

3D-CAD と IoT を活用した鉄道車両用ワイヤーハーネス開発

Innovated Technology and Solution of Wiring Harness on Rolling Stock with 3D-CAD and IoT Technology

川瀬 賢司*
Kenji Kawase

青木 克樹*
Katsuju Aoki

山本 来布*
Raifu Yamamoto

鉄道車両は安全性や利便性向上など高機能化傾向にあるため、電線使用量の増加と配線の高密度化が進み、配線設計やハーネスの製造、さらには車両へのハーネス布設作業は、ますます難しくなっている。そこで筆者らは、これまでの電線製品単体の提供に加え、電線をモジュール化したハーネス製品およびサービス・ソリューションをパッケージで提供することで付加価値の向上をめざし、3D-CAD を用いた配線設計手法、生産性および品質向上を目的としたデジタルハーネスボード、ぎ装のサポートツールを開発した。これらをトータルで顧客に提供し、設計期間の短縮とぎ装工数の低減などの効果を得た。

Since rolling stock vehicles tend to have advanced functions such as improved safety and convenience, the amount of electrical wiring used and the density of wiring has increased. Therefore, it is becoming increasingly difficult to design wiring, manufacture harnesses, and install them in the vehicles.

In order to increase added value by providing harness products and services/solutions in package as well as selling electric wires products so far, the authors have developed a wiring design using 3D-CAD, a digitalized harness board featuring IoT technology, and an installation tool using a tablet PC. The authors provided these to customers, who were able to shorten the time of wiring design, harness production, and installation on the vehicles.

● Key Word : 鉄道, ハーネス, 3D-CAD
● Production Code : なし

● R&D Stage : Mass-production

1. 緒言

環境負荷が少ない鉄道の需要は、世界的な人口増加や都市化に伴い、今後も増加する。これまで日立金属は鉄道車両用電線の製造・販売を促進し、国内の主要な鉄道車両に採用されている。また海外市場においては、火災安全性を向上させた欧州統一規格である EN 規格電線を開発し¹⁾、欧州や中国・アジアでの事業拡大を進めてきた。

鉄道車両にはさまざまな機器が存在し、それらをつなぐ電線は一車両当たり数十 km と大量に使用される。また、現在の鉄道車両では安全性や利便性向上など高機能化のため、電線使用量の増加と配線の高密度化が進み、配線設計や電線をモジュール化したハーネスの製造、車両に布設する作業は、ますます難しくなっている。

鉄道車両と同様に、大量の電線を使用し、複雑な配線を必要とする航空機では、3D-CAD を活用し、配線設計時間を短縮している。また、電線量が少ない自動車においても 3D-CAD を活用したフロントローディングが一般的である。しかしながら、鉄道車両においては、3D-CAD での配線設計が行われていない²⁾ため、配線設計時間がかかることや設計手戻りが発生するなど課題が多い。

また、ハーネス製造面においては、鉄道車両だけでなく、3D-CAD 活用が先行している航空機や自動車でもハーネス実寸大の製作図面を貼った木製のハーネスボードを使用している。その結果、段取り時間の増加や作業者スキルに依存した製造方法となり作業の間違いによる手戻りが多く発生する。

さらに、製造したハーネスを鉄道車両の現車に布線する

* 日立金属株式会社 電線材料カンパニー

* Cable Materials Company, Hitachi Metals, Ltd.

作業（以下、ぎ装配線作業）では、車両内の複雑な経路に布線するため、熟練した作業スキルを要する。このように、配線設計からぎ装配線作業まで配線に関わるさまざまな課題があり、鉄道車両製造のリードタイムやコストにも影響を与えるため、改善が望まれている。

そこで筆者らは、大量の電線を取り扱う鉄道車両において、3D-CAD を活用した配線設計を導入し、設計時間短縮や多様な課題を解消するフロントローディングを行った。また、3D-CAD を活用した配線設計のデータを再利用し、タブレット PC を用いてぎ装配線の作業順や配線経路をアニメーションで指示するツールを開発し、ぎ装配線作業の標準化および作業時間の削減を実現した。

さらに、電線をハーネスに加工する際に作業者スキルに依存しない、かつ、作業効率向上を可能にする画期的なハーネス製造装置を開発し、導入した。

従来の電線製品単体の提供に加え、配線設計、ハーネス製造、ぎ装配線作業サポートをパッケージで提供するトータルソリューションサービスを開始し、配線に関わる課題を解消した。

2. トータルソリューションサービス

2.1 トータルソリューションサービス概要

鉄道車両での配線プロセスは、大きく分けると配線設計、ハーネス製造、ぎ装配線作業となり、これらのプロセスは鉄道車両メーカーが自社で実施しているケースが多い。後述するようにそれぞれのプロセスで配線設計時間や作業時間がかかるなど多数の課題がある。

筆者らは、これまでの電線単体の提供に加え、それらの各プロセスでの課題を改善する技術を検討し、パッケージで提供するサービスを開始した。図1は、日立金属が提供するトータルソリューションのプロセス概念図である。

以下、日立金属のトータルソリューションの主要技術の開発概要を紹介する。

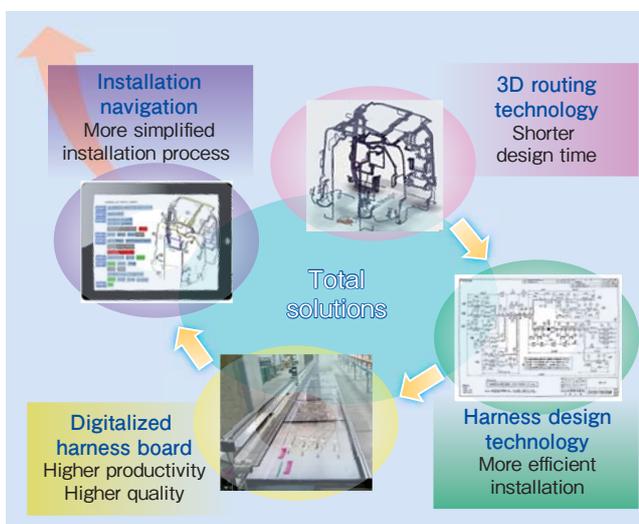


図1 日立金属の配線に関するトータルソリューションのプロセスフロー概念図

Fig. 1 Process flow of Hitachi Metals' total solution for wiring

2.2 3D-CAD による配線設計

2.2.1 仮想空間の導入

3D-CAD による配線設計を効率的に行うため、仮想空間の概念を導入した。鉄道車両内部には多くの機器やフレームが配置されており、それらの合間を縫うような配線設計が必要であり、さらに熱やノイズを避けるために離隔が必要であり、電線布設可能な空間は限られてしまう。多数の電線やハーネスをそれらの条件にあうように、3D-CAD 上で配線するのは、手間がかかり効率が悪い。そこで図2に示すように、予め電線布設が可能な空間を可視化した仮想空間を設置し、その空間内での配線設計を行う手法を検討した。

仮想空間をとり入れることで布設可能領域が明確になり、機器やフレームを意識することなく、また仮想空間を無駄なく電線で埋めるように配線設計することで布設可能領域での高密度配線が可能となった。

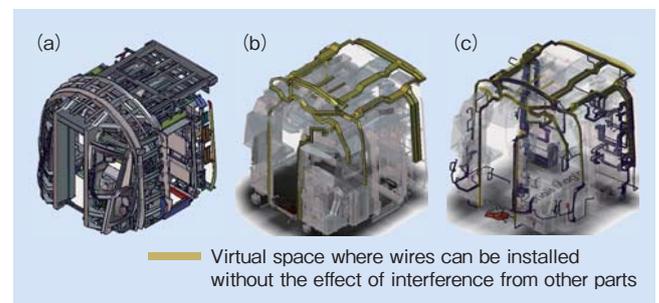


図2 鉄道車両（運転室）の3D-CAD 上での仮想空間（布線可能な空間）の例 (a) 車両のCAD データ (b) 仮想空間の定義 (c) 仮想空間内に布設

Fig. 2 Example of visualized allowable space of wiring on 3D-CAD data (a) 3D-CAD data of driver's room (b) define virtual space before wire routing (c) wire routing within virtual space

2.2.2 仮想電線ガイドの導入

配線設計では、電線を自由自在に配線できるよう、すなわち任意の場所を経由し、任意の場所で曲げられる必要がある。3D-CAD 上で、電線を曲げる箇所ごとに座標を定義し、座標を通過するようにして設計できるが、直感的な作業ができない上、座標設定に非常に時間を要する。そこで、3D-CAD 空間上の電線位置決めとして「仮想電線ガイド」を導入した。図3に示すように、仮想電線ガイドの外郭は、仮想空間の断面形状に合わせて作成し、仮想空間上へ配置する。仮想電線ガイドには電線布設の配列を考慮し、各電

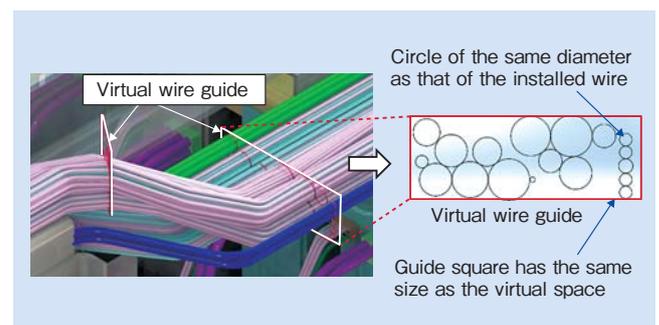


図3 仮想電線ガイドの設置例

Fig. 3 Example of virtual wiring guide on 3D-CAD data

線の外径に合わせた穴(円)を有している。CAD機能を利用し、この円の中心を通過するように配線設計することで、短時間で配線設計が可能となる。

2.2.3 3D-CADによる配線設計の効果

3D-CADでの配線設計において、仮想空間や仮想電線ガイドを導入することで、以下二つの効果が得られた。

- (1) 3D-CADでの配線設計時間 約50%削減
- (2) 現実に近い電線の量の評価が可能

特に、効果(2)については、具体的に次の点の改善が示唆される。第一に、仮想電線ガイドの導入により、電線の束状態を正確に再現するため、現車への布線の際に、電線量が多く布線できないという事態を避けることができ、経路の変更などの手戻りが発生しない。第二に、電線と機器との干渉などの物理的な不具合を設計段階で防ぐことができる。また、部材コスト算出や省エネ等で電線量や重量を把握する場合も、設計段階すなわち現車に合わせて布線する前の段階で把握することが可能である。

今後、筆者らは、3D-CADでの配線設計をさらに容易にし、短時間で設計できるアプリケーションの開発を行う予定である。

2.3 デジタルハーネスボードの開発

ハーネスボードとは、製造現場において使用するハーネスの形状づくりを兼ねた電線加工用の作業ボードである。図4に示すように、従来の段取り作業では、実寸大のハーネス製作図面を印刷し、それを予め準備した木製ハーネスボードに貼り付け、電線固定のため釘やピンを分岐位置などにセットする。鉄道車両でのハーネスは、最大30m程度の長さがあり、ハーネス製造時はその実寸大のハーネスボードが必要である。また、ハーネスの種類は、数百種類と非常に多く、さらに、鉄道車両仕様等の変更も発生するため、それに伴い、ハーネス実寸大の製作図面の変更も必要となる。すなわち、鉄道車両のハーネスを製造するためには、30m程度の巨大なハーネスボードを品種ごとに設置するための十分な作業スペースが必要である。或いは品種を変え

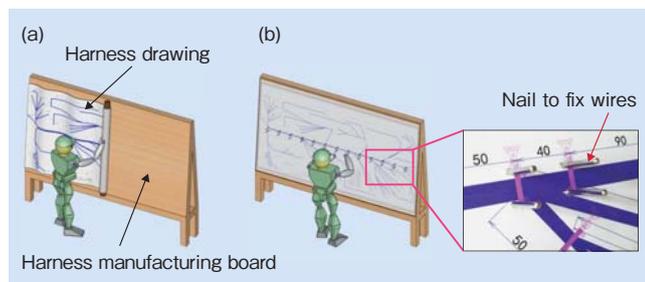


図4 仮想電線ガイドの設置例

(a) ハーネス製作図面を貼り付け (b) ハーネス固定釘を取り付け
Fig.4 Example of virtual wiring guide on 3D-CAD data

(a) posting full-scale printed harness drawing on a manufacturing board and (b) pinning nails to fix wires and indicate wire positions

るたびに、ハーネスボードを交換、設置するなど時間や手間が掛かってしまう。さらには、設計変更が発生した場合は、ハーネスボードに製作図面を貼り直す作業も生じる。

またハーネス加工作業においては、鉄道車両ハーネスは、最長30mと長いだけでなく、多くの分岐部を有した複雑な構成をしているため、人の判断に頼る作業方法では、電線長の欠尺や分岐部の間違い、部材取り付け間違いなど作業ミスが発生するリスクがある。このように、ハーネスの製造は、製品品質、コスト、生産リードタイムに直結する課題が多く、改善が望まれる。

そこで、上記のハーネス製造に関わる課題を解決するため、IoT (Internet of Things) 技術を利用し、さらに品質向上や生産性向上をめざしたデジタルハーネスボードを独自開発した。図5にデジタルハーネスボードシステムの動作フローを示す。

多数のノウハウを含むため、詳細は省略するが、主な特徴、機能は以下であり、作業時間短縮や生産性向上、品質向上などの効果が得られた。

- ・ハーネス作業ボードを兼務するディスプレイに、ハーネス製作図面を実寸大で表示。画面を切り替えることで、品種替えができるため、ハーネスボード数や段取り替えの時間などを削減可能。
- ・鉄道車両ハーネス最大長まで対応可能。
- ・3D-CADによる配線設計データを利用したレシピ(作業条件)に従い、ハーネス形状づくりの作業手順や指示をタイムリーに表示させる作業ナビゲーション機能。
- ・レシピ情報から、電線の切断機や表示材の印刷、それらの部材を配膳する自動化機能。
- ・使用部材や作業手順の間違いを防止する照合機能。
- ・各作業の作業記録や時間などデジタルハーネスボードを介してサーバー内に記録するトレーサビリティ機能や生産スケジュール管理機能。

鉄道車両と同様に電線を大量に使用する航空機や複雑な配線の自動車のハーネスの製造にも応用可能であり、同様な効果が得られると考えている。

なお、独自開発したデジタルハーネスボードは、現在チェコ共和国の日立金属工場に導入し³⁾、欧州鉄道プロジェクトでのハーネス生産に使用している。地域によって、作業スキルのばらつきが想定できるが、デジタルハーネスボードの機能により、作業標準化や作業ミスの未然防止や識別判定を行っており、作業スキルのばらつきの影響を小さくすることができる。グローバル生産が必要な鉄道、航空機、自動車のハーネス製造に適した製造方法であると考えられる。

2.4 ぎ装束線作業のサポートツールの開発

ぎ装束線とは、多数の分岐を持つ異なる数百種のハーネスを車両内に組み付ける作業であり、車両の全体図を参照しながら組み付けの作業を行う。細かいルートやハーネスのぎ装束作業などは、各作業者の判断と力量に委ねられる

ケースもあり、車両内の機器配置を熟知している熟練したスキルをもつ作業者が従事する。しかし熟練した作業者でさえ、大変時間がかかる作業であり、日本の鉄道車両の海外輸出が増加しているなか、現地工場での未熟練作業者でも容易に作業ができる作業方法の確立が望まれる。

そこで、筆者らは、図6に示すぎ装配線作業のサポートツールの開発を行った。このツールは、2.2で前述した3D-CADで配線設計したデータを再利用し、ぎ装配線作業場に容易に持ち込めるようにタブレットPCを使用し、作業手順や布線ルートをアニメーションで作業者に指示する

ものである。このぎ装配線サポートツールは、実際に組み付けぎ装配線作業を行う鉄道車両メーカーへ提供しており、作業が容易にできるようにさまざまな工夫をしている。以下、特徴の概要を示す。

- ・ ツールは、タブレット PC 上で動作するため、ぎ装配線作業場に容易に持ち込み可能。
- ・ 組み付けるハーネスの順番を標準化 (3D-CAD での配線設計通りに各ハーネスを収納するため)。
- ・ 配線ルートの明確化と位置合わせ箇所の標準化 (ハーネ

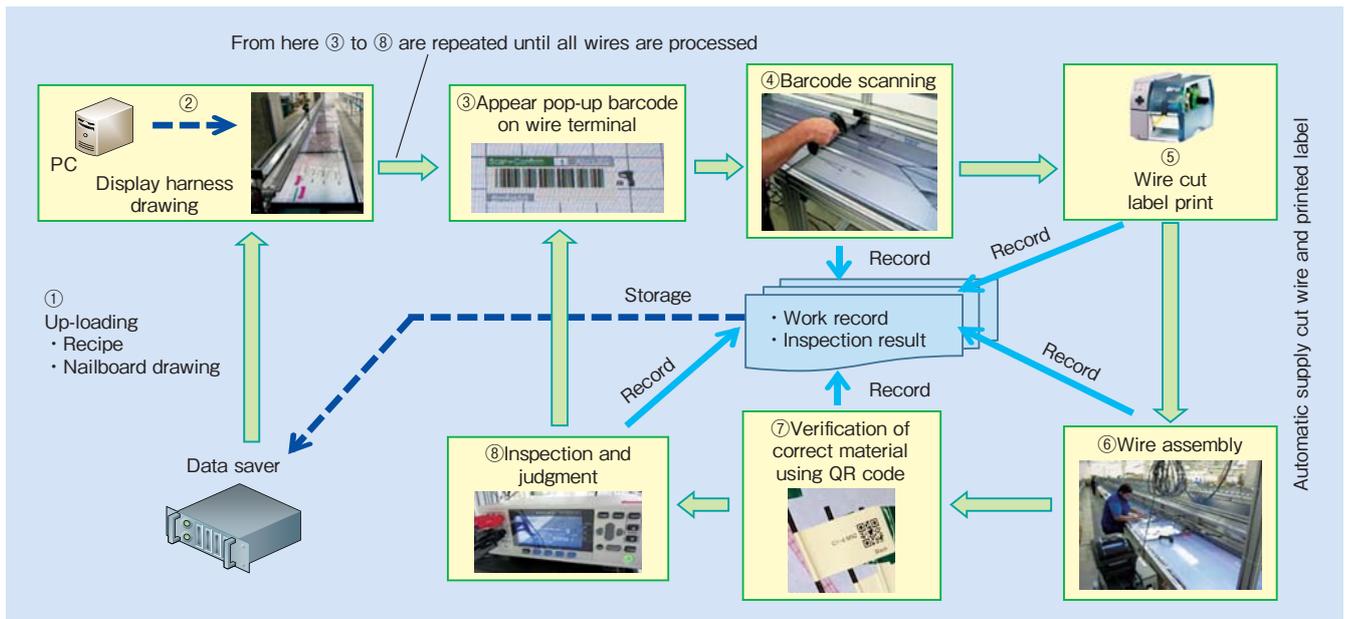


図5 デジタルハーネスボードの動作概要
Fig. 5 Summary of digital harness board operation

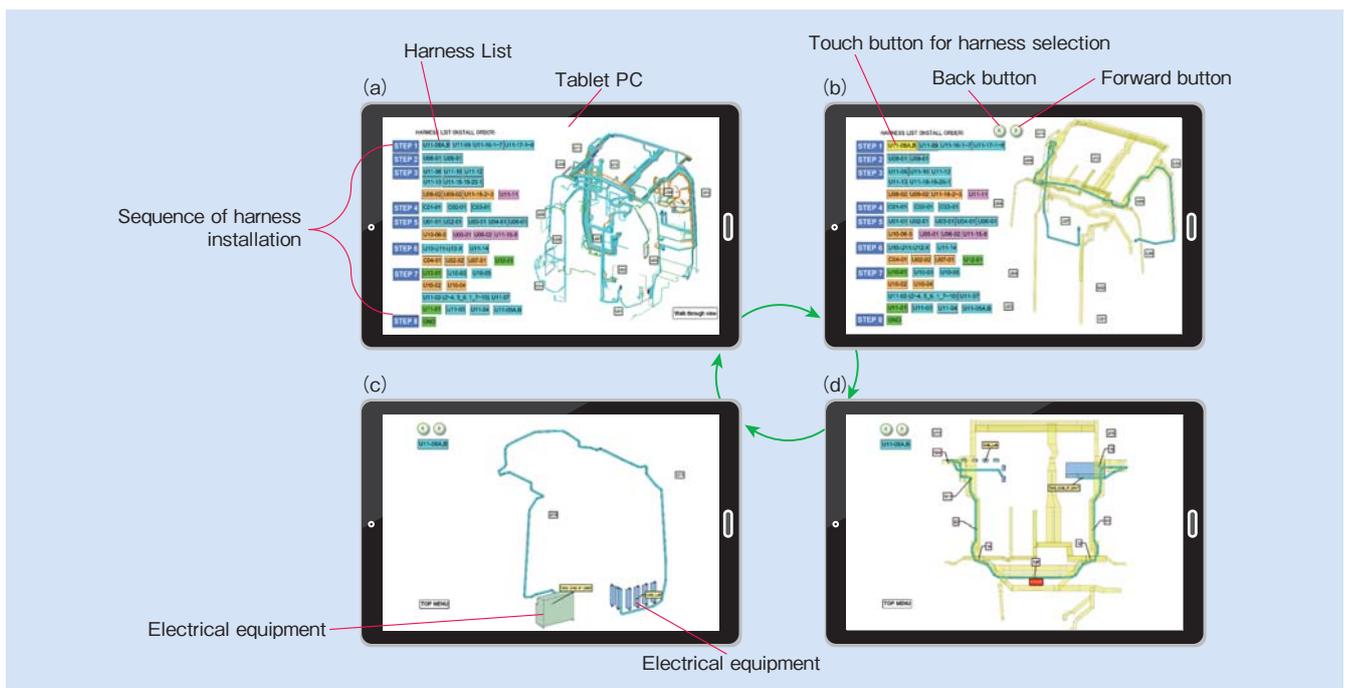


図6 ぎ装配線作業のサポートツールの動作概要
(a) メインメニュー (b) ハーネス選択 (c) ハーネス全体図と接続機器 (d) 基準点・通過点、ルート確認

Fig. 6 Operation navigation system for wiring installation

(a) main menu (b) selection of harness (c) entire harness view and electrical equipment (d) routing check with reference point · passing point

ス本体および3D-CAD上の車両にロケーション番号を定義し、それらを合わせるようにぎ装配線することで、配線経路間違い防止や作業時間短縮が可能となる。

- ・ぎ装配線作業者の目線に合わせた参照が可能（初期設定は、作業者の立ち位置を考慮したアングル図となっているが、必要に応じ自由に回転・拡大表示が可能）。
- ・ぎ装配線作業前の確認や現車がない車両開発時期でも、作業教育などトレーニングツールとして活用できる。

なお、ツールの媒体としてタブレットPCより紙の方が好まれる鉄道車両メーカーには、紙版のサポートツールを提供している。同様に、グローバル生産を行う鉄道車両メーカーには、日本語版の他、英語版など現地言語対応版を提供している。

このぎ装配線作業のサポートツールは、英国の鉄道プロジェクト⁴⁾に初めて導入した。このサポートツールを使ったぎ装作業の指示は、3次元モデル図で示しているため、作業者は完成状態がイメージしやすくなり、熟練作業でなくても容易に作業が可能になった。また作業効率も向上し、布設作業時間が従来より50%低減⁴⁾したという効果を得られた。

3. 結 言

鉄道車両内の配線設計、ハーネス製造技術、ぎ装配線作業のサポートツールを検討し、以下の効果を得た。

(1) 3D-CADによる配線設計

- ・3D-CADでの配線設計時間の短縮
- ・設計段階での不具合回避、電線量評価などのフロントローディング（プロジェクトリードタイム遵守）

(2) IoT技術を用いたデジタルハーネスボード

- ・製作図面の直接表示により品種替え段取り時間の短縮および装置台数の削減
- ・作業ナビゲーション、部材の自動加工や自動配膳による作業時間の短縮

(3) ぎ装配線作業のサポートツール

- ・3D-CAD図を使ったアニメーションでの作業指示による作業時間の短縮

これらの技術により鉄道車両内での配線に関わる多様な課題を解決できるものと考えられる。また、鉄道車両と同様に各種電線を複雑な経路を取りながら配線する航空機や自動車へ適用可能であり、今後は導入分野の拡大も図っていく。

4. 謝 辞

本開発の推進にあたり、岩崎充雄氏、古川和彦氏、佐川雄二氏、岡本健司氏、是石一任氏、加賀田暁氏（いずれも日立製作所）、佐久間淳氏（Hitachi Rail Europe）には、本技術導入の貴重な機会、多数の助言をいただいた。ここに感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 藤本, 他: 欧州標準規格対応鉄道車両用ハロゲンフリー電線「POLYENEX」の開発, 鉄道車両と技術, vol.15 (2010), No.12, p.12-15.
- 2) 北林: 日本の鉄道車両開発マネジメントの特徴とグローバル展開, The Journal of Japanese Operations Management and Strategy, Vol. 6 (2016), No. 1, p.34-54.
- 3) 日立金属ニュースリリース, 鉄道用電線事業強化に向け欧州拠点にハーネス組立ラインを導入(2016.9)
- 4) 岩崎, 他: グローバル市場向けセミオーダー標準型近郊車両 Class 385 の開発 JREA, vol.60 (2017), No.2, p.41057-410615.



川瀬 賢司

Kenji Kawase

日立金属株式会社
電線材料カンパニー
電線統括部

IEC TC20 および TC9 専門家委員

(IEC: International Electrotechnical Commission)



青木 克樹

Katsuju Aoki

日立金属株式会社
電線材料カンパニー
電線統括部

山本 来布

Raiju Yamamoto

日立金属株式会社
電線材料カンパニー
電線統括部