 空調室内機設置部



図3 付帯設備操作・表示部および自動消火設備操作箱

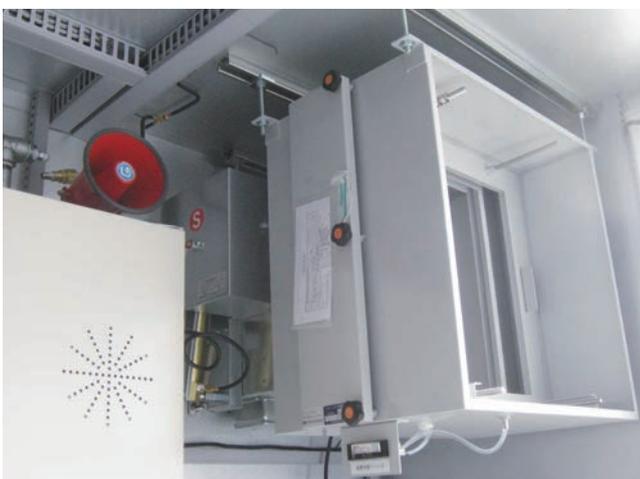


図4 吸気口部



図7 付帯設備操作盤部および自動消火装置部

## あとがき

『総合車両製作所技報』第5号をお届けいたします。

今回は当社のブランド“sustina”（SUS+Sustainable）シリーズの中から、「S13」車体長18m、扉数3扉、「S23」車体長20m、扉数3扉、および「sustina HYBRID」を特集しました。

今回ご紹介した「S13」「S23」のほか、「S24」シリーズのJR東日本山手線向けE235系量産車は現在製作中で、いずれも車両構体や車体設備、アコモデーション、車両電機品等の共通プラットフォーム化を図り、共通設計、部品の標準化、作り易い車両構造等で品質向上・安定化、コストダウン、工程短縮等を目指しています。

また、「sustina HYBRID」は2016年9月20～23日、ドイツ・ベルリンで開催されたInnoTrans2016にJR東日本と合同出展し、鉄道のハイブリッド技術と車両を中心に世界に強くアピールしました。

前号でご紹介した初の海外版“sustina”である「タイ、バンコクのパープルライン」は2016年8月6日に営業開始し、全21編成63両が順調に稼働しております。

今後とも国内外顧客の皆様のご期待に応えられる技術と車両を提供できるよう努力してまいります。関係各位皆様のご支援ご鞭撻を宜しくお願い致します。

取締役 生産本部技術部長  
新井 静 男

MEMO

**総合車両製作所技報 編集委員会**

委員長 新井 静男  
委員 小笠原健介 山野 尚男 滝田 晴之 江上 茂雄 荒木 雅之 遠藤 知幸 西垣 昌司  
河村多計士 橋本 克史 長谷部和則 駒形 敏昭 樋口 正勝 久保田寿郎  
査読委員 石川 武 河田 直樹 金原 弘道  
校正委員 大塚 陽介 加藤 武 上野 敦史 金子 貴史 鈴木 貴之 石上 圭介  
表紙 塩野 太郎 横川 浩大 斉藤 和彦  
事務局長 松岡 茂樹  
事務局 中島 庸祐 西脇 正 中川英二郎

**総合車両製作所 技報**  
**J-TREC TECHNICAL REVIEW**  
**Vol.5**

発行日 2016年12月

発行元 株式会社総合車両製作所 生産本部 技術部

〒236-0043 横浜市金沢区大川3番1号

電話 045 (701) 9753

発行人 新井 静男

編集 技報第5号編集委員会

印刷所 グランド印刷株式会社

〒232-0044 横浜市南区榎町2-55-2

電話 045 (743) 2201

© JAPAN TRANSPORT ENGINEERING COMPANY 2016 無断転載を禁ず



## 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 大阪府中央区瓦町三丁目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  
株式会社 総合車両製作所