

総合車両製作所技報

J-TREC TECHNICAL REVIEW

Vol.4 2015.12

● 特集寄稿 「海外向け sustina 出場記念」

- ・バンコク パープルライン ー車両紹介ー
- ・バンコク パープルライン ー溶接管理ー
- ・バンコク パープルライン ー車両の強度解析と試験設備ー
- ・バンコク パープルライン ーシステムとぎ装ー
- ・バンコク パープルライン ー台車ー

● 巻頭言 「J-TREC の海外展開と sustina」

● 論文

- ・レーザスポット溶接の最適化に関する研究
- ・鉄道車両用 7000 系アルミニウム合金中厚板の FSW 接合技術

● 解説

- ・ハンドトーチ型レーザによる水密溶接技術の開発
- ・溶接部外観検査装置の開発ーシステム構築とソフトウェアの開発ー
- ・車載製品群のラインナップと保有技術

特集 【海外向け sustina 出場記念】

目 次

◆巻頭言◆

「J-TRECの海外展開とsustina」	3
＜専務取締役 海外事業本部長 滝田晴之＞	

◆特集寄稿 「海外向け sustina 出場記念」◆

• バンコク パープルライン	－車両紹介－	4
		＜西垣昌司, 麻生和夫, 小山健一＞
• バンコク パープルライン	－溶接管理－	8
		＜大塚陽介, 岡田寿, 荒木雅之＞
• バンコク パープルライン	－車両の強度解析と試験設備－	14
		＜荒木雅之, 麻生和夫, 浅田謙二, 市川聡, 大野真弘＞
• バンコク パープルライン	－システムとぎ装－	18
		＜鈴木久郎, 平林健一, 藤谷晃, 山本徹＞
• バンコク パープルライン	－台車－	24
		＜市川聡, 高橋義博＞

一般

◆論文◆

レーザスポット溶接の最適化に関する研究	30
＜河田直樹，遠藤翔太，吉澤正皓，側垣正＞	
鉄道車両用7000系アルミニウム合金中厚板のFSW接合技術	38
＜吉澤正皓，石川武，渥美健太郎＞	

◆解説◆

ハンドトーチ型レーザによる水密溶接技術の開発	46
＜遠藤翔太，河田直樹，側垣正，吉澤正皓＞	
溶接部外観検査装置の開発ーシステム構築とソフトウェアの開発ー	52
＜河田直樹，遠藤翔太，浅井マリア＞	
車載製品群のラインナップと保有技術	60
＜長本昌樹，松岡茂樹＞	

◆トピックス◆

J-TREC Engineering Forum (JEF) における失敗学的技術者教育	
ー自分で考え 自分で行動する 強い技術者への意識改革ー	66
レーザ距離計を用いた測定機構の開発	74
シンガポール地下鉄 SMRT ーC151 主回路更新改造ー	76

◆製品紹介◆

JR東日本 HB-E210系 一般形ハイブリッド車両	82
JR東日本 E129系 一般形直流電車	88
JR東日本 E235系 一般形直流電車	94
JR東日本 E353系 特急形直流電車	100
キュービクル式高圧受電設備輸送用12ft無蓋コンテナ	106
あとがき	108
お問合せ先 本社，事業所，事務所，支店	110

―巻頭言― “J-TRECの海外展開とsustina”

専務取締役
滝田 晴之



J-TREC初の海外向け新造車両「タイ・バンコク パープルライン向け車両」63両が出荷され、2016年8月には営業運転に投入される予定です。

タイ・バンコクにおいて日本製車両が持つ高い信頼性・安全性・安定性によって、御利用頂く方々に末永く愛され続けることを願ってやみません。

我々にとって、海外向け新造車両輸出は、東急車輛製造(株)から数えても、すでに10年以上の年月が過ぎており、設計段階から車両完成まで試行錯誤や多大な困難の連続でしたが、全社一丸となって出荷にこぎつけることができました。御苦勞された方々に対し、心から感謝申し上げます。

過去には、アイルランド国鉄殿向け車両として、電車・気動車合計105両を出荷しておりましたが、ヨーロッパ規格にすべて準拠した車両は、今回のパープルライン向け車両が初めての経験となりました。そして、この車両が、記念すべき海外向けsustina車両の第1号となります。

J-TREC発足10年後には、このような会社になろうという目標を述べた「Tomorrow 2020」という中・長期事業計画が策定されております。この中には、J-TRECの売上の4割を海外事業で担うという目標が掲げられており、その目標達成に向け、組織体制を強化する一環として、海外事業本部がJ-TRECの第4の本部として設立されました。まだまだ、海外事業は始まったばかりではありますが、種をまき、育て、実を刈り取り収穫していくためには、社員の皆様や協力会社の皆様とともにこれからますます多くの困難や苦勞に立ち向かっていかなければなりません。パープルライン案件を通じて、苦勞して学んだRAMS、V&Vシステム（要求事項に対して、いかにして要求を満足させようとするのか（Verification）、要求事項が満足できる結果となっているかを検証する（Validation）ことをシステム立てて系統化する）やPaper Trainという概念および溶接作業における要求事項等等、実務を通じて学んだ貴重な経験を、今後の海外向けsustina車両に生かしていくことになります。

JR東日本グループのJ-TRECとなったことにより、今まで我々では持っていなかった日本が世界に誇れるメンテナンスやオペレーションの分野での豊富な経験・ノウハウを新たな武器として加えることができるようになってきています。sustinaをさらにブラッシュアップすることによって世界戦略車を創りだすとともに、メンテナンス・オペレーション分野での知見・ノウハウを組み合わせ、世界中各地にsustinaを走らせるという夢を、一步一步現実のものとするように、皆様と歩んでまいりたいと思います。

バンコク パープルライン ー車両紹介ー

Thailand Bangkok Purple Line
ー Introduction of Vehicle ー

西垣昌司 Shoji NISHIGAKI
麻生和夫 Kazuo ASO
小山健一 Kenichi KOYAMA

バンコクパープルライン用車両は3両固定編成で運行されるオールステンレス製通勤用電車であり、総合車両製作所が提供する軽量ステンレス車両ブランド「sustina」の海外向け第一号となる。当初はJR東日本のE231系をベースにパープルライン用車両の設計を進めていたが、元々の仕様の違い、客先要望による仕様の変更、ならびに国際規格の適用などにより、外観や内装などはベース車とはかなり異なるものとなった。本解説では車体の概要を述べる。

1 はじめに

バンコクパープルライン用車両はMc+T+Mcの3両固定編成で運行されるオールステンレス製通勤用電車である。室内は片側4ドアのオールロングシート仕様で連結面前後に車いすスペースを設けている。当初は3両編成であるが将来的には4両、6両編成化できるよう考慮されている。第3軌条750V集電で、主回路はIGBTインバータ制御、最高運転速度80km/h、最高設計速度100km/hの性能を有している。台車は軌間1435mmの標準軌で軸間距離2100mmの車輪ディスクブレーキ方式ボルスタレス台車となっている。

当初はJR東日本のE231系をベースにパープルライン用車両の設計を進めていたが、車体幅3160mm（側出入口くつずり間）車体高さ3920mm（レール面からの空調機高さ）連結面間車体長さ22140mm（Mc）21500mm（T）となっているためE231系はもとより20m級国内向け通勤車よりも一回り大きくなっている。また第3軌条750V集電、標準軌の車輪ディスクブレーキ、前面からの非常脱出口設置など元々の仕様が異なっているほか、客先からの要望で、側引戸の外吊り化、冷房装置を含めた屋根のフラット化、先頭形状の半流線形化、大型ガラス製袖仕切、スタンションポールの三ッ叉化など多々変更が生じたため、外観や内装などはベース車とはかなり異なるものとなった。

適用規格もISO、UIC、EN、NFPAなど国際規格に則ったものとなっている。

また、この車両が運行されるバンコクは年間を通じ高温多湿な気候であるため、暖房は設置されていない。代わりに冷房装置は1両あたり81.4kw（70000kcal/h）と国

内のものよりも容量が大きい。腰掛も気候に合わせモケット地でなくFRP製となっている。図1に外観を示す。



図1 車両外観

2 構体

軽量ステンレス構造がベースとなっているが、強度評価をEN12663、耐衝突特性評価をEN15227、耐火性評価をNFPA130など国際規格で行う必要があることと、パープルライン固有の事情による、側引戸の外吊り化による構体開口の拡大、冷房装置を含めた屋根面フラット化による屋根構体の高屋根化、貫通路拡大化等で、国内の軽量ステンレス車とはかなり異なる構造となっている（図2参照）。



図2 構体外観

使用材料は、通常国内のステンレス車で使われているオーステナイト系ステンレス鋼SUS301L材を主体とし、必要強度に合わせて調質材（HT、DLT、LT等）を適材適所に配置した。

床構造はNFPA130に対応するため、台枠の上にステンレス板を敷き詰め、その上に床根太と断熱材を、さらにその上に床パネルを取り付け、最後にラバー系床敷物を貼付し、全体としてファイアバリアを構成している。なお、ファイアバリアはNFPA130を認証取得するため燃焼試験を実施した。

端台枠構造は連結装置の取付方法や、EN12663、EN15227の要求事項を満足するよう、大型の横はり、アンチクライマ、衝撃吸収材などを入れ込んでいるため、国内車両の端台枠とはかなり異なる構造となった。

3 窓・戸

側窓は合せガラスの固定窓、運転室前面窓は耐貫通性能を持った合せガラスで構成されている。今回の開業区間はすべて明かり区間であるが、既存の地下鉄やスカイトレイン同様、カーテンは設置していない。

客室側出入口引戸は、有効開口幅1400mm、高さ1900mmの外吊り式両引き引戸で引戸装置は電気駆動ラック&ピニオン式を採用した。下レール部は溝を設けドアランナがその中を摺動する方式とし、フラット化した。図3に側出入口引戸部を示す。



図3 側出入口引戸

乗務員側出入口は日本では開戸が多いが、仕様上引戸となっていて、こちらは戸袋式である。運転室前面には仕様上非常用脱出口が必要で、非常時にこれを展開すれば軌道上へ下りるためのスロープが構成される。また、進行方向前後に停車した列車間救援を想定し、先頭車を介して編成間を乗客が軌道上まで下りずに移動できる機能も備えている。

編成内の連結部分には貫通引戸は設けず1400mm幅の広い貫通路とし、客室スペースと一体感をもった構造となっている。

4 内装・設備

日本の通勤車と異なる部分を中心に述べる。図4に室内全景を示す。



図4 室内全景

前述のように腰掛座面がFRPとなっており、1人ずつくぼみを設け定員着席を促している。またデザイン上ではFRP表面のパープルが室内のアクセントとなっている。腰掛の取付方法は、側構体に取り付けて荷重を持たせる片持ち式であるが、蹴込みにカバーを設けた構造になっている。腰掛両側の袖仕切は上下方向に大きいものであるが、透明なガラスのため室内は解放的な印象を受けるデザインになっている。着席している乗客のプライバシー保護とデザイン上のアクセントとして、ガラスの下部はストライプ状の柄を入れている。図5に腰掛を示す。



図5 腰掛

スタンションポールは混雑時の乗客流動妨げになるという理由で日本の通勤車ではほとんど見かけなくなったが、本案件では車いすスペース以外の出入口部と出入口間の車体中心に設置されている。同時に複数の乗客が掴むことが出来るよう三ッ叉形状としている。図6に三ッ叉形状スタンションポールを示す。



図6 三ッ叉形状スタンションポール

また、日本の通勤車でよく見られる荷物棚がないため、側から天井にかけてすっきりした見栄えとなっている。バンコクの既存地下鉄やスカイトレインも荷物棚は付いていない。つり手は設置されているが、1つ1つに横長の広告を挿入できる特徴のあるものとなっている。図7につり手を示す。



図7 つり手

空調は冷房のみで両端の空調機から天井部を通しながらラインフローで吹き出す方式となっている。照明はLED式の半間接照明で冷風吹き出し口の脇に連続配置している。その他サービス機器として、各ドア上かもし点検フタ部にLCDの駅案内表示器、ドア横の側天井部に広告や次駅案内が表示されるLCDモニタを設置した。図8に駅案内表示器を示す。



図8 駅案内表示器

防犯装置は天井部にCCTVカメラを1両4台，出入口脇に双方向通話型インターホンをも1両8台取り付けている。

外観はステンレス地に路線名のカラーであるパープルとホワイトのグラデーションとなったフィルムが側面の大部分に貼付され路線のイメージを演出している（図1参照）。

5 おわりに

ベースとなったモデルはJR東日本のE231系であるが，客先の要求を満足させるために大幅な変更や新規設計となった部分が多く，設計・製作においては苦勞の連続となった。

そのように大変な思いで完成させた車両であるが，車内，車外ともにシンプルかつ明るいイメージとなり清潔感を感じる。今回の開業区間は比較的バンコク郊外かつ全線高架であるため，高架線の上をさっそうと走るパープルの電車が，便利な足としてバンコクの人々，さらには世界中からの旅行者に愛される車両となってもらいたい。またバンコクは渋滞の名所であるため，パープルラインへのモーダルシフトが進むことで環境問題解決の一助となれば幸いである。

著者紹介



西垣昌司
生産本部
技術部 部長（設計）



麻生和夫
生産本部
技術部（車体設計） 主任技師



小山健一
生産本部
技術部（車体設計） 主査

バンコク パープルライン ー溶接管理ー

Thailand Bangkok Purple Line
ー Welding Coordination ー

大塚 陽介 Yosuke OTSUKA
岡田 寿 Hisashi OKADA
荒木 雅之 Masayuki ARAKI

ステンレス車両の溶接施工にあたっては、従来は旧 JRS (国鉄規格) を基にした社内標準を適用してきた。パープルライン向け車両では国際的に認知された規格を適用することが要求されたため、溶接関連の国際規格 (ISO 規格や EN 規格) を適用することとなった。ここでは、鉄道車両に関する溶接関連の国際規格、およびそれらのパープルラインでの適用状況について解説する。

1 はじめに

当社の前身である東急車輛は日本で初めてステンレス車両を製造したメーカーである。1958年にセミステンレスの東急5200系、1962年にはオールステンレスの東急7000系を製造している。オールステンレス車両の製造にあたっては、アメリカBUDD社と技術提携を行い、設計・製造のノウハウを学んだ。その後、有限要素法を用いた構体解析による軽量化、溶接性の良いステンレス鋼の開発などにより、シェアを拡大していった。日本国内においてオールステンレス車両が飛躍的に広まったのは当時の国鉄に制式採用されたことが大きい。当時、設計・製造に関わる技術・ノウハウを公開したため、各社でステンレス車両が製造できるようになった。溶接施工においては作業標準が重要であるが、ステンレスに関する標準は東急車輛のものがベースとなってJRS (国鉄規格) が制定されている。その後、溶接関連のJRSは日本鉄道車両工業会の規格であるJRISとして新たに制定され、国内の車両メーカーはこれらをベースとした各社の標準に基づいて車両を製造している。

海外に目を向けると、EN規格 (欧州統一規格) で鉄道車両の溶接に関する規格であるEN15085シリーズが発行されており、ヨーロッパだけでなく世界中での適用がなされている。今回、当社が手がけたパープルライン向け車両の製造にあたっては、国際的に認知された規格を適用することが要求された。そのため、このEN15085シリーズやこれに関連するISO規格やEN規格による溶接管理が必要となった。本稿では、鉄道車両に関する溶接関連の国際規格、およびそれらのパープルラインでの適用状況について解説する。

2 溶接関連の国際規格

2. 1 EN15085シリーズ

“Railway applications - Welding of railway vehicles and components” (鉄道分野 - 鉄道車両と機器の溶接) というタイトルの鉄道車両の溶接に関する規格で、ドイツの国家規格であるDIN6700からEN規格に移行になったものである。EUではこの規格が法で求められており、Part1 ~ 5の5部で構成されている。その構成を図1に示す。メーカー認証を受けるには、Part2の要求事項を満たし、認証機関による審査を受ける必要がある。メーカー認証の状況はオンラインにて確認することができ、ヨーロッパ各国はもちろんのこと、中国や韓国といったアジアの国々でも多くのメーカーが認証を受けていることがわかる。日本でも部品メーカーの認証が出始めており、今後拡大していくことが予想される。Part2で定義されている車体や台車の製造を行うメーカーに対する主な要求事項を表1に示す。溶接品質については、EN ISO3834 “Quality requirements for fusion welding of metallic materials” (金属材料の融接の品質要求事項) に基づく管理を要求している (ISO3834については2.2項を参照)。

表 1 EN15085-2 の主な要求事項

項目	内容
品質要求事項	EN ISO3834-2
溶接管理技術者	LevelA (IWE)
溶接士	EN 287-1, EN ISO9606-2
検査員 (非破壊)	EN473
溶接施工要領書	EN ISO15609
溶接施工法の承認	EN ISO15614

EN15085 シリーズ

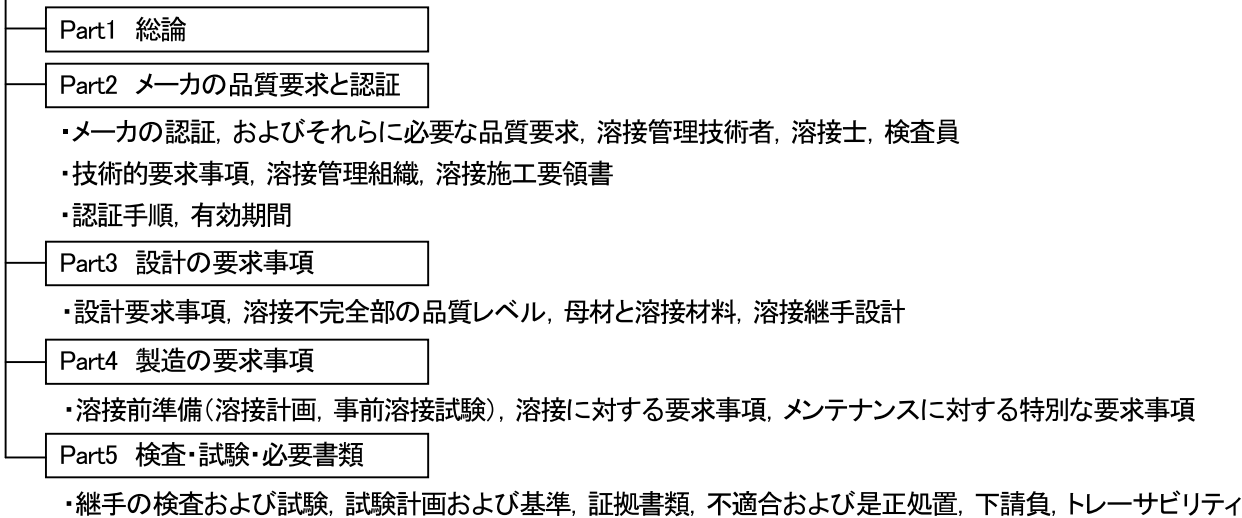


図 1 EN15085 シリーズの構成

Part3 ～ 5では設計, 製造, 検査に関して要求事項を定義している。日本国内ではJISやJRISにて同様な規格が制定されているが, それらに比べてもより詳細な内容となっている。

2. 2 ISO3834シリーズ

溶接施工に関するISO規格体系を図2に示す⁽¹⁾。品質マネジメントシステムに関する国際規格としてISO9001があり, 当社もISO9001の認証を取得している。

ISO9001はあらゆる分野に広く適用されるものである

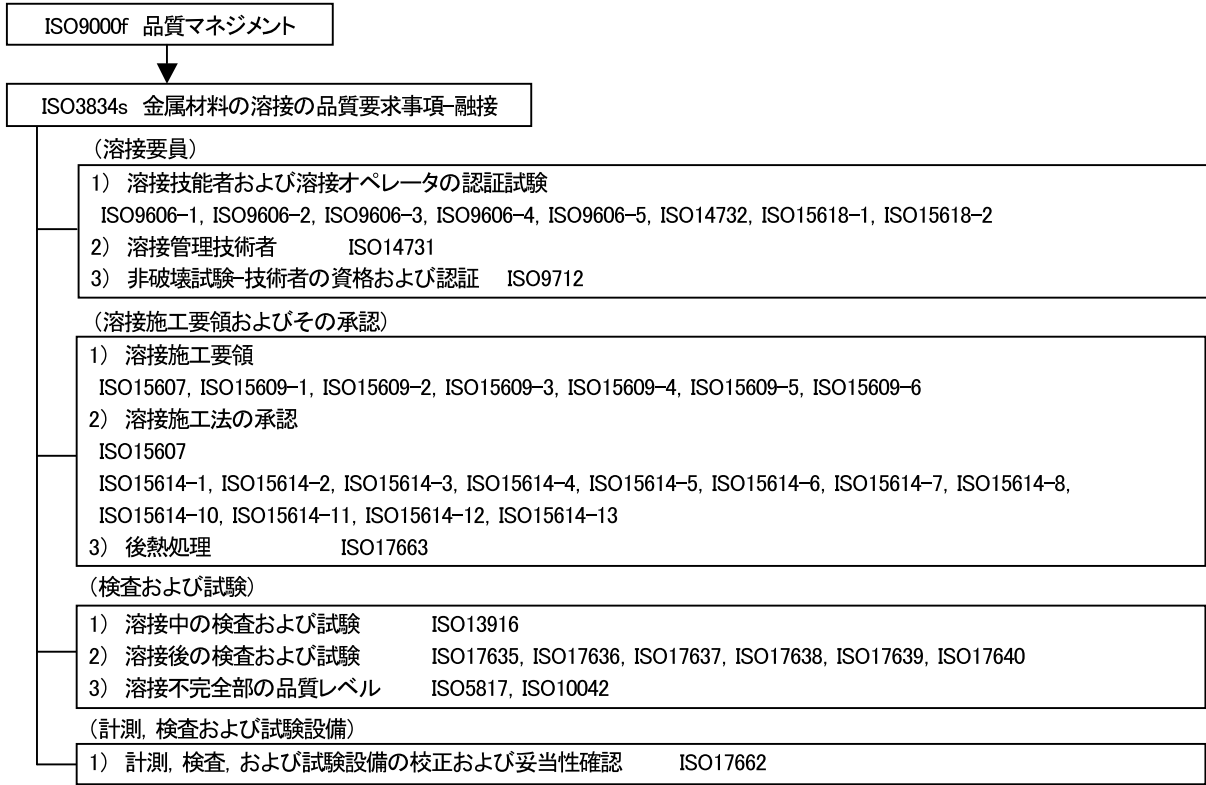


図 2 溶接施工に関する ISO 規格体系

ため、産業分野によっては必ずしも完全に対応しきれない部分がある。これを補完するためにISO9001に各分野における独自の特性を勘案して、要求事項を付加したものが「セクタ規格」と呼ばれるものである。ISO3834は溶接分野のセクタ規格であり、溶接工程を有する製造事業者へのきめ細な品質マネジメントシステムとして、品質向上に役立つものである⁽²⁾。

ISO3834シリーズはPart1～6の6部構成である。Part1は品質要求事項の水準選択基準、Part2・3・4は3水準の品質要求事項で、Part2から「包括的」、「標準的」、「基本的」である。EN15085では車体や台車を製造するメーカーには「包括的」を要求している。Part5は品質要求事項に適合するための文書、Part6はISO3834施行の手引きである。Part6では製品規格との関係が示されており、EN15085も入っている。

ヨーロッパではISO9001とISO3834をセットで事業所認証を受ける場合が多い。日本ではISO3834の事業所認証は消極的であったが、導入検討をする機運が一部に見られるようである⁽³⁾。

3 パープルラインにおける実例

パープルラインの車両製造にあたっては、EN15085やその関連規格に準拠して溶接管理を行った。一部では日本国内の規格や標準を適用したものもある。ここでは主な項目について実例を紹介する。

3. 1 溶接管理技術者

EN15085-2では製造事業者にはISO14731 “Welding coordination - Tasks and responsibilities” (溶接管理—任務および責任) に基づく技術知識を持つ経験のある溶接管理技術者を置くこととしている。また、この規格では溶接管理技術者について3つのレベル (Level A, B, C) を定義し、車両メーカーに対してはLevel Aを要求している。Level Aでは、車両メーカーにて3年以上の溶接管理経験、および包括的技術知識を有する証明があれば要求事項を満たすとしている。包括的技術知識を有するものとして、国際溶接学会のInternational Welding Engineer (IWE) またはヨーロッパ溶接連盟のEuropean Welding Engineer (EWE) を定義している。

パープルラインの製造にあたっては、社内のIWE有資格者が溶接士の認証や溶接施工要領書の作成等にあっている。IWEのディプロマを図3に示す。また、製造部門の職長やスタッフもISO14731のJIS版であるJIS Z 3410 (溶接管理—任務及び責任) による資格を有している。

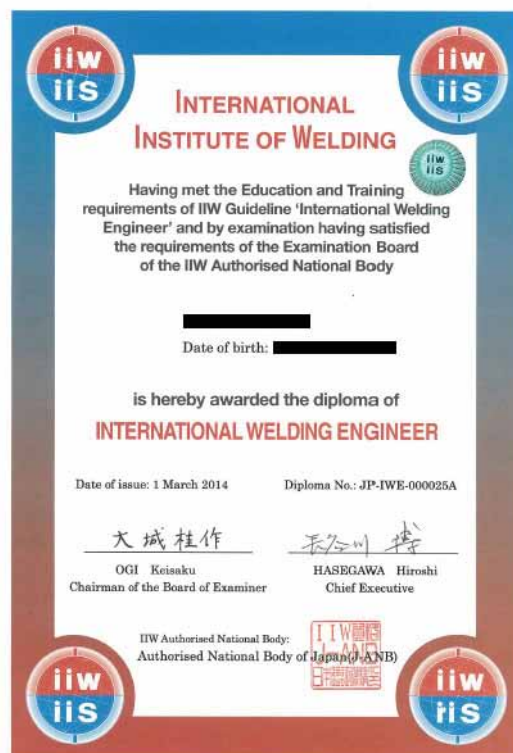


図3 IWEのディプロマ

3. 2 溶接士

溶接士の資格については、EN15085-2では普通鋼およびステンレス鋼はEN287-1 (2013年にEN ISO9606-1へ置き換わっている) を必要としている。パープルラインプロジェクトにおいては国内資格の同等性を示して、これらを従来通り使用している。

3. 3 溶接施工要領書

溶接施工要領書 (以下、WPS) の整備はEN15085やISO3834に基づく溶接管理において、最も基本的な事項のひとつである。国内向けの車両製造においては、JRISの溶接作業標準を適用しているが、アーク溶接ではWPSに関する具体的な記述はなく、どちらかという溶接士の技量や判断に依存しているのが現状である。

パープルラインでは、WPSをISO15609に準じて作成し、それらの承認にはISO15614に準じた溶接施工法試験を行った。WPSはISO規格に基づく英語表記と、これらの翻訳版であるJIS規格に基づく日本語表記の2種類を作成した。WPSのフォーマットの例を図4に示す。アーク溶接については、適用する溶接法、継手、板厚に応じたWPSを作成し、これらのすべてが承認されるように溶接施工法試験を計画して、実施した。スポット溶接については溶接するすべての材質、板厚組合せについてISO規格に準じた試験を行い、WPSを承認した。



J-TREC

Welding Procedure Specification (WPS)

Manufacturer's RFR# No. _____
 Manufacturer: JAPAN TRANSPORT ENGINEERING COMPANY(J-TREC)
 Standard: EN ISO 15609-1

Welding Process	Parent Material Group (ISO 15609)	
Joint Type and Root Type	Material Thickness (mm)	6.40 6.40
Welding Electrode		
Method of Preparation and Heating		
Method of Interpass Cleaning		

Weld Preparation Details (Sketch)

Joint Group	Welding Sequence	Joint Entrance

Welding Details

Rev.	Welding Process	Size of Filler Material	Current (A)	Voltage (V)	Travel Speed (cm/min)	Type of contact (electrode)	Gas type (shielding)	Gas flow (cm/min)

Filler material designation

Trade name

Any Special Backing or Shield

Tungsten Electrode type and diameter

Electrode size (mm) - diameter

Shielding Gas (mm) - diameter

Gas Flow Rate (cm/min)

Electrode

Details of Back (Shielding, Tapering)

Preheat Temperature

Interpass Temperature

Post-heat

Pre-heat rate (maximum and of aging)

Other information^{*)}

Signature _____

Manufacturer: Japan Transport Engineering Company _____

Date _____

4/7-100000

Page 5/5

J-TREC

図4 WPSのフォーマット

3. 4 事前溶接試験

EN15085-4では様々な目的での事前溶接試験を定義している。パープルラインでは溶接の難易度が高い継手を施工する溶接士の技量確認のための溶接試験を行った。当社社員だけでなく、該当する協力会社の溶接士に対しても実施している。協力会社における溶接試験の例を図5に示す。対象とした継手の種類は以下のとおりである。

- ・片面完全溶込みのレ形開先T継手
- ・裏当て有りの突合せ継手
- ・栓溶接、リング溶接



図5 協力会社における溶接試験の例

これらの継手は断面試験により合否判定して、合格者がこれらの継手を施工している。レ形開先T継手の断面写真を図6、製品におけるレ形開先の溶接の様子およびその裏波ビードを図7、図8に示す。

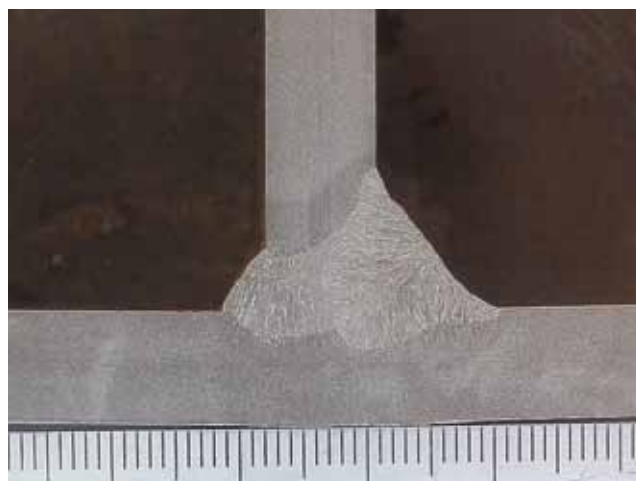


図6 完全溶込みレ形開先T継手の断面写真



図7 製品におけるレ形開先の溶接



図8 レ形開先の裏波ビード

3. 5 溶接不完全部の品質レベル

EN15085-3では溶接品質等級（CP A, B, C1, C2, C3, D）に応じた溶接不完全部（溶接欠陥）の品質レベルを定義している。鋼・ステンレス鋼のアーカ溶接の場合はISO5817 “Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - Quality levels for imperfections”（溶接－鋼，ニッケル，チタンおよびこれらの合金のアーカ融接継手（ビーム溶接を除く）－不完全部の品質水準）を適用することとしている。パープルラインでは溶接品質等級CP Bの部位があり，そこはISO5817のClass B，そのほかについてはClass Cを適用した。スポット溶接についてはEN15085-3のAnnex Fに記載があり，これらを適用した。スポット溶接の内容は，国内の規格とほぼ同じである。

3. 6 寸法公差

図面に公差指示のない溶接組立品については，EN15085-3で要求されているISO13920 “Welding - General tolerances for welded constructions - Dimensions for lengths and angles - Shape and position”（溶接－溶接構造物の一般的許容差－寸法および角度－形状および姿勢）の許容値を用いた。長さはClass B，真直度や平面度はClass Fである。

3. 7 仮止め

従来，国内においては「タック溶接」＝断続溶接という解釈で，断続溶接と仮止めは別物として扱われていた。ただし，海外では「Tack weld」＝仮止め溶接であり，最新版のJIS Z 3001（溶接用語－第2部：溶接方法）においても「タック溶接」は，

『本溶接の前に，定められた位置に母材を保持するための断続的な位置決めのための溶接。

注記 従来，一時的溶接を含めて仮付溶接ともいわれていた。』

となっている。海外ではタック溶接＝仮止め＝本溶接の一部である。溶接欠陥の発生しやすい点付けは厳禁とされ，仮止めの溶接も本溶接と同じように作業することが求められる。EN15085-4でもTack weldに関する記述があるため，仮止めの長さ，位置，作業方法等について基準を作成して，これらに適合させた。

4 おわりに

鉄道車両に関する溶接関連の国際規格，およびそれらのパープルラインでの適用状況について解説した。溶接士の資格については従来通りの国内資格を適用したものの，今後の海外事業展開を踏まえるとこれらも国際規格であるISO9606に基づく認証とすべきと考えている。同時に，日本では積極的には行われていない工場認証の必要性も感じている。そのためには国際規格に基づく資格を有した溶接管理技術者，検査員の拡充や管理体制の整備が必要であるため，今後対応していきたいと考えている。

参考文献

- (1) 小俣和夫：「V 溶接関連規格等 2. 施工法関連」,
溶接学会誌 第79巻第5号, 123-125, (2010), 溶接学会
- (2) 細井宏一：「第1回 国際標準としてのQMS [ISO3834]」,
溶接技術 第62巻第7号, 118-122, (2014), 産報出版
- (3) 細井宏一：「第2回 世界が注目するQMS [ISO3834]」,
溶接技術 第62巻第10号, 97-102, (2014), 産報出版

著者紹介



大塚陽介
技術士（金属部門），IWE
生産本部
技術部（接合技術センター） 主査



岡田 寿
生産本部
技術部（接合技術センター） 課長



荒木雅之
生産本部
技術部 部長（基礎開発）

バンコク パープルライン — 車両の強度解析と試験設備 —

Thailand Bangkok Purple Line
— Strength Analysis and Testing Facility —

荒木雅之 Masayuki ARAKI
麻生和夫 Kazuo ASO
浅田謙二 Kenji ASADA
市川 聡 Satoshi ICHIKAWA
大野真弘 Masahiro OHNO

タイ王国のバンコク市で建設中のパープルライン向け車両の設計・製作は、当社の前身である東急車輛時代から数えて約10年振りの輸出車両である。一方でこの10年ほどの間に、鉄道関連の規格がヨーロッパを中心として急速に整備・拡張されてきたことは周知の事実である。したがって、このパープルライン向け車両の設計・製造は、これら最新の海外規格に当社として初めて本格的に取り組んだ例となる。本稿では、技術仕様書に基づき海外規格に沿って要求された車両構体と台車枠との強度検証に関し、当社で実施した解析、および新たに整備した試験設備の概要を述べる。

1 はじめに

パープルライン向け車両の設計・製作には、従来から国内向けの鉄道車両に適用しているJIS規格ではなく、ISO規格、UIC規格、EN規格などの国際的に認められた規格の適用が要求された。これらの鉄道に関する海外の諸規格は、市場の国際化、とりわけ1993年設立のEUによるヨーロッパ市場経済の統合や、1995年設立の世界貿易機関（WTO）による国際標準化の動きなどに合わせて整備・拡張が進められており、特にヨーロッパ諸国では、相互直通運転（インターオペラビリティ）や標準化に関連した研究開発とそれに伴う規格化の動きが活発である⁽¹⁾。さらに、ヨーロッパ諸国は、域内規格であるEN規格を国際規格化する活動も進めている。このように、鉄道関連の規格の整備や国際化が進められている中で、当社として約10年振りに設計・製作に取り組んだ輸出車両がパープルライン向け車両である。

本稿では、パープルライン向け車両の構体と台車枠との強度面から要求されたこれら海外規格に基づく検証内容と、それに対する解析および試験設備による対応状況の概要を紹介する。

2 車両構体の強度解析

パープルライン向け車両構体に対する強度検証は、技術仕様書に基づき主としてEN 12663-1:2010 (Railway applications-Structural requirements of railway vehicle bodies Part 1) に沿って行った。国内車両では一般に、

JIS E7106:2006 (鉄道車両 — 旅客車用構体 — 設計通則) に定められた上下最大荷重、前後荷重、ねじり荷重、3点支持荷重について解析やJIS E7105:2006 (鉄道車両—旅客車用構体—荷重試験方法) に従った試験が行われる⁽²⁾。これに対してEN 12663-1では、車両をいくつかのカテゴリに分類し、それぞれのカテゴリに応じた要求事項や、具体的な荷重値が定められている。今回のパープルライン向け車両は、地下鉄等のP-IIIカテゴリに相当している。このP-IIIカテゴリには、上下荷重のほかに次のような荷重がある。まず、4通りの前後方向荷重があり、それぞれ負荷位置とその荷重値が定められている。また、JIS E7106ではジャッキ支持による荷重条件として空車質量での3点支持が示されているが、EN 12663-1では空車質量に台車質量を含めた状態でのジャッキ支持条件が3通り示されている。このように、JIS E7106に比べて評価すべき荷重条件が多岐に渡ることがEN12663-1の特徴である。

さらに、JIS E7106では一般に行わない旨が示されている疲労強度評価であるが、パープルライン向け車両ではEN 12663-1に沿った疲労強度の評価を行った。

以上のような強度評価を図1に示す3次元モデルに基づく有限要素法によって実施した。図1は、左右方向の半分モデルとして示しているが、実際には車両構体全体を対象としたモデルを構築して解析を行った。解析の結果、静的強度と疲労強度との双方がEN 12663-1および客先要求仕様を十分に満足することを確認した。

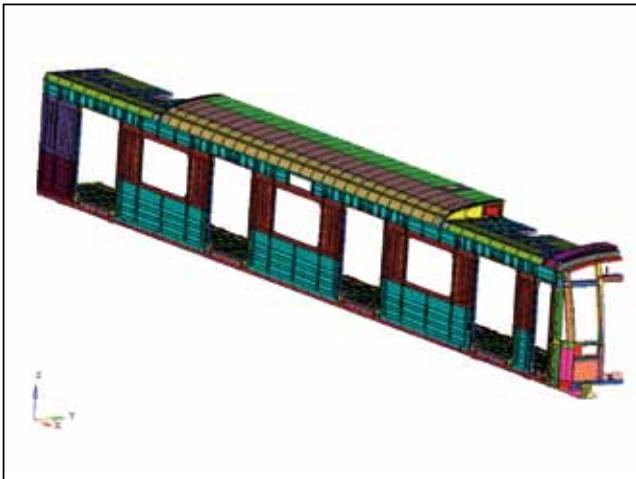


図1 車両構体の強度解析モデル

3 衝突解析

海外向け車両の設計・製作において必須となる強度評価項目として耐衝突特性がある。パープルライン向け車両の耐衝突特性の評価は、技術仕様書に基づき主としてEN 15227+A1:2008 (Railway Applications–Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies) に沿って行った。EN15227+A1では、車両のカテゴリに応じていくつかの衝突シナリオが定められている。パープルライン向け車両は、地下鉄等のC-IIカテゴリに相当しており、同一編成同士の速度25km/hによる衝突というシナリオに基づいた評価が要求された。

パープルラインは開業当初3両編成で運行されるが、将来的には最長で6両編成による運行が計画されている。このため、衝突解析は6両編成同士の衝突を想定して実施した。まず初めに、バネマスモデルによる概略解析を実施して連結器緩衝装置の性能検討を行った。つぎに図2に示した先頭車の3次元有限要素モデルを用いた詳細な衝突解析を行った。この3次元解析では、上下のオフセット量40mmの考慮を行った。

これらの解析結果に基づいて適切な性能を有する連結器緩衝装置を選定した。その結果、速度25km/hによる衝突においても先頭車両の構体間での衝突が生じることがなく、かつEN15227+A1の要求を満たしていることを確認した。図3に衝突終了後の両先頭車の状況を示す。

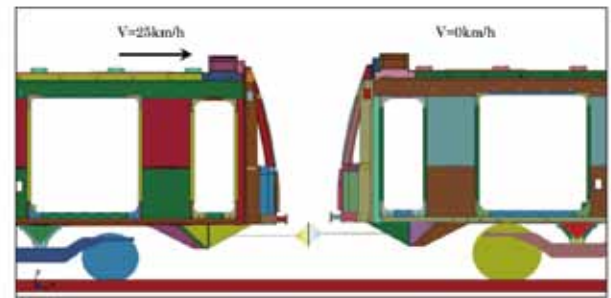


図2 衝突解析モデル

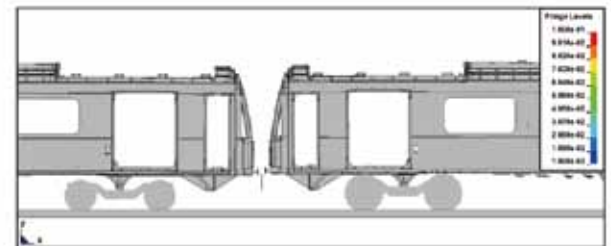


図3 衝突終了後の先頭車

4 台車枠強度解析

パープルライン向け台車枠に対する強度検証は、技術仕様書に基づき主としてUIC 615-4 2nd edition (Motive power units–Bogies and running gear – Bogie frame structure strength tests) に沿って行った。国内向けの台車枠では、JIS E4207:2004 (鉄道車両一台車一台車枠設計通則) およびJIS E4208:2004 (鉄道車両一台車荷重試験方法) に基づいた疲労強度評価が行われている⁽³⁾。このJISによる疲労強度評価は、主に静荷重による応力から求めた平均応力と動荷重による応力から求めた変動応力とを応力限界図に適用して評価を行う。一方UIC615-4には、3種類の静的な荷重試験と疲労試験とが要求されている。静的な荷重試験は、営業運転時の最大荷重を想定した降伏点に対する強度評価を目的としたもの1種類と、営業運転時の繰り返し荷重に対する疲労強度評価を目的としたもの2種類とに分かれている。静荷重試験結果に基づく疲労強度評価の手法に関しては、「最新の学識水準に沿ったもの」と記載されており、具体例としてERRI Report B12/RP17のAppendix6に記載されているGoodman-Smith線図を挙げている。

パープルライン向け台車枠では、上記したUIC615-4が要求する3種類の静的な荷重に対して、図4に示した3次元有限要素モデルを用いた解析を行った。その結果、営業運転時の最大荷重に対して降伏点以内の応力であること、および疲労強度を満たしていることを確認した。

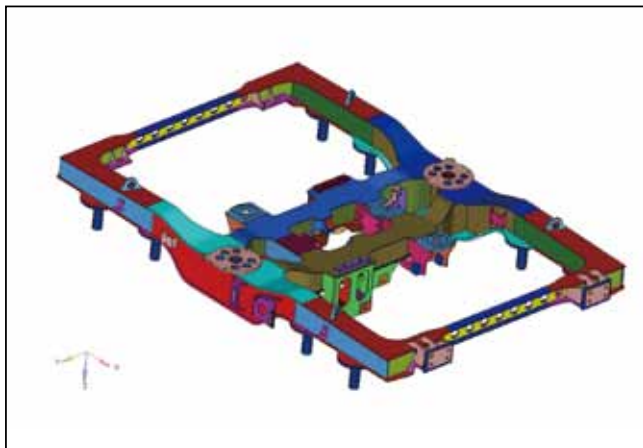


図4 台車枠の強度解析モデル

5 疲労強度評価手法の一例

国内向けの鉄道車両の疲労強度評価は、前述したようにJIS E4207に示されている応力限界図を用いて行われることが一般的である。一方で、ここまで述べてきたEN規格やUIC規格などでは、最新の技術的知見に基づき国際的にも認知された手法による疲労強度評価が要求されている。本稿では、疲労強度評価に関する国際的な規格の一例としてドイツ溶接協会の規格であるDVS 1612:2014-08（英文名 Design and endurance strength assessment of welded joints with steels in rail vehicle constructions）を取り上げ、その内容を簡単に紹介する。

DVS 1612は、国際溶接学会（IIW）の疲労強度設計指針（Recommendations for fatigue design of welded joints and components）と同様に、溶接継ぎ手の形状に応じた等級分けを行っており、それぞれの等級に対する疲労強度を示している。この継ぎ手形状に基づく等級分けは、他の海外規格、例えばEurocode 3や、国内における鋼構造協会の疲労強度設計指針なども採用している手法である。ここで、DVS 1612を特徴付けているものは、疲労強度の許容値を求めるための線図を、直応力に関する平均応力の正負と鋼種とによって区別している点である。すなわち、平均応力の正負2種類とS355およびS235の2種類の鋼種とからなる4種類のそれぞれに対し、継ぎ手形状に応じた等級ごとに決まる疲労強度の許容値の線図（DVS1612ではMKJ線図と称する）を定めている。

図5は、SS400相当の鋼種であるS235に対する直応力の平均応力が正の時のMKJ線図を、DVS1612に記載されている式に基づいてグラフ化したものである。横軸は、最小応力を最大応力で除した応力比であり、縦軸は疲労強度の許容値である。また、図中にA～F3で示されている記号は継ぎ手形状に応じた等級を表しており、カッ

コ内の数字は応力比が-1、すなわち両振りの時の疲労強度の許容値を表している。図では、応力比が1に近づくに従って許容値が急激に増加しているが、許容値は材料の降伏点によって限定されると規格の本文に述べられている。この他に、DVS1612では、10mm以上の板厚に対する許容値の低減式や多軸応力状態に対する評価手法などが定められている。

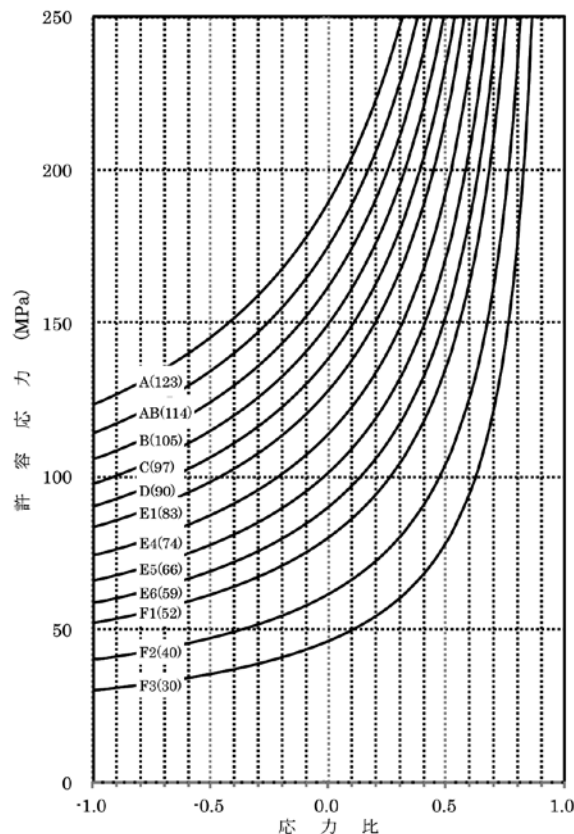


図5 S235の疲労MKJ線図

6 荷重試験設備

パープルライン向け車両では各種の荷重試験を行ったが、ここでは構体荷重試験の実施に当たって新たに導入した設備を紹介する。

従来の構体荷重試験では、JIS E7105に沿った車端圧縮試験を行ってきた。しかし、EN 12663-1には、前述したように多種類の車両前後方向の荷重が定義されている。そこで今回、これら各種の車両前後方向の荷重試験を可能とするために、新たな構体荷重試験設備を導入した。図6に導入した設備を用いたパープルライン向け車両の構体荷重試験の実施状況を示す。



図6 構体荷重試験の実施状況

7 さいごに

ここまで、パープルライン向け車両に対する強度解析と試験設備について、国内規格および海外規格との比較を交えながら述べてきた。実際の解析や試験に当たっては、国内市場とは大きく異なるさまざまな規格や顧客の要求に苦労を重ねたが、その苦労の見返りとして海外規格や国際市場における技術動向などについて理解を深めることができた。そして、その結果としてパープルライン向け車両を、規格や顧客の要求を十二分に満足した車両として送り出すことができた。

市場のグローバル化や新興国の経済発展に伴い、今後も海外向け車両への取り組みが増大していくと考えられる。また一方で、ヨーロッパを中心とする鉄道関連規格の整備もさらに進むものと考えられる。このような状況の中で、海外規格に対応した解析技術および試験技術がなおいっそう重要になっていくと考えられる。したがって、今後ともたゆまぬ努力を続けていく所存である。

参考文献

- (1) 田中裕：「鉄道分野における国際化とは」、RRR Vol.68 No.2, 16-19, (2011), 鉄道総合技術研究所
- (2) 宇治田寧：「機械・機械構造物の強度設計と事例2. 鉄道車体」, 材料 Vol.59 No.7, 575-582, (2010), 日本材料学会
- (3) 山本三幸：「鉄道関連製品の疲労に関わる研究開発とその展望」, 新日鉄住金技報 395号, 34-40, (2013), 新日鉄住金株式会社

著者紹介



荒木雅之
生産本部
技術部 部長（基礎開発）



麻生和夫
生産本部
技術部（車体設計） 主任技師



浅田謙二
生産本部
技術部（技術解析） 課長



市川 聡
技術士（機械部門）
生産本部
技術部（台車設計） 主査



大野真弘
生産本部
技術部（試験） 課長

バンコク パープルライン ーシステムとぎ装ー

Thailand Bangkok Purple Line
ー Equipment installation ,Cab arrangement and System configuration. ー

鈴木 久郎 Hisao SUZUKI
平林 健一 Kenichi HIRABAYASHI
藤谷 晃 Akira FUJITANI
山本 徹 Toru YAMAMOTO

弊社ではタイ、バンコクパープルライン用オールステンレス製通勤用電車 21 編成 63 両を受注し、納品した。これは、J-TREC の海外向け sustina ブランドの車両第一号であり、さまざまな特徴を有している。本解説では、車両各所のぎ装に関して、機器配置の特徴と輸出車両の特殊構造について述べる。また、本車両のシステム構成について、主回路、ブレーキ、サービス機器などについて、その基本構成と概要について述べる。

パープルライン用車両のシステム設計の考え方ならびにぎ装方法は、EN 規格に準拠したインタナショナルスベックで設計されたものであり、今後の海外輸出通勤用車の基本となる位置付けの車両である。

1 はじめに

このたびタイ、バンコクに開業する新規路線、パープルライン向け車両を受注し、3両固定編成×21編成 計 63両を製造した。

本解説では、パープルライン車両のぎ装、およびシステムについての概要を述べる。

2 車両概要

パープルラインはタイの首都、バンコクの北部より中心部へ向かう路線であり、2016年に開業予定である。今回の開業は北部の高架鉄道部分であるが、将来はバンコク中心部に向け、地下鉄で延伸される計画である。

車両は、Mc-T-Mcの2M1T 3両編成で構成される。

なお、将来の旅客数増加を想定した中間車増備による4両編成、6両編成の組成対応、および将来の延伸区間である地下鉄区間での運行が可能な仕様となっている。

3 ぎ装

3. 1 ぎ装概要

床下の空気配管は、客先仕様を満たしたステンレスシームレスチューブを採用し、継手はEN規格に適合したOリング式の継手を採用している。また管押さえはクリートタイプで上下からチューブを挟み込む形で、管を固定している。

ケーブルについては密閉の仕様から、可動部を除いてすべてフレキシブルコンジットに入れ保護している。

床下から室内へケーブルが通過する床立上り貫通管については、ファイアバリアの仕様要求により、貫通部に耐

火シールを施して火災時の焼損を抑える構造にしている。

なおこの構造は、仕様で要求されている火災テストを事前に受けて、パスしている。

使用している配線材料については、ノンハロゲンをはじめとする使用禁止材料の含有率を事前に確認したうえで選定し、また火災規格についても配慮をしている。

3. 2 乗務員室

乗り心地についてはタイ人の5%タイルと95%タイルの体格を考慮した機器配置とし、また視野確認に関してもタイ人の体格を考慮した運転台として設計している。

運転台と車掌台は、最軽量化を施したオールアルミニウム製のコンソールと筐体構造を採用している。

乗務員室内の点検フタは扱い上、専用にしたラッチを採用し、専用のカギを用いて開閉を行う構造としている。

運転台ユニットには、保安装置のDMI（ドライバマシンインタフェイス）、TCMSモニタ、CCTVモニタという3つのモニタを搭載し、それぞれ運転士が座ったまま操作が出来る位置に配置をしている（図1、図7）。



図1 運転台ユニット

3.3 床下

重量物の床下機器は、仮に吊りボルトが抜け落ちてもすぐに機器が脱落しない構造として、床下吊金具をサドルマウント方式としている。大型機器の吊りボルトは国際標準とされる計算方式に基づき高トルクで締結されている。また、ボルトと締結面は高トルクに適する表面処理が施されている。

各車両サイドの車側位置に、スティンガコネクタを配置し、車両がデポ内に入倉した際の外部給電をここから給電して車両移動等を行う。

T車には2重系のために、SIVとCOMPを2台搭載している。床下機器配置図を図8に示す。

EN規格の衝突要求に対応した台枠構造を備えることから、その構造と形状に対応した機器配置、ダクト配置、配管レイアウトとなるよう最適設計を施している。

3.4 室内

各ドアのカモイ部位置に、行先案内用のLCD表示器を搭載している。またドア間の位置にコンテンツ用のLCD表示器を配置し、1両あたり6ヶ所搭載している。

天井部分にはCCTVカメラを1両4台搭載し、車内の空間にカメラの死角が起こらないよう考慮された位置に搭載している。また非常時に非常通報器を操作している人の画像が確認出来るよう、カメラ位置を配置している。

腰掛下のケコミ内に、ブレーキ用アイソレーションコックを搭載している。なお、このコックは緊急時に乗務員のみ扱うことが出来るよう、カギ付き点検フタの中に収納され、カギが無いと扱えない仕様となっている。

3.5 屋上

屋上部には先頭車の先頭部分にCBTCアンテナを2台搭載している他、各車に空調装置を2台搭載している。第三軌条方式ということもあり、屋上は搭載機器が少ないシンプルなレイアウトになっている。

4 システム構成

4.1 車両システム概要

パープルライン車両は、DC750Vの第三軌条方式を採用している。両先頭車にCBTC車上信号装置と、主回路装置を搭載し、中間車には補助電源装置と電動空気圧縮機をそれぞれ2台搭載している。以降、各機器、システム構成について解説する。

4.2 主回路および補助電源装置

駆動装置として、Mc車に1C2M×2群のインバータを

搭載している。このインバータは編成で4群を有し、1群故障においても車両基地まで通常ダイヤ内で走行可能なシステムを有し、車両故障時の列車遅延等を防止している。また主幹制御装置にはワンハンドル無接点型マスコンを採用している。

補助電源装置は、T車にインバータを2台搭載している。これは、編成内の冗長系および、タイの気象条件に対する空調容量を満足するために構成されている。

また、制御電源にはDC110Vを採用し、1インバータあたり1台の整流装置、および蓄電池を組み合わせ、車両全体の電源システムを構成している。

これらインバータ等に対する地上からの給電は、各台車に搭載された集電靴（図2）により第三軌条により行われる。パープルラインの第三軌条は、日本で一般的に使用されるものと異なり、集電靴のすり板部を下方から第三軌条に押し当てる方式を採用している。



図2 集電靴

4.3 ブレーキ装置

ブレーキ装置は、各軸制御を行っている。また、主回路装置側では回生機能に加え、ブレーキ抵抗を搭載しており、電気ブレーキ優先の制御となっている。

本ブレーキ装置の特徴として、各台車に小型のブレーキ制御器を搭載しており、各々のブレーキ制御器はCAN-BUSをベースとするネットワークで接続されている。ネットワーク構成により、通常時には編成全体でのブレーキ力分担等を行っている。また、装置故障時には他の装置による編成統括でのバックアップを行うことが可能となっている。

主回路、制御回路とはPWM信号で接続され、ATO、主幹制御器や電気ブレーキとの連動を行っている。

また、空気元として、T車に2台のレシプロタイプ電動空気圧縮機ユニットを搭載し、無気圧からの急速充填、およびコンプレッサ故障時の運行停止を回避できるシステムを構成している。反面、3両編成において2台搭載と、過剰な供給能力を有することで、稼働率の低さによるオイル乳化などが懸念されるが、これらに対応するために、次の制御を加えている。

- ・通常1台を使用し、カレンダーにより交互運転を行う。
- ・稼動する側の空気圧縮機故障時には、自動的に待機側に切り替わる。
- ・車両立ち上げ時などに元空気圧が低下している場合には、2台の空気圧縮機の同時運転を行う。

これら回路側とのインタフェースにより、短編成での冗長系等を構成している。

4. 4 保安装置

CBTCシステムを採用しており、車上装置を両先頭車に搭載している。

本装置は、自動列車保護装置（ATP: Automatic Train Protection）機能に加え、有人式自動列車運転装置（ATO: Automatic Train Operation）機能を有している。

また、安全性を確保するため、故障時など、保安装置を開放した際には、主回路、ブレーキ装置において上限速度が35km/hに保たれるシステムを構成している。

その他、ホームドアと旅客扉の開閉動作の連動制御、およびこれに関連し車両の旅客扉の開許可指令の制御機能を有し、さらに停止状態、停止位置に応じた旅客扉の開閉許可司令を発行している。

4. 5 戸閉装置

旅客扉には、ラック&ピニオン方式を用いたドアオペレータ（図3）を採用し、一般的に開閉と機械式ロックのための2系統の駆動機構を中央にまとめ、部品点数削減による、ぎ装面、メンテナンス面での省力化を計っている。



図3 ドアオペレータ

旅客扉の開閉は、基本的に保安装置からの許可司令に基づき、ホームドアと連動しつつ開閉を行っている。扉閉案内として、旅客扉周辺に対して、ユニバーサルデザインの

観点から、視覚として赤色ランプ、聴覚としてブザーの鳴動による予告の後、扉が閉まる手順を踏み、旅客の扉への挟まりの予防を促進している。

各扉横柱部には、赤色に塗装された解錠ハンドル（図4）が装備され、非常時の旅客脱出に使用される。この解錠ハンドルでは、いったん操作すると専用のカギを用いなければ復位できない機能を有し、いたずら等を含めた操作の痕跡を残す機能を有している。また、走行時にはハンドルを引ききれない（解錠させない）よう、ドアオペレータ（LCU）にて制御している。



図4 車内解錠ハンドル周辺
（解錠ハンドル(左上) 非常通報器(左下) 戸閉案内(右上)）

旅客扉の車外からの解錠操作用に、1両当たり2箇所の限定された扉に対して側面に解錠ハンドルを搭載している。

旅客扉自身の安全性として、後述するSILによる安全指標、および前述した保安装置からの指令との連動により、安易な開扉が発生しないシステムを構成し、安全を確保している。

4. 6 サービス機器

車内および運転室の空気調和は、バンコクの気象条件にあわせ、1両あたり空調装置2台を屋上に搭載し、客室に搭載された空調制御装置により制御している。本装置は停電時、蓄電池からの給電で60分間外気を送風する機能も有している。

放送・連絡・案内装置として、表示器、放送装置、非常通報器、防犯カメラを統合した装置を搭載している。

旅客案内用として行先や次駅案内を客室内の各ドアのカモイ部に搭載したLCD表示器に表示し、音声を含めた広告

を扉間の客席頭上に搭載する22インチLCD表示器（図5）で放送することができる。



図5 22 インチ LCD 表示器

非常通報器（図4参照）が1両4箇所の扉横に搭載されており、乗客が非常時には乗務員や制御センタと直接通話できる。CCTVシステム（図6）が天井に搭載されたカメラ画像の映像を、運転台ユニットに搭載するCCTVモニタに表示するとともに、各車毎に搭載された記録装置に記録している。また、非常通報器と連動し、通報器が扱われた場合、該当箇所の状況を乗務員に音声だけでなく、映像で通知する機能を有している。



図6 客室内天井に搭載される CCTV カメラ

これらシステムの接続には、主にイーサネットが使用されており、車両内配線、および、2車間渡りにおいては、火災規格に順ずるイーサネットケーブルを適用している。なお、2車間渡りにはフレキシブルコンジットを採用し、イーサネットケーブルを編成内に引き通している。

4. 7 安全性

パープルラインのブレーキおよび旅客扉の安全性を確保するため、評価指標として、EN 50128（ソフトウェア）EN 50129（ハードウェア）に示されるSIL（Safety Integrity Level）に準拠した。適用を以下に示す。

SIL2 常用ブレーキ、旅客扉（オペレータ及び回路）

SIL4 非常ブレーキ

ハードウェアでは、基本設計、FMECAの実施により故障率を規格の示す基準以下に収める数値レベルの検証を行うとともに、客先要求仕様やハザードに対する、照合（Verification）と妥当性確認（Validation）、およびその照合と妥当性確認作業の独立性についての要求を満たすことで、安全性を評価している。

また、同時にそれぞれの機器メーカーにおいてSILレベルに準拠し、車両システム全体としての安全性を確保している。

5 おわりに

パープルライン車両は、当社海外向けsustinaブランドの第一号である。タイ、バンコクにおける、安全、安定、そして環境にやさしい鉄道インフラの普及にこの車両が末永く役立つことを期待する。

またユーザからの日本製車両の快適性や使い心地の良さについての答えにも期待する。

著者紹介



鈴木久郎

生産本部

技術部（ぎ装設計） グループリーダー



平林健一

生産本部

技術部（システム設計） 主任技師



藤谷 晃

生産本部

技術部（ぎ装設計） 主査



山本 徹

生産本部

技術部（システム設計） 主査

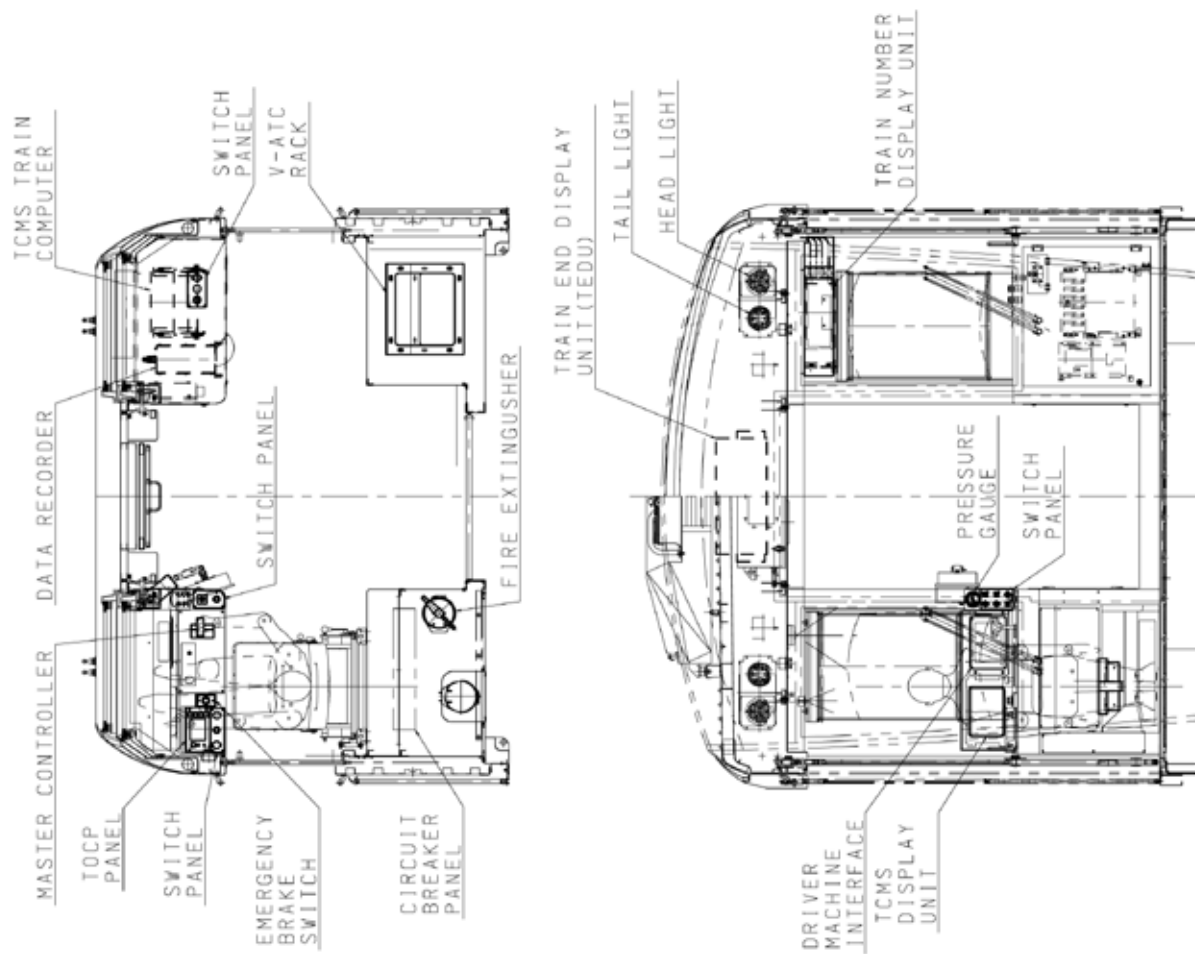


図7 乗務員室

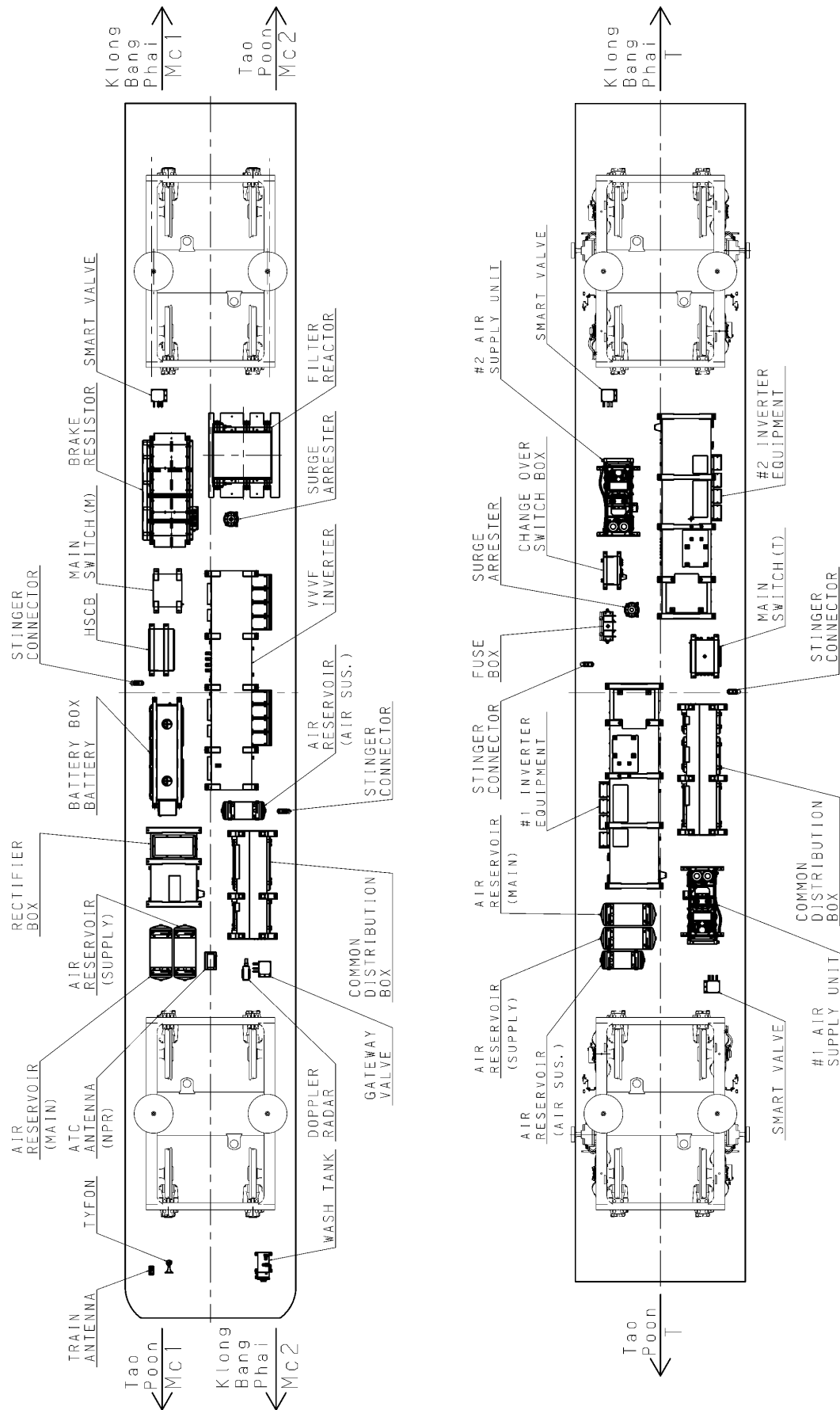


図 8 床下機器配置

バンコク パープルライン — 台車 —

Thailand Bangkok Purple Line
— Bogie —

市川 聡 Satoshi ICHIKAWA
高橋義博 Yoshihiro TAKAHASHI

タイ バンコクパープルライン通勤電車用台車を製作・納入した。本台車は、海外の規格への対応・第三軌条方式であることなど、海外では一般的仕様であるが、日本要求仕様とは異なる点が多く、その対応力が求められた。

本解説では、台車の概要・構成、解析および試験、今後の展開について述べる。

1 はじめに

タイ バンコクパープルライン用として63両126台車を現地に納入し、残された様々な対応を引き続き行っているところである。

本稿では、そのパープルライン車両用台車についての概要を紹介する。

経験の少ないヨーロッパ規格への適合、建築限界 (Structure Gauge) がレール面上100mmと非常に高いなど、種々困難を乗り越えて実現した台車の概要を紹介する。

表1 主要諸元

	M台車	T台車
台車型式	TS-1039	TS-1040
台車方式	空気ばね式ボルスタレス台車	
けん引方式	一本リンク式	
軸箱支持方式	コイルばねによる円筒案内式	
営業最高速度	80 km/h	
設計最高速度	96 km/h	
軌間	1435mm	
全長	約3835mm	約3605mm
全幅	3130 mm (集電装置)	
全高	940mm	
軸距	2100mm	
車輪径 (新製時)	860mm	
軸ばね左右間隔	2070mm	
空気ばね左右間隔	2000mm	
駆動方式と継手	平行カルダン式WN継手	
基礎ブレーキ	車輪ディスク式キャリパ方式	
台車質量 (排障器付き/なし)	7556kg /7485kg	5594kg

2 台車概要

パープルライン用台車は、標準軌および第三軌条に対応したボルスタレス台車であり、軸箱支持装置は円筒案内式を採用し、軸距は日本で一般的な2100mmである。

3両編成Mc-T-Mcの車種構成であり、先頭のM台車には、排障器を装備している。台車型式は、TS-1039をM台車、TS-1040をT台車としている。技術仕様書に基づき、M台車とT台車とで極力共通化を行った設計とした。

図1に台車外観を、表1に主要諸元を示す。

台車に対して、客先の技術仕様書を満たすことに加え、実績のある構造を要望された。一方でヨーロッパの規格を満たすことも要望されているため、実績を重視しつつ規格を満足できる構造として設計を進めた。



図1 台車外観 (集電装置取付)

3 台車構成

3. 1 輪軸

輪軸に対する技術仕様書の要求はEN13103/EN13104を満たすこと、似た環境で十分な実績を有することである。

これを受けて本台車で使われる輪軸は、日本の在来鉄道でほぼ全数に使用されている材質を使用した。

3. 1. 1 車軸

車軸は、M台車用とT台車用の2種類である。技術仕様書における材質の要求は34CrNiMo6であった。当該材質は合金鋼で引張強さが非常に高く、伸びが非常に小さい特性を有する。軽量化には有利であるが、き裂などの不具合に対して破断に至りやすい欠点^{(1), (2)}を有する。車軸はフェールアウトの部品であるため、このリスク軽減のため、伸びが大きく日本で十分実績のあるSFA65Aを使用した。

車軸の強度評価は、技術仕様書に基づきEN13103/EN13104を適用した。

3. 1. 2 車輪

車輪は、一体車輪でありM台車とT台車とで共通である。ブレーキディスクを取り付ける構造で、新製時の車輪直径は860mmである。

材質は、日本で十分実績のあるSSW-Q3Sを使用しており、強度評価はEN13979を適用した。

車輪踏面形状はUIC60E1レールを考慮して、新たに設計した形状を用いている。

3. 1. 3 車軸軸受

車軸軸受は、日本の通勤車両で一般的に用いられる軸径120密封複列円錐ころ軸受を用いた。軸端装置の違いにより、一般用、歯車型速度発電機用、駆動ピン型速度発電機用と軸端接地装置用との4種類の前ぶたが存在する。軸受本体はすべて共通である。

3. 2 軸箱

軸箱はくら掛構造とし分解の容易化を図るとともに、車輪転作時に荷重が受けられる構造とした。

台車洗浄装置による軸受シールを保護するために、全ての軸箱で前ぶたを取り付けた。

軸箱の設計はM台車とT台車とで共通である。

3. 3 軸箱支持装置

軸箱支持方式は、海外向けに実績を考慮し、コイルばねをウィング配置した円筒案内方式とした。

また、車輪ディスクブレーキの配置によるブレーキキャリパとの干渉を防ぐとともに、軸頸間隔を小さくさせるために、ウィング配置したコイルばねを枕木方向にオフセットさせる形式を採用した。

最高速度80km/hを考慮し、軸ダンパは取り付けない。

軸箱支持装置は、コイルばねも含めてM台車とT台車とで共通である。

3. 4 台車枠

台車枠の技術仕様書での要求は、箱型の溶接構造であること、30年の使用に耐えられる構造であること、UIC515による評価を行うことである。それらを満足するため、ヨーロッパ規格に基づく溶接施工方法に準拠した台車枠の設計を行い、M台車枠も含めた強度評価はUIC515ではなく、MUIC615-4に従って実施した。

台車枠の主要構造は、M台車とT台車とで共通であり、側ばり、横ばり、端ばりとして構成される。溶接構造は基本的に突合せ溶接とすみ肉溶接として、ヨーロッパの溶接構造規準を満たす構造としている。

側ばりは、箱型の溶接構造である。その内部の一部は、空気ばねの補助空気室として利用している。

横ばりも、箱型の溶接構造とし、M台車枠から主電動機受と歯車箱吊り受台とを除けば、T台車枠となる。

端ばりは、ディスクブレーキ取り付けのために構成される。側ばり側からディスクブレーキ受までは、強固な箱型構造を有し、大きな強度を必要としない中央部は軽量化の観点からI型構造を採用した。

台車枠の主な材質はSM400Bを使用している。

3. 5 駆動装置

交流誘導電動機とWN継ぎ手を用いた一般的な駆動装置である。歯車比は、1/6.79である。

建築限界がレール面から100mmと高いため、主電動機、歯車装置とも大きな制約条件のもと設計された。そのため、主電動機は径を大きく取れず、枕木方向に長いタイプを採用した。

3. 6 車体支持装置

技術仕様書に基づき、空気ばねを用いたボルスタレス方式を採用した。車体支持方法は、日本で十分な実績を有する空気ばね4点支持方式とした。けん引装置は、1本リンク方式を採用した。技術仕様書の要求に基づき、車体をジャッキアップ時に緊締せずに台車を持ち上げられる構造を採用した。また、異常上昇止めのすき間は調整可能な構造である。

最高速度を考慮し、ダンパ装置は左右動ダンパのみと

し、メンテナンス性を向上させた。

車体支持装置は、M台車とT台車とで共通である。

3. 7 ブレーキ装置

基礎ブレーキ装置には、車輪ディスクブレーキを使用している。技術仕様書に基づき、在姿でのブレーキ装置の着脱が可能な構造とした。

各軸の1台は、パーキングブレーキを有している。パーキングブレーキの手動リリースは、台車側面のコックを操作することで、台車内の全てのパーキングブレーキを解除できる構造とし、取り扱い性の向上を図っている。

各車軸軸端部には、速度発電機を取り付け、滑走を検知できるシステムとした。

ブレーキ装置は、速度発電機も含めてM台車とT台車とで共通である。

3. 8 台車配管

台車配管は、ブレーキ配管と集電装置の上下のための配管とが配置される。配管材料は、仕様書に基づきステンレス材を用いている。

ブレーキ配管は台車あたり3本を有する。各軸制御ブレーキ用の2本とパーキングブレーキ用の1本である。

端ばりにブレーキ装置が取り付けられていること、中央部は集電装置の配線・配管が通っているため、端ばりから車体に空気ホースを用いて立ち上げている。

集電装置用の配管は、シューアームの下げ動作用、上げ動作用の2本を有する。集電装置は、空気ばね近傍に取り付けられるため、横ばりから車体に空気ホースを用いて立ち上げている。これにより、ブレーキ配管と区別している。

台車配管は、M台車とT台車とで共通である。

3. 9 集電装置

技術仕様書での要求と、車両の電気システムとの関係から全台車の左右両側に集電装置が取り付けられている。集電装置は、技術仕様書の要求に基づき台車枠架装である。集電シューは車輪の摩耗に合わせて高さを調整できる機構である。

Depotの車体ジャッキとの干渉防止のため台車中心から車端側へオフセットした位置に取り付けられている。

取り付けられる集電装置は電流値の違いにより、フューズ容量、電線本数が異なるためにM台車とT台車とで別部品となる。

3. 10 接地装置

軸端接地装置は、軸箱の1, 8位に取り付けられている。接地線は車体～軸端、台車枠～軸端の2本となっている。

また、台車枠～軸箱間は電氣的に絶縁されているので車軸軸受は電氣的に保護されている。

接地装置は、M台車とT台車とで共通である。

3. 11 排障装置

M台車の前位寄りに排障装置が取り付けられる。排障装置は、技術仕様書に基づきGM/RT2100による強度確認を行った。

4 解析および試験

設計手順の一般として、Verification & Validationを考慮して台車の設計を進めた。ここでは設計段階で数値解析による評価を行い、最終段階で試験によって妥当性を確認した。試験は、EIC61133に従って検証した。このプロジェクトで実施した代表的な解析、試験を以下に示す。

4. 1 台車枠強度評価

台車枠の強度検証は、技術仕様書に基づきUIC615-4に従って実施し、DVS1612により評価した。詳細は、別解説の「バンコク パープルライン 一車両の強度解析と試験設備」に述べられているので、本項では省略する。

基本的な流れは、台車枠全体を解析対象としてモデル化し、すべての荷重条件で解析を行う。その確認のために静荷重試験を実施し、解析と比較する。最終的に疲労試験を実施し、問題のないことを確認する。

図2にその解析結果の一部を示す。



図2 解析結果の一例

解析に引き続き、同規格に基づき静荷重試験を実施した。その様子を図3に示す。静荷重試験は、社内で行った。

さらに最終確認のために、同規格に基づき台車枠の疲労試験を実施した。疲労試験は、規格の要求事項（海外

では一般的)を実施できる試験装置・機関が国内にはないため、ポーランドの試験機関に依頼して実施した。

規格の要求に基づき、全1000万回の繰り返し上下、左右、ねじり荷重を与え、規格の要求である800万回までの間で溶接部の表面に問題のないことを確認した。

図4にその様子を示す。



図 3 台車枠静荷重試験



図 4 台車枠疲労試験

4. 2 建築限界と車両限界

今回のプロジェクトでは、技術仕様書において建築限界 (Structure Gauge) のみが示され、そこを通れる車両の設計が要求された。

これに応じて、左右振動による限界を犯さない検討を行い、車体の大きさを決定した。検討条件は技術仕様書に従い、台車各部の変位を算出した。この結果を用いて、建築限界を犯さず、プラットフォームとの十分なすき間

を有する車体形状が決定された。

この机上検討を確認するために、定置での車体傾斜試験を実施した。車両の片側 (各軸片輪) を適当量まで持ち上げ、車体支持装置の左右変位、車体ロール角度を測定した。この結果から車両が建築物と接触することなく走行可能であることを確認した。

図5に試験風景の一部を示す。

最終的に、現地での走行試験により、主にプラットフォームとの間のすき間を確認する予定である。



図 5 車体傾斜試験

4. 3 走行安全性および安定性

走行安全性は、技術仕様書に基づきUIC518によって評価した。

設計段階においてSIMPACKを用いて曲線通過時の脱線に対する評価を行った。解析に用いたモデルの例を図6に示す。この解析に基づき踏面形状を決定し、走行安全性に問題のないことを確認した。曲線条件は、本線上に有するカントが高い条件、曲線半径が小さい条件として選定した。

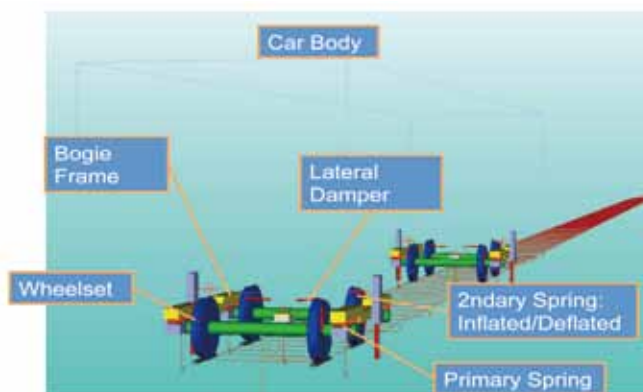


図 6 走行安全性検討モデル

次に、UIC518では要求はないが、技術仕様書に基づき定置での輪重抜け試験を実施した。1両中2輪を規定量まで持ち上げ、ねじり状態を作り出して輪重値を測定した。海外案件では一般的であるカント低減区間に局所的な不整が生じた場合を模擬した際の輪重値を測定する試験である。この結果、空気ばねパンク時も含めて輪重抜け量が技術仕様書で要求される60%以下であることを確認した。図7に試験風景の一部を示す。

最終的に現地の本線で走行安全性確認試験を実施する予定である。技術仕様書に規定されたUIC515から引用されるUIC518に基づき、加速度測定により走行安全性および高速安定性を確認する。



図7 輪重抜け試験

4. 4 乗り心地

乗り心地に対する要求は、技術仕様書においてISO2631-1/4と指定されている。これによって評価し、本線走行で確認する予定である。

乗り心地に対する検討は、Noise & Vibrationの一部として、SIMPACKを用いた数値解析にて評価した。乗り心地の評価のために軌道不整の入力が必要となるが、ERRI B 176を用いた。この結果、乗り心地は良いと判断できた。

乗り心地の確認は、現地にて行う試験であり、本線走行により振動乗り心地を確認する。走行時の車体振動加速度測定を行い仕様書に示された許容値以下であることを確認する予定である。

5 今後の展開

前項でも述べたが、本稿執筆時点では完全に完了したものではなく、主にバンコクでの本線走行などの対応が残されている。

各種対応を完了した後、今後の海外展開について今回の経験を元に実施していく必要があると考える。

6 おわりに

パープルライン用台車の概要を述べてきたが、海外規格に対応した台車の設計および製作の経験を生かし、その能力を高めていくことが重要であると考えます。

参考文献

- (1) C Klinger, 他：「Axle fracture of an ICE3 high speed train」, Engineering Failure Analysis, (2013)
- (2) 石塚弘道：「日本と欧州の車軸を比較する」, RRR, (2011)

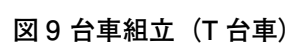
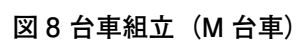
著者紹介



市川 聡
技術士（機械部門）
生産本部
技術部（台車設計） 主査



高橋 義博
生産本部
技術部（台車担当）グループリーダー



レーザスポット溶接の最適化に関する研究

A Study on the Optimization of the Laser Spot Welding

河田直樹	Naoki KAWADA
遠藤翔太	Shota ENDO
吉澤正皓	Masaaki YOSHIZAWA
側垣 正	Tadashi SOBAGAKI

現在、レーザ溶接に用いられる主なレーザには、YAG レーザ、半導体レーザ、ファイバレーザがあり、さまざまな利用形態がある。当社では、sustina を中心とするステンレス車両にレーザを積極的に利用しているが、主力としてきた YAG レーザの老朽化により、半導体レーザ、ファイバレーザへの置き換えが始まっている。

そこで、今後の発展を考慮し、YAG レーザで得た最適化技術を半導体レーザ、ファイバレーザに適用し、利用の拡大を図った。

その結果、YAG レーザと同様に最適化でき、最適化技術の有効性を確認したので報告する。

Laser used for laser welding, YAG laser, a DDL, a fiber laser. These lasers have various usages. Stainless railway vehicles including sustina are effectively used to produce laser welding. However, YAG laser, which has been used so far, is aging, so it is becoming every conversion to DDL and fiber laser. Therefore, in order to use to produce the DDL or fiber laser of railway vehicles as the YAG laser was optimized using the quality engineering.

As a result, quality engineering is to stabilize the welding quality of the new laser welding system, confirmed the suitability of the railway vehicle production.

1 はじめに

現在、ステンレス鋼など鉄系材料のレーザ溶接に用いられる主な産業用レーザには、YAGレーザ、半導体レーザ、ファイバレーザがあり、各産業界にてさまざまな利用形態がある。当社では主に溶接による熱ひずみの低減と鉄道車両の水密性向上を目的として、現在までに sustina を中心とするステンレス鋼製車両にレーザ溶接を積極的に利用している⁽¹⁾。

しかし、レーザ発振器の寿命等による機器更新の時期を迎えたこともあって、従来のYAGレーザ溶接設備による生産から半導体レーザやファイバレーザの溶接設備による生産に切り替えている。これらの設備の最も大きな違いはレーザの発振方式であり、これによってレーザの波長や空間的強度分布が異なる。

また、これに伴って位置決めのための制御装置やレーザ溶接用の加工ヘッド（主に集光光学系や保護装置、測定機器などで構成される）にも違いがあり、全体システムで大きな変化が生じており、溶接条件の見直しが必要であると考えられる。

そこで、これまで生産の主力としてきたYAGレーザで得た品質工学に基づく最適化技術を半導体レーザ溶接設備とファイバレーザ溶接設備にそれぞれ適用し、ステ

ンレス鋼製車両への利用に対する最適化を図った。

その結果、YAGレーザ溶接技術と同様に最適化でき、最適化技術の有効性を確認したので報告する。

2 レーザスポット溶接品質の考え方

レーザスポット溶接の品質は、ステンレス鋼製車両の在来工法である抵抗スポット溶接の品質に換算し、設計しやすいように配慮している。この点が当社のレーザスポット溶接技術の特徴である。基本的な考え方は、抵抗スポット溶接の溶接部（ナゲット）1点あたりのもつ強度に対して、レーザスポット溶接の溶接部が何点あれば等価な強度となるか、あるいは上回る強度となるかということとなる。被溶接材料からみれば、溶接部が分散して配置された形態といえる。

このような観点で溶接システム、溶接継手強度を定義し、レーザスポット溶接の品質と管理方法について考える。

2. 1 溶接システム

溶接システムは、溶接機本体のほかにワーク、治具なども含めて考え、総合的に捉えることが重要である。このことは、レーザ溶接に限ったことではなく、あらゆる加工プロセスに当てはまると考える⁽²⁾。

レーザスポット溶接のプロセスの一例を図1に示す。まず、溶接条件を最適化し、生産ラインでは、部材や治具のセット、動作確認といった「溶接前プロセス」から始まり、その次にレーザ発振、送り装置動作、アシストガス供給がほぼ同時に行われる「溶接中プロセス」がある。最後に治具解除、溶接部良否判定、部材搬出がなされる「溶接後プロセス」で生産の1サイクルが完了する。

こういった考え方はレーザ加工の先駆者の間で個別に pre-process, in-process, post-process と定義され、レーザ加工の基本的な単位となっている。

本稿では、これらすべてのプロセスを溶接システムと考え、最適化や管理の対象としている。

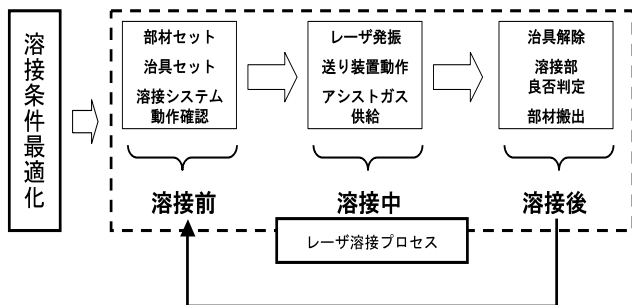


図1 レーザ溶接プロセス

2.2 溶接継手強度

レーザスポット溶接継手の強度の考え方は、在来工法である抵抗スポット溶接に準ずるものであると述べた。ここでは、その具体的な評価方法について述べる。

抵抗スポット溶接の静的強度の評価は、溶接機のパフォーマンス試験や日常管理などでも用いている短冊試験片を用いた引張せん断試験にて行っている。これと同等の評価ができるようにレーザスポット溶接の試験片を作製する。このときの試験片の概要を図2に示す。引張せん断試験では溶接部の体積よりも、接合界面（重ね部）で溶融している面積が強度に影響するため、抵抗スポット溶接で必要としているナゲット径が主たるパラメータとなる。

ナゲット径を一つの指標として考えた場合、レーザスポット溶接では一点あたりのナゲットが小径であるために、複数ナゲットの径の合計が抵抗スポット溶接で短冊試験片に溶接されるナゲット径と同等となるように溶接する必要がある。

抵抗スポット溶接と同等の強度を得るためにレーザスポット溶接のナゲットが何点必要であるかを調べるため、YAGレーザにて短冊試験片に1列（8点）、2列（16点）、3列（24点）溶接し、引張せん断試験を行って実際の強度を調べてみた⁽³⁾。その結果を図3に示す。横軸を表1の

ナゲット一点あたりの面積の総和を接合面積とし、縦軸を引張せん断荷重としている。図3と抵抗スポット溶接の強度からレーザスポット溶接の打点数を決定できる。

また、接合面積と引張せん断荷重の相関係数は0.994であり、両者の関連性は極めて高いので、図3に基づいた強度の予測が可能であるといえる。

さらに、レーザ溶接は非接触加工であるため、抵抗スポットの溶接部の配置の障害となる分流もないので、ほぼ自在にナゲットを配置できる利点がある。

以上のことから、レーザスポット溶接は、設計上、施工上の両面で自由度が大きい溶接方法といえる。

表1 ナゲット面積と列数による継手強度確認試験

試験片番号	ナゲット面積	列数
1-1	1.1 mm ²	1
1-2		2
1-3		3
2-1	1.4 mm ²	1
2-2		2
2-3		3

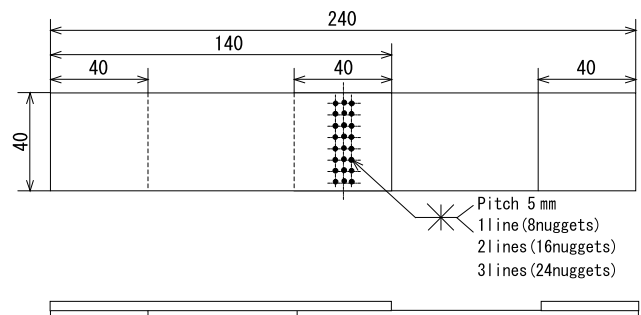


図2 引張せん断試験片

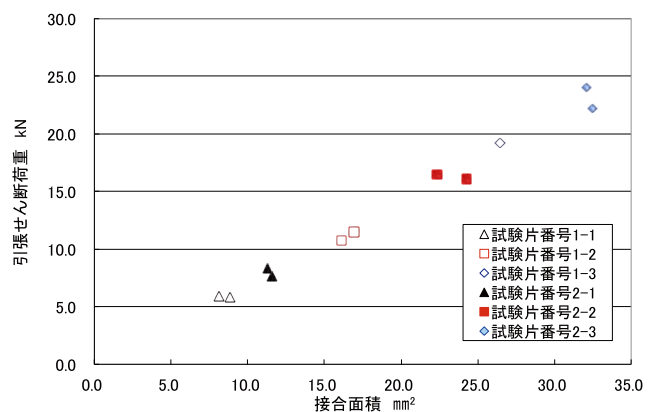


図3 レーザスポット溶接のナゲット面積と強度

2. 3 溶接品質の管理方法

レーザ溶接の場合、レーザ出力、溶接速度、加工ガス（アシストガス）等の溶接条件のほかに、機械装置の位置決め精度や部材精度、治具の健全性など図1に示すレーザ溶接の全プロセスで各々の状態を監視することが重要となり、特に溶接中のレーザ加工ヘッド周辺の光強度を測定して状態を判定するモニタリングシステムが大きな役割を果たしている。

一方、経験的には、他の溶接方法と同様に日常管理と称する各機器の始業前点検や短冊状の引張せん断試験用溶接試験片（図2）の強度による溶接設備全体の健全性確認が有効であることがわかっている。

さらに、被溶接材料の板厚の10%程度の部材精度を維持することが有効であることもわかっているため、被溶接材料の部材精度、機械類の位置決め精度をこれに準じて管理する必要がある、これらも種々の測定器、センサを用いて自動で監視する手段が多く見られるようになってきた。

以上のように、自動で常時監視するシステムと、作業者自身によって確認する日常管理（日常点検）の併用によって、高品質なレーザ溶接を実現できると考えている。

3 パラメータ設計の導入

パラメータ設計は、品質工学（タグチメソッド）のオフラインでの最適化手法で、より具体的には「SN比」、「損失関数」、「直交表」の3要素を用いて、研究開発した技術や製品が市場または製造工程で成立するか否かを推し量る評価手法である⁽⁴⁾。設計対象の基本的な「機能」を定義し、SN比によって、その「機能」が誤差や外乱に対してロバスト（頑健）であるかどうかを評価している。

また、「直交表」によって、ロバスト性の高い設計因子の抽出と、パラメータの決定が容易になるという特徴がある。

3. 1 基本機能

品質工学で扱う「機能」は、品質を達成するためのシステム（技術や機械装置）がもつ基本的な「はたらき」としている。

そして、システムの本来のはたらきが使用条件や環境条件にどれだけ影響されにくい、あるいは、ばらつきにくいかを「機能性」と定義している。機能性を「製品やシステムの本来の働きはエネルギー変換である」とした考えに基づいて表現した関数が基本機能である。基本機能は式（1）で表現され、Mはシステムの入力、yはシステムの出力、 β は感度である（図4）。なお、基本機能は目的機能と理想機能に大別される。

$$y = \beta M \dots\dots\dots (1)$$

目的機能は、目的を達成するためのシステムのはたらきで顧客の望む製品の機能（品質特性）を指す。

一方、理想機能は、システムの目的機能を実現するための技術的手段となるはたらきで、ニュートンの法則やオームの法則など科学的な法則を指す。

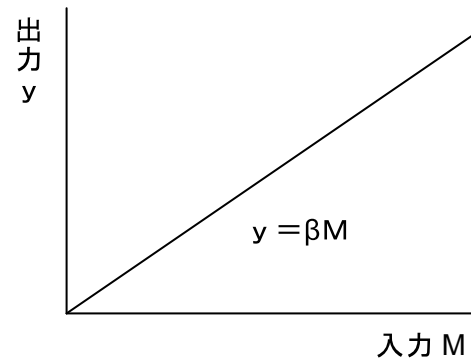


図4 基本機能

表2 レーザ溶接システムで考えられる主な機能

システム	基本機能	入力	出力
①レーザ溶接（現象）	熱エネルギーの収支	入熱量	熔融熱量
②レーザ溶接継手	変位－荷重（標準 SN比）	変位	荷重
③レーザ溶接（プリプロセス）	ワーク固定治具の動特性	エアシリンダ 先端の圧力	ワーク変位量 （ギャップ量）
④レーザ溶接（インプロセス）	加工ガスの動特性	供給元圧	ノズル噴出し流量
⑤ビード研磨（ポストプロセス）	転写性	母材の研磨目	研磨部の研磨目

このような前提でレーザ溶接を目的別に機能で分解すると、おおよそ表2のように示される。便宜上システム①～⑤と示したが、①、②が上位概念となり、③、④、⑤が下位概念となる（溶接継手形態で③、④、⑤は最適化する対象が異なるため、製品別技術の問題ともいえる。表2に示される③～⑤の基本機能は一例であり、ほかにもさまざまな基本機能が考えられる）。最適化を行うならば、上流に位置する①から⑤に向かって最適化するのがよく、①や②で最適化を行えば、③、④、⑤での機能の乱れは少なく、③、④、⑤の最適化は比較的容易であると考えられる。

当社でのYAGレーザによるレーザスポット溶接の最適化では、①→②のプロセスでほぼ最適化がなっているため、③、④、⑤はパラメータ設計を行わず、初期状態（最適な状態）からの変化を監視するモニタリングシステム中心の保全によって品質を維持している。

3. 2 実験計画

本稿では、表2のシステム①および②に着目し、これらのパラメータ設計について示す。

基本機能は表2にて整理した入出力を用いる。誤差因子および制御因子の設定が実験計画の主な作業となる。

まず、誤差因子には機能をばらつかせる要因を選択する。この場合、レーザによる重ね溶接の結果を著しく変化させる被溶接材料の重ね部のギャップ（隙間）とする。溶接品質の管理でも述べたが、板厚の10%程度を限度とするのが経験的に望ましいので、ここでは0.1mmとしている。

なお、誤差因子は、システム①および②で共通であるが、システム③では被溶接材料の板厚（どのような板厚でもギャップ量が密着となるように抑えられる治具）、システム④ではシステム①、②と同様に被溶接材料のギャップ、システム⑤では、板厚または材料の表面特性（どのような板厚でも安定した研磨ができる、どのような表面の材料でも安定した研磨ができる）といった考え方で設定する^⑤。

次に、制御因子には、システム①では表4、システム②では表5のような因子を設定する。どちらも溶接条件が大半を占めているが、大きな違いはレーザの射出形態である。システム①は連続波での最適化を行い、システム②は矩形波（パルス）での最適化を行うことになる。システム①ではレーザ溶接そのものを被溶接材料のギャップに対して安定化し、システム②では被溶接材料の溶接後の強度を従来溶接法による継手と同等とし、被溶接材料のギャップに対して安定化するという違いがある。

このようにして定めた基本機能、誤差因子、制御因子と直交表を用いて実験を計画する。

表 3 誤差因子 N

	N 1	N 2
ギャップ(mm)	密着	0.1

表 4 システム①の制御因子

制御因子	1	2	3
A:焦点距離(mm)	F200	F250	—
B:加工ガス種類($\alpha+\beta$)	α :Ar, β :CO ₂	α :Ar, β :O ₂	α :He, β :Ar
C:加工ガス β 濃度	小	中	大
D:加工ガス流量	小	中	大
E:加工ガスノズル傾斜角	大	中	小
F:定盤	溝付定盤 A	溝付定盤 B	溝なし定盤
G:デフォーカス量(mm)	-2.0	± 0	+2.0
H:誤差列 e	—	—	—

表 5 システム②の制御因子

制御因子	1	2	3
A:焦点距離(mm)	F200	F150	—
B:パルス形状	矩形波	台形波	三角波
C:入熱量	小	中	大
D:溶接ピッチ(mm)	3.0	4.0	5.0
E:溶接列数	1列	2列	3列
F:溶接列間隔(mm)	2.0	3.0	4.0
G:加工ガス	Ar100%	Ar+10%CO ₂	Ar+10%O ₂
H:焦点位置 (mm)	-2.0	± 0	+2.0

3. 3 要因効果と最適化

表4、5によって計画された実験から二乗和の分解を行ない、SN比が算出され、要因効果図（図5および図6）が得られる。要因効果図とは、横軸を表4、表5で示した制御因子の水準とし、縦軸をSN比で示す図である。

例えば、表4の因子Dは溶接雰囲気投入するガスの流量で、第1水準が少量で、第3水準に向かって増加させているが、よりSN比（ワークギャップに対する溶接品質の安定性）が高くなるのは、ガスを減らした方が良いのか、増やした方が良いのかということがわかる。

また、各因子の水準間の差が大きいものが安定性への影響度が大きいことを示し、水準1から水準3へ向かって増加または減少の傾向がつかめない因子（図では山型や谷型になる因子）は交互作用（因子間の影響によって予測できないふるまいをすること）があることを示している。交互作用の存在は、最適条件の再現性にも関わっているが、実験計画、実験、実験データの計算等に誤りがある可能性も示唆しており、実験の計画から結果までの妥当性を知ることができるといえる。

再現性は、要因効果図から推定した現行条件と最適条件のSN比の差（推定の利得）と、実際に現状条件と最適条件で実験を行ない、得られたSN比の差（確認の利得）をそれぞれ算出して確認することができる。

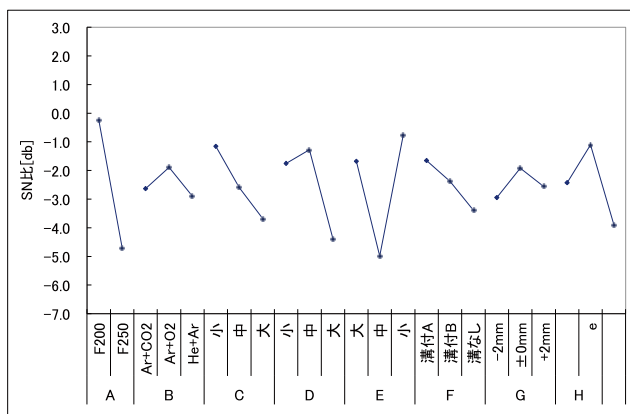


図5 システム①の要因効果図 (SN比)

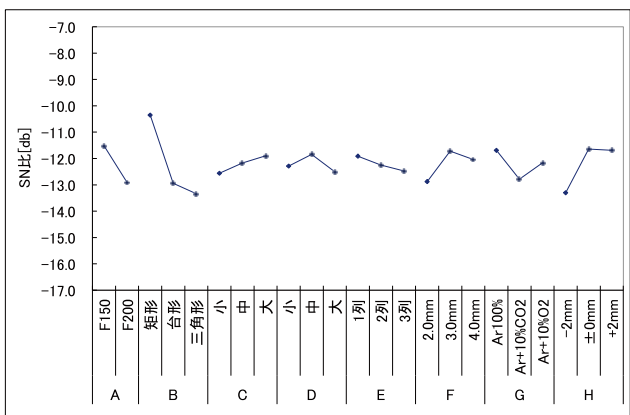


図6 システム②の要因効果図 (SN比)

4 レーザの方式による最適化の比較

本稿では、レーザの発振方式として、YAGレーザ、DDL、ファイバレーザの3種類のパラメータ設計で用いたパラメータと、その効果から、各レーザの最適化に用いたパラメータの共通点と相違点を整理する。

4.1 YAGレーザ

当社として最初に最適化を行い、製品適用を行ったレーザである。最適化は表2に示す①から④までを行っている。特に重要なことは①の熱エネルギー収支の最適化によって、後述する他方式のレーザにも共通する技術として、レーザ加工ヘッドの光学系の設計、加工ガス系の設計、被溶接物に対するギャップ裕度の定量化などができている。システム①の要因効果は図5の通りであり、レーザの焦点距離（ここでは、ビーム径に等しい）とガス関係のパラメータの効果が大きいことがわかる。

そのため、レーザの方式ごとの最適化は実際のところ、システムの入力となる熱エネルギーの被溶接物への入れ方の設計となり、レーザの射出パターンと溶接速度などが主なパラメータとなった。

続いて製品適用に欠かせない溶接継手の評価は表2の②の方法によって確立している。システム②の要因効果は図6の通りであり、継手強度に対しては、特にパルス波形の形状の効果が大きいことがわかる。その反面、システム①で効果が大きかった焦点距離やガス関係のパラメータの効果が小さくみえる。

このことは、レーザスポット溶接ではパルス波形の形状設計が重要であることを示しており、ほかの方式のレーザにも有効なパラメータであると考えられる。

4.2 ファイバレーザ

ファイバレーザは、YAGレーザに近いシステムであるが、ビーム径をかなり小さく絞れるために、よりエネルギー密度が高いことが特徴となる。

このため、時間領域のレーザ出力の安定性をもたらす反面、高いエネルギー密度によって被溶接物への熱エネルギーの入り方が急峻になるため、連続溶接の始端部やレーザスポット溶接におけるスパッタの発生を抑えることが課題となる。もう少し簡単に表現すれば、材料への熱エネルギーの投入方法を見直す必要があるといえる。

このような背景から、表2に示す①の熱エネルギーの収支と②の溶接継手の強度に着目した評価方法を組み合わせたパラメータ設計を行った。表6に制御因子を示す。スパッタの抑制を考慮したパルス波形の設計に主眼をおいた実験計画となっており、加工ガス系の一部見直しと、パルスレーザの波形に関わるパラメータを設定した。

パルス波形の基本形状はYAGレーザの最適値から矩形としながらも、熱エネルギーが急峻に入ることを考慮して、矩形の一部の出力を下げる方法を採用することにした。

図7に示すように、パルス波形に前段・後段を定義し、それぞれのピーク出力と時間の幅を設定することで、矩形波の前または後に段の付いた波形を形成することとした。これに関わるパラメータが表6の因子D、および因子Eである。

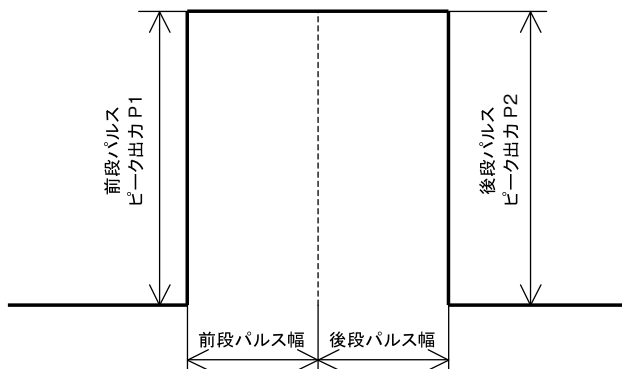


図7 パルス波形の設計の考え方 (その1)

実験結果を図8に示す。図5、6と比較すると、各因子の水準の振れ幅が大きい、因子間の差は小さいことがわかる。ガスノズル方式を除けば、YAGレーザーの最適化で効果が大きいパラメータを選んで構成したので、全体的に効果が上がり、結果として因子間の差が小さくなったと考える。

表6 ファイバレーザ溶接の制御因子

制御因子/水準	1	2	3
A:加工ガスノズル方式	A type	B type	
B:加工ガス流量	小	中	大
C:入熱量	小	中	大
D:ピーク出力(前)	小	中	大
E:ピーク出力(後)	小	中	大
F:溶接ピッチ(mm)	5.0	7.5	10.0
G:デフォーカス(mm)	±0	+1.0	+2.0
e:誤差列	-	-	-

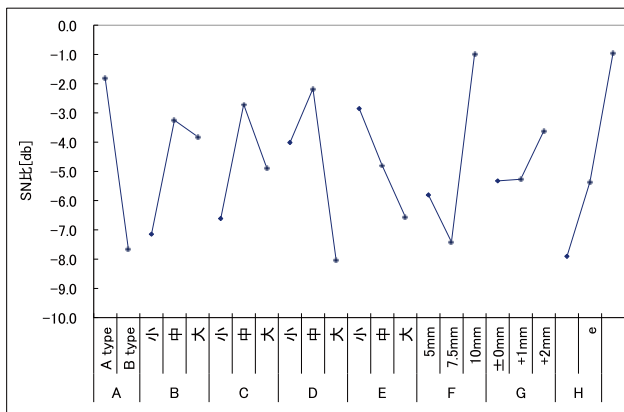


図8 要因効果図 (SN比)

4.3 DDL

DDLはDirect Diode Laserの略で、加工ヘッド内に半導体で構成されるレーザーの発振源を配置し、半導体から被溶接物に直接照射する方式のレーザーである。焦点でのビーム形状が矩形でYAGレーザーやファイバレーザに比べてビームサイズが大きく、エネルギー密度が低い傾向にある。

このため、溶接では、YAGレーザーやファイバレーザと比べ、材料への熱エネルギーの入りは緩やかになると考えられるので、ファイバレーザの最適化と同様に表2に示す①の熱エネルギーの収支と②の溶接継手の強度に着目した評価方法を組み合わせたパラメータ設計を行った。

制御因子を表7に示す。ほかのレーザーと同様に加工ガスに関わるパラメータとパルス波形に関わるパラメータがあることがわかる。DDLの波形の設計は、熱エネル

ギが緩やかに変化することを考慮し、一度設計の原点に戻る意味で矩形波、台形波、三角波の3種類の形状をあらためて検討することとした。

図9にDDLのパルス波形の設計の考え方を示す。図7のように矩形波を前段・後段に分けるのではなく、基本パルスに別のパルスを追加する方法とした。これにより、基本波形の前(図9の矢印①のイメージ)または後ろ(図9の矢印②のイメージ)に矩形波や台形波、三角波を追加することで1つのパルス波形を構成している。

このような考え方で設定した制御因子が表7である。DからHがパルス波形の設計に関わる因子となっており、DDLもYAGレーザーとの技術的相違点を中心にパラメータを設定している。

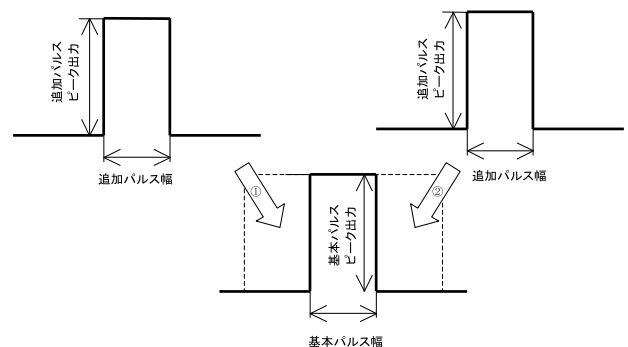


図9 パルス波形の設計の考え方 (その2)

表7 DDL 溶接の制御因子

制御因子/水準	1	2	3
A:加工ガス	Ar	Ar+5%O ₂	—
B:加工ガス流量	小	中	大
C:入熱量	小	中	大
D:ベースのパルス幅	小	中	大
E:追加のパルス幅	小	中	大
F:パルスの追加位置	前	後	なし
G:追加パルスのピーク	小	中	大
H:追加パルスの形状	矩形	台形	三角形

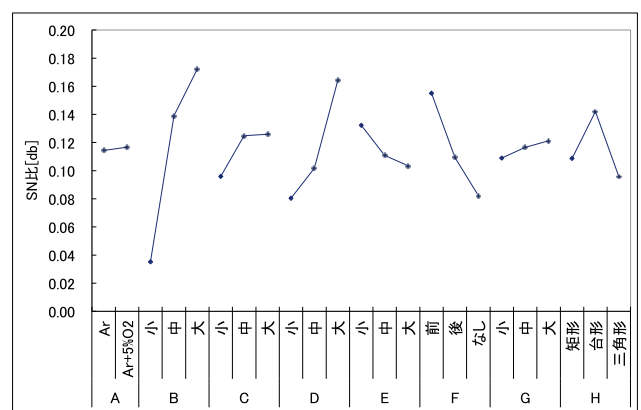


図10 要因効果図 (SN比)

4. 4 レーザ発振方式とパラメータの整理

各発振方式のパラメータ設計における因子を表8にまとめる。YAG①はYAGレーザのシステム①の最適化を示し、YAG②はシステム②の最適化を示している。

全体で共通していることは、加工ガスのパラメータが必ず含まれており、溶接継手の強度を評価値とした最適化（YAG②、ファイバ、DDL）では、パルス波形の形状を決定するパラメータ（波形形状、ピーク出力、パルス幅など）の効果が大きく、全てのレーザ発振方式に共通していることがわかる。

また、溶接継手ということもあって、溶接ピッチ（単位長さ辺りのレーザスポット溶接点数に大きく影響する）の効果が大きいこともわかる。

次に、表8で示されている制御因子以外の固定パラメータを固定パラメータとして、主要な溶接パラメータすべてを表9としてまとめた。

最初にYAGレーザの最適化を行なっていることもあって、YAG①、YAG②では固定パラメータが少なく、さまざまな角度からパラメータの探索を行なっていることがわかる。これらをベースにしたファイバレーザやDDLは、YAG①、②で得た結果を利用できる因子が多く、固定パラメータが多くみられる。

その一方で、レーザの性質の違いから加工ガスとパルス波形の形状に関わるパラメータは、それぞれのレーザでアレンジして用いている。

表8 レーザ発振方式とパラメータの整理

因子	YAG①	YAG②	ファイバ	DDL
A	焦点距離	焦点距離	加工ガスノズル方式	加工ガス種類
B	加工ガス種類	パルス形状	加工ガス流量	加工ガス流量
C	加工ガス濃度	入熱量	入熱量	入熱量
D	加工ガス流量	溶接ピッチ	パルスピーク出力(前)	ベースのパルス幅
E	加工ガスノズル角	溶接列数	パルスピーク出力(後)	追加のパルス幅
F	定盤	溶接列間隔	溶接ピッチ	パルスの追加位置
G	デフォーカス量	加工ガス種類	デフォーカス量	追加パルスのピーク
H	誤差列 e	焦点位置	誤差列 e	追加パルスの形状

表9 レーザ発振方式と各パラメータの水準の関係

因子	YAG①	YAG②	ファイバ	DDL
焦点距離	2 水準	2 水準	1 水準(固定)	1 水準(固定)
ガスノズル方式	1 水準(固定)	1 水準(固定)	2 水準	1 水準(固定)
加工ガス種類	3 水準	3 水準	1 水準(固定)	2 水準
加工ガス濃度	3 水準	1 水準(固定)	1 水準(固定)	1 水準(固定)
加工ガス流量	3 水準	3 水準	3 水準	3 水準
加工ガスノズル角	3 水準	1 水準(固定)	1 水準(固定)	1 水準(固定)
入熱量	信号因子に設定	3 水準	3 水準	3 水準
パルス形状	—	3 水準	1 水準(固定)	3 水準
ピーク出力	—	3 水準	3 水準	3 水準
溶接ピッチ(パルス幅)	—	3 水準	3 水準	3 水準
溶接列数	—	3 水準	1 水準(固定)	1 水準(固定)
溶接列間隔	—	3 水準	1 水準(固定)	1 水準(固定)
デフォーカス量	—	1 水準(固定)	3 水準	1 水準(固定)
定盤	3 水準	1 水準(固定)	1 水準(固定)	1 水準(固定)

それから、最適条件による溶接継手の強度を比較した。各レーザーの引張せん断荷重を表10に示す。YAGレーザーとファイバレーザーは、ビーム径を同じ $\phi 0.6\text{mm}$ であるため、継手強度もほぼ等しい結果が得られているが、DDLはビームの大きさが $0.5\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ の矩形なので、レーザースポット溶接部一点あたりの面積が大きく異なり、DDLの継手強度が強くなっているように見える。

これは、単純に溶接部の面積の違いによるものなので、溶接部の面積を増やす、すなわち溶接点数を増やせば解決する問題である。

YAGの場合、図3の結果を用いれば、溶接を1列増やして3列にすると、22～24kNの強度を得ることができるので、DDLに遜色無い強度を得ることができる。こういった調整が容易にできるのも、レーザースポット溶接の特徴といえる。

表 10 各レーザーの最適条件における引張せん断荷重

レーザー発振方式	YAG	ファイバ	DDL
引張せん断荷重	16.50kN	16.65kN	21.15kN

5 まとめ

YAGレーザーで培ってきた最適化技術を、半導体レーザー、ファイバレーザーによるレーザースポット溶接に適用し、最適化を試みた。いずれのレーザーでも加工ガスに関わるパラメータとパルス波形の形状に関わるパラメータの影響が大きく、最適化に寄与していることが確認できた。

冒頭でも述べたが、レーザー溶接にはさまざまな利用形態があり、用途に合った最適値が存在している。

sustinaへの利用形態として、レーザーを連続照射して溶接を行なう突合せ溶接や水密溶接もあり、これらに適するレーザーもまたさまざまである。

今後も製品に適したレーザー溶接の利用形態を模索し、これまで培ってきた最適化技術を用いて、より溶接品質をもとめていきたい。

参考文献

- (1) 浅賀哲也，他：「[sustina] 国内第1号車両の開発」，総合車両製作所技報 第2号，5-6，(2013)，(株)総合車両製作所
- (2) 河田直樹，他：「ステンレス鋼板のレーザー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
- (3) 大塚陽介，他：「レーザーによるステンレス鋼溶接部の評価方法の開発（第2報）－疲労強度を含めた評価に

- 関する考察－」，2007年度精密工学会春季大会学術講演会論文集，757-758，(2007)，(社)精密工学会
- (4) 矢野宏：「品質工学概論」，13，(2009)，日本規格協会
 - (5) 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 第61号，26-33，(2011)，東急車輛製造(株)

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



遠藤翔太
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）



側垣 正
生産本部
生産管理部（生産技術） 主査

鉄道車両用 7000 系アルミニウム合金中厚板の FSW 接合技術

Friction Stir Welding of 7000 Series Aluminum Alloy for Railway Vehicles

吉澤 正 皓 Masaaki YOSHIZAWA
石川 武 Takeshi ISHIKAWA
渥美健太郎 Kentarou ATSUMI

アルミニウム合金製の鉄道車両構体には、部位によって種々のアルミニウム合金が使用されている。構体の大部分は A6N01 合金のダブルスキン形材が用いられている。形材の接合部はおよそ 3～4mm の板厚が多い。対してまぐらより等の強度が必要な部位には A7N01 合金が使用されており、その板厚は数 mm から十数 mm である。一般的に 7000 系のアルミニウム合金は 6000 系アルミニウム合金に比べて FSW の接合条件範囲が狭い。また、当社内では A6N01 合金への FSW 適用はあるが、A7N01 合金へはまだ無い。FSW の適用拡大のため、板厚 15mm までの A7N01 合金の接合について研究した結果を報告する。

Aluminum alloy railway vehicle body is made of different types of aluminum alloy series. The most of the body structure are made of A6N01 alloy double skin extruded shapes. A7N01 alloy is used in the part where strength such as body bolster is necessary, and the board thickness is ten millimeter or so. Generally, as for the aluminum alloy of the 7000 series, a welding condition range of FSW is smaller than 6000 series aluminum alloy. There is the application of FSW to A6N01 alloy in us, but A7N01 alloy does not yet have it. For application expansion of FSW, this paper reports FSW of 15mm thickness A7N01 alloy board.

1 序論

現在のアルミニウム合金製の鉄道車両構体は押し出し成型された形材によって構成されている。押出形材の利点は目的の部位に合わせて複雑な形状が成形でき、さまざまな機能を持った構造を一度に作れる点である。これは形材同士の接合部にも言える。アルミニウム合金形材はその端部に嵌合部があり、模型を組むように繋ぐことができる。また、同時にこの嵌合部は溶接継手の開先を形成している。この嵌合部の形状を FSW に合わせて最適化することで高品質な接合が可能となっている⁽¹⁾。

上記の形材は 6000 系アルミニウム合金の A6N01 合金で製作されている。これらは鉄道車両構体の側構体や屋根構体に用いられている。対して、より強度が必要となる部位には 7000 系アルミニウム合金の A7N01 合金が使用されている。アルミニウム合金の FSW 接合条件は合金種によって接合可能な条件範囲が異なる。高温での耐力が高く、塑性流動性の悪い 7000 系合金は 6000 系合金に比べて条件範囲が狭い⁽²⁾。

当社技報第一号において橋本ら⁽³⁾が窒化ケイ素ツールを用いて板厚 6mm の A7N01 合金の接合を行った結果によれば、ツール回転数 600rpm、接合速度 150mm/min、回転ピッチ $P=0.25$ （接合速度／ツール回転数）で無欠陥の良好な継手を得られた。窒化ケイ素ツールを用いた接合で

は、接合可能な条件範囲が狭い。塑性流動が悪い材料ではプローブにネジを切る事が有効である⁽⁴⁾。しかし、窒化ケイ素ツールはプローブ部にネジを切る事が困難である。

本紙では最大板厚 15mm の A7N01 合金の接合を目指す。初めに厚さ 6mm 板に対しプローブにネジ加工を施した工具鋼ツールで接合実験を行い、窒化ケイ素ツールとの接合条件範囲の比較をする。比較結果から板厚 15mm の接合条件を決定し、ネジ付き工具鋼ツールによる接合を試みた。最後に作製した板厚 15mm の継手の機械的性質の調査を行い、接合条件の良否を判定した。本紙ではこれらの結果について報告する。

2 実験方法

2. 1 接合ツール詳細

図 1 に板厚 6mm 用の接合ツールの形状を示す。材質は SKD61、プローブ部は $\phi 6\text{mm}$ で逆ネジを加工している。プローブ長は 5.9mm、ショルダ径は $\phi 15\text{mm}$ とした。

図 2 に板厚 15mm 用の接合ツールの形状を示す。プローブはテーパ形状とし、板厚 6mm 用と同様にネジ加工を施した。なお、材質は同様である。プローブ長は 14.9mm、ショルダ径は $\phi 30\text{mm}$ とした。

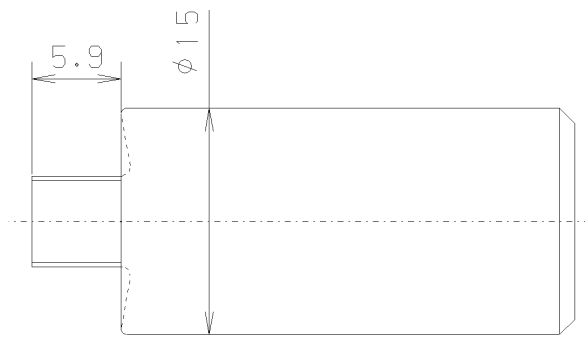


図1 板厚 6mm 用の接合ツール形状

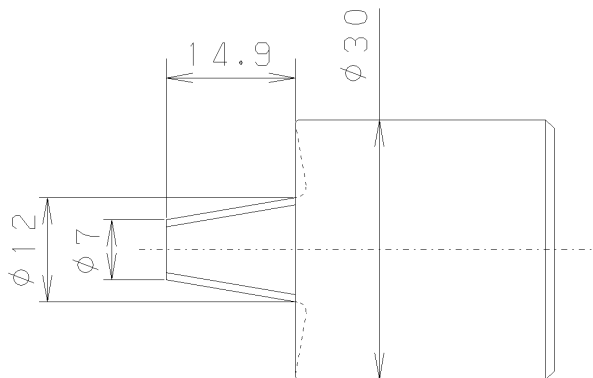


図2 板厚 15mm 用の接合ツール形状

2.2 被接合材料

被接合材料は材質A7N01S-T5、形状は平板、板厚6mm、15mm、幅100mmを使用した。なお、長さ寸法は実験により異なるため、都度記載する。継手形状は突合せ継手とした。

2.3 接合方法詳細

接合ツールは接合方向に対して3°の傾斜角を持たせる。裏当て板は表面を機械加工で仕上げたSS400を使用する。ツールの回転方向は時計回りとする。突合せ継手の接合の場合、接合ツールの中心と突合せ面の位置を目視により概略一致させる。接合の開始（始端）と終了（終端）は最低でも、板端から約30mm内側とする。

制御方式は位置制御または荷重制御を使用する。実験ごとにどちらかを適宜選択するため、その都度、どちらを使用したかを記載する。図3に示す接合の模式図のように、位置制御で接合を行う場合、材料表面から傾斜したツールのプローブ先端の距離をツール挿入量とする。このツール挿入量は接合の開始地点の材料表面を基準とし、接合中はこの位置を保持する。接合中に材料表面をセンサで検出し、能動的にツール挿入量を変化させることはしない。

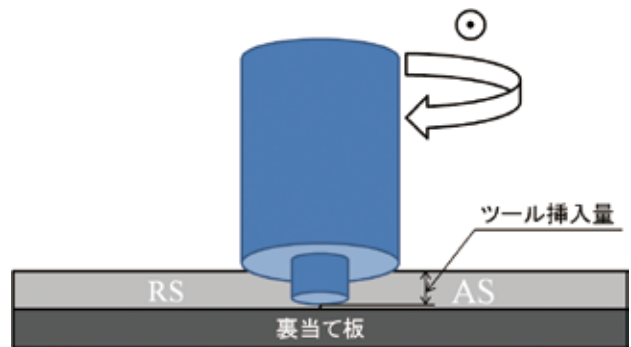


図3 接合実験の模式図

3 中厚板の接合予備実験

板厚15mmを接合する前段階として、板厚6mmを用いてネジ付き工具鋼ツールの適切な接合条件範囲の調査と窒化ケイ素ツールとの比較を行った。この結果を元に4章において、板厚15mmの接合実験を行った。

3.1 適正なツール挿入量の調査実験

位置制御におけるツール挿入量を決定するためCAD上で作図を行い、図1に示した6mm用ツールのショルダが材料表面に0.1mm埋没する深さを求めたところ、ツール挿入量は5.8mmであった。この値を用い位置制御方式にて、表1に示す接合条件で接合実験を行った。No.1は窒化ケイ素ツールにおいて良好であったツール回転数と接合速度である。被接合材料の長さは250mmとし、接合長は190mmとした。

表1 ツール挿入量調査実験条件

No.	ツール回転数 (rpm)	接合速度 (mm/min)	ツール挿入量 (mm)	ピッチ (mm/rev)
1	600	150	5.8	0.25
2	600	300	5.8	0.50

No.1、No.2ともにビード外観は良好であった。溶接線内部の全長に渡って欠陥有無とその分布を調査するため、放射線透過試験を実施した。No.1、No.2の両方で接合の始端から約50～60mmの範囲に黒い筋状の影が確認できた。例として、より明確に影が生じたNo.2の放射線透過試験の撮像を図4に示す。

図4の黒い影は外観上でその位置にキズや異物の付着などが無いことから内部欠陥と考えられる。この結果をもとに断面マクロ試験を行った。観察位置は始端、終端から50mmの位置とした。代表としてNo.2の継手の断面を示す。



図4 No.2 継手の放射線透過試験の撮像

図5に始端側の断面、図6に終端側の断面を示した。接合方向は紙面奥から手前である。

図5の始端側の断面は図4で示した内部欠陥と推測した位置である。試料表面付近に直径0.5mmの欠陥が発生している（図5の白点線の内側）。対して図6の終端側の断面では欠陥の発生はない。図5と図6の断面から、おおよそその熱加工影響部（TMAZ）の形状をトレースし模式図を作成した。この模式図を図7に示す。図7より、始端側と終端側で表面近傍でのTMAZの形状が異なっている。終端側では表面に向かって放射状に広がっているのに対し、始端側では逆に狭まっている。この原因として考えられるのは材料表面とツールのショルダ部の接触である。



図5 No.2 継手始端側の断面



図6 No.2 継手終端側の断面

ショルダ部は材料表面で回転しながら接触し摩擦熱を生じさせる熱源である。そのため、ツール挿入量が不十分であれば、ショルダも材料に十分接触できない。

図8にNo.1, No.2の接合中の接合荷重の変化を示す。横軸は接合距離を示している。内部欠陥の発生していた50mmの位置では接合開始から荷重が減少し、その後は終端に至るまで増加している。始端から50mmの位置では6～7kN程度の接合荷重である。対して終端から50mmの位置ではおよそ8kNである。荷重の減少と欠陥の発生位置が重なることから、接合荷重の減少はツールが材料から離れた結果であると考えられる。具体的な原因は不明であるが、裏当て板の反りや材料を拘束する際の浮き等によりツールと材料表面との相対位置が変化したことが考えられる。



図7 TMAZの模式図

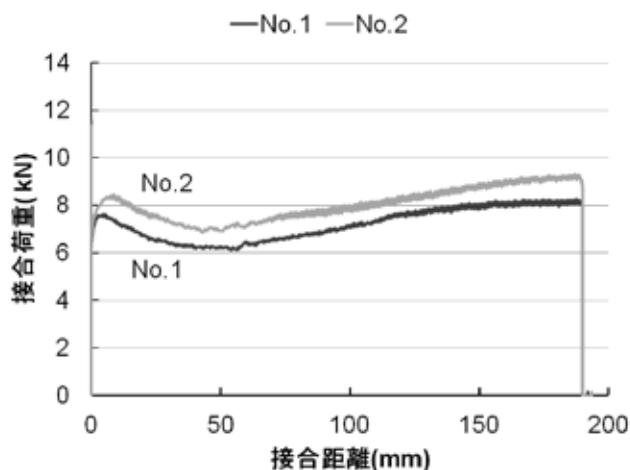


図8 接合荷重の変化

位置制御で得られた接合荷重のデータから、適正なツール挿入量を維持できる接合荷重を8kNと推定し接合を実施し、その時のツール挿入量を求めた。接合条件は表2に示した。ツール回転数、接合速度は表1と同様とし、制御方法を荷重制御とした。

表 2 荷重制御実験条件

No.	ツール回転数 (rpm)	接合速度 (mm/min)	接合荷重 (kN)	ピッチ (mm/rev)
3	600	150	8.0	0.25
4	600	300	8.0	0.50

図9に断面マクロ試験の結果を示す。観察位置は始端、終端から50mmの位置である。接合方向は紙面奥から手前である。すべての断面において欠陥の発生は無い。

図10に接合中のツール挿入量の変化を示す。横軸は接合距離を示している。始端付近で6mm、終端付近で5.8mmである。この結果と図8の結果を合わせると、材料または裏当て板の反りが始端と終端で0.2mmあり、これが位置制御での荷重の変動を生じさせたと考えられる。ツール挿入量が5.8mm<ツール挿入量≤6.0mmであれば健全な接合が可能であると考えられる。

断面マクロ試験で内部欠陥が無いことが分かったため、No.3, No.4の強度調査を行った。A7N01は自然時効する合金である。今回は1カ月時効における引張試験を実施した。試験片の本数は3本とした。試験片形状はISO 4136に従った。

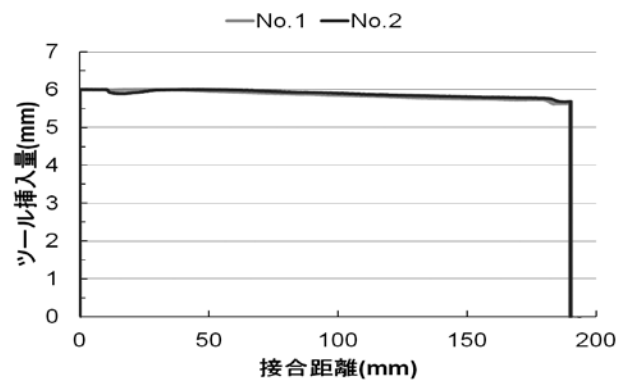


図 10 ツール挿入量の変化

試験結果を表3に示す。また、母材検査成績書（以下、ミルシート）の値を表4に示す。No.3, No.4で耐力、引張強さ、破断伸びの値はほとんど変わらない。また、ミルシートの引張強さに対しては90%以上の継手効率となった。ネジ付き工具鋼ツールで健全な接合が可能であると分かった。以降の実験では余裕を見てツール挿入量を6.0mmとする。

表 3 引張試験結果

No.	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	破断伸び (%)	破断位置
3-1	265	389	13	母材 (RS)
3-2	266	389	12	母材 (RS)
3-3	268	390	13	母材 (RS)
4-1	274	396	11	母材 (RS)
4-2	274	395	11	母材 (RS)
4-3	275	397	11	母材 (RS)

表 4 母材ミルシートの値

	耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	破断伸び (%)
ミルシート	360	413	16

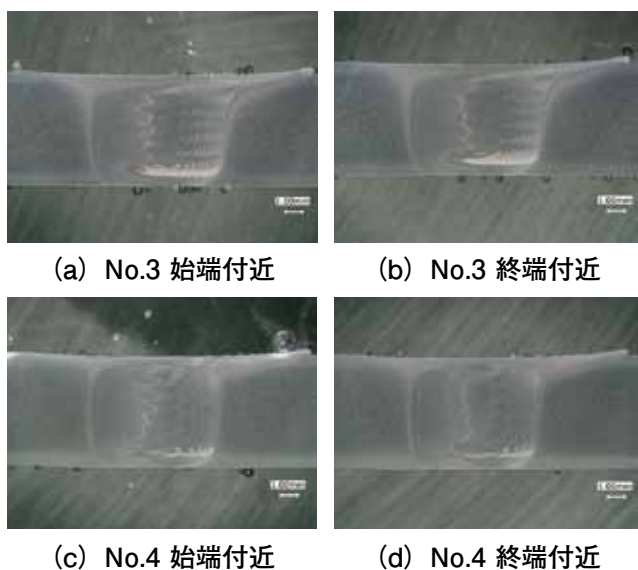


図 9 荷重制御における接合部断面

3. 2 最適接合条件の探索実験と考察

3.1の実験ではツール回転数600rpm、ピッチ0.25, 0.50の条件において良好な継手が得られることが分かった。この結果からピッチを最大0.75までとして、表5に示す接合条件を設定した。材料および接合長は3.1と同様である。

始末端から50mmの位置において、断面マクロ試験を実施した。断面図の一覧を図11に示す。接合方向は紙面奥から手前である。白い破線で囲った範囲は内部欠陥の発生位置である。

表 5 接合条件

No.	ツール回転数 (rpm)	接合速度 (mm/min)	ツール挿入量 (mm)	ピッチ (mm/rev)
5	600	450	6.0	0.75
6	1200	300	6.0	0.25
7	1200	600	6.0	0.50
8	1200	900	6.0	0.75

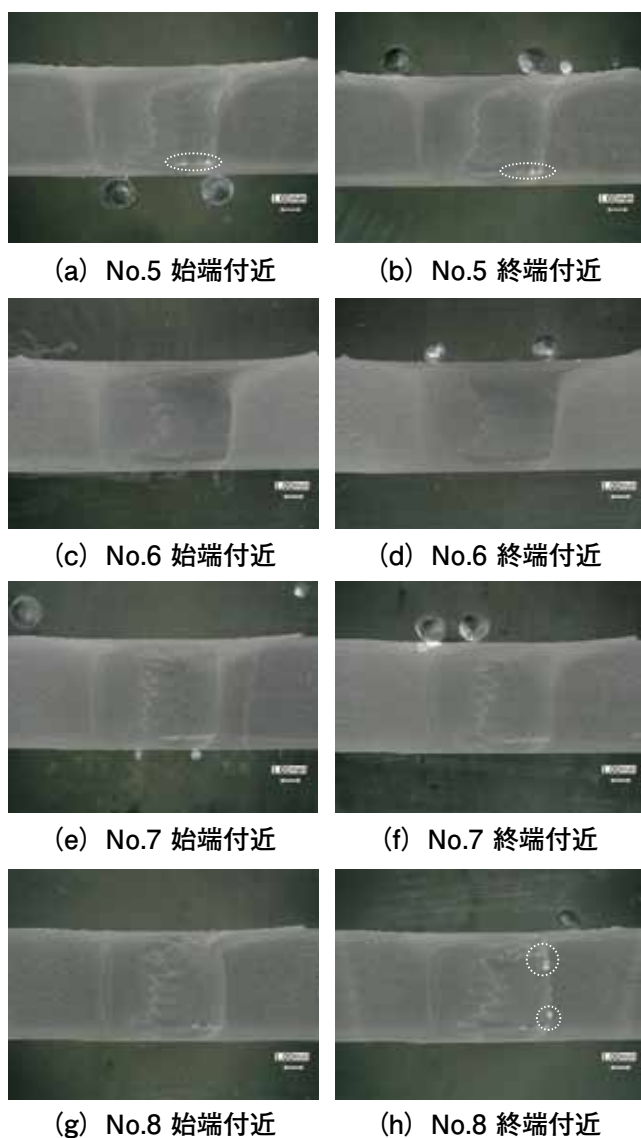


図 11 断面マクロ試験結果

ピッチ0.75，ツール回転数600rpm，1200rpmの場合，終端または始末端で内部欠陥が発生した。欠陥の発生位

置は全てASよりの，プローブの底部またはプローブの外径付近である。欠陥の発生機構は不明であるが，今回の条件範囲においては最もピッチの大きい条件であることから単位長さ当たりの入熱量が少ない条件であることが要因として考えられる。また，FSWにおいては塑性流動現象が欠陥の発生において重要である。

同じ7000系合金であるA7075合金，厚さ6.4mm，ネジ付きツールを使用したColligan^⑤の材料挙動の観察実験によれば，ショルダから離れたプローブ外径付近の材料は元の位置から上昇はするが，プローブ回りの移動がほとんど無い。また，プローブの底部では材料の上下動はほとんど無く，わずかにRSに移動する。今回の欠陥発生にこのような材料の挙動が関係していることは考えられるが，詳細は不明である。

これまでの断面マクロ試験の結果を，欠陥の有無で図12に図示した。図12の実線で囲んだ範囲は，今回の結果から欠陥無しで接合できると予想した条件範囲である。また，点線で囲んだ範囲は欠陥が発生する予想の条件範囲である。

窒化ケイ素ツールでは600rpm，150mm/minのみ欠陥無しであったが，ネジ付き工具鋼ツールにおいては，より広い範囲で接合が可能であると分かった。2種類のツールによる接合結果から，A7N01では低ツール回転数，低接合速度の条件が良いと考えられる。

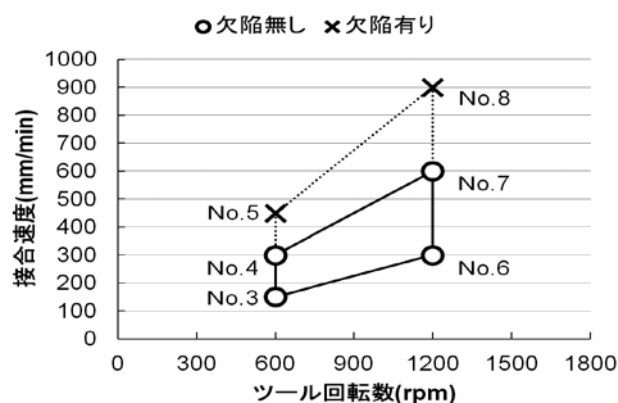


図 12 各接合条件における欠陥の有無

4 板厚15mmの接合，最適条件の適用

3章の実験において得られた結果から，最適と考えられる接合条件により板厚15mmの接合を行った。また，作製した継手の断面および機械的性質を調査し，継手の良否を判断した。

これまでの結果から低ツール回転数，低接合速度の条件で板厚15mmの接合を行う。接合条件は表6に示した。

ピッチを0.20とした理由は板厚の増加により全体の熱容量が増したことを考慮したためである。

接合ビードの外観を図13に示す。また、断面マクロ試験結果を図14に示す。観察位置は始端から約50mmの位置である。接合方向は紙面奥から手前である。外観、断

表 6 板厚 15mm の接合条件

No.	ツール回転数 (rpm)	接合速度 (mm/min)	ツール挿入量 (mm)	ピッチ (mm/rev)
9	600	120	15.5	0.20



図 13 接合ビード外観

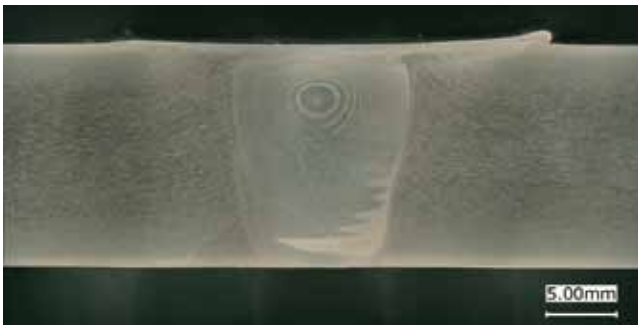


図 14 板厚 15mm の断面マクロ写真

面ともに欠陥の発生はない。また、放射線透過試験により、溶接線の全長を検査したが欠陥を示唆する影はなかった。図14の断面図では板厚6mmと比較して、はっきりとした年輪状のオニオンリング⁽⁶⁾が表層近くに形成されている。表層に近い位置で形成された理由はショルダとプローブの相互作用と考えられる⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

A7N01合金は室温で自然時効する。接合から14日後、28日後、84日後における硬さ分布をビッカース硬さ試験で調査した。AS母材と接合部の接合後14日の硬さ分布を図15に示す。測定位置は材料の表面、裏面から1mmおよび板厚の中心とした。測定距離の起点 (0mm) はビードの中心とした。

接合部から40mm以上離れた位置ではおよそ100～120HVである。接合に用いていない同材料の端材の硬さを、各高さで測定したところ、表7に示す結果となった。ビード中心から40mm以上離れた位置では、母材の硬さと同程度である。

ビード中心から±15mmの範囲は表面、板厚中心、裏面で、母材と比較して軟化している。特に20～30mm (AS) と-20～-30mm (RS) の軟化が著しい。図16に接合から28日後の接合部付近の硬さ分布を示す。また、同様に図17に84日後の接合部付近の硬さ分布を示す。接合から28日、84日で接合中心から±15mmの範囲 (ショルダ径の範囲) では硬さが母材並に回復している。この範囲における硬さの平均値を計算し、図18に示した。

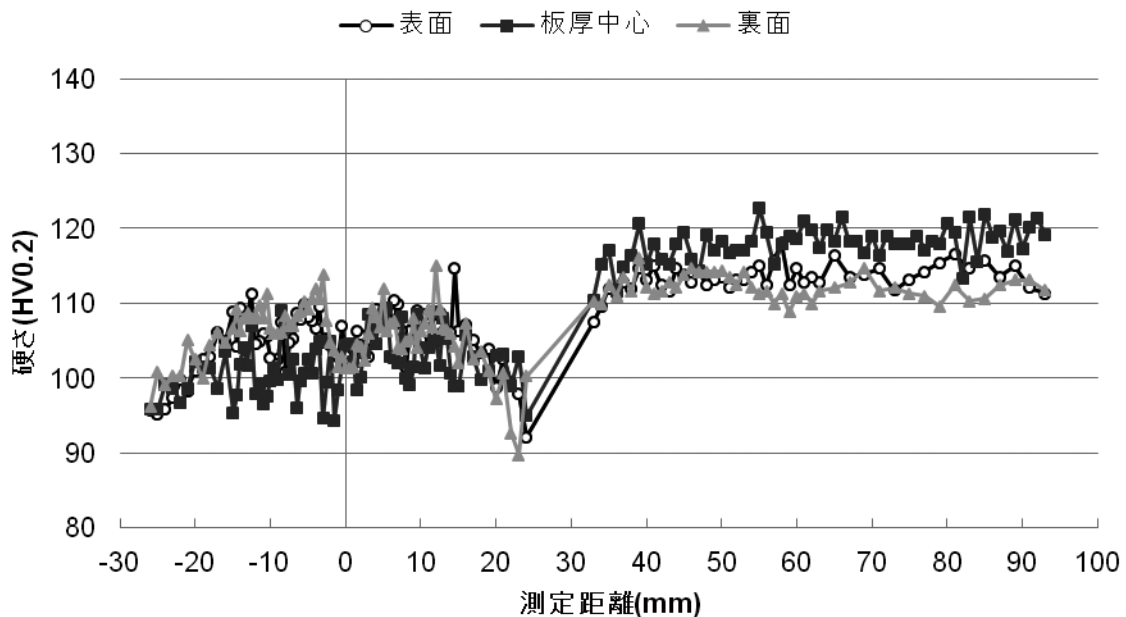


図 15 接合から 14 日後の硬さ分布

図18によると接合から28日から84日の間でショルダ径の範囲では、硬さが母材並に回復することが分かる。その外側の25mm、-25mm付近の硬さは3カ月後でも100HV程度であった。

表 7 母材の硬さ試験結果 (単位: HV0.2)

測定位置	測定1	測定2	測定3	平均	標準偏差
表面	115.6	114.9	115.3	115.3	0.3
板厚中心	112.7	119.1	120.7	117.5	3.5
裏面	114.1	116.0	116.0	115.4	0.9

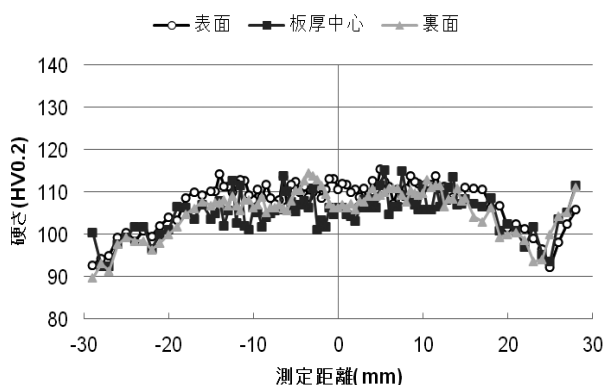


図 16 接合から 28 日後の硬さ分布

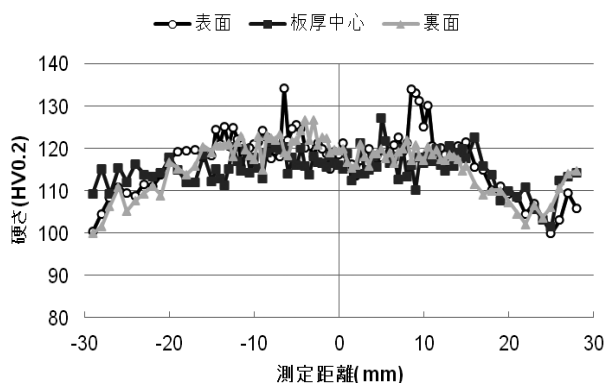


図 17 接合から 84 日後の硬さ分布

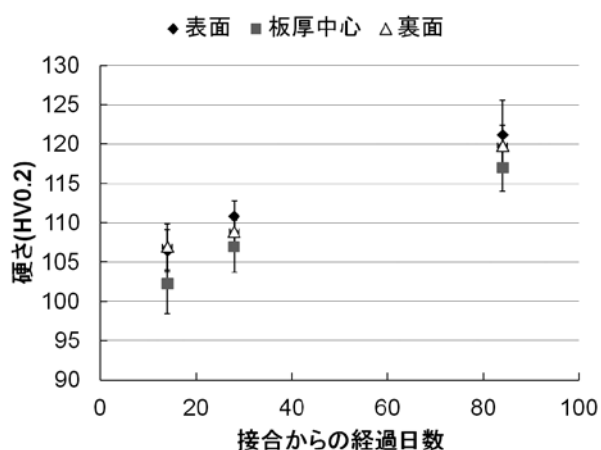


図 18 接合からの経過日数と硬さの変化

ツールのプローブ部は根元がφ12mm、先端がφ7mmであるから、ビード中心から±6mmの範囲はプローブにより攪拌された範囲である。しかし、その外側のほとんどは攪拌の影響が小さいまたは無い範囲である。ショルダ径の範囲では3カ月時効の時点で硬さはほぼ一定である。最も軟化している±25mmの位置は、完全にツールから離れた位置であり熱の影響だけを受けていると考えられる。よってツール直下の範囲では攪拌と熱の両方または熱だけの影響によって、最終的な硬さに差はほとんど無い。対してツールより外側、言い換えれば熱源から離れた位置においては熱だけの影響により最軟化部が生じる。

最後に継手の静的強度について調査を行った。試験片形状はISO 4136に従ったが、板幅の関係で平行部の長さを80mmとした。試験後の試験片写真を図19に示す。また、引張試験結果を表8に示す。ミルシートの値を表9に示す。

試験片の破断位置は全て接合中心から約25mmのASの母材であった。これは硬さ試験の最軟化部と一致する。ミルシートの値に対する継手効率率は91%と良好である。表3の板厚6mmの引張試験結果と比較すると伸びの値がミルシートの半分未満と小さい値となっている。

以上の結果からツール回転数600rpm、接合速度120mm/minで接合が可能と分かった。この接合条件における接合荷重の変化を図20に示す。接合が安定する範囲として、接合の始端、終端から30mmを除く範囲で接合荷重を計算した。接合荷重は18.9±0.2kNであった。板厚6mm接合時の接合荷重の2.4倍となった。



図 19 試験後の試験片写真

表 8 板厚 15mm の引張試験結果

No.	0.2% 耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	破断伸び (%)	破断位置
9-1	250	365	7	母材 (AS)
9-2	252	365	7	母材 (AS)
9-3	251	364	7	母材 (AS)

表 9 板厚 15mm のミルシート

	耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	破断伸び (%)
ミルシート	328	400	20

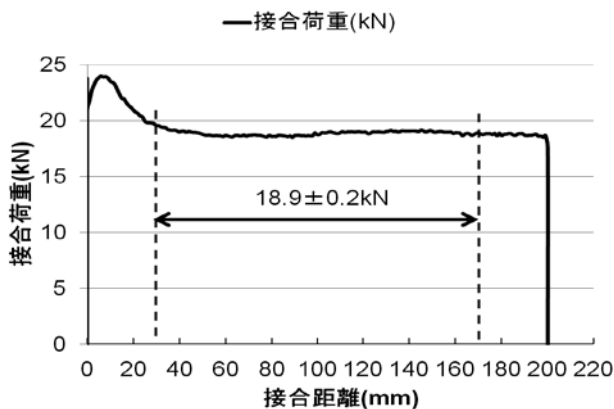


図 20 接合荷重の変化

5 結論

ネジ付き工具鋼ツールを用いた A7N01 の接合実験により、以下の知見が得られた。

- 窒化ケイ素ツールと比較して、ネジ付き工具鋼ツールでは接合条件範囲が広い。
- 今回の実験範囲においてはツール回転数 600rpm、1200rpm、ピッチ 0.50 以下の範囲で A7N01 が接合可能と分かった。また、少なくともピッチ 0.75 以上で入熱または攪拌不足による欠陥が発生する。
- 板厚 15mm の接合はツール回転数 600rpm、接合速度 120mm/min で可能であった。A7N01 は低ツール回転数、低接合速度の条件で内部欠陥の発生が無く、かつ十分な引張強さが得られる。
- ネジ付き工具鋼ツールにより板厚 6mm、15mm とともに引張強さはミルシートの値に対して継手効率 90% 以上が得られた。
- 接合部の硬さは 28 日から 84 日の間に母材並に回復するが、接合部の周辺に軟化部が残る。

- 接合部の硬さの回復において攪拌部、熱影響部の差は無い。

参考文献

- (1) 川崎 健, 他: 「中空押出型材で構成した鉄道車輛構体に対する Friction Stir Welding の適用」, 日本機械学会論文集 (A 編) 71 巻 701 号, 170-176, (2005)
- (2) 「摩擦攪拌接合-FSW のすべて」, 18, (2006), 産報出版
- (3) 橋本 健司, 他: 「窒化ケイ素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 Vol.1, 10-15, (2013), (株) 総合車両製作所
- (4) Hidetoshi Fujii, et al: 「Effect of tool shape mechanical properties and microstructure of friction stir welded aluminum alloys」, Mater.Sci.Eng A, 419, 25-31, (2006)
- (5) K.Colligan: 「Material flow behavior during friction stir welding of aluminum」, Weld.J., 229-237, (1999)
- (6) 福田 哲夫: 「摩擦攪拌接合 (FSW) 技術」, 溶接学会誌 第 69 巻 第 7 号, 6-10, (2007)
- (7) 篠田 剛, 他: 「FSW の流動現象の観察」, 溶接学会全国大会講演概要 第 77 集, 186-187, (2005)
- (8) G.R.Cui, et al: 「Periodical plastic flow pattern in friction stir processed Al-Mg alloy」, SCR. MATER vol58, 1082-1085, (2008)

著者紹介



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



渥美健太郎
生産本部
技術部 (接合技術センター)

ハンドトーチ型レーザーによる水密溶接技術の開発

Development of Watertight Welding Technology by the Hand Torch Type Laser

遠藤 翔太 Shota ENDO
河田 直樹 Naoki KAWADA
側垣 正 Tadashi SOBAGAKI
吉澤 正皓 Masaaki YOSHIZAWA

ステンレス製車両の在来工法は、抵抗スポット溶接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⁽¹⁾。「sustina」車両では樹脂シールの劣化に対するメンテナンスを省くため、樹脂シールを廃止しレーザー重ね隅肉溶接を窓と外板および出入り口フレームと外板の接合に適用し水密隅肉溶接部を形成した。今回、倣い性と加工部のシールド性に優れるハンドトーチ型レーザーを用いて上記水密隅肉溶接部への適用を検討する。さらに工数の低減・継手品質の安定化・作業従事者の拡大を目指している。

1 はじめに

sustina車両では樹脂シールの劣化に対するメンテナンスを省くため、樹脂シールを廃止しレーザー重ね隅肉溶接を窓及び出入り口フレームと外板の接合に適用したが、水密隅肉溶接は大型の門型装置による施工をしていたため、ロボットのティーチングに多大な時間を要していた。

ロボットによるティーチングは何も無い空間に点を取って倣いをしなければいけないが、ハンドトーチ型レーザーでは、例えば外板と出入り口や窓の溶接において、外板をガイドに溶接することができるため、安定した倣いが可能であり、ティーチングによる工数を低減することができる。

ティーチングの難しい部位やワークギャップに対処し、工数低減と溶接品質向上のために、溶接部の倣い性や加工部のシールド性に優れるハンディタイプのレーザーシステムを調査した結果、今回のハンドトーチ型レーザーを適用することにした。

2 ハンドトーチ型レーザー溶接機の概要

2.1 装置の特徴

ハンドトーチ型レーザーとは簡単に言うと、レーザー発振器から光ファイバを介して、トーチ先端部分からレーザーを射出し溶接する装置である。特徴は小型軽量で省スペースであり本体を移動できること。トーチ先端でワークに接触することにより倣い性や加工点のガスのシールド性に優れ、初心者でも比較的簡単に溶接ができる点である（アーク溶接や他の溶接のように技能や技量をそれほど必要としない）。操作もタッチパネル式のコントロー

ラで操作できるため直感的な操作が可能で使いやすい。

ハンドトーチ型レーザーのように、ある一定のクラスのレーザー装置ではレーザーと人を分離して安全を確保しなくてはいけないため、レーザー管理区域＝作業範囲の設定を行う必要がある。現状ではテストピースレベルの溶接のため遮光ガラスで作業範囲を囲うことにより、この範囲をレーザー管理区域としている。人がレーザー管理区域に入らなくてはならない場合、安全を確保するためにレーザーに対する危険を最小化しなければならない。その手段のひとつとしてインタロック機能がある。インタロックはある一定の条件を満たさないと作動しない状態のことである。つまり、インタロック機能が動作して始めてレーザーが射出される仕組みである。

このハンドトーチ型レーザーは①フットスイッチ、②ワニ口クリップ、③保護メガネ、④トーチ先端チップの接触、⑤トーチの射出スイッチの5つのインタロックを備えており安全性にも配慮した構造となっている。

図1にハンドトーチ型レーザーの外観を示す。図に示すように冷蔵庫程度の大きさであり、装置自体がコンパクトであることが分かる。

2.2 装置の性能、仕様など

ハンドトーチ型レーザーはピーク出力が最大3000W、平均出力が最大300Wであり、エントリモデルに比べてハイパワーモデルである。消費電力は1600W、単相AC200Vで動作する。レーザーの集光スポット径は0.6mmである。連続発振（CW）とパルス発振（QCW）の射出が可能であり、溶接の形態によって使い分けができる。また、発振器は空冷式でありチラー（冷却水循環

装置)が不要のため装置はより小型でメンテナンスに優れる。

図2にハンドトーチ型レーザーの簡単な装置構成を示す。内部は、発振器、制御盤、カプラから構成されており、発振器から発振されたレーザーはカプラ、本体から伸びたファイバケーブルを通りトーチ先端から出射される。

ファイバケーブルは最長で20mまで伸ばすことができるため、20m級の鉄道車両の製造にも対応可能である。



図1 ハンドトーチ型レーザー装置外観

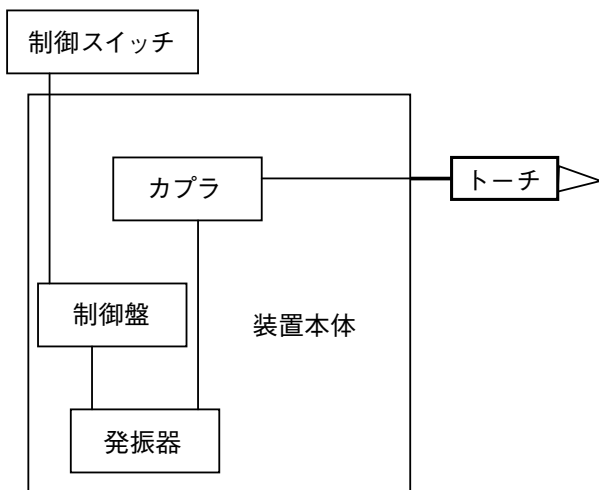


図2 ハンドトーチレーザー装置構成

3 水密溶接技術の開発

sustina車両は外観の見栄え向上のため、窓フレームおよび出入り口フレームはすべて内はめ式になっている。図3にsustina車両の外観を示す。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ており、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している⁽²⁾。図中で囲った窓、出入り口にハンドトーチレーザーと抵抗スポット溶接の併用構造による水密隅肉溶接を適用する予定である。



図3 sustina 車両外観⁽¹⁾

図4にsustina車両の側窓部を示す。この側窓部はSUS301L-DLT t1.5 (外板) + SUS304 t1.5 (窓フレーム)の重ね隅肉溶接継手で構成されているが、矢印で示した部分にハンドトーチレーザーで水密隅肉溶接を適用する予定である。

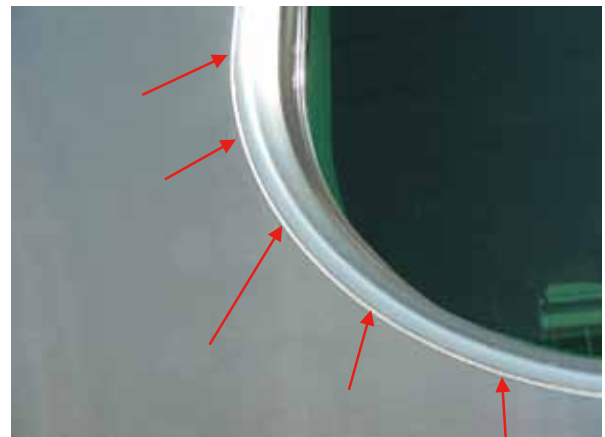


図4 側窓部⁽¹⁾

図5にsustina車両の側出入り口部を示す。この側出入り口はSUS301L-DLT t1.5 (外板) + SUS304 t4.0 (出入り口フレーム)の重ね隅肉溶接継手で構成されているが、矢印で示した部分にハンドトーチレーザーで水密隅肉溶接を適用する予定である。

また図6に出入り口と外板の模式図を示すが、始めに①の外板と出入り口フレームの隅部を隅肉溶接した後、外板はお客様が触れるところでもあるため、②の角部を面取り溶接し安全を確保する。

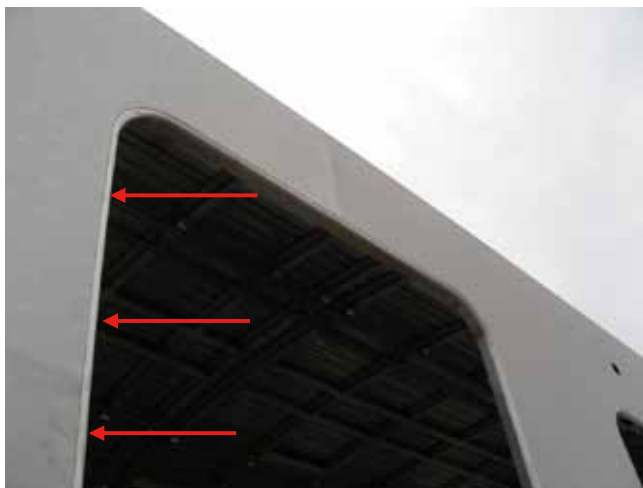


図5 側出入り口部⁽¹⁾

4. 2 隅肉溶接

板と板を重ねた、重ね隅肉溶接用使用するチップを図7に示す。図8には重ね隅肉溶接のイメージを示すが、重ねた下板の表面に接触させつつ、上板の端面に沿わせるようにしてチップを当てて溶接する。トーチは手前に引くように動かす。板厚の組み合わせは上板がt4.0, t1.2, t1.5のそれぞれの組み合わせを想定している。図9には溶接後のサンプルを示すが、従来のレーザ溶接などと比べ溶接ビードはやや細く、またパルス発振による溶接のため溶接部がうろこ状になっていることが分かる。

パルス発振（QCW）はピーク出力が大きいがトータルの入熱量が小さいため、溶け込みが局所的である。そのため同じ部分を繰り返し溶接しても裏面に抜けにくく、溶け落ちが発生しにくいいため、溶接に失敗してもやり直しができる利点がある。

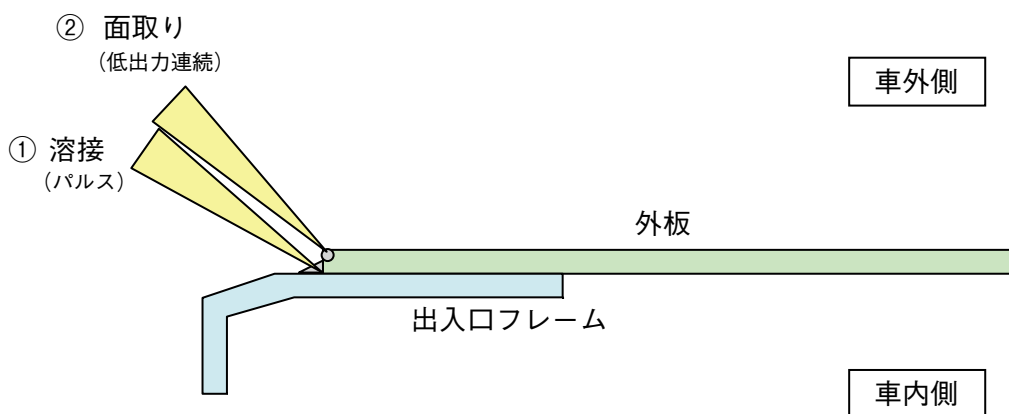


図6 出入口フレームと外板の模式図

4 ハンドトーチ型レーザチップの開発

4. 1 チップの形状と溶接方法

ハンドトーチ型レーザはトーチの先端にチップを取り付けて溶接する。代表的な隅肉溶接用のチップを図7に示す。溶接用チップの役割はレーザの狙い位置を決めるためのガイドとレーザ溶接における加工点周辺のガスの雰囲気を保つ覆いである。チップは加工形態に応じて必要であるため、それぞれ隅肉溶接用、角部面取り用、端部溶接用がある。また、チップにはカーボン製と銅製がありカーボン製はチップの滑りがよいが、割れやすい。銅製は耐摩耗性に優れるが、熱変形性に弱いという特性がそれぞれある。



図7 隅肉用チップ 側面イメージ



図8 重ね隅肉溶接イメージ



図10 角部面取り用 t1.5, t1.2 用チップ 正面イメージ



図9 隅肉溶接後のサンプル

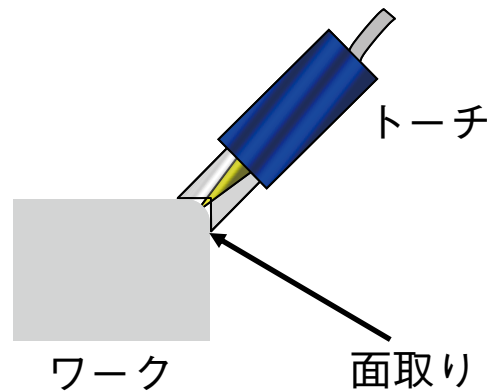


図11 角部面取りイメージ

4. 3 角部面取り

図10に角部面取り用チップを示す。このチップは板材の角部を面取りする際に使用するチップであり、板の上面と端面で形成する角部にチップの切り欠きを押し当てるようにして使用する。図11に角部面取りのイメージ図を示す。角部面取りのチップは重ね隅肉継手の角部を面取りする場合、下板が干渉するため板厚に応じてチップの形状を変える必要がある。そのためt1.5, t1.2用の他にt4.0用がある。

4. 4 端部溶接

図12に端部溶接用のチップを示す。このチップは図13の狙い位置のイメージに示すように重ねた2枚の板の端部を溶接するために使用するチップであり、重ねた2枚の板の端部にレーザーが当たるようチップを沿わせる。



図12 端部溶接用チップ側面イメージ

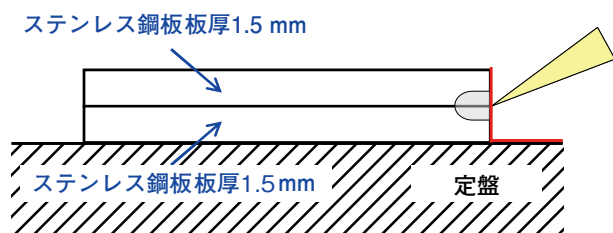


図 13 端部溶接レーザ狙い位置イメージ

5 重ね隅肉継手の評価

sustina車両では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で担保している。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しており²⁾、窓、出入り口にハンドトーチレーザと抵抗スポット溶接の併用構造による水密隅肉溶接を適用する予定である。水密溶接を評価する方法として水密性、耐食性、強度が挙げられる。本稿では水密溶接部の強度を確認するために引張試験を行った。試験片の材質はSUS301L-DLT t1.5+ SUS301L-DLT t1.5である。試験片サイズは図14に示す通りである。スポット溶接の日常管理用試験片を使用し継手形態は重ね隅肉溶接継手である。

なお、引張試験速度は10mm/minで実施した。

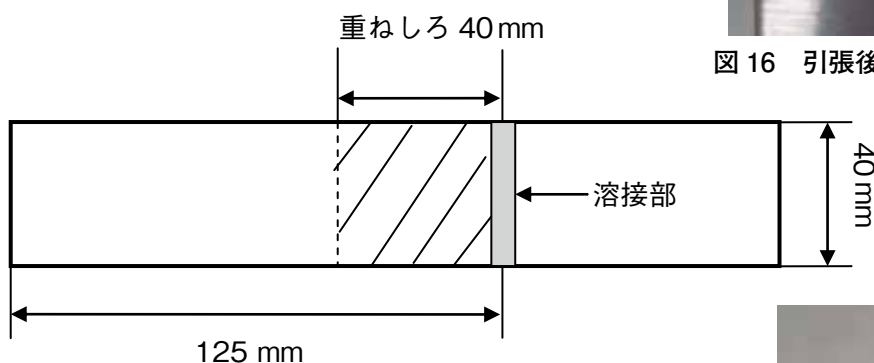


図 14 引張試験片イメージ

図15に20Jの継手の引張試験後の試験片外観を図16に破断部の拡大図を示すが破断部の拡大図に注目すると、破断箇所は溶接部であることが分かる。また破断部の溶接ビードは連続しているので少なくとも水密性を考慮した場合に健全な溶接部であるといえる。

図17には10Jの継手の引張試験後の試験片外観を図18には破断部の拡大図を示す。破断部の拡大を見るとやはり10Jの継手も破断箇所は溶接部であり、破断部の溶接ビードは連続した形状であるが、入熱量が少ない分20Jより細い溶接ビードとなっている。



図 15 引張後の試験片外観（20J 継手）



図 16 引張後の試験片 破断部拡大（20J 継手）

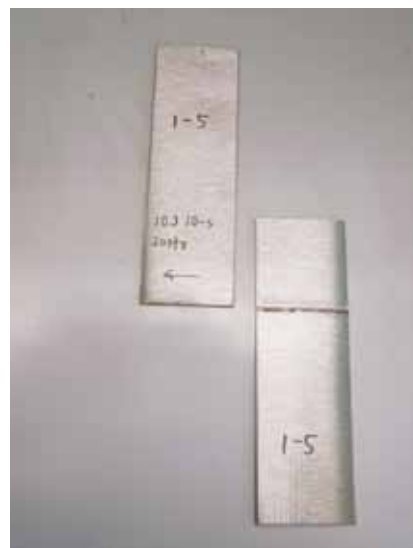


図 17 引張後の試験片外観（10J 継手）

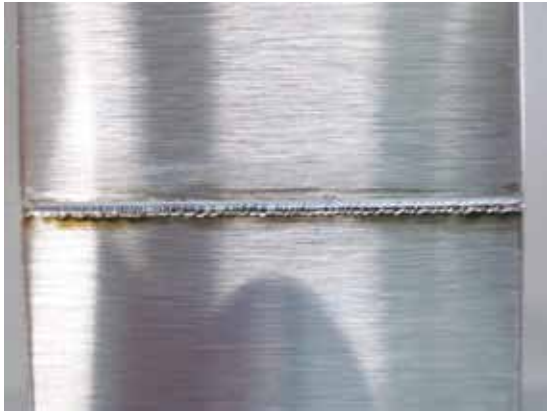


図 18 引張後の試験片 破断部拡大 (10J 継手)

ハンドトーチレーザー，半導体レーザー，抵抗スポット溶接のそれぞれの溶接方法の最適溶接条件における重ね継手（レーザーは重ね隅肉）の強度比較を表1に示す．この結果からレーザー溶接，スポット溶接と比較しても遜色ない強度を持っていると言える．このことから，水密部の強度を考慮した場合でも十分な強度を持つと考えられる．

表 1 他の溶接方法との強度比較

溶接方法	引張せん断強度
ハンドトーチレーザー 1 (20J)	15.8kN
ハンドトーチレーザー 2 (10J)	10.97kN
DDL (半導体レーザー)	12.7kN
抵抗スポット(現行条件)	7.5kN

6 まとめ

ハンドトーチ型レーザーを導入し，溶接チップの開発，継手強度の確認を行ってきた．そして，それぞれに検証を行った結果，チップを使い分けることにより，隅肉溶接や角部面取り，端部溶接が可能であること，継手強度がレーザーや抵抗スポットと遜色ないことが分かった．

今後は適正な溶接条件の把握，工数低減，コスト低減，ギャップに対する裕度，利き手ごとの対応などに取り組んでいく．

さらにsustina車両では直線的で長尺の部位は従来レーザーとし，曲線や曲面の部位はハンドトーチレーザーとするフレキシブルなレーザー溶接を目指している．

参考文献

- (1) 遠藤翔太，他：「sustinaステンレス構体水密化のためのレーザーすみ肉溶接技術の開発」，総合車両製作所技報第2号，12-13，(2013)，(株) 総合車両製作所
- (2) 浅賀哲也，他：「sustina国内第1号車両の開発」，総合車両製作所技報 第2号，4-5，(2013)，(株) 総合車両製作所

著者紹介



遠藤翔太
生産本部
技術部（接合技術センター）



河田直樹
博士（工学）
生産本部
技術部（接合技術センター） 主査



側垣 正
生産本部
生産管理部（生産技術） 主査



吉澤正皓
生産本部
技術部（接合技術センター）

溶接部外観検査装置の開発 ーシステム構築とソフトウェアの開発ー

Development of the Weld Inspection System
ー Construction of Systems and Software ー

河田直樹 Naoki KAWADA
遠藤翔太 Shota ENDO
浅井マリア Maria ASAI

sustina に代表される当社のステンレス鋼製車両は、耐食性に優れているため、車体の大部分が無塗装のまま一定の美観を保ち、保守性を大幅に軽減している。しかし無塗装であるために、溶接の際にはできるだけ車体の外皮側に溶接によるひずみや焼け、スパッタ等がつかないように気をつける必要がある。また、溶接の焼けやスパッタ等の評価は人によって、あるいは日によってばらつくことが考えられる。そこで、当社でこれまで開発してきた画像処理技術を組み合わせ、溶接施工時のみならず、溶接教育時の評価にも活用できるような外観検査装置の開発に着手した。本稿では、全体システムの構築とアルゴリズム開発について解説する。

1 はじめに

sustinaに代表される当社のステンレス鋼製車両^①は、耐食性に優れているため、車体の大部分が無塗装でよく、表面に研磨を施すなどして、一定の美観を保ちながらも保守性を大幅に軽減している。

しかし、無塗装であるということは、製造面でみると溶接部の丁寧な後処理が必要となるため、溶接の際にできるだけ車体の外皮側に溶接によるひずみや焼け、スパッタ等がつかないように気をつける必要がある。製造現場では厳しいチェックとひずみやスパッタの除去が行なわれているが、溶接の焼けやスパッタ等の評価は人によって、あるいは日によってばらつき、検査時間のばらつきやひずみやスパッタ除去の工数のばらつきにつながると考える。

そこで、当社でこれまで開発してきた画像処理技術^②を組み合わせ、前述した溶接施工時のばらつきを最小化し、さらに、溶接作業者の教育時の評価にも活用できるような外観検査装置の開発に着手した。

本稿では、全体のシステム構成とその開発環境を利用して作成したアルゴリズムの概要と処理結果を解説する。

2 システム概要

本システムは、溶接部の外観を定量化し、問題の発生を作業者に知らせ、問題が発生した場合には、作業者に的確な作業指示を行い、最終的な溶接品質を良好に保つことを目標として開発した。

ここでの問題とは、①溶接装置の不具合や被溶接材

料の部材精度の悪化等で発生する未溶接部や溶け落ち、②材料表面の性状や溶接条件の変動により発生したスパッタの付着、③溶接部の酸化による焼け、④物理的に発生した被溶接材料表面のキズを示している。

2. 1 基本構成

図1に装置の構成を示す。撮像装置（カメラ）と演算装置（PC上で画像処理と判定を行なう）をコアとして、溶接部の画像を安定して取得するための架台と移動装置、および溶接物の固定治具からなる。

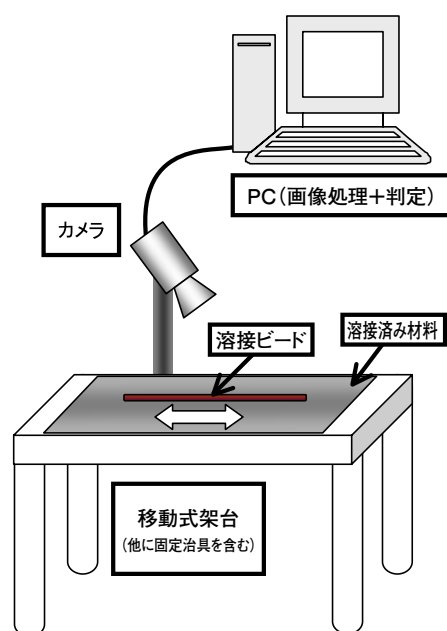


図1 外観検査装置の基本構成

検査対象とするステンレス鋼板をはじめとする金属板の多くは、光沢のある表面であるために光を反射しやすく、撮像の際にノイズになり、検査結果にばらつきを生じやすい。このため、画像処理や判定アルゴリズムにもこういったノイズをキャンセルする機能を持たせているが、できるだけ撮像時のノイズを低減するために、カメラ装置に陰影や反射を低減する照明装置を付加している。

2. 2 主な機能とソフトウェアの構造

当社で開発した4つのアルゴリズムを中心に、画像取得からノイズ除去、画像処理、統計処理、定量化、しきい値との比較による判定までを行う機能を有している。

試作機には柔軟性を持たせるために、各処理をブロック単位に分割し、ブロック間でデータの受け渡しを行い、PC上で外観検査アルゴリズムを開発できるようになっている。

図2にその一例をわかりやすいイメージで示す（実機の開発環境はこれとは異なるものである）。このアルゴリズムは、あらかじめ取得してあった画像ファイルを読み込み、所定の画像処理サイズにし、その画像から2値化を行うために必要となるパラメータを取得して、2値化を行い、処理後の画像と数値化したデータを保存する機能を有している。

図3は図2を包括したアルゴリズムであるが、図2の2値化処理に正規化処理を加え、撮像装置から得た画像ファイルを並列に処理し、処理後の画像と数値化したデータを保存できるようになっている。この方法で、2つの処理を見かけ上、同時並行で行うことができる。こういったアレンジもブロック単位のプログラムをつなぎ合わせる感覚でできるのも本装置の特徴の一つである。

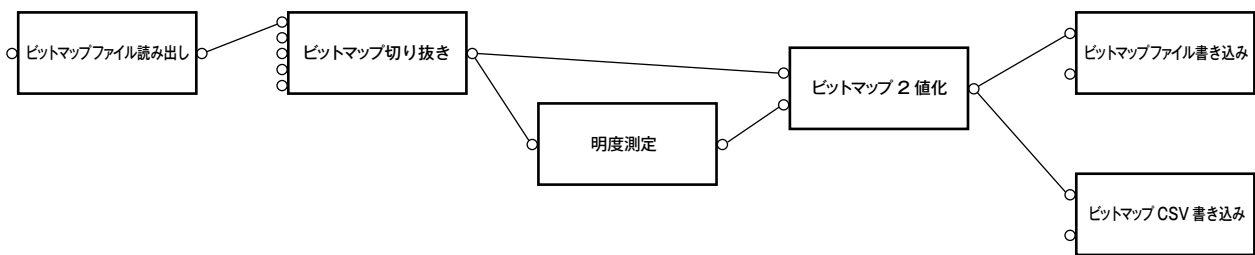


図 2 2 値化処理用アルゴリズム（概念図）

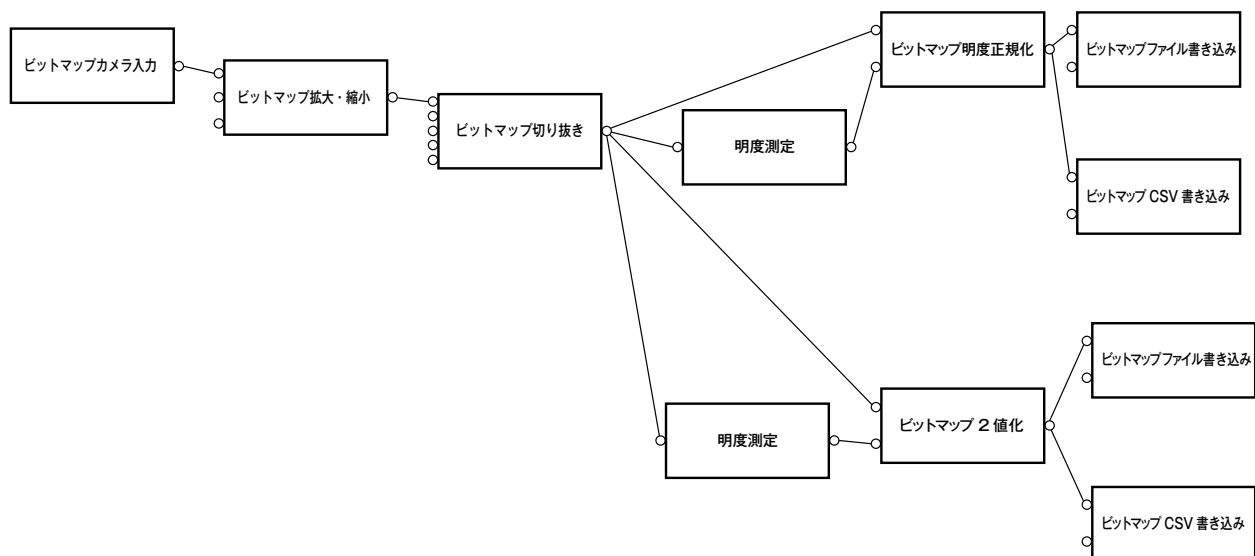


図 3 正規化・2 値化処理用アルゴリズム（概念図）

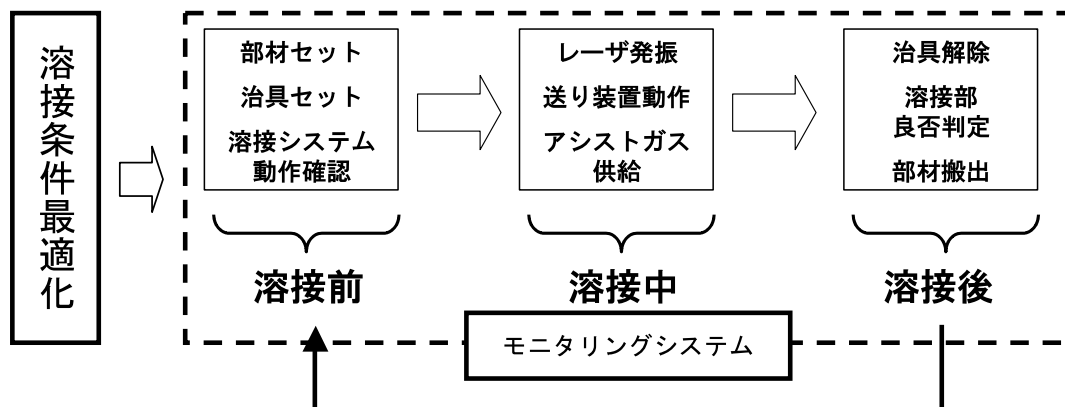


図4 レーザ溶接モニタリングシステム

2. 3 レーザ溶接モニタリングシステムとの組み合わせ

本稿の溶接部外観検査装置は、当社で開発したレーザ溶接モニタリングシステムと組み合わせることで、さらなる効果を得ることができる。モニタリングシステムの概要を図4に示す。これは、レーザ溶接プロセスを「溶接前」、「溶接中」、「溶接後」の3つのプロセスに分け、あらかじめ最適化したレーザ溶接条件を維持するために、各プロセスで機器等の状態監視を行なうシステムである。

溶接部外観検査装置の役割は、3つのプロセスのうち「溶接後」の被溶接物の状態監視に有効であると考えられる。加えて、一部機能を利用すれば被溶接材料の「溶接前」より上流工程で生じたキズや汚れを監視することも可能である。

溶接部の品質管理は、外観検査だけでは不十分であるが、既存のモニタリングシステムや生産現場で培ってきた日常管理のノウハウと組み合わせれば、より高い溶接品質を保つことができると考える。

3 ソフトウェア構成

外観検査装置では開発環境をベースに、ブロック単位のソフトウェアを組み合わせることで画像処理・画像判定などを行なうしくみとなっており、この構造はベース部、ツールライブラリ部、実行ファイル生成部からなる。以下に詳細を示す。

3. 1 ベース部

開発環境としてのソフトウェアがベースとして用意されており、「ツール」と呼ばれるブロック単位のさまざまなプログラムを呼び出し、組み合わせることで、簡単な処理から複雑な処理までを同一環境で作成し、保存することができる。

オフラインで実行することができ、ツールを一つ一つ実行していく「逐次実行」と、各ツールとベース部とで

通信を行ないながら実行する「協調実行」の2モードの動作をさせることができる。

このうち、逐次実行は検査対象物の画像を取得するところから、画像処理までを一つひとつ実行していく方式で、どちらかといえば開発用の動作環境である。

一方、協調実行はデータ長の長い連続した画像を分割することなく、一連の流れとして処理する方式で、鉄道車両のように長尺な溶接部を持つ製品の検査に有効な手段であるといえる。逐次実行との違いは、「データの読み込み→画像処理→判定」のように一つひとつの作業が完了してから次の作業に移るのではなく、データの読み込みから判定までが一連の流れとして継続して処理されるという点にある。

さらにベース部は、ツールを組み合わせることで構成したプログラムを実行形式のファイルとして生成することができる機能を有している。実行形式のファイルは、ベース部を介することなく、それぞれ単独で稼働させることができるので、検査項目に合わせたファイルを個別に用意することができる。

3. 2 ツール部

開発環境が有する主なツールを表1に示す。大きく分類すると、汎用、画像処理、自動実行に分けられ、外観検査のための主要なプログラムは画像処理ツールに含まれている。画像処理の大半は画像変換、画像測定に関するプログラムであり、後述する溶接部の酸化状態、スポット溶接部の外観、レーザ水密溶接の良否判定などのアルゴリズムの構築にも利用している。

人によらない定量的な判定を行なうには、画像処理ツールに含まれている統計処理ツール群を利用するのが適しており、上記の画像変換、画像測定と組み合わせると良い。

3.3 実行形式ファイル生成部

ベース部にてツールを組み合わせて開発したアルゴリズムや判定処理ソフトウェアは、実行形式のファイルとして生成することで、ファイルごとに特定の判定処理を行えるようになる。

実際の生産ライン上では、実行形式プログラムと画像処理用パラメータを記憶したファイルを用意すれば、撮

像装置をPCに接続し、このファイルを起動するだけで、画像取得から判定するまでの動作を自動で行なうことができるようになる。開発環境では、さまざまな処理と操作が必要になるが、オンラインではPCと撮像装置が起動していれば、ソフトウェアの立ち上げのみの操作で済むため、検査時のヒューマンエラーを極力少なくできると期待している。

表1 外観検査装置に用意された主なツール

大分類	中分類	小分類	主な機能
汎用	ファイル読み書き	ファイル読み出し	ビットマップファイルの読み込み
		ファイル書込み	ビットマップファイルの書込み
		オープンダイアログ	読み出し時にファイル名指定ができる
		セーブダイアログ	書込み時にファイル名指定できる
	その他	伝送	データを伝送する
画像処理	ファイル読み書き	ビットマップファイル読み出し	ビットマップ形式で読み込む
		ビットマップファイル書込み	ビットマップ形式で書込む
		ビットマップオープンダイアログ	ビットマップファイル読み出し時にファイル名指定ができる
		ビットマップセーブダイアログ	ビットマップファイル書込み時にファイル名指定できる
		CSV→ビットマップファイル変換	CSVをビットマップに変換
		ビットマップ→CSVファイル変換	ビットマップをCSVに変換
	画像変換	グレースケール変換	グレースケール画像に変換
		2値化	2値化画像に変換
		正規化	明度で正規化した画像に変換
		切り抜き	指定範囲の画像を切り抜く
		切り抜きダイアログ	画像上で切り抜き範囲を指定する
		拡大・縮小	画像の拡大・縮小
		極座標変換	画像を直交座標配列から、極座標配列に変換する
		極座標変換ダイアログ	画像上で領域指定した部分の極座標変換を行なう
		ぼかし	円形指定領域の画像をぼかす
	画像測定	明度測定	画像の明度を測定する
		交差点測定	画像上にゲージを置き、ゲージと交差した点の明度を測定する
	カメラ入力	カメラ入力	撮像装置から画像情報を取得する
	ビットマップ伝送	ビットマップ伝送	ビットマップファイルを伝送する
	統計処理	MT法	マハラノビスの距離をもとめる
		波形解析	波形を特徴化する解析を行なう
		しきい値判定	定められたしきい値で判定する
自動実行	ファイルドロップボックス	ファイルドロップボックス	ファイルをドラッグアンドドロップする
	ファイル名変換	ファイル名作成(実行回数)	ファイル名に実行回数を付加する
		ファイル名作成(接頭辞)	ファイル名に接頭辞を付加する

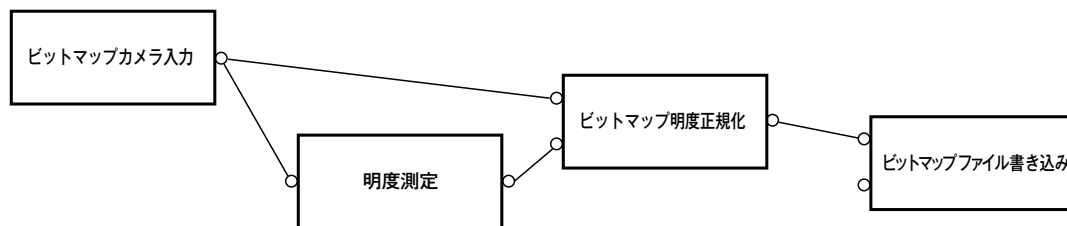


図5 特徴化アルゴリズム（突合せ溶接用）

4 実験による溶接部外観判定結果

当社では、既に基本的なアルゴリズムを開発し、いくつかのアルゴリズムの検討を行ってきた。ここでは、これらの処理を行えるアルゴリズムと、処理前後の画像を示し、処理の過程から結果までを解説する。

4.1 突合せ溶接部の酸化状態の特徴化アルゴリズム

レーザ突合せ溶接は、主に車両の外板の接合に使用されているが、ステンレス車両は無塗装のため、後工程で焼け取りや研磨加工の仕上げが必要となる。

図5に突合せ溶接継手の溶接部の酸化状態を特徴化（強調）するアルゴリズムを示す。画像を取得し、画像の特徴量の1つである明度を測定し、その値を基にして正規化を行ない、画像ファイルとして保存するアルゴリズムである。

図6にビード部を中心に撮像した結果を示す。図7には、図5のアルゴリズムで処理した結果を示す。図6の陰影が消え、酸化状態が強調される画像が得られている。図8は、明度のパラメータを調整して得られた画像である。視覚的にはグレーの成分が抜けた画像のような印象を受ける。

このように、目的に応じてパラメータを調整することで、画像として視覚的にさまざまな特徴を浮かび上がらせることができ、数値に変換することで、多変量解析や波形解析による良否判定に役立てることができる。



図6 突合せ溶接部撮像画像（元画像）

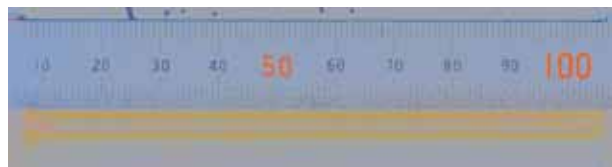


図7 明度による正規化結果



図8 明度による正規化結果（パラメータの調整あり）

4.2 抵抗スポット溶接のナゲットの特徴化アルゴリズム

図9は抵抗スポット溶接のナゲットの圧痕（溶接痕）を撮像し、極座標変換という数値処理によって良否を判定するための特徴化を行なうアルゴリズムである。撮影時の陰影除去のため、図5の明度による正規化を行ない、その結果を極座標変換し、さらに2値化を行なうことで判別のための特徴化ができる。表2は、特徴化の過程とその過程で取得した画像をまとめたものである。①はカメラによって得られた撮像画像であるが、正常の方が暗く、溶接痕の輪郭もはっきりしていないように見える。これを②の明度による正規化によって浮かび上がらせ、③の極座標変換で溶接痕の輪郭を直線上に並べ替える。最後にこの変換画像の明度を測定し、④の2値化処理によってその違いを浮かび上がらせる流れとなる。

正常の溶接痕は円形をしているので、極座標変換によって焼けと陰影が画像の中心に直線となって表れる。一方の異常の溶接痕は、いびつな円形をしており、その中心が焼けている。このため、極座標変換を行なうと、中心ではなく画面の端に焼けや陰影が偏る傾向がある。2値化後の黒色（または白色）を示す成分を数値化して数列を作り、この分布を定量化することで良否判定が可能となる。

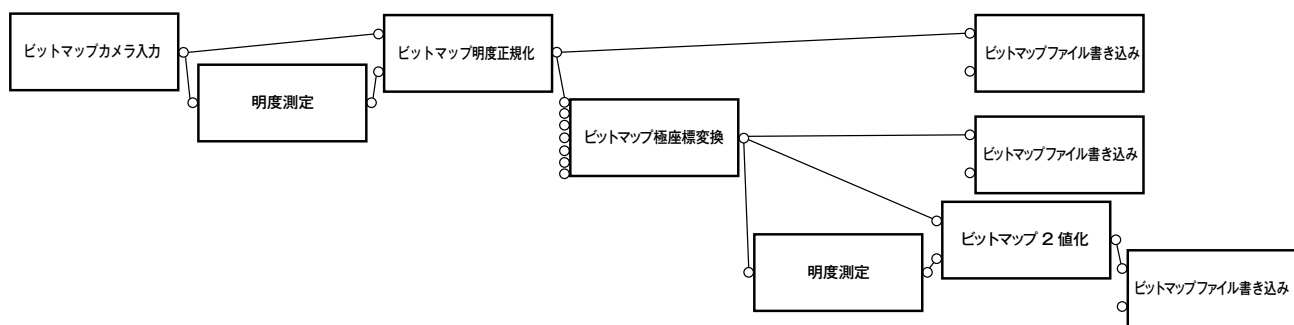


図9 特徴化アルゴリズム（スポット溶接用）

表2 抵抗スポット溶接部の画像処理の流れと結果

処理	①画像取得（元画像）	②明度正規化	③極座標変換	④2値化
正常				
異常				

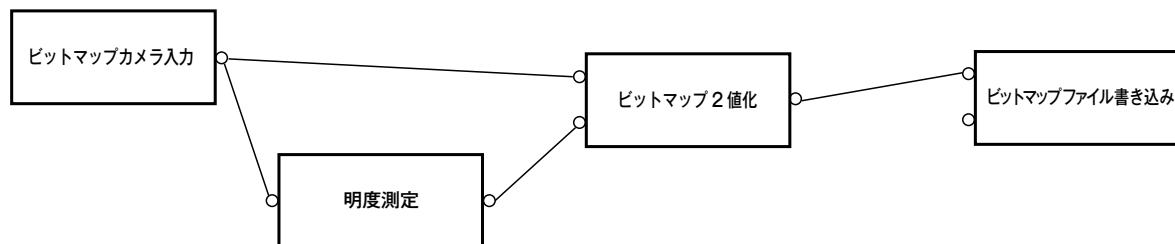


図10 特徴化アルゴリズム（水密溶接用）

4. 3 レーザ水密溶接の特徴化アルゴリズム

図10はレーザ水密溶接の未溶接部や十分な溶け込みが得られていない部分を特徴化するアルゴリズムである。カメラ撮影によって得られた画像から明度を測定し、それをしきい値として2値化を行ない、特徴化する比較的シンプルなものである。

図11は、溶接実験にてあえて中央部を溶接せずに残したサンプルを撮影した画像である。光源がカメラの手前にあり、未溶接部で比較的強い反射が見られる。この画像の明度を測定し、そのピーク値をしきい値として2値化した結果が図12である。この結果を見ると、未溶接部がはっきりと浮かび上がっており、特徴化されていることがわかる。

図13は、材料表面の凹凸の影響を受けて溶接中に発生した2箇所の未溶接部を含むサンプルを撮影した画像である。図11と比較すると撮影の距離が遠いなどの差異があるが、光源は同じようにカメラの手前にある状態で撮影を行なっている。



図 11 レーザ水密溶接撮像元画像（未溶接部あり）

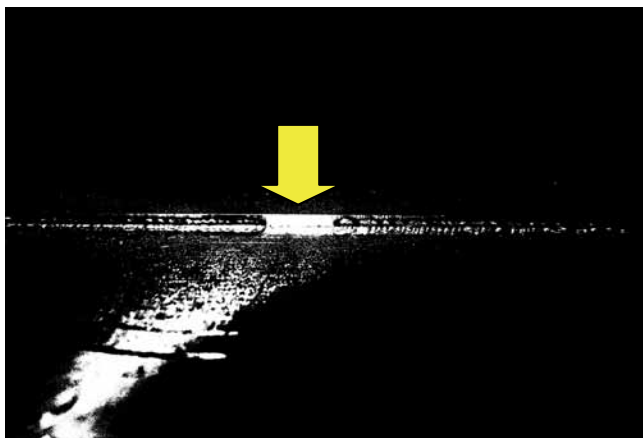


図 12 2 値化画像（中央に未溶接部あり）

同様の処理を行なった結果を図14に示す。この結果を見ると、溶接ビードの輪郭が黒色となっており、その輪郭が途切れているところが未溶接部として表れていて、図12と同等の特徴化ができていることがわかる。しかし、この画像の場合には、画像の左側の未溶接部は判別がやや難しく、2値化画像を数値化した後で、波形解析などの数値処理を必要とすると考える。



図 13 レーザ水密溶接撮像元画像（2 箇所未溶接部あり）

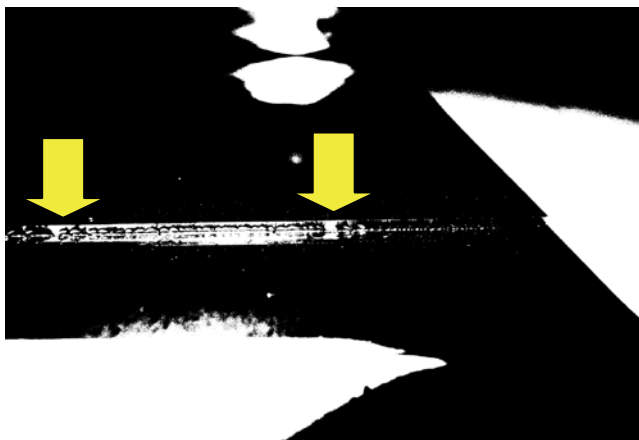


図 14 2 値化画像（2 箇所未溶接部あり）

5 まとめ

カメラで撮影した画像処理による外観検査装置のシステムを構築し、開発環境を使って溶接部の良否判定につながるアルゴリズムを構築した。

レーザの突合せ溶接部、抵抗スポット溶接部、レーザ水密溶接部の3種類の良否判定のための特徴化アルゴリズムを構築し、画像にて確認したところ、判別可能なレベルの特徴化ができた。

また、開発環境そのもののソフトウェアの機能も良好で、アルゴリズムのデバッグも視覚的に行うことができ、比較的簡単に扱えることが確認できた。

今後は、これらの特徴化した画像を数値に変換し、MT法や波形解析、統計解析を利用して、定量的な判別ができるシステムの構築を目指す。

最後に本稿を執筆するにあたり、多大なご協力をいただいた(株)イマジオム 高木氏に感謝の意を述べる。

参考文献

- (1) 浅賀哲也, 他: 「[sustina] 国内第1号車両の開発」, 総合車両製作所技報 第2号, 4-6, (2013), (株)総合車両製作所
- (2) 遠藤翔太, 他: 「溶接部外観判定アルゴリズムの開発」, 総合車両製作所技報 第3号, 52-55, (2014), (株)総合車両製作所

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



遠藤翔太
生産本部
技術部（接合技術センター）



浅井マリア
生産本部
技術部（接合技術センター）

車載製品群のラインナップと保有技術

Lineup of On-board Products, and Proprietary Technologies

長本 昌樹 Masaki NAGAMOTO
松岡 茂樹 Shigeki MATSUOKA

当社は、鉄道車両本体の他に、「車載製品」と呼ばれる鉄道車両搭載部品の開発・実用化に取り組み、一部製品については実車への搭載だけでなく、量産製品化され、各鉄道事業者にて供用され「製品群」としての地位を確立している。また、今後の鉄道車両の低コスト化・高機能化に資する可能性に期待されている。

本稿では、これら車載製品群の生い立ちとラインナップを紹介するとともに、製品を実現するための当社保有技術（車両技術・電気電子技術・システム開発技術）と将来の展望（今後の製品化展開・鉄道車両設計・製作技術への応用）について解説する。

1 はじめに

当社は、主力製品である鉄道車両本体に加えて、「鉄道車両向け（メカトロ）製品群」（以下、「車載製品」とする）と称する電子部品を、開発・供給している。

鉄道車両の安全性・安定性・快適性などに係る付加価値向上により、鉄道利用者や鉄道事業者に貢献すべく、「車載製品」は新製品開発および拡販推進を行っているが、これまで製品別の紹介はされてきたが、製品ラインナップと保有技術に関する包括的な紹介はされていなかった。

そこで、今後の車載製品による鉄道車両の付加価値向上に向けて、「車載製品」の全体像を解説する。

2 「車載製品」とは何か

鉄道車両を60余年にわたり設計・製造してきた当社は、軽量ステンレス車体やボルスタレス台車をはじめとする車両の主構造・重要部位における技術開発を進めてきており、これを実用化した。その技術開発の過程において、車両の運動解析や電子制御に関する研究を付带的に実施してきたが、「そこで得られた知見や技術を新たな分野の製品開発に結びつける」というコンセプトを見出し、鉄道車両に搭載し機能する装置（類）を、鉄道車両とは別個の単位の製品として提供するに至った。

その特色として、「自社ブランド」での製品企画（アイデアの着想・市場調査等を含む）と基本設計・プロジェクト管理を実施する形で顧客に「商品」を提供する形態となっており、製品ラインナップも上記のコンセプトに基づいたものが多い。キーワードは「安全・安定」「省人化」「UD」である。

3 「車載製品」ラインナップ（現行製品）

本項では、2015年現在製品の量産対応を行っている車載製品について紹介する。

3. 1 車内情報表示装置⁽¹⁾

国内初の営業用ディーゼルハイブリッド車両であるJR東日本向けキハE200形が2007年に登場したが、この車両の客室内でハイブリッド車両のエネルギーフローの変化の様子を見ていただく目的の「エネルギーモニター」を追加設置することになり、車両を設計・製作した当社が本装置を提案し受注したものである。



図1 車内情報表示装置

受注してから実車に搭載し営業運転開始されるまでの期間が短かったこともあり、装置システムの基本構成は運転台モニタ表示機（5.3項参照）のものを踏襲することとし、画面デザインおよび表示制御のシステムも同じく自社で手掛けた。室内に設置するため、表示ディスプレイは運転台モニタの10.4インチから15インチに拡大しており、上位装置である車両モニタシステムとRS-485HDL Cの伝送手順にて表示に必要な情報を取得して表示する仕様となっている。納入時期の関係で国内初の営業車両向

け車載製品であり、現在も問題なく営業稼働中である。

その後、2015年落成のHB-E210系にも同様な装置が設置されている。こちらについては、製品企画と仕様の決定、画面デザインを当社が担当し、ハードウェアと制御システムの設計は車両モニタ装置メーカーに委託する形で実現している。当初製品化を手掛けて得られた技術力やノウハウをもって、品質とコストの最適化を図った事例であり、今後このようなケースでの車両機器提案とその実現が増えてくることが予想される。

3. 2 防護無線自動発報装置^②

2005年、4月に発生したJR西日本福知山線脱線事故や12月に発生したJR東日本羽越本線脱線事故を契機に、鉄道車両の脱線・転覆・衝突事故発生時における事故のこれ以上の拡大防止と安全性の向上を目的にこれら事象を自動的に検知し、それをもって防護無線を自動発報する装置の開発をJR東日本に打診され、同安全研究所と共同開発にて完成させた装置である。そのため、本装置は正式名称を「安研型防護無線自動発報装置」と称する。



図2 防護無線自動発報装置

本装置は、脱線検知装置（後述）で採用した、マイコンボードに実装した加速度センサによるセンサ出力信号をフィルタ処理して所定の演算にて得た値がそれぞれ脱線・転覆・前面衝突・側面衝突に相当するしきい値を越えたことを検出する方式で検知を行い、専用のリレー回路を経て防護無線を自動発報する仕組みになっている。

製品の開発はまずJR東日本の安全研究所と行い、脱線検知については脱線検知装置で実用化した仕様を踏襲、新たに追加した転覆および衝突検知については、過去の事故事例による仕様検討とモックアップによる実験検証を経て得られたしきい値をもって製品試作機を完成させた。

その後、本装置は首都圏のJR東日本の主要路線を走る新系列車両の先頭車に設置搭載されることとなり、当

時設計中だったE233系より取り付けられることになった。そのため、本格的な鉄道車両搭載品の国内規格の遵守や顧客要求仕様への対応はもちろんのこと、今まで当社が経験していなかった数百台規模の量産製造に対する品質管理体制の構築など、「鉄道車両部品メーカー製品」として必要な性能・機能・体制構築に相当量の努力を加えて実現している。そしてこの実現には、顧客であり共同開発者であったJR東日本の理解と協力があったことを忘れずに付け加えておきたい。

その結果、本装置は2015年現在、約2000台が稼働し、2014年度には脱線および衝突事故を実際に検知・発報した実績もあり、鉄道の安全性向上に寄与している。

3. 3 カメラ撮影記録装置（運転台前方カメラ等）

21世紀に入ってから映像に関する技術革新は目覚ましく、近年ではだれでも手軽にデジタル画像を撮影・記録・活用できる時代になっている。当社は以前よりこの分野の製品開発の実績を持っていたが、このような情勢の下、今後の車内防犯システムの普及を見越した試作機の開発と鉄道事業者への提案を行ってきた。



図3 カメラ撮影記録装置（試作機）

基本的な仕様は小型で高解像度なカメラと安価な画像記録基板と記録メディアによる構成で、鉄道車両電子機器の規格を満たすものである。JR東日本向けに「運転台前方カメラシステム」を提案し受注するなど製品化の実績も出てきた。今後公営・大手・地方民鉄向けに低コストで高信頼性の高いシステムを開発・提案しさらなる実績を積んでいく。

このほか、高機能車載製品としての「車体剛性向上棒」などの「車体アイテム製品」の開発も手掛けている。

4 「車載製品」開発前史（メカトロ製品の開発）

「車載製品」の実現にあたっては、前項で紹介した製品群の基礎となる電子制御技術の取得が必須であることは論を俟たない。当社の「車載製品」の礎は、前身の東

急車輻時代である1990年頃より、鉄道車両以外の事業化を目指した基礎技術研究開発と製品化に取り組み、その成果としてメカトロニクス技術を応用したハードウェア制御およびシステム構築技術を得、その実用化例としていわゆる「メカトロ製品」の開発・新規製品の企画・提案を行ったところから始まる。その製品群を当社の既存の事業領域外（いわゆる「民生品」分野）に求め、それが市場に受け入れられることで2000年代初頭まで発展、一定期間当社の事業の多様化に貢献した。以下に、代表的な製品の概要と製品開発に伴い得られた技術とノウハウについて紹介する。

4. 1 リライトカード・リーダライタ

「リライトカード」は表面の文字を何度も書き換えることが出来るカードで、その表面には、一定の温度で発色し、一定の温度で色が消える特殊な塗料が使用されており、この2つの温度を使い分け、文字を発色させたり消去させたりすることができる。1990年台初頭より大量に市場に投入され、主に店舗などで使用される「ポイントカード」に活用され普及した。

本装置は、この「リライトカード」をサーマルヘッドを用いて印字および消去するとともに、カード裏面の磁気層に数十バイト程度のデジタルデータ（日時・ポイント数・金額やユーザ情報など）を更新する磁気ヘッドを備えた端末装置で、上位装置であるPCやPOSレジなどと通信インターフェース（主にRS-232C）で接続することで様々なアプリケーションを実現できるポテンシャルを有していた。



図4 リライトカード・リーダライタ

当社は、本装置の筐体およびハードウェア構成の設計・製造を実施し、「メカトロ製品」展開の基礎的な技術力を高め、スタンドアロンでシステム完結するために上位装置を内蔵すべく開発した制御用電子制御基板（CPU）およびソフトウェアの自社開発を行い、10000台以上の出荷実績を残している。この時に得られたハードウェア・ソフトウェア・システム開発技術はこの後紹介する各製品開発の礎となり現在に至っている。

4. 2 自動貸出返却装置⁽³⁾

大学や地方自治体保有の図書館の図書貸し出し、返却は、従来手作業で行うことが多く、人件費負担や業務効率化に課題があった。その後、図書の管理技術の向上により、図書の識別が容易になったことと、センサ等による自動認識技術の向上に伴い、利用者が自身で図書の貸し出し・返却作業を行うニーズが高まり、開発した製品である。



図5 自動貸出返却装置

自動貸出返却装置は、マイコン基板を中心に接続される機器やセンサの数が多いことが特徴であり、それらの個別制御の信頼性とシステムとしてバランスよく動作させる統合制御が肝となっている。その後汎用OSの発達に伴い、容易にGUI（Graphical User Interface）の構築と上位システムとのLAN（Local Area Network）によるネットワーク接続が可能となったことにより、本製品の発展型製品も使い勝手の良いものに進化した。400台以上の出荷実績を残した。

4. 3 マルチメディアステーション⁽⁴⁾

前項のリライトカード・リーダライタおよび自動図書貸出装置で得られた技術ノウハウを結集して開発した情報操作端末機である。



図6 マルチメディアステーション

主なハードウェア構成は産業用PCを核とし、タッチパネルディスプレイ・リライトカード・リーダライタユニット・商品券等とレシートの印刷が可能なサーマルプリンタで、システムはインターネット接続により顧客管理データベースを持つサーバとリアルタイム通信を行うことができ、また、ネットワークシステム下位装置として同一拠点内のリライトカード・リーダライタ端末とLAN接続して各端末で収集したデータの定時集約や設定情報の送信が可能となっていた。

本製品の開発・製品化の実現により、当社のメカトロ事業において必要とされる基礎的な技術および製品化ノウハウが蓄積され、それらを応用した各種派生製品を生み出した。また、次項に述べる鉄道車両向け製品の実用化（市場投入・量産化）に対する「死の谷」を乗り越えるための様々な橋渡しをしたことも特筆すべき事項として付け加えておく。

5 「車載製品」開発の歴史

「車載製品」としての鉄道車両向け製品への応用は、前項のメカトロ製品の開発とは別に、当社の基礎研究開発部門が自社の保有する鉄道車両技術の応用開発件名として進めてきたのが源流となっている。ここで得られたハードウェア制御技術と解析・演算技術が、2000年前後に前項のメカトロ製品化技術と融合することで製品としての実用化を実現している。本項では「車載製品」開発の歴史として過去の製品を紹介する。現在は製品ラインナップから外れているが、現行製品に技術とノウハウが生かされている。

5. 1 脱線検知装置⁽⁵⁾

脱線検知装置は、「脱線起因による事故の拡大防止」を観点に当社社員が発明した脱線現象に対する簡素な検出機能を、理論構築とJR東日本との共同実験によって技術の実用化を実現させ、その後JR東日本のE993系試作車（ACトレイン）搭載を経て、同E331系向けに製品の量産化を実現したものである。

この基本技術は3.2項で述べた防護無線自動発報装置の製品化に大きく寄与している。また同時に、基礎技術開発と実用化（市場投入・量産化）との間にそびえる「死の谷」の現実を当社技術陣に課題として認識させた事案としても注目される。

5. 2 車内CCTVシステム⁽⁶⁾

当社は、2000年にアイルランド国鉄向け8510系車両を受注した。その際の顧客要件として客室内の監視シス

テムの設置が求められ、当時のメカトロ製品開発部門が協力会社と共同で製品企画・開発を実現した製品である。

基本システム構成は、客室内に設置した2台のカメラ画像をアナログ伝送にて列車の先頭車両に設置した記録装置（HDD内蔵のPC）に接続し、各車両で撮影した画像を常時記録するほか、運転台のコンソールにて撮影画像を任意に選択して確認する機能、各車の非常通報装置の信号を受けて当該車両の画像を運転席に表示する機能があり、CCTV（Closed Circuit Tele-Vision）システムを構成した。記録画像はオフィスシステムにて地上で再生確認ができる仕様であった。

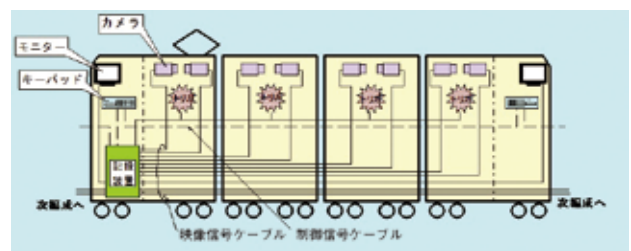


図7 車内CCTVシステム

その後、増備車の8520系では電子透かしの導入⁽⁷⁾によるセキュリティ性の向上とシステムの簡素化を実施した。

奇しくも当社最初の鉄道車両向け量産実用化製品は海外向け車両用となった。これは、顧客仕様が明確であったことと、それに対応して製品を系統的に構築する技術と量産製品の取り扱いとメンテナンスに関する知見を当時のメカトロ製品開発部隊が保有していたこと、海外向け車両のため車両技術者の発想や技術に対する受け入れ方が柔軟であり、実現に対する障壁が国内向けに比べ小さかったためと思われる。

5. 3 運転台モニタ表示機⁽⁸⁾

JR東日本では、NE Trainと呼ばれる、車両の革新的なエネルギーの研究開発のための実験車両を開発することになり、当社が受注、設計・製作を担当しキヤE991



図8 運転台モニタ表示機（表示画面）

形式として2003年に落成した。この車両の運転台は、新エネルギー管理・制御システムの動作状況の監視のためのモニタ表示機が装備されているが、この機能を既存の汎用技術を組み合わせて構築することになり、通常であれば専門機器メーカーに発注するところを当社の開発品として構成したところが特徴である。

モニタ表示は市販されているFA用のタッチパネルディスプレイを採用し、画面制御と取得情報のデータセットや判定は内蔵のPLC (Programable Logic Controller) を用いている。車両システムとの接続は車両向けに一般的なRS-485HDLとリレーロジックを使用しているが、通信については自社開発のプロトコルコンバータ基板にて汎用の通信I/Fに変換させ、リレーについても定格を車両向けに合わせつつも汎用の市販品を活用してコストダウンを図っている。

さらに特筆すべき点としてはPLCと画面表示の制御の設計およびデザインを当社社員がすべて手掛けている点にある。このことにより、車両システム制御の全体像を把握しながら最適なモニタシステム設計が迅速かつ確実に行うことができるほか、急遽な仕様変更にも柔軟かつ低コストで実現可能となる。実際、当該車両は当初はディーゼルハイブリッド車両であったが、2007年に燃料電池車両、2009年に蓄電池車両へと駆動エネルギーシステムが更新されたため、モニタシステムも更新が必要となったが、本件も当社が能動的に対応してコスト低減と完成納期の縮減に寄与している。

当社における車載製品の発展性を秘めた当製品であったが、実験車での成功と営業量産車への展開は必ずしも結びつかず、結局本件は当該車1両のみの実績である。

5. 4 大井町駅向けホームドア^⑨

当社は鉄道車両向け製品を一步一步着実に製品化して実績を積んできた。その折、東急車輛時代の親会社でもあった東急電鉄より、自社でのホームドア設置の計画に際し、当社へ駅設備業界への参入と製品開発の打診があった。当時の当社経営陣は、保有している鉄道車両の設計・製造技術と本文で紹介してきたメカトロ製品や鉄道車両向け製品化技術を融合することでホームドア製品の開発が可能と判断、2010年より本格的な開発体制をもって製品の開発と実用化を実現させた。

2012年3月に東京急行電鉄大井町線仕様の可動式ホーム柵のシステムとして完成・供用開始し、開口幅2480mm、ドアリーフ耐荷重100kgf、耐風速50m/sなどの基本仕様は業界標準仕様である。

他社製品との差別化を前面に押し出した設計であり、

UD (Universal Design) を多用した乗務員操作スイッチや表示灯設置組み込み、FRPを用いた丸みを帯びた筐体デザインおよび配色が外観上の特徴である。

大井町線での使用のため、車両ドアとの連動動作を行わない仕様であり、列車編成も5両編成と6両編成が混在する条件のため、扉の開閉は操作盤スイッチの押下によって行うが、安全性の確保のため、超音波センサを用いた「車体検知センサ」による列車有無と到着編成両数の判別を行う機能が組み込まれている。

これら機器類の制御および保守支援機能は、番線あたり1台の「総合制御盤」と呼ばれるコントローラで行っており、ハードウェア選定・構築および制御ソフトウェアの設計は前項までに紹介した各種製品群の開発で得られた技術・設計思想・ノウハウ・品質保証体制のすべてが盛り込まれ、集大成的な製品となっている。

稼働開始より3年が経過した現在、特筆すべき大きな障害等もなく安定稼働中である。残念ながら今後の製品としての拡大展開は望めない状況となっているが、本製品で得られている技術的知見や特に品質管理に関するノウハウは今後の新製品開発における製品品質の向上に寄与していくであろう。



図9 大井町駅ホームドア

6 当社保有技術

本項では、前項までに紹介した車載製品群の開発・製品化を背景として保有している各種技術について紹介していく。なお、本稿の性格上、当社が元々保有している車両設計・製造・品質管理等に関する保有技術は省略させていただくことをお断りしておく。

6. 1 車両技術

車両メーカーならではの車体構造・装置のぎ装（取り付け）設計に関する技術は、設計段階での車両技術者との密接な交流や実務上の手続きなどを通じて得られており、これはほかの車両用機器メーカーにない特徴といえる。

6. 2 電気電子技術

4項で述べた「メカトロ製品」の開発時より、開発設計セクションには電気技術者が集中投入されているため、電源・電子制御・EMC・ソフトウェア開発などの電気電子工学分野のノウハウがあり、それが製品開発に脈々と生かされている。自社で試作・評価のための拠点が「メカトロ工房」の名称で設置されており、電子基板や製品のアセンブリに関してパートナー会社への仕様提示、製品のEMC試験等の実施・評価も自社で計画し、実行されている。

6. 3 システム開発技術

製品群の紹介でも登場しているが、システムの基本設計の企画だけではなく、自社の社員が自力で製品のシステムやアプリケーションソフトウェアの企画・設計・プロジェクト管理が可能な技術力を保有している。なお、一例として著者もシステムエンジニア出身であり、万が一の製品異常発生時の原因の推定・調査および検証も自力で可能である。そのため、完全自社開発からパートナー会社への設計委託まで、コストと開発規模に応じた開発・製品化が可能となっている。

7 将来の展望

2015年現在、現行製品の後継機種の開発・製品化を推進している。また、他業界の先進技術を積極的に取り入れて鉄道車両向けに応用していくための研究開発も進めている。これらについては、成果が得られ次第本技報にて報告・発表していきたい。

コストパフォーマンスの高い製品化の要求は、本稿の主題でもある車載製品分野では特に顕著であり、一部製品については市場原理に基づいた競争になっており当社もそれに対応すべく努力しているが、その要求は近年当社の主力製品である鉄道車両にも求められている。

当社経営陣は、その状況に鑑み、低コスト設計・工法の開発を指示し推進中であるが、その中で車載製品で得られた技術やノウハウを活用して実現させるテーマがある。特にICT技術の活用がキーワードと認識しており、調査と基礎研究を進めている。この実現には自社の能力だけでなく、鉄道事業者や製作メーカー等パートナー会社との協力体制が欠かせない。その核となる機能をもって、テーマの実現に邁進していく。

8 おわりに

当社の車載製品のラインナップと歴史、保有技術について解説してきた。

当社は2012年にJ-TRECとなり、鉄道車両専門メーカーとして歩みを進めているが、必ずしも鉄道車両設計・製作（改造含む）専門というのではなく、小規模ながら制御システム分野に実績を築いている状況と、それに基づいた保有技術やノウハウがあることをご理解いただけたと思う。

そして今後の当社の事業展開発展に際し、本稿で紹介した技術が寄与していくことを確信している。

本稿の作成に際し、製品の開発・実用化にご協力頂いた顧客企業各位、情報提供頂いた関係各社に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 長本昌樹：「JR東日本キハE200形向け車内情報表示装置」，東急車輛技報 58号，102-105，(2008)，東急車輛製造（株）
- (2) 茂呂貴史：「安研型防護無線自動発報システム」，東急車輛技報 58号，46-53，(2008)，東急車輛製造（株）
- (3) 竹中肇，他：「ABC－Ⅲ，ABC－STⅡ」，東急車輛技報 55号，99-100，(2005)，東急車輛製造（株）
- (4) 高野直樹：「マルチメディアステーション」，東急車輛技報 51号，78-79，(2001)，東急車輛製造（株）
- (5) 平林健一：「車両モニタリングシステム」，東急車輛技報 53号，65-67，(2003)，東急車輛製造（株）
- (6) 山本徹：「車内監視システム」，東急車輛技報 51号，72-73，(2001)，東急車輛製造（株）
- (7) 山本徹：「電子透かし対応改良型車内監視システム」，東急車輛技報 54号，31-33，(2004)，東急車輛製造（株）
- (8) 春木英将，他：「車両情報表示装置」，東急車輛技報 53号，41-42，(2003)，東急車輛製造（株）
- (9) 谷口宏次，他：「ユニバーサルデザインホームドアの開発—東急大井町線 大井町駅可動式ホーム柵—」，総合車両製作所技報 1号，64-67，(2013)，（株）総合車両製作所

著者紹介



長本昌樹
生産本部
技術部（商品開発） 課長



松岡茂樹
技術士（機械部門）
生産本部
技術部 部長（商品開発）

J-TREC Engineering Forum (JEF) における失敗学的技術者教育 －自分で考え 自分で行動する 強い技術者への意識改革－

生産本部 技術部



図1 JEF 座談会「東急 9000 系横浜乗上り脱線事故に学ぶ」

1 はじめに

当社は鉄道車両メーカーであり、ものづくりを業とした技術企業である。当社の「世界のJ-TRECになる!」というビジョンを実現するためには、グローバルな鉄道業界の競争環境下で、技術力により製品優位を発現する必要がある。

技術企業において、その技術を持っているのは技術者である。製品優位を実現するための研究・開発・設計プロセスは知的生産活動であって、技術者には創造性が求められる。決まったマニュアル通りに研究をすれば特許や論文が生まれる、それは幻想である。特許権・原著論文・世界初や日本初の実用化は、先行1社のみに認められる厳しい競争環境にある。

技術者は、顧客の期待に応じて、顧客の潜在的ニーズを先取りし、新たな価値を創造することが、求められている。技術により新たな価値を創造することは、技術者の喜びであり、そのために楽しく技術を学び、語る場が望まれていた。さらに、創造性を発揮する技術者になるための意識改革の場も求められていた。

そのような観点から開催しているJ-TREC Engineering Forum (JEF) 講演会の概要を、表1に示す。楽しく技術を語る、新たな価値を創造できる「強い技術者」への意識改革に向けて、失敗学的な価値観と方法による技術者教育を実施している。

本講演会では、秘密情報保持のほか、失敗の責任追及より原因究明をとという価値観に基づき、失敗学的責任追及禁止をルールとし、聴講者には署名をいただいている。

本稿では、失敗学の概要を紹介し、JEF前史とともに、JEFの軸となっている失敗学的教育の観点から、技術者の意識改革の取り組みを紹介する。

2 失敗学について

2. 1 失敗と失敗学

失敗とは、人がやろうとしたことが、まずくいくことである。

失敗学は、失敗（含事故・自然災害）に学び、そのメカニズムやシナリオを知識化して水平展開することにより、未来に起こり得る失敗を予見して未然防止や減災を行うための、考え方と方法である。

失敗学の基本形は、1996年に東大機械 畑村洋太郎教授（当時）により「続々・実際の設計 失敗に学ぶ」⁽¹⁾で提唱され、1997年に立花隆氏により「失敗学」と命名される。2000年に「失敗学のすすめ」⁽²⁾が出版され、2002年にNPO失敗学会が設立される。

なお、著者の1人のJEF事務局長は、畑村研究室OBにて構成される非営利の社会貢献団体「実際の設計研究会」のメンバであり、「続々・実際の設計 失敗に学ぶ」の幹事であり、畑村先生から「失敗学伝道師」の任命を受けている。

表 1 J-TREC Engineering Forum の概要

項目	概要
ねらい	楽しく技術を語る、新たな価値を創造できる「強い技術者」の育成に向けた意識改革
内 容	・失敗学系:失敗に学ぶ、事故に学ぶ ・新技術系:他分野を含む先端技術 ・技術史系:先達の失敗談、失敗を乗り越えた成功談、証言の保存伝承
形 式	・社内外の講師による基調講演を基本とする ・ディスカッションの場を設定する。形式は、座談会・討論会・パネルディスカッション・マシンガンセッションなど、テーマに合わせて企画する
ルール	秘密情報保持、失敗学的責任追及禁止、さん付け励行
聴講者	中堅・若手技術者(希望者)、役員・管理職(希望者)、来賓(招待者)
場 所	横浜事業所で開催、新津事業所と和歌山事業所にTV会議中継
頻 度	年4回程度
運 営	責任者:技術部長、事務局長:技術部部長(商品開発)、事務局:技術部(技術管理)、運営:JEF企画運営WG

また、当社は失敗学会の法人会員であり、JEF事務局長が理事を務めている。

2. 2 失敗学のエッセンス

失敗学では、失敗はあってはならないとは、考えない。逆に、失敗は必ず起こる、「まずくいく」ことから考える。

その基本的な考え方を、本質安全の3定石に示す。

本質安全の3定石⁽⁴⁾

- ・人は必ず失敗すると思え
 - ・物は必ず故障すると思え
 - ・人が行った想定は外れると思え
- ありうることは起こる、ありえないと思うことも起こる、思いつきもしなかったことも起こる

図2に失敗学のエッセンスの一部を示す。

失敗を原因別に分類した失敗まんだらは、人類が知らなかった、未知の事象が起こることを示す。

失敗経験200年則は、どんな分野でも確率的に発生する失敗の経験を積むのに200年かかることを示す。なお、鉄道190年、ステンレス車両80年、高速鉄道50年、ボルスタレス台車35年、いずれも200年の失敗経験はない。

失敗に学ぶためには、現地に行って、現物をいじくって、現人から話を聞く、三現を通じてのみ実情がわかる、三現主義が必要である。

失敗知識は、抽象化により上位概念での知識化をして、

自分の課題への具象化をして初めて、思考の谷を越えて水平展開できる。

3 JEF前史

3. 1 旧東急車輛の技術講演会

図3に、旧東急車輛時代から開催されている技術講演会の系譜を示す。旧東急車輛では、主に失敗学系、新技術系、技術史系の技術講演会が、それぞれの管轄部署により開催されていた。それらの技術講演会は、それぞれが非常に好評ではあったが、不定期かつ単発の開催に過ぎず、統括部署もなかった。

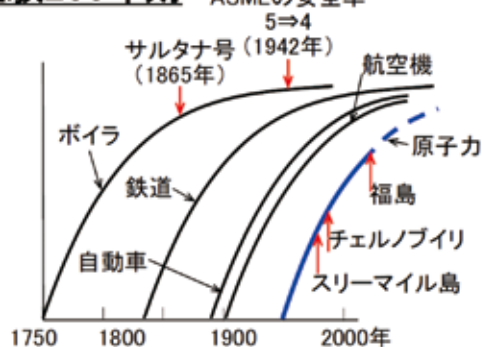
3. 2 J-TREC設立記念講演会「フクシマから学ぶこと」

2012年10月24日(水)、東京大学名誉教授、福島第一原発事故調査検証委員長、畑村創造工学研究所代表、危険学プロジェクト代表、失敗学会会長、実際の設計研究会会長である畑村洋太郎先生をお招きし、J-TREC設立記念講演会「フクシマから学ぶこと」が開催された。

講演会に先立ち、横浜事業所・歴史記念館の見学会が行われた。台車の見学では本質安全に係るネガティブブレーキの、保存車両では現物による技術伝承の重要性について議論された。

講演会では、まず三現主義の実践により構築された福島原発事故の全体像と、他の分野に具象化できるレベルまで抽象化された知識(委員長所感)が示された。さらに、津波被害の現地調査と知識の伝承、想定外を想定す

ASMEの安全率



失敗の知識化

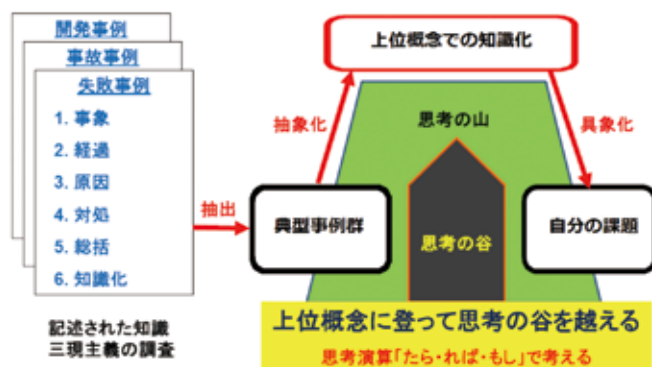


図2 失敗学のエッセンス (1) (2) (3) (5)



ることの大事さ、他分野の失敗に学ぶ重要性、全体像を共有した主体性・能動的に行動できる個人となる提言が実践例とともに示された。

講演会は予定の時間を大幅に超過して、気持ちの入ったご講演と質疑が展開された。原子力村と同様に閉鎖的な世界で生きている我々鉄道屋が、“フクシマ”や津波から謙虚に何を学ぶかが求められている。

そのような観点から、失敗学的なアプローチの重要性が認識された。

4 技術を語る会の発足とJEFへの改革

4.1 技術を語る会（J-TREC技術士会）

J-TRECが発足した2012年度、日本技術士会登録の社内技術士会である、J-TREC技術士会の活動として、「技術を語る会」という名称で定期的に技術講演会を開催することにした。

系譜的には新技術系の流れを受けて、テーマを選定した。表2に示すように、第1回は宮下が「鉄道車両の信頼性設計」を、第2回は山崎が「J-TRECの各種システム導入変遷と今後の方向性」を講演した。

2回の技術を語る会は、内容的には好評を得たものの、業務組織ではないJ-TREC技術士会による自主開催としたことから課題も多かった。

- ・参加者が技術士資格保有者に偏った
- ・一方通行の講演会となり、参加者参加の議論ができなかった
- ・業務組織ではないため事務局機能が弱体だった
- ・講演会のねらいと理念が不明確だった。

なお、この「技術を語る会」においては、失敗学的アプローチはされていなかった。

4.2 JEFへの改革（技術部（技術管理））

2012年度のJ-TREC技術士会による2回の「技術を語る会」の好評と課題を踏まえて、2013年度から技術部（技術管理）に移管し、社長特命により業務組織で実施する、全社的な技術講演会に改革した。

まず、失敗学的アプローチによる技術講演会に改革すべく、「技術を語る会」の新技術系テーマだけではなく、失敗学系と技術史系テーマについても、統合した。

具体的には、中堅・若手技術者を対象として、「自ら考え自ら行動する強い技術者」への意識改革を図ることを目標とした。そのために「楽しく技術を語る」技術講演会を開催することとした。

技術を語ることは手段であり、目的ではないことから、名称を「J-TREC Engineering Forum」に改称した。その目的を実現するために、失敗学的アプローチを行うこととした。

表2 J-TREC Engineering Forum 開催記録

No.	開催日	テーマ	講師
1	2012.10.9	鉄道車両の信頼性設計について	J-TREC 宮下直人
2	2013.3.26	J-TRECの各種システム導入変遷と今後の方向性	J-TREC 山崎卓
3	2013.5.8	温故創新 産業遺産と三陸津波に学ぶ	J-TREC 松岡茂樹
4	2013.8.23	ステンレス車両の変遷とその技術	OB 内田博行氏
5	2013.9.9	(OB懇談会)オールステンレス車両50周年を省みて	OB 嶋野五世夫氏
6	2013.11.18	米国MTA向M4プロジェクトの教訓 パネルディスカッション:MTAの教訓を生かす	OB 守谷之男氏
7	2014.1.27	東急電鉄における車両開発と運用・保守 座談会:東急9000系横浜駅乗上り脱線事故に学ぶ	東急電鉄 荻原俊夫氏
8	2014.3.4	鉄道技術屋としての40年	JR四国 松田清宏会長
9	2014.5.8	FSW技術の最前線 マシンガンセッション:J-TRECにおけるFSW実用化	大阪大学 藤井英俊教授
10	2014.10.10	鉄道安全への車両技術者の責務 討論会:鉄道安全への車両技術者の責務を考える	OB 佐藤国仁氏
11	2015.2.19	コスト半分への挑戦 座談会:901系・209系を語る	JDSC 鈴木康夫氏 CSP 久須美康博氏
12	2015.6.4	プラスチック技術の最前線 技術者の自己研鑽・資格取得のすすめ	小松技術士事務所 小松道男氏
13	2015.10.6	ダブル講演会 J-TREC台車技術の歴史ー東急5000形 用台車とBuddパイオニア台車から発展した台車技術ー	OB 児玉邦彦氏 JDSC 堀越和義氏

注:CSP(セントラル警備保障)、JDSC(J-TRECデザインサービス)

開催頻度は年4回程度、参加は任意とした。テーマに応じて、社外の来賓を招待している。講師による一方通行の講演会とならないように、ディスカッションを重視している。その形式については、毎回実験、試行錯誤をモットーに、おもしろいアイディアはまず実行した。

講師による基調講演に加え、座談会、パネルディスカッション、マシンガンセッション、討論会などを、テーマに応じて企画し、実行している。

表2に、JEF講演会開催実績を示す。

これらの中から、失敗学的技術者教育という観点で、大きな転機となった講演会（図4）を、次章で紹介する。

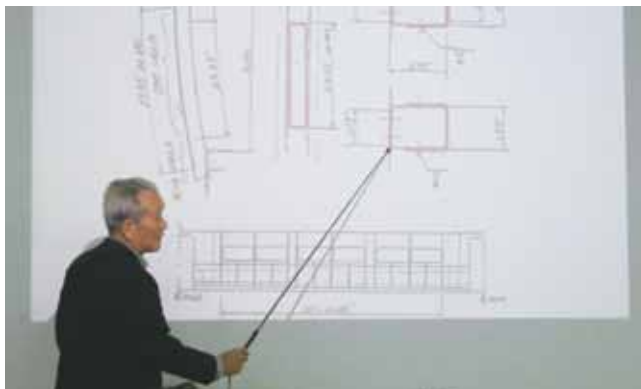
5 JEFにおける失敗学的技術者教育の実践

5. 1 JEFがめざす強い技術者を語る

JEF改称後初となる第3回JEFでは「産業遺産と三陸津波に学ぶ」と題して、事務局長が失敗学のエッセンスと実行例を紹介するとともに、JEF講演会のめざす人材像を解説した。



温故創新 - 産業遺産と三陸津波に学ぶ（松岡）
現地に現物を現人の知識とともに、保存する。
失敗学的アプローチによる JEF のめざす人材像。



米国 MTA 向 M4 プロジェクトの教訓（守谷）
経営を傾かせ、米国からの撤退となった大失敗。
世界に羽ばたく今こそ、この失敗に学んでほしい。

著者が、講演で最も訴えたかったのは、自ら考え自ら行動する技術者への意識改革である。そのために、自身が考えて行動した事例として、

・日本初のステンレス車両群の保存により、知識を未来に遺す

・三陸大津波の支援・三現調査と、知識を地元を生かすの2例を紹介した。なお、産業遺産と災害遺産は、現地に現物にて現人の知識を遺すという点では、全く同じ性格である。

図5に、畑村先生によるJ-TREC設立講演会の提言を受けた、J-TREC Engineering Forumがめざす強い技術者を示す。

最も大事なのは、「主体的・能動的に行動できる強い個になる」、「自分の目で見える。自分の頭で考える。自分で決める。自分で行動する」である。

そのために、三現主義・仮想演習・逆演算を実行すること、全体像を持つことが重要である。

高い専門知識と幅広い知識に加え、商売センスを備え

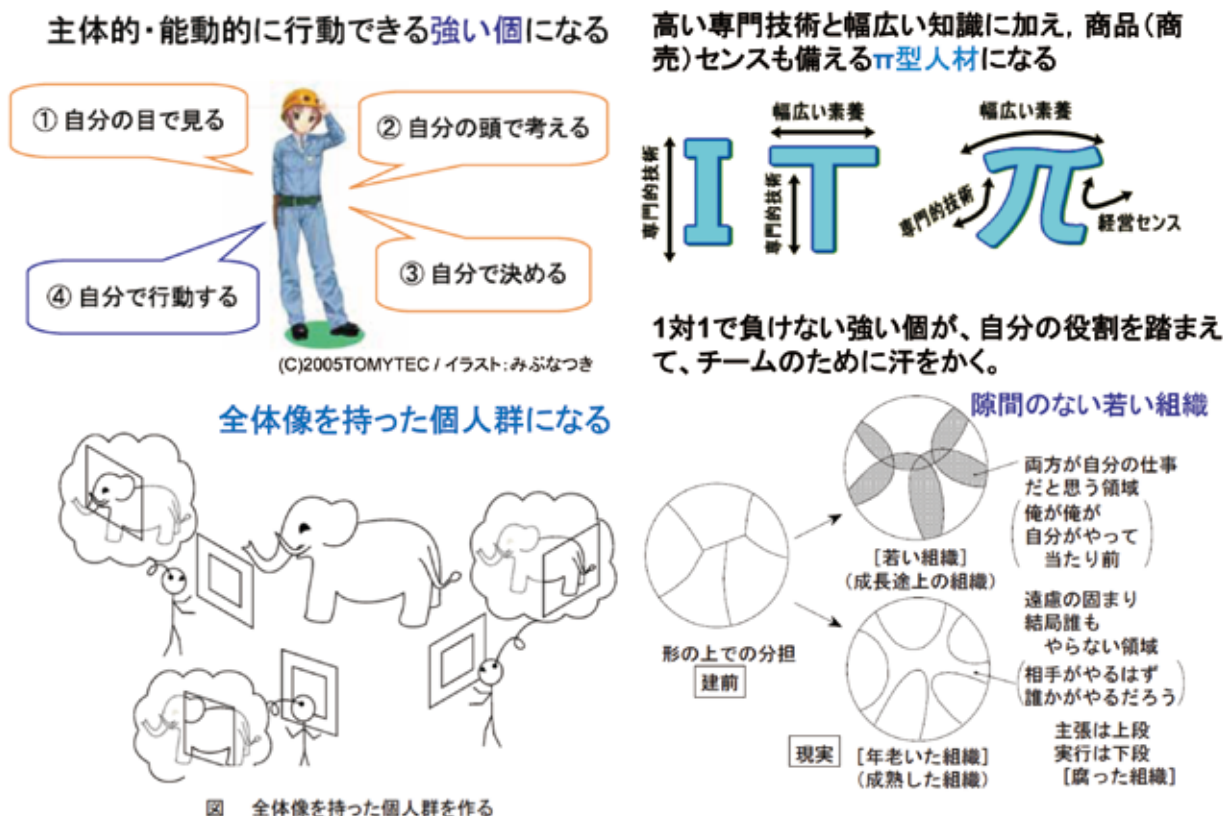


ステンレス車両の変遷とその技術（内田）
アルミ車両との競争で訪れた三度の危機、失敗につぐ失敗の開発を、熱意で乗り越えた。



座談会 乗り上がり脱線事故に学ぶ（萩原）
営業3日目で脱線した9000系。対策として考案された静止輪重10%管理は技術基準になった。

図4 JEF講演会風景：失敗談を語る講師（敬称略）

図5 J-TREC Engineering Forum がめざす強い技術者⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁸⁾

るπ型人才になる、そのために技術士等の公的資格取得を推奨する。

まず1対1で負けない強い個がまずあって、強い個たちがチームのために汗をかいて初めて、強いチームになる。

講演後に中堅若手技術者に対してアンケート調査を行った。全参加者の28%から回答を得て、講演のねらいの失敗学的意識改革の支持率が74%の高率となり、その有効性を確認した。

5.2 危機と失敗を乗り越える

第4回は、初めて来賓をお招きし、「ステンレス車両の変遷とその技術」について、初めて社外講師の内田氏に講演をお願いした。内田氏は、国産技術化に成功した第2世代「軽量ステンレス車」開発の主務担当だったOBである。

その開発の当事者でなければ聞けないような、迫力のある内容だった。

「ステンレス車両の開発史が、順風満帆だと思ったら大間違いだ！ アルミ車両との競争で訪れた3回もの危機を、技術で乗り越えたんだ！」

社史等に記録されている正史、成功の歴史とはまったく異なる真実が語られた。それは失敗に次ぐ失敗の開発

史だった。訪れた開発中止の危機、それを乗り越えていった技術者たちの熱い想いが、当事者の口から語られた。

現役社員が知らなかった真の開発史が記録され、伝承されることになった。

5.3 実際の大失敗プロジェクトに学ぶ

内田氏の講演会の懇親会の席で、OB・元専務の守谷氏から申し出があった。

「手痛い大失敗になった米国向け輸出プロジェクト、MTA-M4プロジェクト(1985～)の真実を話したい。J-TRECになり、世界に羽ばたこうとする今こそ、この大失敗に学んでほしい。」

第6回JEF講演会は、「米国MTA向M4プロジェクトの教訓」として、当時設計部長だった守谷氏に基調講演をお願いするとともに、当時若手として米国駐在した社員によるパネルディスカッション「MTAの教訓を生かす」が開催された。この回以降、基調講演後にディスカッションを行うスタイルが確立されてゆく。

5.4 実際の脱線事故に学ぶ

守谷氏の講演会の懇親会の席で、横浜脱線事故と静止輪重管理が話題となり、その場に出席されていた当時の

担当者の東急電鉄荻原氏に講演をお願いした。

荻原氏は、畑村先生を輪重測定装置の見学にご案内されるなど、失敗学にも造詣が深く、ご快諾いただいた。なお、図2三現主義の図には、輪重測定装置が描かれている。

荻原氏の基調講演後、座談会「横浜脱線事故に学ぶ」が開催された。

東急9000系は、1986年に新車として営業投入後わずか3日目に、横浜駅で脱線した。再現実験により、輪重抜けによる乗り上がり脱線であることが解明され、初期アンバランス量を抑制する静止輪重10%管理法が考案され、直ちに実行された。

2000年の中目黒脱線事故後、静止輪重管理は技術基準となっている。座談会では、静止輪重管理をどのように考えて決めたのか、管理値をなぜ10%にしたのか、その起源が考案者である堀越氏（J-TRECデザインサービス、JDSC）自身の口から語られ、記録され、後世に保存されることになった。

脱線事故をさらに立体的に記録する試みとして、東急電鉄の全面的な協力を得て、講演会前後に現地・現物・現人インタビューと打合せを開催した。

講演会前には、電車とバスの博物館にて荻原氏が復元を担当したモハ510現車にてインタビューを行った。

講演会後には、長津田検車区にて脱線したクハ9001の現車調査を行ない、当時の脱線補修痕や対策工事痕が明確に残っていることを確認した。

東急9000系は、日本初の軽量ステンレス車両・ボルスタレス台車・VVVF制御電車であり、その3技術は今でも広く使われている。静止輪重管理の確立を通じて鉄道システムの安全性向上に貢献した車両として、評価されるべきである。

6 省察

6. 1 失敗学的教育の有効性

JEFの参加者は毎回80～90名、多いときは170名を超えることもある。第13回までで、延べ1000名以上が参加したことになる。参加者は、技術部門が中心であるが、管理部門からの参加者も少なくない。第11回からは、新津事業所、和歌山事業所ともTV会議システムを介して中継を開始し、これらの拠点からも参加できるようになった。

JEFでは、参加者の座席レイアウトにも工夫を凝らしている。JEFには、来賓や役員も参加するが、一般的には最前列に配置するこれらの席をあえて、両端に配し、一般社員、とくに若手・中堅技術者が中央列に着席でき

るようにしている。これは、JEFの主役があくまでも若手・中堅技術者であることを踏まえたレイアウトである。これにより、講師との距離感を縮め、参加者が発言しやすいように配慮している。

JEF参加者の評価も好評である。「過去の失敗に学び、日常業務での取組み姿勢を見直した」、「技術的な見識が広がった」などの意見が寄せられており、JEFが目指している創造性を発揮するための意識改革という目標はひとまず達成できているものと考えられる。

6. 2 対外情報発信への波及

JEF講演会の講演とディスカッションを通じて得られた知見の中には、広く社会に発信すべきものがあるため、積極的に対外発表をしている。それらのうち、著者が直接かかわった事例を紹介する。

技術基準になった静止輪重10%管理については、その考案者や起源が一般に知られていなかったことから、東急電鉄の理解を得て、日本機械学会 交通・物流部門 貢献賞記念講演⁽⁵⁾で発表した。失敗学的エッセンスを強く打ち出したためか非常に手ごたえが良く、交通新聞に失敗学も含め大きく掲載された。

この記念講演がきっかけとなり、JSCMシンポジウム「脱線事故の撲滅を目指して（その2）」にて、脱線事故の発生を想定した脱線検知装置⁽⁶⁾について発表をした。失敗学的な見地からは、脱線を撲滅できると考えるのは幻想でしかなく、脱線が必ず起こることを想定して、起こったときの減災の準備をすることが技術者の責務であると主張した。このJSCMシンポジウムがきっかけの1つになって、脱線検知装置を日本発でISO国際標準化する構想が動き始めている。

ステンレス車両の開発史⁽⁷⁾について、日本機械学会誌（鉄道190周年特集）に寄稿した。米国からの技術導入と、米国技術を越えた軽量ステンレス車の開発、脱線事故と安全性向上、そして世界に類のないステンレス車両大国となった技術の系譜を明記した。この特集は高く評価され、日経テクノロジーのエディターズ・ノートにも転載されている。

7 まとめ

楽しく技術を語る、新たな価値を創造できる「強い技術者」への意識改革に向けて、J-TREC Engineering Forum (JEF) 講演会にて、失敗学的技術者教育を実施している。

講師と打合せをするときに、必ずお願いすることがある。

「自慢話は聞きたくない。まずくいった失敗の話や、失敗にしつこく挑戦して乗り越えた話を聞かせてほしい。出席者にはオフレコ・責任追及禁止でサインも貰うので、何でも好きに語っていただきたい。何よりも、ご自身がまず気持ちよく、そして熱く語っていただきたい。」

そのような失敗学的な価値観により開催しているJEF講演会は、受講者の支持を受けつつ開催を続けており、のべ参加者数が1000名を越えた。参加者の声から、技術者の意識改革も進んでいるものと評価している。

末筆ながら、このような社員教育の取り組みにご理解・ご協力いただいている東急電鉄を始めとする社外の皆様に、誌上をお借りして感謝の意を表したい。

また、失敗学を提唱された畑村先生には、著書引用のご快諾をいただいている。日頃のご指導に心からの謝意を表したい。

参考文献

- (1) 畑村洋太郎，他：「続々・実際の設計失敗に学ぶ」，(1996) 日刊工業新聞社
- (2) 畑村洋太郎：「失敗学のすすめ」，(2000) 講談社
- (3) 畑村洋太郎：「技術の創造と設計」，(2006) 岩波書店
- (4) 畑村洋太郎，他：「実際の設計 改訂新版 機械設計の考え方と方法」，(2014) 日刊工業新聞社
- (5) 松岡茂樹：「温故創新に関する一考察 鉄道車両のUD手すり・機械遺産・脱線検知を例として」，日本機械学会 第23回交通・物流門大会 (TRANSLOG 2014) 講演論文集，No.14-65，1-4，(2014)
- (6) 松岡茂樹：「脱線等検知システムの開発・実用化と動作実績に基づく開発コンセプトの検証」，第12回JSCMシンポジウム，80-91，(2015)
- (7) 松岡茂樹：「ステンレス車両の技術史-Pioneer Zephyrから sustinaまで-」，日本機械学会誌，Vol.118，No.1162，572-573，(2015)
- (8) 徳島大学工学部：「 π 型技術者とは」，徳島大学ホームページ，
http://www.tokushima-u.ac.jp/e/campus/educational_reform/students/engineer.html

(松岡茂樹，長能亮太 記)

レーザ距離計を用いた測定機構の開発

生産本部 技術部



図1 開発品

1 はじめに

鉄道車両の構体製造過程で構体各部の寸法測定を行う際、位置が高くて測定しにくい箇所は踏み台に乗って測定を行っており（図2）、作業者が踏み外してしまうリスクがあった。また、測定箇所にあわせて複数のスライドゲージ（図3）を使用しているため、適宜、持ち替える必要があった。このような構体各部の測定作業の安全性向上と効率化を目的に、レーザ距離計を用いた測定機構の開発を行った。



図2 踏み台に乗って測定



図3 スライドゲージ

2 基本コンセプト

- (1) 踏み台に乗る必要をなくし、安全性向上
- (2) 持ち替えの削減による、効率化
- (3) デジタル表示による、測定値の明確化

3 開発品の概要

3. 1 測定部

本開発品は伸縮機構を設け、レーザ距離計を装着する測定部の角度も可変としたことで（図4）、作業者が測定部を任意の位置、角度に調整できるようになっている。測定は手元のタブレット端末の操作によって実行できるため、高い位置も踏み台に乗ることなく測定が可能である（図5）。

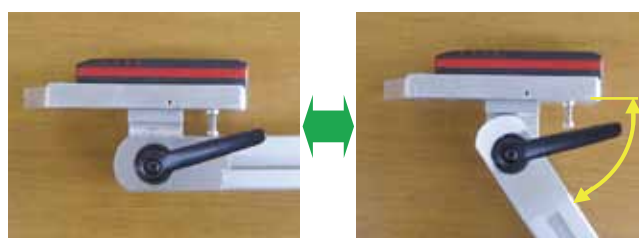


図4 測定部の角度調整機構



図5 踏み台に乗らずに測定

さらに、測定箇所に応じて長さが異なるスライドゲージを使い分けていたが、直線部のすべての箇所が本開発品のみで測定可能となっている。たとえば乗務員室出入口幅等の狭い箇所も、測定部の角度調整機構によって測定が可能である（図6）。タブレット端末とレーザ距離計はBluetooth[®]による無線通信を行っており、伸縮や角度調整に支障がないことはもちろん、タブレット端末を取り外した状態でも測定が可能である。



図6 乗務員室出入口幅の測定

3. 2 表示部

スライドゲージではアナログの目盛りから測定値を読み取っているため、正確な値が瞬時にわからなかったり、作業者が目盛りを読み間違えてしまったりするおそれもあった。本開発品は、測定値を表示部（タブレット端末）にデジタル表示するため、瞬時に明確にわかるようになった（図7）。なお、測定データはタブレット端末内に保存することで、チェックシート作成時に利用可能である。

また、各測定箇所の寸法と公差をあらかじめタブレット端末に設定しておくことで、測定値が公差内に収まっているのかを判定し、結果をOKもしくはNGと表示する機能も設けた（図8）。これにより、作業者は一目で測定値とその合否を知ることができる。



図7 測定値のデジタル表示



判定 OK

判定 NG

図8 判定の表示

4 効果と課題

4. 1 効果

構体各部の寸法測定における、本開発品による主な効果は以下の4点である。

- (1) 高い位置も踏み台に乗らずに測定できるようになり、安全性が向上した。
- (2) さまざまな長さのスライドゲージを使い分けて測定していたが、本開発品一つで測定可能となり、効率化につながった。
- (3) 測定値はアナログ目盛りを読み取る方式からデジタル表示になり、瞬時に明確にわかるようになった。
- (4) あらかじめ寸法と公差を設定しておけば、測定値が公差内に収まっているかの判定結果も表示され、利便性が向上した。

4. 2 課題

本開発品により、所期の目的はおおむね達成できたと考えるが、残された主な課題として、次の3点が挙げられる。

- (1) 作業者が測定器を手で保持しながら非接触で測定を行うため、作業者の手振れの影響を受けてしまう。
- (2) スライドゲージよりも質量が増加したため、軽量化が必要。
- (3) タブレット端末の取り付け位置の最適化。

5 おわりに

製造業の主役は現場であり、現場の課題を洗い出し、その解決を図ることが重要と考える。そのためには、必ずしも新しい技術の開発が必要というわけではなく、本開発のように、汎用技術を組み合わせることで解決することも多くある。主役である現場を支えるために、常に現場に眼を向け「現場が、より安全に、より早く、より楽に作業できるように」をこれからも追求していく。

（金子貴史，西脇正 記）

シンガポール地下鉄 SMRT － C151 主回路更新改造－

生産本部 技術部



図 1 主回路更新工事後の C151

1 はじめに

地球温暖化が進む今日において、環境保全意識が世界中で高まり、省エネ、CO₂排出削減、低炭素社会を目指す国と地域が増えている。このような背景のもとに、当社はシンガポールにおいて、消費電力の削減を目的とした車両更新工事のプロジェクトに参画した。

1987年に、日本連合4社がシンガポールLTA（SMRT（Singapore Mass Rapid Transit）社が運営）に納入したC151形式396両（6両×66編成）において、DC主電動機をAC PMSM（永久磁石同期電動機）に載せ替えを行なう。

まず、最初2編成の施工後、試験運用にて信頼性、省エネ、メンテナンス性の効果を確認し、結果が良好な場合、残りの64編成も交換する。

2015年10月現在、改造・性能試験が終了し、SMRTに了承され、受け取りされた。この最初に改造された2編成は、東西線支線のチャンギ空港線に投入され営業運用された後、現在は東西線本線で営業運転を開始している。

2 本案件における当社の担当業務

本案件は、機器の提供と実際の工事は、現地の施工会社であるSMT社が担当する。当社は主回路の更新に伴

う床下改造設計と現地施工の指導を担当した。

当社は2014年9月から2015年4月にかけて、改造工事が行われたシンガポールSMRTビシャンデポにて、施工会社のSMT社に対して、施工指導とアドバイスをを行ってきた。

当社は主回路システムの更新改造工事の車両メーカー責任として、具体的な改造工事の立案から最終的な走行試験における性能検証までのすべてに関わることでその責任を果たした。

3 システム構成

3. 1 概要

編成としては、4M2Tの6両で構成され、その内の4Mの主回路システムはチョップパ方式の主回路装置とDC主電動機の構成であったが、今回の改造工事で主回路システムのみ駆動システムに永久磁石同期電動機（PMSM）で全密閉・自冷式の冷却方式を用い、VVVFインバータ装置の構成に改造した。

改造前のチョップパ方式の主回路システムに比べ35%の省エネが達成することができた。

全体の構成によっては、最大39%の省エネも望める可能性がある。

3. 2 PMSMの採用メリット

1990年頃からIM（図2）誘導電動機（Induction Motor）が主流で採用されてきていたが、2000年代後半から更なる省エネ性能向上により回転子に永久磁石を利用したPMSM（図3）永久磁石同期電動機（Permanent Magnet Synchronous Motor）が採用され始めている。その理由としては、IMに比べ銅損や鉄損の損失が50%も改善される（図4参照）。このため定格効率は、標準的なIMの場合91%であるがPMSMは97%になる。よって装置としての軽量化も図れ、PMSMは低損失・高効率化といえる。



図2 IM（誘導電動機）
定格効率 91%



図3 PMSM（永久磁石同期電動機）
定格効率 97%

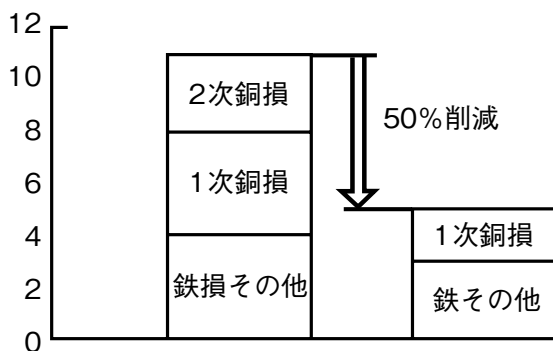


図4 IM と PMSM の損失の比較

3. 3 改造機器全体の比較

C151形投入当時のチョップ方式主回路システムの機器構成は、以下に示す。

- ① DC主電動機
- ② チョップ制御箱
- ③ フィルタリアクトル
- ④ 主抵抗器
- ⑤ ラインスイッチ箱（LB箱）

今回のPMSM採用の主回路システム機器構成は以下に示す。

- ① PMSM主電動機
- ② トラクションインバータ
- ③ フィルタリアクトル
- ④ ハイスピードサーキットブレーカ箱（HSCB箱）

機器構成を比較しても軽量化となり、省エネにも繋がる。

3. 4 PMSMの主な特徴

特徴および効果としては、以下の4項目があげられる。

- ① 省エネ：主電動機の効率97%
- ② 主電動機の内部構造がシンプル
- ③ メンテナンスの容易化
- ④ 低騒音

3. 5 今回のPMSM主回路システム改造工事による確認および検査

主回路システム改造により、現行のブレーキシステムとのブレンディング調整および確認が必要となる。また今回はスリップスライドシステムの改善も図った。

主に改造前と改造後での車体検査（各部位の寸法確認）と定置での機能検査と確認ならびに試走線での性能検査・確認、最終的には本線での性能確認で項目を分けた。

3. 5. 1 改造前の検査・確認

- ① 質量・車体の各部位の高さおよびライナ寸法確認・検査
- ② 電氣的機能（室内灯・非常通報装置・放送装置スピーカ・空調装置等々）確認・検査

3. 5. 2 改造後の確認・検査

- ① 質量・車体の各部位の高さおよびライナ寸法確認・検査
- ② 各軸の輪重測定確認
- ③ 車両限界ゲージによる確認
- ④ 偏倚試験による周辺機器・部品との当り・スキとの寸法確認

- ⑤ PQ確認（横圧確認）
- ⑥ 今回作業していない機器装置の動作確認・検査
- ⑦ 主回路システムの動作確認・検査
- ⑧ 6両での編成における動作確認・検査
- ⑨ 試走での走行およびブレーキ装置とのブレンディング確認試験・検査
- ⑩ 試走線でのPMSM主回路システムの性能試験（力行およびブレーキ（回生・空気）で空車・満車）
- ⑪ 試走線でのEMC確認試験（図5）（保安装置，無線等の確認試験）
- ⑫ 本線での走行試験および性能試験（力行およびブレーキ（回生・空気）の確認試験走行時での加速度データ解析によるPQ確認）
- ⑬ 本線でのEMC確認試験（保安装置，無線等の確認試験）

主に以上の事柄を第1編成で確認をした。

第2編成からは，①～③，⑥～⑨項目の確認・検査をすることとした。



図5 試走線走行時の保安装置への影響確認風景

C151の改造後の試験では，デポでは他社製の新車納入や他の改造変更工事等々の関係で多くの作業が実施されていて，ピット線や試走線の取り合い状態が続いており，機能検査や走行性能試験の日程が立てられず試験が思うように進められなかったことが苦労した点の一つである。

4 ギ装

4.1 機器更新の概要

受注した改造設計の部位はPMSM化に伴う床下の改造である。改造前と改造後の床下機器配置を図14に示す。

主回路機器がチョップパ制御器からVVVF制御器に更新されたことにより省エネ化だけでなく機材の小型化軽量化が実現でき床下の更新工事には良い条件となった。

主回路制御機器以外の機器は変更されていない。ブレーキ制御器やコンプレッサなどの空圧機器を同一配置としていることは変更工事の軽減に寄与した。



図6 改造工事中のC151

4.2 ギ装の改造内容

主回路更新に伴う改造工事を施工するにあたり，改造する部分と既存の状態を維持する部分とのすみ分け，ならびに工作的にどの位置で縁切りするかなどの検討が現地調査が進むにつれて明確になっていった。

主回路ならびに制御回路の配線交換に伴う通線ダクトや電線管の交換，機器更新に伴う空気配管のルート変更，ならびに機器吊り金具の交換と機器の吊り直しが主要な改造工事の内容である。既存の箇所を残しながら細部に渡る地道な作業も多く見られた。



図7 機器吊り金具の平面度の確認作業



図8 VVVF インバータ制御装置の架装状態

4. 3 事前の施工指導

事前の図面説明会や調達品の詳細打ち合わせ、ならびに配管継手の作業デモンストレーションを当社横浜事業所で行なった。



図9 配管継手の作業デモンストレーション (J-TREC 横浜)

4. 4 ギ装材料とその調達

改造に必要なギ装材料には、電線、配管、ダクト類、鉄製ブラケット、その他の小物の板金物などがあり、これらは調達性を含めたコストダウンが図られた。シンガポールでの調達を基本とし、一部の部材を日本から送った。

電線はEN規格に適合し、なおかつシンガポールでの入手性の良い製品を選択した。

床下で使用する電気品の吊り金物を含む板金物は現地の加工業者にて製造された。金物の寸法精度を出す必要と、溶接品質を確保する必要から技能指導員を派遣し指導にあたった。



図10 溶接の指導風景

配管の加工においても現地の加工業者で加工を行なうことを前提に当社から指導を行なった。

加工の技量を要する配管部品の一部は、初期ロット分は当社で日本で用意したものを購入していただき使用した。アルミニウム製の配管継手や配管用の接地クランプなどの比較的寸法の要求が厳しく、また加工技術を伴うものがその対象品目である。



図11 配管の加工精度についての折衝風景

4. 5 改造図面の作成と現地施工

4. 5. 1 改造図面の作成

システム変更にあたり改造箇所を把握してから設計に着手し、改造図面作成に4ヶ月、その後の細部の図面調整に2ヶ月を要した。およそ半年の期間で200枚程度の改造図面の作成を行なった。詳細な加工を示す図面においては、国が違うことでの配慮も必要だった。作図にあたりSMT社が理解しやすくするための工夫や作図テクニックも要した。

4. 5. 2 改造図面と現地施工

改造図面において現地施工用として、詳細な配線系統図が描かれたことが最大の特徴として挙げられる。これはSMT社がシンガポールとその周辺国で現地人を採用し作業に当たらせるための図面で、通常日本では必要としない図面である。ここには、現場では図面が理解されないと作業は止まりがちとなるため、省略することなくより実態に近い形で配線図を描き、その図で説明し作業内容を理解してもらうという地道な努力があった。

また図面の見方の教育の他に、当社の作業指導員による、ギ装処理要領書に基づく配線・結線の作業指導も改造工事期間中に必要に応じて都度実施された。

図面においては一つの教訓として、文化の違いによる相互理解の重要性がある。シンガポールでは図面は一角法を用いており我々の三角法の図面では作業ができない。三角法で納めた図面で、一角法で作られたという苦い経験もした。

5 海外での改造工事における製品安全と品質確保

5. 1 改造工事における製品安全の作り込み

本案件において、当社は床下改造設計と施工会社への指導とアドバイスを行なった。

当社は、SMT社が製品安全を一連の改造工事作業のなかで作り込みができるように指導し、製品の品質確保

に努めた。

5. 2 事前調査

機器更新のための品質の高い床下設計と安全な施工作業が行なえるようにするために、当社技術部、生産部、海外営業部が、複数回現地に出向きC151の現車調査を入念に行なった。

改造対象車両のC151は旧東急車輛時代に設計製造に携わった経緯があり、結果、過去の設計資料に恵まれた。このことは事前調査の促進に非常に寄与したと言える。

5. 3 現地調達品の品質確認

改造工事に使用される大半の配管、配線、電材料などは、先にも述べたように、コスト面の関係から、施工会社のSMT社がシンガポール現地にて調達することが基本であった。

SMT社が調達した配管、配線、電材料などについては、鉄道車両に使用可能か、車両メーカーの視点で現物確認と品質確認を行なった。

5. 4 業務の習慣化の指導

SMT社に対して日本式の作業のやり方や業務の習慣化などの指導も行なわれた。一つの例であるが、仕事を始める前に日本式の朝礼を導入し、その日の予定の連絡、作業内容の確認、作業上あるいは安全面の注意事項等の連絡をSMT社の責任者が朝礼でスタッフ全員に伝達するようになった。

また作業工程表や作業の進捗管理表を作業場に掲示することによって、日々の作業進捗の状況を見える化するようにしたのも日本からの指導によるものである。



図 12 毎朝行なわれるようになった朝礼

5. 5 改造後の検査及び現車確認

トライアル第1編成、ならびに第2編成の改造施工が完了した後、図面通りに施工ができているか、また安全

と品質を作り込むことができているかなどについて確認するために、当社ぎ装設計、システム設計、検査課が現地へ出張した。

改造された現車の目視確認、ならびに検査結果から、第1編成、第2編成ともに大きな問題なく施工できていることを確認した。

6 おわりに

今回のシンガポールSMRT社向け主回路更新改造工事では、当社は床下の改造設計と現地工事の指導とアドバイスをを行った。設計から施工そして試験までの一連の受注業務をとどこおりなく完遂できた。

このような海外での改造案件が数多く存在することも知ることができた。今後において可能となれば現地作業者の教育を含め、本件のような受注業務を総合的に展開できればと考える。そういった意味で本案件は一つのビジネスモデルと位置付けできる。

今回のシンガポールにおける改造案件を通して、東南アジア地域において、日本の技術によるエコ化のプロジェクトの認知度が高まり、これを皮切りに、東南アジア市場の開拓が加速していくことに期待する。

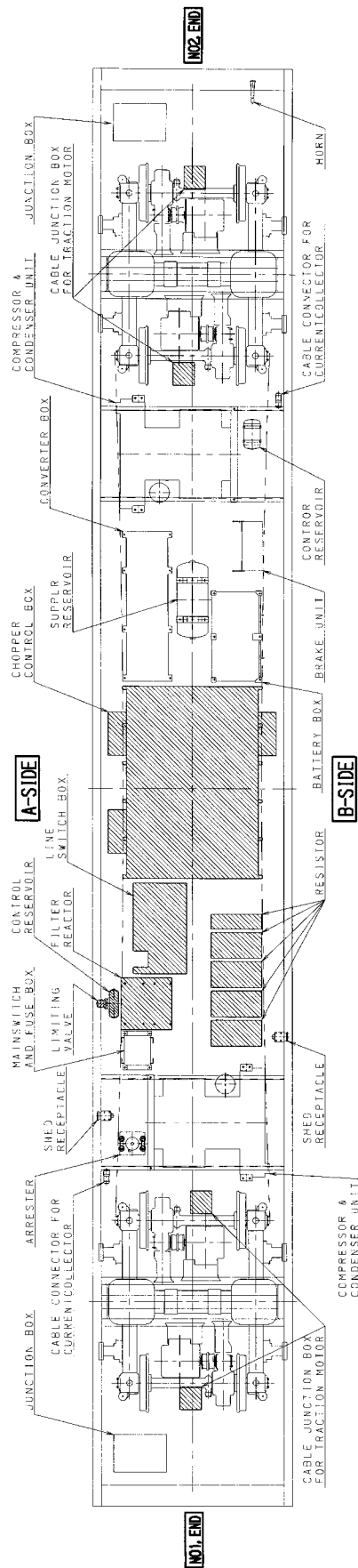


図 13 完成間近の車両の前での記念撮影

今後も国内外案件を問わず、エコ化の更新工事案件に積極的に取り組み、改造案件においても高品質で安全な製品の提供に努めることで鉄道車両のリーディングカンパニーを担っていきたい。

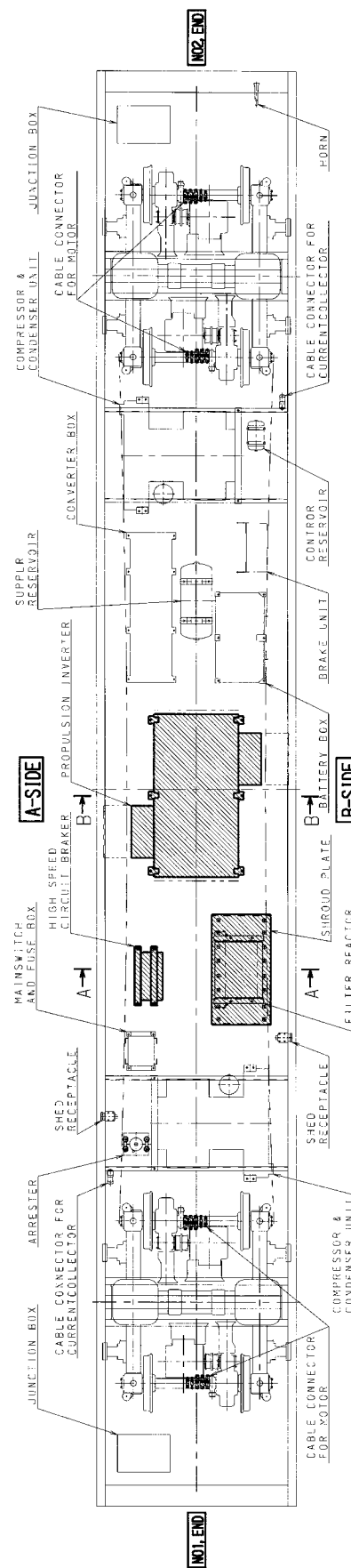
最後になるが、27年前のC151の受け取り検査のときにSMRTの検査担当だった人物との再会があり、今回もアテンド役で再びお世話になった。このご縁も大切にしたい。

(大野一男、鈴木久郎、宗 寿元 記)



改造前

(斜線部は撤去した部品)



改造後

(斜線部は搭載した部品)



断面 A-A

断面 B-B

図 14 改造前と改造後の床下機器配置

J R 東日本 HB-E210 系 一般形ハイブリッド車両

生産本部 技術部



図1 HB-E210系 外観

1 はじめに

HB-E210系は、東日本大震災で被災した仙石線の不通区間の運転再開に合わせて開業する「仙石東北ライン」を走行する車両である。「仙石東北ライン」の連絡線は、東北本線塩釜－松島間から分岐し、仙石線松島海岸－高城町間に接続しており、車両には仙石線の直流区間、東北本線の交流区間、接続線の非電化区間を走行することが求められる。この3区間を走行するためにHB-E210系が、2両編成×8本、合計16両製造された。2両編成のうち、トイレ付き先頭車がHB-E211形、トイレなし先頭車がHB-E212形である。2両または4両で運用することから、号車は標記されていない。

このHB-E210系は、当社製ステンレス車両のブランド名sustina Hybridの第1弾に位置づけられる。

2 構造および特徴

2.1 全般

HB-E210系の主な特徴は、キハE200形やHB-E300系で実績のあるディーゼルハイブリッドシステムを搭載し、回生エネルギーの有効利用を図るとともに、排気ガス中の有害

物質を低減するコモンレール式エンジンを採用して、環境負荷の低減を図った。

自動放送やLED式車内案内表示器を搭載し、行先、次駅案内などを行う。半自動ドア押ボタンは、「開」のボタンを明確にするため、「開」ボタンの周囲を黄色とし、緑色のLEDランプが点灯する。そして「閉」ボタンは、ボタン周囲の色をグレーとし、LEDランプは点灯しない構造とした。

保安装置は統合形ATS車上装置（Ps形）を搭載し、ATS-P形については準備工事とした。

2.2 ハイブリッドシステム

ディーゼルハイブリッド車両は、エンジン、主回路蓄電池、モータ等で構成され、台車に動力を伝達する。そのシステム構成には、大きく分けてパラレルハイブリッドシステムとシリーズハイブリッドシステムの2種類がある。パラレルハイブリッドシステムは、エンジンの機械的動力を車輪に伝える。一方、シリーズハイブリッドシステムは、エンジンの機械的動力をいったん電氣的エネルギーに変換し、そのエネルギーと主回路蓄電池の電氣的エネルギーを組み合わせて、モータを駆動する。HB-E210系ではキハE200

形やHB-E300系と同様、電車の技術を最大限に活用できるシリーズハイブリッドシステムを採用した。

HB-E210系のハイブリッドシステムは、発電用のエンジン発電機、エネルギーを蓄積するための主回路用蓄電池、主変換装置（コンバータ・インバータ、以下、CIと略す）、および車輪駆動用主電動機（モータ）で構成される。

力行時は、エンジン・発電機からの電力と、主回路蓄電池からの電力を用いて、主電動機をインバータで駆動する。一方、ブレーキ時には回生電力を主回路蓄電池に蓄えて、これを有効利用する。なお、エンジンの停止・起動は、車両の走行状態や蓄電池の充電状態などによって自動的に行なわれ、乗務員の操作は必要としない。

主回路用蓄電池は、出力密度が高く、軽量で、高出力とすることが可能なりチウムイオン蓄電池を使用している。また、蓄電池に不具合が生じた場合の冗長性を考慮して、2群構成としている。

ハイブリッドシステムは、エンジンの動作や蓄電池の充放電を最適に制御し、また、ブレーキ時の回生電力を有効に利用することが重要である。そのため、HB-E210系では、キハE200形やHB-E300系と同様の「エネルギー管理制御システム」を搭載し、各装置からの情報をそれに集約して、各装置の最適な動作を実現している。

車両の加減速の状態や、走行速度、蓄電池の充電状態などによってその動作は異なるが、主な車両状態は、以下のようになる。

①停止・惰行中：アイドリングストップを行ない、蓄電池からサービス用エネルギーを供給する。蓄電量低下時はエンジンにて発電し、蓄電池に充電を行なう。

②駅発車時：駅での騒音低減のため、駅発車時は、蓄電池のみのエネルギーにてスタートする。速度15km/h程度から、蓄電池とエンジンを併用する。

③加速時：エンジン・発電機からの電力と、蓄電池からの電力を用いて、モータを駆動する。走行負荷に応じて、蓄電池の充放電を行なう。

④ブレーキ時：発電エンジン停止。回生ブレーキによって、蓄電池を充電する。

ハイブリッドシステムおよびコモンレール式エンジンを搭載したことによって、従来形の気動車と比較し、排気中の窒素酸化物（NO_x）を約60%削減できる見込みである。

2. 3 車体

2. 3. 1 基本構造

車体は、E233系・E235系と同じ断面の拡張車体を持つ、片側3扉車である。床面高さは、最近のJR東日本の通勤車両と同じレール面上から1130mmである。

構体は、軽量ステンレス構体である。E233系・E235系と同様に、リング構造および結合強化を行うことで衝撃荷重を受けた際の構体の変形量抑制を図っている。

ハイブリッドシステム搭載にともなう車体質量増加に対しては、EV-E301系と同様に側窓などの側開口周囲にせん断板を、車体中央部出入口の側はりには側はり補強を追加することによって、強度および剛性を向上させた。

2. 3. 2 デザイン

HB-E210系は、東北本線と仙石線を、接続線を経由して相互に走行するため、仙石線を走行する車両のラインカラーである「青」と、仙台エリアを走行する車両のラインカラーである「緑」に加え、東北本線沿線で「塩竈桜（しおがまざくら）」など桜の名所があることから、「桜色」を配色した。また、青色と桜色の四角形を重ねるように配置することで、仙台エリアと石巻エリアをつなぐことを表現している。

車両前面および車両側面には「HYBRID TRAIN」のロゴを入れ、ハイブリッド車両であることを示している。

前面形状はFRPによって構成しているが、形状はE129系と共用している。

インテリアの腰掛はE721系をベースとした。優先席スペースはE233系・E235系と同様に、優先席エリアの壁面・床・つり手の色彩を変えることによって強調している。出入口部の床敷物や側引戸の室内側には黄色を配し、注意喚起を促すユニバーサルデザインとしている。

2. 3. 3 室内設備

座席配置はセミクロスシートとし、ボックス座席部には、E721系などで使用しているドリンクホルダを設置している。貫通引戸は、自然閉機能を持つ水平式戸閉装置である。いずれの車両も、室内には機器類を収めた大型機器室と煙突部を持つ。大型機器室と煙突部、および車椅子対応トイレ



図2 室内

の壁には、立席者に配慮して、握り棒を設けている（図2, 3）。

HB-E211形は、車両後部には、電動車椅子対応のトイレを配置している（図4）。電動車椅子対応トイレの前は、車椅子スペースおよびベビーカースペースがある。妻引戸脇には非常はしごが格納されている。

HB-E212形は、基本的な客室構造は、トイレ以外はHB-E211形とほぼ同じであり、車端部を優先席としている。



図3 機器室（右側）と煙突部（左側）



図4 車椅子対応トイレ

2. 4 ギ装

2. 4. 1 床下機器

床下ギ装はキハE200形とほぼ同一であるが、台車中心間距離がE200の14400mmに対し、HB-E210では近年のJR東日本の通勤車標準寸法13800mmとなり600mm床下機器スペースが少なくなっている。

床下にはCI、エンジン・発電機、空気圧縮機などを搭載した。また、メンテナンスの作業安全を考慮し、新たに主回路蓄電池用開閉器を設けるなどしたため、機器が密集している。

燃料タンクにはバラストなどが衝撃しても損傷を受けないよう、タンクの下半分には防爆塗料を塗布し、燃料タンクを強化している（図5）。



図5 燃料タンク防爆塗装

また、気抜き管部には燃料漏れ検知センサを設置し、燃料漏れ発生時に検知可能とした（図6）。

燃料供給配管の開閉バルブには、今回新たな構造（パッチン錠ツアークション付き）の回り止めを取付けた（図7）。



図6 燃料タンク用 燃料漏れ検知センサ



図7 燃料バルブ回り止め金具



図8 屋上 主回路バッテリー

2. 4. 2 屋根上機器

屋根上は、中央に集中形の空調装置を搭載し、主回路用蓄電池（図8）、元空気だめの一部を搭載した。

屋上の主回路バッテリーから床下に設置した主回路蓄電池用開閉器間の配線には、主回路バッテリー内の開閉器を扱わない限り、常に主回路バッテリーからの電圧が加圧されているため、感電防止を目的に他の電線と見分けが付くように、オレンジ色のテープを電線に巻きつけている。また、作業性改善として、今回新たに開発した難燃性識別チューブを用い施工している。

2. 4. 3 室内機器

室内灯には、蛍光灯形のLEDランプを使用している。

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

床下に搭載しきれない機器などは、客室内に機器室を設けブレーキ制御装置、空気タンク、燃料漏れ検知センサ用の制御器などを収納した（図9）。また機器室側面（クロスシート上部）には、ハイブリッドシステムの動作状態が見えるハイブリッドモニタを取付した（図10）。



図9 室内機器室内



図10 客室ハイブリッドモニタ

2. 4. 4 乗務員室機器

乗務員室構造は、E721系の走行路線と言う理由からE721系を踏襲した構造とし、ディーゼルハイブリッドシステムに必要なスイッチ類を配置した運転台構造（図11）としている。

E721系に準じた半室構造であるが、非貫通時は客室との間に設けた引戸によって、運転室および助手側の空間を、客室と完全に仕切る構造とした。この引戸には水平式戸閉装置を取り付け、貫通時には扉が開いたままにならないように、自動で「閉」となる構造とした。また、貫通時は、運転室を開戸によって完全に仕切ることができる。

乗務員室前面上部のきせの中にはLED式前部標識灯、およびLED式後部標識灯を配置している。LED前部標識灯は拡散用と集光用がユニットになっており、運転台側、車掌台側それぞれに配置している。ワイパは電動式で、アームは補助アーム付きで、つねにブレードが垂直方向となっている。配置については、運転台側と車掌台側と対称で取り付けられている。予備ワイパは設けていない。

主幹制御器は左手操作のワンハンドル形とし、右手手掛け内に勾配起動スイッチを設置している。主幹制御器卓内にはリセットスイッチやシステム停止、および定速スイッチを取り付けている。

移動禁止システムを搭載しており、助手側運転台前面上部には移動禁止システムの表示器を設置している。また、車両留置時にも移動禁止システムが使える用に助手側前きせ内には、移動禁止システム専用の蓄電池（図12）を搭載し、蓄電池の異常時に発生する有害なガスを乗務員室内に放出しないように蓄電池を密閉する箱を設けるとともに、床下へ走行風で蓄電池箱内に空気の対流ができるように防爆気抜き管を設けている。

ワンマン設備は準備工事とした。



図 11 運転台



図 12 移動禁止システム専用蓄電池

2. 5 台車

台車は、電動台車がDT75B、付随台車がTR260Bと称するボルスタレス台車である。主な構成は、既に導入されているHB-E300系ハイブリッド車両用のDT75A/TR260A台車を基本とし、部品の共通化を図っている。

軸箱支持装置は軸梁式である。満空差が大きいため、許容荷重の大きな新ばねを用いた点がHB-E300系と異なる。台車枠は、横梁にシームレスパイプを用いた鋼板溶接構造で、横梁パイプは空気ばねの補助空気室を兼ねている。

車体支持装置は、車体直結式空気ばねおよび1本リンク式牽引装置から成る。空気ばねは、HB-E300系と共通である。左右動ダンパには防雪カバーを設けている。

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

滑走・空転防止用のセラミック噴射装置、先頭軸には液体タイプのフランジ塗油装置、および先頭台車にはフ

ラップ付きの強化型雪かきを取り付けられるように、各々準備工事が施されている。



図 13 DT75B 電動台車（中間台車）

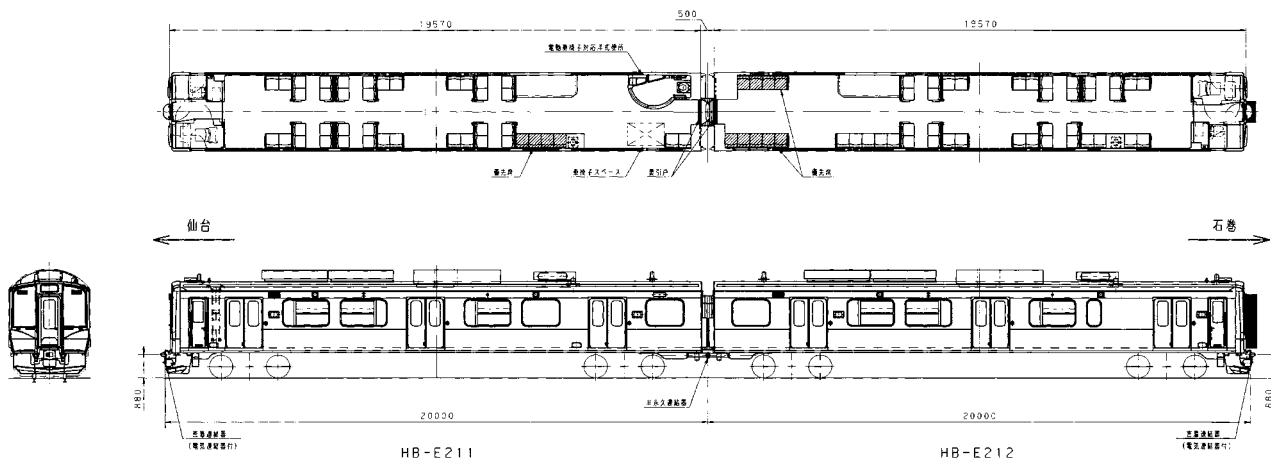


図 14 TR260B 付随台車（先頭台車）

3 おわりに

HB-E210系は2015年5月30日から仙石東北ラインで営業運転を開始している。本車両が被災地復興の一助となることを願う。

（藤澤朝岐，半田直一，横山大雅，堀口健一郎 記）



号 車	HB-E211	HB-E212	編成定員
形 式	HB-E211	HB-E212	262人
定 員 (座席)	128 (42)	134 (48)	(90人)
製造呼称	{E211}	{E212}	

図 15 編成図

表 1 諸元表

形式	HB-E211	HB-E212	記 事
編成	凡例 ●●：動台車 便：車椅子対応洋式トイレ —：半永久連結器 ㄣ：自動解結式密着連結器(電連付) ←郡山・仙台 石巻→ 		
運転台	片運転台(貫通型)	←	
定員 (人)	128 (42)	134 (48)	セミクロス () 内座席定員
重量 (t)	39.6	38.4	運転整備重量
最高運転速度 (km/h)	100	←	加速度：2.3km/h/sと1.8km/h/sを切替可能 減速度：3.5km/h/s
制御装置	コンバータ+VVVFインバータ制御		
ブレーキ装置	回生・発電ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ (応荷重・滑走・再 粘着機能付)，直通予備ブレーキ，抑速ブレーキ，耐雪ブレーキ		
保安装置	ATS-Ps形〔統合形ATS車上装置(Ps形)を編成に1台〕， デジタル列車無線(3形)，防護無線，EB・TE装置		
側出入口 開口寸法(mm)×個数	1300×3	←	高さ：1850mm，ステップ無し
主 要 寸 法	車体長(mm)	19500	←
	車体幅(mm)	2950	←
	屋根高(mm)	3620	←
	台車中心間距離(mm)	13800	←
	床面高(mm)	1130	←
台車形式(歯車比)	動台車:DT75B(1:7.07)×1，従台車:TR260B×1 ボルタレス式空気ばね台車，軸はり式，1本リンク		
機 関	方式	直噴式直列6気筒横型ディーゼルエンジン×1	
	型式×台数	DMF15H2B-G×1	
	出力	331kW(450PS)/2100rpm	
燃料タンク 容量×台数	550L×1	油面センサ・燃料漏れ検知センサ，強化型	
主 回 路	主発電機	DM113形×1 270kW	
	主回路用蓄電池	MB3形 リチウムイオンバッテリー 新製時15.2kWh 2腔構成 電圧：680V	
	主電動機	MT78形×2 定格95kW	
	主制御装置	CI24形×1	主回路用非常蓄電池内蔵
補助電源装置	CI24形×1 (三相440V 70kVA)	主制御装置と一体化	
電動空気圧縮機	MT-3125-C600N形×1 500NL/min以上	三相440V駆動	
冷房装置	AU732A形 38.4kW (33000kcal/h) ×1	三相440V駆動	
暖房装置	客室11.8kW+空調ヒータ8kW	客室11.8kW+空調ヒータ8kW	
便所	車椅子対応洋式トイレ	無	電動車椅子対応，真空式汚物処理装置
ワンマン設備	準備工事	←	
モニター装置	○	←	
その他	軽量ステンレス車体，耐寒耐雪構造，半自動機能付側引戸(空気式，弱め制御，レールヒータ)， LED式行先表示器，車内案内表示器(側引戸上部)，自動放送，外部スピーカ， 移動禁止システム，主回路蓄電池開閉器，LED式客室照明，車椅子スペース， 密着式連結器(電気連結器付)，転落防止放送装置(電子ホーン共用)， 燃料漏れ検知装置，強化型燃料タンク，強化型スノープラウ(車体装架)		

JR 東日本 E129 系 一般形直流電車

生産本部 技術部



図 1 E129 系 外観

1 はじめに

JR東日本では、新潟地区の普通電車の主力として115系直流電車が長年使われてきたが、車両の老朽化が進みお客さまサービスの観点で不十分であった。また2015年3月の北陸新幹線開業に伴い、並行在来線である信越本線の一部が第3セクターに移管するため、新潟地区で活躍しているE127系一般形直流電車のうち10編成をJR東日本から「えちごトキめき鉄道株式会社」へ譲渡することとなった。

これら115系の老朽取替、およびE127系車両譲渡による不足車両の補填のため、JR東日本では新形式E129系一般形直流電車を新造することとなった。この車両は現在首都圏の主力形式であるE233系の技術に、仙台地区で活躍するE721系の地方線区向け短編成設備を追加し、さらに新潟地区での使用実績や新技術も投入して開発した車両である。E129系は、当社で提案するステンレス車両のブランド名である「sustina」に位置付けている。

設計および新造は新津事業所で行い、2両30編成、4両25編成の計160両を製造する。2014年12月より営業運転を開始し、信越本線、羽越本線、越後線、白新線などの各線で活躍している。

2 構造および特徴

2. 1 車両概要

E129系はMc-M'-M-Mc'の0番台4両編成とMc-Mc'の100番台2両編成があり、最大6両編成までの組合せに対応している。地方線区向けとした片側3扉車体としており、新潟地区の気候を考慮した耐寒耐雪構造を採用した。

制御方式はM系・M'系の2両で1ユニットを組むが、ユニット内4台車のうち、中間の2台車のみを駆動台車とし、車種間の重量差を小さくした全車電動車方式を採用した。

保安装置についてはATS-P、Psを1台で共用する統合装置を採用した。列車無線はデジタル列車無線2形および防護無線を搭載する。また、EB・TE装置も搭載している。設計最高速度は110km/hとし、風に強い車両とするため、軌道モニタリング装置搭載車を除き、床下にデッドウェイトを搭載し低重心化を図った。また、一部2両編成のMc車は霜切り用として前後2台のパンタグラフを搭載するほか、4両編成のうち1編成に軌道モニタリング装置を搭載する。

2. 2 車体

2. 2. 1 基本構造

車体はE233系をベースとした軽量ステンレス構体と

し、台枠等の一部を除きステンレス鋼を使用した構体とした。車体幅は定員増による混雑緩和およびセミクロスシート部の車いす通過を考慮した2950mmの拡幅車体とし、腰部から下を狭めた裾絞りの構造である。車体長さは先頭車19570mm、中間車19500mmであるが、連結面間距離はいずれも20000mmに統一している。床面高さはE127系と同様に1130mmとし、115系の1225mmからホームとの段差を低減させた。新潟地区に混在する共用ホーム（920mm）と電車専用ホーム（1100mm）のいずれにも入線可能である。

前頭構体は踏切事故対策としてE721系と同様の前面強化を図った。側面からの衝撃に対する安全性向上策としてE233系と同様に側構体の柱の位置に幕板補強と屋根構体のタルキ位置を合わせる構造を採用した。

扉配置はE721系と同配置の片側3扉としたが、車いす対応大型洋式便所が設置されるため、前後非対称とした。4両編成の中間車についても同様とし、Mc-Mc'の編成を併結した4両の場合と扉位置を合わせるよう配置している。

車体のカラー帯については秋の稲穂をイメージした黄金イエローと佐渡に生息している朱鷺（トキ）の体色をイメージした朱鷺ピンクの2色を配色した。この色は引退した上越新幹線E1系、塗色変更をしたE4系と同色に合わせており、新潟地区沿線の方々に愛され親しみを感じていただける配色としている。前面窓下には帯を側面に向かって上っていくように配置するとともに、外側に向かって雪を掻きだすデザインを入れる事で雪に負けない強靱さを表現した。

2. 2. 2 車内設備

室内についてはE233系で採用されたユニバーサルデザインを踏襲し、新潟の特色と都会的なイメージを併せ持つ構成とした。壁や天井はE233系と同様の白として



図2 客室内

清潔感と明るさを演出し、腰掛色については冬の新潟でも暖かみを感じられるよう暖色系のピンクブラウンとした。

座席配置については中央のドアを境に運転室側を11人掛のロングシート、後位側をボックスシート4区画を含んだセミクロスシートの構成とした。腰掛はE233系をベースとした片持ち式腰掛とし、一部の腰掛下には機器やMM風道取り込み口を配置している。座席はE233系と同様に1人ずつの座席位置を明確にしたバケット形とするとともに、ロングシート部の1人当たりの座席幅を460mmとし、E127系よりも10mm広げ快適性を向上させている。クロスシート部は向かい合う座席の間隔をE233系3000番台と比べ110mm拡大し540mmとすることで着席時の快適性向上を図るとともに、窓側のお客さまが通路に出やすい構造とした。



図3 クロスシート

吊手高さはE233系と同様に床上面より1630mmを基本とし、優先席は50mm低い1580mmとすることで多くの方にご利用しやすい高さとした。また湾曲した握り棒を11人掛腰掛前に2本、4人掛優先席前に1本設置した。優先席部については滑り止め加工を施した黄色の握り棒とし、より扱いやすい構造としている。

室内灯についてはE233系8000番台（南武線）などと同じLED照明としており、従来の蛍光灯と同等の明るさを確保するとともに消費電力を抑制している。天井は新設計のアルミ製空調風道を搭載し、風道内の粉塵除去を行えるよう下面を開閉可能な構造とした。

側窓は下降窓と固定窓を組み合わせた配置とし、E233系と同様にUVカット・IR（赤外線）吸収仕様の合わせガラスを採用している。

側引戸についてはE233系と同様に先端の黄色の帯が設けられた2色刷り化粧板を使用した。出入口には半自動スイッチを車内外に設けた。側引戸カモイ部には開閉動作を表すチャイムと表示灯を設けるとともに、次駅名

などの案内表示が可能なLED式車内案内表示器を1両に3台、千鳥配置となるよう設置した。

Mc'車にはE721系やキハE120形などと同等の車いす対応大型洋式便所を設置した。この便所は新幹線車両と同様にユニット式を採用しており、アウトワーク化による現車作業工数の低減を図っている。便所の向かい側には車いすスペースを設けており、車いすに着座した状態で使用可能な高さに非常通話装置を設置した。



図4 車いす対応大型洋式便所

2. 3 ギ装

2. 3. 1 床下機器

床下にはVVVFインバータ装置などの主回路機器をMc車、M車に搭載し、補助電源装置や電動空気圧縮機などの補助機器をMc'車、M'車に搭載した（補助電源装置についてはMc'車のみ）。また、風に強い車両とするため、低重心化を図る必要があることから、デッドウェイトをMc車に3台、M車に1台、M'車（軌道モニタリング装置搭載車を除く）に2台、Mc'車に1台搭載した。

Mc'車の車端部には、一体型の水揚・汚物処理装置を搭載し、効率的な床下機器配置を実現した。

車端の渡り線については、主電動機、ブレーキ抵抗器関係の高圧回路をM系とM'系の間に設け、各車間に三相回路、高圧引き通し回路（Mc車、Mc'車間とM車、Mc'車間は補助電源装置用）の両センを設けた。低圧回路については、後述の統合型ATS車上装置（Ps形）を搭載したこと等によりE721系等の地方向け車両より引き通し線が増加したことから、96芯の連結器を各車間に2台設けており、各車間ともに両セン方式とした。先頭部は1段の電気連結器を設け、E127系にあった三相回路の連結栓は省略した。

先頭部床下に設置している電子警報装置（電子笛）については、Mc'車には転落防止警報機能を付加した。これは、目の不自由なお客さまが車両間へ誤って転落する

のを防ぐため、駅などで扉を開いた際に警告音と警告アナウンスを放送する装置である。

ブレーキ方式は、回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキである。このほかのブレーキ機能としては、直通予備ブレーキ、抑速ブレーキ、耐雪ブレーキを設けている。

電動空気圧縮機については、E127系と同タイプのレシプロ式電動空気圧縮機をMc'車、M'車に搭載している。

主回路の制御方式は、三相誘導電動機をVVVFインバータ装置で制御する方式である。制御単位は、1両分の主電動機2台を1群として、1台のインバータ装置に2両分2群のインバータを搭載した。長大下り勾配時の回生失効対策としてブレーキ抵抗器を搭載しており、ブレーキチョップ装置はVVVFインバータ装置と一体型としている。なお、主電動機については豪雪地帯の走行を考慮し、車体風道方式のMT75Bとした。

運転台からの力行・ブレーキ指令は、指令線にてVVVFインバータ装置やブレーキ制御装置へ伝える仕組みとなっている。

2. 3. 2 屋根上機器

ブレーキ抵抗器は、豪雪時の地絡対策のため屋根上設置とし、屋根スペースおよび車体重量の均一化の観点より各車両に分散配置とした。

パンタグラフについてはMc車およびM車に引きヒモ対応のPS33Gを設置した。また、2両編成の一部編成には、Mc車前位側に霜切り用のパンタグラフを設置したが、上下線の走行に対応するため、このパンタグラフでも集電を行う構造とした。ただし、当該のパンタグラフには引きヒモを設置しないことからPS33Dとしている。

このほか全車共通の機器としてAU725形空調装置、先頭車共通の機器として、列車無線アンテナ、信号炎管、空気笛を配置している。

2. 3. 3 室内・室外機器

室内には3位側および4位側妻部（M'車については1位側および2位側妻部）に機器室を設け、室内配置とした保安装置など必要な機器を納めている。M車1位側および2位側妻部、M'車の3位側妻部および4位側妻部には車両搭載品の収納スペースを兼ねた小型の機器室を設けている。また、指定編成のM'車の3位機器室内には軌道材料検査装置のデータ採取装置を取付けている。

客室中央の天井部分には、ロールフィルタ、空調接触器箱および空調制御器箱を設置しており、ロールフィルタについては自動清掃型を採用した。また、前位側のロングシート（M'車については後位側）は片持ち式とし、

蹴込み式ではないことから機器の取付けスペースを確保できないため、扉予告リレー盤を天井部に搭載している。

ワンマン関連の機器として、2両編成の乗務員室と客室の仕切部上部に運賃表示器を設置したが、整理券発行器は設置していない。

室外の機器としては、前面および側面にフルカラーLED表示器、半自動ドアスイッチや車外スピーカを設けた。行先表示器をフルカラーLEDとしたことから、行き先の路線ごとに色分けを行うことを可能とした。新潟駅では複数のホームから異なる3方向に列車が出発するため、誤乗車防止に役立つと期待されている。また、半自動スイッチは、操作可能な際は押ボタンのまわりが点灯する構造とした。このため、ワンマン運用時に締め切られている扉の半自動スイッチを点灯させないことで、操作可能な扉を明確にできることから、ワンマン表示器を省略した。

2. 3. 4 乗務員室機器

乗務員室はE721系に準じた半室構造であり、連結時などには助手側をお客さまに開放できる構造としている。2両編成についてはワンマン関係機器を設置し、運賃箱は助手側背面に収納できる構造とした。客室との間に設けた引戸により、乗務員室と客室を完全に仕切ることが可能である。なお運転室の背面仕切り部には非常救出口を設けている。



図5 運転室背面

標識灯は地上側からの視認性を向上させるため上部に設け、前部標識灯、後部標識灯とも灯具をLED灯とした。LED灯はシールドビーム灯などより発熱量が少ないため、確実に着雪を防ぐ目的で前面ガラスの熱線を標識灯部分まで拡大している。

運転台はE721系を基本としており、主幹制御器はワ

ンハンドルマスコンを採用した。後述する統合型ATS車上装置（Ps形）を搭載したことから、計器盤内に表示灯類を設け、復帰スイッチ、切換スイッチを乗務員室助手側に取付けた。連結時には助手側をお客さまに開放するため、スイッチ類は忍鉋を設けた箱内に配置している。保安装置の音声出力を行うため、スピーカを乗務員室天井に取付け、ATS電源未投入防止用ATS用ブザーやベル類を廃止した。

時刻表灯は、乗務員がタブレット端末を用いることから、タブレット端末を置くことが可能な充電用コンセント付きとした。また、車掌が車内放送等を行いながらタブレット端末の確認を可能にするため、運転席背面の装備品入箱フタ上面に、タブレット端末を置くことが可能な行路表サシを設けた。

留置時に使用する移動禁止装置を搭載しており、助手側に前面表示器、操作器、制御器を設けた。



図6 運転台

保安装置は、新規に開発された統合型ATS車上装置（Ps形）を搭載している。この装置はATS-PとATS-Psの機能を1台に集約し、さらにブレーキ出力を非常ブレーキのみとすることで装置自体の小型化を実現している。運転台の動作表示器には新規に開発したP・Ps統合型動作表示器を採用した。この表示器は従来のP表示灯とPs表示灯、パターン速度インジケータを1つのユニットに集約したほか、ATSブレーキの動作要因や、装置の故障要因を表示できる機能を追加している。車上装置については送受信制御部と継電器盤で構成され、2両編成についてはMc車の車端部機器室に1組の装置を搭載し、Mc車側、Mc'車側の各装置と接続し制御していることが特徴である。4両編成については、Mc車、Mc'車の車端部の機器室に1台ずつ搭載している。

2. 4 台車

台車は軸はり式ボルスタレス台車であり、E233系の

基本構造を踏襲しつつ、寒冷地の走行を考慮した構造とした。2両編成、4両編成とも同一ユニット内4台車のうち、中間2台車を電動台車（M台車）、その他2台車を付随台車（T台車）とし、全車にM台車、T台車が1台ずつ配置される。台車形式は先頭車のM台車がDT71C、中間車のM台車がDT71D、先頭車のT台車がTR255D、中間車のT台車がTR255Eである。

軸ばねは防雪カバー付のコイルばねで、枕ばねは空気ばねを装備した。E233系とは異なり、軸ダンパは非設置とし、またヨーダンパ取付けを考慮した準備工事を行っていないが、空気ばねについては防雪カバーを後付けできる構造とした。

そのほか、E233系と異なる点として、先頭車T台車に強化型雪かきを搭載、全台車に幅広型の自動高さ調整棒受、および一体型軸箱体を採用したことなどが挙げられる。また、短編成での滑走防止を目的に、2両編成の先頭軸にはセラミック噴射装置を併設した。なお、4両編成にもセラミック噴射装置を後付できるよう、準備工事として台車枠にタンク受を取付けた。

ブレーキ装置は、M台車が踏面ブレーキ、T台車が踏面ブレーキとディスクブレーキの併用とした。滑走再粘着制御は台車単位とした。ブレーキ装置に制輪子を取付けるコッタが、走行中に雪塊等と衝撃することで突き上げられ外れるリスクを低減するために、コッタに落失防止金具を取付ける穴を設けた。



図7 TR255D 台車



図8 DT71C 台車

3 おわりに

E129系は2014年12月にデビューした。新潟地区の通勤通学時間を快適なものとするだけでなく、グループ旅行などの長時間乗車の場合でも快適に過ごせる車両を目指して設計、製造を行った。走行線区は新潟県のほぼ全域と群馬県の北部をカバーする地域であり、今後、新潟地区のシンボリックな存在の車両になるものと期待している。

（吉村 雅和，安在 恵一郎，水澤 貴人 記）

表1 主要諸元表

編 成	← 直 田 ※ 新 造・封 上				・併結パターン(営業運転): 最大6両(2+2+2+2+2, 2+4, 4+2) ・他形式との併結運転無し ・車載きりパンタグラフ(指定編成) ・線路設備モニタリング装置(指定編成のM'車)	
	＜ 凡 例 ＞ 客室内[◇:車いすスペース, ◎:車いす対応トイレ] ○ 従台車 ● 動台車 連結器[▽:密着(電連), +:密着, -:半永久]					
最高運転速度(km/h)	110 km/h				加速度 2.0 km/h/s, 減速度 3.6 km/h/s	
形 式	Mc	Mc	M'	M	Mc'	Mc'
	クモハE129-0	クモハE129-100	モハE128-0	モハE129-0	クモハE128-0	クモハE128-100
定員(人)	140 (54)		154 (60)		133 (46)	
予定質量(t)	(37.2)		(31.6)		(37.0)	
車 体 寸 法	車体長さ		19500mm		19570 mm	
	車 体 幅		2950mm			
	屋根高さ		3620mm			
	床面高さ		1130mm			
	連結器高さ		880mm			
台車中心距離		13800mm				
台車形式(番数比)	動台車DT71系, 従台車TR255系				車輪径φ860mm , 駐車ブレーキなし, 軸ダンパ・ヨーダンパなし	
主 要 機 器	パンタグラフ		PS33G		-	
	編成内引き通し有り M'-M 間手動開放機構付き				Mc'車切りパンタグラフは集電あり (PS33D)	
	MT75B×2				1時間定格 140kW	
	SC102		-		-	
	lvHB		lvHB		SC103	
電動空気圧縮機		-		○		
冷 房 装 置	集中式冷房装置 AU725系 (48.8kW(42000kcal/h))					
保 安 装 置	ATS-P・ATS-P(統合型), デジタル列車無線2形, EB・TE装置, 防護無線				2両編成 統合型ATS車上装置(Ps形) 1台/編成	
制 御 方 式	VVVFインバータ制御方式, 回生・発電ブレーキ付					
ブレーキ方式	回生・発電ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ, 直通予備ブレーキ, 耐雪ブレーキ, 抑速ブレーキ				滑走制御機能付(台車単位)	
そ の 他	運転室構造				貫通, 半室運転台, ワンマン対応	
	耐寒・耐雪構造				MM風道, レールヒーター, 機器ヒータ装備	
	情 報 装 置				MON23(運転状況記録機能付)	
	座 席 配 置				セミクロスシート, 車いすスペース(Mc')	
	側 出 入 口				片側3扉(両開き), 半自動機能付, 空気式戸閉装置(戸挟み安全機能付)	
	トイレ				-	
	サービス機器				前面行先表示器(LED), 側面行先表示器(LED), 車内案内表示器(1段式LED 千鳥配置), 車外スピーカー, 自動放送装置	
その他				ワンマン機器, セラミック噴射装置(2両編成のみ), 転落防止放送装置, 移動禁止システム, 非常通話装置(各車両)		



形 式	M _C PAC128-0	M'	M	M _C ' PAC128-0	M' PAC128-0	M _C PAC128-0	M _C PAC128-0	4 电 流 成 定 子
定 額 (延 焼)	1.0 (5.4)	1.5 (6.0)	5.4 (60)	1.3 (60)	1.5 (60)	1.0 (5.4)	1.0 (5.4)	581 人 (220 人)
4 电 流 成 定 子	(M _C 1)	(M' 1)	(M 1)	(M _C 1)	(M' 1)	(M _C 2)	(M _C 2)	273 人 (100 人)

圖 9 編成圖

JR 東日本 E235 系 一般形直流電車

生産本部 技術部



図1 製品外観

1 はじめに

JR東日本では、2006年から投入されてきた通勤・近郊車両であるE233系の次期車両として、E235系1編成を当社新津事業所で製造し、量産先行車として山手線に導入した。

デザインコンセプトは、「お客さま、社会とコミュニケーションする車両」とし、前面の大きな窓や表示装置で、人と人、人と社会を繋ぐ情報の窓を表現している。また、居住空間を広く感じられるオープンなデザインとしている。

E235系は、当社で提案するステンレス車両のブランド名である「sustina」に位置付けている。

以下に、E235系量産先行車の概要を紹介する。

2 構造および特長

2. 1 車体

2. 1. 1 基本構造

E235系は11両固定編成（6M5T）とし、10号車のみ現状の山手線E231系（サハE231-4620）の改造車を充当している。各M車には主回路制御装置（VVVF）を搭載して、独立M車方式を採用している。ブレーキ方式は回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキとし、最高速度は

E233系と同一の120km/h、加減速度は山手線E231系と同一の加速度3.0km/h/s・減速度4.2km/h/sである。保安装置は、D-ATC/P統合型車上装置を搭載している。

E233系は側外板から雨どいが突出した構造であったが、E235系は雨どい部がフラットになり側外板がすっきりとした見栄えになっている。構体構造は軽量ステンレス構体で、外板表面処理は吹寄部をダルフイニッシュ、そのほかの幕部と腰部はBG仕上げとしている。横風の抵抗低減を図るため、抵抗の影響が少ないクーラ部以外は屋根上の歩み板を廃止している。E233系と同様に先



図2 側外板のカラー帯

頭車は前面衝突時の衝撃吸収構造として、クラッシュブルゾーンとサバイバルゾーンを有している。E235系はオフセット衝突対策として、構体の車端部にあるスミ柱の断面形状の一辺を斜め45°にして、衝突した車両同士が離反する機能を盛り込んでいる。

カラー帯はE233系までは横方向に連続させていたが、E235系は側引戸および側引戸上部の幕部にカラー帯を縦に配置している（図2）。カラー帯はドット柄のグラデーションとしており、前面も同様なグラデーションのデザインとなっている。山手線はホームドアを設置しているため、ホームドアのあるプラットホーム上からドアコックの位置がわかるように側窓上部にも▼マークを標記している。

2. 1. 2 車内設備

E235系量産先行車は車内（図3）の吊広告および側天井の広告は撤廃して、7人掛け腰掛上部に3台（図4）、車端部の妻面に1台、E233系同様に側引戸上部に路線案内用と広告用の各1台の液晶モニタを搭載している。広告媒体をデジタルサイネージ化（液晶画面化）し、より付加価値の高い情報をお客さまに提供可能としている。7人掛け腰掛上部の液晶モニタの広告表示は3台の個別のコンテンツを流したり、3台が連携したコンテンツを流したりすることも可能である。E233系の側天井パネルは円弧状に側内張と天井風道とを結んでいたが、E235系は側天井パネルを分割して、上面を側天井パネル、側面を側点検ふたパネルで構成している。側点検ふたパネル部は車両全長で開閉できるようになり、メンテナンス等で行先表示器や側灯の背面にアクセスできるようになっている。

袖仕切、スタンションポール、吊手棒受を連続的な曲線で接続したロールバーを設置することにより、車体剛性を向上させ、側面衝突時の室内空間保持性能を向上させている。ロールバーは車端部の袖仕切以外の1両あたり6か所に配置している。荷物棚は下方向からの視認性を向上させるため、E233系より棚板下面のスリットを大きくし、数も増やした。これにより、着座時の採光性も向上している。吊手の色は優先席部を除いて、腰掛の背ずりと同色の緑色としている。一般部の床敷物は、車内外に使用されているドット柄のデザインを用いて、車両中心から側寄りに向かってグラデーションのようにになっている。

E233系は車端部の片側のみが優先席であったのに対して、E235系はお客さまにより安心してご利用いただけるように、もう一方の車端部に優先席を増設、かつそ

の対面には車いすやベビーカー等をご利用のお客さまが利用しやすいフリースペースを各車両に設置している。フリースペースは立客に配慮して妻面に腰当を配置、側窓付近は2段手すりにしてお子さまにも掴みやすいよう配慮している。優先席とフリースペースは、床敷物、内張、袖仕切、吊手、天井の色を一般部と色を変え、床敷物にはピクトと「優先席」の文字を標記している。また、優先席の背ずりのモケットにも「優先席」の文字を入れ、一般席との違いを明確にし、差別化を図っている（図5）。



図3 客室（一般部）



図4 デジタルサイネージ（7人掛上部）



図5 客室（優先席・フリースペース部）

優先席部と先頭車はE233系同様に吊手および荷棚高さを一般部より50mm低くして利便性を向上させている。

2. 2 ギ装

2. 2. 1 床下機器

各車の列車情報管理システムにはTIMSの後継として新たに開発されたINTEROS (INtegrated Train communication networks for Evolvable Railway Operation System) を搭載し、車両間および地上との通信速度を向上している。ブレーキ方式は回生ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキであり、ブレーキ制御装置を中間車に1台、両先頭車には台車ごとに1台ずつの計2台を搭載している。

先頭車の床下には、D-ATC/P統合型車上装置、待機二重系SIV、蓄電池箱、整流装置を搭載している。

M1、M2車の床下には、SiC素子を使用したVVVFインバータ装置、FLをそれぞれの車両に搭載し、1C4M方式としている。M1車には断路器やHB、SIV断流器、母線断流器を搭載し、M2車にはオイルフリーレシプロ式の電動空気圧縮機を搭載している。

T¹車の床下には、SIV、整流装置、電動空気圧縮機、非常ハシゴを搭載し、T車には線路モニタリング装置の測定および制御機器 (図6)、ジャイロ式のレール塗油装置を搭載している。T0車はサハE231-4600からの改造車であり、機器の変更および追加をしている。

2. 2. 2 屋根上機器

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、WiMAXアンテナ、電車線路設備計測用アンテナを配置している。Tc車にはGPS /準天頂衛星対応アンテナを準備工事としている。

M1車はパンタグラフを配置し、6号車には冗長性を確保するためパンタグラフを2台配置し、後位寄りを主パンタグラフ、前位寄りを副パンタグラフとしている。パンタグラフは取り付けに互換性のあるPS33HとPS36Aを搭載し、3号車には電力モニタリング装置を搭載している (図7)。

空調装置には室外送風機の数量や翼の形状を変更したAU737形を搭載している。

2. 2. 3 室内機器

戸閉装置は、ラックアンドピニオン方式の電気式戸閉装置を搭載し、常時押付の制御をしている。出入口上部のかもい部と7人掛腰掛上部には情報提供装置を配置しており、端末装置は各車に2台ずつ搭載している。

車両の天井中央付近には位置情報提供用のビーコン装



図6 線路モニタリング装置



図7 電力モニタリング装置

置を搭載し、お客さまが車両情報を取得できる仕組みとなっている。空気清浄機は横流ファン近傍に搭載している。ロールフィルタ装置には自動清掃機能付きを搭載し、メンテナンス負荷を低減している。

先頭車の天井にはWiMAXアンテナと電車線路設備用アンテナの車上装置を搭載している。

2. 2. 4 乗務員室機器

乗務員室は非貫通の全室運転台構成であり、ユニット形の運転台としている。運転台の床高さは、視認性向上のため、一般部よりかさ上げた高床構造としている。運転士の下視界や車掌の後方確認での視野拡大のために表示器類の形状や取付位置、角度を調整することで計



図8 乗務員室

器盤高さを1410mmとしている（図8）。起立運転に対応するために腰掛は座面を折り畳む構造としている。室内からの視認性向上のため、助手側の運転台ユニットの高さは870mmに下げている。

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、左側から12インチのNo.1メータ表示器、INTEROS表示器と防護無線・ICカードリーダー、No.2メータ表示器を配置している。テーブル面には主幹制御器操作部、仕業データ読込ユニットや手元警笛SW、イン칭ングSWを配置している。時刻表灯は乗務員が携帯する端末装置を置くことができる構造とし、時刻表灯背面には携帯端末装置充電用コンセントを設置している。前面日除けはカーテン方式とし、調整幅を拡大している。運転台ユニット助手側上面には、事故発生時の輸送障害低減を目的として、運転台前方カメラと記録装置を設置している。

前部標識灯は、地上側からの視認性を向上させるため運転台上部に設置し、LED式としている。後部標識灯もLEDであり、行先表示器と一体構造としている。前面ガラスのワイパは、運転士側、助手側の2本の主ワイパはリンク接続式とし、ワイパに不具合が生じ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、立てた状態を定位としている。

背面ユニットには運転台選択スイッチ、情報系ユニット、情報提供装置の中央装置（Tc' 車のみ）を設置している。背面上部においては、GPS/準天頂衛星アンテナおよびホーム検知装置制御器の準備工事を行っている。天井部の照明は客室と同様、LED照明を採用している。

2. 3 台車

台車は軸はり式ボルスタレス台車であり、E233系の構造を基本としつつ、メンテナンスの容易化や走行安全性の向上を図っている。台車形式はM台車がDT80、先頭T台車がTR264、中間T台車がTR264A、TR264Bである。中間T台車は軸ばねの違いで形式が異なる（図9、

図10）。10号車は山手線E231系4600番代の台車を流用しているため、E233系と同じTR255Aとなる。

軸ばねはコイルばねで、枕ばねは空気ばねを装備している。軸ダンパ、ヨーダンパは準備工事としており、走行線区に応じて取り付ける。空気ばねについては急曲線が多い山手線において、横圧を低減するために前後方向のばね定数をやわらかくした異方性空気ばねとしている。走行線区に応じて等方性を使用することも可能としている。

ブレーキ装置は、M台車が踏面ブレーキ、T台車が踏面ブレーキとディスクブレーキの併用である。滑走再粘着制御は軸単位である。交換作業の容易化のため、踏面制輪子をブレーキ装置に取付けるコッタがワンタッチタイプとなっている。また、ディスクブレーキのライニングはUIC規格対応形として、交換作業の容易化を図るとともに、緊急時などにおける調達ルートの選択肢を増やしている。



図9 TR264 形台車



図10 DT80 形台車

3 おわりに

E235系量産先行車は、JR東日本に納品後、各種試験、試運転等を行い、2015年11月に営業運転を開始した。

（松島千裕，小嶋元寧，三井健司 記）

表 1 E235 系一般形直流電車 (量産先行車) 基本諸元表

編 成	← 内回り ⑪ ⑩ ⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① 外回り →										
	E231系の改造 Tc -0 ○ M1 -0 ○ T -4600 ○ M2 -0 ○ T' -0 ○ M1 -0 ○ M2 -0 ○ T -0 ○ M1 -0 ○ M2 -0 ○ Tc' -0 ○ +</										

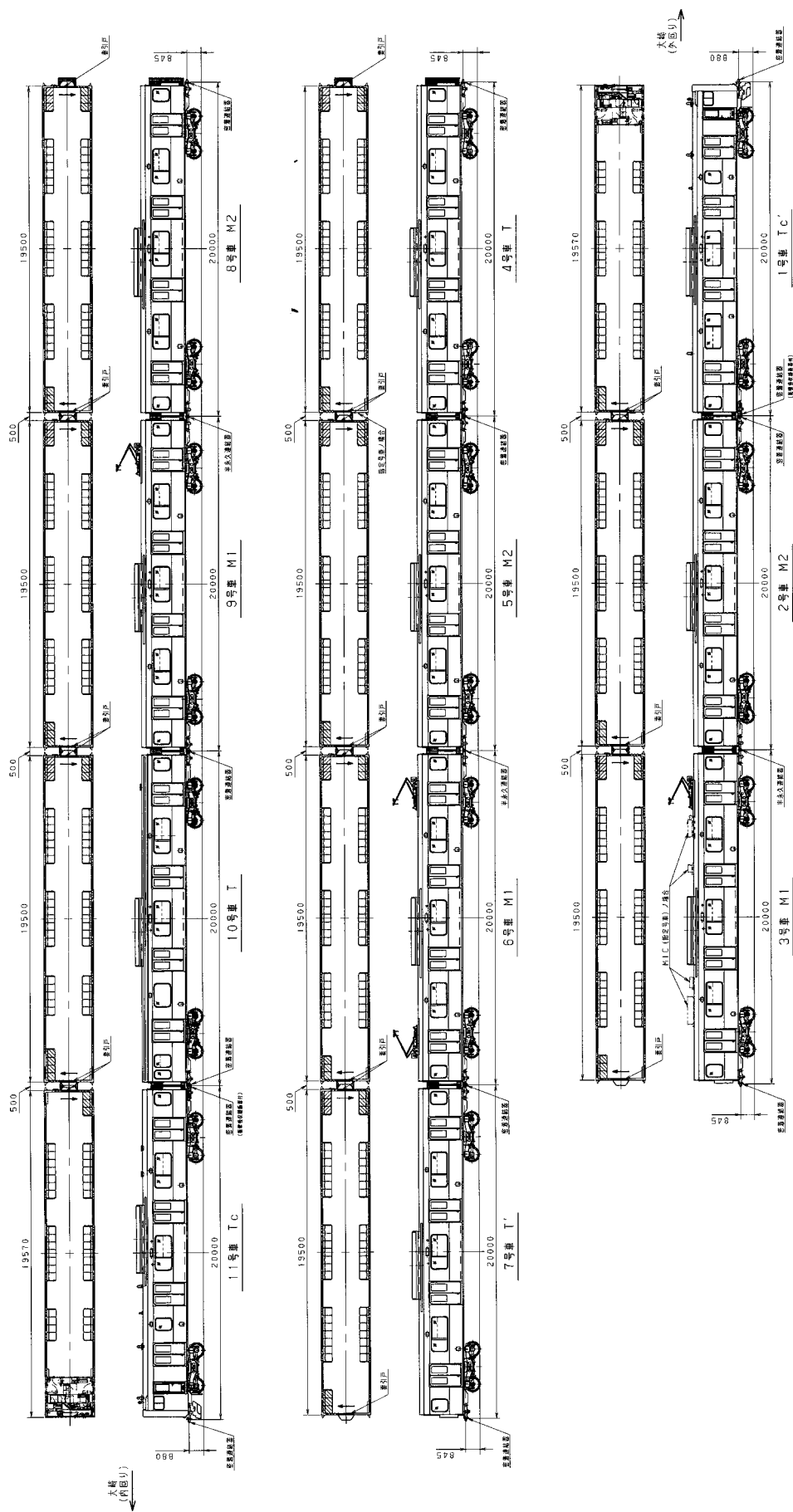


圖 11 編成圖

JR 東日本 E353 系 特急形直流電車

生産本部 技術部



図1 E353系 外観

1 はじめに

JR東日本では、1993年に投入されたE351系特急電車の置き換えとして、よりサービス向上を図るため、E353系特急電車を投入することとなり、当社横浜事業所で設計・製造した。E353系は、構体構造を常盤地区に投入されているE657系を基本構造とし、JR東日本の在来線特急としては、初の空気ばね式車体傾斜装置を搭載し、E351系の振り子式と同等の速度性能を有する。また、動揺防止制御や車体間ダンパの装備による乗り心地向上や遮音性向上等の高品位サービスの提供も充実させている。以下に、その詳細を紹介する。

2 構造および特徴

2. 1 車体

2. 1. 1 基本構造

編成は基本となる9両編成（5M4T）と付属編成の3両

編成（3M）で、2編成を併結した12両編成での運転にも対応するため、先頭車は貫通可能な構造としている。

車体は、E657系を基本としたアルミ中空押出型材を使用したダブルスキン構体で、車体傾斜に対応するため、車体断面の形状を変更している。

側窓は、E657系と同様の大型な連続窓で、熱線・紫外線吸収機能および遮音性能を有した複層ガラスを採用している。

前頭部においては、基本編成と付属編成を併結した際に、貫通構造とすることから、成田エクスプレスに投入したE259系と同等の高運転台構造とし、運転台下の貫通路部は自動で貫通路が構成できる自動ホロ装置が格納されている。なお、併結した12両編成時の両先頭は、非貫通構造となっている。前頭部の材質は、三次元形状のデザインを精緻に反映する必要があることから、FRPとアルミの機械加工による部材の組合せとしている。

2. 1. 2 車内設備

客室は、普通車・グリーン車とも2+2列の座席配置で、モハE353-1000 (2号車)、サロE353 (9号車)、モハE353 (10号車) に車イススペースを設けている。

側窓はE259系、E657系と同様の大きな連続窓で、熱線・紫外線吸収機能の複層ガラスを使用している。

内装は複合パネルを主とした構造で、天井部は空調風道と一体構造にし、アウトワーク可能な構造となっており、内装色を普通車・グリーン車でそれぞれ変えたデザインとなっている。照明は、天井全長に通したアルミ製のキセ内に直管タイプのLEDを配置し、間接照明構造としている。また普通車とグリーン車で同じ色温度のLEDを使用しているが、天井部の内装色の違いにより間接照明の光の色に違いを出している。

荷棚は側天井に設置したミラーにより荷棚上を確認できるようにになっている。また窓側にレール方向に可動できるコートフックを各座席列ごとに配置している。

空調装置は屋上の一体形であり、天井部の風道から幕部を経由し、荷棚先端から冷風を吹き出す構成となっている。

出入台は配電盤ユニットに消火器、ゴミ箱、温風暖房器を配置し、サロE353 (9号車) 後位にはAEDを配置している。側出入口のカモイ部には、セキュリティのため



図2 普通車客室



図3 グリーン車客室

防犯カメラを設置している。天井灯はLEDダウンライトを採用している。

洋式便所には、収納式のオムツ交換台とベビーチェアが設置されている。モハE353-1000 (2号車)、サロE353 (9号車) の大型洋式便所は車椅子対応となっており、洗面台も配置されている。便所・洗面所は、あらかじめ設備までをアウトワークにより完成させ、車体へ組み込むモジュール構造を基本としている。

多目的室はモハE353-1000 (2号車)、サロE353 (9号車) に配置し、ベッドとして使用可能な折畳み腰掛を設け、車椅子での入室を考慮している。

乗務員室、車販準備室はサロE353 (9号車) に配置し、車販準備室には流し台、冷蔵庫、放送設備を設けている。

2. 2 ギ装

2. 2. 1 床下機器

床下機器は、E259系やE657系等で搭載されている故障に強い二重系機器を搭載している。各車共通で、滑走防止弁装置、直通予備ブレーキ制御装置、給排気弁箱、傾斜装置用空気タンク、電動空気圧縮機 (モハE353-1000代、サロE353除く)、元空気タンク (モハE353-1000代、サロE353除く) が配置されている。先頭車には、ATS-P形・ATS-Ps形の二つの保安装置を統合して一つの車上装置とした二重系のATS-P/Ps統合型車上装置が搭載されている。

モハE353には、VVVFインバータ装置、フィルタリアクトル、高速度遮断機、断路器箱、母線遮断機箱およびSIV断流器箱を搭載している。クモハE352およびモハE352には、静止形インバータ (SIV)、トランスフィルタを搭載している。

2. 2. 2 屋根上機器

モハE353-500代およびモハE353-1000代は、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、前位寄りを常時使用している。先頭車には、広帯域空中線、クモハE352およびクハE352には情報配信用のWiMAXアンテナが配置されている。

2. 2. 3 室内機器

客室天井にはLED灯が配置され、端部にはフルカラーLEDによる案内表示器を配置している。各座席にはコンセントが装備され、パソコンの利用や携帯電話の充電ができるなど、乗客の利便性の向上が図られている。

出入台部には防犯カメラが設置されており、セキュリティの向上を図っている。戸閉機には、E657系と同様

に空気式戸閉機が採用されている。出入台の配電盤部には、継電器盤、シャ断器盤、空調制御器等が格納されている。

2. 2. 4 運転室機器配置

高床式貫通運転台の構成となっている。計器類は、E259 系やE657系で採用されているLCD画面表示によるメータ表示器で構成しており、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。

前面ガラス部には、通常使用するワイパを両端に配置し運転席だけでなく助手側の視野も確保している。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も中央部に設けている。

背面上部には、シャ断器盤や、ATS-P/Ps切換スイッチ盤などを配置した。背面仕切り部には、車掌ユニットや列車無線関係機器を配置した。運転士側側開戸上部には、防護無線自動発報装置を配置している。

前部標識灯は、LED灯を縦に5ユニット（片側）配置し、後部標識灯も、LEDを使用している。



図4 運転席

2. 3 台車

台車は、E259系用台車・E657系用台車を基本に設計したボルスタレス台車である。台車形式は、電動台車がDT81（動揺防止制御装置取付用）、DT81A（一般用）、DT82（アンチローリング装置取付用）、付随台車がTR265（動揺防止制御装置取付用・先頭台車）、TR265A（動揺防止制御装置取付用・中間台車）、TR265B（一般用・中間台車）である。

軸箱支持方式は軸はり式である。軸箱体の先端には、乗り心地向上のため、軸ダンパを取り付けている。軸ば

ねは電動台車がEYばね、付随台車がEZばねである。

車体支持装置はボルスタレス方式で、けん引装置は一本リンク方式である。乗り心地向上のためヨーダンパを装備している。空気ばねは車体傾斜用に新たに設計したものであり、車体の変位を抑制するために枕木方向の剛性を高めた異方性のものである。LVの背面には車体傾斜制御用に空気ばねの高さを測定するためのセンサが取り付けられている。1,4,9,12号車には動揺防止制御装置（フルアクティブ制御）を装備しており、それ以外の車両には左右動ダンパが装備されている。3号車は動揺防止制御装置の取付準備工事が施工されている。また、パンタグラフ付きの車両には、車体傾斜時のパンタグラフの過剰な変位を抑制するため、アンチローリング装置を設けている。ほかの装置との構成の関係からトーションバーは台車枠の横ばり内部に配置している。

ブレーキ装置は、電動台車が踏面片押しブレーキ、付随台車が踏面片押しブレーキとディスクブレーキの併用である。なおTR265台車は駐車ブレーキ装置付きである。

8号車のTR265B台車には軸端接地装置が取り付けられている。TR265台車の先頭寄りには雪かきとATS-P車上子が、中間寄りにはATS-Ps車上子が取り付けられている。



図5 DT81 台車



図6 DT82 台車



図7 TR265 台車

3 おわりに

E353系は、斬新なデザインの具現化と快適に過ごせる車両を目指し設計・製造を行った。今後主力となる特急車両として、中央線沿線でのビジネスや観光で、多くのお客様に長く愛されることを願う。

(伊東聡, 中山義明, 秋吉哲二,
奥田浩司, 平井明正 記)

表 1 E353 系特急形直流電車基本諸元表

← 新宿 →													松本 →												
基本編成 9両													④⑤ ③ ②① ⑥⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫												
付属編成 3両													① ② ③												
【凡例】 <連結器> + : 密着、± : 密着 (衝突吸収緩衝器付)、[+] : 密着 (球面座)、∇ : 電連付密着 (復心装置付)、 [∇] : 電連付密着 (球面座、復心装置付) <トイレ> ○ : 洋式トイレ+小便所、● : 車椅子対応トイレ+小便所、● : 車椅子対応トイレ <床下機器> C : コンプ、S : SIV																									
最高運転速度 (km/h)																									
形 式		M モハE353-0 ⑩号車	M-500 モハE353-500 ⑤号車	M-1000 モハE353-1000 ⑦号車	Mc-2000 モハE353-2000 ⑦号車	M'-500 モハE353-500 ⑥号車	T サハE353-0 ⑧号車	Ts サロE353-0 ⑨号車	Mc クモハE353-0 ①号車	Mc' クモハE353-0 ③号車	Tc クハE352-0 ④号車	Tc' クハE352-0 ⑫号車													
定員 (人)		66	46	68	68	64	64	64	30	48	60	60													
予定質量		39.1	39.5	40.3	37.7	38.3	38.3	35.7	33.1	38.8	39.9	38.9	36.1												
車 体 寸 法		20000mm (連結面間距離: 20500mm)											21000mm (連結面間距離: 21430mm)												
		2920mm																							
		3540mm																							
		1130mm																							
台車中心距離		14150mm																							
台車形式 (歯数比)		DT82 (1:5.65)	DT81A (1:5.65)		TR265B	TR265A	前後位: TR265 後位: DT81 (1:5.65)		前後位: TR265 後位: TR265A																
パンタグラフ		PS39																							
主 電 動 機		MT75B×4																							
主 制 御 器		SC108	SC108	SC108	SC109	SC110	SC110	SC110	SC80B		—														
補 助 電 源		1v4B		SC110	SC110	SC110	SC110	SC110	SC80B		—														
電動空気圧縮機		MR130-CI600S2	—	—	MR130-CI600S2	MR130-CI600S2	MR130-CI600S2	—	MR130-CI600S2		MR130-CI600S2														
冷 房 装 置		屋上集中式冷房装置 AU738																							
保 安 装 置		ATS-P、ATS-PS、デジタル列車無線、EB・TE装置、防護無線 (自動発報機能付)																							
制 御 方 式		VVVFインバータ制御方式、回生ブレーキ付																							
ブレーキ方式		回生・発電ブレーキ併用電気指令式空気ブレーキ、直通予備ブレーキ、耐雪ブレーキ、抑速ブレーキ、駐車ブレーキ																							
車体傾斜方式		空気ばね高さ制御																							
動揺防止装置等		動揺防止装置 (フルアクティブ) ①、③、⑨、⑫号車、および車体間ダンパ																							
運転室構造		①、②号車非貫通 ③、④号車貫通																							
情 報 装 置		TMS																							
座 席 配 置		回転リクライニングシート シートピッチ: 普通車960mm、グリーン車1160mm																							
側 出 入 口		新宿向き先頭車片側2扉、他は片側1扉、空気式、戸狭み安全機能付																							
サービス機器		行先表示器、情報提供装置、自動放送装置、お客さま用コンセント、空気清浄機																							
防犯カメラ		各出入台に防犯カメラ																							
トイレ		—	—	車椅子対応	—	洋式/ 男性小便所	洋式/ 男性小便所	洋式/ 男性小便所	車椅子対応/ 男性小便所	洋式/ 男性小便所	—	洋式/ 男性小便所	—												
洗面所		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
車内設備		②、⑨号車: 多目的室、車椅子対応隠掛 ⑨号車: 車販準備室、車掌室 ⑩号車: 車椅子対応隠掛																							
その他		耐震耐雪仕様、移動禁止システム、転落防止放送																							

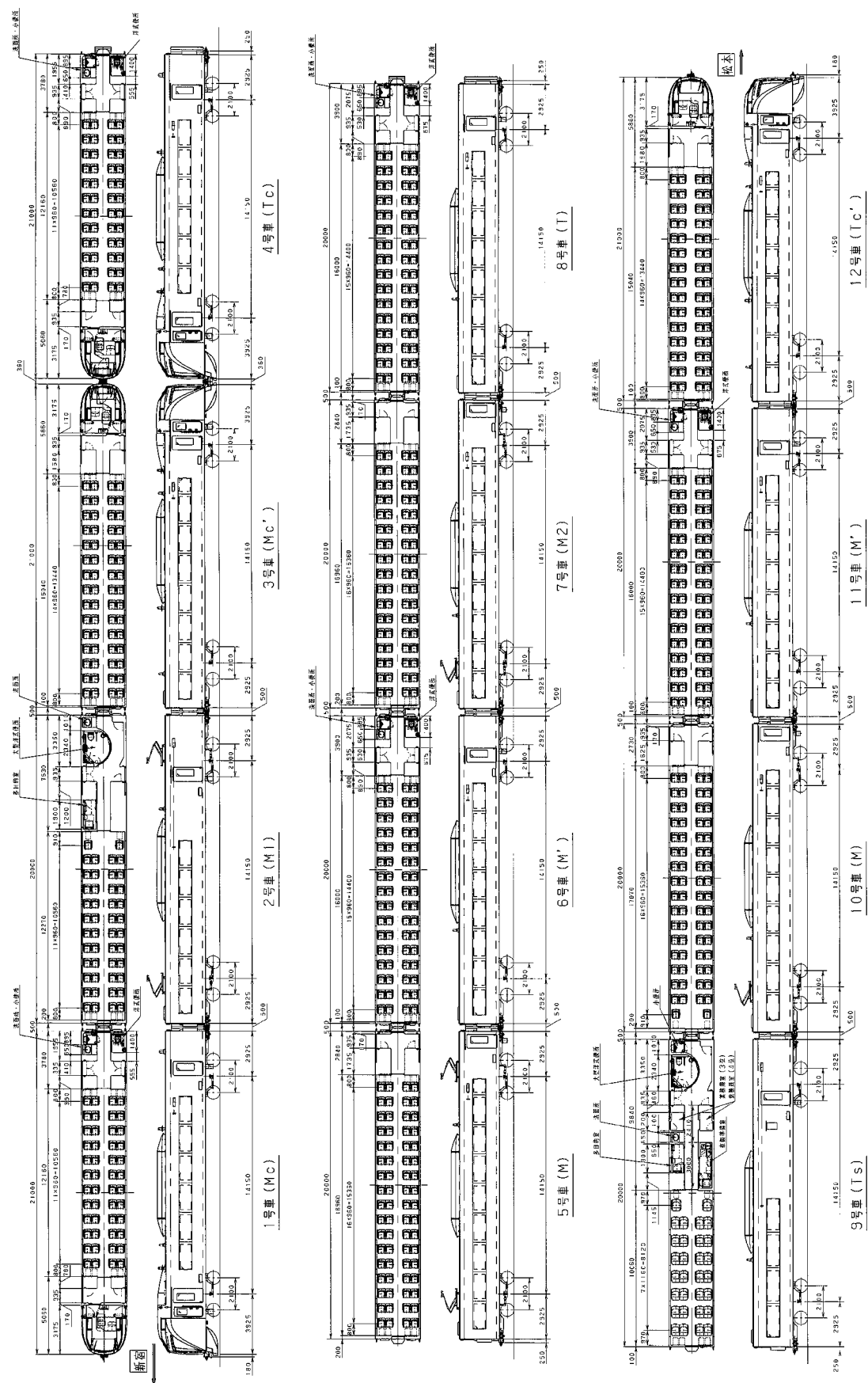


図8 E353系 編成図

キュービクル式高圧受電設備輸送用 12ft 無蓋コンテナ

生産本部 和歌山事業所



図1 製品外観



図2 積載状態

1 はじめに

近年、長距離輸送のコスト低減とCO₂排出量の抑制による環境負荷低減のメリットから、基幹輸送をトラックから鉄道へ転換（モーダルシフト）する取り組みが行われている。また、トラック輸送においてはドライバの不足が問題になっていることから転換がさらに高まってきている。

国内における鉄道輸送の多くは日本貨物鉄道株式会社所有の汎用型12ft有蓋コンテナが利用されている。しかし、汎用コンテナでは輸送できない積載品については専用コンテナを製作し運用されている。

この度、積載品・キュービクル式高圧受電設備（以下キュービクル）の輸送を、メーカーである日東工業株式会社の計画のもと検討を重ね、鉄道輸送に最適な形態となる専用の12ft無蓋コンテナを設計・製作し、2012年から2015年までに試作機を含め19台納入したので紹介する。

本コンテナによる輸送はモーダルシフトによるCO₂削減の取り組みが評価され、2014年12月に「グリーン物流パートナーシップ会議特別賞」を授賞したものである。

2 構造および特徴

(1) キュービクルは外法寸法が大きいことから、鉄道輸送時の積載限界高さに収める必要とキュービクルのコンテナへの積載作業を考慮し、屋根のない無蓋構造を採用した。

- (2) キュービクルはあらかじめ専用パレットにボルト締結し、限られた庫内スペースにフォークリフトにて微調整して積載することを可能とする。
- (3) 専用パレットはキュービクルの大きさに応じて分割型と一体型の2種類を設定した。
- (4) 無蓋コンテナのため、キュービクルには防汚を目的として日東工業考案のシートを掛ける。シートはキュービクルに密着し輸送時のバタつきを抑える工夫が施されている。
- (5) 専用パレットはコンテナ床面に装備したツイストロックにて緊締する。キュービクル・パレット・シートを事前に準備しユニット化することで積載作業はレバー操作のみとなり効率的かつ安全な作業を可能とする。
- (6) 安全な輸送を考慮しコンテナはキュービクル高さの60%を覆う壁を四方に有する。
- (7) コンテナの両側面にはフォークリフトによる積載に対応して開口を設ける。通常、無蓋コンテナの扉は煽戸であるが、(6)を満たす扉を安全に開閉することを考慮し観音扉とする。
- (8) キュービクル積載状態では低床のコキ100系貨車にて輸送する。
- (9) キュービクルをコンテナに積載後は輸送ルート上の積載限界高さ（第三積載限界）を超えていないかを専用ゲージにて確認する。



図3 キュービクル (パレットに積載)

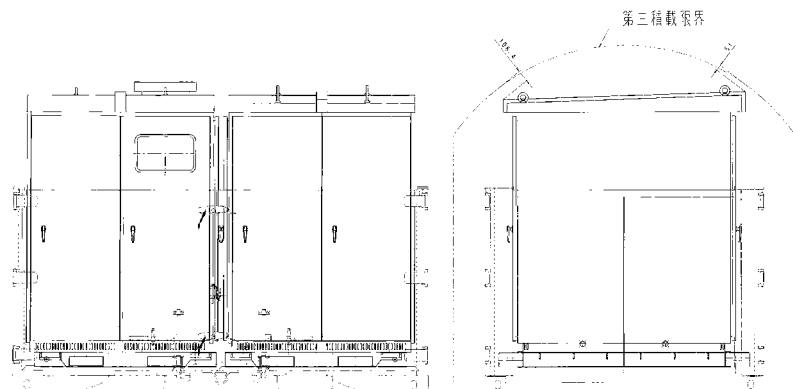


図4 第三積載限界確認状態図 (コキ 100 系貨車積載時)



図5 分割型パレットによる積載



図8 ゲージによる第三積載限界の確認



図6 一体型パレットによる積載

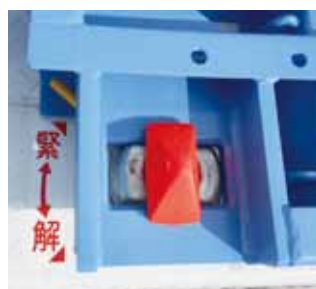


図7 パレットの緊締

3 主要諸元

全	長	3715mm
全	幅	2490mm
全	高	1826mm
内 法	長さ	3615mm
内 法	幅	2322mm
内 法	高さ	1582mm
内 容	積	13.27m ³
床 面	積	8.39m ²
コンテナ質量		1740kg
積 載 質 量		5000kg
総 質 量		6740kg
側 開 口 高 さ		1582mm
側 開 口 幅		3507mm

(西村 哲 記)

あとがき

『総合車両製作所技報』第4号をお届けいたします。

今回はグローバル戦略として取り組んでいる輸出車両や海外向け車両改造工事をテーマに特集を組みました。JR東日本グループの経営の第4の柱に「鉄道車両製造事業の確立」が掲げられ、国内は基より海外展開をグループ全体で取り組んでいるところです。その初の海外新造案件が「タイ・バンコク パープルライン向け車両」であります。グループとして車両新造やメンテナンスを受託しており、何としても成功させなければなりません。車両は2016年1月迄に63両全て納入され、各種試験、訓練等を経て8月に営業開始を迎える予定です。弊社から大勢の現地対応社員を派遣し、営業開始迄、万全の体制をとっております。予定通りの営業開始とバンコクの皆様に喜んで頂けるよう最善の努力をする所存です。今後とも関係各位様のご支援ご鞭撻を宜しくお願い致します。

取締役 生産本部副本部長
兼 技術部長 新井静男

MEMO

委員長 新井 静男

橋本 克史 長谷部和則 駒形 敏昭 樋口 正勝 久保田寿郎

校正委員 大塚 陽介 上野 敦史 金子 貴史 鈴木 貴之 福元 宏幸 大坪 大志

事務局長 松岡 茂樹

事務局 長能 亮太 西脇 正 中島 庸祐 金子 貴史 鎌田 洋祐 垂井ななえ 中川英二郎

総合車両製作所 技報

発行元 株式会社総合車両製作所 生産本部 技術部

電話 045 (701) 9753

編 集 技報第4号編集委員会

〒232-0044 横浜市南区榎町2-55-2

電話 045 (743) 2201

© JAPAN TRANSPORT ENGINEERING COMPANY 2015 無断転載を禁ず



株式会社 総合車両製作所

- 本社・横浜事業所 〒236-0043 横浜市金沢区大川3番1号
TEL 045-701-5155
- 新津事業所 〒956-0032 新潟市秋葉区南町19番33号
TEL 0250-23-4900
- 和歌山事業所 〒649-6402 和歌山県紀の川市北勢田770番地8
TEL 0736-78-1101
- 東京事務所 〒108-0074 東京都港区高輪二丁目18番10号 高輪泉岳寺駅前ビル7階
TEL 03-4334-6550
- 西日本支店 〒541-0048 大阪府中央区瓦町三丁目4番15号 瓦町SFビル8階
TEL 06-6202-5424

☆ホームページアドレス (株)総合車両製作所 <http://www.j-trec.co.jp/>

☆総合車両製作所がお贈りする鉄道グッズのインターネットショップ
【電車市場 楽天市場店】 <http://www.rakuten.co.jp/tetsu/>

J-TREC
株式会社 総合車両製作所