

# スマートな輸送を実現する 最先端自動運転システム技術

Dario Romano

Salvatore Zazzaro

Vincenzo Improta

Luca Lenzi

Angelo Surini

Luca Niro

革新的なスマートシティを構成するモビリティ要件により、インフォテインメントや無線通信システムとの完全な統合を特徴とする、新しい自動運転メトロシステムの改良が促されている。近年、世界中で複数の新型自動運転システムが提供されるとともに、従来の路線がより効率的な無人の自動運転メトロシステムへと転換されている。増大していく輸送システムの需要に対しては、エネルギー削減目標および運用コストの最適化を達成し、高い性能を備え、かつ人的エラーを最小限に抑えた設計の鉄道車両で応える必要がある。

輸送能力に対する要求は、それぞれの事業者によって大きく異なる場合がある。同じシステムでもピーク時には大き

な変動が想定されるため、安全性や性能レベルを損なうことなく新たな要求を満たせる柔軟かつ効率的な車両の開発が求められる。

列車運行とエネルギーコストの最適化技術においては、24時間の連続運転の中で自動的に列車の編成と運行間隔を管理する能力、および高い信頼性と診断能力が重要なアドバンテージとなり、これらの特徴を有した最新の車両に対する需要が高まっている。

日立レールイタリア社は、こうした設計思想に基づいて、高度な顧客ニーズに応える先端的な自動運転車両を提供している。

## 1. はじめに

大量輸送システムのエネルギー効率の改善は、鉄道市場の将来にとって非常に重要な課題である。電力消費の削減は、環境に影響を及ぼすのみならず、特に欧州において増大しているエネルギーコストに関わる問題でもある。

運用コストの最適化、環境保全のための省エネルギー技術、および高度なインフォテインメントと旅客情報システム (PIS: Passenger Information System) の統合は、スマートシティの近未来における新しいインターモーダルモビリティの基礎となり、従来よりも大きな自動運転メトロシステムの拡大を促す。さらに、無人列車運転 (UTO: Unattended Train Operation) の導入によって、列車の運行本数を増加しサービスの柔軟性を高めることで、さらに大きな経済的メリットを得ることもできる。

都市部における新型輸送システムの構築に際し、自動運転システムは環境問題や持続可能な開発の面で有利だけでなく、従来のメトロに比べ運用とサービスにかかる費用を削減することもできる。加えて、より柔軟な運行により

ピーク時の輸送頻度を増やせることも考慮すべきである。標準的なメトロシステムでは実現不可能なこの柔軟性は、加速・減速曲線の最適化によるエネルギー消費量の削減を可能にするほか、緻密な時刻表に沿った運行でターミナルでの停車時間を短縮することもできる。

自動運転システムにおける経験を踏まえ、車両の可用性、保全性および信頼性を高める先進的なソリューションによって、日立レールイタリア社 (HRI: Hitachi Rail Italy) は前身のアンサルドブレダ社 (AnsaldoBreda S.p.A.) より20年間にわたり、柔軟性、信頼性、安全性そして快適性に富んだ自動運転車両プラットフォームを幅広く開発してきた。

システム工学的アプローチと各種技術における細かな制御は、HRIの新型モジュラー自動運転メトロプラットフォームの基礎であり、最先端かつ使用実績のある設備とコンポーネントを総合的に組み合わせ、市場の主要な安全性基準 (耐衝撃性および耐火/防煙性) を十分に満たしている。

再構成の容易な自動運転車両プラットフォームは、製品をカスタマイズすることで市場およびオペレータのニーズに合わせ、広範で柔軟な応用を発揮し、ライフサイクルコストを削減し、高い信頼性と可用性を確保するべく設計されている。

各種様式と性能特性を明確化するための、設計者の心象と設計図、リアルなコンピュータシミュレーションを交えた詳細設計の結果、寸法、車両内外のレイアウト構成、性能および輸送能力の観点から、列車をカスタマイズできる。ビルディングブロック方式で柔軟に組合せ可能な自社製品群と使用実績のある社外購入品は列車制御管理システム(TCMS)に容易に接続可能であり、開発時間の短縮に寄与している。

われわれの自動運転プラットフォーム(図1参照)は2両から6両までの車両単位で構成が可能である(アルミ合金製の車体、1両の長さ12.5 mから18.5 m、幅2.6 mから3 m)。従来の連結式の車両の場合、車両編成をインプットすることによって、牽(けん)引と制動の性能要件および総合的な輸送能力に基づき、牽引力と補助動力、および動力台車と付随台車の数を最適化できる。

前記のように、自動運転プラットフォームは、適用実績のある技術モジュールに基づき、TCMSおよび冗長性のある自動列車制御システム(ATC: Automatic Train Control/CBTC: Communications-based Train Control)に完全に統合されている。

これによって、以下の機能を実現している。

- (1) 要求性能およびさまざまな外部環境条件(悪条件を含む)に沿った速度線図のチューニング
- (2) 自動運転時の力行/だ行/制動曲線の補正によるエネルギー消費の最適化、およびブレーキパッドの摩耗を最小限に留める電気力学的ブレーキと摩擦ブレーキの応用の最適化
- (3) 車両ドアまたは駅ホームドアの故障下においても正確な停車と安全な乗車を保証する車載設備と駅設備間、特に駅ホームドアと車両ドア間の機能的連動
- (4) 滑らかで快適な列車の停止を可能にする正確なジャーク制御と、停止目標を通り越す、または停止目標に届かない場合の、自動車両再配置による駅ホームでの停止精度の向上(±30 cm)
- (5) 各車両-中央制御室の統合による車両位置判断
- (6) 故障した車両の別の車両による自動救援
- (7) 朝の業務開始に伴い、車両基地に停車中の車両を自動的に起動する集中型無線コマンド

完全自動運転車両の根底には、高い機能性と快適性を備えた革新的な設計がある。従来の車両との主な違いは、運転室がなくフロントガラスが大きいことで、乗客が走路を見通すパノラマを楽しむことができる点である(図2参照)。

現代の構造的な都市環境に適した車両は乗客の快適性を追求した設計となっていて、環境に配慮した空調設備と最先端のインフォテインメントシステムが全車両に備わっている。ほとんどの設備は床下内に設置されているため、乗客の動きを阻害することはない。窓が大きく貫通路が広

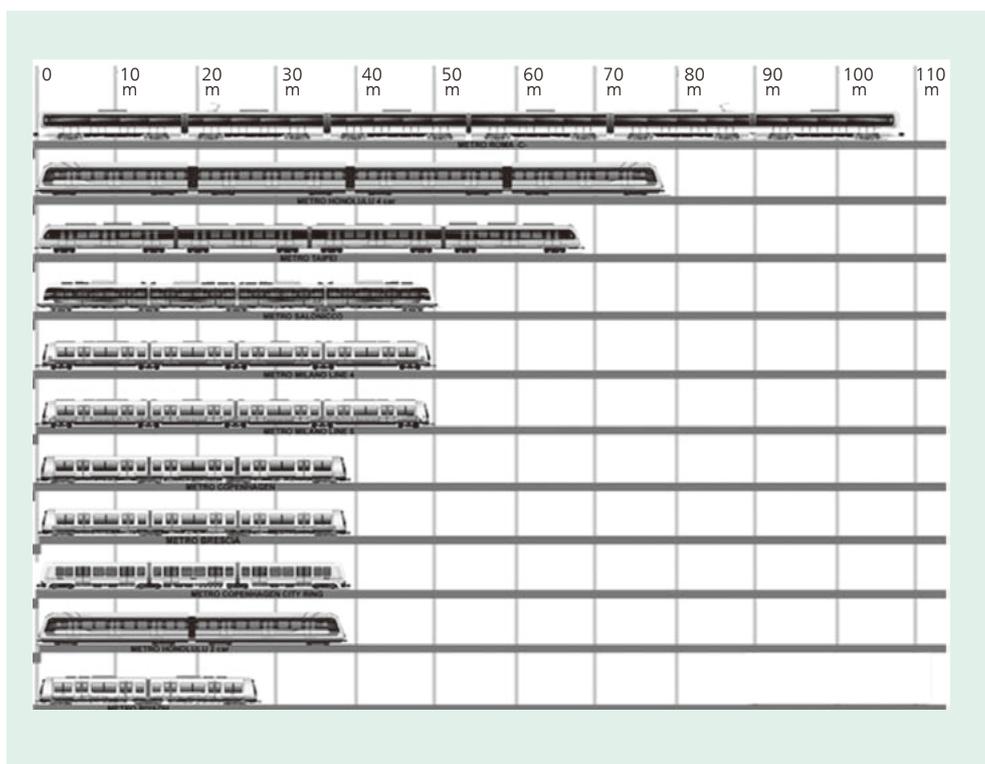


図1 | 自動運転プラットフォーム  
2両から6両の従来型連結式自動運転車両のバリエーションを示す。



図2 | フロントガラス

自動運転列車の主な特徴は、運転室がなくフロントガラスが大きいことである。乗客は景観を楽しむことができる。

いため車両内を自由に移動でき、快適性と安心感が向上する。

また、このような設計ソリューションにより、車椅子やベビーカー、自転車のためのスペースを含む「空間」を設けることができる。清掃や点検を容易かつ安全にできるよう、床に固定せずに側壁に片面だけ完全固定される座席は、個々の顧客要求に応じてさまざまなレイアウトで組み立てることができる。

車両を構成する設備全般において、われわれが特に注意を払った点は、メンテナンスが容易であること、迅速な交換が可能であること、そして高いアクセシビリティを持つことである。また、車両の耐用期間が終了した時点で容易に処分できるよう、ほとんどの材料は完全なリサイクルが可能となっている。

さらに、各種車載システムは電磁放射と騒音を低減するべく設計されている。また個人向け医療システム（ペースメーカーなど）への干渉を回避するため、最新の規格に従って静磁場を最小限に抑えている。

安全性とセキュリティはHRIの自動運転車両技術の基本的特徴であり、そのために以下の施策を実行している。

- (1) 人的過誤の防止に役立つ自動制御システムの設置
- (2) 単一点障害を回避する主要車載設備の冗長化
- (3) 自動化システムに重大な障害が発生した際に列車の回復を可能にする緊急ドライバーデスクの搭載
- (4) 車載カメラの映像を記録し中央制御室へ送信する統合ビデオ監視システム（CCTV：Closed Circuit Television）の活用
- (5) 緊急時の乗客との通信システム
- (6) 客車内および機械部分への火災検知システムの設置
- (7) 完全一体型高度診断管理システムによって制御センサーと常時接続するリアルタイム監視

(8) データバックアップ用の車載イベントレコーダの搭載

## 2. HRI自動運転車両の応用

1990年代末に設計され、順調に2002年から稼働したコペンハーゲン地下鉄自動運転メトロに始まり、今日に至るまで、HRIの自動運転プラットフォームは世界中で改良され続けてきた。ミラノ地下鉄M4線およびM5線、テッサロニキ（4両）、ブレスシア（3両）、リヤド（2両）の車両は同じ自動運転メトロプラットフォームに属する。これらの車両の特徴は、連結式ボギー台車と車両間の貫通路を備えた軽量アルミニウム製であることと、油圧ブレーキおよび車両の運動によって作動する新開発の自然空冷機能を備えるIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）インバータ、そして750 V第三軌条集電装置である。台北メトロは軽量自動運転プラットフォームをアジア市場に合わせてカスタマイズしたもので、アルミニウム車両4両、リベット固定、1車両当たり2台の軽量車軸を採用したボギー台車、全動力車、750 V第三軌条集電装置を特徴とする。

プラットフォームの進化は2018年末に稼働見込みの新コペンハーゲン地下鉄環状線に代表される。新たなCBTC信号システムを搭載すべく車両設計を改良した結果、運転間隔を短縮し、沿線設備を最小限に削減することが可能となった。

一方で、2014年末から稼働している6両編成のローマ地下鉄C線がHRIとして最初の重量自動運転メトロプラットフォーム（HRV：Heavy Rail Vehicle）である。設計アーキテクチャの理念は、アルミニウム製で貫通路および1,500 Vパンタグラフ給電を備える欧州の標準的な6両メトロコンセプトを、自動運転列車の要件に合わせて改良したものであった。軽量自動運転列車プラットフォームとの主な違いは、1車両当たり2台の台車（動力車は6両のうち4両）、空気式ブレーキシステム、およびMVB（Multifunction Vehicle Bus）経由でATCと接続する強制空冷機能付きIGBTコンバータである。本プロジェクトでは、市場のニーズに合わせて自動運転のコンセプトを修正できるプラットフォームの柔軟性を実証する。

近年、Velim Test Ring（チェコ共和国）において試運転段階にあるリマ地下鉄自動運転列車は、新世代のHRV列車構成の一例である。このメトロでは、HRIの欧州用従来型メトロプラットフォームであるミラノ地下鉄ATM（Azienda Trasporti Milanese）M1線およびM2線用の地下鉄車両「レオナルド」に最新の自動運転CBTC技術を組み合わせ、アルミニウム製の車両6台と高性能ヒートパイプIGBTインバータ、HVAC（Heating, Ventilation, and Air Conditioning）システム、および1,500 Vパンタグ

表1 | 自動運転プラットフォームのメインパラメータ

プラットフォームポートフォリオに含まれる各種の列車タイプの主な特徴と性能を比較する。

列車データタイプ	Europeanタイプ	Eastタイプ	USAタイプ
列車構成	2両から4両	2両から4両	2両から4両
ボギー台車構成	連結式、 トレーラ1	剛結骨組2モータ x車両	剛結骨組2モータ x車両
車体タイプ	溶接アルミニウム	リベット固定アル ミニウム	溶接アルミニウム
線路電圧	750 VDC		
最大速度 [km/時]	100	90	113
加速	1.1 m/s <sup>2</sup>	1.2 m/s <sup>2</sup>	1.4 m/s <sup>2</sup>
サービス減速	1.1 m/s <sup>2</sup>	1.0 m/s <sup>2</sup>	1.3 m/s <sup>2</sup>
非常ブレーキ	1.2 m/s <sup>2</sup>	1.3 m/s <sup>2</sup>	1.3 m/s <sup>2</sup>
推進システム	IGBT- 自然空冷	IGBT- 強制空冷	IGBT- 強制空冷
制動システム	油圧		
HVAC	スクロール圧縮機 (インバータタイプ利用可能)		
ドアタイプ	プラグ&スライド	スライド	プラグ&スライド
片側/車両当たりの ドア数	2/4	3/6	3/6
列車制御	ATC/CBTC	CBTC	ATC
TCMS (列車制御お よび監視システム)	MVB/イーサネット*IEC 61375		
補助システム	400 VAC, 50 Hz 自然空冷	380 VAC, 60 Hz 強制空冷	230/108 VAC, 60 Hz 自然空冷
LVPS (低圧電源)	24 VDC, IGBT, 自然空冷	110 VDC, IGBT, 強制空冷	37.5/24 VDC, IGBT, 自然空冷

注：略語説明ほか IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), USA (United States of America), ATC (Automatic Train Control), CBTC (Communications-based Train Control), MVB (Multifunction Vehicle Bus), HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning), TCMS (Train Control and Monitoring System), LVPS (Low Voltage Power Supply)  
\* イーサネットは、富士ゼロックス株式会社の登録商標である。

ラフを備えている。

異なる市場の需要に合わせて自動運転プラットフォームを改良する設計能力のもう一つの例は、2018年末に運転開始予定のホノルル地下鉄プロジェクトである。この列車は、Europeanメトロの標準的アーキテクチャである4台のアルミニウム車両ユニット構成と貫通路、8台のボギー台車を備えながらも、完全動力車で、給電は各車両独立、750 V第三軌条集電装置という北米固有の要件および規格に沿って設計されている。

3つのメトロプラットフォームである、Europeanタイプ (コペンハーゲン地下鉄)、Eastタイプ (台北メトロ)、USAタイプ (ホノルル地下鉄) におけるHRI自動運転車両の主な特徴を表1にまとめて示す。

### 3. 自動運転列車設計アーキテクチャのアプローチ

HRIの設計アプローチは、図3に示した「Vモデル」に基づくものであり、特定のツールによりサポートされる、要件の管理と開発プロセスの正確な適用を特徴とする。このアプローチにより、プラットフォームレベルから試験、試運転、および納入までの全段階で、発生した変更の適切な管理を含め、顧客要件をカバーする詳細設計が保証される。

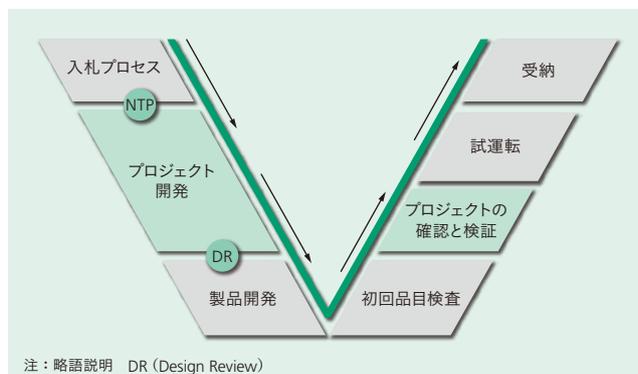


図3 | Vモデル

Vモデルは、要求から受納までの複雑なシステムの詳細な設計ライフサイクルを表現するモデルである。

### 3.1 システムとサブシステムのアーキテクチャ

- (1) 一般的な車両間高圧線もしくは車両ごとに独立した給電を採用した、第三軌条集電装置、またはパンタグラフによる標準的ながら柔軟な高電圧集電仕様
- (2) 油圧 (パッシブ) または空気式 (アクティブ) システムを備える摩擦ブレーキ
- (3) 救援機能を可能にする自動連結器
- (4) 車両の運動により作動する自然冷却または強制空冷機能を備える最新の高性能IGBT技術に基づく推進インバータ
- (5) 低騒音で小型の高性能スクロール圧縮機を備えるHVACとインバータ技術の供給
- (6) 戸袋、プラグ/スライドまたはスライドドアシステムに、ATC制御の緊急ドア無効機能 (EMDO: Emergency Doors Override) を搭載

自動運転列車の一般的なTCMSアーキテクチャを図4に示す。

加速とブレーキのリアルタイム制御信号は、標準的なMVB冗長ネットワーク経由で交換される (IEC 61375準拠)。この設計により、単一点障害による通常の列車運行への影響を防ぐことができる。

診断ネットワークはイーサネット通信に基づき (IEC 61375-2-5準拠)、診断、PISおよびCCTVシステムに影響する単一点障害を回避するリングアーキテクチャを備えており、最新のリアルタイムプロトコル [TRDP (Train Real-time Data Protocol) として] が使用される。乗客用のWi-Fi<sup>※)</sup> 接続も提供されるため、トンネル内でもインターネットを利用できる。

このネットワークと接続するサブシステム制御ユニットは、一般にはドア、HVAC、火災検知などのためのものである。さらに、各制御システムとポータブル試験装置 (PTU: Portable Test Unit) をリモート接続するイーサネット

※) Wi-Fiは、Wi-Fi Allianceの登録商標である。

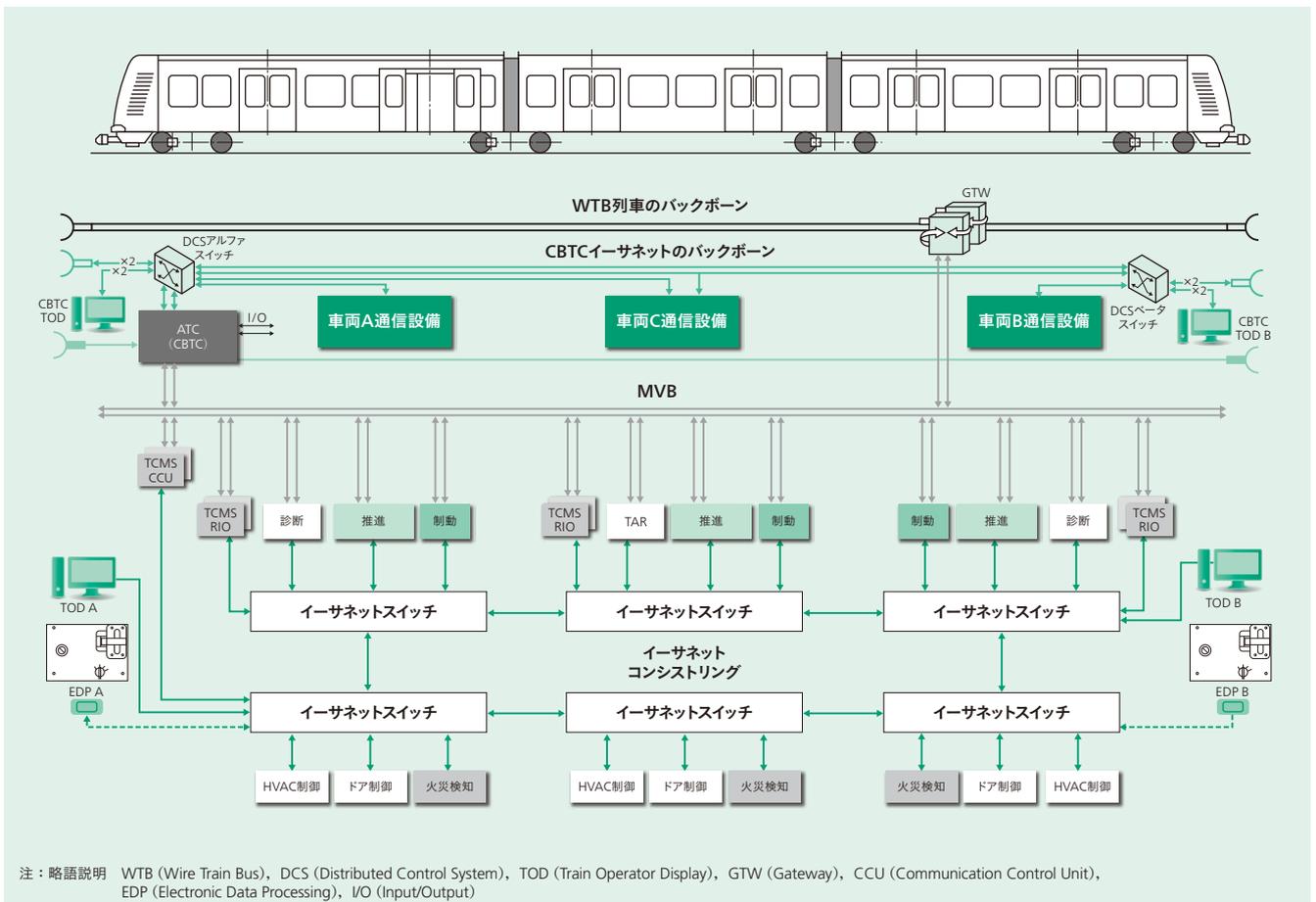


図4 | TCMSアーキテクチャ

MVB、WTBおよびイーサネットネットワーク経路ですべてのサブシステム（車載信号を含める）を統合するTCMSの標準的ソリューションを例示する。

トのユニバーサルポートを、運転室または列車内の任意の場所に配置できる。これは列車の1か所からログファイルやアップデートソフトウェアをダウンロードできるようにするためであるが、トラブルシューティングやメンテナンス操作の際にも大きなメリットとなる。

緊急時、手動運転に切り替える際に運転者を支援するため、必要に応じて超小型の列車オペレータディスプレイ（TOD：Train Operator Display）を緊急運転パネルに設置することができる。TODのレイアウトはHRI標準プラットフォームのアプローチに準じて、列車の状態診断、警告および速度情報を簡易な操作で提供するユーザーフレンドリーな設計となっている（図5参照）。また表示レイアウトは、当局またはクライアントの要求に従って調整することができる。

安全性に影響する単一点障害を回避するため、専用のDC（Direct Current）/DC電源により給電される、安全関連信号用の引き通し線は、配線により接続されることで直接的かつ安全にATCシステム上で検出される。

TCMSネットワークは通信システムとも直接接続しているため、リアルタイムで中央制御室から列車を監視できる。

ATCまたはCBTCの全構成において、TCMSは同一仕様の信号システムと接続され、車両に搭載された特定の信号システムとは無関係に自立しているため、標準的な車両システムおよびサブシステムの設計が可能になり、試験と試運転の時間を短縮できる。



図5 | TODレイアウトビュー

診断および警告のために緊急運転者デスクに設置されている列車オペレータディスプレイ（タッチスクリーン）のレイアウトは、顧客の要求に従って簡単にカスタマイズできる。

複数ユニット運転のためにMVB/WTB (Wire Train Bus) ゲートウェイ (GTW : Gateway) を設置すると、ユニット間で運転時の加速・ブレーキ通信が可能になる。

駆動と制動のシステムの間で同じ制御と融合のアプローチを採用することにより、加速仕様を顧客の要求に沿ってカスタマイズすることができるため、車両間でHV (High Voltage) 接続を分離するか、共通とするかの選択が可能であり、使用実績のあるコンポーネントの再利用が可能となる。

高い冗長性を確保するため、架橋できない線間電圧ギャップ要件を満たすよう、列車の車両間で分離されたHVリンク、または共通HVリンクを使用した設計 (図6参照) の2種類の加速仕様を応用できる。どちらの場合でも、同じHRI推進機器が採用される。

### 3.2 効率設計: IGBTコンバータの冷却

HRIは、モータファンを装備しない車両においても、快適性、騒音、効率、信頼性、保全性およびコストの観点から、車両の運動により作動する自然空冷システムを開発した。このシステムでは、列車の床下に標準的なアルミニウムヒートシンクを配置している。

このような自然空冷システムにおいては、通常、車両が動いている間には列車の速度自体に起因する気流によって冷却量が大きくなる一方、静止状態では冷却量が少なくなる。しかしながら、以下を考慮する必要がある。

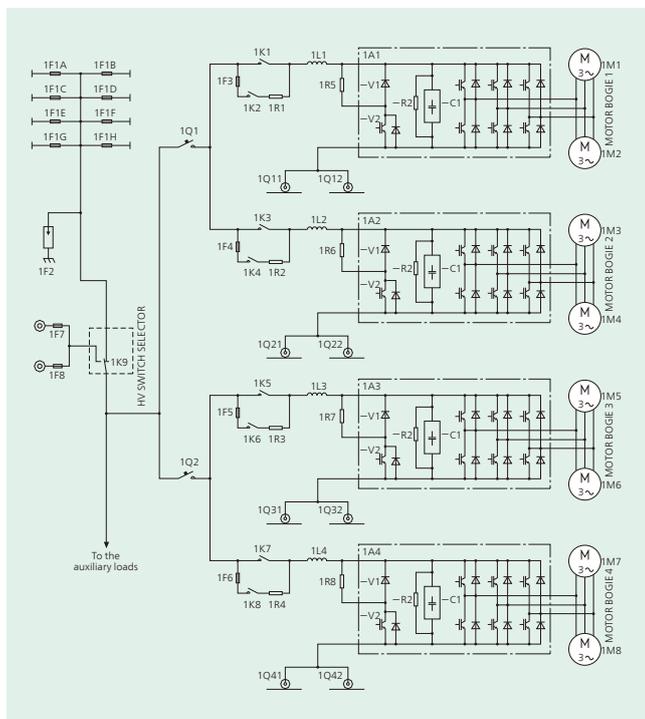


図6 | 共通車両間HVリンク

高レベルの冗長性を保証するために共通車両間HVリンクを使用した一般的な牽引設計を示す。

- (1) 加速および制動段階で生成されるピークロスは列車の最高速度と一致しない。
- (2) 列車の最高速度におけるだ行段階で損失は非常に少ない。
- (3) 床下の気流は層流とはほど遠いため、フィンに流入する空気の流れは列車速度と直結しない。

システムの熱的性能を最大化するため、風洞試験室で可変熱インピーダンスのモデルを検証し、コンバータおよびその他の床下設備の機械的配列を最適化した (図7参照)。HRIメトロの応用でこの冷却アプローチを使用すると、運転モード時に30°C未満のIGBTジャンクション熱リップルと、110°C未満の最大絶対ジャンクション温度を保証することができる。この技術は熱パイプソリューションよりも安価な代替手段である。

### 3.3 安全設計: 耐衝撃性における革新

最近ではいずれの新規プロジェクトでも耐衝撃性設計が必須要件となっている。メトロ車両においては、有事の際に衝撃を吸収する傾斜したノーズが一般的ではなく、同時に車両重量目標が非常に厳しいため、クラッシュボックスの設置は車両レイアウトに制約が生じることを意味する。

これらの理由から、2013年、HRIは複合材料でできた新世代の革新的クラッシュボックスの開発開始を決定した。「最先端」の鉄製クラッシュボックスと比較して、新しいクラッシュボックスはより優れた効率を持ち、軽量で、コストは同等でなければならないうえ、規格 (EN15227, EN45545, DIN6701) に準拠しなくてはならないため、開発は非常に困難な挑戦であった。

設計活動はクラッシュボックスの形状に関する新しいコンセプトの確認に始まり、続いて複合材料性質の最大化、原材料に対する機械的性質および耐火性、防煙性に関する複数の認定試験を行った。その間に、非常に複雑な材料表による正確なFEM (Finite Element Method) モデル (LS-DYNA ソルバ) がセットアップされ、EN15227 認証のた



図7 | 牽引コンバータのレイアウト

列車床下のインバータアルミニウムヒートシンクの配置によって、列車の運動に起因する気流により冷却される。

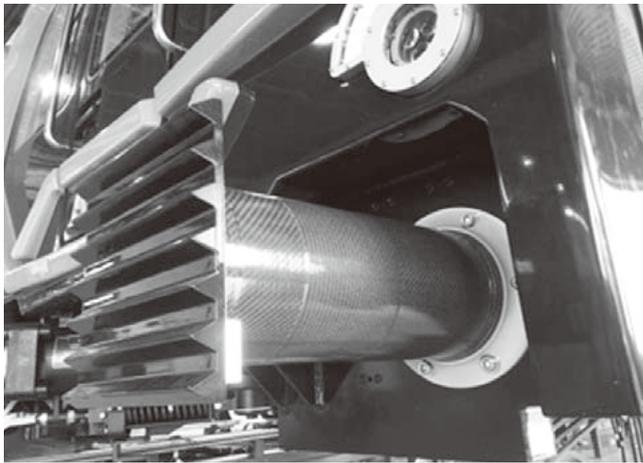


図8 | 複合材料クラッシュ装置

ミラノ地下鉄M1線、M2線用レオナルドに設置された新しい複合材料によるクラッシュボックスを示す。

めの実寸大衝突試験が実行され、成功した。

新世代の複合材料クラッシュボックスの主な特徴を以下に示す。

- (1) 同等の鉄製品より75%軽量である。
- (2) 負荷/ストローク応答に関するカスタマイズが非常に容易である。
- (3) 衝突安全性基準 (EN15227) に対して特許を取得した、運転室内の空間を必要としない安定化システムにより、運転室内への設置が容易である。
- (4) 同等の鉄製クラッシュボックスよりも高価だが、コスト上昇は15%未満である。

現在、この新たな複合材料によるソリューションは、地下鉄「レオナルド」(図8参照)、リマ地下鉄、ホノルル地下鉄にて実用化され、その改良版がミラノ地下鉄M4線およびテッサロニキ地下鉄に組み込まれている。

### 3.4 軽量設計: 連結式ボギー台車

コペンハーゲン地下鉄から始まった標準的な軽量自動運転メトロ用のボギー台車は、サンフランシスコの路面電車のものに由来するが、これはHRIの歴史において最初の連結式ボギー台車であった(図9参照)。このボギー台車は、車体との接合部分の高さが非常に低いこと、および旋回輪を支持する二次サスペンション上のまくらばりを考慮したコンパクト設計を特徴とする。これらの特徴は、軽量自動運転プラットフォームなどの連結式車両にボギー台車を設置する場合は必要不可欠である。

台車枠の連結は、溶接された鉄プレートと鍛造部品から構成し、対角線上に位置する球状の硬い接合部によって接続される2つの対称ハーフフレームによって実現される。この台車枠は、小型の金属/ゴムブッシュにより形成される一次サスペンション領域内のサイドフレームを非常に低

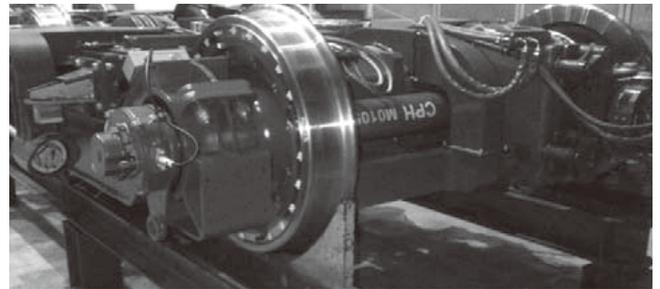


図9 | コペンハーゲンのモータボギー台車

すべての自動運転連結式車両構成に適用される連結式フレームを備えたモータボギー台車を示す。

いレベルに維持する。このブッシュの剛性はさほど低いものの、フレーム接合、最適化された空気バネおよび弾性車輪と組み合わせると、ボギー台車は走行安全性制限を順守して乗客の快適性を保ち、不規則な線路により発生する騒音を抑える能力を得る。

車体との接続に旋回輪を使用すると、ボギー台車は非常に鋭いカーブ(工場では半径50 m未満)を安全かつ滑らかに走行できる。牽引モータは、裏側で台車枠から弾力を持った状態で吊るされ、反対側ではギヤユニットから吊るされる。ギヤユニットは軸に圧入され、ブレーキ装置はギヤボックスにも設置される。まくらばりと台車枠の間の外部リンクにより、牽引接続が実現する。

台北ボギー台車の応用は、このタイプのボギー台車の進化の代表例である(図10参照)。このボギー台車は、台枠でより多くのスペースが利用できるため、リジッドフレームと従来型の仕様に基づいて設計されている。より鋭いカーブの線路を走行するため、まくらばりおよび旋回輪は維持される(台北では半径35 m未満のカーブがある)。一方で、一次サスペンションは軸箱ごとに2つの円錐状のバネにより実現される。モータは台車枠から完全に吊り下げられる一方、ギヤボックスユニットは吊り下げられておらず、両者間は歯車連結器によって接続されるのみである。ブレーキキャリアは台車枠に固定され、車輪は一体鋳造型で防音装置を設置できる。このようなボギー台車の主な特徴を表2に示す。

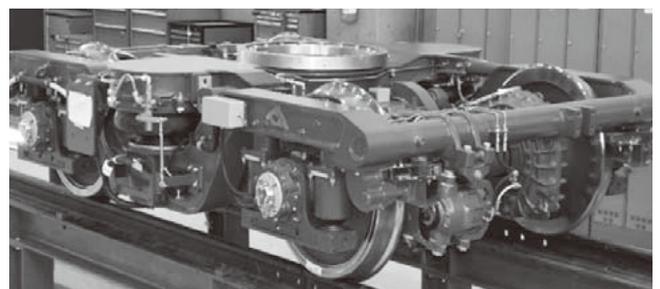


図10 | 台北のモータボギー台車

台北メトロ自動運転車両に適用されるリジッドフレームを備え、軸重量が減少し、急カーブに対応できるモータボギー台車を示す。

## 表2 | ボギー台車のパラメータ

連結式および剛結骨組の2種類のボギー台車設計の主な特性を示す。

パラメータ	コペンハーゲン地下鉄	台北メトロ
最大運転速度 [km/時]	90	90
最大静的軸負荷 [t]	13	12.5
最小走行半径曲線 [m]	50	35
車輪直径 (新品/摩耗) [mm]	711/660	710/660
ホイールベース [mm]	2,000	2,000
車体接続部の高さ [mm]	638	740

## 4. おわりに

HRIは、今後期待されるモビリティにおける要求や、ますます発展していく無人自動運転メトロシステム市場での新たなニーズに対し、最も柔軟で汎用性があり、改良されたソリューションを提供していくために、今後も大量輸送機関車両プラットフォームの改善に取り組んでいく所存である。

複雑な仕様によるシステムインテグレーション設計は、モジュラーと簡単に再構成可能なHRI無人自動運転車両プラットフォームの重要な基礎であり、ライフサイクル経費を軽減し、高い信頼性を保証するべく設計されている。車両は、寸法、レイアウト、性能、および輸送能力などに関する顧客のニーズによってオーダーメイドが可能である。

## 執筆者紹介



### Dario Romano

日立レールイタリア社 ナポリ工場 所属  
現在、大量輸送機関設計および牽引部品工学分野に従事



### Salvatore Zazzaro

日立レールイタリア社 ナポリ工場 所属  
現在、列車システム技術分野に従事



### Vincenzo Improta

日立レールイタリア社 ナポリ工場 所属  
現在、牽引コンバータ工学分野に従事



### Luca Lenzi

日立レールイタリア社 ビストイア工場 所属  
現在、車体工学分野に従事



### Angelo Surini

日立レールイタリア社 ビストイア工場 所属  
現在、構造安全性分野に従事



### Luca Niro

日立レールイタリア社 ビストイア工場 所属  
現在、ボギー台車工学分野に従事