

— 207 —

一方、インターネットの普及により、イーサネット伝送技術は高速化・汎用化し、伝送機器の信頼性、コスト、技術者の数などの点において利用しやすくなってきている。

また、欧州を中心として国際直通運転を実現する車両制御システム規格(IEC61375, TCN: Train Communication Network)のイーサネット対応についての審議が国際標準化機関の作業部会 IEC/TC9/WG43 において精力的に行われている。³⁾

このような背景の中で、車両制御システムにはこれまで以上の高機能化、信頼性が要求されており、イーサネット技術を採用し、ネットワークを再構築した次世代車両制御システム (INTEROS : INtegrated Train control/communication networks for Evolvable Railway Operation System「拡張可能な列車制御統合ネットワーク」)の開発を進めている。^{4),5)}

2. INTEROS の開発概要

INTEROS では開発コンセプトとして「信頼性の向上」、「サービス向上」、「次世代の首都圏鉄道システムへの対応」、「国際規格への対応」を掲げている。また、機能別ネットワークの考え方を導入し、列車内のネットワークを、走行に関する情報を司る「制御系ネットワーク」、機器のモニタリング情報やメンテナンスに必要な情報等を司る「状態監視系ネットワーク」、お客様へ提供する動画・静止画等のコンテンツ情報を扱う「情報系ネットワーク」に分割している。

これらの開発方針にもとづき、本開発では「集中方式」「自律分散方式」の2方式のシステムを検討し、それぞれを「INTEROS-A」、「INTEROS-C」として開発した。以下に「集中方式」、「自律分散方式」のそれぞれの特徴を示す。TIMS 及び INTEROS のネットワーク構成のイメージを図1に示す。

(1) 集中方式(INTEROS-A)

従来の TIMS では各号車に端末装置を搭載し、当該車両に接続している機器を接続し制御していたのに対し、INTEROS-A では TIMS で実現していた端末装置の機能の3両～5両分(主回路の制御単位)を、今回開発した1つの端末装置に集約した。これにより部品点数削減を実現し、信頼性の向上を図った。また、端末装置で実現していた機能のほとんどを中央装置へ移管し、端末装置では、電制ブレーキと空制ブレーキの動作割合を制御する電空ブレンディング制御などの高い応答速度を必要とする機能のみを実装した。

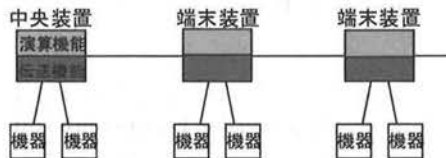
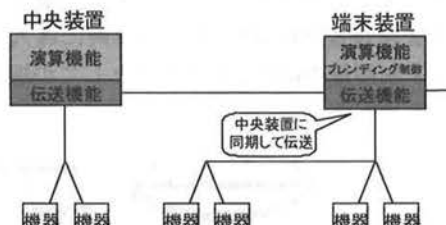
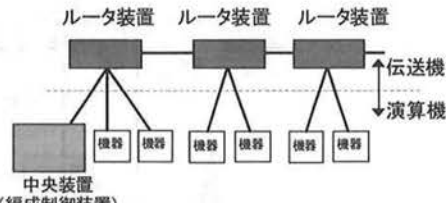
伝送機能に関しては、TIMS では中央装置が車両制御システム内の伝送制御、各機器と直接接続している中央装置・端末装置が当該機器との伝送タイミングを制御していたのに対し、INTEROS-A では、中央装置において伝送タイミングの一括管理を行い、端末装置を経由して機器まで、完全同期による伝送トラフィックの制御を実現した。

(2) 自律分散方式(INTEROS-C)

INTEROS-C では、従来の TIMS で実現していた各機能の演算部を中央装置に集約した。TIMS において各号車に搭載している端末装置の機能は、機器との伝送機能のみに特化した。これにより端末装置から演算部を削減し信頼性の向上を図った。なお、中央装置と端末装置の有する機能との差異を明確化するため、それぞれ、編成制御装置、ルータ装置と名付けた。

車両制御システム内の伝送はルータ装置間の伝送と、ルータ装置と機器間の伝送を同期しない非同期方式とし、編成制御装置が伝送タイミングの制御に関与しないシステムを実現した。これにより、分散型のシステムを実現することができた。具体的には、編成制御装置を介さない機能の実現や、編成制御装置がダウンしたときにも、他の機器が最低限の機能の動作をバックアップする縮退機能を実現している。

表 1 INTEROS 各方式の特徴

	特徴
TIMS (既存車両のシステム)	先頭車に中央装置、各車に端末装置を配置し、各装置が演算・伝送機能を持つ 
集中方式 (INTEROS-A)	- 端末装置の制御機能を制御単位毎(3両～5両)に集約 - 伝送タイミングは中央装置が一括管理 
自律分散方式 (INTEROS-C)	- 演算機能を中央装置に、伝送機能をルータ装置に仕分けて単純化 - 伝送タイミングは非同期方式を採用 

3. 試験電車 MUE・Train への搭載

3. 1. INTEROS のシステム構成

本開発のシステムの動作検証するため、試験電車 MUE・Train⁶⁾を改造し、INTEROSを搭載した。1～3号車にINTEROS-A、5～7号車にINTEROS-Cを搭載して

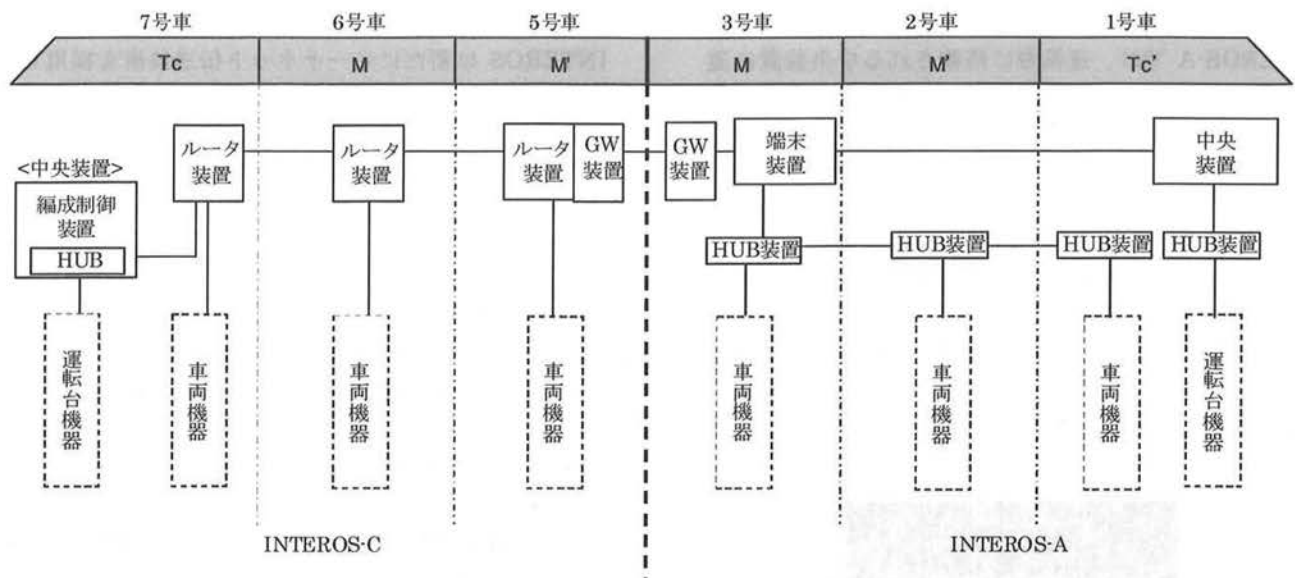


図2 MUE-TrainにおけるINTEROSシステム構成(制御系)

おり、模擬的に2編成を併結した構成とした。INTEROSのシステム構成を図2に示す。

運転台機器は運転台に搭載される中央装置、車両機器は各号車の床下に搭載されるHUB装置もしくはルータ装置を介してINTEROSと接続している。ゲートウェイ(GW)装置は他方式と併結する際に各方式間の差異を吸収するために配置し、MUE-Trainでは各方式の境界となる3号車、5号車にそれぞれ搭載している。

INTEROSは100BASE-TXをベースとして、ネットワークを構成しており、制御系は、常に正常動作であることが求められるため、異常時における冗長性を考慮し2重系としている。プロトコルは機器制御情報(SDR)、機器状態情報(SD)などの周期的に送信するデータには、UDP/IPを採用しており、機器の故障トレースなどのイベント的な情報には、TCP/IPまたはUDP/IPを採用している。

INTEROSで実現するイーサネット伝送の信号振幅は、号車間を渡る車両間伝送については、標準電圧 $2V_{p-p}$ と昇圧 $8V_{p-p}$ の両方に対応している。鉄道車両における伝送路のノイズ環境を考慮して、MUE-Trainでは現在、昇圧を選択して伝送している。INTEROSと機器との間の車両内伝送は、標準の $2V_{p-p}$ の信号振幅を採用している。

INTEROSの基本仕様を表2にまとめる。

表2 INTEROS 基本仕様

基本仕様		
伝送速度		
100Mbps (100BASE-TX)		
信号振幅	車両間伝送	$8V_{p-p}$ (昇圧)/ $2V_{p-p}$ (標準)
	車両内伝送	$2V_{p-p}$ (標準)
冗長系	制御系	2重系
	状態監視系	1重系
	情報系	1重系
プロトコル	機器制御情報	UDP/IP
	機器状態情報	UDP/IP
	機器トレース	TCP/IP 及び UDP/IP

INTEROSの各機器インタフェースは100BASE-TXを採用し、MUE-Trainでは主要な機器について新たに100BASE-TXへの対応を行っている。車両改造の制約上、一部の機器については従来の伝送方式としている。

INTEROSに接続した機器のインタフェース仕様を表3に示す。

表3 各機器のインタフェース仕様一覧

機器区分	機器名	MUE-Train における インタフェース
運転台機器	INTEROS 運転台表示器 (No.1メータ表示器、 No.2メータ表示器、 INTEROS表示器)	100BASE-TX
	マスコン	
	放送装置 (乗務員用)	
	ATS-P	
	D-ATC	
	運転台IF (デジタル入出力)	
	新情報送受信装置 (無線データ伝送)	RS-485(※)
車両機器	VVVF インバータ装置	100BASE-TX
	SIV装置	
	ブレーキ制御装置	
	放送装置(客室用)	
	車両I/F (デジタル入出力)	
	ドア制御装置	接続なし(※)
	空調制御装置	20mA
	前面行先表示器 運行番号表示器	カレントループ伝送(※)

※ 実用化時には100BASE-TXを適用予定

3. 2. INTEROS-A のシステム構成

INTEROS-A では、運転台に搭載される中央装置に運転台機器、3号車床下に搭載される端末装置に車両機器が各号車の HUB 装置を経由して接続される構成となる。3号車の床下には GW 装置を搭載し、INTEROS-C との差異を吸収する。通常、編成併結は先頭車にて実施されるため、将来異なる方式の INTEROS を搭載した編成と併結する場合は、GW 機能を中央装置に内蔵することを想定している。

制御系・状態監視系における INTEROS-A の中央装置の搭載写真を図3に示す。伝送用のコネクタは、従来の TIMS の構成を踏襲し装置上部に集約している。

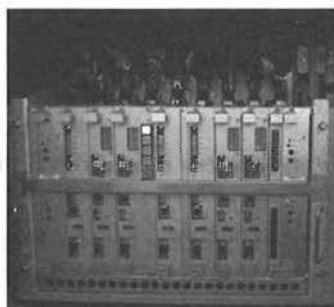


図3 中央装置 (INTEROS-A)

3. 3. INTEROS-C のシステム構成

INTEROS-C では、運転台機器、車両機器ともにルータ装置との接続となる(ただし、運転台機器は編成制御装置の HUB を経由して接続する)。5号車床下のルータ装置には GW 装置を内蔵し、INTEROS-A との差異を吸収する。将来異なる方式の INTEROS を搭載する編成と併結する場合、GW 機能付きルータ装置が先頭車に搭載される。

制御系・状態監視系における INTEROS-C の中央装置を図4に示す。伝送用のコネクタは、前面に配置している。

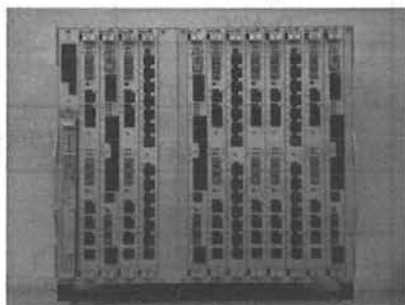


図4 中央装置 (INTEROS-C)

4. 今後の課題

4. 1. イーサネット未対応機器の仕様検討

表3において示したように、ドア制御装置や空調制御装置などは、車両改造の制約上、MUE-Train ではイーサネット化を実現していない。これらの機器のイーサネット化の検討を進めていく。

4. 2. 機能追加

INTEROS は新たにイーサネット伝送技術を採用した列車内のネットワークを構築し、車両の基本機能を導入して走行試験を行っている。今後、拡張機能の追加を予定しており、走行試験において、開発した2方式のシステムの動作検証を継続して実施していく。

5. おわりに

JR 東日本では、イーサネット技術を適用した100Mbpsの大容量のネットワークを構築するため、次世代車両制御システム(INTEROS)を開発し、検証を行っている。MUE-Train では「集中方式」と「自律分散方式」の2方式の INTEROS を1編成内で実現し、走行試験を行っている。

今後、INTEROS の実用化をするために、MUE-Train による走行試験で信頼性の実績を積み重ねると同時に運用上の課題を抽出し解決していく。また、汎用無線技術を活用し、これまで実現していない地上車上間の連携を活かした機能の導入についても今後検討を進め、導入していく予定である。

【参考文献】

- 1) 新井、白樫：列車情報管理装置 (TIMS) の10年と今後の取り組み、サイバネティクス Vol.12-No.1,2007
- 2) 長谷部、和田、梶川、角野、石原、宮内：列車情報管理装置 (TIMS) の開発—JR 東日本 E233 系 TIMS における冗長性設計の考え方—、第41回鉄道サイバネシンポジウム論文集、論文番号 519,2004
- 3) 落合：「鉄道内制御情報伝送技術と国際規格」、鉄道車両と技術 No.156, pp.2~7
- 4) 川崎、飯田、星野、杉山、祖父江：日本機械学会第16回鉄道技術連合シンポジウム J-Rail2009 講演論文集、論文番号 1401(2009)
- 5) 田淵、内山、川崎、甲村、中西、向井、橋口：平成22年電気学会全国大会 講演論文集、論文番号 5-065 (2010)
- 6) 田村、上倉、和木、片岡：209系試験電車 (MUE-Train) の概要と主な開発、鉄道車両と技術, No.151, P9-15