

総合車両製作所技報

J-TREC TECHNICAL REVIEW

Vol. 2 2013.12

● *sustina* 第1号車両完成記念 特集寄稿

- ・「sustina」国内第1号車両の開発
- ・「sustina」ステンレス構体水密化のためのレーザすみ肉溶接技術の開発
- ・現車作業削減とぎ内装モジュール構造の開発
- ・「sustina」構体製造への「Smart RSW」の適用
- ・内装ロールバーによる車体剛性と乗り心地の向上
- ・「sustina」第1号車 側構体の製造方法
- ・「sustina」東急電鉄5576号車の概要

● 巻頭言

- ・「車両生産のモジュール化に向けて」

● 論文

- ・振動波形解析とMTシステムによる摩擦攪拌接合の状態監視技術
- ・鉄道車両用アルミニウム合金の異材摩擦攪拌接合
- ・板厚の異なるステンレス鋼板のレーザ突合せ溶接の異常検知手法

● 解説

- ・国際溶接学会IIWにおけるアルミFSWのISO国際標準化
— 国土交通省主催 鉄道技術標準化調査会 標準化活動貢献者表彰 受賞 —
- ・新型抵抗スポット溶接機の開発
- ・マグネシウム合金製車両用テーブルの開発



第1号車両完成記念特集

目 次

◆巻頭言◆

「車両生産のモジュール化に向けて」	3
＜株式会社総合車両製作所 専務取締役 山崎卓＞	

特集寄稿

• 「sustina」国内第1号車両の開発	4
＜浅賀哲也，須田剛慈，茂木正綱，西垣昌司＞	
• 「sustina」ステンレス構体水密化のためのレーザすみ肉溶接技術の開発	12
＜遠藤翔太，佐野裕，須田剛慈，浅賀哲也，西垣昌司＞	
• 現車作業削減とぎ内装モジュール構造の開発	18
＜須田剛慈，西垣昌司，浅賀哲也，茂木正綱＞	
• 「sustina」構体製造への「SmartRSW」の適用	22
＜遠藤翔太，渥美健太郎，阿部千明，浅賀哲也，西垣昌司＞	
• 内装ロールバーによる車体剛性と乗り心地の向上	26
＜今岡憲彦＞	
• 「sustina」第1号車側構体の製造方法	34
＜側垣正，佐野裕，越川純，七里マリア，河田直樹＞	
• 「sustina」東急電鉄5576号車の概要	38
＜須田剛慈，西垣昌司，浅賀哲也，茂木正綱＞	

一 般

◆論文◆

振動波形解析とMTシステムによる摩擦攪拌接合の状態監視技術	42
＜河田直樹，橋本健司，吉澤正皓，石川武，藤井英俊＞	
鉄道車両用アルミニウム合金の異材摩擦攪拌接合	48
＜橋本健司，河田直樹，石川武，藤井英俊＞	
板厚の異なるステンレス鋼板のレーザ突合せ溶接の異常検知手法	54
＜吉澤正皓，河田直樹，石川武＞	

◆解説◆

国際溶接学会IIWにおけるアルミFSWのISO国際標準化

－ 国土交通省主催 鉄道技術標準化調査会 標準化活動貢献者表彰 受賞 －	62
＜松岡茂樹＞	
新型抵抗スポット溶接機の開発	68
＜渥美健太郎，阿部千明，河田直樹，岡田寿＞	
マグネシウム合金製車両用テーブルの開発	74
＜橋本健司，河田直樹，石川武，松村寛＞	

◆トピックス◆

「革新的新構造材料等技術開発」プロジェクトへの取り組み

－ 車両構体へのマグネシウム合金の適用を目指して－	78
安全文化の浸透に向けた取り組み	82
Alstom Transport社製LRT「Citadis」	
－ 国内導入に向けたAlstom Transport社との覚書の締結－	84

◆製品紹介◆

東京都交通局 10-300形電車（3次車）	88
東急電鉄 5050系4000番台 Shibuya Hikarie号	94
JR東日本 E233系7000代 一般形直流電車	98
JR東日本 キハ100系改造 POKEMON with YOU トレイン	104
JR東日本 キハ110系改造 レストラン列車「TOHOKU EMOTION」	108
分岐器用PCまくらぎ	112
31フィートオートフロア装置付きコンテナ	116
あとがき	118
お問合せ先 本社，事務所，支店	

— 巻頭言 — “車両生産のモジュール化に向けて”

専務取締役
山崎 卓



「sustina」の開発では、品質の向上・軽量化・低コスト化など多くの目標を掲げました。

現在、その成果は東急電鉄様の5576号車で検証され、第四世代のステンレス車両として、今後の新製車両に反映させて行きます。また、特に今後の設計の共通化や生産の量産化の試金石としても位置づけました。

自動車業界では3~4万点の部品で構成される自動車を、大手メーカーグループが通称“1000万台クラブ”を形成して、各部位をブロック単位で積み上げ「モジュール(複合部品)戦略」を進め、そのモジュールを新製品開発のコンセプトに合わせて組み合わせ、新型車を生み出しています。試乗車やカタログを見ると競合会社の部品形状が同じであったり、安全対策機能を一齐に開花させたりと、それぞれの会社からうまくオリジナル車両としてデビューしているのが分かります。昔からそれぞれ企業ごとに部品の流用や共有化はされてきましたが、業界全体でこれまでにない勢いでモジュール化が進んでいます。

この背景について考えると、これまで日米欧の自動車を開発していれば良かった市場が大きく変化し、世界のそれぞれの地域に適合したものを、スピード感をもって開発しなければならないのは、国際化する鉄道車両の製品も同様の環境であると言えます。

モジュールという言葉は、ICT全盛期にはハードウェアもソフトウェアもその開発手法やシステム構成を示す表現として大いに使われてきました。また、モジュール化とは「システム(設計、製品、部品、プロセス、組織など)の複雑性を緩和するため、機能や形状をグループに仕分け、それぞれを決められたルールで、決められた情報経路(パス)やサイズで、如何にしてつなぐ(インターフェース)か」ということです。

当然、同じ目的のモジュールは、同じインターフェースを持った部品で機能に互換性があるものでなくてはなりません。現在、鉄道車両の機器や部品は、機能や性能はしっかり果たしていますが、一部の機器を除き前述のモジュールとは程遠い状況です。

鉄道車両におけるモジュール化のメリットとして、いろいろなことが考えられます。

- ・インターフェースが決まれば窓・戸・椅子・運転台…のバリエーションができる。
- ・設計変更の必要ないモジュールが管理できれば、難しい課題の設計に集中できる。
- ・設計途中でもモジュールの仕様が決めれば調達や生産ができ全体の平準化ができる。
- ・設計変更や修正が発生してもモジュール内の作業はモジュール内だけで完結する。
- ・出荷後のメンテナンス・保養品のサービスはモジュールを通して管理を軽減できる。

など。

今後、我々はこの「sustina」を通して、モジュール化が車両生産にどのように貢献するか更に発展させて参ります。どうぞご期待ください。

「sustina」国内第1号車両の開発

Development of the First Domestic “sustina” Car

浅賀 哲也 Tetsuya ASAKA
須田 剛 慈 Goji SUDA

茂木 正 綱 Masatsuna MOGI
西垣 昌 司 Shoji NISHIGAKI

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

ここでは、第1号車両完成までの、開発経緯・内容・成果について解説を行う。

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

1 はじめに

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

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

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

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

2 「sustina」試作車両開発経緯と目標

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

「車体の軽量化」

「外観の向上」

「構体水密性の強化」

「ぎ内装方法の改善」

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

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

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

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

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

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

3 「sustina」試作車両の製作

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

3. 1 試作車両の構体構造

従来構造からの大きな変更点は以下のとおりである。

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

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

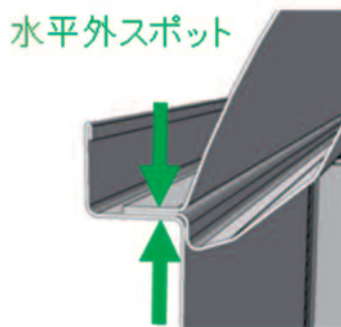


図1 側一屋根結合部（従来構造）

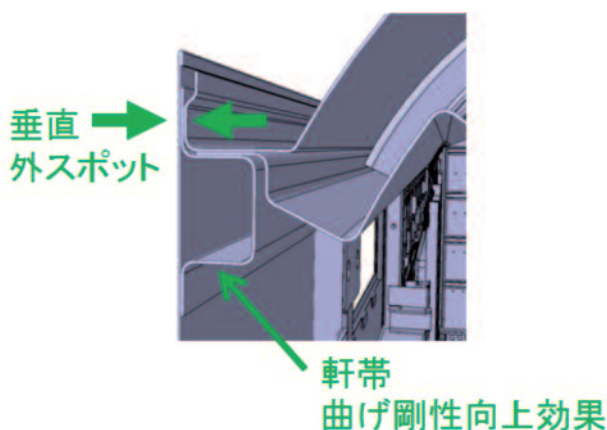


図2 側一屋根結合部（新構造）と軒帯

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

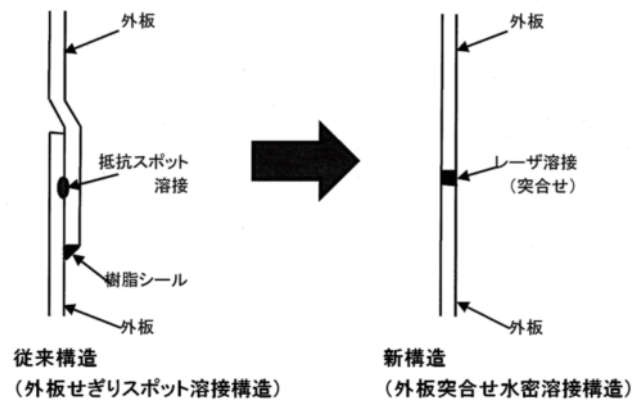


図3 外板結合部構造の相違

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

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

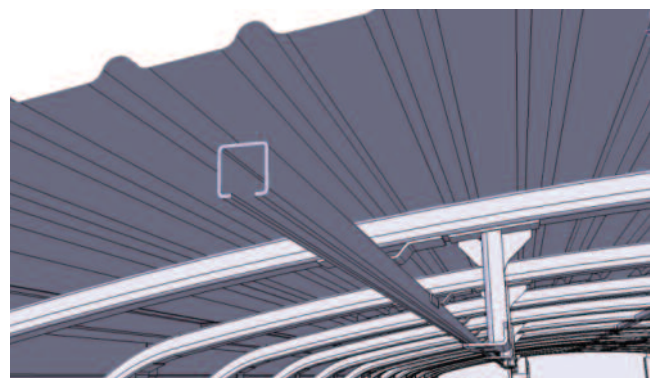


図4 屋根構体天井部吊溝構成イメージ

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

側構体にはキャンバを設けず、台枠と屋根に個別に設ける構造とした。

妻構体にはプレス成型のビード外板を用い、骨組低減と軽量化を行った。

3. 2 構体へのレーザ溶接技術適用

試作車両へのレーザ溶接適用箇所としては主に以下3箇所である。

「側外板、妻外板の突合せ溶接部」

「側外板と出入口フレームのすみ肉溶接部」

「妻外板と骨組間の重ね水密溶接部」

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

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



図5 側外板レーザー突合せ溶接部（青色部）



図6 レーザ突合せ溶接の様子

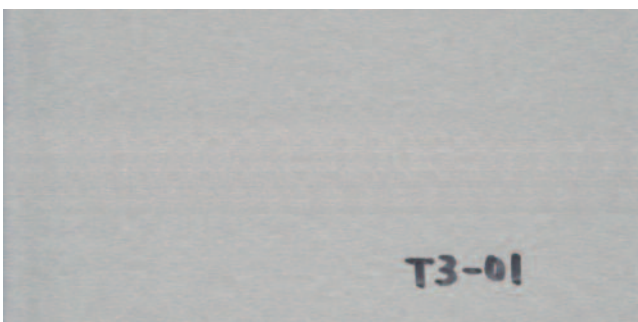


図7 研磨後の外板表面の様子
(文字上の横方向に見える筋状の境界部が溶接線位置)

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



図8 側出入口周囲すみ肉溶接部（赤色部）

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



図9 レーザ重ね水密溶接の様子

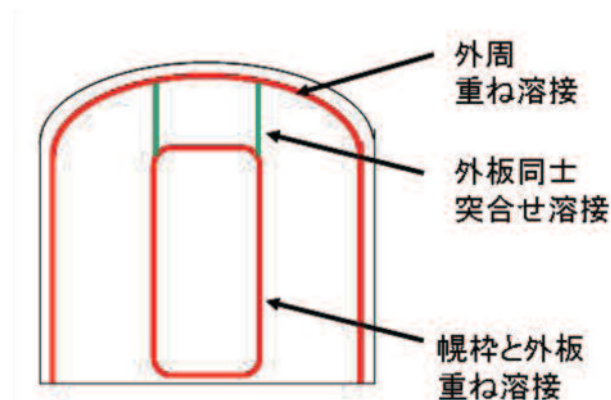


図10 妻構体へのレーザー溶接適用部位

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



図11 （参考）従来構造の完成構体外観



図12 試作車両の完成構体外観



図13 試作車両のビード外板連結妻構体



図14 試作車両構体内部

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

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

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

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

3. 3 試作車のぎ内装

室内ぎ内装に関しては

「現車タップレス構造の採用」

「内装の美観向上（フラット化、押面類の廃止）」

「内倒窓の採用」

「側点検ふたパネル構造の採用」

「内装ロールバー構造の採用」

「非傾斜式妻引戸装置の採用」

「モジュール化の推進と割付共通化（シンメトリ）配置（天井配線・妻機器・腰掛）」

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

「ガラス製袖仕切構造」

などの検証も行っている。

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

3. 3. 1 現車タップレス構造

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

また、この作業に伴う切粉の発生や、その清掃にかかる工数も問題視されていた。

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

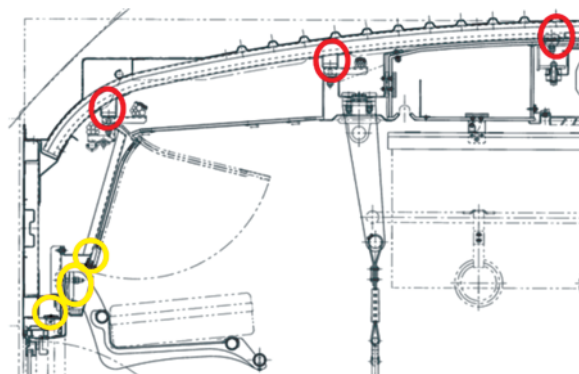


図15 現車タップレス構造部位の例

（赤丸部：吊溝＋ボルト固定）

（黄丸部：フローティングボルト・ナット固定）

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

3. 3. 2 内装の美観向上

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

3. 3. 3 内倒窓の採用

海外市場（特に欧州）では一般的となっている車体外

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

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

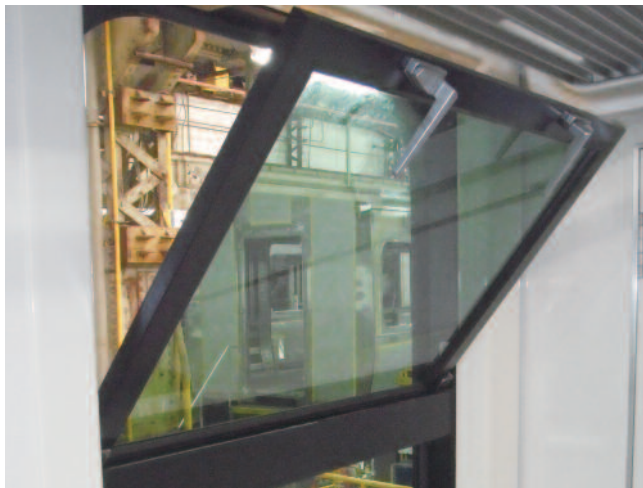


図16 内倒窓装置

3. 3. 4 側点検ふたパネル構造

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

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



図17 側点検ふたパネル構造（閉状態）



図18 側点検ふたパネル構造（開状態）

3. 3. 5 内装ロールバー構造の採用

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



図19 内装ロールバー構造（全体）



図20 内装ロールバー構造（部分）

3. 3. 6 非傾斜式妻引戸装置の採用

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

3. 3. 7 モジュール化の促進と割付共通化（シンメトリ）配置

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

「天井配線モジュール」

室内配線を大きく4系統に分け、それぞれを車両全長の長手方向で一体物として組んだもの。



図21 天井配線モジュール

「妻機器モジュール」

妻部に配置される機器類とそれを扱う点検ふた類を一体化したもの。

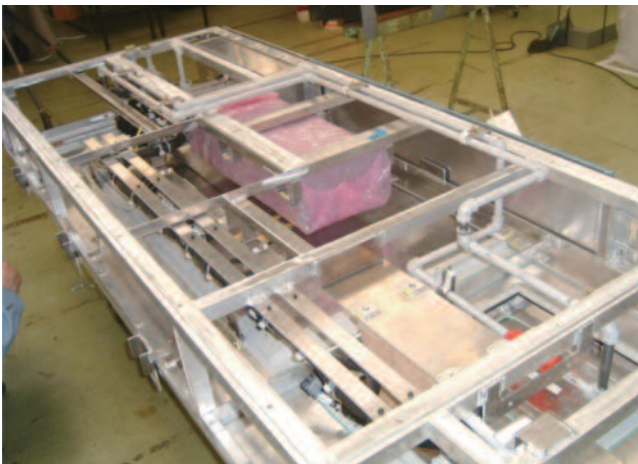


図22 妻機器モジュール

「RA風道モジュール」

RA風道と天井板とロールフィルタ取付枠を一体に先組みしたもの。



図23 RA風道モジュール

「腰掛モジュール」

腰掛とヒータを先組みしたもの。



図24 腰掛モジュール

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

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

3. 3. 8 LED灯具を用いた間接照明天井構造

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



図25 LED間接照明による客室天井部の様子

3. 3. 9 ガラス製袖仕切構造

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



図26 ガラス製袖仕切構造と出入口きせ

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

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

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

4 製品（第1号車両）へのフィードバック

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

「外板板厚の変更（t1.2→t1.5）」
「アーク溶接レス範囲の見直し」

「ぎ内装仕様の見直し」
が挙げられる。

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

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

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

5 「sustina」第1号車両の製作

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

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

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

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

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



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



図28 「sustina」第1号車両 室内

6 車両完成後

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



図29 完成式典の様子（2013年4月10日当社構内にて）

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

7 おわりに

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

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

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

著者紹介



浅賀哲也
生産本部
技術部（sustina）主任技師



須田剛慈
生産本部
技術部（sustina）主査



茂木正綱
生産本部
技術部（sustina）主査



西垣昌司
生産本部
技術部 部長（設計）

「sustina」ステンレス構体水密化のための レーザすみ肉溶接技術の開発

Development of Laser Lap Welding for the “sustina” Stainless Steel Car Body Shell has secured Water-tightness

遠藤 翔太 Shota ENDO
佐野 裕 Yutaka SANO
須田 剛 慈 Goji SUDA

浅賀 哲也 Tetsuya ASAKA
西垣 昌司 Shoji NISHIGAKI

ステンレス製車両の在来工法は、抵抗スポットによる点接合が主であるため、その接合点間の水密性は樹脂シールによって確保されている。このため、樹脂シールの劣化に対するメンテナンスが必要であった。そこで「sustina」車両ではレーザ重ねすみ肉溶接を窓および出入り口フレームと外板との接合に適用し、樹脂シールを省略することを試みた。その前提となる継手の機械的特性を調査し、妥当性を確認したので報告する。

We have developed a new laser welding technology for the “sustina”. Our light stainless steel car body shell consists of various members assembled with the electric resistance spot welding method. Up to now, to secure water-tightness required for the car body shell, the resin sealing agent has been used. However, the sealing agent has a deterioration problem caused by long-term use. To solve this problem, we applied laser lap welding to secure water-tightness of the joint between the frame of the window and door, and outer panel. We investigated the mechanical properties of the welded part processed with laser lap welding method, and concluded that the method was suitable for production of railroad vehicles. This document reports detail of our investigation and conclusion.

1 はじめに

ステンレス製車両の在来工法は、抵抗スポットによる点接合が主であるため、その接合点間の水密性は樹脂シールによって確保されている。ここでいう水密性とは JIS Z 2329 に規定されている発泡漏れ試験法の加圧法により、観察部に塗布した発泡液から連続する発泡または気泡の成長、もしくは気体の噴出がない状態である。水密性が確保されなければ、各種電子機器の故障につながる可能性がある。その結果として、機器の誤作動、機能停止につながることも考えられる。このため、樹脂シールの劣化に対するメンテナンスが必要であった。

一方、近年鉄道車両にレーザ溶接が多用されつつあるが、これは側構体の外板の接合への適用が大半で、主に外板の低歪み化、水密性向上を狙ったものである⁽¹⁾⁽²⁾。水密性向上に着目すれば、側構体の開口部（出入り口部と窓部）もレーザによる溶接部の連続化が必要であると考える。

そこで「sustina」車両ではレーザ重ねすみ肉溶接を窓および出入り口フレームと外板との接合に適用し、シールを省略することを試みた。シールを省略することにより、メンテナンスにかかるコストを削減することが可能となる。そのため実用化を見据え、レーザすみ肉溶接部の金属組織観察、耐食性試験、静的引張試験、高サイク

ル疲労試験などの各種試験を実施してきた。

今回その前提となる継手の機械的特性を調査し、妥当性を確認したので報告する。

2 適用部位

2. 1 車両外観

図1にレーザすみ肉溶接を適用した車両の外観を示す。図中の囲み線で示した窓、出入り口部位にレーザすみ肉溶接を全周適用している。



図1 車両外観

なお、レーザすみ肉溶接は溶接条件の最適化により、フィラーワイヤなどの溶加材、ハイブリットレーザ溶接に見られるアーク溶接の併用は一切しておらず、レーザのみで溶接部を形成している。

2.2 窓部

図2にレーザすみ肉溶接を適用した窓部の外観を示す。SUS301L-DLT t1.5+SUS304 t1.5の重ねすみ肉溶接継手で構成されている。当該部位を矢印で示す。

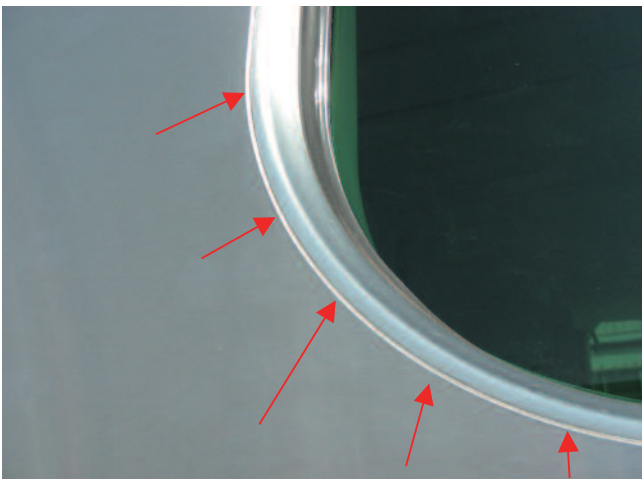


図2 側窓部

2.3 出入り口部

図3に出入り口部の外観を示す。SUS301L-DLT t1.5+SUS304 t4.0の重ねすみ肉溶接継手で構成されている。当該部位を矢印で示す。

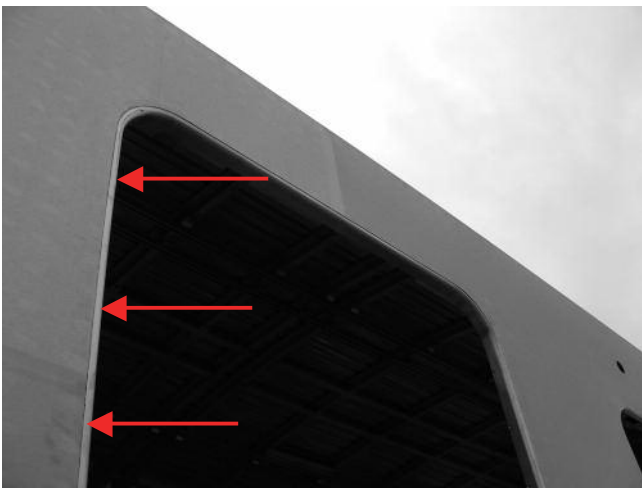


図3 側出入り口部

3 重ねすみ肉溶接部の評価方法

レーザ溶接装置における加工ヘッド周りの機器を品質工学によってパラメータ設計し、最適な溶接条件でのすみ肉溶接部を評価した⁽⁴⁾。詳細は後述するが、複合サイクル試験を用いた耐食性試験を実施し、その結果からす

み肉溶接部の金属組織観察を行った。また継手の機械的特性を調査するため静的強度試験（引張）、動的強度試験（疲労）を実施した。

なお、板厚組み合わせは、一番力のかかる出入り口フレーム部のSUS301L-DLT t1.5+SUS304 t4.0である。

4 結果と考察

4.1 耐食性試験

4.1.1 試験概要

耐食性確認のため、レーザ重ねすみ肉溶接部の複合サイクル試験（CCT試験）を行った。なお、試験体は24時間ごとに試験機から取り出し、水洗いを行っている。

4.1.2 試験体

SUS301L-DLT t1.5+SUS304 t4.0をレーザすみ肉溶接した試験体を用いた。試験前の外観を図4に示す。なお、試験体は板厚差があるため周囲をビニールテープでマスキングし、特に試験体上面から錆が流れ出るのを予防した。

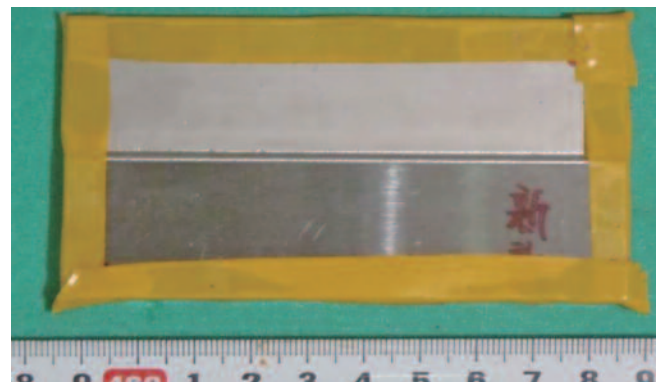


図4 試験前の外観形状

4.1.3 試験方法

試験は図5に示す複合サイクル試験方法に従って合計216時間（27サイクル）まで行った。観察は24時間（3サイクル）ごとに試験体を装置から取り出し、発錆状況の写真撮影を行った後、試験面の水洗いを行って試験槽へ戻すことを繰り返した。なお、試験面は試験前にアルコールで脱脂を行った。

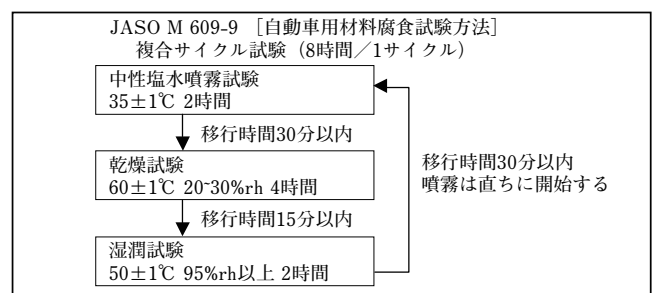


図5 複合サイクル試験要領

4. 1. 4 試験結果

図6に示す部分において、発錆の観察を行い、216時間（27サイクル）実施したが、重ねすみ肉溶接部に発錆は見受けられなかった。216時間（27サイクル）経過後の試験体外観を図7に示す。

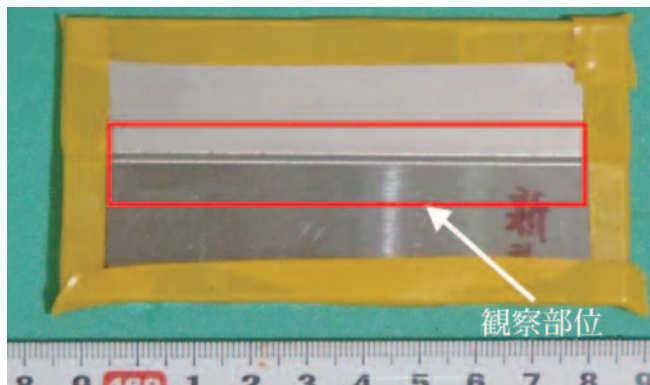


図6 試験体観察部位



図7 試験後の外観形状

4. 2 レーザすみ肉溶接部の金属組織観察

耐食性試験の結果、発錆は見られなかったため、レーザ重ねすみ肉溶接した試料の溶接金属部の鋭敏化について観察した。鋭敏化とはオーステナイト系ステンレスが600℃～800℃に加熱された場合、粒界にクロム炭化物を析出しやすくなる状態である。

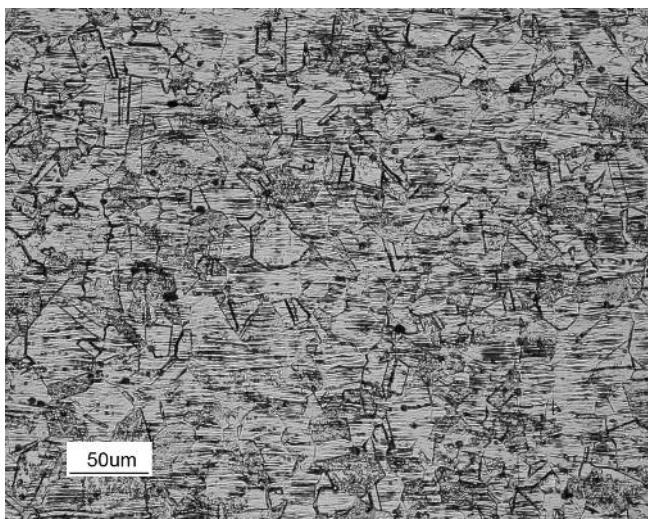
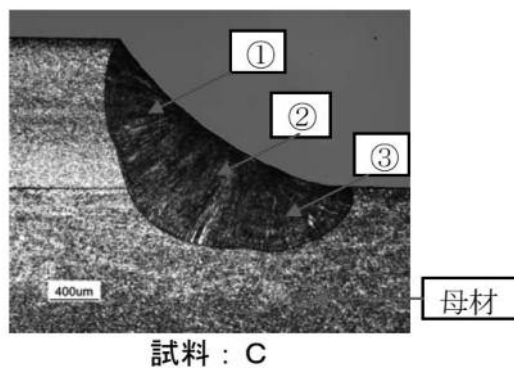


図9 試料C母材×200倍

鋭敏化することにより炭化物の近傍はクロム濃度が少なくなるため、局部的に耐食性が著しく悪くなり、粒界腐食を生じやすくなる。

図8にC（試料端部より80mm）の観察位置（①～③）を示す。加熱による鋭敏化の影響を調べる上で、同じ溶接部の中でも上板、上板と下板の境界付近、下板で熱の加わり方が異なると考え、①上板、②上板と下板の境界付近、③下板、についてそれぞれ観察した。図9～図16に試料Cの母材と観察位置の代表的なシュウ酸電解写真を示す。図11、図13、図15に示す200倍の写真から分かるように、レーザすみ肉溶接部は一般の溶接と同じ、デンドライト組織（樹枝状結晶）を形成しており、溶接金属の特異な凝固現象は確認できない。溶接部との比較のため図9に母材の写真を示すが、母材にはデンドライト組織が形成されていない。

なお、より詳細な組織観察を行うため500倍で撮影した結果、試料Cの図10と図12、図14、図16のように母材と溶接内部を比較しても粒界が溝状に深いエッチングが認められないため、鋭敏化は確認できない。また、観察位置（①～③）のそれぞれを比較しても熱の加わり方に大きな差はなかったと言える。



試料：C

図8 試料Cの観察位置

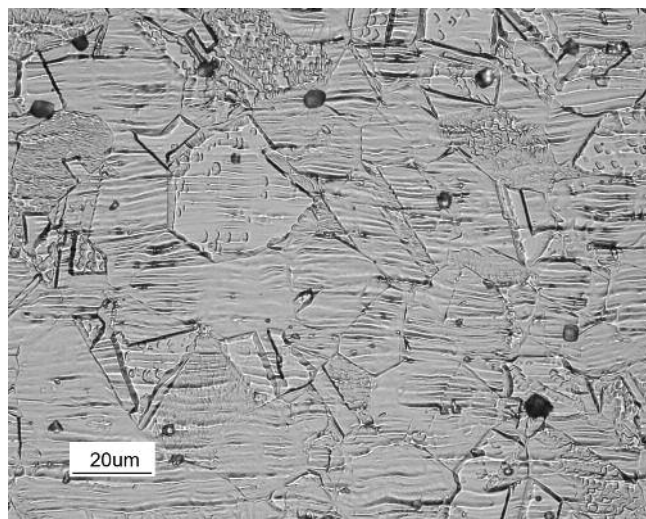


図10 試料C母材×500倍

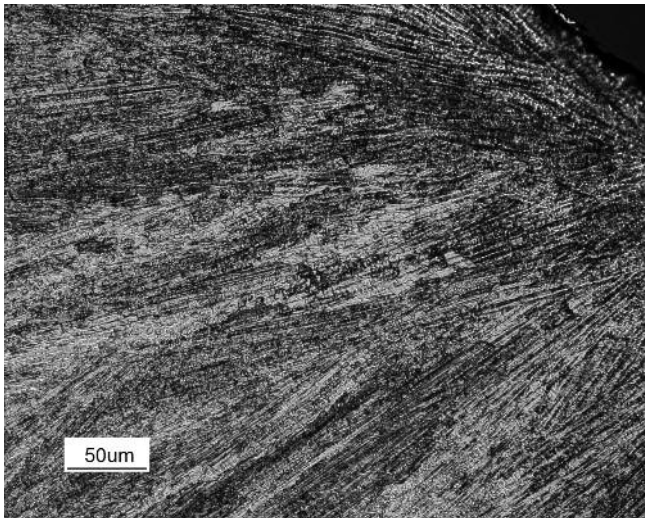


図11 試料C-①×200倍

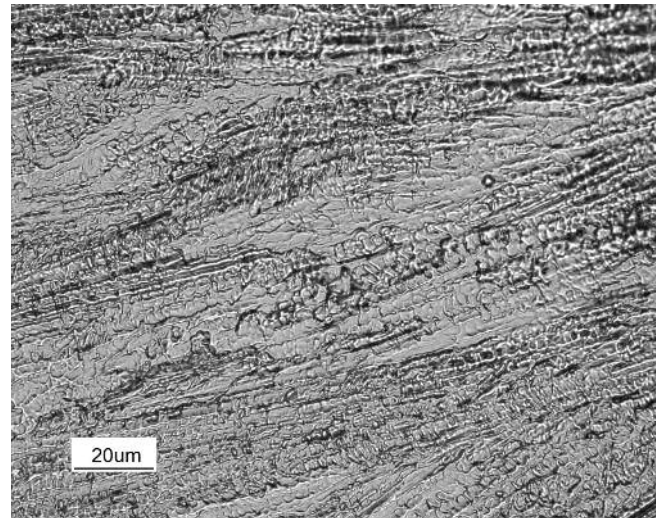


図12 試料C-①×500倍

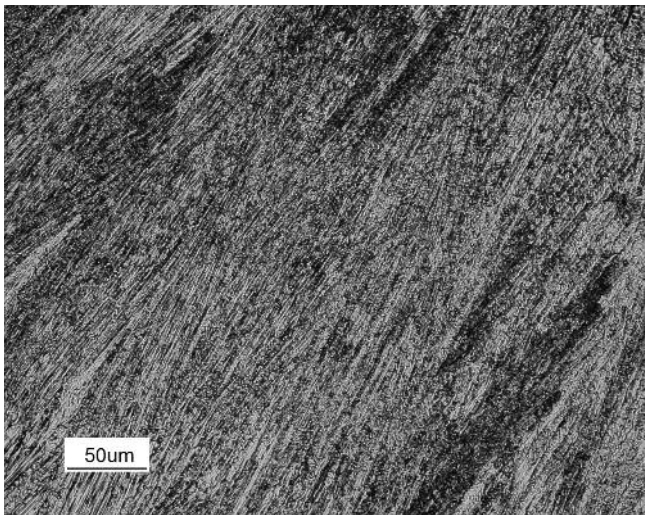


図13 試料C-②×200倍

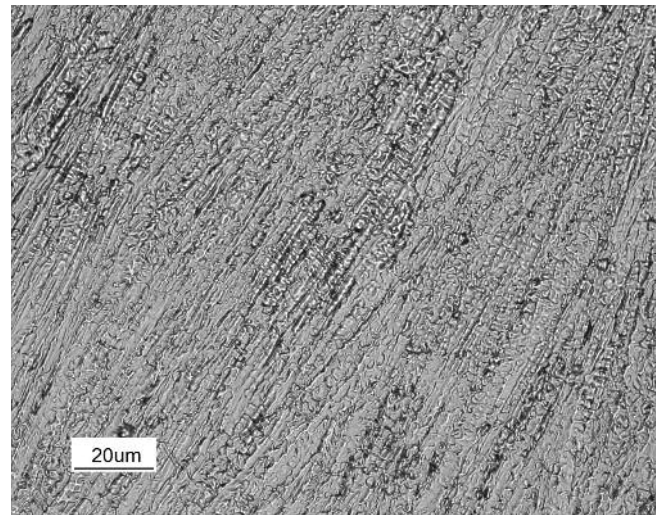


図14 試料C-②×500倍

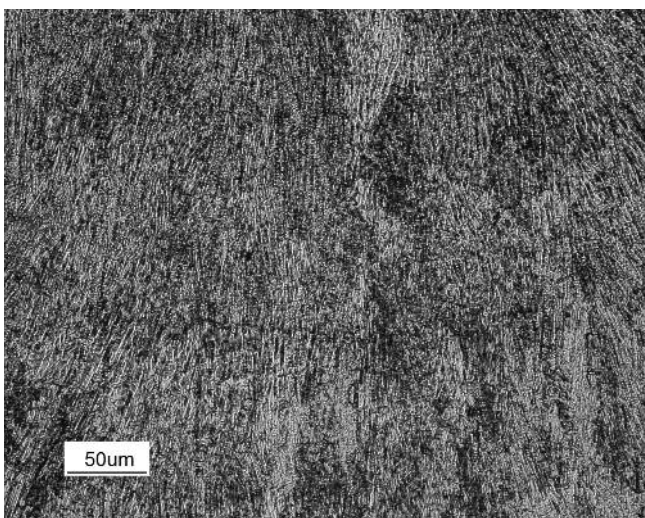


図15 試料C-③×200倍

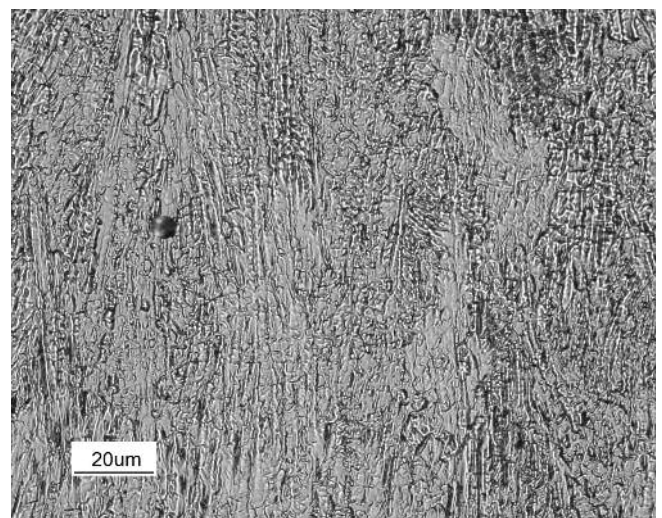


図16 試料C-③×500倍

4. 3 静的引張試験結果

4. 3. 1 試験概要

レーザによる重ねすみ肉溶接材を製作し試験片形状に加工後、引張試験を実施した。

4. 3. 2 試験片形状

40mmの短冊状に試験体を加工し、引張試験片2体、疲労試験片11体、(予備1体)を作製した。図17に試験体形状を示す。

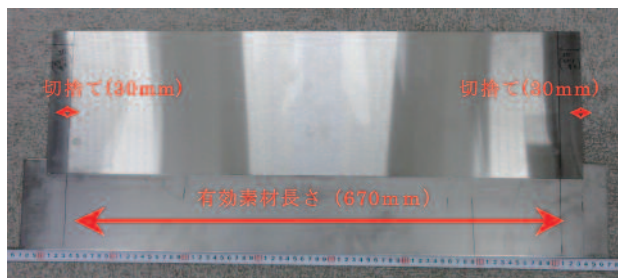
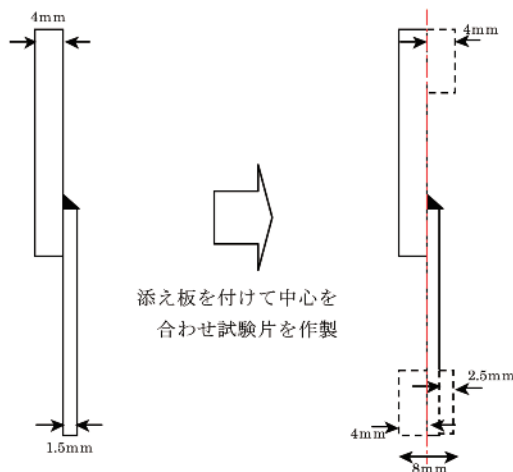


図17 試験体形状

なお、試験時には板厚差を考慮し、添え板を取り付けてクランプした。詳細を図18に示す。



(a) 割り出し後の形状 (b) 添え板の取り付け後の形状

図18 添え板取り付け図

4. 3. 3 試験条件

試験温度は室温(22℃)のもと、試験速度は耐力まで0.5mm/min、耐力以降破断まで12mm/minで実施した。なお、試験は2回(体)実施しT1、T2と識別している。

4. 3. 4 引張試験機

試験装置は万能引張試験機 島津製作所AG-IS250kNを使用した。

4. 3. 5 試験結果

表1に引張試験結果一覧を示す。図19～図20にT1、T2の荷重-ストローク線図を示す。JRIS-W0161「鉄道車

両一作業標準-ステンレス鋼材のスポット溶接」で示される最小引張せん断荷重を参照すると、12.1kNであるので、T1、T2とも在来工法である抵抗スポット溶接継手と同等以上の強度を持っていることがわかる。

抵抗スポット溶接継手と同等以上の強度を得た理由に、溶接方法の違いによる(抵抗スポット溶接は点接合だがレーザすみ肉溶接は連続接合)溶接部の接合面積の違いが考えられる。

表1 引張試験結果一覧

識別	試験温度℃	0.2%荷重(kN)	引張荷重(kN)
T1	22	14.1	20.3
T2	22	13.5	20.0

適用規格：JIS Z2241 備考：耐力まで0.5mm/min→耐力以降破断まで12mm/minで行った。

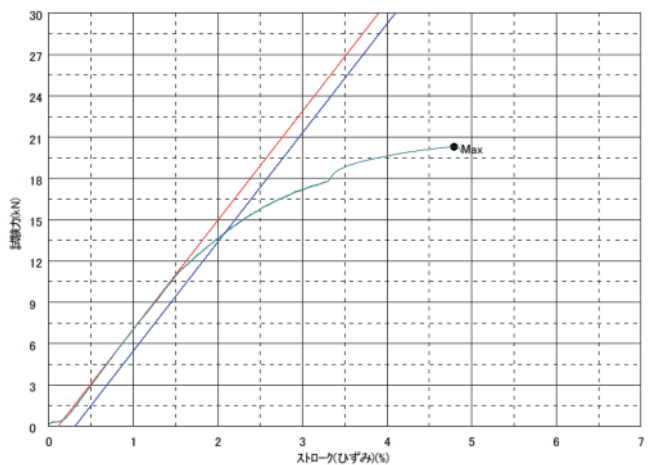


図19 荷重-ストローク線図 T1

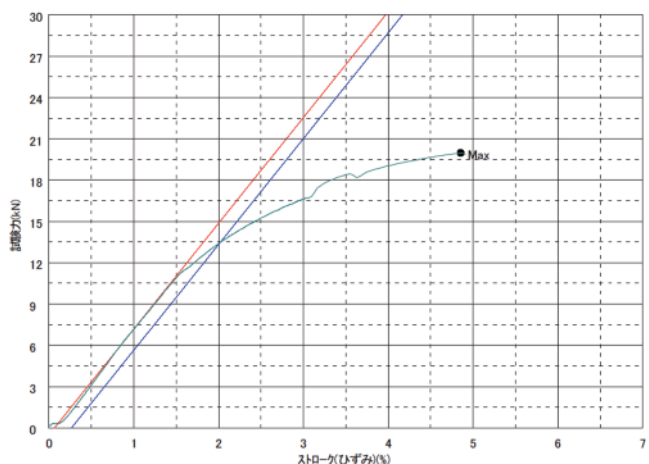


図20 荷重-ストローク線図 T2

4. 4 疲労強度試験結果

4. 4. 1 試験概要

レーザによる重ねすみ肉溶接材を製作し試験片形状に加工後、高サイクル疲労試験を実施した。

4. 4. 2 試験片

図17の試験体から切り出した試験片を用いる。

4. 4. 3 試験条件

試験温度は室温（23℃）のもと、試験制御は一定荷重制御、応力比R：0.1、周波数：40Hz（sin波）で実施した。

4. 4. 4 疲労試験機

試験装置は電気機械式油圧サーボ疲労試験機MTS Landmark Material Test System、±100kN（16号機）を用いた。

4. 4. 5 試験結果

試験の結果、図21に示すS-N線図が得られた。疲労限は5.0kNであり（最大荷重10.0kN、平均荷重5.5kNで 10^7 回を達成）疲労限に基づいて、樹脂シールをレーザすみ肉溶接に置き換えることが可能となった。

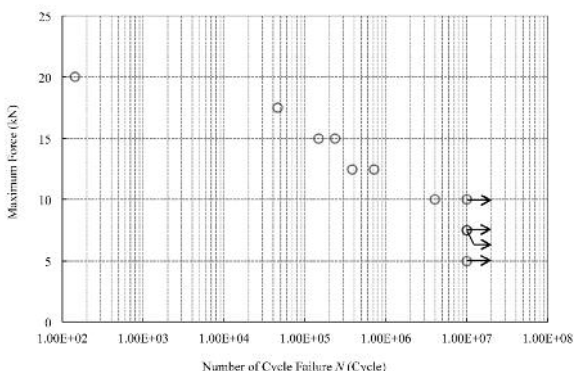


図21 S-N線図

5 まとめ

「sustina」ステンレス構体水密化のために開発したレーザすみ肉溶接を用いた各種試験結果を以下に示す。

- (1) レーザすみ肉溶接部の金属組織観察を行った結果、溶接金属部の鋭敏化は見られなかった。
- (2) 耐食性試験として実施した複合サイクル試験では216時間経過後も溶接部の発錆は見られなかった。
- (3) 静的引張試験の結果、在来工法である抵抗スポット溶接継手と同等以上の強度を持っていることがわかった。また疲労試験により繰り返し数 10^7 回を達成し、疲労強度を確認した。

以上の結果に基づき、「sustina」車両にレーザすみ肉溶接技術を採用した。

今後の課題として、工数の低減、品質の安定化、すみ肉溶接の適用範囲の見直しが挙げられる。

最後に、本論文を執筆するにあたり多大なご協力を頂いた出向中の及川昌志氏に感謝の意を述べる。

参考文献

- (1) 古賀信次，他：「ステンレス車両構体のレーザ溶接技術」，溶接学会全国大会講演概要 第82集，F40-F45，(2008)，川崎重工業（株）
- (2) 伊藤昌隆：「構体製作の現在」，近畿車輛技報 17号，12-19，(2011)，近畿車輛（株）
- (3) 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 第1号，38-45，(2013)，(株)総合車両製作所

著者紹介



遠藤翔太
生産本部
技術部（sustina）



佐野 裕
生産本部
生産管理部（生産技術）



須田剛慈
生産本部
技術部（sustina）主査



浅賀哲也
生産本部
技術部（sustina）主任技師



西垣昌司
生産本部
技術部 部長（設計）

現車作業削減とぎ内装モジュール構造の開発

Reduction of the Work in the Vehicle and Development of the Module Structure of Interior Equipment

須田 剛 慈 Goji SUDA
茂木 正 綱 Masatsuna MOGI

浅賀 哲 也 Tetsuya ASAKA
西 垣 昌 司 Shoji NISHIGAKI

ステンレス製通勤車両のぎ内装は、現物合わせが多いため作業と清掃に手間が掛かっており、発生した切粉が万が一車両に残ってしまうと電装品に不具合を起こしてしまう可能性がある。「sustina」では工数低減と品質向上のため、機器や配線を含んだ大型の内装である中央天井、側天井、妻、腰掛などをモジュール化して車外で先に組み上げることで、現車での取付作業を大幅に削減した。また、これらのモジュールは、吊溝やフローティングナットとボルトを利用して車体に取り付ける構造として、現車でのタップ開けや調整作業を廃止した。その概要を報告する。

During stainless steel railcar manufacturing, tapping work of interior equipment is done for installation to the carbody structure. If metal chips remain after the tapping work, there is the possibility for electric equipment failure, and much time is necessary for cleaning work. With “sustina” technology, the center ceiling, side ceiling, ends and seats have been modulized with interior equipment and wiring, so that mounting work in the vehicle has been reduced. These modules are installed by floating-nuts and bolts to carbody shell upper channels, therefore tapping and adjusting work in the vehicle has been discontinued to improve the quality and reduce work time. In this paper, the summary of these improvements is reported.

1 はじめに

ステンレス製通勤車両のぎ内装は、現物合わせで穴開けタップ（めねじ）開けや調整・取付作業が多く、これらの作業がぎ内装全体の工数に占める割合は大きい。また、現車での穴開けや調整作業は、切粉が発生して清掃作業の工数が更に発生すること、万が一残ってしまうと走行時の車両挙動によりそれらが電装品に対して不具合を起こしてしまう可能性がある。そのため、「sustina」では構体構造を含めてぎ内装取付の構造を抜本的に見直し、現車でのタップ開けや調整作業を廃止した。

2 現車作業

鉄道車両のような溶接で組み立てる大型構造物になると、製品誤差、組立誤差、溶接時の歪影響により、図面通りの寸法に製作することは難しいため、予め構体の骨組に穴を開けたり、図面寸法通りのぎ内装品を製作すると車体に取り付けができない場合がある。そのため、従来のステンレス製通勤車両では、現物合わせでぎ内装品を調整して取り付けることが一般的であった。

2. 1 現車タップ作業

従来車は、ぎ内装品を取り付ける際に構体の内部骨組に対して品物を合わせて穴位置に印を付けて、ドリルで

穴を開けてタップを切り、再び品物を持ってきてねじで固定する構造であった。「sustina」では、吊溝とフローティングナット、ボルトを利用することにより、基本的に現車での穴開け作業を廃止して、ねじで締め付け固定するだけになっている。

2. 2 現車調整作業

従来車は、内装パネル同士や側と天井、側と妻、天井と妻の境は、取付ねじや両者の隙間を隠すために押面やきせを構成していた。「sustina」では、モジュール化に伴い、そのつなぎ目に設計上で隙間をあけて構成する、目地方式を採用することにより押面ときせを廃止して調整レス構造となっている。



図1 妻部の押面構造（左）と目地構造（右）

2. 3 現車取付作業

従来車は、骨組は溶接で車体に取り付け、ぎ内装品は内張板やパネルなど壁面を取付けてから、現車で取り付けることが多かった。「sustina」では、それらを極力アウトワークで製品に組み込んで現車の作業を削減している。

3 現車タップレス構造の特徴

現車でのタップ開け作業を廃止するため、吊溝を利用したボルトナット固定方式とフローティングナット、ボルト方式を採用している。

3.1 吊溝

従来車の天井設備品は、蛍光灯受や幕板受といった天井骨組に対して現車でタップを開けて車体に取り付けていた。これらは、板金塗装した鋼製材料で、断面形状が大きかった。「sustina」では、型もしくは板金成形したステンレス製の断面形状の小さい吊溝を天井骨組として構成し、これに対して吊ボルトとナットを利用してぎ内装品を取り付ける構造とした。

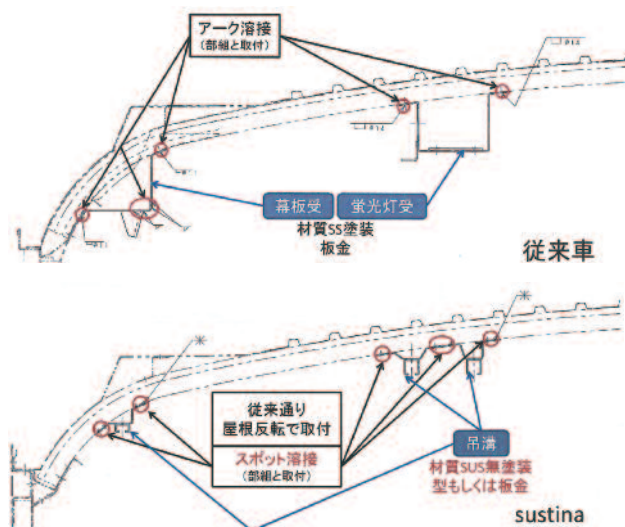


図2 天井骨組構造の比較

ぎ内装品取付金には枕木方向に穴を開けてあり、吊溝とぎ内装品の取付面には所定の厚みの調整ライナを設定している。これにより、レール方向、枕木方向、高さ方向の調整の自由度が広がり、製作上の多少のずれにも対応・調整ができるようになっている。また、小さい断面形状の吊溝により、構体の軽量化やぎ内装スペース拡大が図られ、レール方向で自由な位置に取付部を設定できるため、ぎ内装設計のリードタイムを短縮することができる。

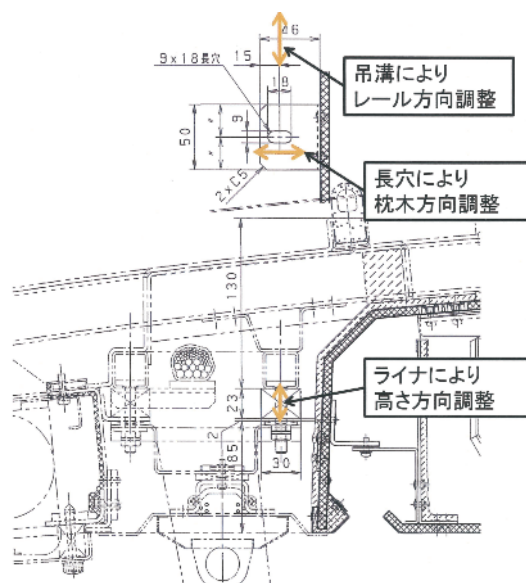


図3 吊溝取付構造

吊溝の材質がステンレス材料になったので、従来車は栓溶接だったが、スポット溶接で取り付けることが可能となった。これにより、作業の容易化と溶接歪の低減となっている。

吊溝は、天井モジュール、吊手、蛍光灯、妻モジュール、配線モジュールなどといった天井設備関係に適用した。

3. 2 フローティングナット, ボルト

従来車の側設備品は、側構体の柱や内部骨組に対して現車でタップを開けて車体に取り付けていた。「sustina」では枠にはめ込まれたナットが可動するフローティングナット、フローティングボルトを利用して固定する構造とした。これにより、可動範囲内において任意の位置でぎ内装品を取り付けることができるようになった。

フローティングナットは、側窓ユニット、側窓きせ、側戸袋内柱パネルなど、フローティングボルトは、腰掛、袖仕切、荷物棚、ロールバーなどに適用した。

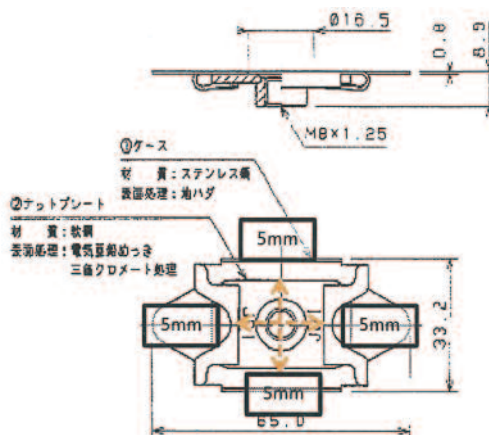


図4 フローティングナット

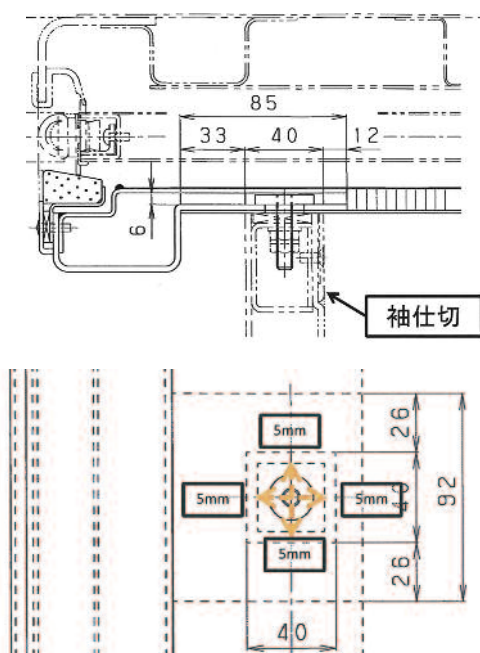


図5 フローティングボルト

4 モジュール構造の特徴

天井、妻、配線、腰掛といった大きい構成要素の単位でユニットにして、アウトワークで製品にあらかじめ組み込みモジュール化を図って現車の作業を削減している。

4. 1 中央天井モジュール

従来車では、現車で取り付けていた空調機直下の導風板、ラインデリア取付金、整風板取付金をアウトワークで組み込むようにした。ラインデリア本体は組み込まず現車で取り付けとしているのは、モジュール取り付け時に重量が大きくなり取り付け作業性に影響するためである。ラインデリア取付金には本体の穴位置に合わせてあらかじめねじ穴を設けてあり、本体の取り付けはボルト固定するだけの作業であるため、タップ作業はなく現車での作業は少なく手間が掛からない。

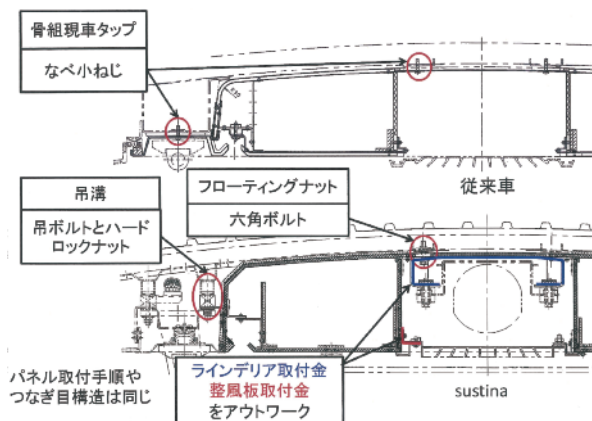


図6 中央天井構造の比較

4. 2 側天井モジュール

従来車では、現車で取り付けていたロールフィルタ取付枠、スピーカをアウトワークで組み込むようにした。ロールフィルタ本体は、中央天井のラインデリアと同じ理由から組み込まず現車で取り付けとした。また、従来車のロールフィルタ部のリターン空気室骨組は、板金塗装した鋼製材料を使用した溶接取付の天井骨組としていたが、「sustina」ではアルミ製として側天井モジュールにあらかじめ組み込むこととし、軽量化と溶接工数削減となった。

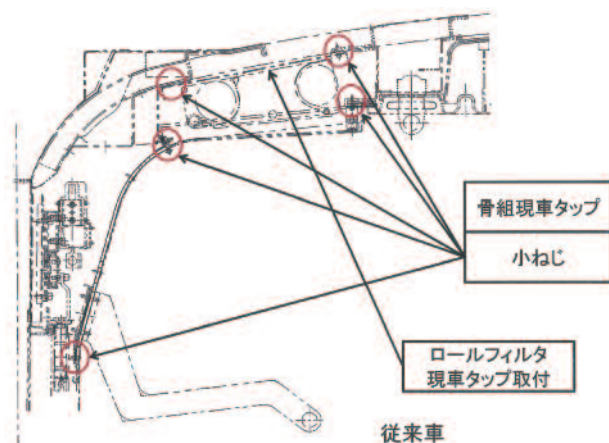


図7 側天井構造の比較

4. 3 妻機器モジュール

従来車では、内部骨組は溶接で組み立てて、配線配管の作業を行い、ぎ装機器を取り付け、内装パネルや点検ふた、押面きせ類を現車で穴開けおよび調整作業を行い取り付けしていた。「sustina」では、それらを一括してアウトワークして組み立ててモジュール化を図り、取り付け構造は前述の現車タップレス構造を適材適所に組み合わせ配置して現車での取り付け作業の効率化を図った。このため、従来は数日間掛かっていた現車でのぎ内装作業は、一日足らずで車体への取り付けが完了することになり、前日までは空の状態だった妻が一日にしてぎ内装が完成することになり、リードタイムが圧倒的に短くなった。

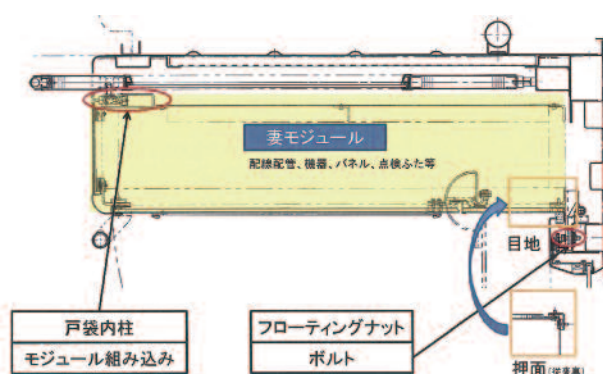


図8 妻モジュール横断面

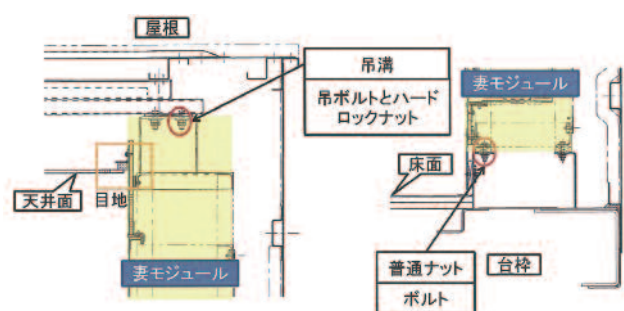


図9 妻モジュール縦断面

4. 4 天井配線モジュール

従来車では、電線のみ束でアウトワーク（ハーネス化）していたが、「sustina」では、ささえ形状、配線ルート、骨組を工夫し、天井配線全てでささえに組み上げる所までをアウトワーク化し、現車で配線作業時間を圧倒的に削減した。



図10 天井配線モジュール

4. 5 腰掛モジュール

従来車では、腰掛本体を車体に取り付けてからヒータ反射板とヒータ本体を取り付けていたが、床との隙間が少なく作業姿勢も悪いため、工数が多く掛かっていた。「sustina」では、それらをあらかじめ腰掛本体に組み込むことにした。ヒータを組み込むと腰掛下部の取付部分が隠れてしまうため、ねじによる取付作業をしなくても済むように引っ掛ける構造とした。これにより、ヒータ取付時の作業性が改善されて工数が削減された。

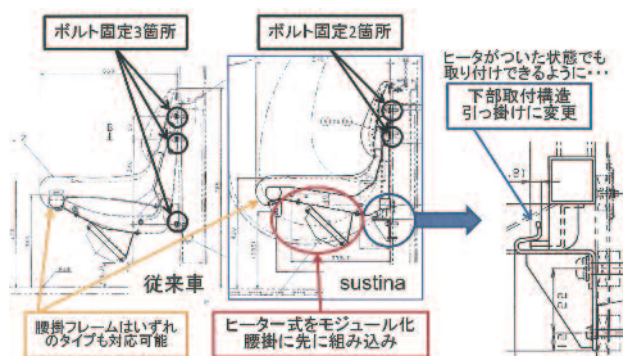


図11 腰掛構造の比較

5 おわりに

「sustina」では、吊溝とフローティングナットを利用し、ぎ内装をモジュール化することにより、現車タップおよび調整作業、現車取付作業を削減することができた。これにより、工数とリードタイムの短縮が図られ、量産時には約10%の低減が見込まれている。今後も全体の最適化を目指して、更なる改善を進めていく。

著者紹介



須田剛慈
生産本部
技術部（sustina）主査



茂木正綱
生産本部
技術部（sustina）主査



浅賀哲也
生産本部
技術部（sustina）主任技師



西垣昌司
生産本部
技術部 部長（設計）

「sustina」構体製造への「Smart RSW」の適用

The Application of Smart RSW for “sustina” Car Body Shell

遠藤 翔太 Shota ENDO
渥美健太郎 Kentaro ATSUMI
阿部 千明 Chiaki ABE

浅賀 哲也 Tetsuya ASAKA
西垣 昌司 Shoji NISHIGAKI

抵抗スポット溶接機に状態監視機能を持たせ、溶接プロセスにおける電流、加圧力などの主要パラメータの変動を監視する「Smart RSW」を構築した。本システムの活用の結果、通電中の主要溶接パラメータの変動がわかった。この変動を考慮し、通電中の加圧力を一定になるように制御すると、従来に比べて溶接に使用する電力量が半減することがわかった。このことから、被接合材料への入熱量の低減効果があると考えて、溶接条件を最適化したところ、従来法に比べて外観も向上した。これらの効果を「sustina」車両に反映させるべく、溶接継手としての機械的特性の調査を実施した。調査の概要と結果について報告する。

1 はじめに

鉄道車両の製造技術の根幹は、溶接技術とプレス加工技術である。近年、多品種少量生産への対応や安定した製造品質の獲得のため、当社でもこれらの製造技術のうちレーザー溶接に関する予防保全のための状態監視手法が考えられてきた⁽¹⁾。これに続く流れとして、抵抗スポット溶接機にも状態監視システムをコアとする「Smart RSW」を試験導入した⁽²⁾。抵抗スポット溶接機の理想的なプロセスは図1に示す通りであるが、このシステムによって実際の動きを確認できるようになった。

その結果、本来通電中に一定に与えているはずの加圧力が著しく変動していることがわかった。この変動を考慮し、通電中の加圧力を一定になるように制御すると、従来に比べて溶接に使用する電力量が半減することがわかった⁽³⁾。

このことから、被接合材料への入熱量の低減効果もあると考えて、溶接条件を最適化⁽⁴⁾したところ、圧痕が小さくなるなど従来法に比べて外観も向上した⁽⁵⁾。

これらの効果を「sustina」車両に反映させるべく、溶接継手としての機械的特性の調査を実施した。調査の概要と結果について報告する。

2 「Smart RSW」の「sustina」への適用状況

「sustina」車両は、種々の板厚のステンレス鋼板とそれを塑性加工した補強材とを抵抗スポット溶接やレーザー溶接によって組み立てている。

これらの溶接構造のうち、「Smart RSW」は低入熱の溶接を実現できることから、試験的に側構体の組み立てに採用している。これは、「sustina」車両の特徴とも言えるフラットな外観を得るためであり、外板へのレーザー溶接の採用との組み合わせによって相乗効果をねらっている。図2に「sustina」車両の外観を示す。

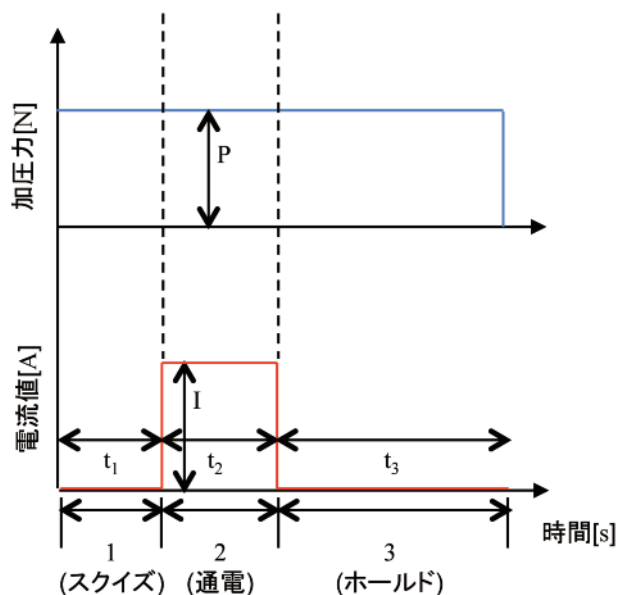


図1 抵抗スポット溶接のプロセス（目標値）



図2 「sustina」車両外観

3 「Smart RSW」適用に関する評価方法の検討

「Smart RSW」は、原理は在来の抵抗スポット溶接と大きな違いはないが、加圧力の制御方法が異なるため、溶接方法としては新しい方式となる。

「sustina」車両では、側構体の組み立てに採用することを考え、主に溶接継手としての機械的特性を中心とした妥当性確認を行なうこととした。

具体的には、以下の3項目の評価を行なった。

- ・ 溶接部外観観察
- ・ 溶接部断面観察
- ・ 静的強度試験（引張せん断試験）

これらの試験項目は在来の抵抗スポット溶接機の入替えや、構造変更がなされた場合に行なう評価項目と同等となっており、在来工法の評価に用いられてきた「JRIS-W0161 鉄道車両—作業標準—ステンレス鋼材のスポット溶接」を中心に、「Smart RSW」の妥当性を評価した。

また、動的強度試験（疲労試験）も実施し、疲労限度の確認を行なった。

4 妥当性確認結果

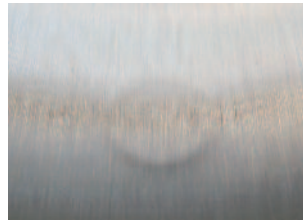
「sustina」車両への「Smart RSW」を適用した板厚組み合わせは全部で42通りあったが、ここでは最も多用した板厚組み合わせとなるSUS301L-DLTのt1.5mmとSUS301L-HTのt0.8mmの組み合わせに着目して、「Smart RSW」の妥当性確認を行なった。

なお、その他の板厚組み合わせも外観評価、断面観察、引張試験を行なった。

4. 1 溶接部外観観察

「Smart RSW」の溶接条件の評価のため、溶接部の圧痕を側構体の外板に相当するt1.5mmの板側から観察

した。その結果を図3に示す。参考として、在来工法で同じ板厚組み合わせの溶接を行なった外観も示す。「Smart RSW」は在来工法に比べて、約半分の電力量で溶接を行なっているため、溶接時の入熱量も少ないことが推測される。そのため、同一条件の板厚組み合わせでも、在来工法と比べて圧痕が小さく、溶接ひずみが少ないことがわかる。



(a)在来工法の圧痕



(b)「Smart RSW」の圧痕

図3 新旧抵抗スポット溶接による側構体外板部の状況

4. 2 溶接部断面観察

図3 (b) の圧痕を中央部で切断し、切断面を研磨の上、エッチングして溶接部断面の観察を行なった。図4に結果を示す。図4の上側の板が外板補強板相当のSUS301L-HTのt0.8mmの板で、下側の板が外板相当のSUS301L-DLTのt1.5mmの板である。

図4が示しているように、板の境界面で十分なナゲットを形成しており、内部欠陥も認められない良好な溶接ができていていることがわかる（詳細は省略するがJRIS-W0161を満たしている）。

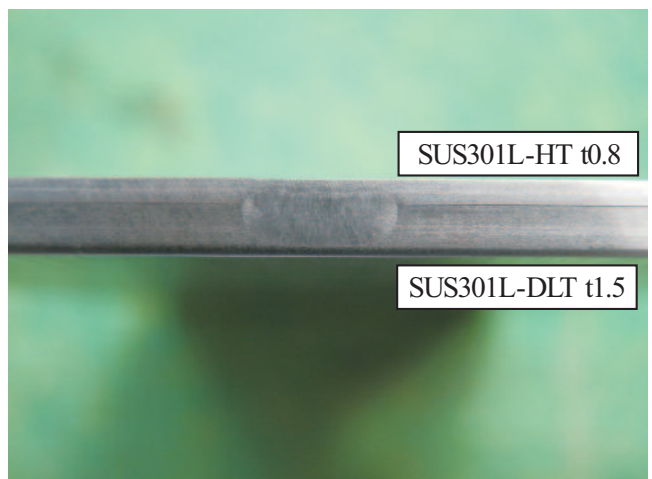


図4 「Smart RSW」による溶接部断面

4. 3 静的強度試験（引張せん断試験）

溶接試験片の両端に添え板を接着した後、試験を行なった。添え板の位置関係は図5に示す通りである。

図5に示す形状の試験片を用いて、次に示す条件で、引張試験を行なった。

- ・ 試験装置：島津製作所 AG-IS 250kN
- ・ 試験温度：常温（大気中）
- ・ 試験速度：破断まで一定速，1mm/min

試験結果を表1および図6に示す。JRIS-W0161「鉄道車両—作業標準—ステンレス鋼材のスポット溶接」で示される最小引張せん断荷重によると，この例では5.00kNであるので十分規格を満たしていることがわかる。

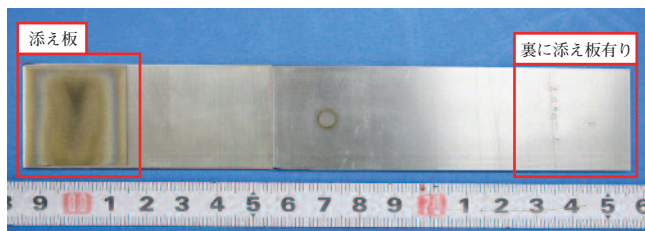


図5 引張試験片外観

表1 引張せん断試験結果一覧

形状: 平板				
単位	厚さ	幅	つかみ長間距離	
	mm	mm	mm	
	1.0000	1.0000	50.0000	
名前	弾性率 Standard	耐力点1 試験力	最大点 試験力	最大点 ひずみ
ハマー	1.2 kN	0.2 %		
単位	MPa	kN	kN	%
	2372800.	5.17	7.77	1.8

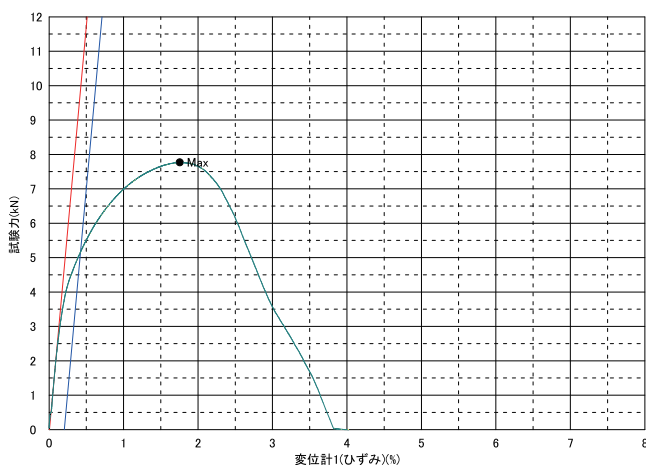


図6 荷重—ひずみ線図

4. 4 動的強度試験（疲労試験）

引張せん断試験と同様に溶接試験片の両端に添え板を接着した後，試験を行なった。試験条件を以下に示す。なお，添え板の位置関係は図5に示す通りである。

- ・ 試験装置：MTS810油圧サーボ疲労試験機，±100kN
- ・ ASTM E466
- ・ 試験温度：常温（大気中）
- ・ 波形：Sin波
- ・ 応力比：R=0.1
- ・ 周波数：40Hz

試験の結果，最大荷重0.9kN，平均荷重0.5kNで 10^7 回を達成した。S-N線図を図7に示す。

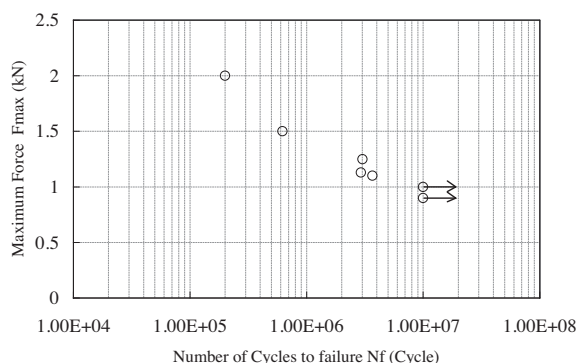


図7 S-N線図

5 まとめ

「sustina」車両への「Smart RSW」の適用を目標として，溶接条件（主に加圧力の一定制御）を最適化し，溶接部外観と，断面の観察，静的強度試験を行ない，在来工法と遜色ない結果が得られたことで，本手法の妥当性を確認した。

また，動的強度試験によって繰り返し数 10^7 回を達成し，疲労強度を確認した。

以上の結果に基づき，「sustina」車両の側構体に「Smart RSW」を採用した。

今後，ステンレス鋼製の鉄道車両構体における「Smart RSW」の適用を屋根部，妻部，台枠部へ拡大し，車両製造時の溶接で使用する電力量の低減と，各溶接部への入熱量の低減による溶接品質の向上を図っていきたい。

最後に，本論文を執筆するにあたり多大なご協力を頂いた出向中の及川昌志氏に感謝の意を述べる。

参考文献

- (1) 河田直樹，他：「ステンレス鋼板のレーザ溶接システムに関する状態監視システムの開発」，精密工学会誌Vol.75 No.5，629-633，(2009)，精密工学会
- (2) 河田直樹，他：「抵抗スポット溶接システムの異常検知技術の開発」，東急車輛技報 第61号，8-13，(2011)，東急車輛製造㈱
- (3) 河田直樹，他：「抵抗スポット溶接の加圧力制御による電力量低減の評価」，東急車輛技報 第61号，2-7，(2011)，東急車輛製造㈱
- (4) 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 第1号，38-45，(2013)，(株)総合車両製作所

- (5) 渥美健太郎，他：「抵抗スポット溶接システム
Smart RSWを用いた鉄道車両の圧痕外観向上に関
する研究」，総合車両製作所技報 第1号，2-9，
(2013)，(株)総合車両製作所

著者紹介



遠藤翔太
生産本部
技術部 (sustina)



渥美健太郎
生産本部
技術部 (接合技術センター)



阿部千明
生産本部
技術部 (接合技術センター) 主査



浅賀哲也
生産本部
技術部 (sustina) 主任技師



西垣昌司
生産本部
技術部 部長 (設計)

内装ロールバーによる車体剛性と乗り心地の向上

Improving Rigidity of Carbodies and Ride Comfort by Interior Roll-bar

■ 今岡 憲彦 Norihiko IMAOKA

当社の開発した「sustina」第1号車両では、自動車などによる側面衝突への車体強度向上策として、内装ロールバーを装備した。この内装ロールバーは、車体の左右側面間、さらに荷棚、腰掛袖仕切りとの間を吊手棒でつなげる形で構成されている。この構成は、車体剛性向上を目的として当社と（公財）鉄道総合技術研究所（以下、鉄道総研）との共同研究により開発した剛性向上棒の構成と同一であり、内装ロールバーも剛性向上棒と同様に車体剛性向上と乗り心地向上に寄与すると考えられる。本報では、定置加振試験と本線走行試験の結果から、内装ロールバー装備の効果を明らかにする。

1 はじめに

当社の開発した「sustina」は、軽量化、省エネルギー化、メンテナンスコスト低減などを図った次世代のステンレス車両である。「sustina」第1号車両となる、東急電鉄殿向け5050系5576号車は2013年5月に営業を開始した。

この「sustina」第1号車両には、車内の吊手棒を活用する形で車体左右側面間をつなぐ内装ロールバーを装備しており、車体の側面強度を向上させるために重要な役割を果たしている。鉄道車両は、通常使用時に車体側面へ著大な荷重が加わることはないが、過去に踏切へ侵入した自動車などとの衝突事例を考慮すると、乗客・乗員の安全確保のために車体の側面強度向上は必要であると言える。

ところで、この内装ロールバーを構成する吊手棒は、車体の左右側面間をつなぐ他に、荷棚、さらには腰掛の袖仕切りへとつながっている。これは内装デザインの関係もあるが、車体の剛性向上を目的として当社と鉄道総研が共同開発した、剛性向上棒の構成に近づける目的もある。図1に内装ロールバーを図示する。

剛性向上棒は、東急車輛技報第60号の「軽量ステンレス鋼製車体の剛性向上に関する検討^①」において、「直線型吊手棒」、「湾曲形吊手棒」として解説を行っている。剛性向上棒の開発目的は、車体剛性の向上を狙ったものであるが、剛性向上棒を付けた車両で本線走行を模擬した加振試験を行うと、乗り心地が向上する効果も得られている^②。

そこで、「sustina」第1号車両に装備した内装ロールバーも、剛性向上棒と同様に車体剛性向上効果、および乗り心地向上効果があると考えられるため、その効果を実車での試験により確認した。本報では、「sustina」試作車両を用いた定置加振試験の結果と、「sustina」第1号車両を用いた本線走行試験の結果を示し、内装ロールバー装備による効果を明らかにする。

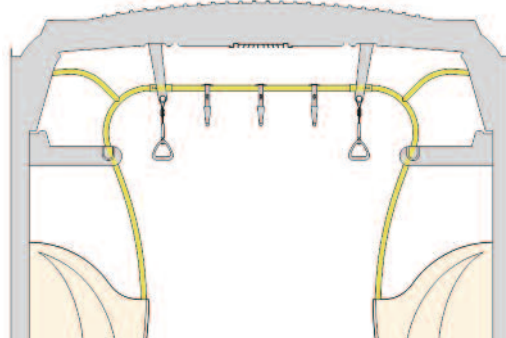


図1 内装ロールバーと、それを構成する吊手棒

2 「sustina」試作車両での定置加振試験

「sustina」試作車両の概要については、本誌の「「sustina」国内第1号車両の開発」にて記述している。本報では定置加振試験に関わる事項について解説を行う。

今回、「sustina」試作車両を対象に、内装ロールバーの有無による車体剛性の相違を、試験により評価した。本章ではその評価方法と結果について記す。

2.1 試験条件

車体の剛性を評価するには、JIS E 7105で規定する垂直荷重試験の車体中央変位量を用いる方法、同じくJIS E7105で規定する曲げ固有振動数測定試験で曲げ固有振動数を測定する方法などが考えられる。今回は、車両走行中に生じるさまざまな振動モードごとに評価を行うため、車体加振試験を行った。

車体加振は、車体直下の試験場床上に設置した動電形加振器を使い、加振棒を介して車体を上下加振する方法（定置加振）を採った。この加振方法は、これまでの鉄道総研との共同研究で多くの測定実績があり、また測定場所の制約が少なく、比較的容易に車体を加振できる方法である。図2に加振器と加振棒の設置状態イメージを示す。

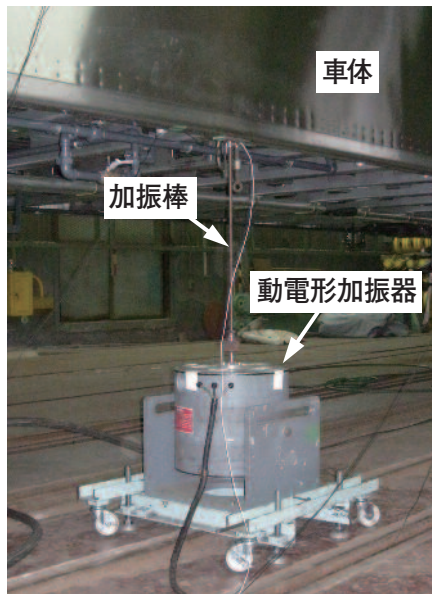


図2 動電形加振器・加振棒設置状態

定置加振試験では、車体を上下加振する際に、車体各所へ設置した加速度センサで振動加速度を測定すると共に、車体と加振棒の間に設けたロードセルで加振力を測定した。加速度センサの設置位置を図3に示す。また、加速度センサの設置状況を図4、図5に示す。

加振信号は5～50Hzでほぼ平坦な周波数特性を持つランダム波（一般に、バンドランダム波と称す）としている。振動加速度と加振力の測定結果を使い、車体全体のモード解析を行って、5～20Hzの周波数帯域で車体固有振動モードを同定した。



図4 加速度センサ 屋根測点設置状況

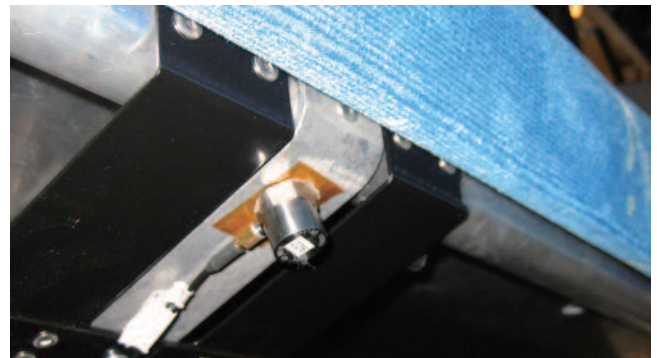


図5 加速度センサ 腰掛測点設置状況

なお、定置加振試験の際には、空気ばねを設置した加振試験用の仮台車で「sustina」試作車体を支持し、本線走行状態に近い支持条件となるようにしている。一方、屋根上クーラは設置せず、ほぼ同形状のダミーカバーを載せた状態とした。床下機器も設置していない。

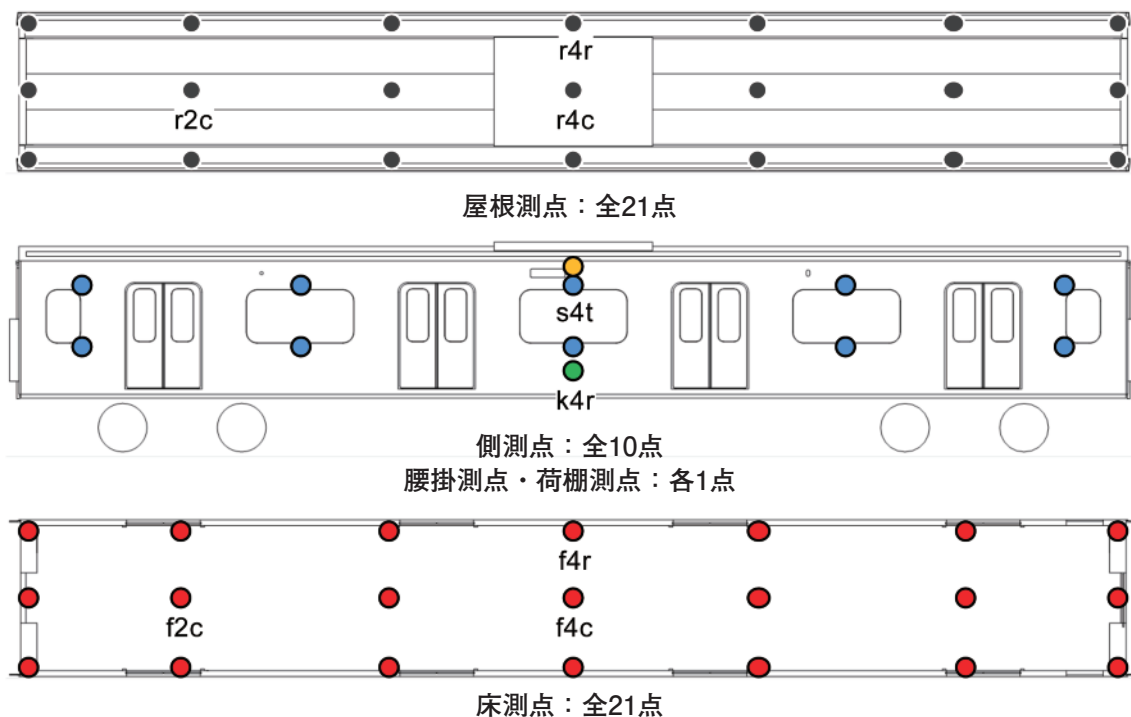


図3 「sustina」試作車両 加速度センサ設置位置

2. 2 試験結果

2. 2. 1 固有振動モード

内装ロールバーが有る状態での「sustina」試作車両の固有振動モードのうち、代表的なモード5つについて図6に示す。

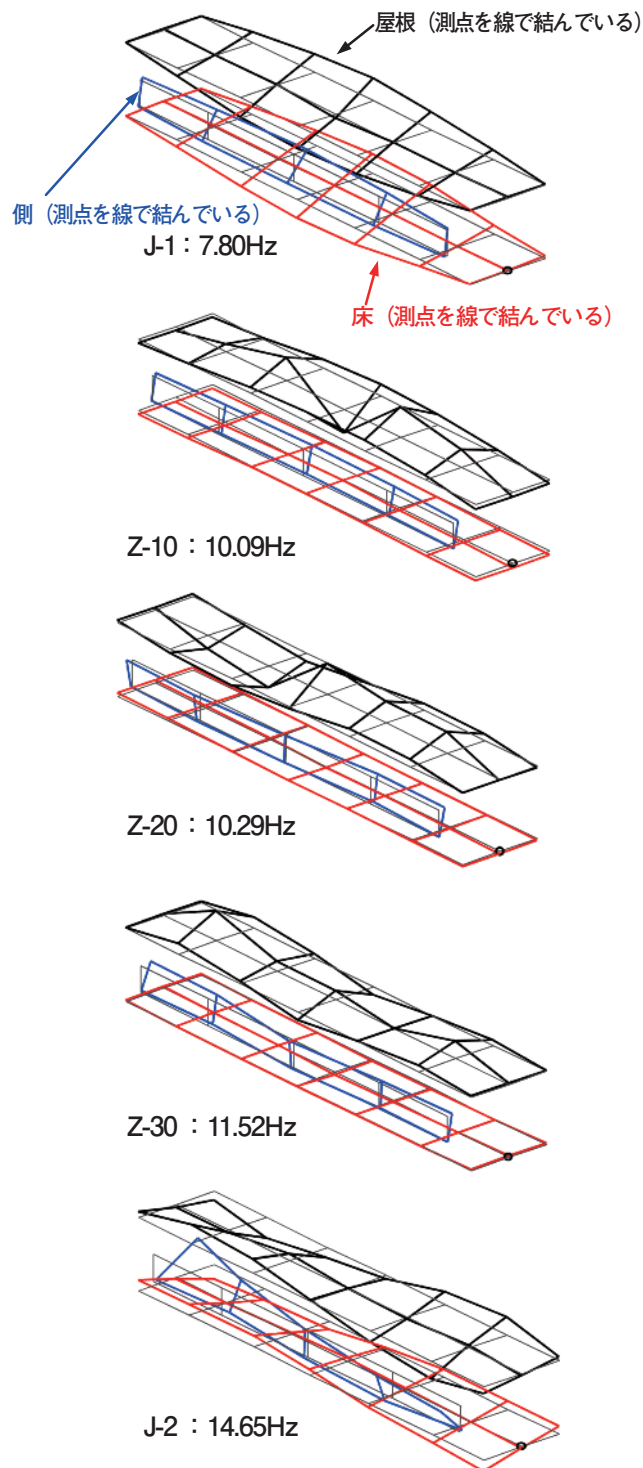


図6 「sustina」試作車両 主要固有振動モード
(内装ロールバー有り)

固有振動モード図に示したJ-1などの記号は、車体振動モードの特徴を記号化したものである。最初の英文字がモード形状を略号で示す。車体断面にせん断変形を生じるようなねじり変形モードの場合はJとする。上下曲げ変形モードのうち、屋根と床が同位相の場合はS、逆位相の場合はA、屋根だけが変形するなどして位相関係が不明な場合はZと表現する。ハイフン以降の数字が1桁の場合は振動モードの腹の数、2桁の場合は10の位が屋根の振動モードの腹の数、1の位が床の振動モードの腹の数を示す。

ところで、図6のZ-10は、屋根中心線上の振動形状だけから判断するとZ-30となる。しかし、屋根上クーラ位置に設置したダミーカバー上のr4cだけ振動するモードが試験で得られ、またZ-10では、そのr4cだけ極端に位相がずれていることから、車体全体の振動モード評価のためにZ-10として整理した。

過去の研究で、ステンレス車両のような構造の車体は、床、屋根、側の面体がそれぞれ独立して振動する特性であることを明らかにした³⁾。今回の測定結果から、「sustina」車体も他のステンレス車両と同様の振動特性であると言える。

2. 2. 2 周波数応答関数

「sustina」試作車体に取り付けた測点のうち、代表的な位置での周波数応答関数 (FRF) を図7に示す。

床測点のうち、車体中心線上にあるf2cとf4cの結果 (図7(a), (b)) を見ると、内装ロールバーが付くことで8Hz付近のピークが10.3Hz付近へシフトしていることがわかる。このシフトしたピークに関連する振動モードは、Z-10とZ-20であった。一方、車体側面近傍にあるf4rの結果 (図7(c)) を見ると、内装ロールバーの有無による違いはほとんど無かった。

屋根測点のうち、車体中心線上にあるr2cとr4cの結果 (図7(d), (e)) を見ると、f2c, f4cのように、内装ロールバーが付くことで8Hz付近のピークが10.3Hz付近へシフトしていることがわかる。このシフトしたピークに関連する振動モードは、床測点と同じくZ-10とZ-20であった。一方、車体側面近傍にあるr4rの結果 (図7(f)) を見ると、内装ロールバーが付くことで10Hz付近にピークが生じている。振動モードから見ると、内装ロールバーが無い時には9Hz付近のわずかなピークで生じる振動モードであるので、車体剛性の向上に伴う影響であると言える。ところで、車体中央付近のr4cについては7.2Hz付近に大きなピークがある。このピークに内装ロールバーの有無は影響がなく、また、この振動モードは前述の通り屋根上クーラ位置のダミーカバーにのみ存在する特徴的な振動モードであるので、本報では評価しない。

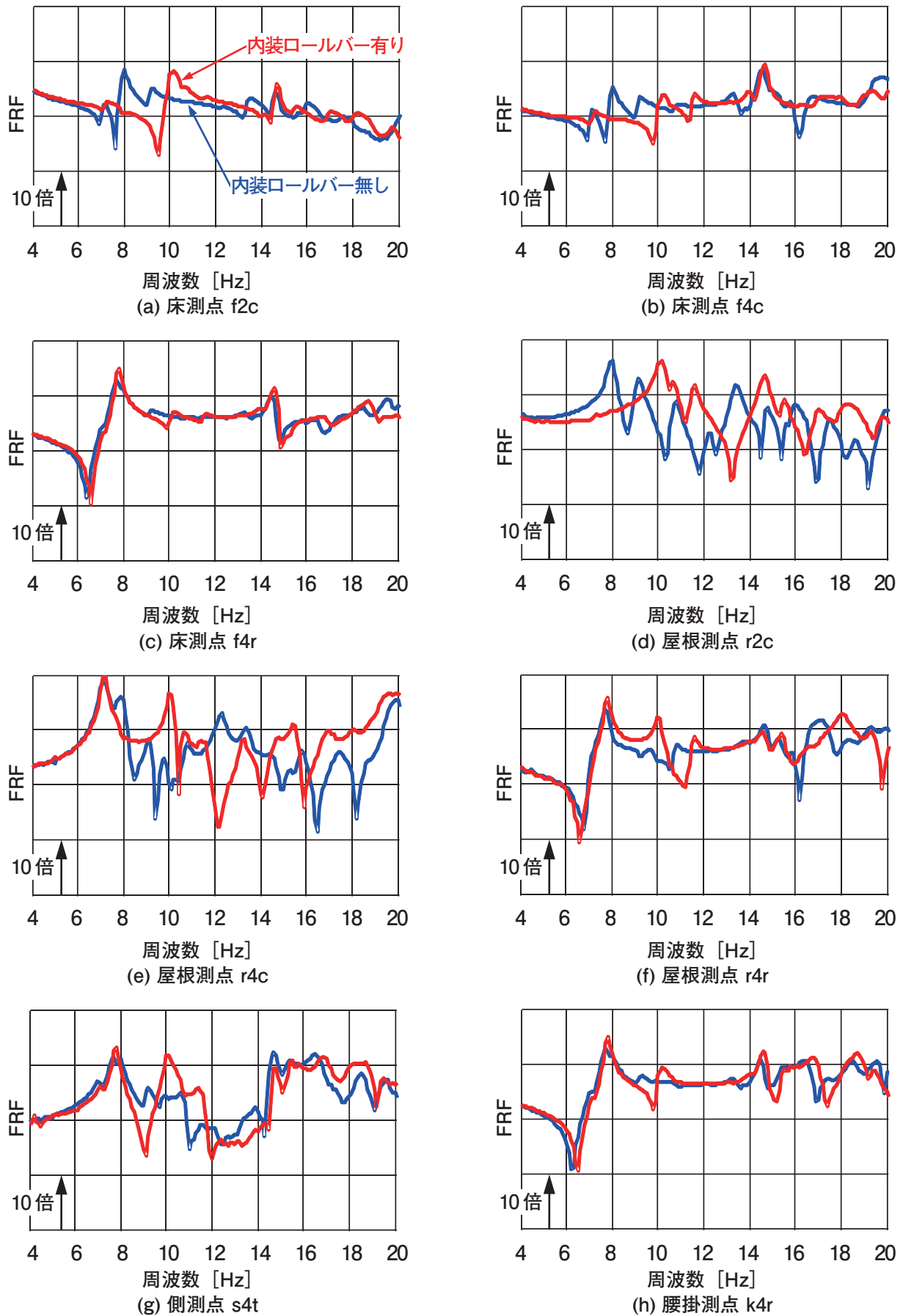


図 7 「sustina」 試作車両 周波数応答関数 (主要な測点)

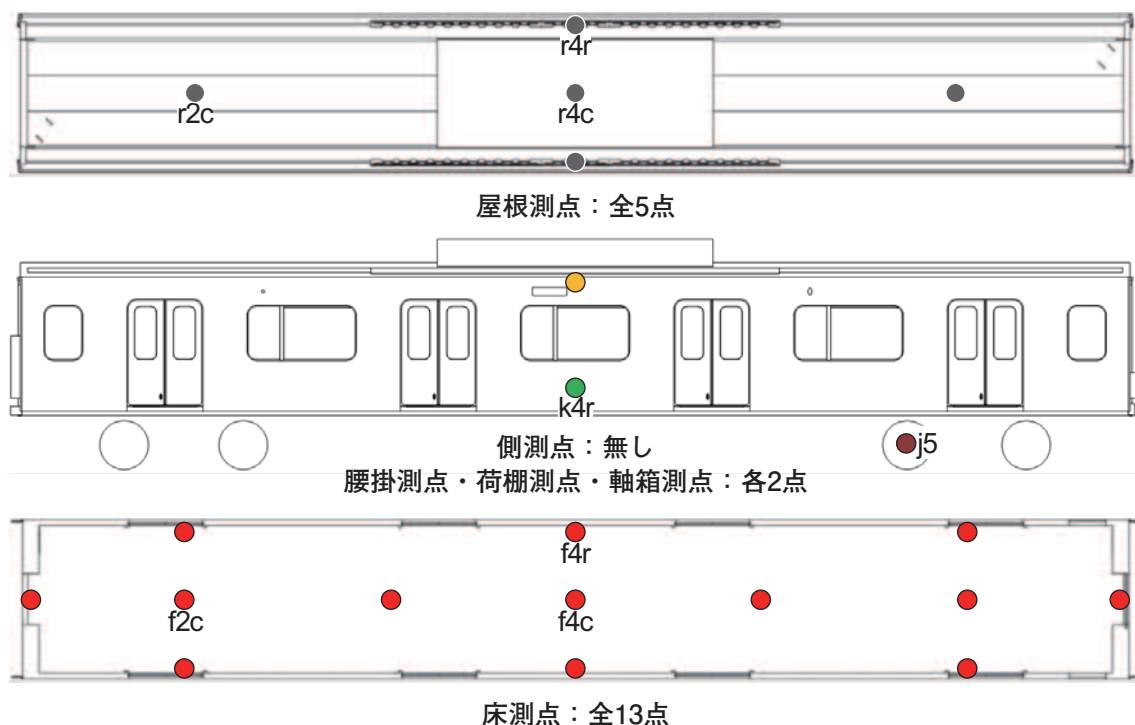


図 8 「sustina」第1号車両 加速度センサ設置位置

側測点であるs4tの結果（図 7(g)）では、r4rと同様に内装ロールバーが付くことで10Hz付近にピークが生じている。s4tもr4rと同様に車体剛性向上の影響と言える。

腰掛測点であるk4rの結果（図 7(h)）では、6～8Hzの範囲の線が高周波数側へわずかにシフトしており、また10Hz付近に小さなピークが生じている。車体剛性向上の影響と言えるが、他の測点よりは影響が小さい。

2. 3 「sustina」試作車両における内装ロールバーの効果

一般的に、同じ振動モード同士で比較すると、剛性が増した方が固有振動数は大きくなると考えられる。その視点から前節で示した試験結果を評価すると、Z-20モードの車体振動に対して内装ロールバーによる剛性向上効果が大きい。8Hz付近の固有振動数は10.3Hz程度になる。

一方、内装ロールバーが有ることで振動が大きくなる場所も存在することが確認できた。

3 「sustina」第1号車両での本線走行試験

「sustina」試作車両に対する定置加振試験により、入力加振に対する応答振動加速度がどう変化するか掴むことができた。さらにそれを基にして車体剛性への効果を見ることができた。しかしながら、実際に乗客が感じる乗り心地への影響度合いに関しては、本線走行時と同じ周波数特性を持った入力加振に対する応答振動を見る必要がある。そこで「sustina」第1号車両の本線試運転の際に、内装ロールバーの付け外しを行い、乗り心地に対する効果を確認した。

3. 1 試験条件

スケジュールの都合上、「sustina」第1号車両の本線走行試験は東急田園都市線で行った。全走行区間の中に86km/h等速区間を設定し、内装ロールバーの有無による振動の違いを、同一区間、同一速度で評価できるようにした。なお等速区間の走行速度は、事前に車体の曲げ弾性振動を励起しやすいと想定する速度を算出し、それを基に設定した。

本線走行試験では、加振信号に相当する振動を記録するために「sustina」第1号車両の台車軸箱に加速度センサを設置したほか、定置加振試験と同様に車体各所へ加速度センサを設置し、振動加速度を測定した。なお、準備時間・施設の制約があり、定置加振試験よりも測点を減らしている。加速度センサの設置位置を図 8に示す。また、加速度センサの設置状況を図 9、図 10に示す。

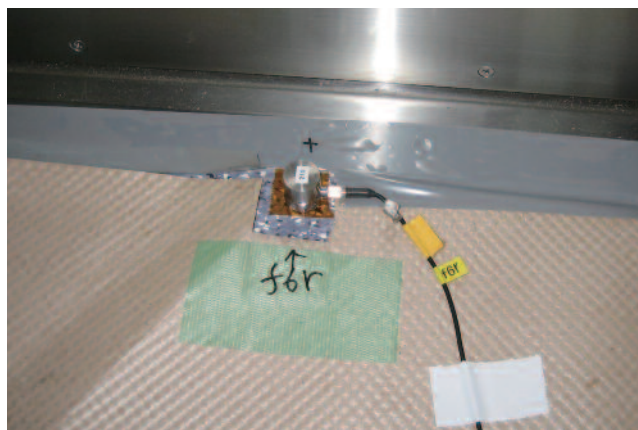


図 9 加速度センサ床上設置状況

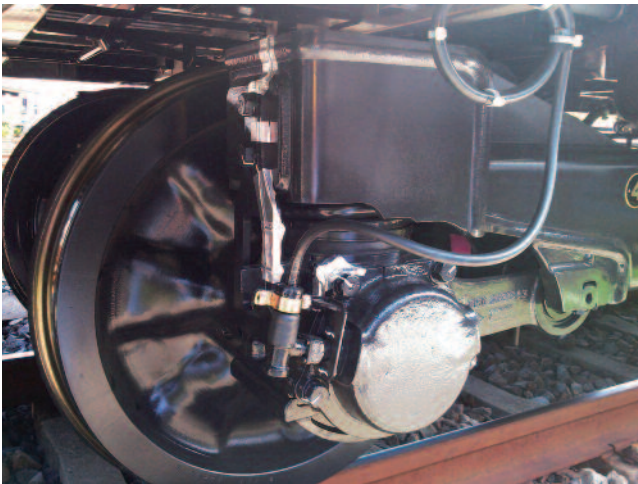
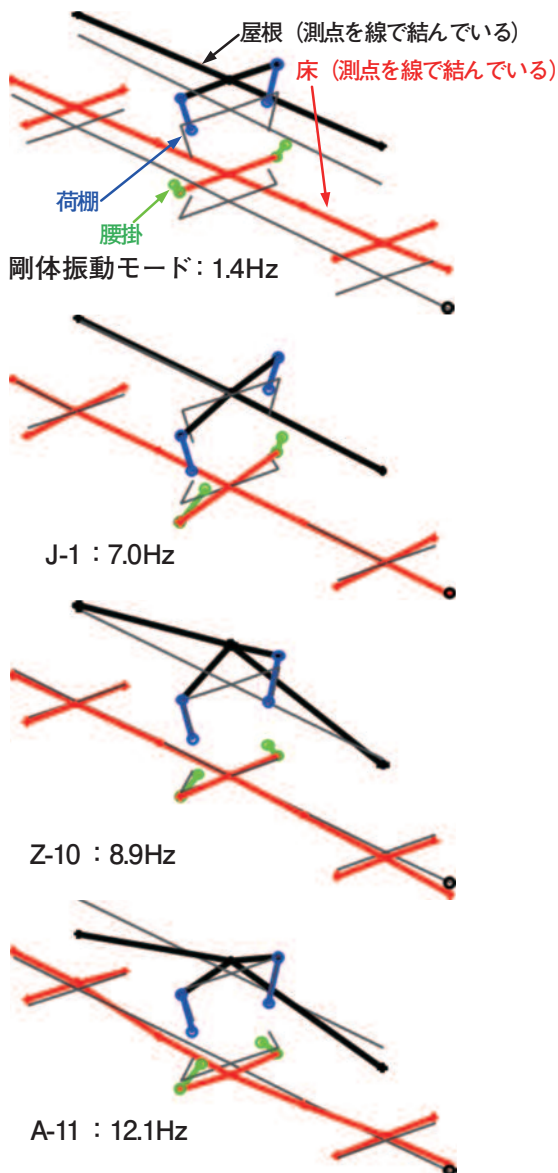


図 10 加速度センサ軸箱設置状況

図 11 「sustina」第1号車両 主要固有振動モード
(内装ロールバー有り)

3. 2 試験結果

3. 2. 1 固有振動モード

「sustina」第1号車両に内装ロールバーが有る状態での固有振動モードのうち、代表的なモード4つについて図 11に示す。

定置加振試験で見られなかったモードに、剛体振動モードがある。これは車体前後の台車のばねが同位相で上下振動するモードであり、あたかも車体を剛体と見なした時のように上下振動する。そのため、内装ロールバーの有無と関係ないモードであるので、本報では評価しない。

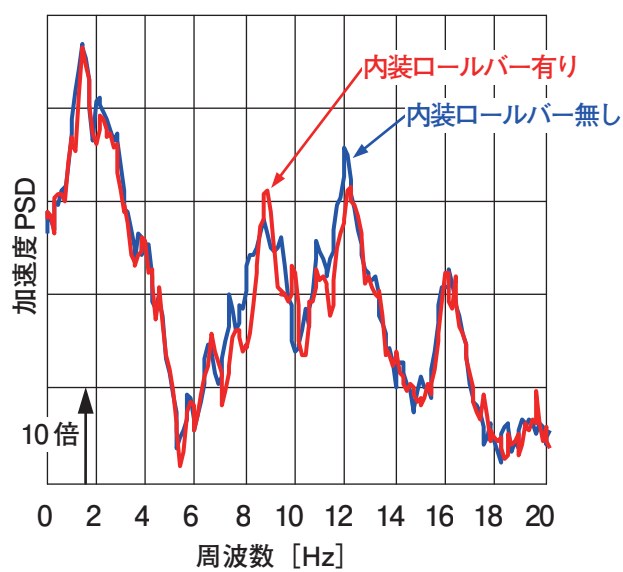
振動モードJ-1と振動モードZ-10は、「sustina」試作車両の定置加振試験結果よりも小さな固有振動数となっている。この原因は、屋根上機器および床下機器の有無による車両質量の相違が大きいと考えられる。振動モードA-11は定置加振試験では見られなかったモードであるが、床の振幅に比べて屋根の振幅の方が大きいので、定置加振試験で測定した振動モードZのうちの1つが、本線走行試験で振動モードAに変化したと考えられる。

3. 2. 2 加速度パワースペクトル密度

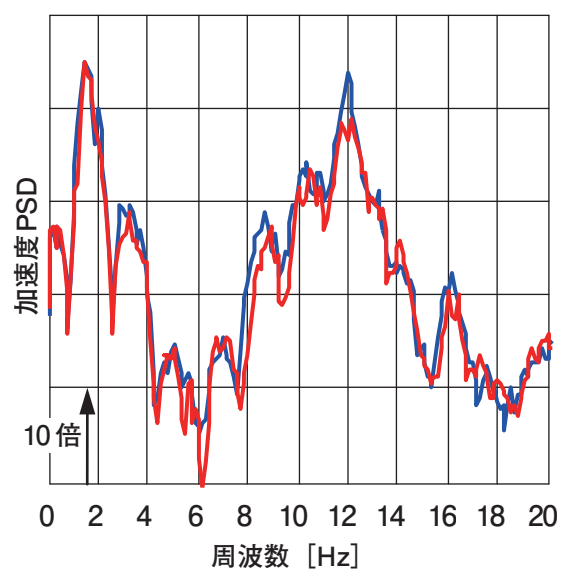
「sustina」第1号車両に取り付けた測点のうち、代表的な位置でのパワースペクトル密度 (PSD) を図 12に示す。

床測点と屋根測点の結果 (図 12(a)~(d)) を見ると、内装ロールバーが有ることによるピークのシフトはほとんど見られない。また、8Hz付近と12Hz付近のPSD値が小さくなっており、剛体振動モードの周波数帯 (1.4Hz付近) を除くと、最大ピークは低下する。腰掛測点の結果 (図 12(e)) も、床測点と同様の傾向を示している。12Hz付近のピークは、内装ロールバーが付くことで約1/3となる。

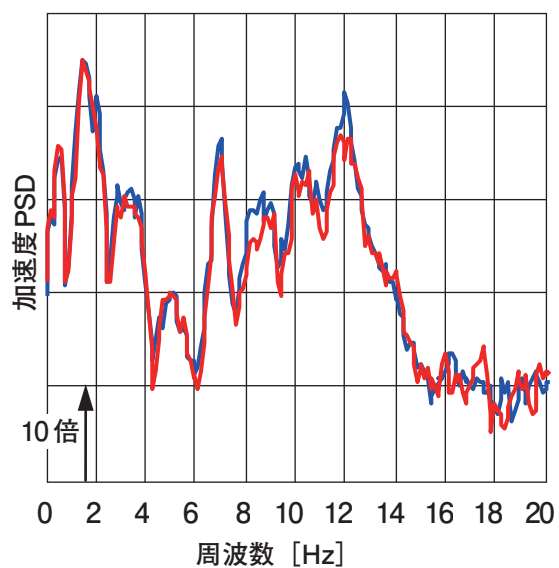
軸箱測点の結果 (図 12(f)) を見ると、違いがほとんど無い。加振信号 (条件) はほぼ同一であると言える。



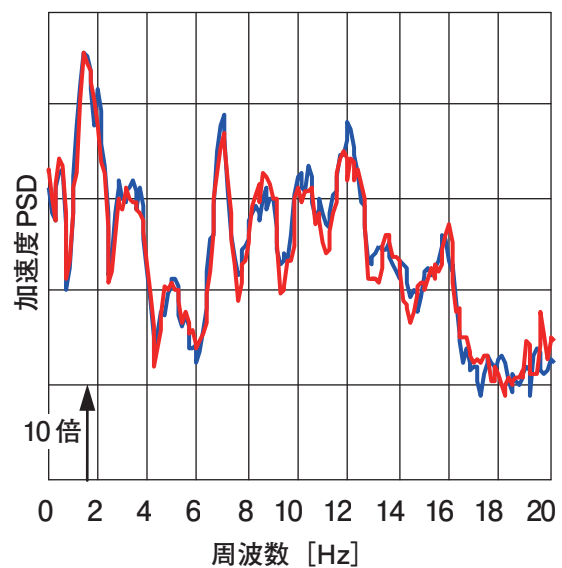
(a) 床測点 f2c



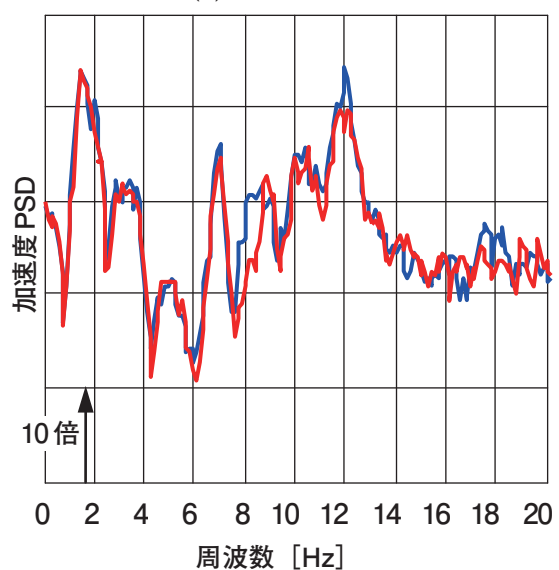
(b) 床測点 f4c



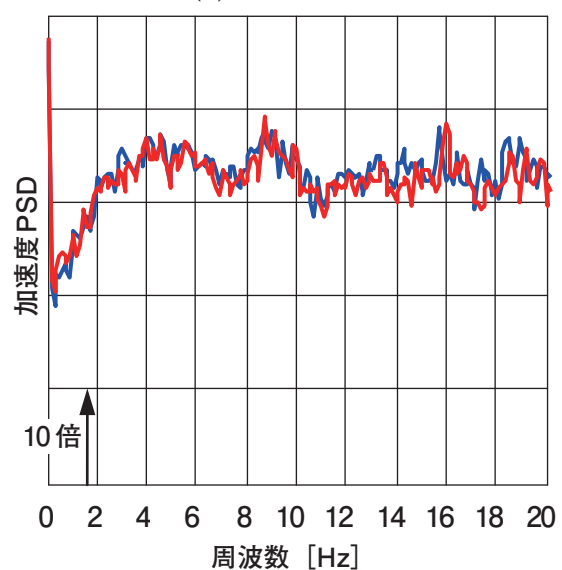
(c) 床測点 f4r



(d) 屋根測点 r4r



(e) 腰掛測点 k4r



(f) 軸箱測点 j5

図 12 「sustina」 第1号車両 周波数応答関数 (主要な測点)

3. 2. 3 乗り心地レベル

前項の加速度PSDを使い、乗り心地レベル (L_T) を算出して評価する。

L_T は、鉄道の乗り心地評価に一般的に用いられるもので、その値から5段階の乗り心地評価を行うことができる。表1にそのランクを示す。数値が小さいほど乗り心地は良くなる。

表1 乗り心地レベル (L_T) と評価

ランク	乗り心地レベル(L_T)	評価
1	$L_T < 83 \text{ dB}$	非常に良い
2	$83 \text{ dB} < L_T < 88 \text{ dB}$	良い
3	$88 \text{ dB} < L_T < 93 \text{ dB}$	普通
4	$93 \text{ dB} < L_T < 98 \text{ dB}$	悪い
5	$98 \text{ dB} < L_T$	非常に悪い

腰掛測点k4rと床中心に位置する床測点f4c、それぞれの乗り心地評価と、内装ロールバーの有無による L_T の変化量 (ΔL_T) を表2に示す。 ΔL_T がマイナスの時は、内装ロールバーによる乗り心地改善効果があることを表している。

表2 内装ロールバーの有無による L_T の変化

位置	内装ロールバー	乗り心地評価	ΔL_T
腰掛 k4r	無し	非常に良い	-1.2dB
	有り	非常に良い	
床 f4c	無し	非常に良い	-1.4dB
	有り	非常に良い	

内装ロールバーの有無に関わらず、乗り心地評価は非常に良い、であるが、内装ロールバーが有ることで1.2～1.4dB程度の乗り心地改善効果が得られる。

ところで、k4rの12Hz付近のピーク減少率を基に考えると、 L_T の減少度合いは限定的である。 L_T の算出には0.5～80Hzの振動が関係するので、1.4Hz付近の剛体振動モードのピークが変化しないことが L_T への効果を限定的にした理由である。

3. 3 「sustina」第1号車両における内装ロールバーの効果

「sustina」第1号車両の本線走行試験により、内装ロールバーが有ることで乗り心地が向上する結果が得られた。

「sustina」試作車体の定置加振試験では、内装ロールバーが有ることで振動が大きくなる箇所が屋根などに存在して

いたが、本線走行試験では振動が大きくなるような傾向は見られなかった。

ところで、今回の本線走行試験では空車状態で測定を行った。乗車人員が増えるに従っての乗り心地への影響を確認する必要があるが、これまでの研究により、乗車人員の増加は車体への振動減衰効果の付与に相当することがわかっている⁽⁴⁾。これは、どちらかと言うと振動低減に寄与する効果であるので、乗車人員の増加による悪影響はほとんど生じないと推測できる。

4 まとめ

「sustina」の内装ロールバーによる車体剛性向上効果と乗り心地向上効果について、試験により確認を行った。

定置加振試験により、内装ロールバーが有ることで車体剛性が向上することを確認できた。また、本線走行試験により、内装ロールバーが有ることで乗り心地が向上することを確認できた。

鉄道総研との共同開発による剛性向上棒は、既存車への追加取り付けを考慮した構成となっていた。内装ロールバーでも既存車への追加取り付けが可能であるので、国内外を問わず、「sustina」以上に普及を図っていきたい。

最後に、振動測定や解析評価にあたり、多大なご協力をいただいた関係各位へ謝意を表す。

参考文献

- (1) 谷口宏次，他：「軽量ステンレス鋼製車体の剛性向上に関する検討」，東急車輛技報第60号，12-19，(2010)，東急車輛製造(株)
- (2) 瀧上唯夫，他：「車体剛性向上機能を持つ吊手棒の開発（既存車両への取付を考慮した設計とその効果）」，J-RAIL2010講演論文集，321-324，(2010)
- (3) 相田健一郎，他：「車体構造の違いによる在来線車両の車体固有振動モード特性の比較」，J-RAIL2007講演論文集，143-146，(2007)
- (4) 富岡隆弘：「旅客の乗車で車体振動が変わる」，RRR Vol.66 No.7，18-21，(2009)，(財)鉄道総合技術研究所

著者紹介



今岡憲彦
生産本部
技術部（商品開発）主査

「sustina」第1号車側構体の製造方法

Manufacturing Method of the Side Structure of “sustina”

側垣 正 Tadashi SOBAGAKI
佐野 裕 Yutaka SANO
越川 純 Jun KOSHIKAWA

七里 マリア Maria SHICHIRI
河田 直樹 Naoki KAWADA

「sustina」第1号車の側構体は美観向上のため、せぎりと出入り口や窓フレームによる凹凸をなくした。これらの結合にはレーザー溶接を採用し、水密性とメンテナンス性の向上も図った。外板と骨組みの結合には新抵抗スポット溶接（「Smart RSW」）を採用し、強度を保ちつつも圧痕を改善した。さらに、外板の突合せ溶接部には自動仕上げ装置を導入し、品質の安定化を図った。本稿では「sustina」第1号車の側構体製造工程について解説する。

1 はじめに

「sustina」第1号車はアルミ車両と同等の車体軽量化と少エネルギー化を実現するために、車体構造の変更や骨組の軽量化を実施した。特に側構体については美観向上のためレーザー溶接を積極的に採用し、外板同士を繋ぐせぎりと出入り口、窓周囲の凹凸をなくした。また、樹脂シールをなくし、水密性とメンテナンス性の向上も図った。さらに、骨組みと外板の接合についても新しい抵抗スポット溶接手法を採用した。

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結合。

並行して車端、出入り口部、出入り口間の骨組みブロックを製作。

(2) 新抵抗スポット溶接（以下、「Smart RSW」⁽¹⁾⁽²⁾）を用いた骨組みブロックと外板の結合。

(3) 外板結合部の仕上げ。

(4) レーザ溶接を用いて出入り口や窓周囲のすみ肉溶接。

製造にあたり、既存設備の改造、または試作設備を設置し、検証のために図1のような試作パネルの製作を数回行った。

本稿では側構体における各製造工程について、そこで用いた手法について触れながら解説する。

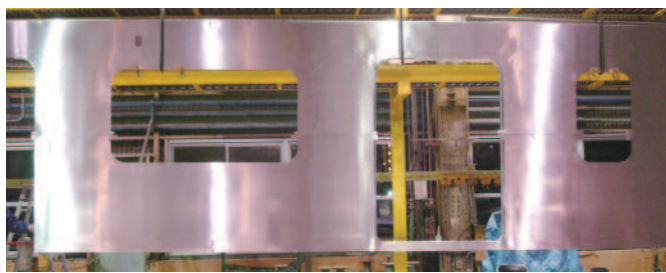


図1 試作側構体（幕板の縦線は吊具）

2 側構体製造工程について

2.1 外板の結合工程

側構体製造にあたり、定盤上に外板を置き、レーザーで出入り口上部の幕板（図2参照）と、戸袋部吹き寄せ板の突合せ接合を行った。

当社ではこれまで、一部の側外板や屋根板の接合にレーザーによる突合せ溶接を採用してきた。この接合は、従来のTIG溶接や、MIG溶接と比較して、溶接速度が速いため、入熱量が格段に少なく、歪みがほとんど出ない。したがって、外観品質が向上するだけでなく、施工後の修正作業も不要になり、生産性向上と工数低減を図ることができる。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、自動化により、技能レスが実現した。

さらに、側外板のせぎりの廃止と突合せ溶接の採用は、水密性を確保し、樹脂シールも不要になった。

一方、溶接時に材料同士の目違い、隙間が発生すると、補修ができていても歪み等でその部分が目立ってしまうため、溶接部近傍を抑制するだけでなく、目視等で材料の状態を確認した。

加えて、「sustina」第1号車では側構体を組み立てる上

で、いわゆる「調整代」として機能していたせきりがないため、材料の突合せ状態だけでなく、外板の切断精度にも気を配らなければならなかった。外板の直角度が出ていないと、構体の通りが出ない上、車内設備を取り付ける際の障害になる。

レーザ溶接に関わる部材については、シャー切断やターレットパンチプレスではなく、レーザ切断を採用することになっている。

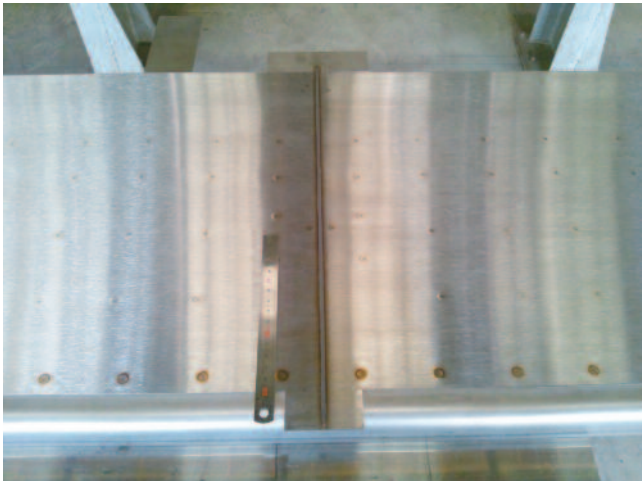


図2 出入り口上部の突合せ溶接後

2. 2 外板と骨組みの結合工程

外板の結合後、自動抵抗スポット溶接設備を用いて、銅板上で外板と柱や外板補強等の骨材を結合した。骨材はあらかじめ別ステージで車端、出入り口部、出入り口間部の3ブロック毎に組み立てておいた。(図3参照)

抵抗スポット溶接の圧痕が目立たなくなるように本工程では既存の自動抵抗スポット溶接設備に「Smart RSW」⁽¹⁾⁽²⁾機能を組み込んだ。

「Smart RSW」は電気サーボ式の加圧機構を用いて、任意に加圧力を変化させることができる抵抗スポット溶接設備である。「スクイズ」、「通電」、「ホールド」時において、それぞれ適正な加圧力を与えることにより、圧痕の改善を図ることができた。

図4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ついて、従来の抵抗スポット溶接部の圧痕と、「Smart RSW」による溶接部の圧痕の外観写真である。「sustina」の圧痕の方が従来車のものよりも、圧痕の直径が小さいが、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。図5は従来車と「sustina」構体の車端部を写したものである。図4の組合せと異なる部分もあり、全てではないが、右側の「sustina」構体の方が全体的にスポット溶接の圧痕が目立たなくなっており、凹凸の廃止も手伝って、すっ

きりとした外観に仕上がった。

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3 銅板上の側構体の一部

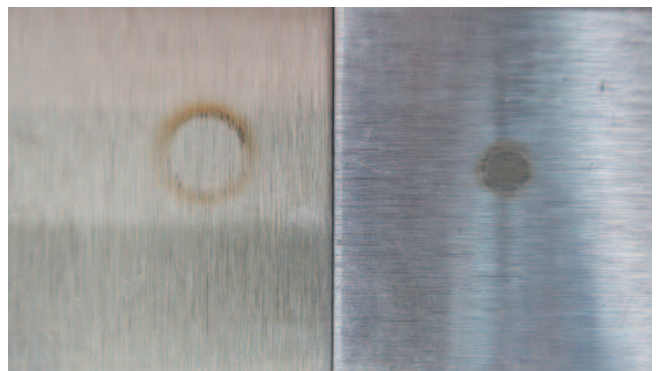


図4 抵抗スポット圧痕外観写真
(左：従来車、右：「sustina」)



図5 構体圧痕外観写真(左：従来車、右：「sustina」)

2. 3 外板突合せ溶接部の仕上げ工程

外板と骨組みを「Smart RSW」で結合した後、外板を正転し、レーザ溶接による接合部の仕上げ作業を行った。

これまで突合せ溶接部の仕上げ作業は手作業で行っていたが、高度な技能が必要である上に、作業者によるばらつきが発生していた。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試作導入し、「sustina」第1号車に用いることにした。

試作した自動研磨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簡単なものである。

仕上げ条件の決定にあたっては、実験計画法^③を用いてパラメータの絞込みを行い、現場作業者のノウハウを付加することにより、図6のように、突合せ溶接部を周辺の仕上げ状態に近づけることができた。

さらに自動研磨設備と作業手順の統一により、作業者が変わっても、ほとんど同じ外観品質を得られるようになった。

しかし、突合せ溶接時に目違いを発生させてしまうと、研磨ベルトが外板に均一に接しないため、図7のように筋として残る。この筋を消すために、外板を削り込んでしまうと、外板の強度低下を招く。従って、外板の突合せ工程では細心の注意を払う必要がある。

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



図6 外板接合部仕上げ後（橙色楕円内）

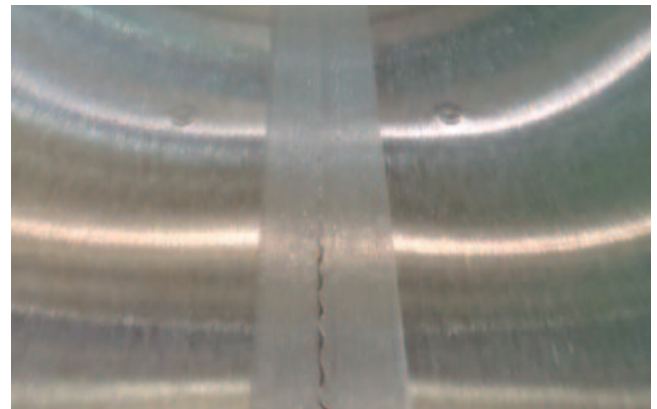


図7 目違いによる仕上げムラ

2. 4 出入り口部、窓部のすみ肉溶接工程

「sustina」第1号車では、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り口フレームや窓フレームを車内側に取り付けた。雨水等が外板とフレームのすき間から浸入したり、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、出入り口周囲、窓周囲に対し、レーザ溶接ですみ肉溶接施工した（図8参照）。

すみ肉溶接部は見た目が美しい反面、狙いが非常にシビアであり、わずかな狙いのずれが、出来ばえに大きく影響するため、レーザ加工ヘッドにセンサーを取り付けた。

すみ肉溶接部はフレームをとめるための抵抗スポット溶接の歪みにより、フレームと外板との間に隙間があくことが多い。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、施工前には隙間の有無を確認し、口が開いている部分については、レーザで仮どめをしてから、すみ肉溶接を行った。

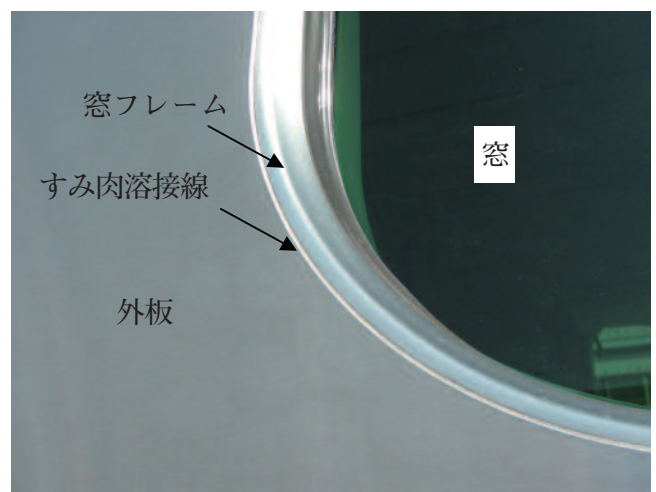


図8 窓フレームコーナー

3 おわりに

「sustina」第1号車の側構体製造について、製造工程順にそこで使用した接合技術について触れてきた。外板の突合せ溶接工程や、出入り口、窓周囲のすみ肉溶接工程については治具に精度、適切な抑制機能を持たせるのはもちろんであるが、材料の切断精度と、その組立精度を向上させることが大切である。

「Smart RSW」を用いた抵抗スポット溶接工程についても、材料を密着させるための加圧力は材料の組立精度に因るところが大きい。

美観については、官能的な評価をしてしまうと、人により評価が変わる上に、見る度に異なる評価をするため、ある評価軸を定める必要があると考える。

今後、「sustina」第1号車で得た技術やノウハウを製造ラインとして構築することが次のステップである。

参考文献

- (1) 河田直樹，他：「抵抗スポット溶接の加圧力制御による電力量低減の評価」，東急車輛技報61号，2-7，(2011)，東急車輛製造（株）
- (2) 渥美健太郎，他：「抵抗スポット溶接システム Smart RSWを用いた鉄道車両の圧痕外観向上に関する研究」，総合車両製作所技報 1号，2-9，(2013)，（株）総合車両製作所
- (3) 七里マリア，他：「ステンレス鋼板における研磨加工の評価技術の開発」，東急車輛技報61号，26-33，(2011)，東急車輛製造（株）

著者紹介



側垣 正
生産本部
生産管理部（生産技術）主査



佐野 裕
生産本部
生産管理部（生産技術）



越川 純
生産本部
生産管理部（生産技術）



七里マリア
生産本部
生産管理部（生産技術）



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

「sustina」東急電鉄5576号車の概要

生産本部 技術部



図1 製品外観

1 はじめに

鉄道車両市場におけるステンレス車両の優位性を確保するために、当社では2010年度より東急電鉄殿と共同で軽量、高剛性、高強度、低コストな次世代の通勤車両の開発に取り組んできた。このたび、その技術開発要素を採用した次世代ステンレス車両「sustina」シリーズの第1号車両として、東急電鉄殿5050系5576号車が完成したのでその概要を紹介する。

なお「sustina」とは、今後、当社が製造するステンレス車両のブランド名であり、国内外への展開を図る予定である。

2 車両の特徴と概要

「sustina」シリーズ国内第1号車両：東急電鉄殿向け5050系5576号車の主な特徴は以下の通りである。

2. 1 車体軽量化

構体は軽量ステンレス構造を基本とし、車体の台枠や屋根構体において構体材料や骨組の適正配置化を進めるとともに、妻部にはビード付き外板材の採用による骨組低減、内部構造においても各部受構造を吊溝化して骨組低減を図るなど、従来車と比較してトータル0.5tの軽量化を図り、アルミ構体と同等の質量を実現した。これにより、走行時の消費電力量削減など省エネルギー性の向上が図られている。

2. 2 外観デザインの向上

側窓部、側出入口部は枠を外板の内側に収め、側外板のつなぎはレーザ溶接で突合わせ接合して「せぎり」を廃止することとした。その結果、当該部の凹凸が少なくなり、これまでのステンレス車両のイメージを覆す、フラットですっきりした外観デザインを実現している。

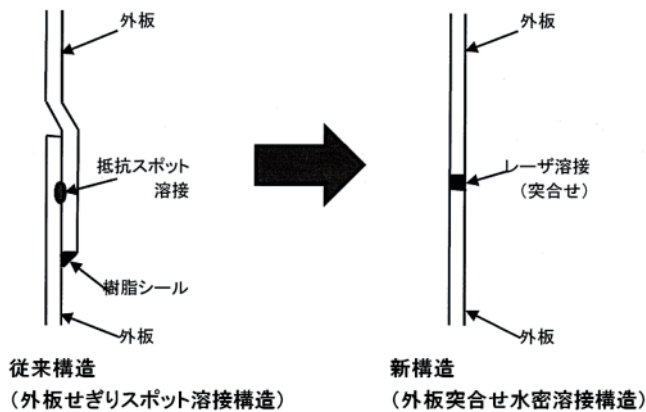


図2 外板結合方法の変更



図3 車両外観の違い（左：新構造 右：従来構造）

さらに側構体と屋根構体の結合構造を変更し、これまで側構体外側に突出していた雨どいを廃止して、側構体を台枠から垂直に立上げることにした。その結果、室内有効スペースの増加が図られ、従来車よりも定員が1名増加している。

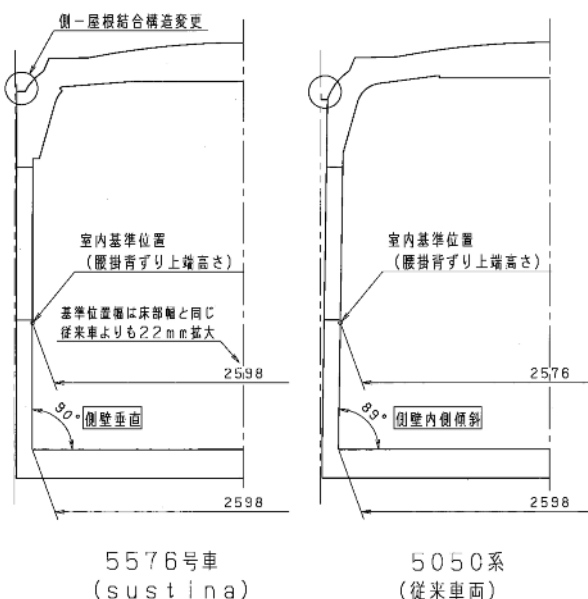


図4 車体断面有効幅の違い

2. 3 メンテナンス性向上

構体の組立方法は従来通りのスポット溶接を基本としているが、側窓部、側出入口部、側外板部、妻外板部、妻幌枠部の車体鋼板接合においては、レーザーによる連続溶接を採用している。これにより、水密性（雨水浸入の防止）の向上が図られている。

従来車は点での接合が主体のスポット溶接構造であるため、鋼板の接合面において隙間から水が浸入するのを防ぐための樹脂シールによる水密シーリングを実施しており、定期的にこれを補修する必要があった。しかしながら、レーザーによる連続溶接ではこうしたシーリング作業が不要となり、経年で補修する必要もないことから、車体のメンテナンス性が向上している。

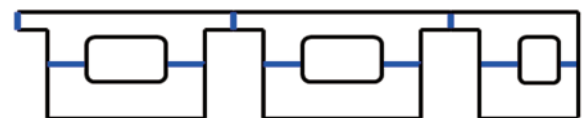


図5 側外板レーザー突合せ溶接部（青色部）

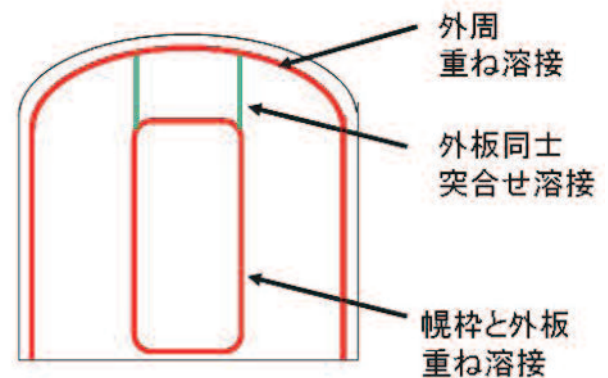


図6 妻構体へのレーザー溶接適用部位



図7 レーザ連続水密溶接の様子



図8 レーザ溶接による窓枠部水密構造

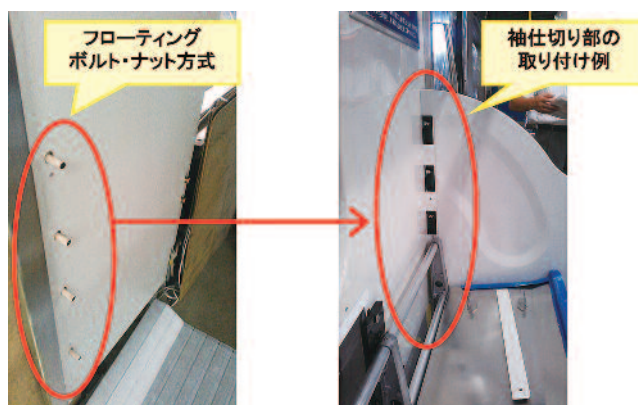


図10 フローティングボルト・ナットの採用例

2. 4 室内安全性向上

車体断面方向に側天井部同士を連結させた補剛材を、インテリアデザインの観点から連続的な曲線で配置し、袖仕切・スタンションポール（手すり）・吊手棒受けに融合させた「内装ロールバー構造」を採用している。

これにより、構体の剛性向上と万が一の時における車両の側面衝突時等の室内空間保持性能向上を実現しており、乗客の安全性向上を図った構成としている。



図9 内装ロールバー構造

2. 5 室内ぎ内装の簡略化

室内ぎ内装の取付方法は、吊溝を利用したボルトナット固定方式と、ねじまたはねじ座が動くフローティングボルト・ナット方式を採用している。この結果、製作上の多少のズレにも対応・調整ができるようになるとともに、現車での穴開け作業を廃止して、切粉を発生させるリスクを排除している。

また、風道や天井部、妻部、配線関係といった主要な室内構成要素は、極力モジュール化を図ることとし、アウトワーク化による現車作業の削減とリードタイムの縮小を実現している。

さらに、荷棚上の側天井部は車体全長方向に開閉が可能な点検ふたと広告用のポスターレールの機能を一体化させた構造としており、側天井部の機器取付けや配線作業を容易にするとともに、将来的な機器交換作業や配線追加工事等への対応についても考慮した構造としている。

こうした工夫により室内ぎ内装工程が簡略化され、車両製作コストの低減に寄与するものと考えている。



図11 荷棚上側天井用点検ふた（通常時）



図12 荷棚上側天井用点検ふた（開放時）

2. 6 内装デザインの向上

荷棚受け・吊手棒受けといった大型の設備品の取付ねじを極力見えないように工夫し、同時に押面類も廃止した。室内点検用ふたや非常通報器等は内壁面とフラット化することにより、シンプルですっきりとしたデザインとしている。



図13 5576号車 室内（妻部）

2. 7 LED車内照明の採用

室内灯には高輝度の直管型LED照明を採用し、従来の蛍光灯照明と同等の明るさを保ちながら消費電力量を約40%削減するとともに、長寿命化により廃棄物の削減にも寄与し、環境負荷の低減を図っている。また、従来の中間車は1両あたり24灯配置しているところ、高輝度LED照明の採用により2灯減らした22灯の配置としており、室内照度を落とさずに省エネルギー性に配慮するといった工夫がなされている。

2. 8 バリアフリーへの対応

荷棚の高さについて、従来車は1748mmであったところ、当車両では53mm下げた1695mmとしており、ユニバーサルデザインにも配慮した構成としている。

2. 9 妻引戸装置の変更

従来車では傾斜式（重力式）の自閉妻引戸装置を採用していたが、このタイプでは妻引戸開時に本体が傾斜を上昇するため、操作が重いという評価もあった。そのため、当車両ではばねによる巻取り力で作動する水平式の自閉妻引き戸装置を採用し、妻引戸開時の操作性が向上している。

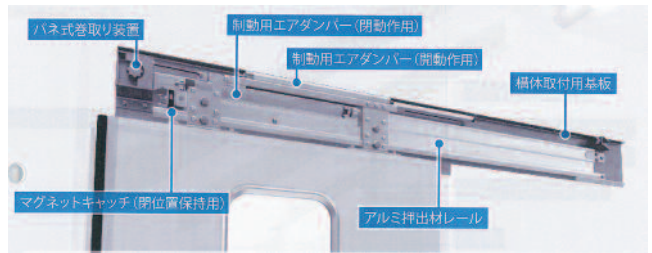


図14 妻引戸装置構成概要

3 おわりに

「sustina」第1号車両である5576号車は5050系5176編成の中間車5号車として2013年5月に東横線で営業運転を開始している。今後は、新規導入技術に関して、定期的な確認と検証を実施させていただき、最終的な妥当性を確認していく予定である。それらの確認を踏まえて「sustina」のこれらの特徴を見据えた次世代車両の開発導入に引き続き取り組んで行く。

最後に、3年間に渡って試作車両の開発にあたりご協力をいただいた関係各位ならびに「sustina」第1号車両として5050系に導入をご英断いただいた東急電鉄殿に対して、この場を借りて厚く御礼を申し上げます。



図15 「sustina」第1号車両完成記念式典での集合写真

（西垣昌司，浅賀哲也，茂木正綱，須田剛慈 記）

振動波形解析とMTシステムによる 摩擦攪拌接合の状態監視技術

Condition Monitoring for Friction Stir Welding System by Using
Vibration Waveform Analysis and MT system

河田 直樹 Naoki KAWADA
橋本 健司 Kenji HASHIMOTO
吉澤 正皓 Masaaki YOSHIZAWA

石川 武 Takeshi ISHIKAWA
藤井 英俊 Hidetoshi FUJII

摩擦攪拌接合は、接合ツールを回転させながら材料中に挿入し、摩擦熱で軟化させた母材同士を塑性流動により一体化させる固相接合方法である。摩擦攪拌接合の品質管理は、溶接の立場では接合条件の管理に通ずる状態監視が重要と考えられているが、機器構成に着目すると工作機械の立場での状態監視も必要と考えられる。

そこで、工作機械にみられる振動による状態監視方法に着目し、摩擦攪拌接合システムへの適用を検討した。検討の結果、時刻歴の振動波形で接合条件の変化が確認できた。この変化を波形解析とMTシステムを組み合わせ、接合不良に起因する接合システムの異常検知の可能性を確認できたので報告する。

Friction stir welding (FSW) is a solid phase process which can produce high-quality and defect-free aluminum joints using a frictional heat generated by the welding tool rotation. The FSW system has a configuration similar to a machine tool. Therefore, the quality of the FSW should be controlled using a welding condition monitoring and welding joint inspection. In this study, a monitoring system was constructed, based on the Taguchi method and in-process measurement of vibration during the FSW. As a result, it was possible to monitor the system by detecting the change in FSW conditions for an aluminum alloy.

1 はじめに

摩擦攪拌接合は、接合ツールを回転させながら材料中に挿入し、摩擦熱で軟化させた母材同士を塑性流動により一体化させる固相接合方法である（図1）。この接合方法は、アーク溶接やレーザ溶接のような熔融溶接と比較して被接合材料への入熱量が小さいため、高品質な継手を得ることが可能であり、主に融点の低いアルミニウム合金などの製品に適用されている。

摩擦攪拌接合の品質管理は、溶接の立場では接合条件の管理が重要であるが、機器構成に着目すると工作機械の立場での管理も必要と考えられる。

そこで、工作機械の品質管理手法として導入が進んでいる状態監視法^①の中で特に振動計測による異常検知方法に着目し、摩擦攪拌接合システムへの適用を検討した。

検討の結果、工作機械のように振動加速度の周波数特性による明確な差異が得られなかったが、時刻歴の振動波形の波形解析では明確な差異が得られたため、多変量解析手法の一つであるMTシステムと組み合わせることで、接合不良に起因する接合システムの異常検知の可能性を確認できたので報告する。

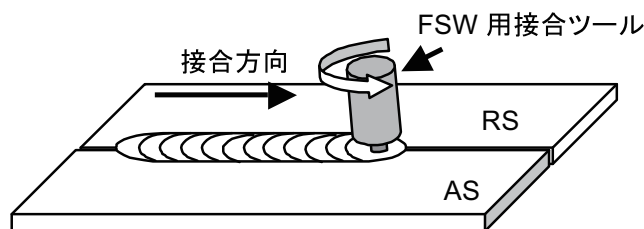


図1 摩擦攪拌接合（突合せ接合の例）

2 状態監視システム概要

摩擦攪拌接合の接合条件の管理は、主に接合荷重、ツールの回転速度、被接合物とツールの相対的な移動速度（接合速度）の3項目で行なわれている。さらに、より多くの状態監視を行なう手段として画像データによる判定^②やAEセンサによる判定^③がある。一方、工作機械の状態監視では、電力、切削抵抗、振動などが用いられている。

本開発では、早い段階での異常発生を検出するためにリアルタイム処理での状態監視システムを考える。リアルタイム処理ではデータ数の大きさが負荷となるため、できるだけ測定手段の簡略化を考慮し、状態を監視するための物理量として振動データを用いた検討を行なった。振動加速度データは、時刻歴波形として表すこと

ができるが、このことは後述する波形解析が適用できることを示す。また、一般的な解析として、周波数解析（FFTなど）があり、特徴的な周波数成分を抽出して変化を捉える期待ができる。

本稿では、これらのことを考慮し、振動加速度による状態監視手法として図2に示すアルゴリズムを検討した。このアルゴリズムには、MTシステムをベースとして採用している。MTシステムは品質工学の手法の一つで、多変量解析の特徴である「データの縮約」と「予測」の役割の他にパターン変化の検出に有効な成分を抽出することによって、様々なシステムの状態監視に適用されている⁽⁴⁾。

このMTシステムを中心に多数の情報から接合条件の変化を検知できる摩擦攪拌接合の状態監視システムの構築をめざす。

3 振動波形による状態監視アルゴリズムの構築

FSWの状態監視には、工作機械のように主軸周りの振動を計測し、時刻歴波形を基にした波形パターンの変化を捉えることが重要である。

まず、接合プロセス中の振動加速度を取得し、図2の波形解析またはフィルタ処理を経て、接合プロセスごとに行列を構成する。これによって、接合プロセス間の違いが強調され、良否判定がしやすくなる。

次に、FSW装置の初期状態、または接合品質が良好な装置の状態の振動データを多数取得し、これらを状態監視のための基準データ群とする。基準データ群は、状態監視における正常、異常を判断するための比較対象となり、行列で構成される。

最後に、基準データ群と接合プロセスの行列を用いてマハラノビスの距離MDを算出する。これら一連の流れで構成されたアルゴリズムによって状態監視を行なう。

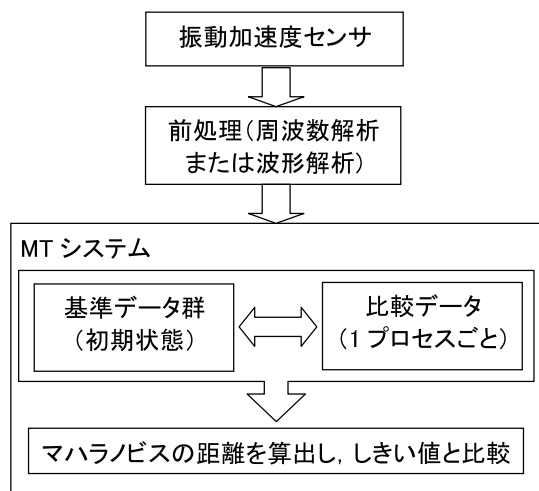


図2 状態監視アルゴリズム

4 実験結果

本稿では、アルミニウム合金6N01の摩擦攪拌接合における状態監視を行なった。検討した接合形態は、FSWで一般的な突合せ継手である。

まず接合が良好に行なわれる条件を正常と定め、次に接合荷重または接合速度を意図的に変えて接合不良が発生する条件を異常と定め、それぞれの接合中の振動を測定した。

表1に下線部で示すように、異常1は接合速度を変化させ、異常2は接合荷重を変化させて、それぞれ接合条件の異常とした。いずれも接合に必要な入熱量が不足する方向に条件をシフトしており、実用上では深刻な異常となるレベルである。

なお、振動加速度センサはツール回転部（主軸）の直上に設置し、データを取得した。測定条件を表2に示す。

A、B、Cのそれぞれの接合条件で接合した試験片の状況を表3、表4に示す。

まず、表3に接合試験片の外観を示す。Aは正常な接合条件のため、おもて、うらとも表面状態は良好である。Bは接合速度が速いため、入熱が減少し攪拌不足の状態である。このため、ビードが脈動しており、接合が不安定であることが確認できる。Cは接合荷重が不足しており、ツールがワークに十分に接触していない状態である。このため、ビードの状態を見てもツールの接触状況が十分でないことが確認できる。

表1 検証試験条件（荷重制御方式のFSW装置を使用）

	接合条件		
	接合速度	回転速度	接合荷重
A(正常)	1.0m/min	900rpm	1.0MPa
B(異常1)	<u>1.8m/min</u>	900rpm	1.0MPa
C(異常2)	1.0m/min	900rpm	<u>0.5MPa</u>

表2 振動加速度測定条件

加速度センサ検出範囲	$\pm 700\text{m/s}^2$
加速度センサ応答周波数範囲	3Hz～8kHz
加速度センサ出力（電圧）	$\pm 5\text{V}$
加速度センサ軸数	1軸（上下方向）
データサンプリング周波数	10kHz

表3 6N01のFSW外観

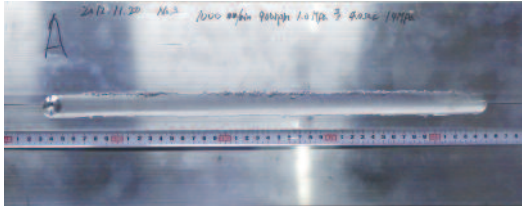
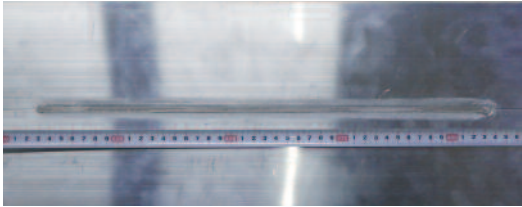
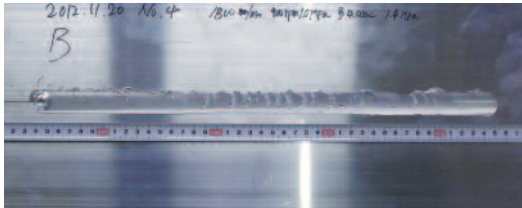
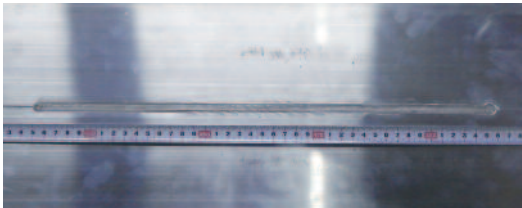
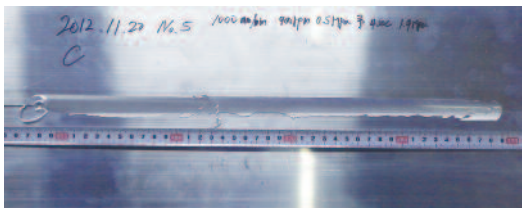
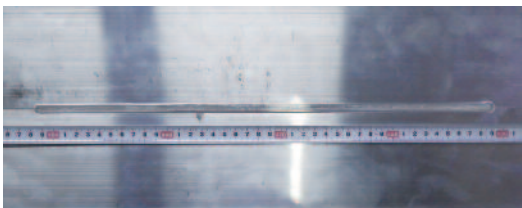
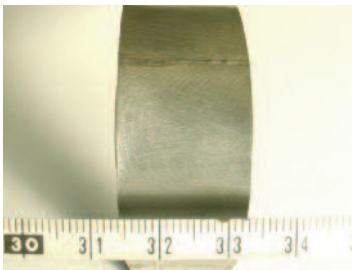
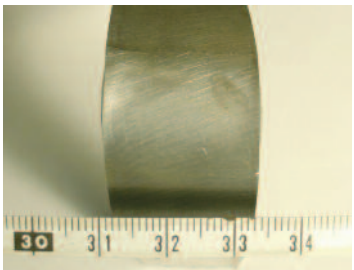
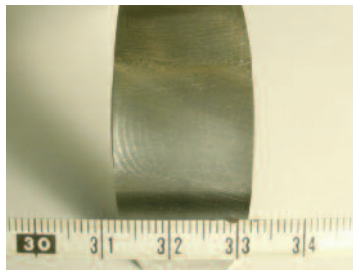
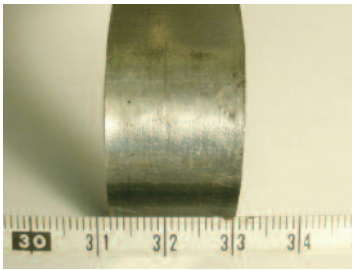
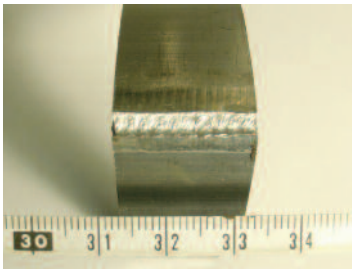
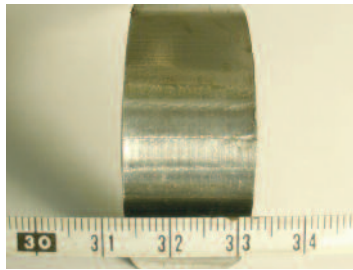
接 合 条 件	接合部外観（おもて面）	接合部外観（うら面）
A（正常）		
B（接合速度異常）		
C（接合荷重異常）		

表4 破壊試験結果（曲げ・断面観察・引張試験）

接 合 条 件	A（正常）	B（接合速度異常）	C（接合荷重異常）
曲げ試験 （おもて曲げ）			
曲げ試験 （うら曲げ）			
断面観察			
引張試験結果	214.70N/mm ²	48.56N/mm ²	79.45N/mm ²

次に、それぞれの接合条件によって作製されたFSW継手の評価として破壊試験を行なった。結果を表4に示す。

正常な接合条件としたAの継手は曲げ試験、断面観察、静的強度試験（以下、引張試験）とも、接合欠陥またはそれに起因した強度低下は認められず、結果は良好であった。接合速度異常で接合したBの試験片は、うら曲げ試験の結果で大きな亀裂が生じており、断面観察でも接合部の下部に欠陥が生じている。この結果が、引張強度の著しい低下につながっている。接合荷重異常で接合したCの試験片も、Bと同様、うら曲げ、断面観察、引張試験とも接合不良であることを示す結果が得られている。

これら3条件の接合中に得られた振動加速度データを解析し、状態監視手法の妥当性確認を行なう。

4. 1 周波数解析とMT法の組み合わせによる状態監視

まず、時刻歴の振動加速度波形での比較を実施した。図3が接合条件A～Cの時刻歴波形を重ねて表示した結果である。サンプリングが10kHzであるため、目視では差異を確認しにくい。図4は図3を35sから36sの表示に拡大した結果である（図3を10倍に拡大している）。この結果からも、差異を確認することは困難である。これは、振動波形に機械振動、電気振動、各種ノイズなど様々な成分を含んでいるためで、状態監視に不要な情報である。

このため、有効な成分を抽出するフィルタを導入する必要がある。

そこで、取得した接合中の時刻歴の振動波形を、FFTによって周波数に対する分布として捉えて、各接合条件における分布の変化を確認した。正常および異常1、異常2の3パターンの振動加速度を測定し、時間領域の周波数解析を行なった。

結果を図5に示す。この結果からA（正常）およびB（異常1）は100Hz、C（異常2）は150Hz付近にピークを確認できるため、A～Cの振動加速度データにそれぞれ70Hz～200Hzのバンドパスフィルタ処理を行ない、MT法によって、Aに対するBまたはCの変化を、マハラノビスの距離（以下、MD）として算出した。

その結果を図6、7、8に示す。横軸は時間、縦軸はMT法によって算出されたMDである。図6が正常状態のMDであるから、図7、8は図6との差異があれば速度異常や荷重異常を検出できることになる。

しかしながら、図6、7、8に大きな差異が認められず、この手法では、十分に異常を検知できていないことがわかる。

このことは、図5に示されているFFTの結果のうち、特にAとBの間に差異がなく、またCもピーク周波数に差があるとはいえ、全体的に似た傾向であることが原因である。

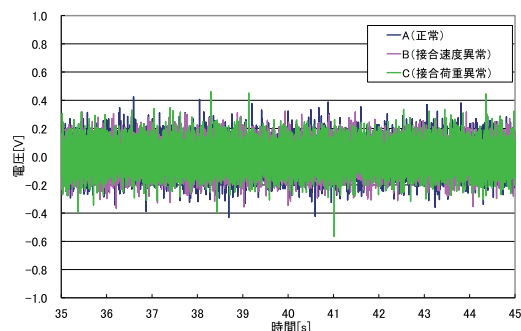


図3 振動加速度データによる比較

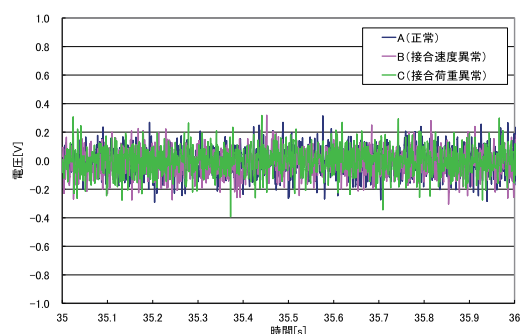


図4 振動加速度データによる比較（時間軸を拡大）

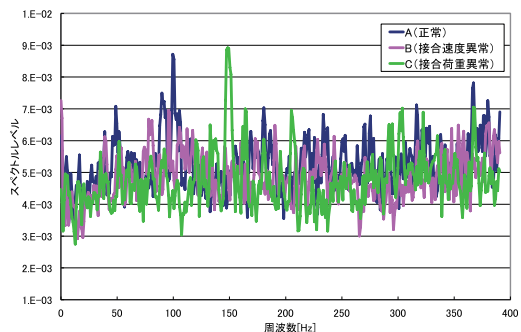


図5 6N01のFSWにおける周波数解析結果

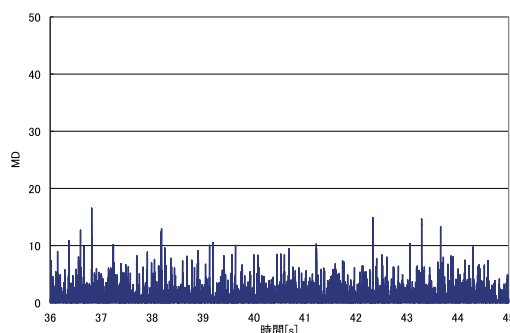


図6 A（正常）のMD

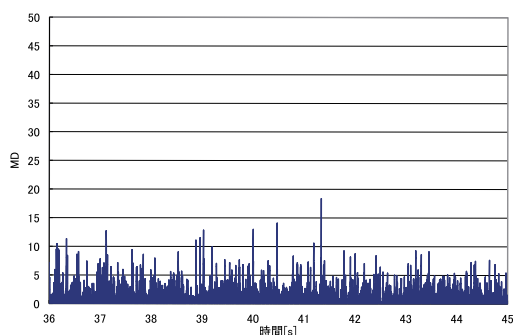


図7 B（異常1：接合速度異常）のMD

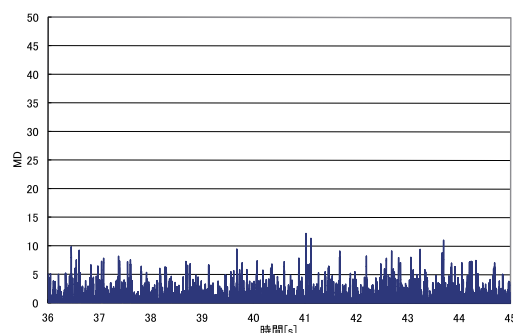


図8 C（異常2：接合荷重異常）のMD

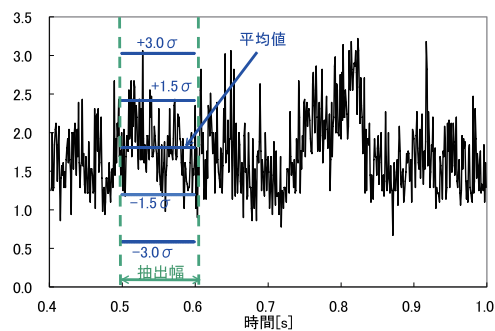


図9 標本線と波形解析概要

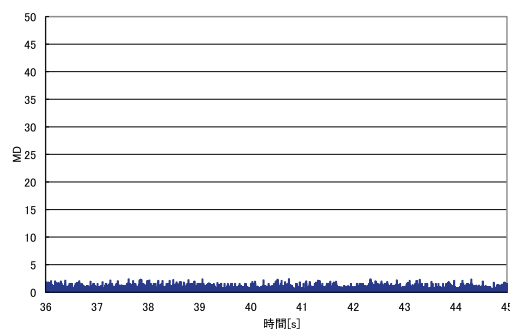


図10 A（正常）のMD

4. 2 波形解析とMT法の組み合わせによる状態監視

FFTとMT法の組み合わせでは明確な差異が捉えられなかったため、フィルタ処理を行わずに波形を形状としてパターン化する波形解析による異常検知を試みた。図9に波形解析手法の概要を示す。時刻歴波形に一定間隔（例えば1.5σ）で時間軸に平行線（標本線と定義）を引き、特徴量を算出するための時間軸上の区間（抽出幅と定義）を設定する。抽出幅の区間内で標本線と交差する回数を変化量とし、標本線よりも上に分布しているデータの合計を存在量とする。変化量と存在量の算出を波形データの全区間で実施することで、波形全体の特徴化を行なうことができる。波形解析の結果からMDをもとめた。その結果を図10, 11, 12に示す。図10と図11、図10と図12を比較することでこのアルゴリズムの検出能力を確認することができる。

まず、Aに対するBの状態変化であるが、図10と11を比較すると、全区間に渡って図11の方でMDが大きく、その変動パターンも大きく異なっている。次に図10と図12を比較すると、こちらも同様の差が検出でき、さらにMDのレベルは全区間で図10の値を大きく上回っている。また、図11と図12のMDにも差がみられる。このことは、AとB、AとCの状態変化だけでなく、BとCの状態変化も見極めることができることを示している。

つまり、正常と異常という区別だけでなく、異常の種類も見分けられる可能性があるということである。

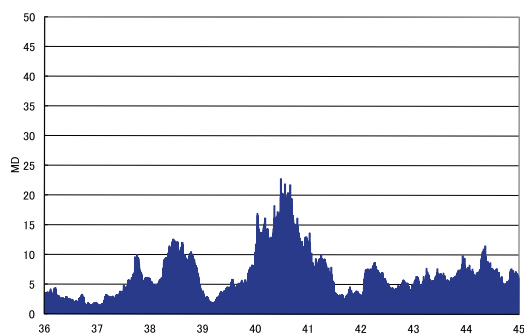


図11 B（異常1：接合速度異常）のMD

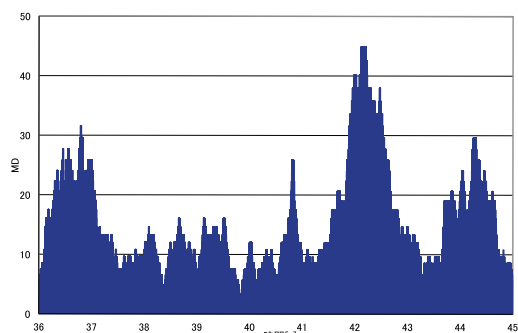


図12 C（異常2：接合荷重異常）のMD

5 まとめ

摩擦攪拌接合システムの状態監視技術の開発として、接合条件の異常を振動加速度の時刻歴波形を波形解析し、MTシステムのマハラノビスの距離にて異常検知の可能性を確認した。

しかしながら、接合条件が異常になる要因には、治具やワークの状態を監視する必要がある。

つまり、他の溶接方法と同様に、接合品質は接合中の異常発生だけでなく、接合前の被接合材料の状態（段取り）の監視、接合後の接合システムや接合物の状態の監視など、接合に関わる全プロセスの監視が重要であると考える⁽⁵⁾。

今後は接合前後のプロセスも含めた異常検知技術の開発と、接合ツールの状態監視技術の開発が課題である。

参考文献

- (1) E.Kuljanic, et al. : Development of an intelligent multi sensor chatter detection system in milling, Mechanical System and Signal Processing, Vol.23, No.5, 1704, (2009), Elsevier Ltd.
- (2) P.Sinha, et al. : Condition monitoring of first mode of metal transfer in friction stir welding by image processing techniques, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.36, 484-489, (2008), Springer London Ltd.
- (3) C.Chen,, et al. : Wavelet Transform Analysis of Acoustic Emission in Monitoring Friction Stir Welding of 6061 Aluminum, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol.43, No.13, 1383-1390, (2003), Elsevier Ltd.
- (4) 手島昌一, 他: MTシステム法を適用したリアルタイム監視・診断システムの開発, 第11回品質工学研究発表大会論文集, pp226-229, (2003), 品質工学会
- (5) 河田直樹, 他: ステンレス鋼板のレーザ溶接システムに関する異常検知技術の開発 (第7報) -溶接品質の管理に寄与する状態監視システムの構築-, 2009年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 619-620, (2009), (公社) 精密工学会

著者紹介



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



橋本健司
生産本部
技術部（接合技術センター）



吉澤正皓
生産本部
技術部（接合技術センター）



石川 武
博士（工学）
生産本部
技術部（接合技術センター） 課長



藤井英俊
博士（工学）
大阪大学
接合科学研究所 教授

鉄道車両用アルミニウム合金の異材摩擦攪拌接合

Dissimilar Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Railway Vehicle

橋本 健司 Kenji HASHIMOTO
河田 直樹 Naoki KAWADA

石川 武 Takeshi ISHIKAWA
藤井 英俊 Hidetoshi FUJII

Al合金製鉄道車両構体では主にA6N01合金とA7N01合金が用いられている。A6N01合金は、Al合金の中で中強度で、良好な押出性を有することから、屋根や側構体に様々な形状の押出形材が使用される。一方、A7N01合金はAl合金の中で高強度であり、かつ溶接部が自然時効により母材強度近くまで回復するため、信頼性が要求される台枠に中板材として使用される。本報では、側構体（A6N01合金）と台枠（A7N01合金）の構体結合におけるFSW適用を目指し、A6N01/A7N01継手の組織と機械的特性を調査した結果を報告する。

A6N01 and A7N01 aluminum alloys are often used in several railway car bodies as structural materials. A6N01 has a medium strength and good formability as an aluminum alloy, so it is applied as an extruded alloy of various shapes on the side or roof panels. On the other hand, A7N01, which is a high strength aluminum alloy, is used as the underframe that requires a high reliability. However, in the dissimilar welding between A6N01 and A7N01, the mechanical properties of the joints have not been clarified although necessary for understanding the effect of FSW on them. In this investigation, as a feasibility study, we evaluated the microstructure and mechanical properties of dissimilar A6N01/A7N01 joints.

1 緒言

摩擦攪拌接合（Friction Stir Welding : FSW）は、1991年に英国のTWI（The Welding Institute）で開発されてから、これまでに鉄道車両、航空・宇宙機器、自動車部品等の製造に適用されてきた。FSWは、摩擦熱を利用して接合する固相接合法であり、アーク溶接と比較して変形量が数分の一以下であることや、気孔、割れなどが発生しにくいなどの特徴をもつ。低コストで、かつ接合継手の信頼性が高い鉄道車両構体を製造する上で、FSWは有用な接合法であり、Al合金⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾やMg合金⁽⁵⁾などの軽量金属に関する研究例が多数報告されている。

Al合金製鉄道車両構体には、主にA6000系のA6N01合金（Al-Mg-Si）と、A7000系のA7N01合金（Al-Zn-Mg）が用いられる。A6N01合金は押出性に優れ、Al合金の中で中程度の強度を有するため、屋根・側構体に中空押出形材が適用される。一方、A7N01合金は高強度であるため、信頼性が求められる台枠に中板材が用いられている。側構体（A6N01合金）と台枠（A7N01合金）の構体結合にFSWの適用を考えた場合、A6N01/A7N01継手の組織と機械的特性を把握しておく必要がある。本報では、それらを調査した結果を報告する。

2 実験方法

図1に接合方法の模式図を示す。FSWは、プローブと呼ばれる先端に突起のある円柱状のツールを回転させながら、被接合材と接触させ、材料との摩擦熱を利用して接合する固相接合法である。ツールは、径の大きいショルダ部とその先端にあるプローブ部から構成される。接合中はプローブのみが材料に押し入れられ、接合すべき突合せ面に沿って移動する。このとき、被接合材は裏当て板に拘束され、固体の状態を維持しながら、ツールによる塑性流動によって接合はおこなわれる。

供試材は、板厚3mmのA6N01-T5およびA7N01-T5合金押出形材を用いた。供試材の化学成分を表1に示す。接

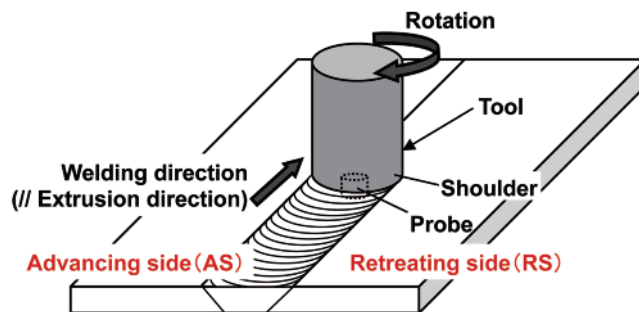


図1 FSWの模式図

表1 供試材の化学成分

Type	Chemical composition in mass %									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Al
A6N01	0.53	0.07	0.10	0.07	0.68	0.06	0.01	0.01	-	Bal.
A7N01	0.08	0.20	0.16	0.36	1.3	0.09	4.4	0.02	0.20	Bal.

表2 接合条件

Tool tilt (°)	Rotation speed (rpm)	Welding speed (mm/min.)	Welding length (mm)
3	1500	600	400

合ツールは、SKD工具鋼製のショルダ径20mm、プローブ径M6とし、位置制御方式で接合をおこなった。接合条件は表2のとおりで、接合方向は供試材の押出方向と平行方向とした。図1に示したように、接合ツールの回転方向と接合方向が一致する側を前進側（Advancing Side, AS）、反対を向いている側を後進側（Retreating Side, RS）と呼ぶ。FSWは、ASとRSで左右非対称の塑性流動現象が生じ、また接合中の最高到達温度が変化することが知られている。したがって、本実験ではASとRSにA6N01合金とA7N01合金をそれぞれ配置した場合について検討をおこなった。ASにA6N01合金を配置した継手をA6N01/A7N01（AS/RS）、ASにA7N01合金を配置した場合をA7N01/A6N01（AS/RS）と記載する。また、比較のために同種合金継手も作製した。

接合部の組織は、接合方向と垂直な面を観察面として、光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡を用いて評価した。腐食液には、ケラー氏液（塩酸20ml＋硝酸20ml＋弗酸5ml＋蒸留水20ml）を用いた。母材および継手攪拌部の集合組織は、押出方向または接合方向と垂直な面を観察面として、EBSD（electron back-scatter diffraction pattern analysis）を用いて評価した。また、機械的特性は接合後、室温・大気中で1ヶ月の自然時効を施した継手のビッカース硬さ試験および引張試験により評価した。硬さ試験は、接合方向と垂直な面を測定面として、測定

荷重1.96N、荷重保持時間10sの条件で測定した。測定位置は板厚中心部（centerと記載する）と板上下面から0.2mmの位置（それぞれtop, bottomと記載する）とした。引張試験片形状は、接合方向と垂直方向に切り出したJIS Z 3121 1A号試験片とした。

3 実験結果および考察

3. 1 断面組織

図2に同種合金継手と異種合金継手の断面マクロ組織を示す。各継手の接合部において、内部欠陥等は観察されなかった。攪拌部にはFSW特有の組織であるオニオンリング（同心円状の模様のこと、玉葱の断面に似ていることからそう呼ばれる）が観察され、各継手でその形状は酷似していた。これは、ツールが一回転する間に進む距離、つまり回転ピッチ（接合速度/ツール回転数）が同一であるからである。また、図2（c）（d）に示すように、異種合金継手の攪拌部はA6N01合金とA7N01合金が完全に混ざり合っておらず、不均一な組織を呈していた。これは、FSWはアーク溶接のように材料の溶融を伴わず、固相状態で接合が達成されるからである。

図3に母材および同種合金継手攪拌部のEBSDマップを示す。このマップは、電子線を照射している点の回折パターン（菊池線と呼ばれる）に合致する結晶方位を割り出したものであり、方位が同じ結晶は同じ色で描画さ

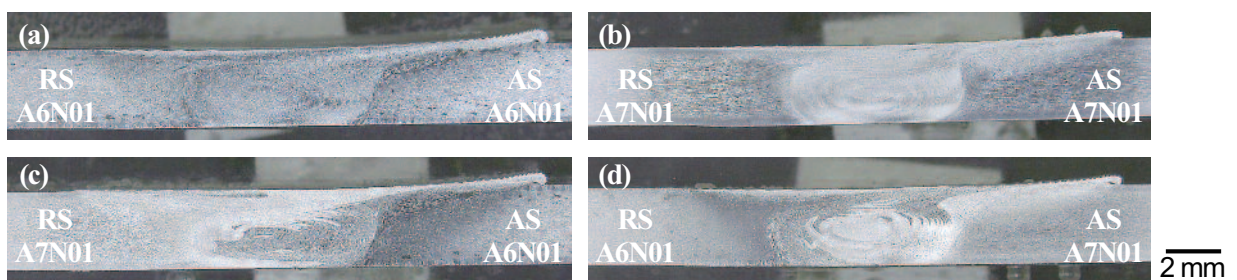


図2 継手の断面マクロ組織：（a）A6N01/A6N01，（b）A7N01/A7N01，（c）A6N01/A7N01（AS/RS），（d）A7N01/A6N01（AS/RS）。

れる。得られた結晶方位データから、相の同定や粒径評価など、多様な組織評価に展開でき、更には継手の高機能化のための組織制御指針を得ることができる。図3 (a) に示すA6N01合金母材は、平均結晶粒径が約 $50\mu\text{m}$ であり、結晶方位は $\{001\}$ (赤色) を優先方位とする集合組織が形成されていることがわかる。これにFSWを施すと [図3 (c)], FSW中に動的再結晶が生じ、結晶粒が約 $18\mu\text{m}$ まで微細化された。結晶方位は、圧縮変形の際の最終安定方位である $\{011\}$ (緑色) と、せん断変形特有の $\{111\}$ (青色) 方位領域が存在しており、FSW中に複雑な応力場が生じていることが示唆される。また、図3 (b)

に示すように、A7N01合金母材は数 μm 程度の伸長した繊維組織であり、 $\{001\}$ と $\{112\}$ (紫色) を優先方位とする集合組織が形成されている様子がわかる。これにFSWを施すと [図3 (d)], 組織は約 $5\mu\text{m}$ の等軸粒となり、また層状に周期的な方位変動が確認される。この周期変動は $\{111\}$ と $\{001\}$ の2種類の主方位が交互に現れるものであり、これは強いせん断変形や塑性流動の影響で生じたと考えられるが、詳細は不明である。これらの結果が示すのは、A6N01合金およびA7N01合金は固溶・析出形態が様々であるので、FSW中における結晶粒の変形や回転挙動に違いが生じ、結果的に合金系により動的再結晶

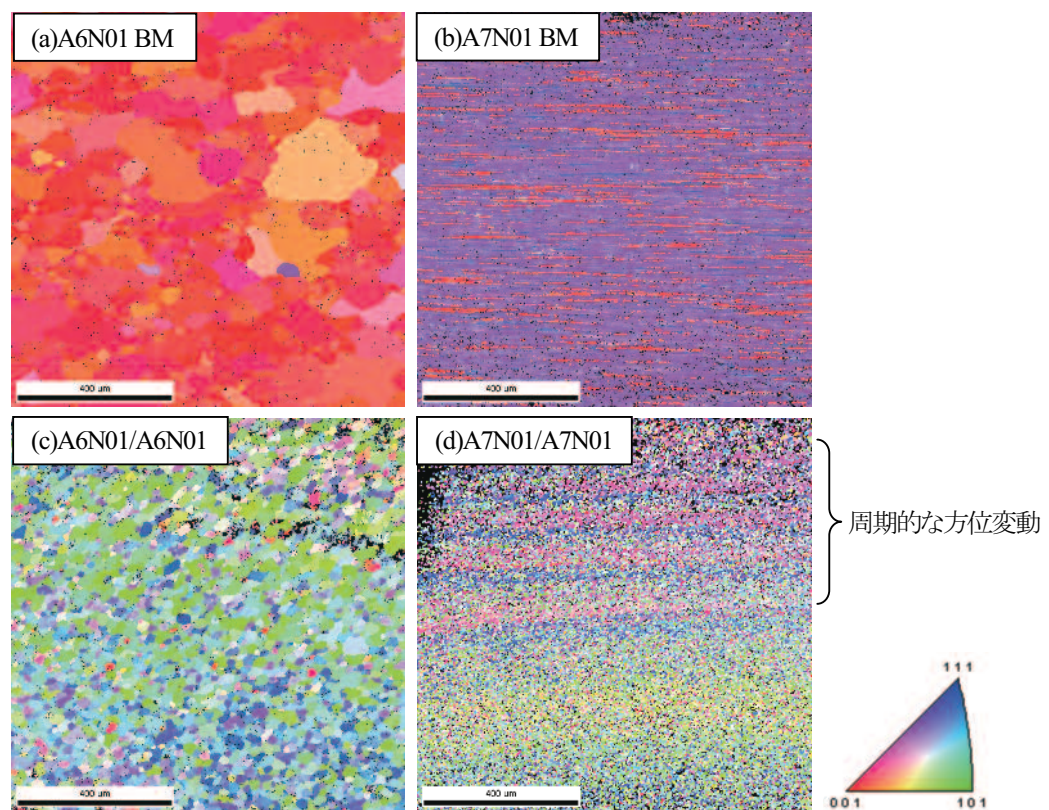


図3 母材および同種合金継手攪拌部のEBSDマップ： (a) A6N01合金、(b) A7N01合金、(c) A6N01/A6N01、(d) A7N01/A7N01。

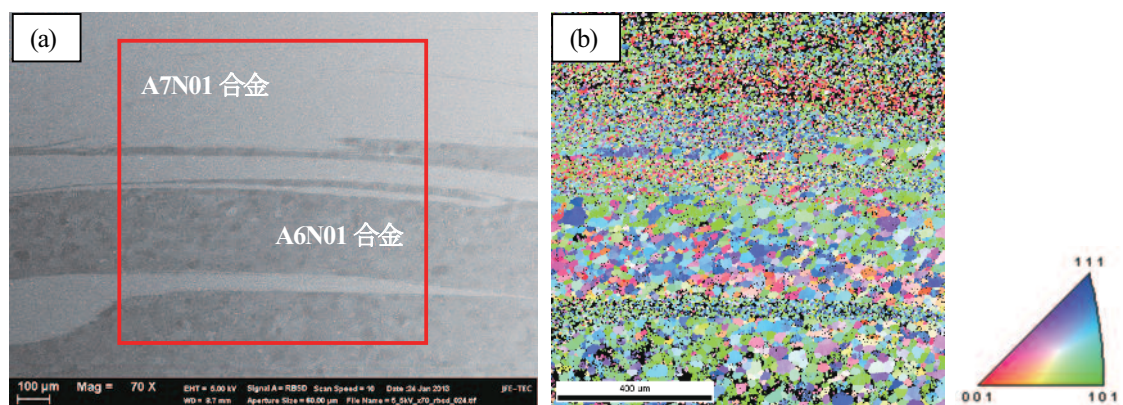


図4 A6N01/A7N01 (AS/RS) 異種合金継手攪拌部の組織： (a) SEM像、(b) EBSDマップ。

や集合組織形成過程が異なるということである。

図4 (a) にA6N01/A7N01 (AS/RS) 異種合金継手攪拌部のSEM像を示す。明るいコントラストで示されるのがA7N01合金、暗いコントラストがA6N01合金に対応する。この結果からも、異種合金継手の攪拌部は、ASとRSに配置した材料が互いに混ざり合わず、不均一な組織であることが確認できた。SEM像の赤枠領域のEBSDマップを図4 (b) に示す。A6N01合金およびA7N01合金に対応する領域の結晶粒径はそれぞれ同種合金継手攪拌部のものと同等であった。すなわち、異種合金継手の攪拌部組織は、同種合金継手の攪拌部組織で構成されていると言える。

3. 2 継手の機械的特性

図5 (a) (b) にA6N01/A6N01, A7N01/A7N01のビッカース硬さ分布を示す。A6N01合金とA7N01合金の母材硬さはそれぞれ103Hv, 126Hvであった。A6N01/A6N01およびA7N01/A7N01の接合部は母材硬さから軟化しており、軟化域の硬さはそれぞれ69 Hv, 108 Hvを示した。

ここで、A6N01合金およびA7N01合金は時効硬化により強度を発現する熱処理型合金であり、下記のように複雑な時効析出挙動を示す。

A6N01合金：

SSS→GPゾーン→ β'' 相→ β' 相→ β (Mg_2Si) 相

A7N01合金：

SSS→GP (I) ゾーン→GP (II) ゾーン→準安定相 η' →安定相 η ($MgZn_2$)、または、T'相→T' $\{Mg_{32}(Al,Zn)_{49}\}$ 相

図3で示したように、継手攪拌部の結晶粒は動的再結晶により母材と比較して微細になっていた。一般に、結晶粒径と強度（硬さ）に関してはHall-Petch則が成り立ち、結晶粒径が小さくなるほど強度は上がることがよく知られているが、本結果では逆の現象が起きている。この軟化は、A6N01合金とA7N01合金の強度を支配する上記の微細析出物が、FSW中の入熱によって母相中に再固溶するために生じるものである。また、図5 (c) (d) に示すように、異種合金継手の硬さ分布は、同種合金継手の

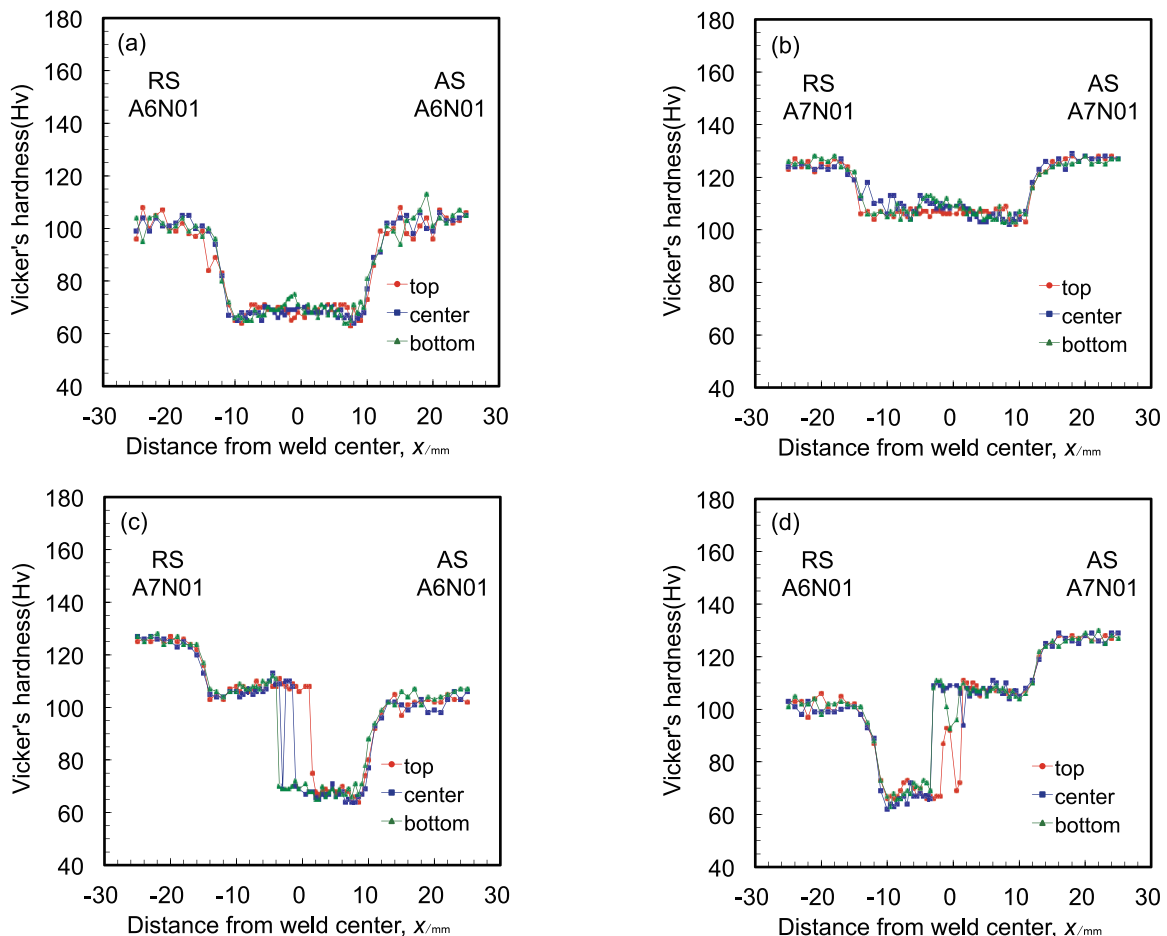


図5 ビッカース硬さ分布：(a) A6N01/A6N01, (b) A7N01/A7N01, (c) A6N01/A7N01 (AS/RS), (d) A7N01/A6N01 (AS/RS)。

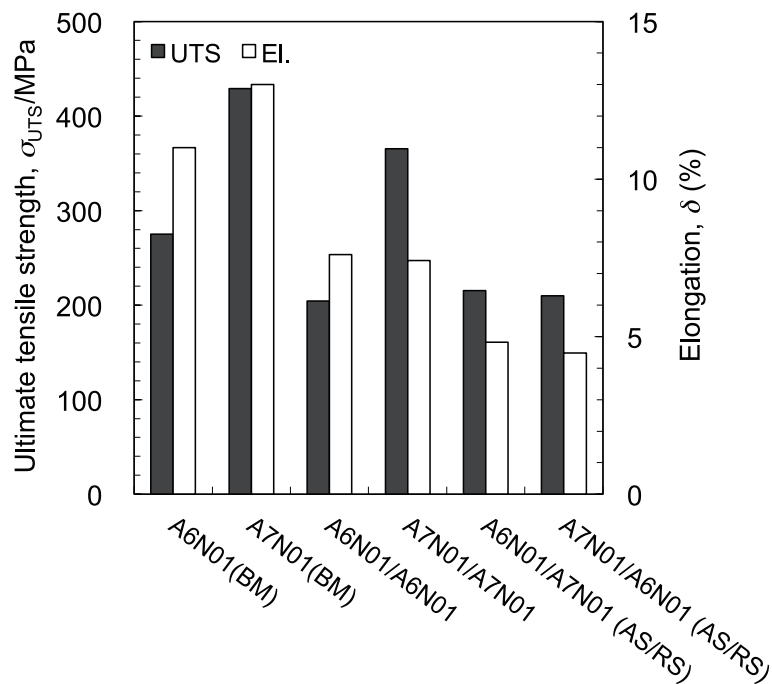


図6 母材およびFSW継手の引張特性

硬さ分布で構成されており、最軟化域の硬さはA6N01合金における軟化域の硬さに対応する。また、接合線中心 ($x=0\text{mm}$) 付近では、板上部 (top) から下部 (bottom) にかけて、不均一な硬さ分布を示しているが、これは板厚方向で塑性流動現象が異なることに起因している。

図6に母材およびFSW継手の引張試験結果を示す。A6N01/A6N01の引張強度は204MPaであり、継手効率 (母材強度に対する継手強度の割合) は74%であった。一方、A7N01/A7N01の引張強度は365MPa、継手効率は85%であった。A6N01/A7N01 (AS/RS) とA7N01/A6N01 (AS/RS) の引張強度はそれぞれ215MPa、210MPaであり、A6N01/A6N01の引張強度とほぼ同等の値であった。異種合金継手の引張試験片の破断位置は、図5 (c) (d) に示したA6N01合金の軟化域に対応する最軟化域であることから、異種合金継手の引張強度は最軟化域の硬さに支配される^(6,7)とすることができる。ここで、FSW時の材料の温度履歴を模式的に表したものを図7に示す。最高到達温度 (T_{max}) が固溶温度 (Solid solution temp.) まで上昇する [図7 (a)] ことで、微細析出物が母相中に再固溶し、継手強度は低下する。したがって、継手強度の向上を図るには、図7 (b) に示すように T_{max} を固溶温度以下に抑えることが重要である。Frigaardらによると、FSW時に材料に投入される熱量 Q (W) は次式で表すことができる。

$$Q = \frac{4}{3} \pi^2 \mu P N R^3 \quad (1)$$

ここで、 μ : 摩擦係数、 P : 攪拌部の圧力 (N/m^2)、 N : ツール回転数 (s^{-1})、 R : ショルダ径 (m) である。(1) 式から、 T_{max} を固溶温度以下にするには、圧力 P とツール回転数 N 、ショルダ径 R を小さくし、低入熱条件で接合をおこなうことが有効である。また上式は、接合ツ

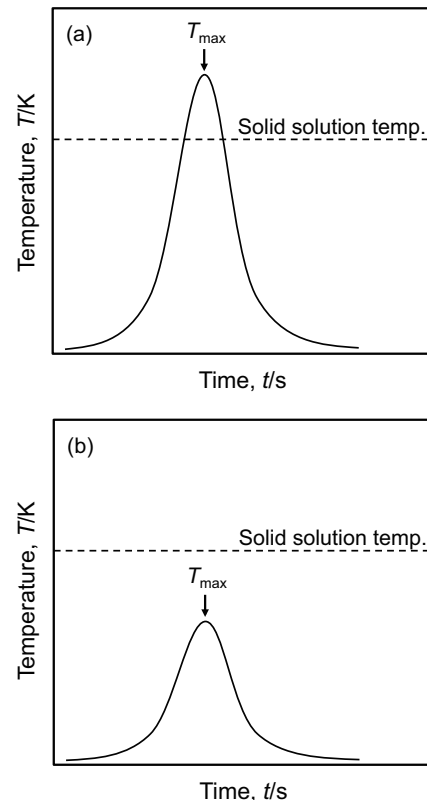


図7 FSW時の温度履歴

ルを移動させない場合のモデルであるので接合速度 V の概念がないが、 V を大きくすることでも低入熱での接合が可能となる。

4 まとめ

- ・異種合金継手の攪拌部組織は同種合金継手の攪拌部組織で構成されており、不均一な組織を呈していた。
- ・A6N01, A7N01をASとRSのどちらに配置しても、異種合金継手の引張強度は、A6N01/A6N01と同等とみなすことができる。
- ・異種合金継手の引張特性は最軟化域の硬さに支配されることから、継手強度の向上のためには、低入熱条件でFSWをおこない、FSW時の最高到達温度 ($T_{\max}$) を微細析出物の固溶温度以下に制御することが重要である。

参考文献

- (1) 橋本健司, 他: 「A6N01/A7N01合金摩擦攪拌接合継手の組織と機械的特性」, 溶接学会全国大会講演概要, 92 (2013) 52-53.
- (2) 橋本健司, 他: 「A6N01/A7N01異材摩擦攪拌接合継手の機械的特性に及ぼすツール形状と狙い位置の影響」, 溶接学会全国大会講演概要, 93 (2013) 96-97.
- (3) 橋本健司, 他: 「鉄道車両製造における摩擦攪拌接合の利用拡大」, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, 19 (2012) 611-612.
- (4) 橋本健司, 他: 「窒化ケイ素製ツールを用いた鉄道車両用A7N01合金の摩擦攪拌接合」, 総合車両製作所技報, 1 (2013) 10-14.
- (5) Juan Chen, Hidetoshi Fujii, Yufeng Sun, Yoshiaki Morisada, Katsuyoshi Kondoh, Kenji Hashimoto, “Effect of Grain Size on the Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Non-combustive Magnesium Alloys”, Mater. Sci. Eng. A, 549 (2012) 176-184.
- (6) H. J. Liu, H. Fujii, M. Maeda and K. Nogi, “Tensile Properties and Fracture Locations of Friction Stir Welded Joints of 2017-T351 Aluminum Alloy”, J. Mater. Proc. Tech., 142 (2003) 692-696.
- (7) H. Liu, M. Maeda, H. Fujii and K. Nogi, “Tensile Properties and Fracture Locations of Friction-stir Welded Joints of 1050-H24 Aluminum Alloy”, J. Mater. Sci. Lett., 22 (2003) 41-43.

著者紹介



橋本健司
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



石川 武
博士 (工学)
生産本部
技術部 (接合技術センター) 課長



藤井英俊
博士 (工学)
大阪大学
接合科学研究所 教授

板厚の異なるステンレス鋼板の レーザ突合せ溶接の異常検知手法

Defect Detection Technology of Different Thickness Stainless Steel Sheets Laser Butt Welding

吉澤 正 皓 Masaaki YOSHIZAWA
河 田 直 樹 Naoki KAWADA
石 川 武 Takeshi ISHIKAWA

板厚の異なるステンレス鋼板のレーザ突合せ溶接において、溶接時の狙い位置によりアンダーフィルや融合不良などの欠陥が発生することが分かっている。しかし、リアルタイムでレーザ光の位置を修正するには複雑なシステムが必要となる。開発した異常検知技術は溶接後にレーザ光の狙い位置のずれから溶接継手の異常を判断する。狙い位置のずれを判定する為に、レーザ溶接時に発生する光の挙動を溶接線の左右に配置した2台のフォトダイオードにより数値化した。この異常検知手法について報告する。

In different thickness stainless steel sheets laser butt welding, laser beam position causes the welding defect such as underfill and incomplete fusion. However, a complicated system is necessary to revise the position of the laser beam position during welding. Developed defect detection technology judged defect of weld joint from laser beam position after welding. In order to detect laser beam position, this technology quantify behavior of light induced by laser with arranged two photo diodes on both side of weld line. This paper reports defect detection technology of different thickness stainless steel sheets laser butt welding.

1 はじめに

レーザ溶接は、レンズによって微小サイズに集光されたレーザ光が熱源となる。集光されたレーザ光のサイズは様々であるが、およそ直径0.5mm程度である。

1両の全長が約20mあるステンレス鋼製の鉄道車両では、構成する部材も大きく、連続でレーザ溶接を行う長さがメートル単位におよぶ。しかし、大きな部材と溶接線の長さに対してレーザ光の集光される範囲は非常に小さい為、高精度な位置決め技術が必要となる。

レーザ溶接は高速でありリアルタイムでレーザ光の狙い位置を修正することは困難である。実現するには機械的または光学的な装置が必要となる⁽¹⁾⁽²⁾。そこでレーザ光の狙い位置をリアルタイムで修正するのではなく、結果として正常な溶接であったかを検知する手法を検討した。

本紙では2012年度報で報告した板厚の異なるステンレス鋼板の突合せ溶接について検討を行った。板厚の異なるステンレス鋼板の突合せ溶接ではレーザ光の狙い位置がずれることにより、溶接部の肉厚が減少するアンダーフィルや、開先面が溶融せずに残る融合不良が発生することが分かっている⁽³⁾。

今回検討した検知手法では既存のレーザ溶接装置に設置できるフォトダイオードを用いたシステムを構築した。

これらの結果について報告する。

2 実験装置および材料

図1に実験装置の概略を示す。使用するレーザ装置は波長940nmのダイレクトダイオードレーザ（以下、DDL）である。焦点位置でのスポットサイズは0.5mm×3.5mm（半値全幅）の矩形である。ビームの長手方向は溶接線方向と同一とした。

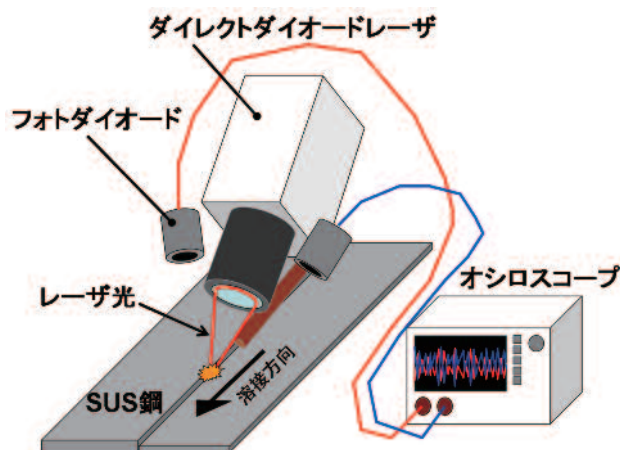


図1 実験装置の概略

DDLの左右にはフォトダイオードが取り付けられており、溶接時には一体で移動する。2台のフォトダイオードはオシロスコープに接続しており、溶接時に発生する光を電圧波形として記録する。サンプリングレートは1kHzとした。

図2にレーザ装置、フォトダイオード、被接合材料の位置関係を示す。使用する材料はSUS304で厚さは3.0mmと4.5mmである。板の配置は常に溶接方向に対向した時に左が厚さ4.5mm、右が厚さ3.0mmとなるように配置した。フォトダイオードの受光部はレーザ光の焦点位置に向いている。

フォトダイオードは波長約400nmから1000nmの可視光から近赤外までの感度帯を持っており、DDLの940nmの反射光と溶接時に発生するレーザプルームの可視光域の光を合算した信号として電圧に変換している。フォトダイオードの受光部前方には受光可能な波長の光を全体的に減衰させるアッテネータを装着しているが、特定の波長をカットするようなフィルタ類は一切使用していない。

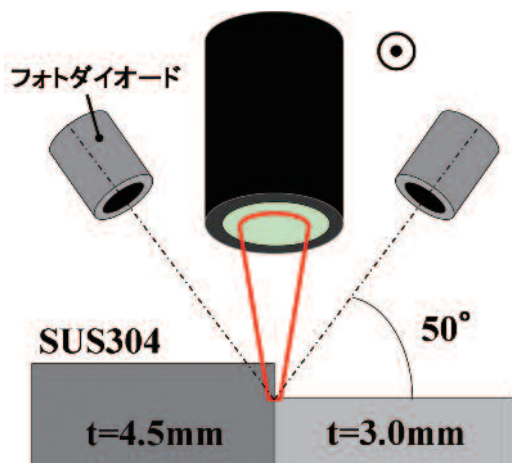


図2 装置の位置関係

溶接部の始末端にSUS304、厚さ3.0mmのエンドタブを設置した。溶接の始末端部は被接合材の板端から20mm程度の距離をエンドタブで除外した。各狙い位置で得られた電圧波形を比較し、それぞれを区別する為の解析を行った。

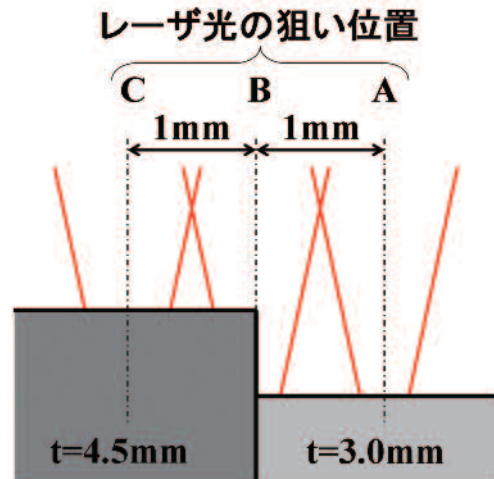


図3 レーザ光の狙い位置

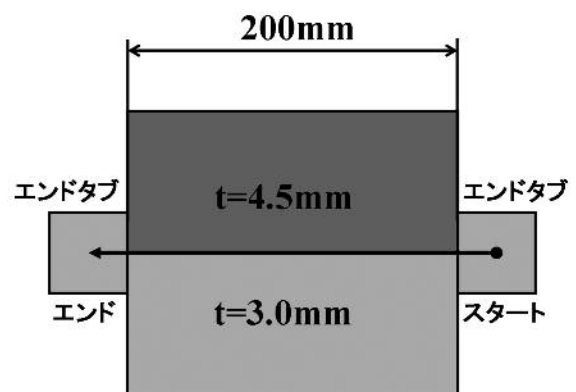


図4 継手の俯瞰図

3 実験方法

実験ではまず初めに同板厚での突合せ溶接実験を行い、フォトダイオードの特性確認を行った。次いで異板厚による実験を行いフォトダイオードによる狙い位置ずれの判別を行った。

同板厚の突合せ溶接では、レーザ光の焦点は板表面とした。また、レーザ光の狙い位置は突合せの中心とした。板厚が異なる突合せ継手の場合、レーザ光の焦点は3.0mm板表面の高さに合わせた。また、レーザ光の狙い位置は図3に示すA、B、Cの3パターンとした。

溶接条件はレーザ出力5kW、溶接速度1.2m/min、加工ガスは純Arを用いた。溶接の際には図4に示すように、

4 結果および考察

4. 1 同板厚による実験結果と考察

4. 1. 1 断面マクロ観察

図5に板厚3.0mmの突合せ溶接継手の断面マクロ写真を示す。裏面には裏波ビードが発生し、溶接ビードは大きく凹んでいる。また、表裏面にスパッタが付着しており、入熱が過剰であると考えられる。

図6に板厚4.5mmの突合せ溶接継手の断面マクロ写真を示す。図5と異なり、貫通溶接されずに突合せ面が溶け残っている。今回の溶接条件では3.0mm板は貫通溶接できるが、4.5mm板を貫通溶接することはできない。

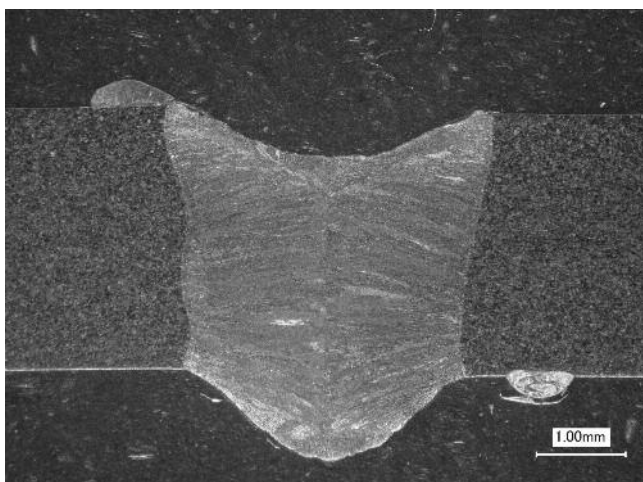


図5 板厚3.0mmの突合せ溶接継手の断面マクロ写真

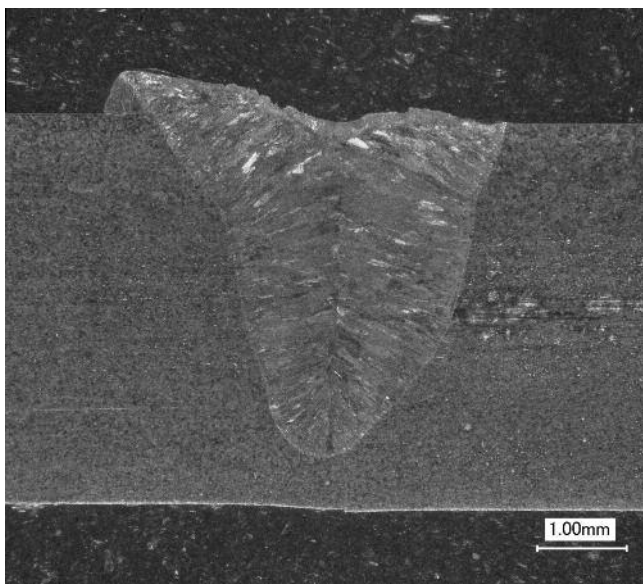


図6 板厚4.5mmの突合せ溶接継手の断面マクロ写真

4. 1. 2 フォトダイオードによる計測

図7に厚さ3.0mm板の突合せ溶接継手のフォトダイオードによる計測結果を示す。濃い線が4.5mm板側のフォトダイオード、薄い線が3.0mm板側のフォトダイオード結果である。

計測したままの波形では傾向が分かり難いため、計測結果を100点の移動平均で処理した。移動平均後の波形を図8に示す。4.5mm板側、3.0mm板側の波形を比較すると、ほぼ相似形で推移している。接合部が平面である為に、左右のフォトダイオードでほとんど同じ波形が得られたと考えられる。これ以降の波形グラフには全て同様の移動平均を適用して示す。

図8の波形を見ると1秒と11秒付近に波形の変化がある。板の端部にはエンドタブが設置してあり、エンドタブの上をレーザ光が移動する距離は20mmであるから、

溶接速度1.2m/minでは時間にして1秒である。よって、これはレーザ光がエンドタブと被接合材料の境界をまたぐ瞬間であると考えられる。

図8のグラフを数値的に表すために、エンドタブと被接合材料をまたぐ瞬間を計算から除いた2秒～10秒の区間の平均値と標準偏差を計算した。計算結果を表1に示す。

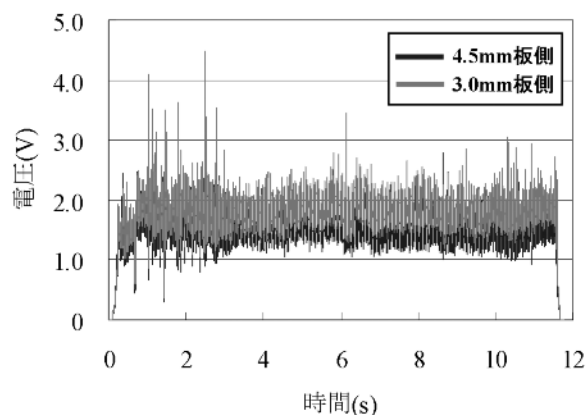


図7 厚さ3.0mm板の突合せ溶接継手の計測結果

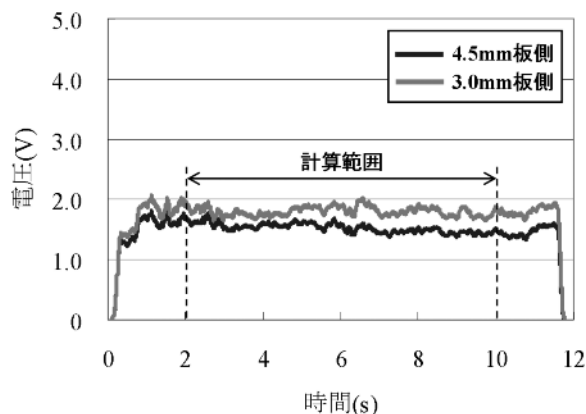


図8 移動平均処理後の厚さ3.0mm板の突合せ溶接継手の計測結果

表1 波形の数値計算結果

3.0mm 板同士 の突合せ		
フォトダイオード	4.5mm板側	3.0mm板側
平均値 (V)	1.52	1.80
標準偏差 (V)	0.22	0.23

表1によると4.5mm板側と3.0mm板側のフォトダイオードの計測結果の平均値は異なるが、標準偏差はほとんど同じである。平均値に差が生じる原因としては、フォトダイオードの個体差、取り付け位置の影響が考えられる。

4. 2 異板厚による実験結果と考察

4. 2. 1 断面マクロ観察

板厚が異なる板同士の突合せ溶接の断面マクロ写真を以下に示す。図9に狙い位置A、図10に狙い位置B、図11に狙い位置Cをそれぞれ示す。

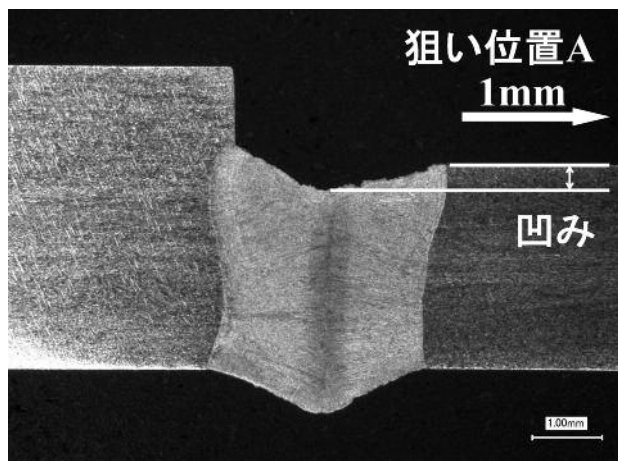


図9 異板厚の継手断面マクロ写真（狙い位置A）

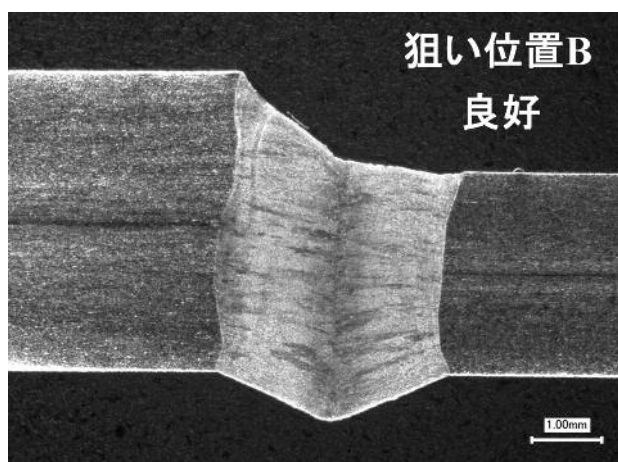


図10 異板厚の継手断面マクロ写真（狙い位置B）

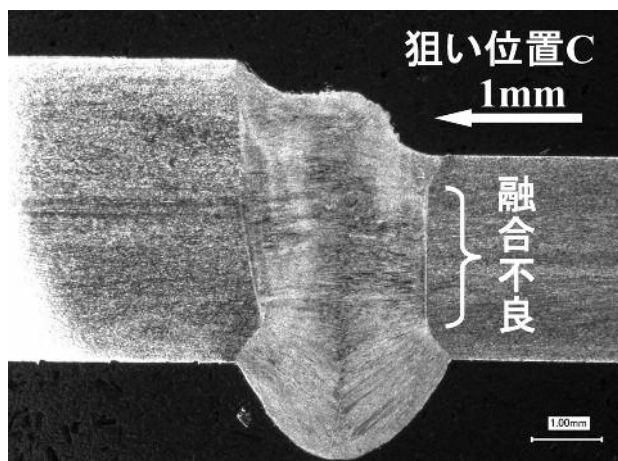


図11 異板厚の継手断面マクロ写真（狙い位置C）

図9、図10、図11で全て貫通溶接を行うことができています。図6の4.5mm板同士では貫通溶接はできないが、片側が3.0mm板になることで溶接部近傍の体積が減り、貫通溶接に必要な熱量が減少した為と考えられる。また、レーザ光の焦点位置におけるビーム幅は約0.5mmであるから、狙い位置AとCでは、レーザ光は片側の板を直接加熱できていない。しかし、断面マクロ写真では4.5mm板と3.0mm板が接合できている。今回使用した材料の端面はレーザ切断であり、突合せ面のギャップは極めて小さい。また、通常の円形ビームとは異なり溶接線方向に3.5mmの長さを持つ矩形ビームである。以上のことから、レーザ照射側の板からもう一方の板に対して熱伝導により接合が行われたと考えられる。

図9では溶接ビードの表面が大きく凹んでおり板厚が減少している。また、4.5mm板の角が溶け残っており、接合部付近の断面の変化が非常に急峻である。図10は融合不良やビード表面の凹みがなく、4.5mm板から3.0mm板にかけてなだらかに傾斜した溶接ビードとなっており、良好な接合である。図11は断面マクロ上では接合ができているが、引張試験を実施した結果、突合せ面が一部溶け残る融合不良が発生することが分かっている。

図9、図10、図11はレーザ光の焦点の状態から次の三つに分けられる。図9は3.0mm板表面に完全にジャストフォーカスであり、図5の3.0mm板の溶接に近い状態となっている。図10は突合せ面を狙っていることから、レーザ光の半分は3.0mm板表面にジャストフォーカス、残り半分が4.5mm板の内側に約1.5mmのデフォーカスとなる。図11の場合は、レーザの焦点が3.0mm板表面に合わせていることから、4.5mm板の内側に約1.5mmのデフォーカスとなる。これらのフォーカス状態の変化によって、各狙い位置では溶接部からの反射光、レーザプルームの挙動が異なると考えられる。したがって、フォトダイオードにより溶接部からの種々の光の挙動を定量化することで、狙い位置のずれに起因する溶接の異常検知を試みた。

4. 2. 2 フォトダイオードによる計測

狙い位置A、B、Cにおけるフォトダイオードによる計測結果を図12、図13、図14にそれぞれ示す。これらのグラフの2秒から10秒の区間を表1と同様に計算した。計算結果を表2に示す。

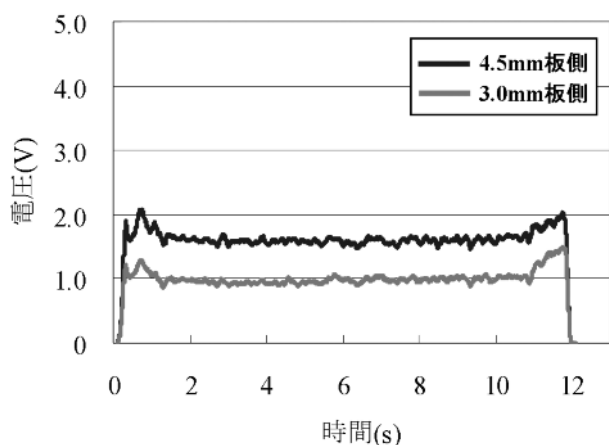


図12 狙い位置Aでの計測結果

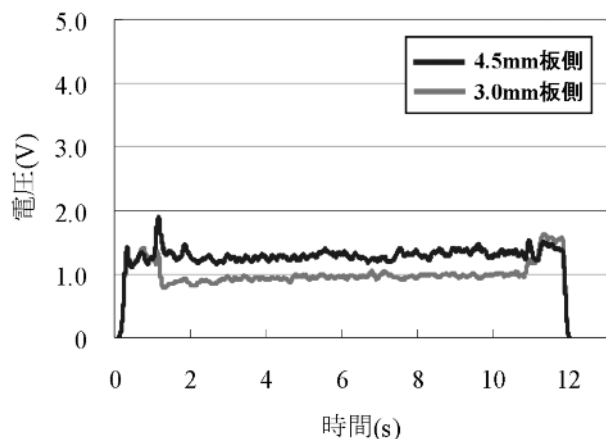


図13 狙い位置Bでの計測結果

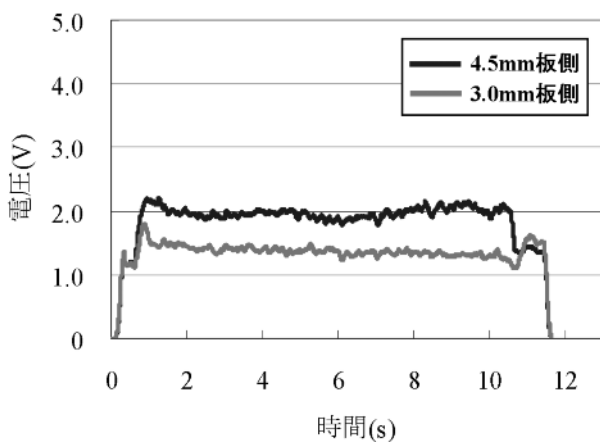


図14 狙い位置Cでの計測結果

表2 各狙い位置での計測結果

	狙い位置 A	
	4.5mm 板側	3.0mm 板側
フォトダイオード		
平均値 (V)	1.59	0.97
標準偏差 (V)	0.17	0.13
	狙い位置 B	
	4.5mm 板側	3.0mm 板側
フォトダイオード		
平均値 (V)	1.28	0.95
標準偏差 (V)	0.18	0.11
	狙い位置 C	
	4.5mm 板側	3.0mm 板側
フォトダイオード		
平均値 (V)	1.96	1.36
標準偏差 (V)	0.30	0.15

表1と表2を平均値に着目して比べると、4.5mm板側のフォトダイオードでは平均値の変動が大きい。また、3.0mm板側のフォトダイオードでは狙い位置Cの時に平均値、標準偏差の値が最も大きくなった。

平均値の増減の原因として考えられるのは各狙い位置におけるデフォーカスの差による反射光、レーザプルームの発光の増減である。この二つはデフォーカス量の増加に対して単調増加する報告がある⁽⁴⁾。しかし、前述の通りレーザの反射光とレーザプルームの光の合算値を電圧に変換している為に、これら二つの影響を分離することはできない。

良好な継手ができる狙い位置はBであるので、狙い位置A／狙い位置Bおよび狙い位置C／狙い位置Bを表2から計算した。この計算結果を表3に示す。

表3 狙い位置Bとの比較結果

	狙い位置 A／狙い位置 B	
	4.5 mm 板側	3.0 mm 板側
フォトダイオード		
平均値の比	1.2	1.0
標準偏差の比	0.9	1.2
	狙い位置 C／狙い位置 B	
	4.5 mm 板側	3.0 mm 板側
フォトダイオード		
平均値の比	1.5	1.4
標準偏差の比	1.6	1.3

表3から狙い位置A／狙い位置B、すなわち、狙い位置が突合せ面から3.0mm側に1mmずれる場合は変化が小さく、4.5mm側のフォトダイオードの平均値と3.0mm側のフォトダイオードの標準偏差が2割ほど増加する。

対して、狙い位置C／狙い位置B，すなわち狙い位置が突合せ面から4.5mm板側に1mmずれる場合は，左右のフォトダイオードの平均値，標準偏差ともに増大する。

表3の結果から狙い位置Bの測定結果に対して2割以上の増減があった場合を○，そうでない場合を×として表4に示した。

表4 狙い位置ずれの判定

	狙い位置A／狙い位置B	
フォトダイオード	4.5mm板側	3.0mm板側
平均値	○	×
標準偏差	×	○
	狙い位置C／狙い位置B	
フォトダイオード	4.5mm板側	3.0mm板側
平均値	○	○
標準偏差	○	○

表4より，狙い位置が突合せ面から4.5mm板側に1mmずれる場合は全て○，3.0mm板側に1mmずれる場合はいずれかが○となる。溶接中の種々の光の挙動を2台のフォトダイオードによって計測し，計測結果を表4の判定基準に当てはめれば，レーザ光の狙い位置が突合せ面に対して平行にずれていた場合に起こる溶接の異常を検知できると考えられる。

4. 3 狙い位置が徐々に変化する場合

次にレーザ光の狙い位置が徐々に変化する場合について実験を行った。レーザ光の軌跡の模式図を図15に示す。スタート位置を3.0mm板側に1mm，エンドでは4.5mm板側に1mmずらした。

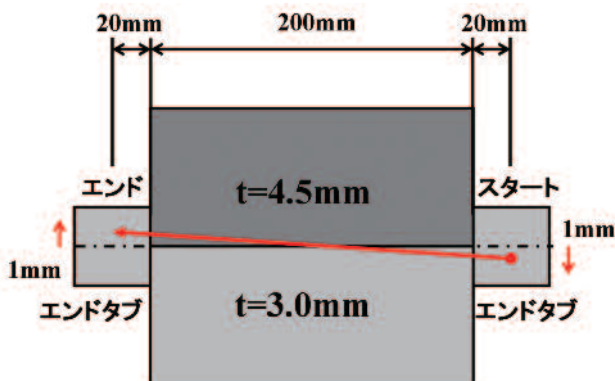


図15 レーザ光の軌跡の模式図

4. 3. 1 断面マクロ観察

図16，図17，図18にそれぞれ，レーザ光の狙い位置を

徐々に変化させた場合の断面マクロ写真を示す。図16，図18は溶接のスタート，エンドから40mmの位置とした。図17は中央の位置である。

計算上では溶接のスタートから90mmの位置で突合せ面にレーザ光が重なるが，図16では4.5mm板の角が溶けている。対して突合せ面から常に1mm離れた位置を狙った図9では4.5mm板の角が完全に溶け残っていた。レーザビームの幅が0.5mmであるから図16の断面を観察した位置では，突合せ面とレーザビームの距離は0.75mm未満となる。この距離ではレーザビームの散乱光により直接加熱されたか，またはレーザブルームからの輻射熱や，熱伝導により4.5mm板の角が溶融したことが考えられる。

図17はレーザ光がちょうど，突合せ面の真ん中に位置する。これは図10の狙い位置Bと比較しても大差ない。図18では起伏はあるが溶接ビードが3.0mm板側へ傾斜した形状となっている。また，溶接部の形状が4.5mm板側に膨らんだ形状となっている。

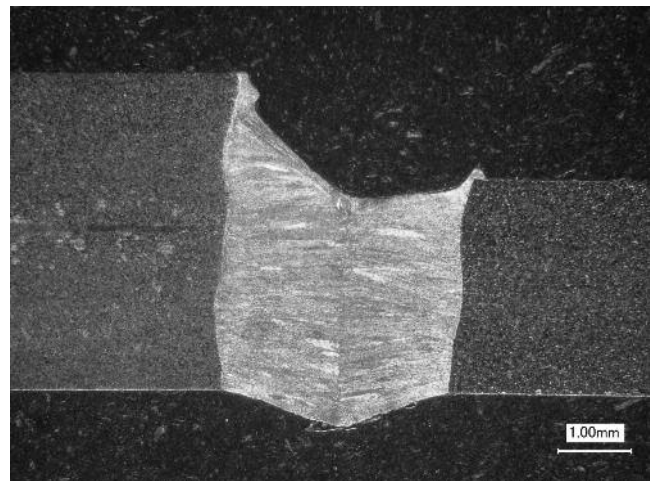


図16 スタートから40mmの位置

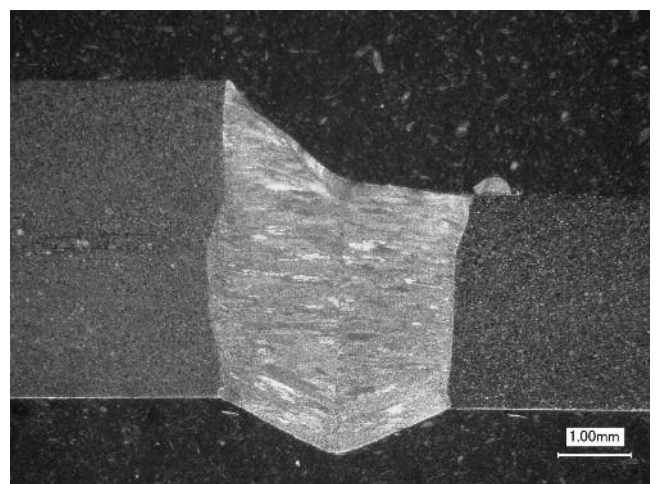


図17 溶接線の中央の位置

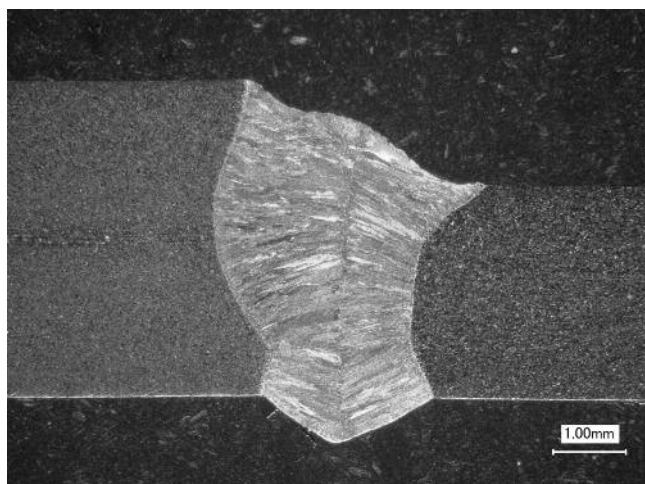


図18 エンドから40mmの位置

図18の溶接ビードの傾斜は、狙い位置が図11より突合せ面側にあることにより、4.5mm板の角が溶け流れた結果と考えられる。この溶接ビードの傾斜に平行な線Aと、線Aに直角で溶接ビードの中心を通る線Bを引いた図を図19に示す。図19によると、線Bはいびつに膨らんだ溶接部の先端と合致する。使用したレーザの焦点深度は約1.5mmである。傾斜面の落差は板厚の差に等しいので1.5mmである。よって、傾斜面には殆ど水平面と同様なエネルギー分布でレーザ光が照射され、4.5mm板側に膨らんだ溶接部が形成されたと考えられる。

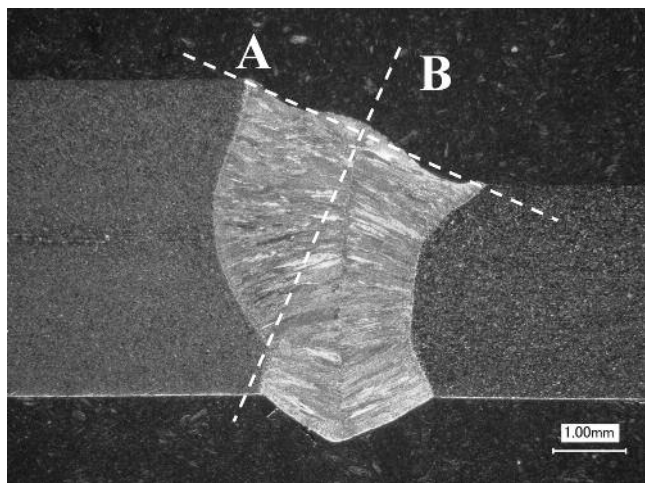


図19 溶接部の傾斜と溶込みの方向

4. 3. 2 フォトダイオードによる計測

フォトダイオードにより計測した波形を図20に示す。4.5mm板側の波形はスタートから中央にかけて減少し、中央からエンドに向かって増加している。3.0mm板側は中央付近まで徐々に減少し、エンドにかけて増加している。この増減の傾向は狙い位置を1mmずらした表2の傾向と一致している。

図20の波形の2秒から10秒の区間と2秒毎に区切った区間で平均値および標準偏差を計算した。計算結果を表5に示す。4.5mm板側のフォトダイオードでは平均値がエンドに向かって増加している。また、標準偏差に着目すると2秒から4秒区間とそれ以降で倍の差がある。図20を見ると6秒を過ぎたあたりから、波形に乱れが生じている。

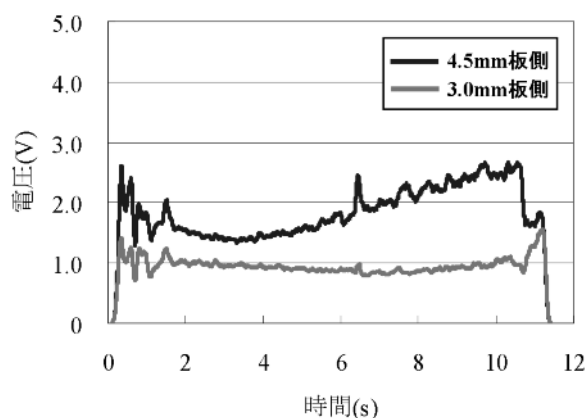


図20 レーザ光の狙い位置が徐々に変化する場合の計測結果

表5 狙い位置が徐々に変化する場合の計算結果

	2秒～10秒	
フォトダイオード	4.5mm 板側	3.0mm 板側
平均値 (V)	1.85	0.91
標準偏差 (V)	0.46	0.12
	2秒～4秒	
フォトダイオード	4.5mm 板側	3.0mm 板側
平均値 (V)	1.42	0.97
標準偏差 (V)	0.15	0.12
	4秒～6秒	
フォトダイオード	4.5mm 板側	3.0mm 板側
平均値 (V)	1.58	0.90
標準偏差 (V)	0.36	0.11
	6秒～8秒	
フォトダイオード	4.5mm 板側	3.0mm 板側
平均値 (V)	2.01	0.85
標準偏差 (V)	0.32	0.10
	8秒～10秒	
フォトダイオード	4.5mm 板側	3.0mm 板側
平均値 (V)	2.38	0.93
標準偏差 (V)	0.30	0.11

レーザビームの幅は0.5mmであり、このレーザビームの中心が突合せ面から1.0mm離れたとすると、理想的には突合せ面とビームの端の距離は0.75mmである。レーザ光の軌跡は突合せ面に対して約0.5度の角度をもっている。レーザ光が突合せ面にかかるのはスタートから約90mmの位置であり、時間にして4.5秒後となる。この時間は標準偏差の値が増加するタイミングと一致する。また、平均値の増加もグラフから約4秒の付近から始まっている。これはジャストフォーカスの状態から徐々にデフォーカス量が増加していった事が原因と考えられる。

以上のことから、4.5mm板側のフォトダイオードはレーザ光の軌跡が0.5度という微小な角度で変化しても、平均値、標準偏差の値に着目すれば、レーザ光が突合せ面を通過する変化を検知可能であると分かった。また、平均値と標準偏差の傾向は狙い位置を突合せ面と平行に1mmずらした場合の傾向と一致している。

3.0mm板側のフォトダイオードの計測結果は4.5mm板側のフォトダイオードとは異なり、変化が少ないことが表5の2秒から10秒の区間の標準偏差から分かる。また、8~10秒区間の平均値は表2の狙い位置Aの場合に比べて4割ほど小さい。

3.0mm板側のフォトダイオードは、4.5mm板側のフォトダイオードに比べて狙い位置の微小な変化に対して、感度が小さいと分かった。

以上のことから、4.5mm板側のフォトダイオードの計測結果から、狙い位置が徐々に変化していく場合を判別可能であると考えられる。スタートとエンドの位置ずれが共に突合せ面へ近づくとつれて、狙い位置Bと同様の波形が得られると予想できる。

実際のレーザ溶接はロボットによって、教示したポイントからポイントへレーザ光が移動していく。そこで、レーザ光の狙い位置が徐々にずれる場合の異常判別方法としては、例えば教示したポイント間で平均値、標準偏差の増減に閾値を設定することが考えられる。

5 まとめ

フォトダイオードを用いて、レーザ溶接中の状態を観察した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 2台のフォトダイオードにより狙い位置がずれていたことを判別する手法が得られたことにより、板厚の異なるステンレス鋼板の溶接の異常が検知可能となった。
- (2) 溶接線が突合せ面に対して平行に狙い位置がずれた場合は、左右のフォトダイオードで計測した結果の

平均値および標準偏差を比較することで溶接の異常を検知できる。

- (3) 溶接線に対して狙い位置が徐々にずれていった場合は、4.5mm板側に配置したフォトダイオードで計測した結果の平均値、標準偏差の値により溶接の異常を検知できる。

参考文献

- (1) J.P.Boilot, 他：「レーザ溶接のトラッキングと検査」, 溶接技術 Vol.52, 72-73, (2004), 産報出版 (株)
- (2) 吉川暢広, 他：「YAGレーザ溶接におけるシームトラッキング技術の研究」, 溶接学会全国大会講演概要 第70集, 88, (2002), 一般社団法人溶接学会
- (3) 吉澤正皓, 他：「半導体レーザによる異板厚突合せ溶接技術の開発」, 総合車両製作所技報 Vol.1, 18-19, (2013), (株) 総合車両製作所
- (4) 森清和, 他：「YAGレーザ溶接のインプロセスモニタリング技術の研究」, 溶接学会全国大会講演概要 第66集, 8-9, (2000), 一般社団法人溶接学会

著者紹介



吉澤正皓
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



石川 武
博士 (工学)
生産本部
技術部 (接合技術センター) 課長

国際溶接学会IIWにおけるアルミFSWのISO国際標準化 —国土交通省主催 鉄道技術標準化調査会 標準化活動貢献者表彰 受賞—

ISO Standardization on Aluminium FSW in IIW
On winning the Award for Contributors to Standardization Activities
from The Railway Technology Standardization Investigation Committee hosted by MLIT

松岡 茂樹 Shigeki MATSUOKA

著者は、MLIT（国土交通省）主催の鉄道技術標準化調査検討会から、平成24（2012）年度標準化活動貢献者表彰を受賞した。これは、アルミ（アルミニウム及びアルミニウム合金）のFSW（摩擦攪拌接合）という発明後20年に満たない最先端技術について、国際規格ISO 25239-1～-5: 2011発行と、RAND（誰にでも合理的な対価で）条件実施許諾する特許声明書（Patent Statement and Licensing Declaration）発効による汎用技術化という意義が、高く評価されたものである。本規格群は、ISOのリエゾン団体であるIIW（国際溶接学会）で作成された。本稿では、IIWにおけるアルミFSWのISO国際標準化作業の経緯と意義について、振り返る。

1 はじめに

MLIT主催の鉄道技術標準化調査検討会では、平成19（2007）年度より鉄道分野における国際標準化及び国内標準化活動に対して顕著な業績を挙げた者に対し、更なる活躍と関係者による標準化活動の重要性認識を増進することを目的として、標準化活動表彰⁽¹⁾を行っている。

2013年3月13日（水）、AP浜松町（東京都港区）にて開催された「鉄道技術標準化調査検討会 平成24年度標準化活動貢献者表彰 表彰式」において、著者は同賞を受賞⁽²⁾した（図1）。受賞の理由⁽¹⁾は、延べ10年間に渡り、摩擦攪拌接合（FSW）の国内標準化および国際標準化に携わり、アルミFSWの国際規格ISO 25239-1～-5の発行に貢献したこと、特に特許問題解決のため特許声明書に関する提案や調整を行い、アルミFSWが汎用技術として利用可能とすることに大きく貢献したことであった。



図1 国土交通省主催 鉄道技術標準化調査検討会
平成24年度標準化活動貢献者表彰

表1 略称一覧表

略称	名称
AWS	(US) The American Welding Society
CEN	European Committee for Standardization
CD	Committee Draft
C-III	(IIW) Commision III
CS	(ISO) Central Secretariat
DIS	Draft International Standard
FDIS	Final Draft International Standard
FSW	Friction Stir Welding
IEC	International Electrotechnical Commission
IIW	International Institute of Welding
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
JISC	日本工業標準調査会
JIW	日本溶接会議
JLWA	軽金属溶接協会
J-TAG	JLWA FSW・ISO化委員会(WG-B1日本委員会)
JWES	日本溶接協会
JWS	溶接学会
METI	経済産業省
MLIT	国土交通省
NWIP	(ISO) New Work Item Proposal
RAND	Reasonable and Non Discriminatory
TBT	(WTO) Technical Barriers to Trade
TC	(ISO) Technical Committee
TWI	(UK) The Welding Institute
WD	Working Draft
WG-B1	(C-III) Working Group for Standardization of FSW
WG-S	(C-III) Working Group for Standardization
WPS	Welding Procedure Specification
WTO	World Trade Organization
アルミ	アルミニウムおよびアルミニウム合金
年次大会	(IIW) Annual Assembly
中間会議	(C-III) Intermediate Meeting
応用特許	FSWの周辺技術や製品応用に関する特許（過半が日本）
基本特許	FSWの基本原理に関する特許（発明者TWIが保有）
独占技術	特許権者により実施が独占されている技術
汎用技術	誰でも合理的な対価（RAND）で実施できる技術
特許声明書	Patent Statement and Licensing Declaration
限定声明	個別特許を限定したRAND条件許諾声明
包括声明	個別特許を限定しない包括的なRAND条件許諾声明

FSWは発明者であるTWI (The Welding Institute, UK) が、基本特許（原理に関する特許）を保有し、また実用化に必要な応用特許（周辺技術や製品応用に関する特許）の過半を日本企業が保有していた。ISO国際標準化活動を通じ、多くの特許権者からISOパテントポリシーに基づきRAND条件により実施許諾するという趣旨の特許声明書が提出された。特許声明書がISOに受理され発効したことにより、アルミFSWが汎用技術として利用可能⁽³⁾となった。

これは、アルミFSWのISO化の意義が高く評価されたものと理解されている。

本稿では、ISOのリエゾン団体であるIIWにおける、アルミFSWのISO 25239-1～-5発行の経緯と意義⁽⁴⁾について、振り返る。本稿に用いる略称を、表1に示す。

2 ISOリエゾン団体IIWにおけるISO国際標準化

2.1 国際溶接学会IIWおよび主要関係組織

図2に、アルミFSWの国際標準化に関する主要関係組織を示す。

アルミFSWのISO原案作成作業は、IIWのC-IIIが担当した。IIWは、1948年に、大戦で疲弊した産業を復興させるため、あらゆる産業の基盤技術である溶接技術の普及・発展を目指し、設立された組織である。

IIWが審議提案した初のISO規格は1990年に発行され、1999年にはISOの国際規格原案作成団体として認可されており、現在はISO/TC44からカテゴリAのリエゾン認証がされている。

日本は、1952年からIIWに加入しており、IIWの日本対応団体であるJIWは、JWSとJWESが共同で運営している。

日本におけるアルミFSWのISO原案作成作業は、JIWの第3委員会およびその業務を委託されたJLWAのFSW・ISO化委員会が担当した。

2.2 IIWにおけるISO国際標準化作業

ISO国際標準の制定は、

- ・NWIP 新作業項目
- ・WD 作業原案
- ・CD 委員会原案
- ・DIS 国際規格原案

- ・FDIS 最終国際規格原案
 - ・ISO 国際規格
- の手順で行われる。

IIWにおけるISO化作業には、

- ・Route I ISO/TC44にISO化を委託
 - ・Route II IIWにてDIS案を作成しISO化作業を行う
- の2つのルートがある。

Route II では、DIS原案作成まではISO側とは独立してIIWにて作業が行われ、その後、DIS原案の修正やFDIS原案の作成を行い、これらをISOに送って、国際投票にかける方式が採用される。アルミFSWのISO原案作成作業は、Route II が採用された。

2.3 IIW国際会議

IIWにおけるISO化の規格原案審議および決議は、IIWの国際会議にて行われる。IIWの委員会およびワーキンググループは、各国の代表者から構成されている。表2

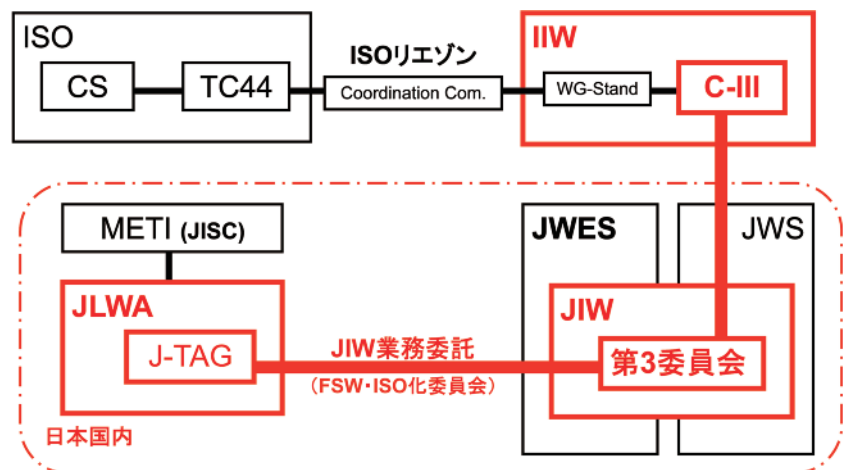


図2 ISO 25239の主要関係組織
(太枠・太線による朱記部は著者担当範囲)

表2 FSW国際標準化に係るIIW国際会議5

年月	種別	開催国	開催地	備考
2003.7	年次大会	ルーマニア	ブカレスト	ISO化決議, WG-B1発足
2004.3	中間会議	ドイツ	ミュンヘン	WG-B1
2004.7	年次大会	日本	大阪	WG-B1
2004.9	中間会議	フランス	メッツ	WG-B1
2005.2	中間会議	ドイツ	ハンブルク	WG-B1
2005.7	年次大会	チェコ	プラハ	NWIP決議, WG-S発足 WG-B1
2006.1	中間会議	フランス	パリ	WG-B1
2006.8	年次大会	カナダ	ケベックシティ	規格原案投票 DIS原案送付決議
2007.7	年次大会	クロアチア	ドブロブニク	特許声明書送付決議
2008.4	中間会議	アメリカ	コロンバス	WG-S
2008.7	年次大会	オーストリア	グラーツ	DISコメント解決報告
2009.7	年次大会	シンガポール	シンガポール	第2次DIS原案送付決議
2010.7	年次大会	トルコ	イスタンブール	FDIS原案送付決議
2011.7	年次大会	インド	チェンナイ	特許声明書前文掲載決議
2012.7	年次大会	アメリカ	デンバー	ISO規格発行報告

に、IIWにおける本件に関する国際会議を示す。

毎年1回開催されるIIW全体の会合である年次大会は、加盟各国の持ち回りで開催されている。年次大会の委員会会議において、決定事項である決議が行われる。

さらに、委員会レベルのC-III中間会議が年1～2回開催され、例えば規格原案内容や問題点の解決方法についての審議が行われる。

2. 4 アルミFSWのISO化における著者の役割

著者は、2003年のISO化決議から2011年のISO発行まで、一貫して担当する機会に恵まれた。著者の役割は、主としてJIW第3委員会のISO 25239担当委員であり、さらにIIW C-III Expert・JLWA J-TAGオブザーバ等であった。

- ・JIW（日本溶接会議）関係
2003.4.1～現在 第3委員会 委員
(2003.7～ ISO 25239担当委員)
- ・IIW（国際溶接学会）関係
2003.7～現在 C-III Expert
(2004.3～ WG-B1日本代表团)
- ・JLWA（軽金属溶接協会）日本委員会
2003.10～2009.3 FSW・ISO化委員会（J-TAG）
(JIW側アドバイザー)
- 2010.4～2012.3 企画運営委員会 委員
(ISO 25239関係のフォロー)

3 アルミFSWの国際規格の制定経緯

3. 1 国際標準化決議とWG結成

図3に、FSWのISO化決議からISO 25239発行までの経緯を示す。

2003年7月、IIW年次大会2003ブカレスト（ルーマニア）のC-III会議において、イギリスからの提案により、FSWの標準化と工業化を促進するためのISO化が決議され、規格原案作成のためのWG-B1が設置された。

これを受けて、JIWのWG-B1日本委員会の業務を委託する形で、2003年10月にJLWA内にJ-TAG（FSW・ISO化委員会）を設置した。

第1回WG-B1がミュンヘン（ドイツ）で2004年3月に開催され、AWSのFSW規格案をベースに、規格の基本構成について議論が行われた。規格の範囲をアルミの連続シーム溶接に限定するという日本

の提案が受け入れられるとともに、日本の希望通り規格の中心部であるWPSの原案担当となった。

第2回WG-B1が大阪で2004年7月に、第3回WG-B1がメッツ（フランス）で2004年9月に開催され、WDについて一語一句に及ぶ徹底的な審議が行われるとともに、品質保証の基本を要員認証とする方針が決まった。

3. 2 ISO番号発行と原案投票

第4回WG-B1がハンブルク（ドイツ）で2005年2月に開催され、WDをIIW websiteに公開して、規格化投票を行うことが決まった。2005年9月、ISOによるNWIP投票が可決され、規格番号ISO 25239が発行された。

2005年7月の第5回WG-B1プラハ（チェコ）、2006年1月の第6回WG-B1がパリ（フランス）を経て規格原案がまとめられ、2006年8月IIW年次大会2006ケベックシティ（カナダ）のC-III委員会にて、各国代表（Delegate）によりCD投票に対応する規格原案投票が可決された。

規格原案はISOに送られるとともに、WG-B1ミッションである規格原案作成が完了したため、C-IIIにおける規格化作業主管はWG-Sに移行することになった。

規格原案投票までは、当初の計画通りのスケジュールで進行した。

3. 3 ISOにおけるDIS・FDIS投票

ISOによるDIS投票は2008年1月に可決され、9カ国から多数（400件以上）のDISコメントが出された。2008年4月にコロンバス（米国）で開催されたC-III中間会議においてDISコメントの解決方法が審議された。

多数のDISコメントにより原案が大幅に修正されたため、2回目のDIS投票が行われた。第2次DIS投票は2009

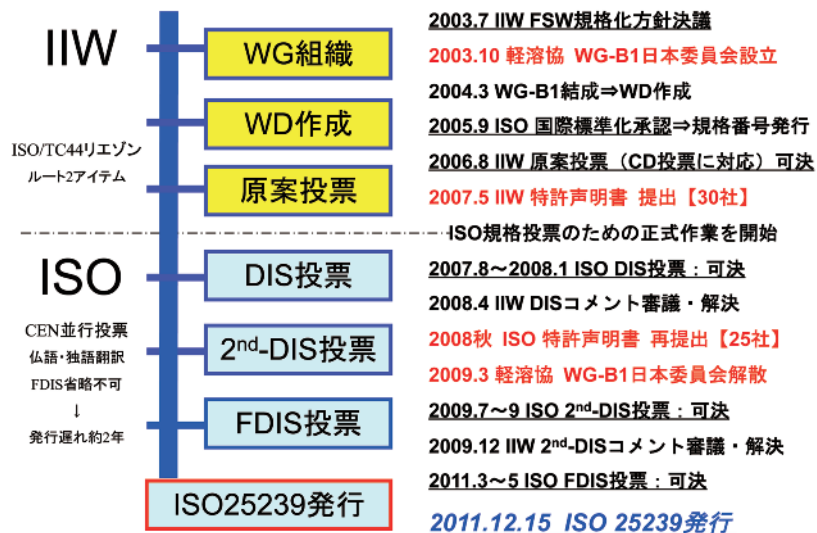


図3 FSW国際標準化決議からISO 25239発行までの経緯

表3 ISO 25239 – Friction stir welding – Aluminiumの構成

Part	Title	原案作成担当国
1	Vocabulary	イギリス
2	Design of weld joints	アメリカ
3	Qualification of welding operators	スウェーデン
4	Specification and qualification of welding procedures	日本
5	Quality and inspection requirements	アメリカ

年9月に可決され、2009年12月のC-III中間会議においてコメントの解決方法が審議された。

2011年5月にFDIS投票が可決、2011年12月にISO 25239-1～-5が発行され、2012年7月のIIW年次大会2012デンバー（米国）で報告・承認された。また、WG-B1主査としてISO発行に貢献したBolser氏（米国）がThomas Medalを受賞した。

2003年作業開始時点では2009年ISO発行を予定していたが、ウィーン協定に基づくCENとの並行投票のための仏語・独語翻訳、多数のDISコメントによる第2次DISの実施、特許声明書のISO前文掲載問題の解決などにより、2年ほど遅延した。

3. 4 ISO 25239の概要

2011年12月15日に発行されたISO 25239 – Friction stir welding – Aluminiumの構成を、表3に示す。この一連の規格は、アルミのすべての構造物におけるすべてのFSW（連続シーム溶接、いわゆるスポットFSWを除く）を、適用範囲としている。

ISO 25239は、Part 1～Part 5という独立した5本の規格から構成されている。

Part 1は、用語を規定しており、可動ピンツールやボビンツールなど、あらゆるFSWの方式が規格範囲であることを示している。

Part 2は、継手設計を規定しており、ダブルスキン構造も突合せ継手と重ね継手の組合せであって規格範囲と解釈されている。

Part 3は、要員認証を規定しており、オペレータ（FSW作業者）認証による品質保証の基本を示している。

Part 4は、一連の規格の中心ともいえるWPSを規定しており、日本が原案作成を担当した。新規ユーザの使いやすさを重視して、アルミMIG規格の構成をベースにしている。

Part 5は、品質と検査に関する要求事項を規定している。

4 特許問題解決の経緯

4. 1 IIWにおけるFSW特許問題の認識

特許権は、非常に強大な独占排他権である。特許権者

は、他者の実施を例えば差し止めなどにより排除して、特許の技術範囲を独占することができる（独占技術）。

FSWは、TWIが以下の基本特許を持っている⁽⁵⁾。

・特許2712838号 1992.11.27出願

（注：2012.11権利期間満了）

・特許2792233号 1995.1.5出願

FSWを実施するためには、TWIの保有する基本特許の許諾が必須とされている。さらに、FSW実施者が、多数の応用特許を出願・権利化している。IIWに提出されたTWIのFSW特許リスト（2005年）によると、100社以上のFSW実施者からの1200件以上の出願特許が存在し、その6割強は日本のものであった。

特許権を含む技術のISO化には、WTO/TBT協定の理念を踏まえたISOパテントポリシーに基づくRAND条件許諾（次節で詳述）の特許声明が必須とされている。

TWIはFSW実施者に基本特許を有償許諾していたが、日本のFSW実施者の一部は応用特許の非許諾による技術独占戦略を実行していた。これは、特許権の正当な行使ではあるが、FSW普及に向けたISO化の最大の障害であると、各国委員から強く非難されていた。

IIWでは、FSWのISO化のためには、TWIの基本特許問題だけではなく、日本の大量の応用特許問題を解決する必要があると認識された。

4. 2 RAND条件許諾による問題解決

ISOパテントポリシーの基本は、RAND条件許諾の特許声明が必須とされている。ISOの技術内容に特許権が含まれている場合は、特許権者からRAND条件で許諾するという声明書を出されない限り、ISO規格にはならないというものである。

RAND条件とは、直訳すると「合理的かつ非差別的条件」であり、平易に換言すると「誰にでも合理的な対価で」となる。

図4（a）に、2005年に制定されたIIWフォーマットの特許声明書を示す。これは、選択肢が無償許諾・有償許諾の2ボックス型で、非許諾の選択肢と特許リストがないものであった。特許権者が、個別特許を限定せずに包括的に許諾を声明する方式を、本稿では包括声明という。

**IIW Patent Statement and Licensing Declaration
for the text of an ISO International Standard**

Please return form to: IIW Secretariat
International Institute of Welding
Institut de Soudure
ZI Paris Nord II
BP 50362
F93942 Roissy CDG Cedex
FRANCE

Patent Holder/Organization (Legal Name): _____

Contact for license application:
Name & Department: _____
Address: _____
Telephone: _____ Telefax: _____
E-mail: _____

ISO International Standard (Number): _____
Title: _____

Licensing declaration
The Patent Holder believes that it holds granted patents and/or pending applications, the use of which would be required to implement the above ISO International Standard and hereby declares, in accordance with the ISO/IEC Patent Policy (JTC 1 Directives), that (check one box only):

☐ 1. The Patent Holder will grant a royalty-free license to an unrestricted number of applicants on a worldwide, non-discriminatory basis to make, use, and/or sell implementations of the above ISO International Standard.
Mark here _____ if the Patent Holder is unwilling to license its patent claims for the above ISO International Standard.*

☐ 2. The Patent Holder will grant a license to an unrestricted number of applicants on a worldwide, non-discriminatory basis to make, use, and/or sell implementations of the above ISO International Standard.
Mark here _____ if the Patent Holder is unwilling to license its patent claims for the above ISO International Standard.*

Negotiations of licenses are left to the parties concerned and are performed outside ISO.

* "Reciprocity" means with respect to other parties that have a patent or patent claim required in the use or implementation of the relevant ISO International Standard(s), the Patent Holder shall only be required to license to such parties if they are willing to license their patents or patent claims under options 1 or 2 of the Patent Statement and Licensing Declaration.

Organization:
Name of authorized person: _____
Title of authorized person: _____
Signature: _____ Date: _____

(a) IIW Format (2005)
(包括声明形)

Patent Statement and Licensing Declaration Form for ITU-T/ITU-R Recommendation | ISO/IEC Deliverable

ITU ISO IEC

**Patent Statement and Licensing Declaration
for ITU-T/ITU-R Recommendation | ISO/IEC Deliverable**
This declaration does not represent an actual grant of a license

Licensing declaration:
The Patent Holder believes that it holds granted and/or pending applications for patents, the use of which would be required to implement the above document and hereby declares, in accordance with the Common Patent Policy for ITU-T/ITU-R/ISO/IEC, that (check one box only):

☐ 1. The Patent Holder is prepared to grant a free of charge license to an unrestricted number of applicants on a worldwide, non-discriminatory basis and under other reasonable terms and conditions to make, use, and sell implementations of the above document.
Negotiations are left to the parties concerned and are performed outside ITU-T/ITU-R/ISO/IEC.
Also mark here _____ if the Patent Holder is unwilling to license its patent claims for the above document.
Also mark here _____ if the Patent Holder reserves the right to license its patent claims on reasonable terms and conditions (but not free of charge) to applicants who are only willing to license their patent claims, whose use would be required to implement the above document, on reasonable terms and conditions (but not free of charge).

☐ 2. The Patent Holder is prepared to grant a license to an unrestricted number of applicants on a worldwide, non-discriminatory basis to make, use, and sell implementations of the above document.
Negotiations are left to the parties concerned and are performed outside ITU-T/ITU-R/ISO/IEC.
Also mark here _____ if the Patent Holder is unwilling to license its patent claims for the above document.

☐ 3. The Patent Holder is unwilling to grant licenses in accordance with provisions of either 1 or 2 above.
In this case, the following information as part of this declaration:
- granted patent number or pending application number;
- an indication of which portions of the above document are affected;
- a description of the patent claims covering the above document.

Patent Information (desired but not required for options 1 and 2; required in ITU for option 3 (NOTE))

No.	Status (granted/pending)	Country	Granted Patent Number or Application Number (if pending)	Title
1				
2				
3				

NOTE: For option 3, the additional minimum information that shall also be provided is listed in the option 3 box above.

(b) ITU/ISO/IEC Format (2007)
(限定声明形だが包括声明可能)

図4 特許声明書フォーマット

IIWは、包括声明を基本としていた。

図4 (b) に、2007年3月に制定された ITU/ISO/IEC 共通パテントポリシーに定める ITU/ISO/IEC 共通フォーマットの特許声明書を示す。これは、選択肢が無償許諾・有償許諾・非許諾の3ボックス型で、特許リスト（許諾時任意、非許諾時必須）を有している。特許権者が、個別特許に限定した許諾を声明する方式を、本稿では限定声明という。ISOは限定声明を推奨していたが、包括声明も可能と解釈されていた。

4. 3 日本における特許声明書の提出

図5に、日本における ISO 25239 特許声明書の提出の経緯を示す。

2006年2月に、IIW C-III委員長から WG-B1 委員各国経由で特許権者に対し、図4 (a) に示す IIW フォーマットによる特許声明書を、DIS 投票までに IIW 規格化事務局に提出するよう要請があった。

IIW は、日本の FSW の大量の応用特許と非許諾戦略が、

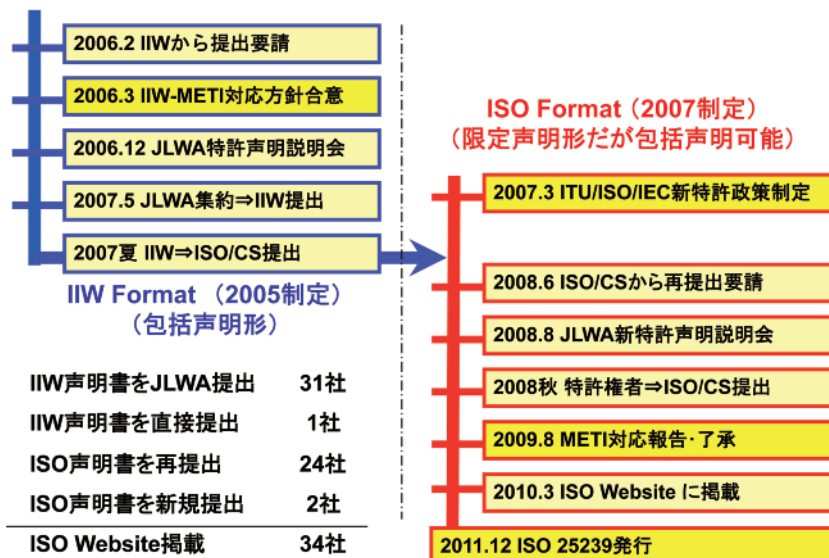


図5 ISO25239 特許声明書の提出（日本の対応）

ISO パテントポリシーに反しており、それが ISO 国際規格発行の障害となる重大問題と認識していた。2006年3月には IIW, METI, JLWA, JIW の会合が開かれ、JLWA が特許権者から特許声明書を集めて問題解決を図る方針が、確認された。

J-TAGでは、特許が規格の技術内容に抵触するかどうかの判定は、ISOルールと同様に当事者間の協議に任せべきであることから、包括声明を推奨することにした。その時点で規格の技術内容に抵触する特許権を保有していなくても、FSW応用特許の出願人が包括声明することは、むしろ望ましいと判断した。

JLWAは、2006年10月、FSWに関連する特許権を保有（出願）するすべての特許権者に、特許声明書の提出を依頼するとともに、2006年12月に特許声明書説明会を開催した。

JLWAは、主要な特許権者31社から特許声明書の提出を受け、2007年5月にIIW規格化事務局に提出した。

IIW年次大会2007ドブロブニク（クロアチア）C-III会議にて、日本の特許問題解決への努力に対する賞賛がされるとともに、IIWに提出された特許声明書をISO/CSに送ることが決まった。

さらに、提出要請から提出までの間の2007年3月に、ITU/ISO/IEC共通特許ポリシー⁽⁶⁾が制定されたため、図4（b）に示すITU/ISO/IEC共通特許声明書による再提出が、2008年6月にISO/CSから特許権者に直接要請された。ISOフォーマットは限定声明可能であったが、JLWAはIIWフォーマット同様の包括声明を推奨した。これに対応して、JLWAでは2008年8月に再度の特許声明書説明会を開催した。特許声明書は特許権者からISO/CSに直接提出された。ISO特許データベース⁽⁷⁾によると、再提出した特許権者が24社、新規提出した特許権者が2社であった。

最終的には、両フォーマット合わせて、日本の特許権者34社から特許声明書が提出された。

一連の特許声明書の提出の経緯は、2009年8月にJLWA・JIWからMETIに報告された。

4. 4 特許声明書の受理と発効

ISOに提出された特許声明書の受理・開示・発効までの経緯について述べる。

IIW年次大会2009シンガポールC-III会議では、ISO/CSからの特許声明書の開示についての照会に対し、ISO前文には基本特許権者のTWIのみ掲載し、他の応用特許権者はISO websiteに掲載する選択肢を決議した。

2010年3月にはISO website⁽⁷⁾上で特許声明者が開示されており、特許声明書はISO/CSに受理され、かつ法的にも発効していると解釈されている。

年次大会2011チェンナイ（インド）C-III会議では、ISO前文にはTWIのみ掲載し、他の特許声明者はISO websiteで開示するという方針の再決議を行った。

2011年12月に、ISO 25239-1～-5が発行された。

現在、TWIと日本の計35社の特許声明がISO websiteで開示され、発効している。ISO発行と特許声明発効の結果、FSW技術は、ISO範囲で実施する限りにおいては、非許諾による差し止めリスクのない汎用技術となったと解釈されている⁽³⁾。

5 おわりに

松山先生（IIW C-III前委員長、同WG-S委員長、JIW第3委員会前委員長）、里中先生（JIW第3委員会委員長）、榎本様（JLWA専務理事）、浜田様（JLWA前専務理事）、難波様（JLWA FSW・ISO化委員会委員長）を始め、ISO25239発行に携わったすべての皆様に、誌面をお借りして、心からの謝意を申し上げたい。

参考文献

- (1) 鉄道国際規格センター：鉄道における国際標準化活動表彰制度、鉄道国際規格センターホームページ、<http://risc.rtri.or.jp/risc/recognition/>
- (2) 総合車両製作所：国土交通省主催 鉄道技術標準化調査会「平成24年度標準化活動貢献者表彰」の受賞について、総合車両製作所ホームページ、http://www.j-trec.co.jp/news/news_13/130314.pdf（2013）
- (3) 軽金属溶接協会：ISO25239-1～-5発行と特許声明宣誓書のISOデータベース開示のご報告（2012）
- (4) 松岡茂樹：アルミFSWの国際標準ISO 25239-1～-5発行の経緯と意義、軽金属溶接協会、軽金属溶接Vol. 51（2013）No.10
- (5) 軽金属溶接協会：アルミニウム合金の摩擦攪拌接合継手の諸特性（FSW委員会）、創立50周年記念委員会共同研究成果報告書（2012）
- (6) ISO：Common Patent Policy for ITU/ISO/IEC, ISO Website, http://www.iso.org/iso/home/standards_development/governance_of_technical_work/patents.htm
- (7) ISO：ISO patents database, ISO website, http://isotc.iso.org/livelink/livelink/13622347/Patents_database.xls?func=doc.Fetch&nodeid=13622347

著者紹介



松岡茂樹
技術士（機械部門）、日本機械学会フェロー
生産本部
技術部 部長（商品開発）

新型抵抗スポット溶接機の開発

Development of Advanced Equipment of Resistance Spot Welding

渥美健太郎 Kentaro ATSUMI
阿部千明 Chiaki ABE

河田直樹 Naoki KAWADA
岡田 寿 Hisashi OKADA

ステンレス鋼製車両構体の接合では主に抵抗スポット溶接が適用されている。抵抗スポット溶接における要求事項には接合部の継手強度はもちろんのこと、近年では低コスト化および高品質化も重要になってきている。そこで当社では、新型抵抗スポット溶接機を開発し、それらの要求事項に答えていくための研究開発を行うこととなった。本稿では、今回導入した新型抵抗スポット溶接機についての解説と課題について述べる。

1 はじめに

ステンレス鋼製車両の構体製作では、その接合方法として抵抗スポット溶接が多用されている。一般的な製造物の要求事項として低コスト化および高品質化が叫ばれて久しいが、それは鉄道車両の製造に多用されている抵抗スポット溶接も同様である。これらの要求事項の対応には溶接条件だけでなく設備の構成まで立ち戻る必要があると考えられる。

そこで、今後のステンレス鋼製車両に適用するスポット溶接機の最適解を模索するため、新型抵抗スポット溶接機を試験的に導入した。本稿では、この新型抵抗スポット溶接機の概要と、今後取り組むべき課題について解説する。

2 新型抵抗スポット溶接機

2.1 概要

今回導入した新型抵抗スポット溶接機のブロック図を図1、仕様を表1に示す。設備の基本構成は一般的な定置式スポット溶接機をベースにしており、想定される試験の実施内容に対応するため、以下に示す4つの機能を付加した。

- I. 電源切換機能
- II. モニタリング機能
- III. 可変加圧機能
- IV. 通電方式切換機能

これら4つの機能を組み合わせることで、抵抗スポット溶接に関する様々な試験に対応することを可能とした。その詳細について次節以降で解説する。

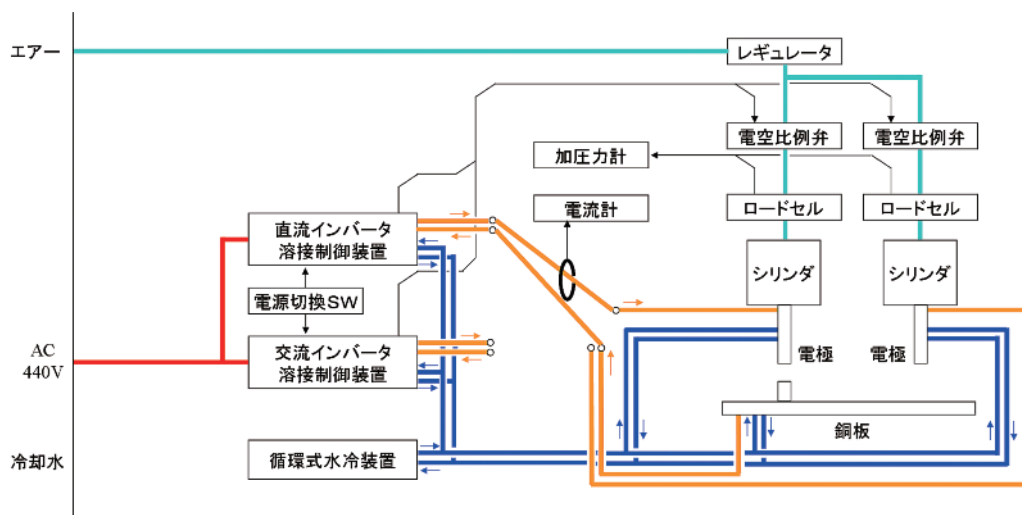


図1 新型抵抗スポット溶接機ブロック図

表1 新型抵抗スポット溶接機仕様

項目	単位	仕様	
型式		SLI-100STH	SLAI-100STH
定格入力電圧	V	600	
定格容量	kVA	100	
定格周波数	Hz	700	50
最大溶接入力	kVA	214	297
最大短絡電流	kA	25	
最大加圧力	kN	9.8	
許容使用率	%	10.9	5.7
フトコロ寸法	深さ	mm 900	
	開き	mm 200	
電極ストローク	引上時	mm 75	
	溶接	mm 25	
キャップチップ	直径	mm 16	
	テーパ	mm 1/9.6	
冷却水量	L/min	25	
質量	kg	1800	
溶接トランス	電源方式	-	直流 交流
	型式	-	HFSL-100 SLP-125A5/B5
	巻数比	-	60 32
制御装置	型式	-	DIT-543-4 AIT-1644-4
	入力電圧	-	三相 440V 50Hz

2. 2 電源切換機能 (I)

2. 2. 1 新型機の構成

新型機では直流インバータ方式と交流インバータ方式の電源を設置し、切換スイッチで選択可能な構造を採用した。直流インバータ方式の一般的な回路を図2、交流インバータ方式の一般的な回路を図3に示す。

一般的に直流インバータ方式は、インバータ装置を利用して溶接変圧器に供給される電源の周波数を600Hz～10kHz程度に高め、溶接変圧器の鉄芯（コア）寸法を大幅に小さくして変圧器の外形寸法の小型化を実現した電源方式である（図2参照）。整流後の二次側回路には直流電流が流れるため、単相整流式や三相整流式と同様、フトコロ寸法の大きな溶接機（腕の長い溶接ガン）と組み合わせても溶接電流の低下が少なく、省エネルギーの観点から効果がある。

一方の交流インバータ方式は、直流インバータ方式で開発されたインバータ装置を、通常の単相交流用変圧器に接続して動作させる方式である（図3参照）。溶接変圧器の二次側には整流器を挿入せず、インバータの動作を制御することで二次側に流れる溶接電流波形を自由に設定できる利点を持つ。また、出力波形を商用周波数の矩形波電流を出力するように設定すると、手持ちの単相交流溶接システムの制御装置の交換だけで直流電源と同様の温度脈動の小さな溶接過程が実現できる⁽¹⁾。

2. 2. 2 検討課題

現在、当社では直流電源が採用されているが、電源方式が溶接性などに与える影響についてはあまり分かっていない。そこで、交流電源および直流電源の差が溶接性、経済性、品質などに与える影響について検討する。

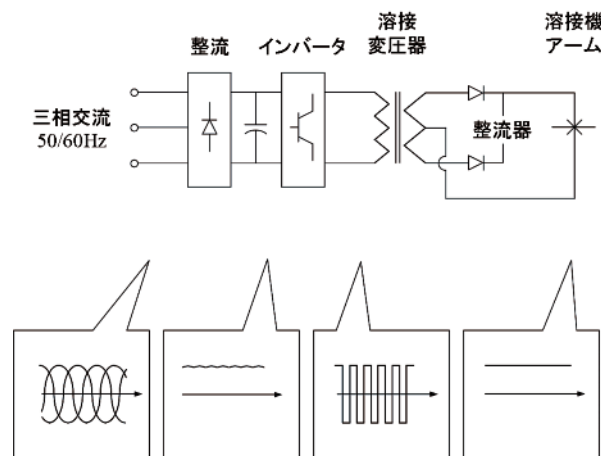


図2 直流インバータ回路 (例)

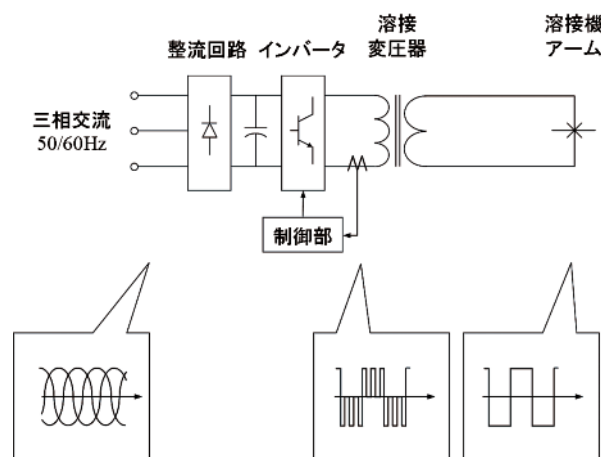


図3 交流インバータ回路 (例)

2. 3 モニタリング機能 (II)

2. 3. 1 新型機の構成

新型機では電極加圧力および電流値、通電時間の測定機能を付加した。まず、電極加圧力は加圧ガイドにロードセルを組み込むことでスポット溶接中の加圧力を測定することが可能な構成とした。また、電流値の測定機能を付加したことによりスポット溶接中の電流値と通電時間を把握できるようになった。

2. 3. 2 検討課題

電極加圧力および電流波形の測定機能により、スポット溶接中の各パラメータの変動をモニタリングすることが可能となった。これによりスポット溶接中の現象把握をすることができ、その結果を溶接条件選定にフィード

バックさせることで、高精度なスポット溶接条件設計が可能となることが期待される。

2. 4 可変加圧機能 (Ⅲ)

2. 4. 1 新型機の構成

従来機における溶接シーケンスの例を図4、新型機の溶接シーケンスの例を図6に示す。従来機の加圧力は加圧のためにシリンダに送り込まれるエアの系統の制御を、電磁弁のON/OFFによって制御する仕組みであった(図4上段)。そのため、ワークを挟み込む加圧力は、溶接シーケンスの間一定の設定しか出来なかった(図4中段)。一方、新型機の加圧力は、エア系統の制御に電磁弁ではなく電空比例弁を採用した(図6上段)。電空比例弁とは、加圧用エア流路の開度を、制御信号の電流値に比例して無段階に制御することが出来る電磁弁で、これにより、電極先端での加圧力を溶接シーケンス中に任意に変化させることが出来る(図6中段)。

2. 4. 2 検討課題

この可変加圧機能によってスポット溶接施工箇所(圧痕という)の外観の向上について検討する。当社では2013年に可変加圧機能を搭載したスポット溶接機(「SmartRSW」)を開発し、圧痕外観の向上を念頭に試験を実施した。その結果の一例を図5に示す。可変加圧機能を用いることで圧痕外観の向上、具体的には焼焦げの軽減や歪の減少などを達成した⁽²⁾。

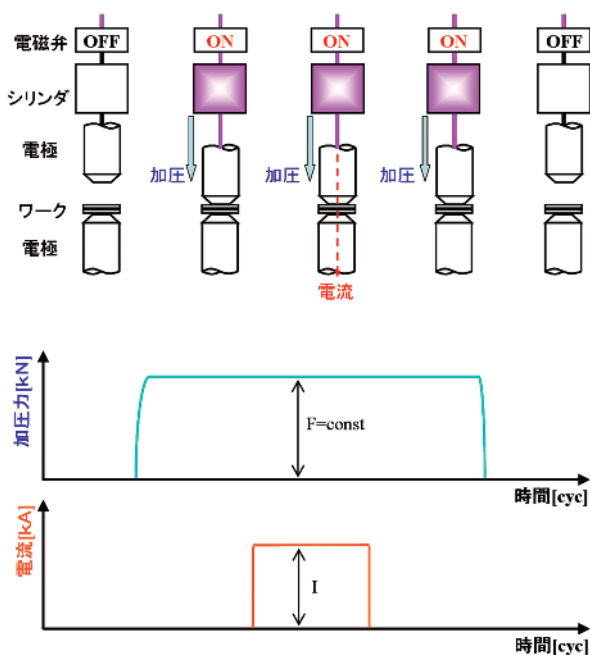


図4 溶接シーケンス (従来機)

この技術は「sustina」1号車でも採用されている。今回の新型機では「SmartRSW」での実績をもとに、圧痕外観向上のさらなる深度化を進めていく。

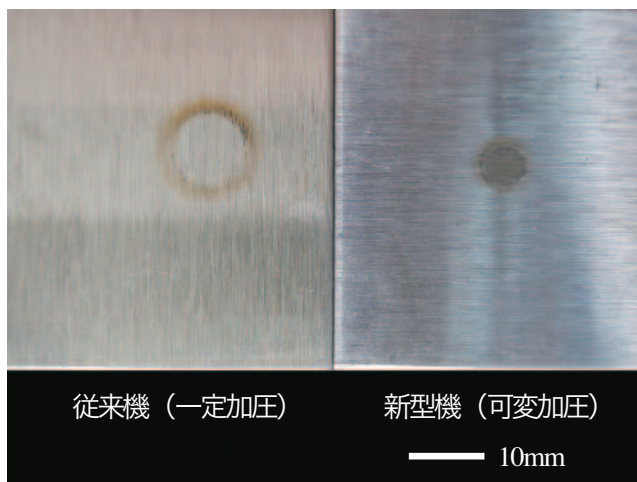


図5 可変加圧力による圧痕外観改善例 (現車相当)

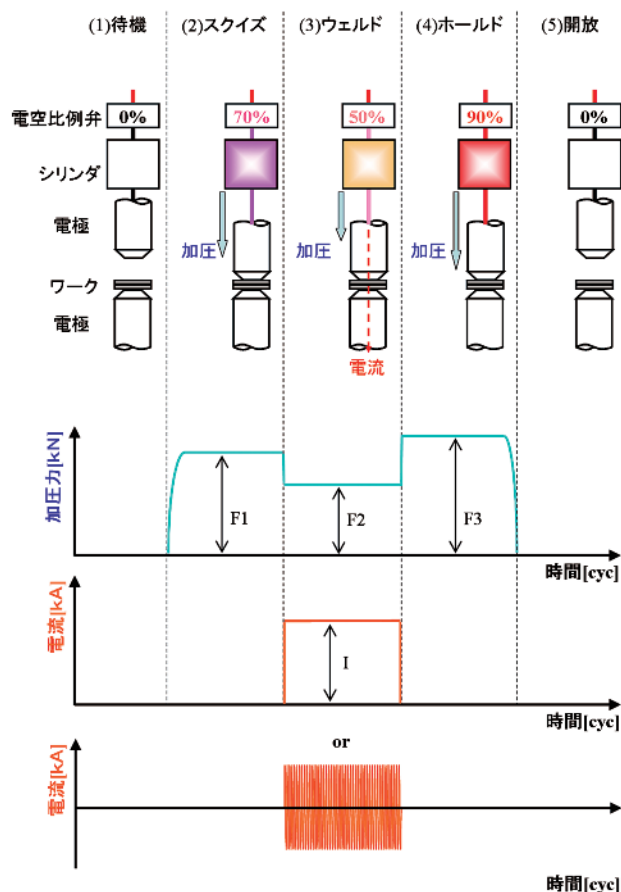


図6 溶接シーケンス (新型機)

2. 5 通電方式切換機能 (Ⅳ)

2. 5. 1 新型機の構成

通電方式切換機能の模式図を図7に示す。新型機では上部電極が2本あり、下部電極は電極1本または銅板電極を選択可能な構造を採用した。これにより、1台のスポット溶接機で2種類の通電方式（ダイレクト通電方式とシリーズ通電方式）で試験が可能となった。

2. 5. 2 検討課題

この通電方式切換機能でシリーズ通電方式の側一台枠結合への適用を検討する。シリーズ通電方式を採用した場合のメリットおよびデメリットを表2に示す。当該施工箇所の接合は現状、インダイレクト通電方式（図8左側）を採用しているが、この通電方式では側ハリ下部に電極を接触させる必要があり、その接触点で焼焦げる現象が発生している（図9参照）。シリーズ通電方式では側ハリ下部には焼焦げが発生しないため、耐食性向上および外観向上の効果が期待できる（図8右側）。また、1回の通電で2ヵ所を接合する工数低減の効果も期待できる。一方、シリーズ通電方式では上下段個別の溶接条件設定ができないなどのデメリットもあるため、これらも鑑みながら検討を進めていく。

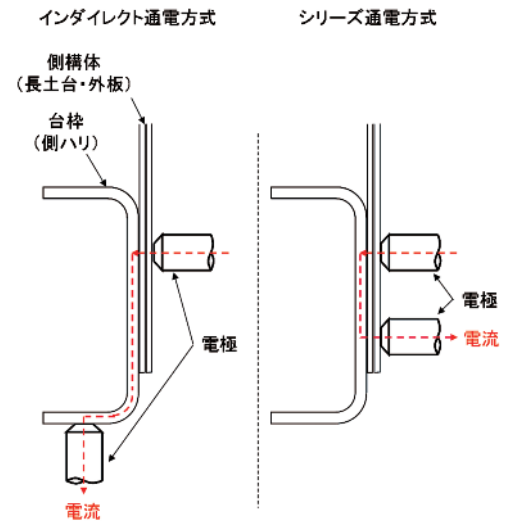


図8 側一台枠結合（検討事項）

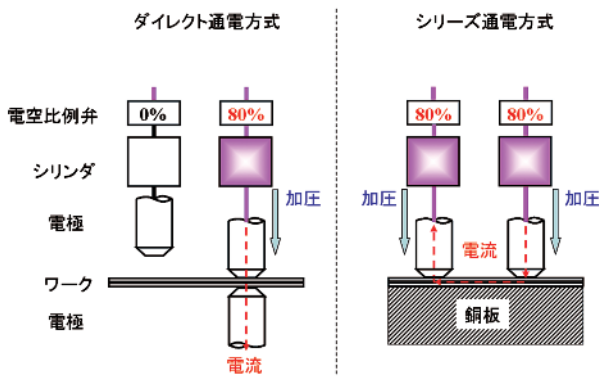


図7 通電方式切換機能（新型機）

表2 通電方式の差によるメリット・デメリット

	シリーズ 通電方式 (検討中)	インダイレクト 通電方式 (現行法)
通電1回当たりの接合部	2ヵ所	1ヵ所
側ハリ下部の焼焦げ	無し	有り
上下段個別の溶接条件設定	不可	可
外板が厚い車両の 側ハリへの溶込み確保	難しい	易しい

緑字: メリット
赤字: デメリット

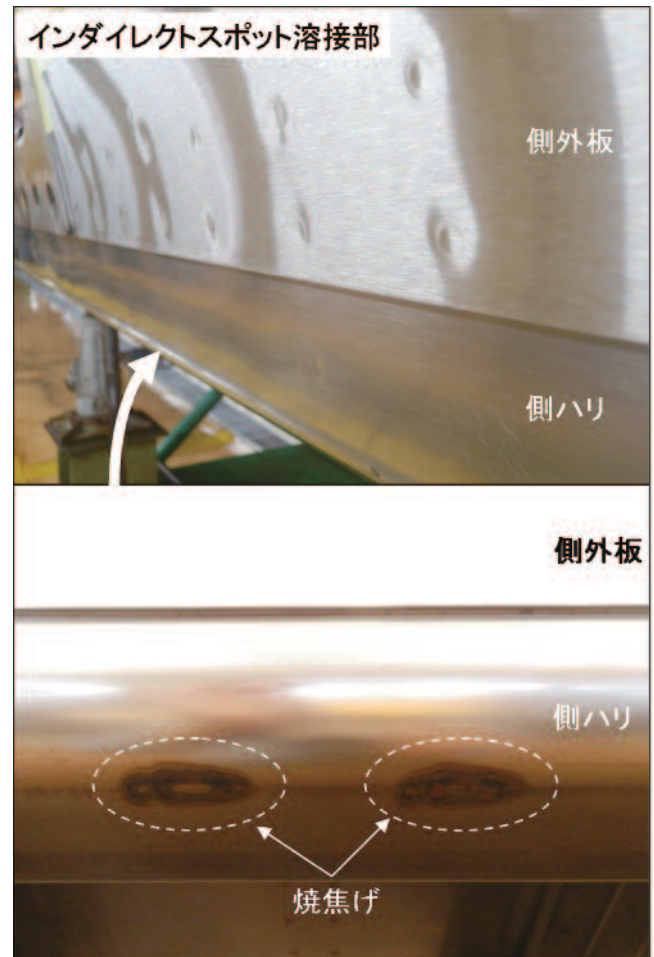


図9 側一台枠結合部外観（現車相当）

3 設備性能

3. 1 加圧力

電極加圧力の測定結果を図10および図11に示す。新型機で実施する試験では、ワークの材質はステンレス鋼を想定している。そのため、設備の最大加圧力を10kN程度とし、設定値0%から100%の間で安定的に加圧力を得られるよう設定した。

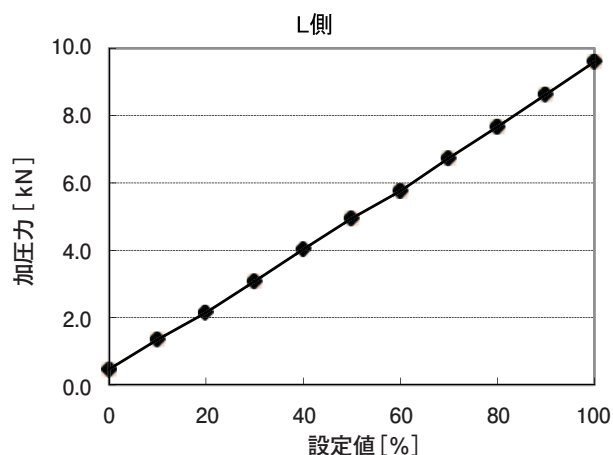


図10 電極加圧力測定値 (L側)

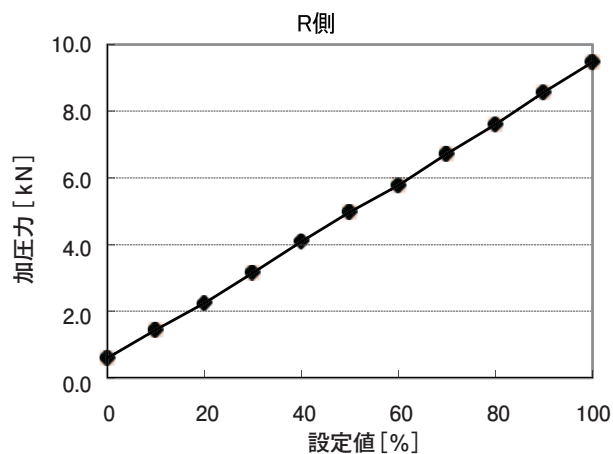


図11 電極加圧力測定値 (R側)

3. 2 電流値

電流値の測定結果を図12および図13に示す。新型機では最大25.0kA程度とし、3.0kAから25.0kAの間で安定的に電流値が出力されるよう設定した。

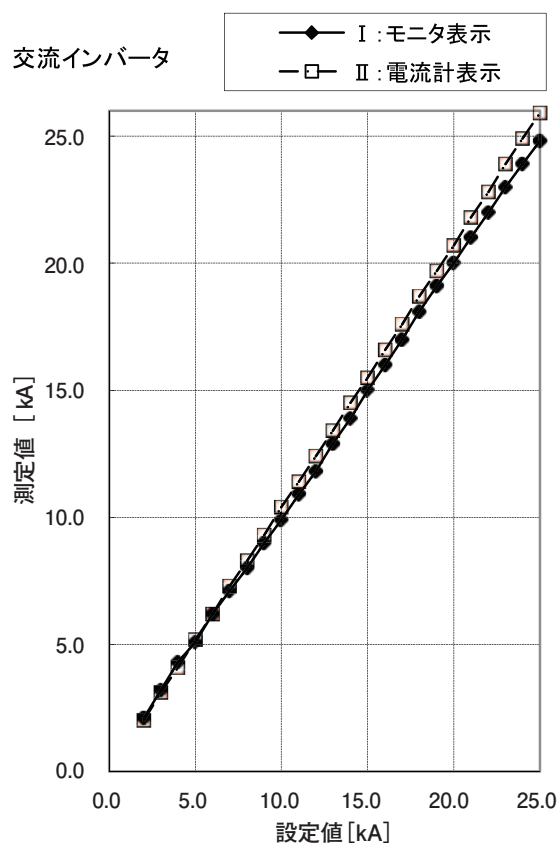


図12 電流測定値 (交流インバータ)

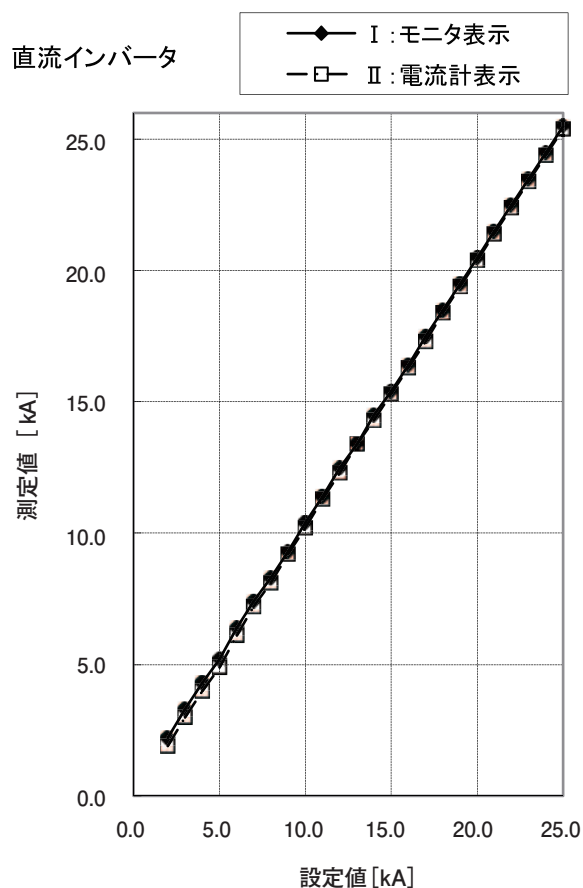


図13 電流測定値 (直流インバータ)

4 まとめ

ステンレス鋼製車両におけるスポット溶接には、様々な要求事項がある。以下にその一例を示す。

- ・工数低減（溶接時間の短縮、不具合事象の低減など）
- ・圧痕外観品質向上
- ・省エネルギー化

これらの要求事項を解決していくためには、溶接条件（加圧力、電流値、通電時間、電極形状など）だけではなく、設備（電源、通電方式、加圧力制御機構など）も含めての検討が重要であると考える。

そして、これらの検討段階においてはインプット（溶接条件など）とアウトプット（圧痕外観、ナゲット径、溶込みなど）だけでなく、溶接中の現象（加圧力、電流値の時間変化など）も把握したうえで進めることは、コスト低減および品質向上を進めていく中で非常に大きな意味をもつ（図14参照）。

今回導入した新型機において抵抗スポット溶接の品質向上およびコスト低減を主眼に研究を進め、そこで得られた結果を、順次製品に適用しステンレス鋼製車両の品質向上を進める。

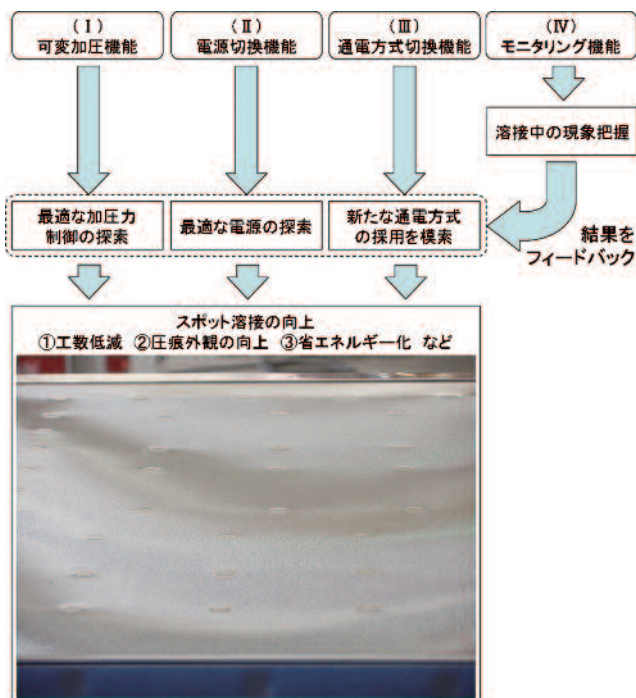


図14 検討課題

参考文献

- (1) 松山欽一, 他：「抵抗溶接の基礎と実際」, 60, (2011), 産報出版
- (2) 渥美健太郎, 他：「抵抗スポット溶接システム SmartRSW®を用いた鉄道車両の圧痕外観向上に関する研究」, 総合車両製作所技報 1号, 2-9, (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）



阿部千明
生産本部
技術部（接合技術センター） 主査



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



岡田 寿
生産本部
技術部（接合技術センター） 課長

マグネシウム合金製車両用テーブルの開発

Development of the Table for the Vehicles using Magnesium Alloy

橋本 健司 Kenji HASHIMOTO
河田 直樹 Naoki KAWADA

石川 武 Takeshi ISHIKAWA
松村 寛 Hiroshi MATSUMURA

車両用テーブルの材質として、繊維強化樹脂（Fiber Reinforced Plastics, FRP）が使用されている。FRPは延性に乏しいため、その破壊モードは割れや欠けとなる。割れや欠けの部分を補修することは困難であることから、メンテナンスコストに影響してくると思われる。そこで、割れや欠けではなく、延びや変形の破壊モードを持ち、FRPに匹敵する成形性を持つ材料を採用することで、メンテナンスの省力化を図ることとした。まず、材料選定において、強度と延性のバランスが良く、またリサイクル性に優れたマグネシウム（Mg）合金を採用することとし、車両用テーブルを設計・試作した。実用化のために、鉄道車両用材料燃焼試験（車材燃試）で「不燃性」の判定を受けたのでその内容について報告する。

1 はじめに

鉄道車両部品のメンテナンスの省力化を考えた場合、部品材質・構造の見直しはそれを解決するのに有効な手段である。また、近年の世界的な環境問題を背景として、資源循環型社会の構築が求められており、「リデュース（Reduce）」、「リユース（Reuse）」、「リサイクル（Recycle）」という3R活動への取り組みが重要視され、車両部品においても例外ではない。

現在、車両用テーブルの材質として、繊維強化樹脂（Fiber Reinforced Plastics, FRP）が使用されている。FRPは延性に乏しいため、その破壊モードは割れや欠けとなる。割れや欠けの部分を補修することは困難であることから、結果として部品交換の手間が生じ、結果としてメンテナンスコストに影響すると考えられる。また、FRPはリサイクルが難しいことから、廃棄物の大部分は単純焼却や埋立処分されているのが現状である。

一方、近年注目を集めている材料としてMg合金がある。Mg合金は、実用金属中において最軽量であり、強

度・延性のバランスがよく、またリサイクル性に優れていることが知られている。また、ダイカスト製法などの射出成形を利用すれば、複雑形状の製品が製作可能である。

本報では、メンテナンスの省力化を目指し、市販Mg合金で車両用テーブルを設計・試作し、鉄道車両用燃焼試験（車材燃試）で「不燃性」の判定を受けたので、その内容について報告する。

2 開発の概要

2.1 材質の選定

一般に、FRPは延性（韌性）が低いことが知られている。理想的な材料としては、強度と延性の両者が高いことが望ましい。テーブル本体の寿命の延伸という観点から、強度と延性のバランスに優れたMg合金を材質として採用した。表1に示すように、Mg合金の密度はFRPとほぼ同等で、比強度と比剛性はアルミニウム（Al）合金、FRP以上であることがわかる。その他にも、振動減衰特

表1 Mg合金、Al合金、FRPの各種特性

種類	密度, ρ Mg/m ³	引張強度, σ_{UTS} MPa	比強度, σ_{UTS}/ρ MPa・(Mg/m ³) ⁻¹	比剛性, $E^{1/3}/\rho$ GPa ^{1/3} ・(Mg/m ³) ⁻¹
マグネシウム合金 (AM60B)	1.8	225	125	2.0
アルミニウム合金 (ADC12)	2.7	228	84	1.5
繊維強化樹脂 (GFRP)	1.8	137	76	1.2

性、リサイクル性などに優れることが知られる。

Mgに関して、しばしば発火特性が問題視されることがある。しかしながら、Mgの燃焼は切粉や粉塵にならないかぎり、通常の使用では問題とならない。図1に市販Mg合金と難燃性Mg合金の発火温度を示す。難燃性Mg合金とは、合金元素にカルシウム（Ca）を数%添加することで、発火温度を飛躍的に高めた合金である。ここで言う「難燃性」とは、車材燃試における「難燃性」ではないことに注意が必要である。純Mgの融点は650℃であるに対し、市販Mg合金の発火温度は530℃である。一方、難燃性Mg合金は市販Mg合金より発火温度が約300℃向上しており、融点を上回っているのがわかる。つまり、これまでの市販Mg合金より、燃えにくくなったという意味から「難燃性Mg合金」と呼ばれている。現在、車両内装部品には車材燃試における「不燃性」の判定が求められているが、この水準は難燃性Mg合金でなくても市販Mg合金で十分に達成できるレベルである。

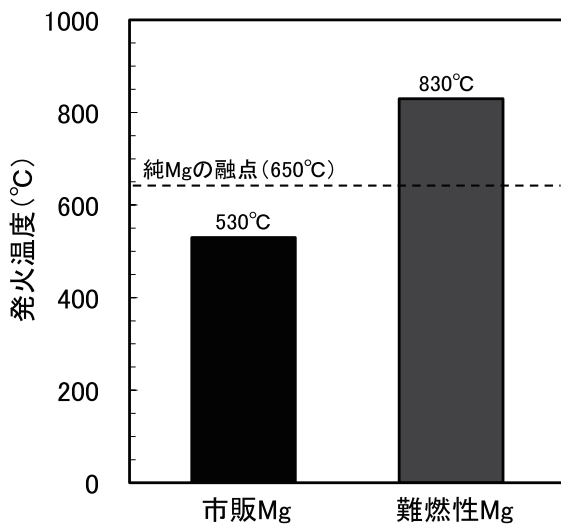


図1 Mg合金の発火温度⁽¹⁾

2. 2 軽量化と剛性確保

材料費の低減とテーブル本体の軽量化を図るために、従来テーブルの板厚4.6mmから2.0mmに薄肉化し、重量を1.75kgから0.91kgに低減した（約50%の軽量化）。また、テーブルの剛性を確保するために、裏面に特殊形状の複数の凸部を備える構造とした。

2. 3 製造方法と開発した車両用テーブル

一般に、車両用テーブルのような小型品はダイカスト製法を用いて製造される。図2にダイカスト製法の模式図を示す。離型剤を塗布した金型を締め付け（1. 型締め工程）、湯を精密な金型の中に高圧力を加えて射出・充填する（2. 射出工程）。その後、金型を開き、製品押出し（3. 型開き・製品押出し工程）を経て完成となる。ダイカスト製法の特徴として、表面の美観に優れること、量産性に優れること、高い製品品質が得られることなどが挙げられる。図3に完成した車両用テーブルの外観（塗装後のもの）を示すが、美観に優れ、また高い表面硬度も達成している。



図3 開発した車両用テーブルの外観

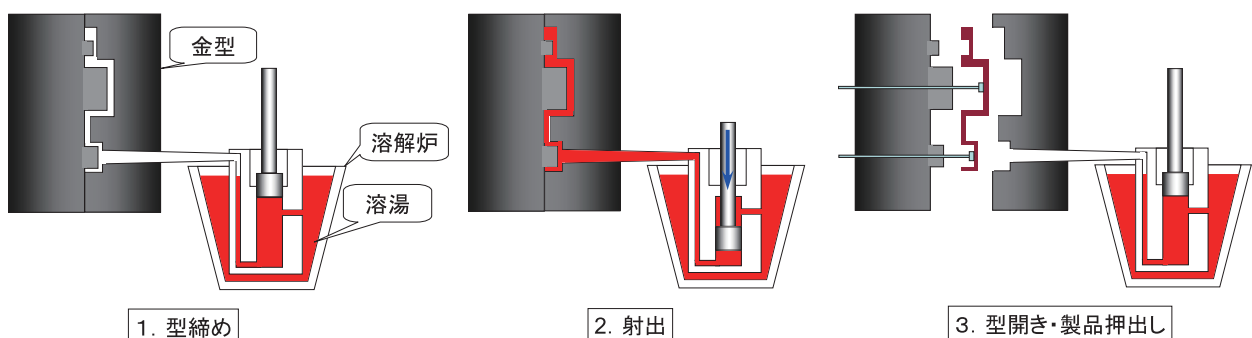


図2 ダイカストの模式図

2. 4 不燃性の確認

(1) 鉄道車両用材料燃焼試験（車材燃試）

鉄道車両内装品には、鉄道輸送の安全を確保するために、火災防止対策・延焼防止対策が必要となる。鉄道車両に用いられる材料は、車両の部位によって不燃化・難燃化が義務づけられているため、その燃焼性の評価として、車材燃試をおこなった。

(2) 判定基準と試験結果

表2に示すように、燃焼性は車両に使用できる「不燃性」、「極難燃性」、「難燃性」の他、車両に使用できない「緩燃性」、「可燃性」の5段階にクラス分けされている。また、燃焼判定はアルコールの燃焼中に、供試材の着火、着炎、発煙状態、炎の状態等観察し、燃焼後に、残炎、残塵、炭化、変形状態を調査される。試験結果は、図4の試験成績書に示すように、最上位クラスの「不燃性」の判定であった。

試 験 成 績					
温度 23℃		湿度 75%		アルコール燃焼時間 1分 41秒	
アルコール燃焼中			アルコール燃焼後		
着 火	なし	残 炎	—		
着 炎	なし	残じん	—		
煙	なし	炭 化	変 色	60mm	
火 勢	—	変 形	なし		
備考					
判 定 不 燃 性					
耐溶融滴下性試験					
判定		アルコール燃焼後			
		平滑性		平 滑	
一般社団法人 日本鉄道車両機械技術協会					

図4 車材燃試の試験成績書

表2 鉄道車両用材料の燃焼性判定基準⁽²⁾

級別	アルコール燃焼試験				アルコール燃焼後			
	着火	着炎	煙	火勢	残炎	残塵	炭化	変形
不燃性	なし	なし	僅少	—	—	—	100mm 以下の変色	100mm 以下の表面的変形
極難燃性	なし	なし	少ない	—	—	—	試験片の上端に達しない	150mm 以下の変形
	あり	あり	少ない	弱い	なし	なし	30mm 以下	
難燃性	あり	あり	普通	炎が試験片の上端を超えない	なし	なし	試験片の上端に達する	縁に達する変形, 局部的貫通孔
緩燃性	あり	あり	多い	炎が試験片の上端を超える	30 秒未満	60 秒未満	1/2 を越す面積	1/2 を越す面積の焼失
可燃性	あり	あり	多い	炎が試験片の上端を超える	30 秒以上	60 秒以上	放置すればほとんど焼失	

3 マグネシウムのリサイクル

Mg合金は、FRPと比較して、原理的にリサイクルしやすい材料である。FRPは材質がきわめて多岐にわたるため、分別回収が難しく、また燃焼させるとダイオキシン等の有毒ガスを発生する等の問題点がある。一方で、Mg合金は、溶解により容易に原料として再生可能である。スクラップ溶湯中からの不純物除去は、相対的に重い不純物を沈降させて分離する手法等が用いられている。

4 おわりに

鉄道車両全般に関わるメンテナンスの省力化は、大きな課題であり、また社会的に循環型社会の構築が求められている。今回、車両用テーブルの材質として、難燃性Mg合金ではなく市販Mg合金を採用し、車材燃試で「不燃性」の判定であることを確認した。今後、試作したテーブルの耐荷重試験等をおこなっていく予定である。

参考文献

(1) 秋山茂，他：「難燃性マグネシウム合金の開発」，まてりあ，Vol.39，No.1，72-74，(2000)
(2) 「鉄道車両新指導書－車両用材料編－」，343，(2002)，社団法人日本鉄道車両機械技術協会

著者紹介



橋本健司
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



石川 武
博士（工学）
生産本部
技術部（接合技術センター）課長



松村 寛
生産本部
技術部（車体設計）主任技師

「革新的新構造材料等技術開発」プロジェクトへの取り組み ー車両構体へのマグネシウム合金の適用を目指してー

生産本部 技術部

1 はじめに

近年の高速車両には、①更なる高速化、②車両振動の低減、③車内・車外騒音の低減等、さまざまな要求がある。また、世界的な地球環境問題を背景として、鉄道車両システムにも更なる省エネルギー化が求められており、当社としてもその要求に応えるべく、高速車両の研究開発をおこなっている。本報では、当社の取り組みについて紹介する。

2 高速車両の軽量化

現在、我が国で製造される高速車両構体は全てアルミニウム (Al) 合金製である。初期の高速車両 (例えば0系新幹線) 構体は普通鋼 (Fe) 製であった。Alの比重は 2.7g/cm^3 、Feは 7.8g/cm^3 であり、Al合金製構体の登場は、軽量化に大きく寄与した。図1に営業最高速度と車両質量の関係を示す。1軸あたりの重量 (軸重) が営業最高速度の増加に伴い、減少傾向にあることがわかる。つまり、高速化に伴って車両質量は大幅に軽量化されていると言える。また、この軽量化は省エネルギー化、沿線地盤振動の低減、軌道保守費の低減などに寄与したと考えられる。

また、Al合金製構体の普及の大きな要因として、ダブルスキン押出型材の登場がある。本押出型材の登場により、車両構造の簡素化が可能となり、生産工数の短縮に大きく寄与する結果となった。

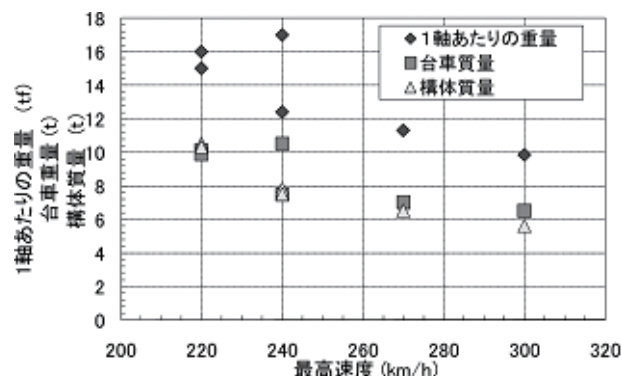


図1 新幹線の営業最高速度と車両質量の関係⁽¹⁾

3 「マグネシウム合金高速車両構体実用化技術委員会」の概要

タイトルに示す「革新的新構造材料等技術開発」プロジェクトの解説をする前に、「マグネシウム合金高速車両構体実用化 技術委員会」について触れる。2010年から活動を開始した本委員会は、JR各社、鉄道総研、大学・公的研究機関、素材メーカ、車両メーカ各社が参画しており、現在で49団体100名超 (2013年8月現在) にのぼる。本委員会は、次世代構造部材として注目を浴びる“難燃性マグネシウム (Mg) 合金”を車両構体へ応用することを目標として活動をおこなっている。難燃性Mg合金は、(社)日本鉄道車両機械技術協会が実施する鉄道車両用材料燃焼試験で、「不燃性」の区分を取得している。

3. 1 難燃性Mg合金の諸特性と難燃化機構

Mgは、その比重がFeの4分の1、Alの3分の2であり、実用金属の中で最も軽量で、リサイクル性にも優れた金属である。しかしながら、Mgは発火するので、実用化の障壁となっていた。

そのような中、1990年代後半に、市販合金にカルシウム (Ca) を添加すると発火温度が $200\sim 300^\circ\text{C}$ 程度上昇することが日本の産業技術総合研究所で見出された。この発見が契機になり、難燃性Mg合金が次世代構造部材として注目されるようになり、世界各国で国をあげた開発プロジェクトが盛んにおこなわれている。図2にCa

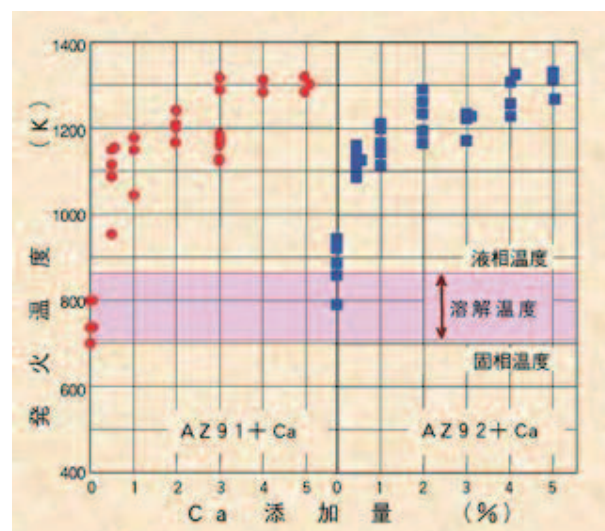


図2 Ca添加量と発火温度の関係⁽²⁾

添加量が発火温度に及ぼす影響について調査された結果を示す。この結果からわかるように、Ca添加量が増加するに従い、発火温度は上昇する傾向にある。なぜCaを添加すると、難燃化が起きるかという問題は非常に興味深いところである。これまでの研究で、Ca添加により金属表面に緻密な酸化膜が形成され、酸化燃焼を防止する保護膜の役割を果たすことで難燃化が起きることが明らかになっている。この難燃性Mg合金は、すでに国内の高速車両部品、例えば荷棚受けなどに採用されている。

3. 2 委員会の体制

委員会は、車両分科会と材料分科会から構成されている。各分科会の取り組みについて概要を述べる。

(1) 車両分科会

車両分科会は、接合WG、表面処理WG、安全性WGで構成される。

接合WGでは、当社を中心に各種接合技術（TIG溶接、MIG溶接、FSW）の確立を目指して取り組んでいる。これまでの取り組みにより、合金組成（AMX602、AZX612等）によって継手効率が異なることを明らかにし、最適な溶接施工条件が少しずつ見出せつつある。しかし、板厚や溶接電流等が溶接品質に及ぼす影響については今のところ不明である。

表面処理WGでは、母材と表面処理材を対象として、実環境を想定した暴露試験および腐食促進試験（加速試験）を実施し、耐食性の評価をおこなっている。また、評価結果をフィードバックすることで、最適な表面処理技術の確立を目指し、取り組みをおこなっている。

安全性WGでは、構体製作時に想定される部材運搬、保管、加工、補修、廃棄等の各プロセスにおいて、Al合金と同様に扱ってよいかについて議論をおこなっている。

(2) 材料分科会

材料分科会は、型材WG、板材WGで構成され、共に車両部材として最適な材料開発およびその製造プロセス開発をおこなっている。図3に示すように、現在のAl合金製の屋根・側構体には中強度押出材であるA6N01合金（Al-Mg-Si）が使用される。一方、信頼性が求められる台枠には、高強度材であるA7N01合金（Al-Zn-Mg）が使用されている。難燃性Mg合金の場合も同様で、車両構体を組み上げるためには、中強度材・高強度材の開発が必要となる。これまでの取り組みにより、型材・板材に対する最適な合金組成の割合が見出せつつあるが、課題はまだ多い。当面の課題は、いかに高速押出を実現させるかと、高強度材を作り込めるかという点である。

4 「革新的新構造材料等技術開発」プロジェクトの概要

2013年度に経済産業省から本プロジェクトについて公募があった。本プロジェクトは、「未来開拓研究プロジェクト」の一環として実施するものであり、Al材、チタン材、Mg材、鋼板、CFRP等、輸送機器の主要な構造材料の高強度化等に係る技術開発と、これらの材料に適用可能な革新的接合技術の開発等を一体的に実施するという内容である。我が国の製造業の高い競争力を支えることを目的としているので、開発費は国費から支弁される。2013年度から10ヵ年計画であり、総事業費は600億円を計上している。契約は3年単位であり、毎年60億円の予算計画である。

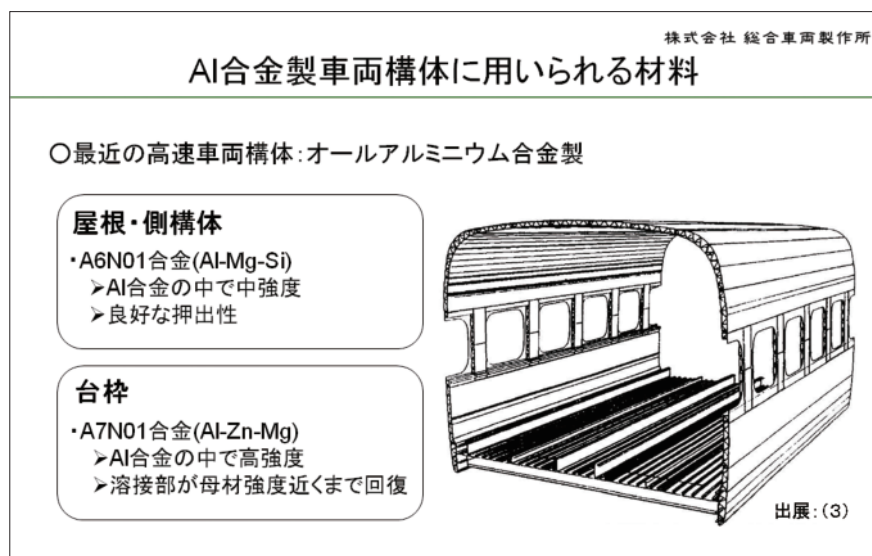


図3 最近のAl合金製車両構体の例

前述したように、当社は「マグネシウム合金高速車両構体実用化 技術委員会」で活動をおこなってきた。本委員会での活動を最大限効率良く、かつ迅速におこなうため、本プロジェクトを活用することとした。公募申請をおこなうにあたり、図4の開発体制（名称：革新的マグネシウム材技術開発グループ）を組み、申請した結果、無事に採択を受けることができた。組織は大別して、材料作製WGと信頼性評価WGで構成される。以下に、各WGについて概説する。

【材料作製WG】

合金設計及びプロセス技術の開発をおこなう。高速押出型材、高強度押出型材、高強度圧延材（薄板材）、高強度圧延材（中板・厚板材）の計4つの素型材の研究開発を実施し、「易加工性マグネシウム材」及び「高強度マグネシウム材」を開発することを目標としている。

【信頼性評価WG】

信頼性評価WGは、以下の3つのWGで構成される。

① 難燃性WG

発火温度を正確に測定するための評価技術の確立を目指す。

② 接合性WG

高い継手効率を実現するための接合技術開発と、接合部の信頼性（疲労特性、破壊靱性）を保証するための評価技術を確立する。

③ 耐食性WG

母材の耐食性および表面処理材の耐久性を保証するための評価技術の確立を目指す。また、大型展伸部材の耐食性を保証するための表面処理法を確立する。

当社は、上記の接合性WGに参画し、難燃性Mg合金を用いて車両構体を製作する際に必要となる接合技術全般（主にTIG溶接、FSW）の技術開発と、構造体の信頼性を保証するための技術開発（主に疲労特性評価）を担当している。新規材料の標準TIG溶接方法を確立するには、板厚、継手形状、溶接電流、溶接速度、電極径、溶接雰囲気等のプロセスパラメータが溶接継手品質に及ぼす影響について明らかにする必要がある。また、FSWにおいても同様に、接合ツール回転速度や接合速度等のプロセスパラメータが継手品質に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

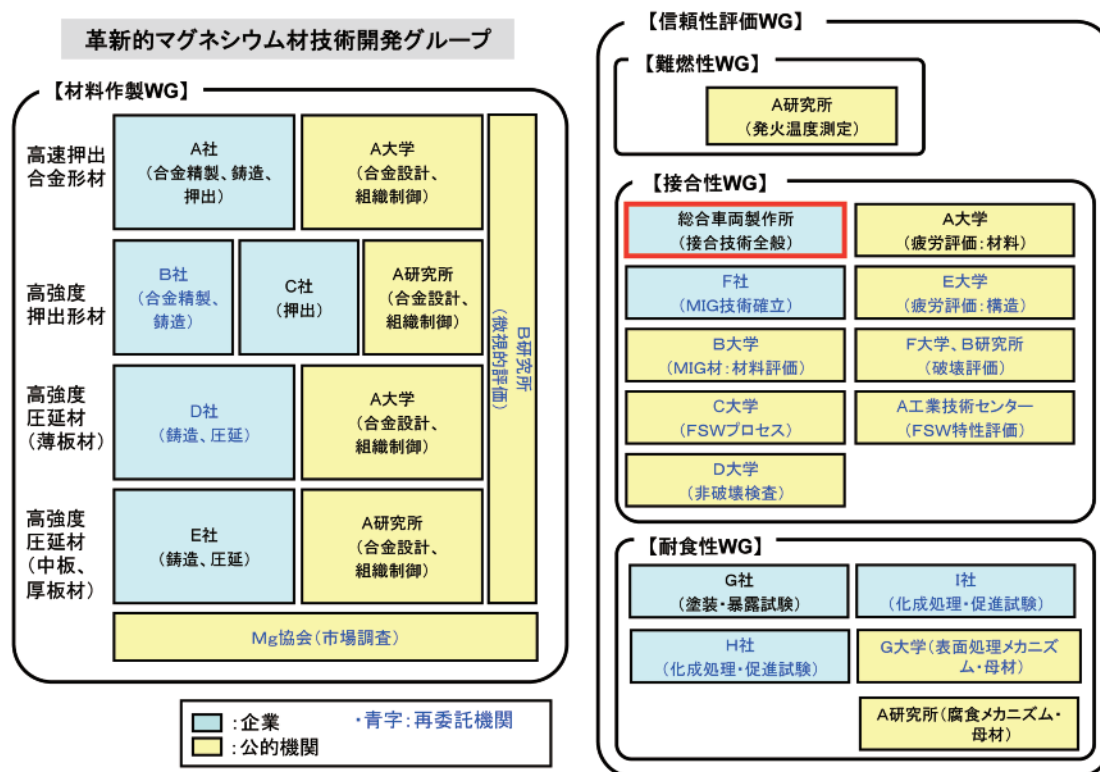


図4 革新的マグネシウム材技術開発グループ

5 国内外の研究開発動向と適用状況

航空機分野において、実用金属の中で最軽量のMgは次世代構造部材として注目を集めている。近年開発された合金は、米連邦航空局（FAA：Federal Aviation Administration）が策定中の最新の燃焼試験の基準を満たしたという報告がされている。FAAが合格という判定をすれば、世界中の民間航空機で使用が可能となる。すでに、航空機大手の米ボーイング社と国内大学の共同研究に関する協議が開始している。

鉄道車両分野においては、前述したようにすでに難燃性Mgが高速車両部品（荷棚受け）に採用されており、航空機分野と比較して適用状況は進んでいると言える。しかし、構体部材としての応用を目指すには押出材や圧延材などの展伸材の開発が必須となる。図5に示すように、近年、日本の鉄道総合技術研究所にて、難燃性Mg合金のダブルスキン形材を試作したという報告がされ、Mg合金製構体の具現化に弾みがついた。

自動車分野については、燃費性能の向上のため、軽量化は最重点課題として位置づけられている。したがって、Mgの利用研究は他業界と比較して先進しているのが現状である。環境負荷低減効果に優れたMg材料はいち早く注目され、ヨーロッパや米国において国家政策として大規模におこなわれている。EUの「EUCARプロジェクト」やドイツの「SFB390プロジェクト」、米国の「USCARプロジェクト」等が広く知られており、すでにエンジンブロックの一部や、コックピットモジュール等に採用実績がある。

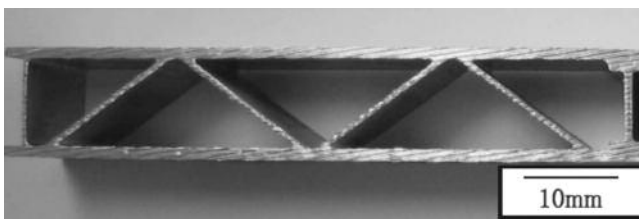


図5 難燃性Mg合金のダブルスキン形材（断面外観）⁽⁴⁾

6 おわりに

我が国の高速車両の国際競争力を維持するためには、冒頭で示した高速車両のニーズに応えることが必要となる。しかし、車両軽量化は、一般に剛性低下を招くので振動乗り心地の点で、また軽量性そのものが車内騒音の点で不利な要素を含んでいる。したがって、難燃性Mg合金の特徴である軽量性、高比強度・比剛性、高振動吸収性を活かした車両構造の検討が必要である。当社の取り組みが、その一助になればと考える。

（石川武，橋本健司 記）

参考文献

- (1) 鈴木康文：「アルミニウム合金による鉄道車両の軽量化と今後の課題」，軽金属，Vol.60，No.11，565-570，（2010）
- (2) 産総研 中部センターHPより
- (3) 溶接・接合便覧，溶接学会編，1282，丸善
- (4) 森久史，他：「難燃性マグネシウム合金の加工性評価」，鉄道総研報告，Vol.25，No.10，35-38，（2011）

安全文化の浸透に向けた取り組み

経営管理本部 安全企画部

1 はじめに

JR東日本グループでは、安全を経営の最重要課題ととらえ2009年4月からお客さまの死傷事故ゼロ、社員（グループ会社・パートナー会社社員を含む）の死亡事故ゼロを目指し、現在5回目となる安全5ヵ年計画「安全ビジョン2013」に取り組んでいる。しかしながら当社がJR東日本グループの一員として新たに発足した矢先の2012年4月9日、和歌山事業所において、クレーンによる荷（コンテナ側板）の移動作業中、荷に溶接されていた吊り具の溶接部が剥がれたため荷が落下。クレーンを操作していた社員が、倒れてきた荷に挟まれ死亡した。新会社発足直後に発生したこの死亡労働災害を重く受け止め、社内の安全に関する体制強化を目的に2012年5月に安全企画室（現：安全企画部）が発足した。

我々が守るべき安全には2種類ある。1つは働いている人の命を守る労働安全、もう1つは鉄道をご利用されるお客さまの命を守る製品安全である。安全企画部ではこれら2つの安全のレベルアップを目指し、安全文化を社内に浸透させるために様々な取り組みを行ってきた。

本稿では、安全企画部がこれまで行ってきた主な取り組みを紹介する。

2 安全文化の浸透に向けた取り組み

2. 1 現状把握

安全文化の浸透に向けた取り組みを進めるにあたり、製造部門の課長、係長、班長を対象に階層別にヒアリングを行い、安全面での課題の把握を試みた。その結果、「過去の失敗が事故の未然防止に活かしていない」、「課題を自分達で解決するという事に慣れていない」、「製品安全という概念があまり浸透していない」といった課題が見えてきた。今後これらの課題を克服することに重点を置き取り組んでいくこととした。

2. 2 J-TRECの安全文化の制定

社内に我々が目指すべき安全文化とは何であるか、目指すべき方向を示すために5つの文化を定めJ-TRECの安全文化として制定した。（図1）

2. 3 知識化の推進

過去の失敗を事故の未然防止に活かしていくことを目的に、過去発生した労働災害等を洗い出し、教訓とすべ

き事柄の作業標準への反映や掲示を行い過去の失敗の知識化を進めた。また先述した和歌山事業所での死亡労働災害の風化を防止するため、4月9日を安全の日に制定し、事故の概況と知識化すべき教訓をまとめたパネルを作成し社内に掲示している。（図2）

2. 4 安全キーマン

自分達の課題は自分達で考え解決するという現場の改善力を強化するため、現場の安全活動をリードできる人材を部署ごとに選抜し、安全キーマンに任命した。安全キーマンは各部署の安全パトロールや会議の運営などの安全活動を担っている。今後は他企業見学などを教育のカリキュラムに取り込みながら、安全キーマンの更なるレベルアップを目指していく。



図1 J-TRECの安全文化

クレーン作業で死亡労働災害発生

事故の概況

- 1 発生日時 平成24年4月9日 午前9時13分頃
- 2 発生場所 和歌山事業所 B棟ハウスコンテナ組立職場
- 3 事故概要 40フィートコンテナの側板を吊上げたところ、仮設掛け金（吊りビース）の溶接部が割れ、側板（約1t）が落下した。これによりクレーン操作者が落下し、倒れた側板の下敷きとなった。救急搬送したが、その後死亡が確認された。
- 4 原因 ①吊り金具の安全使用に関するルールが定められていなかったため
②側板に仮設した吊りビースの座板と側板の溶接部の溶け込み不良により溶接強度が不足したため
③クレーン作業における基本ルールが守られなかったため
- 5 対策 強度確認された吊り具を使用する。
クレーン操作における基本動作を徹底する。
（床上操作式クレーン操作位置の注意事項参照）

教訓

治具類は安全が確認されたもの以外は使用するな！
重量物運搬作業は基本を守れ！（吊り荷の下に入らな）

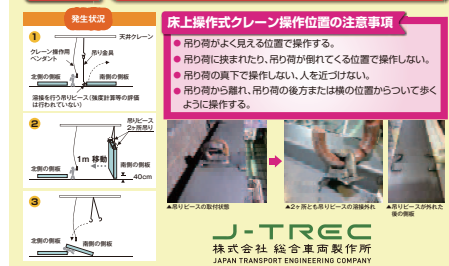


図2 和歌山事業所での死亡災害の概況および教訓を記したパネル

2. 5 安全フォーラムの開催

社員一人ひとりの安全に対する意識の向上を図り、社内の安全活動を活性化させることを目的とした新たな取り組みとして安全フォーラムを2013年6月18日に開催した。

今回の安全フォーラムでは、今まで馴染みの薄かった製品安全に対する社員の意識を向上させるため「製品安全を考える」をテーマとし、「社員意見発表」、「部外講師による講演」、「社長による講義」の構成で実施した。

社員意見発表は、より多くの社員が自らの事として安全に向き合うことを目的に行い、社員全員を対象に「製品安全を考える」というテーマの論文を募集し、応募があった中から選抜した5編の論文の発表を安全フォーラムの中で行った。

部外講師による講演は、JR東日本から安全企画部の片方主幹をお迎えし、「安全のレベルアップをめざして－自ら考え自ら行動する－」をテーマにご講演いただいた。その中で片方主幹からは、JR発足以降「守る安全」から「チャレンジする安全」へ変革していった経緯や、事実を視るということの大切さ、不断に英知と努力を尽くし高いレベルの安全を追及していこうということを我々に対し訴えられた。

社長による講義では、宮下社長が「究極の安全を目指して－製品安全を考える－」をテーマに過去発生した製品安全に関わる様々な事例をとりあげ、我々が守るべき安全の1つである製品安全がいかに我々にとって重要であるか熱く語られた。（図3）



図3 安全フォーラム（社員意見発表）の様子

2. 6 安全キャラバン

経営幹部が、三現主義で作業に立会い、現場第一線社員と直接安全に関して議論を行い、安全に対する意識の向上と風通しのよい組織づくりを目指していくための試みとして安全キャラバンを実施した。その結果、現場の

様々な課題を実感でき、また改善すべきことは分っているがなかなか行動に移せないといった会社の風土としての課題も明らかになった。今回の課題については現場にフィードバックするとともに、安全キャラバンは、今後も継続して実施していきたいと考えている。（図4）



図4 安全キャラバンの様子

3 終わりに

本稿では、安全文化を浸透させていくために安全企画部がこれまで行った主な取り組みを紹介した。安全文化が社内に根付いていくには、社員一人ひとりが安全について他人任せにせず自ら考え自ら行動するという意識を持つことが何より重要である。今後も、労働安全と製品安全の2つの安全のレベルアップを目指し様々な取り組みを行い、社員の安全はもとより鉄道をご利用されるお客さまの安全と安心に寄与していきたい。

（日高健太郎、山田彰子、坂上和孝、遠藤高史 記）

Alstom Transport社製LRT「Citadis」 —国内導入に向けたAlstom Transport社との覚書の締結—

経営管理本部 海外事業推進部



図1 ⁽¹⁾ Alstom社製LRT「Citadis」(ニース)

1 はじめに

2013年6月19日、当社はAlstom Transport社と、同社製LRTの日本市場導入について協業の覚書の締結を行なった。本稿ではそれに至った背景とLRT「Citadis」の概要について紹介する。

2 Alstom Transport社について

Alstom社の事業子会社で、鉄道関係の製品を扱い、電力関係のパワー社、グリッド社とともに、Alstom社の主要な事業社として、フランスを本拠に世界的な活動を展開している。事業領域は、LRTから高速車両にわたる鉄道車両を始め、車両メンテナンス、信号システム、及び鉄道インフラなどの製品・サービスを広くカバーしており、車両製造業としては世界でも最大手の会社の1つである。以下、Alstom Transport社とAlstom社をまとめてAlstom社と記述する。

3 覚書締結の背景～なぜAlstom？

協業の覚書の締結に至った背景に、Alstom社とのコミュニケーションの中で、実際に営業運転されているAlstom社の低床LRTを目のあたりにし、製品が非常に優れていることを実感したことがある。そこで当社のラインナップにない低床LRTをAlstom社から導入することで新しい日本市場が開かれる可能性を見出したことが発端となっている。

またJR東日本グループである当社は、JR東日本のグループ中期経営計画において、グループの事業の「第四の柱」として車両製造事業の確立を目指していく中、グローバル化を掲げている。Alstom社のLRTを日本市場に導入するならば、当社が営業的かつ技術的支援が可能であり、当社のグローバル化にも寄与するものである。

これらのことにより、Alstom社のLRTを日本市場に導入していくために両社が協力していくことが合意され、今回の協業の覚書の締結に至った。

当社は今後、Alstom社製LRTの日本市場導入に向けて、技術的協力と積極的な営業活動を展開していく予定である。



図4 「Citadis」内装（左：出入口，右：車内）

②100%低床構造車両

最近増えてきたタイプで、全床面積が低床の車両である。車軸のない台車を装備し、100%低床を実現している。図5にランス向け「Citadis」を示す。ちなみに中小都市向けに、編成長20m程度の短車長版の「Citadis Compact」が開発されている（図6）。



図5 フランス・ランス向け「Citadis」



図6⁽¹⁾ フランス・オーバーニュに導入予定の「Citadis Compact」

(2) 鉄道線直通用「Citadis Dualis」

軌道と鉄道を直通できる性能を持たせ、市の中心部から郊外の鉄道線へ直通運転ができるようにした、いわゆるトラム・トレインの一種で、「Citadis Dualis」と名づけられている。各車両に1～2台車を装備し、4両～5両で構成され、複電圧対応、鉄道信号システム対応、耐衝突性能などが備わっている。



図7⁽¹⁾ フランス・ナント向け「Citadis Dualis」

「Citadis」は専用軌道で最高速度60～70km/h、「Citadis Dualis」は鉄道線直通区間では最高速度100km/hでの走行が可能である。

4. 2 架線のないシステム

景観への配慮のため、空中の架線が必要ないシステムが用意されている。

4. 2. 1 地表給電（APS）システム（図9：次頁）

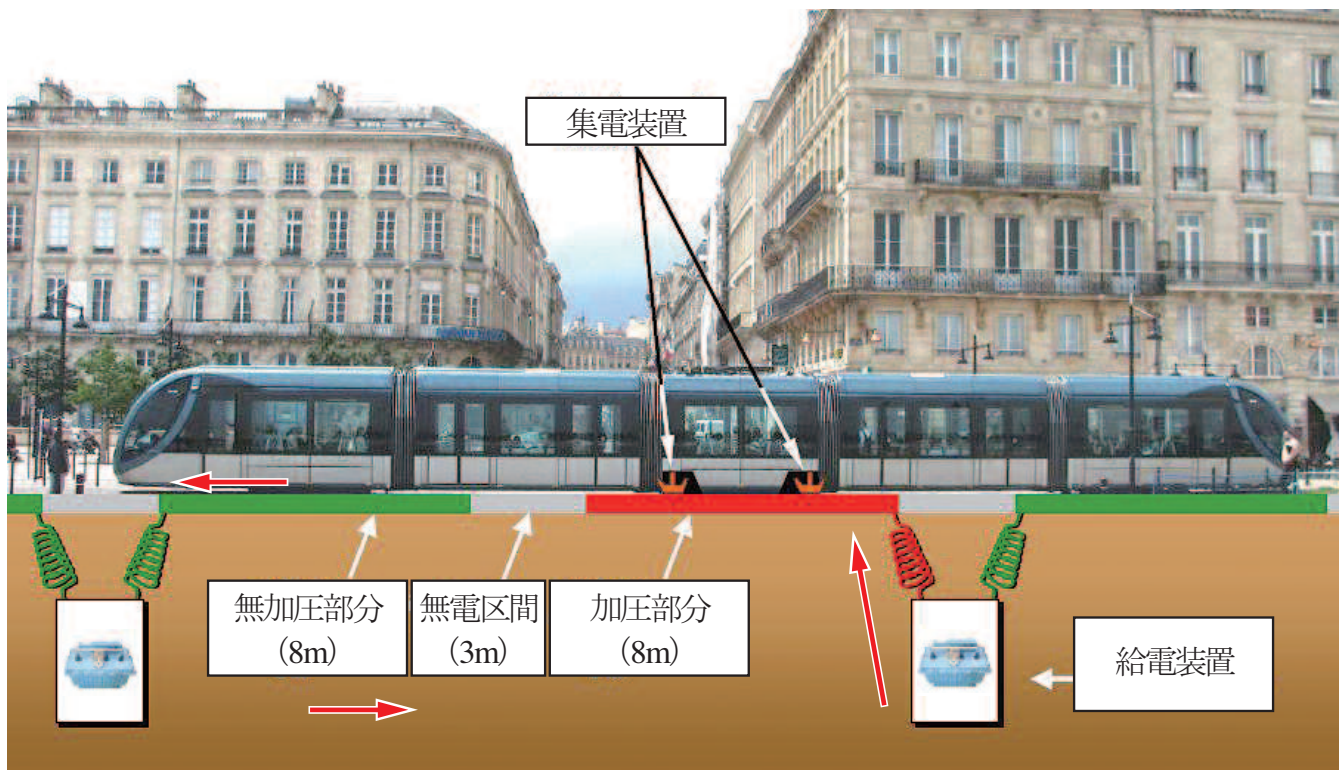
軌道中央の地表に埋め込んだレールから給電する方式で、車両の集電装置がある位置のセクションのみが加圧されるしくみである。セクション長は編成長よりかなり短く、加圧箇所が車両下に限られるため安全性は高い。フランス・ランス等で実用化されている。

4. 2. 2 車上蓄電池（Onboard Battery）（図8）

屋根上に搭載したニッケル水素蓄電池により、1km程度まで架線なしのまま運転が可能である。フランス・ニース等で実用化されている。



図8 フランス・ニース向け「Citadis」
（無架線区間）

図9⁽²⁾ APSシステムの概念

4. 2. 3 車上スーパーキャパシタ (Super Capacitor)

屋根上に搭載したスーパーキャパシタにより架線なしで運転が可能である。パリのT3線で実用化されている。

5 今後の計画

Alstom社のLRT製品はデザイン性に優れ、低床バリアフリー構造といったように利用者に使いやすく、事業者にとっても様々なオプションに対応可能な製品である。もちろん、日本市場に向けた適合化は導入への前提となる。

また、Alstom社のLRTシステムは、路線計画、線路建設、車両製造、運用、保守までをカバーしており、フルターンキーシステムとしての納入も可能である。

このような特長を踏まえ、Alstom社と協力しながら、日本市場に向けて「新たな中規模の都市輸送システム」として提案し、営業活動を展開していきたいと考えている。

(柳瀬直仁, 桜木勝茂 記)

参考文献

- (1) Alstom社資料
- (2) Alstom社資料に筆者追記

東京都交通局 10-300形電車 (3次車)

生産本部 技術部



図1 10-300形3次車 外観

1 はじめに

2010年2月に策定された東京都交通局経営計画（ステップアップ2010）にある「質の高いサービスの提供」の一環として、新宿線の輸送力を増強し混雑を緩和すること、また、2013年に8両編成3編成を10両編成の新造車両に更新することが示された。このため、2005年5月に営業運転を開始した10-300形の3次車を製作することになった。

1次車は2005年5月に営業運転を開始しており、すでに8年が経過していることから、次の車両コンセプトとした。

①お客様サービスに関わる場所は新設計とする。具体的には、車内表示器を液晶モニタ化し、お客様案内サービスの向上を図り、車内設備品の設計はユニバーサルデザインを考慮する。

②乗務員および検修員には10-300形が定着している

ことから、乗務員および検修員の扱いに関わる場所は1、2次車を踏襲する。電子機器については、品質および保守の面から最新構造を取り入れる。

③台車は、検修におけるリンクに支障のない構造とし、1、2次車と共通使用ができる構造とする。

2 構造および特徴

2. 1 車体

2. 1. 1 基本構造

構体および室内設備は、E233系2000代を設計のベースとしながら、既納車との調和を図る設計とした。

車体長さは先頭車が19710mm、中間車が19500mm、連結間隔距離はそれぞれ20150mm、20000mmと異なっている。車体断面は、1、2次車と同じ当社標準のストレート車体とし、床面高さも同じ1130mmである。

構体構造は軽量ステンレス構体であるが、既納車に対して屋根構体の垂木、側構体の各柱、台枠の横はりのそ

それぞれの位置をレール方向で一致させるリング構造を取った上で、屋根と側構体、および側構体と台枠との結合強度を強化した構造を採用した。側外板の表面処理は、清掃性の向上を目的に全てBG仕上げとした。

2. 1. 2 デザイン

外観デザインは、前面上半分を黒色、側面には帯状のラインカラーを配置し、大都会新宿をかたちづくるオフィスビルの重なりや連続感を動きのある形状の側面カラーリングで表現し、ダイナミックかつスピード感のあるデザインとした。側面のカラー帯は、引続きラインカラーであるグリーンをメインに、サブカラーとしてブルーを配置している。

室内デザインは、既納車の「シンプルでモダンなデザイン」に対して、「ナチュラルで心休まる空間」とした。具体的には、内張色を柄・つやありの白系とし、袖仕切に木目調、腰掛背ずりに紅葉や木々をイメージする黄色系を配色した。座ぶとんは、一般席をグリーン系、優先席をブルー系とし、定着しているイメージを変えないように配慮した。



図2 室内



図3 優先席部

2. 1. 3 バリアフリー化とユニバーサルデザイン

車内設備には、バリアフリー化とユニバーサルデザインの考え方を積極的に取り入れ、高齢者や身体障害者への配慮をしつつ、より多くの人にとって利用しやすい車両を目指した。

側出入口部の床敷物は出入口部を明確にする黄色とし、さらに側引戸の戸先部に黄色のフィルムを貼り付け、戸先部を明確にした。また出入口の上部には戸開閉表示灯を設置し、扉の開閉に対して注意を促すようにしている。

腰掛部にある握り棒は、立っている方にも座っている方にもつかまりやすいよう、通路側に湾曲させた円弧形としている。

両車端部に設けた優先席は、荷物棚の高さを従来よりも62mm下げ、さらにどの席からも握り棒が利用できるように本数を追加した上で、滑り止めの凹凸加工と黄色の着色を行っている。

2. 1. 4 室内設備

腰掛は、座り心地向上のためにSばね方式を採用し、さらに座席幅を10mm拡大した460mm、座席高さを10mm低くした420mmとし、利用しやすくした。

また側窓には熱線と紫外線を吸収する機能に加え、赤外線を吸収する機能を持ったガラスを用い、また側引戸のガラスには複層ガラスを用いることで、室内環境の改善を図った。

2. 2 ギ装

2. 2. 1 床下機器配置

Tc0、Tc9車に保安装置や蓄電池などを装備している。3次車では納車時より京王ATC装置と関連機器を装備している（既存車は納車後、改造している）。また、第1編成はTc0車、第2、第3編成はTc9車にレール塗油装置を装備している。

M1、M3、M7車にVVVF制御装置、フィルタリアクトル、断流器など走行に必要な主要機器を配置している。VVVF制御装置は1、2次車の一部M車で存在した1C4M×1群構成は、全て1C4M×2群構成となり、主回路方式は3レベルインバータより2レベルとして部品点数の削減、装置小型化を図った。また、TIMSとのI/Fを2重系として信頼性を向上している。M2、M8車に補助電源装置として静止形インバータ装置、トランスフィルタ箱を装備しており、容量は210KVAより260KVAに容量を増加している。

また、空気源装置として電動空気圧縮機を装備してい

る。各機器の配置は既存車のメンテナンスサイドを踏襲した配置で、台枠の横はり下面に直接機器を取付ける「直吊り」方式を多用し軽量化に寄与している。

2. 2. 2 屋根上機器

空調装置は、E233系同様で、48.84kW（42,000kcal/h）から58.14kW（50,000kcal/h）に変更し、冷房能力を増加させている。

Tc0、Tc9車の先頭部にSR列車無線アンテナを装備している。

M1、M3、M7車の両妻部にそれぞれ避雷器直接取付のシングルアーム式パンタグラフを配置している。パンタ下げ回路については、バッテリー放電時に下げ固定となる対策として、電磁弁をVM14→VM13として、上げ定位の構成に変更している。

2. 2. 3 室内機器

側引戸上部の各かもし部には、お客様への情報提供装置として17インチLCD画面（1画面）を備えている。なお、今後の情報提供サービスの向上のため各かもし部のLCD画面の2画面化が容易に出来る様に準備工事を施している。情報提供用LCD画面へのデータを変換しているメディア端末装置は、天井部のスペースを有効かつ室内の見付けに影響の少ない軸流ファンで使用するスペースに収めながらメンテナンス性も考慮し装備している。

近年の省エネとエコの考えから3次車の室内灯を蛍光灯から新開発のLED灯（40W相当）とした。取付に関しては1次車からの蛍光灯からの完全互換性も考慮し車両用電気品としての基準や耐溶融滴下性対策にも対応した物としている。

非常通報器は、通話式とし既存車の配置を踏襲している。



図4 情報提供装置

2. 2. 4 運転室機器

運転台ユニットは1次車からのTIMS表示器に加えて、操作性・視認性の向上のため、各計器類や表示灯、および旧TNS情報をLCD画面で表示するグラスコックピット方式を採用した。画面配置は、計器盤に向かって左側よりNO.1メータ表示器、TIMS表示器、NO.2メータ表示器となっている。

主に各計器、ブレーキ表示灯情報はNO.1メータ表示器にて表示し、都交殿、京王殿保安表示灯はNO.2メータ表示器にて走行区間に応じて切り替わって表示される。

また、TIMSは伝送速度を1、2次車の2.5Mbpsより10Mbpsとして、機能拡張に対応している。

前面行先表示器はE233系ベースのフルカラータイプであるが、標識灯については尾灯の約1/3のスペースを使って表示する構成とした。Tc0車には背面ユニット内に情報提供送受信装置、背面上部に同メディア中央装置、計器盤後ろの窓部にはFOMAアンテナを搭載する。



図5 TIMS画面とメータ表示器

運転席前面の日除けは、3次車よりフリーストップ式のカーテンとした。なお、カーテンの巻きばねが壊れた場合を想定し、カーテンを上部で固定するバンドをカーテン自体に装備した物としている。

運転室右側面にメンテナンス時に現車の状態を容易に確認するため直流電圧計を追加配置している。

乗務員腰掛は、1、2次車より、ほつれ難い縫製を施している。

2. 3 台車、駆動装置

台車はボルスタレス台車で、既存の1次車と基本構造・仕様は同じである。1次車と異なる点は、M4車の車体質量が軽いため、T車用の軸ばねを用いたT-10BA台車をM4車専用の新規製作した点と、10-300R形の台車同

様のレール塗油装置を搭載したT-10G台車を新規製作した点である。



図6 台車

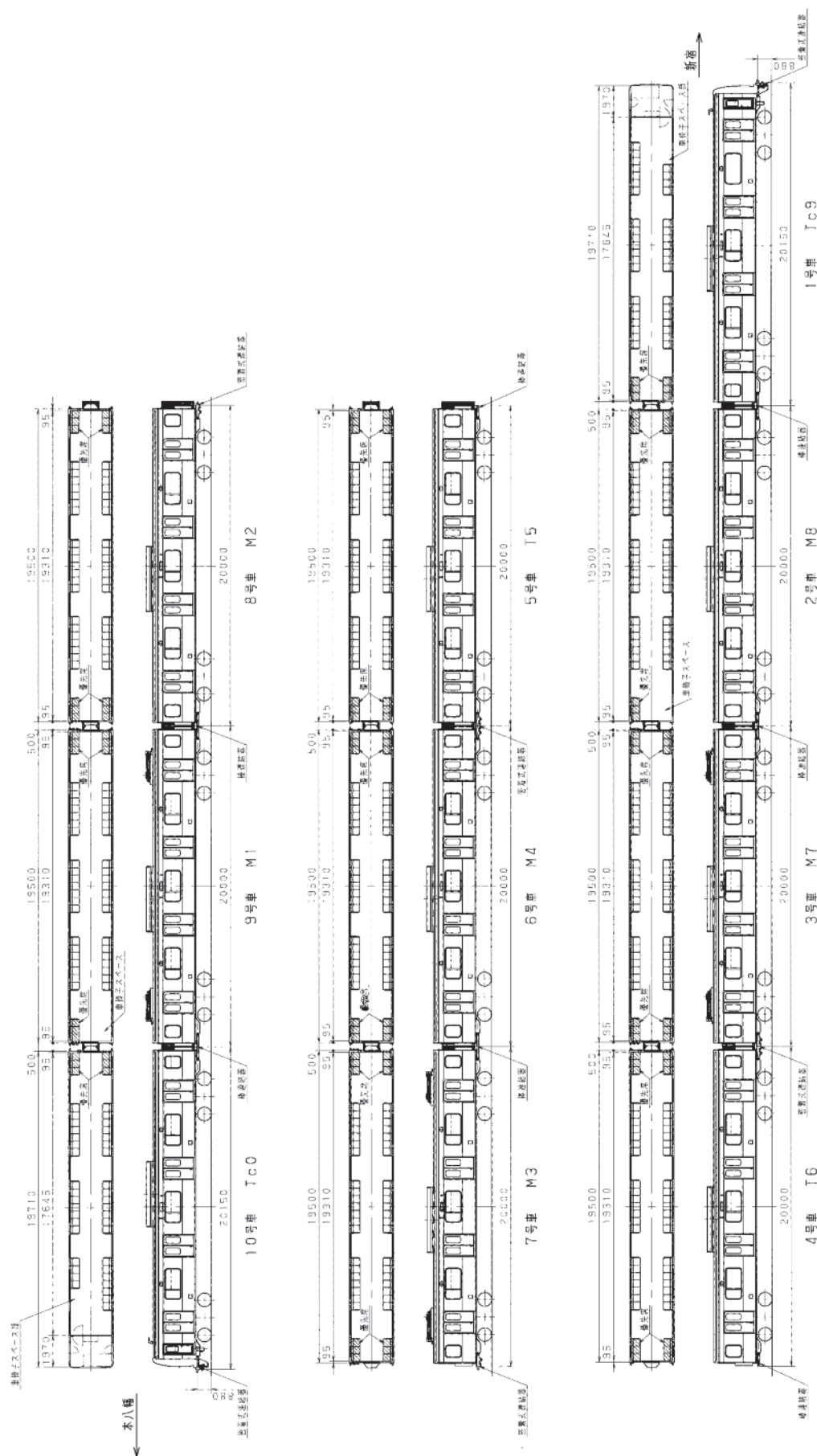
3 おわりに

10-300形3次車は、東京都交通局殿への搬入後、各種検査、試験、および訓練運転を行った後、2013年9月15日から営業運転を開始している。

(藤澤朝岐，半田直一，横山大雅，中西俊輔 記)

表1 主要諸元表

項 目	諸 元										←本八幡 新宿→
編 成 と 車 種	< > < > < > Tc0(10) M1(9) M2(8) M3(7) M4(6) T5(5) T6(4) M7(3) M8(2) Tc9(1)										
	／										
	定員(内座席)	132(45)	144(54)	144(54)	144(54)	144(54)	144(54)	144(54)	144(54)	145(51)	132(45)
	質 量	29.4t	31.3t	31.0t	31.3t	28.0t	25.2t	25.2t	31.3t	31.0t	29.4t
最大寸法	長さ	20150mm		20000mm							20150mm
	幅	2790mm(雨樋部)									
	高さ	4085mm(バンタ折りたたみ時) [M1, M3, M7]									
用 途	普通鉄道旅客車(通勤車)										
車 種	オールステンレス鋼製2軸ボギー連接電車										
電気方式・軌間	DC1500V架空電車線式・1372mm										
集 電 装 置	ステンレス製シングルアーム、ばね上昇空気下降式										
制 御 装 置	VVVFインバータ、応荷重連動、回生ブレーキ付 1C4M×2群 [M1, M3, M7]										
ブ レ ー キ 装 置	ATC装置連動応荷重装置付電空併用電気指令式電磁直通ブレーキ 耐雪ブレーキ T台車(踏面併用1軸ディスク) M台車(踏面片押式)										
台 車 構 造	空気ばね・ボルスタレス台車										
台 車 形 式	T-10C T-10G(D)	T-10B	T-10A	T-10D	T-10B	T-10C T-10D(G)					
主 電 動 機	3相かご形誘導電動機 95kW×4台/両										
低 電 圧 電 源 装 置	静止形インバータ方式(SIV)260kVA										
蓄 電 池	アルカリ蓄電池 100Ah/5HR (補助蓄電池2.2Ah/20HR)										
空 気 圧 縮 機	3相誘導電動機駆動1段圧縮スクュー式 1500L/min										
冷 房 装 置	集中式 58.14kW(50000kcal/h)×1台/両										
暖 房 装 置	客室:2段階切換式シーズ線ヒータ、運転室:ファンヒータ										
戸閉め装置	側 扉	スクュー駆動両開き式電気式ドアエンジン									
	仕切扉	手動(重力式自動閉機能付)									
信号保安装置	高周波連続誘導式ATC装置(車内信号付)										
列車無線装置	空間波無線方式										
車両情報管理装置	TIMS(制御指令、車上検査機能付)										
表 示 装 置	車外:正面行先表示器(フルカラーLED式)、側面行先表示器(フルカラーLED式) 車内:情報提供装置(LCD, 1画面)										
照 明 装 置	客室灯LED照明:40W相当 運転室灯LED照明:20W相当										
前 尾 灯	前照灯:200/150Wハロゲンシールドビーム 尾灯:LED赤										
放 送 装 置	音声合成自動放送装置、分散式、車内・車外スピーカ、運転士マイク 最高運転速度 120km/h, 加速度 0.92m/s (3.3km/h/s)										
車 両 性 能	常用減速度 1.11m/s(4.0km/h/s)、非常・保安減速度 1.3m/s (4.5km/h/s)										



東急電鉄 5050系4000番台 Shibuya Hikarie号

生産本部 技術部



図1 製品外観

1 はじめに

東急電鉄では、2012年4月に渋谷の東急文化会館跡地に開業した複合商業施設「渋谷ヒカリエ」の1周年記念プロモーションとして、5050系4000番台の特別仕様車「Shibuya Hikarie号」を新造した。バリエーション豊かなインテリアと快適な車内環境などを備え、東急東横線だけではなく、直通している東京メトロ副都心線、東武東上線、西武池袋線、横浜高速鉄道みなとみらい線内でも「渋谷ヒカリエ」の魅力をPRすべく、2013年4月より運用を開始している。

2 構造および特徴

2. 1 車体

2. 1. 1 基本構造

編成は、従来の5050系4000番台と同じ10両の固定編成(5M5T)である。

車体断面幅は、従来の5050系4000番台から20mm狭い

2800mmとして5000系・5080系と同一としており、田園都市線をはじめとした東急線内への乗り入れが可能となっている。

2. 1. 2 デザイン

エクステリアデザインは、「渋谷ヒカリエ」をイメージしたゴールドをメインカラーとし、「渋谷ヒカリエ」など、渋谷を代表するビルの外観をデザインしたラッピングを施した。この色彩は、「渋谷ヒカリエ」のブランドアイデンティティによって定められている色彩であり、「渋谷ヒカリエ」との一体感を強調するために採用したものである。また、「渋谷の地下から新たな地へと、その可能性を切りひらく」というメッセージをこめて、閃光が走るようなシャープなデザインとしている。

なお、ビル群デザインが屋外広告物に当たる可能性があったため、屋外広告物条例にのっとり、該当部分の総面積が車両側面および車両正面の1/10以内におさまるよう配慮した。

インテリアにおいては、渋谷という街の特徴（様々な魅力が集まり、大きなエネルギー・新たな文化を発信し続ける街）を「アクティブ」「シック」「クリア」といったキーワードに置き換え、多彩な施設で構成される「渋谷ヒカリエ」の特徴と、多くの魅力が混在しているという渋谷らしさを様々なカラーを使った3種類の内装デザインを用いて表現した。「アクティブ」は、渋谷の街が持つエネルギーでアクティブなイメージや、ショッピングエリア「ShinQs」のにぎやかで活発なイメージを採り入れた内装で、色とりどりの吊手や天井が織り成すハーモニがクリエイティブな空間を醸し出すデザインである（2, 4, 6, 9号車）。「シック」は、未知なる宇宙や未来をも連想させる「東急シアターオーブ」の内装をモチーフとした、シックで格調のある落ち着いたイメージを採り入れたデザインである（5, 7号車）。「クリア」は、「渋谷ヒカリエ」の外観やオフィスゾーンの持つ透明感を表現した、すっきりとしたデザインである（1, 3, 8, 10号車）。



図2 室内「アクティブ（2, 4, 6, 9号車）」



図3 室内「シック（5, 7号車）」



図4 室内「クリア（1, 3, 8, 10号車）」

2. 1. 3 車内設備

腰掛は、通常の車両よりも背もたれを高くするとともに、座面も10mm厚くすることで座り心地にこだわった仕様とした。柄は、ランダムストライプとカラフルな矩形模様を散りばめることで、渋谷の特徴である多様性を表現したデザインとした。また、ハイバック仕様とすることで生じた窓きせとの段差を少なくするためふさぎ板を設け、ゴミの置き去りを防止するとともに車外に向け「TOKYU LINE」標記を掲出した。



図5 腰掛



図6 ふさぎ部の「TOKYU LINE」標記

袖仕切は、透明感のある大型の袖仕切とし、内部に広告を挿し込める仕様とした。ゴミやほこりが袖仕切内部に蓄積されることや乗客のいたづらなどを防ぐため、袖仕切下部から広告を挿入する構造とした。

床敷物は、デザインのキーワードである多様性を表現した切り替えパターンとし、キラキラと光る粒子を練りこんだ床敷物を採用した。

吊手は、従来車と異なる丸形吊手を採用した。「アクティブ」は、萌黄色、茶、黒、グレー、緑、紺、白、赤で、「クリア」は、紺と白を交互に配置し、「シック」は、紺一色とした。

また、「アクティブ」においては、側天上部に色とりどりの板を取り付け、にぎやかなデザインとした。



図7 カラフルな吊手と天井

手すりは、ランダムシャワー仕上げという凹凸のある仕上げとし、滑り止め機能を持たせるとともに、しっとりと落ち着いた表情を付加した。また、編成に1箇所だけ、キラリと光るハートマークを刻印し、「見付けると幸せになれるかもしれない」というメッセージをこめて、乗客に対するエンタテインメント性を持たせた。



図8 手すりのハートマーク

2. 2 ギ装

2. 2. 1 前照灯

前照灯はLED式を採用し、省電力・長寿命仕様とした。従来のHID式の代替として、回路をそのまま利用できるよう配慮した設計とした。



図9 LED前照灯

2. 2. 2 室内機器

天井灯は、近年広がりを見せているLED照明を採用し、省電力化と環境負荷の低減を図った。

各車にWi-Fiアンテナを設置し、車内でWi-Fi対応機器による高速インターネット通信が利用可能となっている。先頭車は運客仕切り上部に、中間車はロールフィルタ点検ふた部に設置した。



図10 LED照明とWi-Fiアンテナ

3 おわりに

今回、「Shibuya Hikarie号」の製作に当たり東急電鉄殿をはじめ関係各所から多大なご指導・ご鞭撻をいただいた。本稿の紙面を借りて謝辞を申し上げる。

(横川浩大、根本直 記)

表1 主要諸元表

5050系4000番台Shibuya Hikarie号 主要諸元表																		
← 渋谷 4110 Tc2 4210 M2' 4310 M1 4410 T3 4510 T2 4610 M 4710 T1 4810 M2 4910 M1' 4010 Tc1 ○○ ○○ ●● ●● ●● ●● ○○ ○○ ○○ ○○ ●● ●● ○○ ○○ ●● ●● ●● ●● ○○ ○○ 横浜 →																		
形式	クハ4100	デハ4200	デハ4300	サハ4400	サハ4500	デハ4600	サハ4700	デハ4800	デハ4900	クハ4000								
種別	Tc2	M2'	M1	T3	T2	M	T1	M2	M1'	Tc1								
自重	28 t	33 t	33.7 t	25.4 t	25.4 t	32.2 t	25.8 t	33 t	33.6 t	27.8 t								
定員	139名	150名	150名	150名	150名	150名	150名	150名	150名	139名								
車種	オールステンレス鋼製2軸ボギー制御電動車																	
最大寸法	長さ20000mm(先頭車 20200)×幅2800mm×高さ4050mm(パンタ折畳高4050) 床面高さ1130mm																	
軌間	1067mm																	
電気方式	直流1500V 架空電車線方式 最大入力電流5121A(主回路電流4821A 補助電流300A)																	
車両性能	設計最高速度:120km/h 加速度:3.3km/h/s 減速度:3.5km/h/s(常用)4.5km/h/s(非常)																	
集電装置	シングルアーム式(電磁かぎ外し・ばね上昇/空気下降式) M1/M1' 各2台 M1台																	
台車	M台車	TS-1019A	ボルスタレス式空気ばね台車 軸梁式軸箱支持 Zリンク式牽引装置 軸距 2100mm															
	T台車	TS-1020A																
基礎ブレーキ装置	ユニットブレーキ(自動隙間調整機能付)																	
駆動装置	中実軸平行カルダンTD継手式 CFRPたわみ板式 ギヤ比87/14=6.21																	
主電動機	TKM-99	三相交流かご形誘導電動機 一時間定格 190kW 1100V 128A 62Hz 1825rpm																
制御装置	ワンハンドル力行ブレーキ制御器 IGBT-VVVFインバータ(全電気ブレーキ付) 1C8M×2(M1/M1')および1C4M×1(M)																	
制動装置	HRDA-2 電気指令式電空併用ブレーキ(回生付) 遅れ込め付 台車中継弁(フラット防止装置内蔵)付																	
補助電源装置	IGBT静止形インバータ 250kVA 出力3相AC440V(M2) 整流装置出力DC100V/DC24V 各車トランス出力AC100V																	
蓄電池	焼結式アルカリ蓄電池 DC100V/60Ah DC24V/30Ah (M2/T1/M2')																	
電動空気圧縮機	スクロール式電動空気圧縮機 AC440V 1600ℓ/min (T1/T2/T3)																	
戸閉装置	電磁空気式ベルト連動両開(ドアロック、戸挟み制御付)																	
点灯装置	LED式室内照明:AC254V/40W 20本(中間車) 18本(先頭車) DC100V/40W 4本(予備灯兼用)																	
	前照灯:LED DC100V 全光時32.2W/減光時16.1W 2灯 尾灯:LED 2灯 乗務員室灯:LED DC100V/20W 1本																	
連結装置	自動連結器(先頭) 固定棒連結器(中間) 緩衝器 NRW-60																	
保安装置	ATC-P/S装置(東武ATS装置・西武ATS装置内蔵)																	
空調装置	エアコン	冷房:61.05kW(52500kcal/h) 暖房23.0kW 集中形 冷媒 R407C使用 ヒータ・送風器ともにマイコン制御(除湿運転、温風暖房運転可)																
	ヒータ	室内:シーズワイヤ形 座席下 400W/800W 車イススペース 250W 乗務員室:温風ヒータ 900W シーズワイヤ 200W																
	送風機	ラインフローファン(強・弱・微切替機能付) AC100V/51W 1670rpm 各車10台																
放送装置	自動音量調整機能付 自動放送・車外放送可能																	
非常通報装置	乗客と乗員の通話可能なシステム:各車4台 遠隔/個別リセット機能付																	
無線装置	個別選択式空間波無線 防護発報・非常発報付 誘導無線 非常発報付																	
列車情報装置	車上子Tc2取付 車両情報装置による列車情報の設定																	
車外表示装置	正面/側面種別・フルカラーLED表示式 正面/側面先行・白色LED表示式 運行番号・LED表示式																	
車内表示装置	デジタルTIP 17インチ表示器 各車16台																	
車両情報装置	制御指令伝送機能/各種モニタ検査機能 モニタ⇄対象機器間伝送 RS-485または20mAカレントループ伝送																	



図11 編成図

JR東日本 E233系7000代 一般形直流電車

生産本部 技術部



図1 E233系7000代 外観

1 はじめに

JR東日本では、「故障に強い車両（輸送障害の低減）」、「人に優しい車両」、「情報案内や車両性能の向上」、「車体強度の向上」をコンセプトとしたE233系一般形直流電車を2006年から投入し、中央快速線、青梅・五日市線、京浜東北・根岸線、東海道線、常磐緩行線、京葉線、宇都宮線、高崎線で順次営業運転を開始している。

このたび2011年度に埼京線は、「サービス品質よくするプロジェクト」として沿線モニタ調査を行った結果、車内の過ごしやすさについてのご意見が多く、205系をE233系7000代に置換えることで、さらなるサービスの向上について進めることになった。

設計は新津車両製作所（新津）が主体となって進め、

それをもとに当社が製作した。2013年6月から順次導入し、10両固定編成を31編成、合計310両を製造した。（新津製210両、当社製100両。）

以下に、E233系7000代の概要を紹介する。

2 構造および特長

2. 1 車体

2. 1. 1 基本構造

編成は10両固定編成（6M4T）とし、車種構成はE233系5000代（京葉線）と同じにした。205系で採用していた6扉車は編成に存在しない。

車体は、E231系を基本とした軽量ステンレス構体でE233系0代（中央快速）、1000代（京浜東北）、3000代（東海道）と同様、車体強度の向上を図っている。外板

表面処理も、吹寄部をダルフィニッシュ、その他の幕部と腰部に配した路線カラー（緑15号）のカラー帯を側引戸にも連続させたことにより、E231系とは異なったイメージを持たせている。

車体幅は混雑緩和の為、2950mmの拡幅車体を踏襲し、すそ絞り断面となっている。また乗務員室側構体の塗装箇所を吹寄部と同じダルフィニッシュ材とし、無塗装化にすることで外観とメンテナンスを向上させた。

床面高さは、ホームとの段差を極力小さくした1130mmとし、埼京線の従来車よりも乗降性などのバリアフリー性を高めている。

車体長さは、先頭車が19570mm、中間車が19500mmであるため、連結間距離はそれぞれ20000mmに統一している。

先頭車はE217系より採用されている衝撃吸収構造として、クラッシュブルゾーンと衝撃吸収機構を設けた連結器で衝突エネルギーを吸収することにより、サバイバルゾーンとして設定した運転席に居る乗務員や客室に居る乗客の安全を確保している。

2. 1. 2 車内設備

室内は、E233系シリーズ同様に「人に優しい車両」のコンセプトを実現するため明るいデザインで統一されている。各所にユニバーサルデザインの考え方を積極的に取り入れ、高齢者や身体障害者のみならず様々な背の高さの乗客にとっても利用しやすい車両を目指した。

室内灯は全車、蛍光灯から環境にやさしいLED照明に変更している。その他に防犯カメラを、1号車先頭寄り側出入口4箇所の天井パネル表面に設置している。



図2 防犯カメラ

吊手や荷棚は、各車両の車端部と大崎寄りの先頭車（女性専用車）の高さを、他の一般部よりも50mm低くすることで利用者への選択性をもたせ、使いやすさを向上させている。

腰掛の前にある握り棒は、通路に立っている乗客にも座っている乗客にも握りやすいよう、通路側に湾曲させた形状としている。



図3 室内

優先席部は、一般部と内張・床敷物・吊手・握り棒・袖仕切板の色を変えることにより優先席の存在を顕在化し、利用者がより利用しやすいよう配慮をした。前述のとおり、吊手や荷棚の高さを一般部より低くするとともに、腰掛前の握り棒は着色と併せ滑り止めの凹凸があるものとし、さらにどの席からでも使用できるよう本数を追加している。



図4 優先席部

車いすスペースは、E233系拡幅車と同様に両先頭車に設けている。当該部位は非常通報器を側へ配置するなど、周囲の設備品も車いすでも扱いやすいよう配慮している。

腰掛は厚みのあるふとんとクッション配置の工夫によりE231系やE531系よりもさらに座り心地の向上を実現した従来のE233系と同じ腰掛を採用した。構造は、片持式のバケットタイプで、表地柄はラインカラーと同じ緑色ベースのニットを採用し、湘南新宿ラインとの区別がつくよう配慮している。座席幅は460mmとし、E231系より拡大している。また、部品の共通化を図り、優先席の座ぶとんや座面用のSばねを2種類から1種類にした。



図5 車いすスペース

天井の空調風道はFRP製からアルミ製に素材を見直すことで、軽量化を図るとともに材料入手の選択性をもたせた。ロールフィルタ装置には、集塵機能と脱臭機能を持った空気清浄機を取り付けた。

側窓は、下降窓と固定窓の組み合わせとし、熱線吸収、紫外線・赤外線カット機能などを持つ高機能ガラスを用い、快適な室内空間を提供している。

側引戸は内板を室内と同色の化粧板として暖かみのあるデザインを実現するとともに、戸先部の黄色のラインと黄色の滑り止め床敷物により、出入口部の視認性を良くしている。また、点字名板には注意喚起の文言を追記した。引戸窓は複層ガラスとし、断熱性能向上による結露の防止を図った。

妻貫通路には自動閉タイプの妻引戸装置を設けた。妻引戸も側引戸と同様室内側を化粧板とし、デザイン性を高めている。

6号車の床下には停電時などの非常用に、乗務員が簡単に扱え、乗客をより早く地上へ誘導できる、改良型の床下格納式の非常はしごを搭載している。

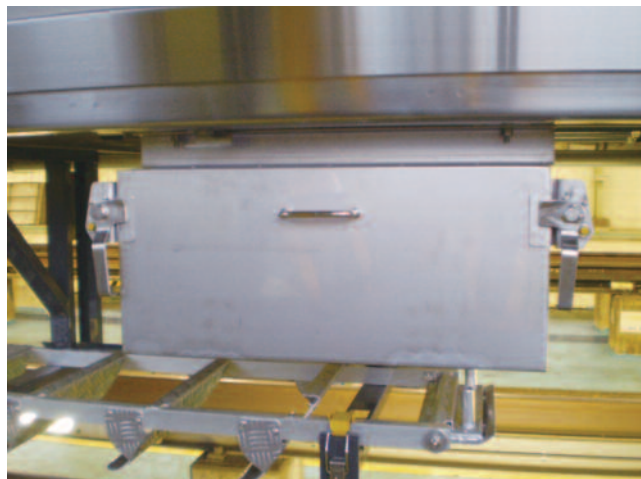


図6 非常はしご

2. 2 ゑ装

2. 2. 1 床下機器

先頭車の床下には、保安装置としてATC装置およびATS-P装置を搭載している。また、可搬式ATS-Ps車上子とATACS車上装置が取付できるよう、スペース準備している他、これまでのE233系車両と比べ、移動禁止用の蓄電池箱を追加して搭載している。電動空気圧縮機は、E231系と同じメーカーのスクリュウ式が採用となり、モハE232に搭載している。先頭車およびサハE233-7200には整流装置を搭載している他、将来の本工事化に備え全車にわたって、ATACSの引き通し線を敷設している。

2. 2. 2 屋根上機器

モハE233-7000は、冗長性を確保するためパンタグラフが2台配置されており、後位寄りを常時使用している。また、モハE233-7200、7400には、パンタグラフを1台配置している。先頭車は、信号炎管と列車無線用の広帯域空中線アンテナを配置している他、ATACSアンテナ取付の準備工事を施している。さらに、クハE233-7000では、GPSアンテナの取付準備工事、クハE232-7000には、WiMAXアンテナを取付している。

2. 2. 3 室内機器

戸閉機は、E233系2000代（常磐緩行）と同様に、リニアモータ駆動式電気式戸閉装置を採用している。側出入口上部のかもい部には、17型ワイドのLCD式情報提供装置が2台配置されており、E233系1000代（京浜東北）と同様、1台がさまざまな運行情報の表示、もう1台が静止画・動画の広告表示を行っており、乗客への案内情報は、他線区の内容より見直しが図られている。また、かもい中央下部には、側扉開閉予告表示灯を配置している。

なお、AM/FMラジオ車内輻射装置は今回廃止となった他、妻部における補助蓄電池接続方法が、従来のコネクタ接続方式からNFB入切方式に変更となっている。

2. 2. 4 運転室機器

運転室はE233系広幅車と同様、非貫通の全室運転台で、ユニット工法により製作している。運転台は、視認性向上のため一般部より高床構造としている。各種メータや表示灯は、LCD画面に表示するシステムを採用している。運転席正面の計器盤には、左側にNo.1メータ表示器、中央に戸閉表示灯、時計置、緊急防護スイッチを、その右側にTIMS表示装置と防護無線装置、さらにその右にはNo.2メータ表示器を配置している。背面ユニットには運転台選択スイッチ、ホーム検知装置制御器などが格納されている。また、クハE232-7000のみ情報提供装置中央装置と防犯カメラ用の映像記録装置を取付している。背面上部においては、クハE233-7000のみGPSアンテナ本工事に備えた準備工事を行っている。先頭上部には、両端に高輝度放電灯（HID）式前部標識灯、中央部にLED式行先表示器を搭載しており、行先表示器には後部標識灯も内蔵している。ワイパは、運転士側、助手側計2本の主ワイパのほかに、万一不具合が発生した際に切り替えることが可能な補助ワイパを運転士側に設けている。助手側の前面ガラス下部には、E233系1000代（京浜東北）・3000代（東海道）と同様に、運行番号表示器を配置している。上記の他、天井部の照明は客室と同様、LED照明を採用している。運転台ユニット助手側上面には、新たに移動禁止用の表示器と操作器、運転台前方カメラを設置している。

2. 3 台車

台車は軸はり式ボルスタレス台車であり、台車形式は電動台車がDT71A、DT71B台車、運転室直下の付随台車がTR255台車、それ以外の付随台車がTR255A台車である。

軸ばねはコイルばねで、乗心地向上のため軸ダンパを装備している。枕ばねは空気ばねを装備し、牽引方式は1本リンク式である。

ブレーキ装置は、電動台車が踏面ブレーキで、付随台車が踏面ブレーキとディスクブレーキ（1軸2ディスク）の併用である。制御は各軸単位である。TR255台車は駐車ブレーキ付きである。

TR255台車の先頭寄りの軸には排障器を装備している。

（西岡伸博，平井明正，三原啓輔 記）



図7 運転室

表1 主要諸元表

編成	←大崎 ⑩ ⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① 川越→											10両編成 (6M4T)																						
	<table><tr><td>Tc</td><td>M</td><td>M'</td><td>T</td><td>M</td><td>M'</td><td>M</td><td>M'</td><td>M</td><td>M'</td><td>Tc'</td></tr><tr><td>○ ○</td><td>● ● ● ●</td><td>● ● ● ●</td><td>○ ○ ○ ○</td><td>○ ○ ○ ○</td><td>● ● ● ●</td><td>● ● ● ●</td><td>● ● ● ●</td><td>● ● ● ●</td><td>● ● ● ●</td><td>○ ○ ○ ○</td></tr></table> 凡例:連結器(+:密着自動,-:半永久) 車軸(○:T軸,●:M軸)												Tc	M	M'	T	M	M'	M	M'	M	M'	Tc'	○ ○	● ● ● ●	● ● ● ●	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●	○ ○ ○ ○
	Tc	M	M'	T	M	M'	M	M'	M	M'	Tc'																							
	○ ○	● ● ● ●	● ● ● ●	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●	○ ○ ○ ○																							
	120km/h																																	
	10号車	9号車	8号車	7号車	6号車	5号車	4号車	3号車	2号車	1号車																								
	Tc	M	M'	T	T	M(2パンタ車)	M'	M	M'	Tc'																								
	クハE233-7000	モハE233-7400	モハE232-7400	サハE233-7200	サハE233-7000	モハE233-7000	モハE232-7000	モハE233-7200	モハE232-7200	クハE232-7000																								
	先頭車:142(39), 中間車:160(54)																																	
	30.2	31.9	32.4	28.7	28.7	32.4	32.4	31.6	29.4	30.2																								
先頭車:19570mm, 中間車:19500mm 2950mm																																		
3620mm (パンタグラフ折りたたみ高さ3945mm以下)																																		
TD継手平行カルダン駆動方式 歯車比16:97(6.06)																																		
軸梁式ボルスタレス台車																																		
付随車:TR255系, 電動車:DT71系																																		
主機器	PS33D(M車に搭載, モハE233-7000は2台搭載)																																	
	三相かご形誘導電動機 MT75 140kW 1100V 93A 2360rpm 80Hz																																	
	SC85A, 2レベルPWM制御IGBT VVVFインバータIC4M 3300V-1200A																																	
	SC91, IGBT-SIV 三相440V 260kVA																																	
	スクリーニ式 1600L/min MH3130-C1600S1形																																	
AU726AまたはAU726B, 58.1kW(5000kcal/h)																																		
ATC6形, ATS-P形(可搬式), デジタル列車無線, EB・TE装置, 防護無線(自動発報機能付き), ATACS(準備工事)																																		
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, 駐車ブレーキ(1・10号車), 抑速ブレーキ 高運転台, 非貫通, 衝撃吸収構造																																		
TIMS(列車情報管理装置), VIS(情報提供装置), 防犯装置(1号車) ロングシート, 車椅子スペース付き(1・10号車)																																		
片側扉数:4, 電気式戸閉装置(戸ばさみ安全機能付), 側開閉表示灯付き																																		
フルカラー行先表示器, 車内案内表示器(1CD17型ワイド), 自動放送, 車外スピーカ, 乗降案内装置, GPSアンテナ(準備工事)																																		
ホーム検知装置, 移動禁止システム, 非常はしご(6号車:3・6位ドア部下), 客室LED照明, 女性専用車(10号車)																																		

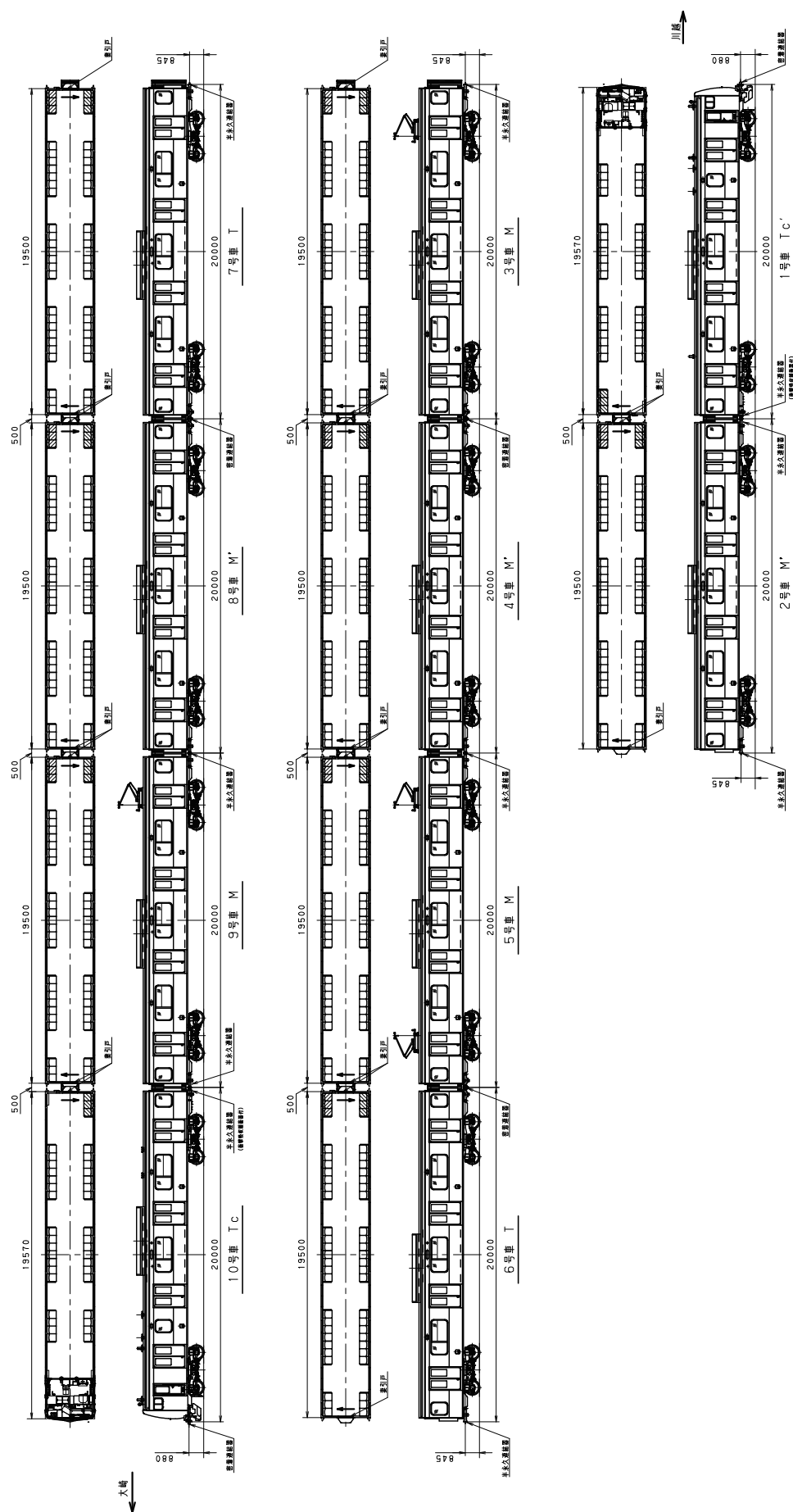


圖 8 車輛編成圖

JR東日本 キハ100系改造 POKEMON with YOU ト레인

生産本部 技術部



図1 キハ100系改造 POKEMON with YOU ト레인外観

1 はじめに

JR東日本では、観光面からの復興支援および地域活性化を目的として、2012年12月から大船渡線でPOKEMON with YOUトレインの運行を開始した。本車両はキハ100系をリニューアルして誕生した車両である。車両のデザインは、株式会社ポケモン殿が担当し、外装は「ポケモンはいつもキミといっしょ」をテーマに、内装のデザインは「森の中」をコンセプトにした車両となっている。当社では、復興支援車両の開発の一翼を担い、家族で旅を楽しんでいただける車両を提供するとともに限られた工期で施工を完了するための、工夫を随所に凝らした。

2 構造および特徴

2. 1 基本構造

編成は2両編成（キハ100-1、100-3）としている。キハ100-1は、コミュニケーションシート車両、キハ100-3は、プレイルーム車両となっている。コミュニケーション車両の座席はすべてクロスシート化し腰掛増設分はキハ100-3で使用していた腰掛を再利用している。ただし腰掛表生地はポケモン柄に、腰掛通路側の取手はモンスターボール形に一新されている。プレイルーム車両は床上温水暖房装置の関係からプレイゾーンを高床構造としている。高床構造はノックダウン方式を採用し各パーツをボルトで締結している。この方式を採用したことにより現車での工期短縮の実現に寄与した。

2. 2 車内設備

キハ100-1の座席は、オールクロスシート化している。表生地は張り替え、キャラクターが、1座席に2体配置されたプリント柄を採用している。側窓きせについてはオールクロスシート化に合わせて旧ロングシート部をテーブル一体のタイプにキハ100-3と交換した。腰掛の通路側取手は銅球をmonsterボール形に機械加工したものを採用し強固でディテールまでこだわった作りとなっている。塗装により8種類、14個が配置されている。床は緑を基調とし通路は薄茶色とポケモンアイテム柄のタイルカーペットが採用されている。



図2 キハ100-1 客室

キハ100-3の室内は出入口間を高床構造としている。プレイゾーンは、子供への配慮から高床部のみとし、ロングシートの背ずりを再利用し腰部側クッションとして設置した。表生地は張り替え、緑を基調にキャラクターが配置されたプリント柄が採用された。また、高床の前後位寄りには小上がりを設けて高床へのアクセスをしやすくしている。アクセス部以外の高床部端部には、クッションゴム付保護柵を設置した。出入台ステップ部には、ふさを設けて凹部を無くしている。



図3 キハ100-3 客室

プレイゾーンの搭載品は、車体中央部のポケモンツリーを中心にトンネル、草むら、森の掲示板、キャラクターの大きなぬいぐるみなどが配置されている。



図4 キハ100-3 高床

キハ100-1とキハ100-3の共通項目では、内張部にはラッピングが施され、吹き寄せ部は木の幹をイメージした木目にポケモンアイテムをイメージした座席名板が採用された。腰部には、草むらの緑をイメージした中にキャラクターが配置され、幕部はポスタレールを利用したポスタに、空をイメージした水色を基調にしてキャラクターが配置されている。天井灯カバーは、旧品を再利用しているがカバー内部に隠れキャラクターを配置してある。客室側便所仕切壁と運転妻は、木目を基調にキャラクターが配置されている。また、便所内部にもポケモンアイテムをイメージしたラッピングが施されている。車内標記については、内張のラッピングの色柄と同化しないよう配慮した。



図5 客室側便所壁

2. 3 車外設備

連結面間貫通口部には、子供への配慮として2段式チェーンロープ保護布付を採用した。室内と同様、車外の外板にもラッピングが施され、便所部の側窓ガラスを外板に変更してキャラクターが配置されている。

(北村洋 記)

表1 主要諸元表

編成	←盛岡 (ブレイルーム車両)	キハ100-3	キハ100-1 (コミュニケーションシート車両)	仙台→	2両編成
	〇〇 〇〇 〇〇 〇〇 〇〇				
	100-3				
	100-1				
	キハ100				
	100km/h				
	24.9				
	46				
	24.9				
	16500mm				
16000mm					
2800mm					
3615mm					
1175mm					
11000mm					
DT59 (動台車) TR243 (従台車)				ボルスタレス式空気ばね台車	
DMF11HZ×1またはDMF14HZ×1					
330ps/2000rpm					
直噴式直列6気筒横型ディーゼル機関 (過給機付)					
DW14B×1					
湿式多板クラッチ方式 (逆転機内蔵) (変速1段, 直結2段, 自動切換)					
駆動機関直結方式, AU26J-B (除湿機能付) 20600kcal/h×1					
自動列車停止装置, 列車無線装置					
プログラマブルコントローラ					
電気指令式空気ブレーキ装置 (応荷重装置付) 両運転台 (低床, 半室構造, 貫通)					
—					
クロスシート					
ブラグドア (スライド式) 片側×2, 全半自動式					
洋式トイレ				洋式トイレ	
行先表示器, 車内案内表示器, 車外スピーカー					

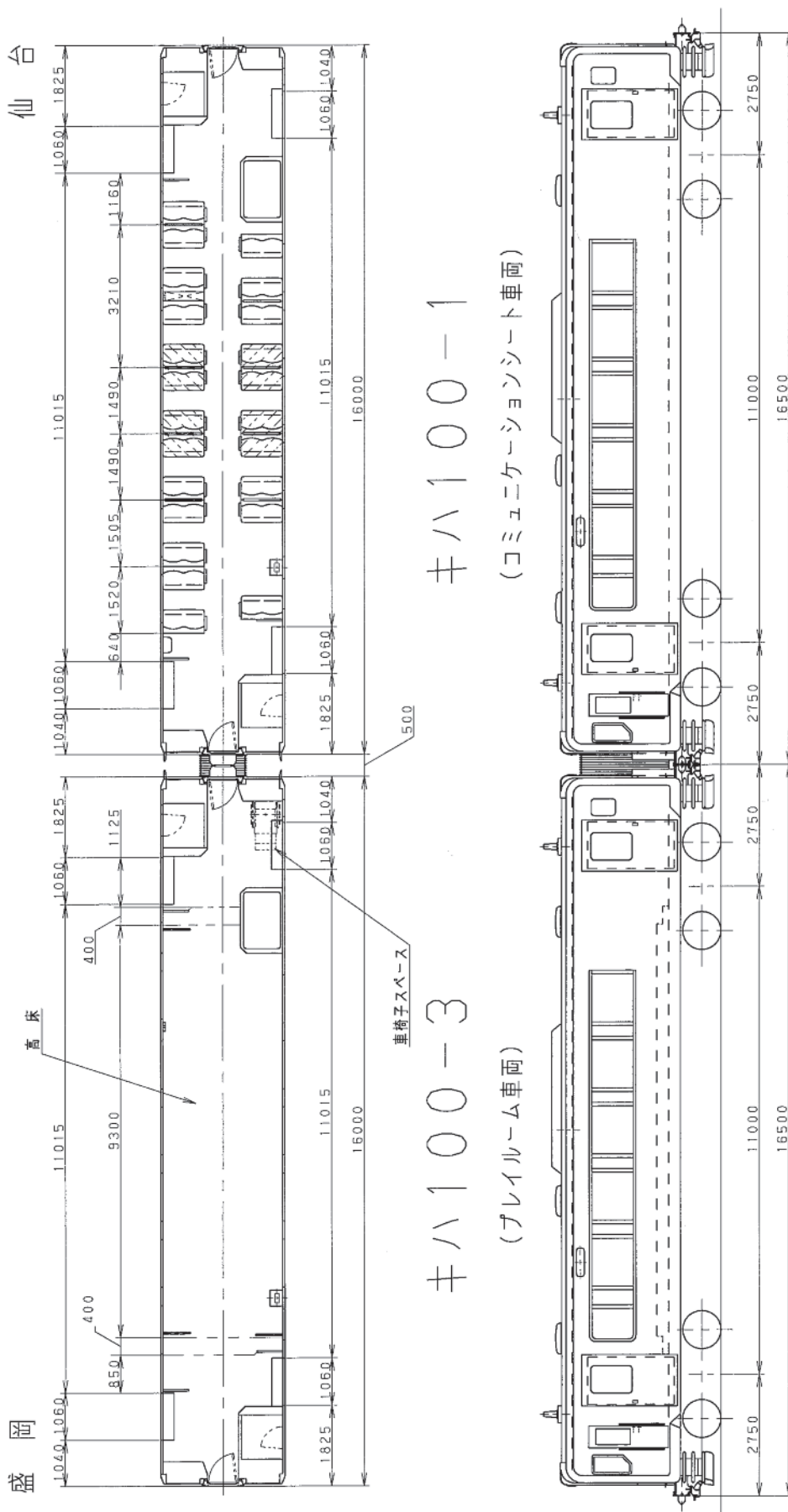


圖 6-10 編成圖

JR東日本 キハ110系改造 レストラン列車 「TOHOKU EMOTION」

生産本部 技術部



図1 編成外観

1 はじめに

JR東日本では、青森県八戸市と岩手県久慈市を結ぶ八戸線に、震災復興支援および、東北の地域活性化を目的として、2013年10月からレストラン列車「TOHOKU EMOTION」の運行を開始した。

本車両はキハ110系をフルリニューアルして誕生した観光用車両である。車両のデザインはインテリア、キッチン、エクステリアの各々のデザイナーが東北地域の特徴を生か

した志向でまとめている。

この車両は移動手段としてだけでなく、列車に乗ること自体を楽しむことを目的として企画された。

車両のインテリアデザイン、室内各所に掲示されたアート、および地元産の食材にこだわったコース料理を味わうことを通じ、新しい東北を発見し体験することをコンセプトとして、走るレストランをイメージした車両としている。

当社は、リニューアル工事の全般を担当し、コンセプトを重視しながらも、限られた工期の中でどのように施工完了するか各部署で真剣に取り組む、工夫を各所に盛り込みながら期日までに完成を見たプロジェクトである。

2 構造および特徴

2. 1 基本構成

今回種車とした車両は、キハ110系一般形気動車の3両を固定編成化したものである。

1号車は、キハ111-701、トイレ付き片運転台車両で改造後はトイレを取り払って7室のコンパートメントタイプのダイニング車両としている。

2号車は、キハ112-701、片運転台車両で改造によりキッチンおよび、バーカウンタを備えた、キッチン車



図2 1号車個室通路

両としている。

3号車は、キハ110-701、トイレ付き両運転台車両を、トイレを備えた全室オープンタイプのダイニング車両としている。

2. 2 インテリアデザインおよび設備

1号車から3号車に至るまで各所に津軽地方の伝統工芸や名産、特産に見立てたものをちりばめている。

床敷物やキッチン窓には伝統工芸の技法「こぎん刺し」、オープンダイニングには久慈の名産である「琥珀」をイメージしたウォールライトなどが取付けられ、東北各県の特産を素材とした料理を味わいながら、車両の室内空間も楽しんでいただけるように配慮された内装としている。

1号車はコンパートメント個室車両で、座席は2×2人のクロスシートであり腰掛表生地は皮張りとしている。

中央に置かれたテーブルは人工大理石と難燃木で構成され、側と床に固定されている。クローゼットを有する通路仕切および、個室間の仕切は、ノックダウン方式を採用し、ハニカムパネルをT字に組み合わせることで自立させ、腰掛の脚台で保持する構造とすることにより内部骨組みの追加工事を抑えた。脚台の取付は、改造前のクロスシート取付の既存ネジ座を採用し床工事の作業量を軽減した。

座席ヒータは、他の改造工事の発生部品を利用して部品の購入時間を省き工期短縮の実現に役立てた。また各仕切壁は天井との間に隙間を設けることで、既存の冷房装置をそのまま使用でき、天井板、風道、蛍光灯などの天井設備もそのまま生かした構造としている。



図3 1号車コンパートメントダイニング

2号車は、オープンキッチン、バックキッチン、オープンバーから成る構成で、オープンキッチンでは、提供される料理を目の前で作るライブ感覚の演出が楽しめる



図4 2号車通路から見たオープンキッチン

ように通路との仕切をガラス張りとしている。

キッチン内部の換気、排気は新たに備えた天ガイとダクトに集められ、既設の換気装置に導く構造として天井から屋根にかけての改造工事量を大幅に軽減した。

この車両の床下には既存の走行用エンジンに代えて発電機とそのためのエンジンを搭載し、増えた厨房用の機器に対する給電をするように変更されている。また、この車両は従来は温水配管をめぐらせた暖房器を備えていたが、ダイニング、キッチンと多彩化した部屋の割付にその方式が合わず、全車電気暖房に方式を変更している。これによって増えた電源供給にも2号車の新規発電機がその役目を担っている。

2号車の室内で、大きな存在感を示しているバーカウンタは全長5メートルにもなり、その製作、運搬、車両への搬入、据付に知恵を出し合った。一旦メーカーで組立したものを車両近くまで運び込み、車両に搬入する際は人工大理石のカウンタ天板を分離して別々に搬入し、車内で再組立する方式とすることによって、車両内の狭い環境での組立作業工数を極力削減できるように配慮した。



図5 2号車バーカウンタ

3号車のオープンダイニング車両には、一方の側窓寄りに2人用の三角形のテーブル、もう一方の側窓寄りに2人用の四角いテーブル2卓を連ねて配置し、2人連れでも4人連れでも利用していただけるように工夫された配置としている。

客室天井構造は、既存の天井に対して中央部のみ一段下がった高さとなる中央天井を新たに設けて、既存の冷房吹き出しダクト、リターン口、排気口などをそのまま利用できる構造とすることにより、冷房ダクト、換気ダクトを含んだ大きな改造から最小限の改造にすることが可能となり、工期の短縮に寄与することができた。

なお、新製した中央天井には円形の間接照明装置を取付け、ダイニングルームとしての雰囲気作りに役立てている。

この車両の後位寄りには、従来からトイレがあったが、今回大幅なリニューアルを行い、和式トイレから洋式トイレに変更すると共に、車イスでも利用可能な円弧式扉を備えたバリアフリー対応の大型トイレに改造した。



図6 3号車オープンダイニング室内

汚物処理装置は従来の循環式のままとし、床上と床下タンクとの接続についても大きく変わる事の無いようにトイレの室内配置を考慮した構造としている。

2. 3 エクステリアデザインおよび設備

車両のエクステリアデザインは全体を高級感漂う白ベースとし、奥行きを感じさせる手書き風なデザインでまとめたラッピングシートで全面施工されている。

また、色彩による一体感を持たせるため屋根上塗色については屋根上機器まで白で塗り直すこだわり有るデザインとなっている。

側設備では、始発駅で乗客を歓迎し迎え入れるように、入口にはひさし状のエントランスキャノピが、また入口

両側にはランタンが設置され、ホームに敷かれた赤いじゅうたん通路と合わせ、あたかも市中の高級レストランに入る雰囲気を演出している。

3 あとがき

顧客要求の限られた期間の中で、多彩な内容を持った車両を完成させることができた。

JR東日本のご指導、ご協力をいただきながらも全社をあげて取組んだ成果と思う。

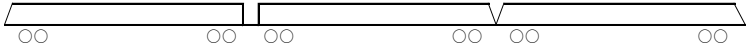
われわれが手懸けたこの車両が、東北の新しい魅力を発見するきっかけとなり、少しでも震災復興の手助けとなる事を願っている。

東北の美しい自然、優れた伝統工芸、それに加えて美味しい地産食材による料理を楽しむため出掛けられてはいかがだろうか。

そして「TOHOKU EMOTION」に会うために。

(河内昭仁 記)

表1 主要諸元表

編成	←八戸 キハ111-701 (個室車両)			キクシ112-701 (厨房車両)	キハ110-107 (食堂車両)	久慈→	 3両編成
最高運転速度	100km/h						
車号	111-701		112-701		110-701		
車種	—		—		—		
形式	キハ111		キクシ112		キハ110		
定員 (人) 個室	28		—		—		
食堂	—		—		20		
質量 (t)	30.5		30.5		31		
車体寸法	連結面間距離		20000mm				
	車体長さ		19500mm				
	車体幅		2800mm				
	屋根高さ		3615mm				
	床面高さ		1175mm				一般床面高さ
	台車間中心距離		13800mm				
台車形式	DT58A (動台車) TR242 (従台車)		DT58T (従台車) TR242 (従台車)		DT58A (動台車) TR242 (従台車)		ボルスタレス式空気ばね台車
性能	駆動機関	形式×台数	DMF14HZA形×1		—		DMF14HZA形×1
	駆動機関	出力	420ps/2000rpm		—		420ps/2000rpm
	駆動機関	方式	直噴式直列6気筒横型ディーゼル機関(過給気付)		—		直噴式直列6気筒横型ディーゼル機関(過給気付)
	液体変速機	形式×台数	DW14A-B形×1		—		DW14A-B形×1
	液体変速機	方式	湿式多板クラッチ方式(逆転機内蔵) (変速1段, 直結2段, 自動切換)		—		湿式多板クラッチ方式(逆転機内蔵) (変速1段, 直結2段, 自動切換)
冷房装置	駆動機関直結方式, AU26J-A(除湿機能付) 15500kcal/h×2						
保安装置	自動列車停止装置, 列車無線装置						
制御方式	プログラマブルコントローラ						
ブレーキ方式	電気指令式空気ブレーキ装置(応荷重装置付)						
その他	運転室構造	片運転台(低床, 全室構造, 貫通)					片運転台(低床, 全室構造, 貫通) 両運転台(低床, 半室構造, 貫通)
	情報装置	—					
	座席配置	4人掛けクロス×7個室		—		2人掛け×10テーブル	
	側出入口	ブラグドア(スライド式)片側×1, 全半自動式		ブラグドア(スライド式)片側×2, 全半自動式		ブラグドア(スライド式)片側×1, 全半自動式	
	トイレ	—		—		大型洋式トイレ	
	サービス機器	—					

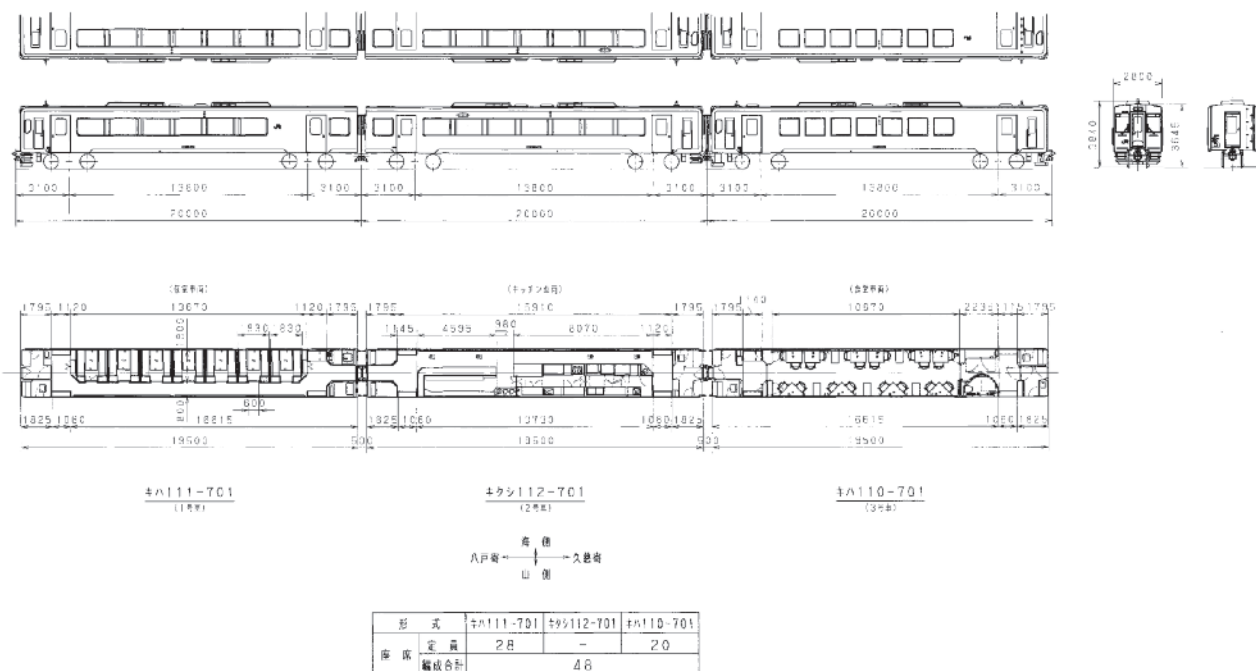


図7 編成図

分岐器用PCまくらぎ

生産本部 和歌山事業所



図1 製品敷設状態 (横浜事業所構内三線式分岐器のポイントより前方部分)

1 はじめに

1つの軌道を2つ以上に分ける装置である分岐器では従来、まくらぎには木が広く使われてきた。分岐器は構造上、まくらぎ長が様々となり、場所によってまくらぎに対するレールの位置もまちまちとなるが、木まくらぎはタイプレートなどの締結装置位置に合わせて下穴をあけ締結することが容易で、様々な長さにも対応しやすい。

しかし木は腐朽劣化や反りなど耐久性が劣ること、また特に最近では木材資源枯渇も相まって、木の使い勝手はそのまま、半永久的な寿命を持つ合成まくらぎ（ガラス長繊維強化ウレタン発泡体）が現在は主流となってきている。

木・合成いずれも比較的軽量で扱いやすく施工性も良い一方、バラスト道床の場合は軌道狂いが生じやすい欠点がある。そこで近年、この欠点克服を目的に新しい分

岐器用まくらぎがいくつか開発され、普及しつつある。

そこで当社でも軌道狂い抑制によるライフサイクルコスト低減を狙い、新たな分岐器用PCまくらぎを開発したので、これを紹介する。

2 開発の経緯

2. 1 まくらぎ形態の検討

近年出現している新しい分岐器用まくらぎは素材・形態とも様々であるが、当社としてはPCまくらぎとすることとした。その主な理由を以下に記す。

- (1) 一般軌道部で最も普及しており、絶縁性も含めた信頼性や耐久性は高い。
- (2) 軌道狂い抑制効果は十分実証されている。
- (3) 重量が大きく（木の3.5～4倍）取り扱いに難はあるが、形態の工夫によりある程度改善は図れる。
- (4) 費用対効果の面で有利となる可能性が高い。

まくらぎへの床板類の締結は、スラブやラダーマクラギで実績のある直結8K形締結方式とした。特にラダーマクラギでは急曲線用や伸縮継目用にも使われており、横圧に対する強度は問題なく、緩みも出にくいとされている。またこの方式はまくらぎ上面をフラットにできるため、まくらぎの取り扱いがしやすくなる利点もある。



図2 直結8K形埋込栓

2. 2 形状の検討

前項記載の特徴も生かし、まくらぎは全体にわたり同一断面とする方針とした。しかし分岐器では長尺品も要し、相当な重量となる。よって少しでも軽くするため、断面を極力小さくする方向で検討した。

最終的に、まくらぎ幅方向の埋込栓間隔は実績のある中で最狭の85mmとし、かつまくらぎ間隔を最大650mmとして検討した結果、断面寸法は上面幅260mm、下面幅270mm、高さ200mmとすることに決定した。

2. 3 埋込栓部性能確認試験

決定した埋込栓間隔とまくらぎ幅で実際に試験体を製作し、2通りの性能確認試験を実施した。



図3 締結確認試験

一つは締結確認試験で、床板に模した板を試験体に所定トルク（350N・m）で締結し、ひび割れその他の変状が生じないか確認した。PCまくらぎ導入軸力相当の軸力載荷の有無、締結ボルトねじ部へのオイル塗布の有無の組合せで試験を実施したが、いずれも変状は確認されなかった。

二つ目の埋込栓引抜き強度確認試験は軸力載荷後、引抜き荷重を徐々に加えていき、破壊荷重を確認するものである。本試験におけるひび割れ保証荷重は50kN以上、破壊荷重は70kN以上と規定されている。

試験の結果、50kN時点でひび割れが生じていないこと、また破壊荷重も規定値を十分な余裕を持ってクリアできることが確認された。



図4 引抜き強度確認試験

2. 4 まくらぎ応力解析

性能確認試験で想定形状に問題無いことが確認できたことから、次に作成した分岐器モデル図面に基づき、まくらぎの応力解析を実施した。モデル図面は負荷が大きくなるよう、まくらぎ間隔は極力広い設定とし、図中のまくらぎ全てに対し、列車が基準線側・分岐線側を走行する際それぞれについて解析計算を実施した。設定軸重160kN（輪重80kN）、路盤ばね係数 K_{30} は70MN/m³、レールは50Nとした。

解析の結果、正曲げモーメントはリード中央部、負曲げモーメントは最後端部のまくらぎで、それぞれ最大値が生じることが判明したが、算出されたモーメント値を用いて使用性・安全性に対する性能照査を行った結果、いずれも要求性能を満足することが確認できた。

2. 5 まくらぎ製作方法

分岐器用PCまくらぎは多品種少量生産となるため、ポストテンション方式を前提に製作方法を検討した。

PCまくらぎ製作に要する型枠は通常、品形ごとに必要となるが、多種少量生産となるので型枠費の負担が大きくなってしまおうと共に、型枠自体の保管・管理も問題となる。そこで、全体が同一断面という特徴を生かして、型枠数を極力減らす方を検討した。

まず埋込栓は、あらかじめ長手方向50mmごとに埋込栓取付可能位置を型枠に設定しておき、その中から床板類の場所・形状に応じて選択した位置のみ、まくらぎ製作時に埋込栓を設ける方式とした。これにより一つの型枠で様々な締結位置とすることが可能になると共に、床板類も無駄に大きくなりすぎずに済ませることができる。

また埋込栓取付可能位置をまくらぎ長に関わらず基準となる端面からの位置を揃えたこともあり、型枠の片端部仕切を可動式にすることとした。これにより複数長のまくらぎが同じ型枠で製作でき、一つだけで全て賄うことも可能となった。ただし製作上の都合や使用頻度も勘案し、まくらぎ長2800mm以下とそれ以上用の二つに分けることとした。

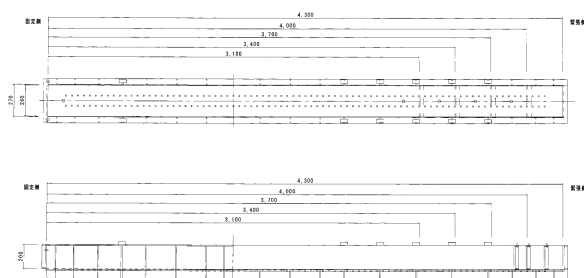


図5 型枠イメージ図

3 横浜事業所構内への敷設

3. 1 PCまくらぎの実製作

これまでの様々な検討や試験などを踏まえ、次の段階

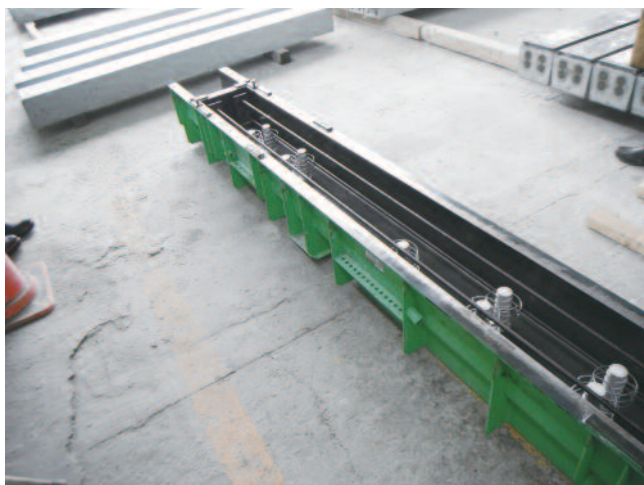


図6 製作したまくらぎ型枠

として実際にまくらぎ製作を行い、製造上や品質上で問題は無いのか検証することとした。製作に用いる型枠は、予測される使用頻度や諸般の事情等も勘案し、ひとまず2800mm以下用のみの準備とした。

ちょうどその頃、当社横浜事業所構内に敷設されている三線式分岐器を置き換え、線形改良する必要が生じた。そこで製作を要する分岐器のうち1組にこのPCまくらぎを適用することで、実際の使用上においてもこのまくらぎが問題無いか、確認することとした。ちなみにこの分岐器では他にも、いくつかの試作的要素を盛り込んだ、いわばモデル的な分岐器として製作を行っている。

PCまくらぎの適用範囲は、分岐器のポイント後端部から前側とした。これに要するまくらぎは長さ2500mm、2800mmの2種合計16本であるが、今回の型枠で製作できる4種もの長さ全てを製作確認する意味も含め、2000mm、2200mm各1本もあわせて作ることとしたため、合計で4種18本の製作となった。

今回の場合、同一長さでも埋込栓位置が様々なまくらぎを作ることになる。よってまくらぎ毎の埋込栓位置指示のため、別途まくらぎ製作図を作成することとした。

PCまくらぎ 製作図

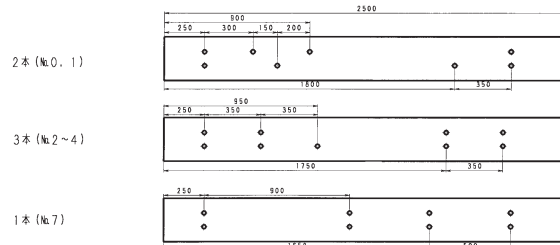


図7 PCまくらぎ製作図例

今回は初めての製作であるため、一部を先行で製作し出来栄確認を行ったが、外観確認や寸法検査結果など



図8 PCまくらぎ先行製作品

31フィートオートフロア装置付きコンテナ

生産本部 和歌山事業所



図1 製品外観

1 はじめに

当社の31フィートコンテナは、妻一方開きコンテナであり、荷物の積み込み・積み降ろし作業は、主に下記方法によるものである。

- (1) コンテナ室内を、小型フォークリフトで運搬する。
- (2) コンテナ室内に、ローラコンベアを敷く。
- (3) 手積み、または車輪付きパレットを人力で運搬する。

このような作業の問題点は、作業に時間がかかったり、作業者の安全確保に不安があった。

これらを解消するために、付加価値を付けたコンテナの開発を、急務としておこなう必要がある。

2 構造および特長

上記の問題を解決するため、直接作業者が荷物の運搬をすることなく、積み込み・積み降ろしができる装置を探求し、トラックで使用実績のある、ナカオ工業（株）のオートフロア装置をコンテナに組み込んだ。

概略構造は、コンテナ前面に電気モータを配置し、チ

ェーン駆動で、妻開き戸付近にある回転軸を介して上下2段になった床（荷台）を動かす構造である。

また、オートフロア装置を駆動させるための電源は、トラックのバッテリーから供給される。

3 主要諸元

全	長	9410mm
全	幅	2490mm
全	高	2641mm
内 法	長さ	9140mm
内 法	幅	2392mm
内 法	高さ	2313mm
内 容	積	50.56m ³
コンテナ質量		4900kg
		(オートフロア装置1450kg含む)
積 載	質 量	15100kg
総	質 量	20000kg
コンベア	速度	3.6～4.3m/min

(中村武嗣 記)



図2 オートフロア装置（荷物積み込み前状態）



図3 オートフロア装置（荷物積み込み後状態）



図4 電動モータおよび制御盤



図5 床（チェーンコンベアの下）



図6 電源供給コンセント



図7 操作ボタン

あとがき

「総合車両製作所技報」第2号をお届けいたします。

当社は1958年に日本初のステンレス車両、1962年に日本初のオールステンレス車両を開発し、以来ステンレス鋼製車両の開発・新造を行ってまいりました。そして、今後さらに大きな飛躍を遂げるため、新しいコンセプトに基づく「sustina」というブランドのステンレス車両の開発を進め、国内はもとより海外の鉄道事業者への提供を目指してまいります。

その新しいコンセプトによるステンレス車両、「sustina」の第1号車両が、東急電鉄殿向け5050系の1両として製作され、2013年5月から営業運転が開始されております。本号はその東急電鉄殿向け5576号車のご紹介と、技術開発に係わるご報告をさせていただく特集号として、7編の紹介と技術報告を中心に編集いたしました。

また、従来から取り組んでおります接合技術の開発に係わる論文や、「国際溶接学会IIWにおけるFSWのISO国際標準化」の解説など、当社が取り組んでまいりました接合技術に関する活動についてご報告をいたします。

さらに、鉄道事業者であるJR東日本のグループ会社として、メーカーとしての目だけではない安全文化への取り組みや、Alstom社との協業を目指した「Citadis」の国内導入へ向けての動きなど、鉄道事業を中心にした事業グループの強みを生かした取り組みについてもご紹介しております。

そのほか新造車両や、改造によって新しい用途を与えられた車両のご紹介、線路関係やコンテナの新製品の開発など7編のご紹介を含め、全部で23編の構成となっております。ぜひご覧いただき、ご意見、ご質問等がございましたら、編集担当者までお問い合わせいただければと存じます。

これからも、さらに技術の研鑽と開発に取り組んでいく所存でございます。より一層のご指導、ご助言をいただきますようお願い申し上げます。

取締役 生産本部 技術部長 杉山 隆

総合車両製作所技報 第2号編集委員会

委員長	杉山 隆
委員	山田 彰子 木村 億尋 荒木 雅之 生方 澄恵 西垣 昌司 橋本 克史 久保田寿郎
査読委員	石川 武 河田 直樹
校正委員	大塚 陽介 渥美健太郎 神沢祐太郎 上野 敦史 近藤 慎也 大山 寛人
表紙	横川 浩大 斉藤 和彦
事務局長	松岡 茂樹
事務局	長能 良太 中島 庸祐 鎌田 洋祐 中川英二郎

総合車両製作所 技報
J-TREC TECHNICAL REVIEW
Vol.2

発行日 2013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 杉山 隆

編集 技報第2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 2013 無断転載を禁ず



「sustina」「SmartRSW」は当社の登録商標です。



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
- 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/>

【電車市場 えきねっと店】 <http://www.eki-net.biz/tetsu/>

J-TREC
株式会社 総合車両製作所