

次世代車両制御システム(INTEROS)の開発 (第二報)



菅谷 誠*



佐藤 真哉*



廣瀬 哲也*



松橋 正正*



佐藤 春雄*



祖父江 明彦**



星野 健太郎***

次期通勤電車での実用化をめざして次世代車両制御システム(INTEROS)を開発している。INTEROSでは、「信頼性向上」「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」を開発コンセプトに、インターネットの基本伝送技術である100Mbpsイーサネットをベースとして開発を進めている。本稿では、Technical Review No.36で報告後の開発内容で、共通インタフェイス仕様の開発、戸閉装置(ドア)インタフェイスの開発、経済運転支援、WiMAXを用いた地上-車上間通信による新たな機能開発、などについて述べる。これまでの開発で、INTEROSの基本的な機能は完成したと言える。

●キーワード: 鉄道列車内伝送系(TCN)、イーサネット(Ethernet)、国際規格、WiMAX、電気連結器

1. はじめに

鉄道車両の運転指令を主変換装置、ブレーキ制御装置などの各車両搭載機器に伝えたり、各車両搭載機器の状態情報を乗務員に表示したりする機能を実現する車両制御システムは、車両の情報をつかさどる中枢部としてその重要性を増している。当社では、車両情報管理装置(TIMIS: Train Information Management System)を多くの車両に導入し、車両間を引き通す制御線の削減、乗務員支援機能や検査機能など編成全体としての機能向上を図ってきた。^{1) 2) 3)}

また、地上-車上のシステム機能の最適配置を考慮し、首都圏エリアの刷新をめざして開発を進めている「次世代の首都圏鉄道システム」に対応するため、車両制御システムにはさらなる拡張性の向上が必要である。しかし、現状の伝送方式(アーケネット10Mbpsなど)では、伝送容量が頭打ちの状況にあり、伝送の高速化はできない。

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。

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。ネットワーク構成を図1に示す。

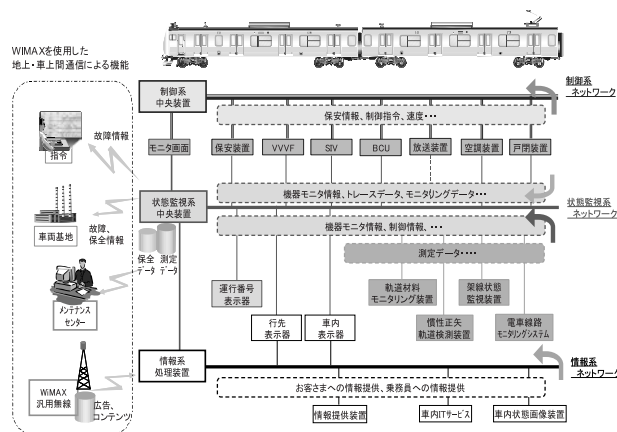


図1 INTEROSのネットワーク構成

開発は2010年度に試作を行い、209系試験電車(以下MUE-Train)に搭載し、走行制御機能など主に制御系の機能確認を実施した。2011年度からは、状態監視系を用いた各種データ取得確認やWiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)を用いた地上-車上間通信機能を検証した。

さらにこれらの開発に並行して、2012年度はINTEROSとのインタフェイス部の仕様において、信頼性・汎用性に加えて、異なる装置構成のINTEROSを許容できる拡張性の高いインタフェイス仕様の策定や、戸閉装置とのシステム構築、経済運転支援にとまう取り組みなどを行った。

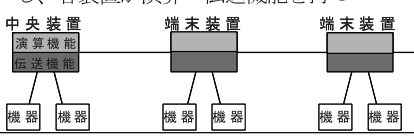
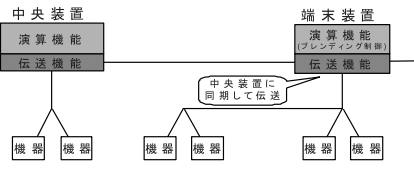
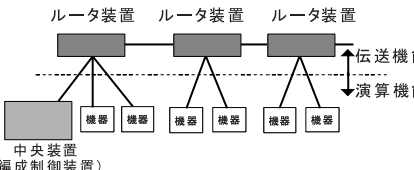
2. システムの装置構成

INTEROSの開発では、システムの機能要求を明確に定義することで、複数メーカーが同じシステムを製作できることを目標にしている。また、各メーカーが独自の技術やノウハウをもとに信頼性が高く、低コストなシステムを実現できるように、機能要求を満たせる範囲において、独自の装置構成をとることを許容し

ている。

本開発では、INTEROSが実現すべき機能要求をもとに、「集中方式（INTEROS-A）」、「自律分散方式（INTEROS-C）」の2方式のシステムを開発した。両方式の装置構成と役割、ネットワーク構成のイメージを従来のシステムと比較する形で表1に特徴を示し、詳細を説明する。

表1 INTEROSにおける装置構成

方式	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方式)	端末装置の制御機能を制御単位毎(3両～5両)に集約 
自律分散方式 (INTEROS-C方式)	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 

(1) 集中方式（INTEROS-A方式）

従来のシステム（TIMS）は各号車に端末装置を配置し搭載機器を接続・制御する。これに対して、INTEROS-Aでは、各車に配置していた端末装置の機能をユニット（3両～5両分の単位で、主回路の制御単位と同等）に1つの端末装置として集約した。これにより部品点数削減を実現し、信頼性向上をめざしている。

(2) 自律分散方式（INTEROS-C方式）

INTEROS-C方式では、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、各号車に搭載していた端末装置の機能は、他の搭載機器との伝送機能のみに特化した構成とした。端末装置における演算部を削減し、これによる信頼性向上をめざしている。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ている。

3. 共通インタフェース仕様の開発

2章で示したとおり、INTEROSでは装置構成の異なる2方式のシステムを開発している。しかし、装置構成が異なること

により、機器側とのインタフェース仕様が方式間で不一致であると、機器側の予備品管理の点やソフトウェア製作の負担などの点でコストが増大する。

そこで、本開発では異なる装置構成でも対応できる共通インタフェースを開発し、ひとつのシステムとした。共通インタフェース仕様の策定に際しては以下の点を考慮した。

⇒汎用プロトコルの採用（UDP/IP、TCP/IPなど）

⇒高効率な情報伝送の実現（伝送帯域低減への寄与）

⇒搭載編成・号車によって機器側のソフトウェアが影響を受けないこと（編成番号・号車番号などはINTEROSが管理する）

⇒大容量データ伝送への対応

次項より共通インタフェースの仕様を述べる。

3.1 初期化処理

INTEROSは、イーサネットをベースとしたネットワークであるため、機器はネットワーク内で通信するIPアドレスを持つ必要がある。IPアドレスは搭載編成・搭載号車に依存する体系として定義した（図2参照）。

第1オクテット	第2オクテット	第3オクテット	第4オクテット
0 0 0 0 1 0 1 0	* * * * *	* * * * *	* * * * *
10(Class A ID)	T/C Type	編成番号	各方式自由エリア 機器種別コード
T/C		ETB(1)とECN(0)を判別する。 INTEROSはECN準拠であるため、0固定	
Type		ネットワーク種別 (制御系・状態監視系・情報系等)	
編成番号		固定編成種別	
各方式自由エリア		本エリアで装置構成の差異を吸収する	
機器種別コード		機器ID	

図2 INTEROSにおけるIPアドレス体系

INTEROSと接続する機器はメンテナンスなどの観点から原則として搭載編成・搭載号車にソフトウェアが影響を受けない仕組みとする必要があるため、それらの考え方や、体系が含まれるIPアドレスを機器側で固有に持たせることは困難である。上述より、IPアドレスをINTEROSが動的に払い出して決定する処理を初期化処理として検討した。

INTEROSでは、IPアドレスの決定方法の共通インタフェース仕様として国際規格（IEC61375-3-4）においても推奨されているDHCP方式を採用した。ただし、インターネットなどで一般的に使用されているDHCPをそのまま適用すると、図2で示したようなIPアドレスを毎回同一機器へ払い出すことが困難になるため、DHCPプロトコルの中で鉄道システム固有の情報もあわせてやり取りすることで実現することとした（表2参照）。

表2 INTEROS-機器間で授受する必要がある情報

送信する情報	送信方向	使用領域
機器種別情報	INTEROS←機器	標準領域 (ServerName)
搭載号車情報	INTEROS→機器	オプション領域 (オプション61) (RFC2132参照)

3.2 データ送受信処理

INTEROSは、機器の状態情報の取得や機器への指令を目的として、機器と周期的にデータ送受信を実現している。また、機器が異常を検知した際に自己診断用に記録するトレースデータや、劣化状態を記録するモニタリングデータを収集したり、機器のソフトウェアを更新するためのローディングデータを送信したりする送受信処理も実現する。

これらの処理はイーサネットにて規定されているTCP/IP、UDP/IPなどの汎用プロトコルを用いて実現した。

TCP/IP、UDP/IPの特徴を表3に示す。

表3 データ送受信プロトコル比較表

	プロトコル 名称	特徴
1	TCP/IP	送受信を行う機器同士で仮想的に コネクションを結び、送受信を行 う。送信エラー時の再送処理もあり、 信頼性が高い。
2	UDP/IP	TCP/IPのようにコネクションを結 ばず直接送信する。転送効率が高く リアルタイム性が高いため周期 データ送信時に使用される。

3.2.1 周期データ送受信処理

INTEROSで実現する周期データ送受信処理は、リアルタイム性が求められる。また、仮にデータ送受信で失敗したとしても当該パケットの再送ではなく次のデータを送受信すればよい。ため、伝送プロトコルにはUDP/IPを採用した。また、搭載機器が多い場合、各機器との伝送をINTEROSが1対1で実現すると、伝送帯域を圧迫してしまう可能性がある。そこで、データ送信方法として搭載機器を伝送周期毎にグループ分けしてまとめて送信する「マルチキャスト送信方式」を採用した。マルチキャスト送信方式を採用することにより、1車両あたりの伝送パケット数を最大で約30%削減できる。

グループ分けしてまとめられたデータは、受信側となる機器が必要な情報のみを正しく取得する必要がある。そこで、エリア識別ポイントの考え方を新規に定義し、データのヘッダ部にセットすることとした(図3、表4参照)。これにより、搭載機器の組み合わせや編成構成が異なった場合

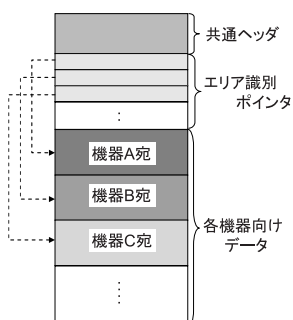


図3 INTEROSから機器への送信データ

表4 エリア識別ポイントセット情報

	名称	詳細
1	機器種別情報	自機器宛のエリア識別ポイントであることを判別する
2	搭載号車情報	自機器の機器種別の編成内における搭載号車を認識し、自機器が何番目かをカウントする
3	開始位置	自機器の機器種別が搭載されている1番目の機器宛データの開始位置を示す。自機器宛のデータはそこから何番目にあるかを演算して取り込む

でも各機器は自機器宛の情報を正しく取得できる仕組みを確立した。

3.2.2 イベントデータ送受信処理

トレースデータ、モニタリングデータ、ローディングデータなどは、イベント的に発生するデータであり、周期データと比較して大容量なデータであることが多い。よってイベントデータの送受信処理プロトコルにはTCP/IPを採用した。ただし、イベントデータの送受信処理により、リアルタイム性が求められる周期データが遅延することがないよう、特にサイズの大きいデータはパケットを分割して送信する手順を定義し、伝送帯域を占有してしまわないよう考慮した。

3.3 MUE-Trainへの適用

共通インタフェース仕様をINTEROS-A方式、INTEROS-C方式を搭載しているMUE-Trainにおいて実現した。その結果、両方式に接続した機器が、1種類のソフトウェアでどちらの方式のINTEROSとも伝送できることが確認できた。上述より、装置構成の異なるINTEROSにおいて使用する共通のインタフェース仕様が有効であることが、現車試験でも確認できた。

4. 戸閉装置とのインタフェース開発

INTEROSの開発は、MUE-Trainを使用してすすめられたが、試験電車は戸閉装置の更新を行わなかったため、209系ベースのインタフェースで実現していた。しかしながら、戸閉装置（以下 戸閉制御装置）は安全・安定輸送に大きく関与する装置であり、次期通勤車搭載に向けて伝送仕様を整理し、組合せ試験により正常に動作することを確認する必要があるため、インタフェース開発を実施した。

4.1 INTEROS-戸閉制御装置間のインタフェース仕様

戸閉制御装置とのインタフェースは冗長性を考慮した信頼性の高いシステムとする必要がある。一方で、INTEROSの伝送仕様として採用しているイーサネット伝送はマルチドロップ接

続ができず、マルチドロップ相当の接続にはHUBを配置する必要があるなど、部品点数の増加が懸念される。これらの条件から、実現できる伝送接続方法として、INTEROSと戸閉制御装置の間にドア情報集約部を設置し、ドア情報集約部により従来（TIMS）の伝送方式として採用していたRS-485のマルチドロップ接続を使用して伝送する方式を適用することとした（図4参照）。INTEROSとドア情報集約部及びドア情報集約部と戸閉制御装置間のインタフェース仕様を表5に示す。

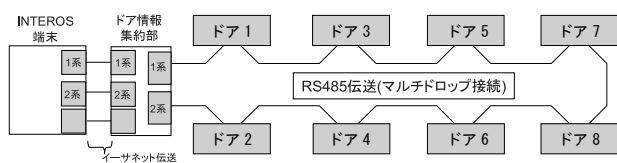


図4 INTEROS-戸閉制御装置間システム構成

表5 INTEROS-戸閉制御装置間インタフェース仕様

	INTEROS- ドア情報集約部	ドア情報集約部- 各戸閉制御装置
伝送方式	イーサネット伝送	RS485伝送
伝送速度	100Mbps	250kbps
系統	制御1系/2系、 状態監視系	制御系のみ (状態監視系は制御系 伝送路を使用する)

伝送仕様および冗長性の考え方についてはそれぞれINTEROS-ドア情報集約部間は、3章で示した共通インタフェース仕様、ドア情報集約部-戸閉制御装置間は従来実現していたTIMS-戸閉制御装置間のインタフェース仕様の考え方を踏襲しつつ、伝送速度の向上を図った。

4.2 ドア情報集約部の機能

次に、INTEROS-戸閉制御装置間のインタフェースにおいて新規に追加するドア情報集約部の機能について以下に示す。また、イメージを図5に示す。

(1) ネットワーク間非同期動作

INTEROS-ドア情報集約部間、ドア情報集約部-各戸閉制御装置間の伝送はネットワークの独立性を高めるため非同期動作とする。

(2) INTEROSから各戸閉制御装置へのデータ集約・転送

INTEROSから受信した制御系・状態監視系の情報を1つのデータに集約し各戸閉制御装置へ送信する。

(3) 戸閉制御装置からINTEROSへのデータ分配・転送

各戸閉制御装置から受信し集約した情報を制御系・状態監視系に分配しINTEROSへ送信する。

(4) イベントデータの再構築と転送

故障トレースデータのようなイベント的に送信するデータはドア情報集約部で一旦受信し、再構築し送信する。

(5) RS-485伝送ネットワークの冗長化（待機2重系）

ドア情報集約部は制御1系のデータ送信を制御2系が監視

し、データ未受信時に制御2系がデータ送信する。

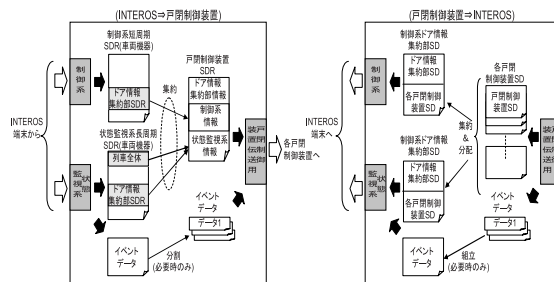


図5 ドア情報集約部の機能イメージ図

4.3 制御系優先処理

ドア情報集約部-戸閉制御装置間の伝送は制御系データと状態監視系データが一つの伝送路で送受信される。上述より、信頼性の向上として、状態監視系の機能により制御系が影響を受けない仕様を定義する必要がある。信頼性向上として検討した仕様を以下に示す。

- (1) ドア情報集約部、戸閉制御装置のどちらの場合においても、周期データ送受信処理を最優先に処理する。
(イベントデータ送受信処理は状態監視系データであるため優先度低とする)
- (2) 周期データ送受信処理内に含まれる制御データ、状態監視系データの情報処理においても制御系データを優先して処理する。
- (3) イベントデータ送受信処理の影響で周期データ伝送処理の伝送に異常が発生する場合においてもINTEROSから送信される周期データ（ドア開閉が含まれる）は40ms周期では送信できる仕組みとする（図6参照）。

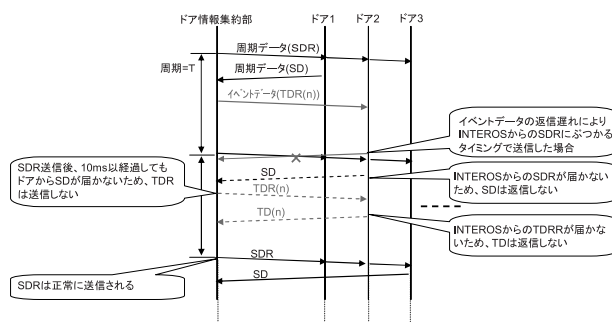


図6 制御系データ優先処理

4.4 組み合わせ試験における検証

INTEROS-戸閉制御装置間でインタフェース仕様を決定し、INTEROS-A、INTEROS-Cの両方式で戸閉制御装置と組合せ試験を実施しINTEROS-戸閉制御装置インタフェースにおいて決定した仕様で問題なく動作することを確認した。また、制御系データと状態監視系データが伝送するドア情報集約部-戸閉制御装置間の伝送においても、十分な帯域を確保して伝送が実現できていることを確認した（図7参照）。

今後は次期通勤車に向けて引き続き長期検証を実施していく予定である。



図7 ドア情報集約部-戸閉制御装置間伝送結果

5. 経済運転支援システムの開発

5.1 開発概要

INTEROSでは速度、キロ程、VVVFインバータ装置からの消費電力量等のデータが蓄積可能である。また、6章で記述される通りWiMAXを用いて地上へのデータ伝送が可能となる。そこで、「経済運転支援システム」として図8の構成で開発を行った。

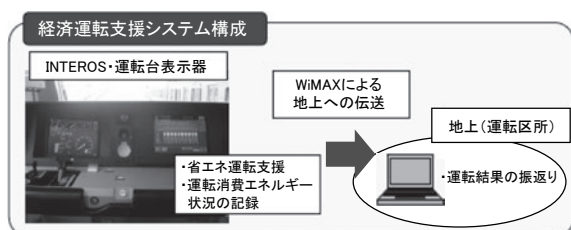


図8 経済運転支援システム構成図

開発内容は以下の通りである。

(1) 運転士への省エネ運転支援

現行より省エネとなる走行パターンの検討を行い、走行試験で検証を行った。また、仮設PCを用いて運転支援機能の開発を行った。

(2) 力行時M車選択運転

主電動機の特性上の効率の高い状態で運転を行い、省エネを図るものであり、INTEROSの踏面力演算部で速度条件によって稼動するM車数を動的に変更する機能を実現し、走行シミュレーションの実施とその検証を行った。

今回の検証試験は宇都宮線の蓮田～宇都宮間で行い、停車駅のパターンを各停パターンと快速パターン（停車駅：蓮田、久喜、古河、小山と小山～宇都宮間の各駅）の2通りを(1)及び(2)ともに実施した。

5.2 省エネ走行パターンの検討とその検証

5.2.1 省エネ走行パターンの検討

省エネ走行パターンの検討を以下の手順で行った。

(1) 現行の標準ランカーブの策定

最終的に省エネ効果の有無を定量的に評価するため、まず、現行の営業列車と同等の走行条件を標準走行パターンとして定義し、消費電力量を測定した。

(2) 省エネ走行パターン作成条件の検討

省エネ走行パターンの作成条件として、(1)で策定した標準ランカーブや基準運転時分、営業列車のダイヤから「駅間運転時分表」を設計条件として定めた。また、線路条件として勾配や曲線制限速度も使用した。

(3) 省エネ走行パターンの作成

(2)の作成条件を満足し、現行の消費電力量よりも省エネとなる走行パターンとするために、力行消費電力量を抑える事、「省エネ運転の一般論」を考慮し路線条件に合わせ最適化した検討方針を立てた。検討方針は次の通りであり、図9にそのイメージを示す。

①駅間走行時分を守る

②前半を高速で走行し、停止前に惰行を長く取る

③曲線・分岐制限では等速走行を行う

④惰行と等速の間にブレーキを挟まない

⑤のこぎり運転をせず等速運転を行う

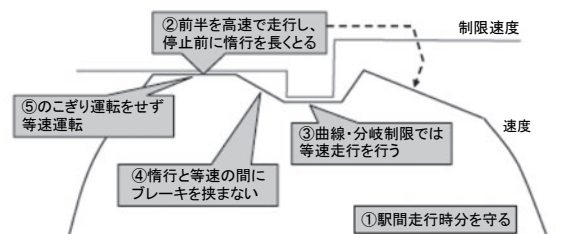


図9 省エネ走行パターンの検討方針

上記で検討した省エネ走行パターンをもとに、走行試験を実施した。その結果を表6に示す。

表6 省エネ走行パターンでの走行試験結果

種類	区間	力行電力量、消費電力量(力行-回生)	
		現行	省エネ
各停	蓮田→ 宇都宮	力行:494.9[kWh] 消費:372.1[kWh]	力行:449.5[kWh](△9%) 消費:351.5[kWh](△6%)
快速(厳守)	古河→ 小山	力行:87.2[kWh] 消費:76.2[kWh]	力行:78.3[kWh](△10%) 消費:72.6[kWh](△5%)
快速(無視)	古河→ 小山	力行:87.2[kWh] 消費:76.2[kWh]	力行:78.9[kWh](△10%) 消費:74.6[kWh](△2%)

※快速はダイヤの制約で古河→小山のみ有効データ取得。その区間のシミュレーションでの力行電力量は、快速(厳守):81.6kWh(△6%)、快速(無視):82.4kWh(△6%)

表6より、各停条件では、試験区間で9%、快速条件では6%の省エネ効果を得ることができた。

5.3 運転支援システム画面

仮設PCを用いて「運転支援機能」の開発を行った。具体的には、「乗務員区所での振返り機能」及び「INTEROS表示器での支援情報表示機能」を製作した（図10参照）。

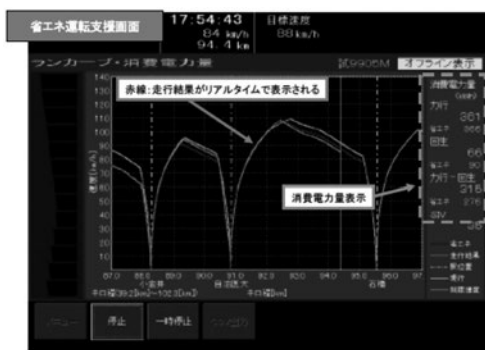


図10 省エネ運転振返り用画面

(1) 乗務員区所での振返り機能

車上で取得したデータを乗務員区所へ伝送し、省エネ・実走行のランカーブ及び消費電力量等数値を地上側端末で表示することで、運転士が自らの走行結果を振返ることを実現する（今回は、仮設PCで実走行結果を記録することで実現した）。

(2) 模擬表示器での支援情報表示機能

模擬表示器を設置してINTEROSへ接続を行ない、INTEROSが常時記録して保有する速度・キロ程等のデータを使用し、省エネ走行パターンを表示している画面へリアルタイムで走行結果をランカーブとして描画し、省エネ運転を支援する。

これらの機能の評価として、運転士関係業務を担当する社員に対してヒアリングを行った。その結果、乗務終了後の振返りツールとしては、ランカーブ形式の表示が有効であることがわかった。

5.4 力行時M車選択運転

鉄道総合技術研究所とJR北海道で、高速域の等速運転時に一部主変換装置を停止させ、残りの主変換装置にてトルクを最大限出力させることにより、損失を低減させ主回路機器の高効率化を図る方法について検討・検証し、一部の特急電車に適用した例がある。

一方、INTEROSはVVVFインバータに指令する力行踏面力を演算している。今回、主電動機の高効率での運転で省エネを図るため、力行時にINTEROSの踏面力演算部で速度条件によって稼働するM車数を動的に変更する「力行時M車選択運転」機能を実現し、走行シミュレーションの実施と実走行によりその検証を行った。これは、通勤電車仕様であるMUE-Trainで実現している点、高速域の等速運転時に限らないという点において、JR北海道の事例とは異

なる開発内容である。

5.4.1 M車選択条件の検討

M車選択条件の検討を以下の手順で行った。

(1) 現行の標準ランカーブ作成

5.2.1 (1) と同様に実施した。

(2) M車選択運転条件の検討

主電動機の高効率での運転で省エネを図る観点から、主電動機の高効率曲線と効率曲線ならびに(1)のランカーブからM車選択運転条件を検討した。

主電動機の高効率は低い速度での運転では低効率となる。したがって、今回はM車選択によってモータあたりの出力トルクの変化によって主電動機の高効率の状態で運転させるためには、中速度域以上でM車選択運転を実施することとした。具体的には以下の2パターンを検討した。

・駅間の長い走行での使用を想定した「快速条件」

・駅間の短い走行での使用を想定した「各停条件」

また、「定速」時においても別に定める条件を設定してM車選択運転を行うこととした。

5.4.2 走行結果と分析

走行シミュレーションで作成した走行パターン通りの走行を行い、力行消費電力量を測定した。結果を以下に示す。

・INTEROSの力行踏面力演算部に力行時M車選択運転機能の論理を実装し、制御可能であることを確認した。

・主電動機の高効率の状態で運転した効果は機器効率データで確認できた。ただし、駅間全体でみると効果がないものも含まれていた。

省エネ効果が得られなかった駅間があった理由は、駅間内にある制限速度の影響や、駅間距離などにあると考えられ、次期通勤車に向けての課題であると考えている。

今後は本機能の効果が得られる路線条件やM車選択条件を再検討して行く。

6. WiMAXを使用した機能開発に向けた基礎検討

汎用高速通信網であるWiMAXを使用して実施するデータ伝送試験の内容について検討を行った。

また、それに伴いMUE-Trainと通信を実施するための各機器のシステム構成などの検討を行なった。

6.1 システム構成

MUE-TrainのINTEROS及び、INTEROS内のデータを収集、地上向けに加工・伝送する車上ルータ、車上ルータからのイーサネットの信号をWiMAXの信号に相互変換する

WiMAX車上装置、WiMAX用のアンテナから構成される。地上側は研究開発センター内に地上装置を設置し、通信事業者のWiMAXネットワーク網を経由して車上装置と接続した。開発したシステム構成図を図11（代表してA方式）に示す。

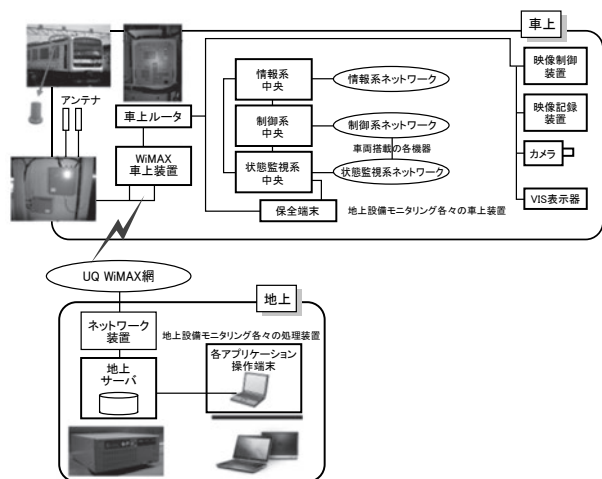


図11 WiMAXシステム構成 (A方式)

6.2 開発内容

以下にWiMAXを使用した機能開発内容を示す。

(1) 動態保守&車両内情報伝送機能

空調状態・乗車率をはじめとした車両内情報、システムトレース（ブレーキ）、機器トレース（VVVF）を地上へ伝送し、地上でデータ確認する（図12参照）。

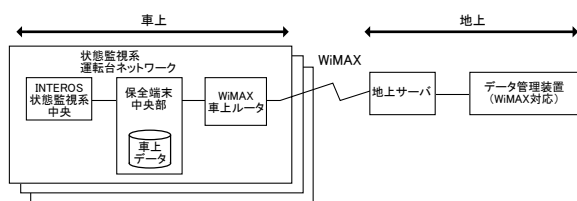


図12 動態保守&車両内情報伝送のシステム構成

(2) 地上設備モニタリング情報伝送機能

状態監視系に接続予定の線路設備や電力設備を計測する地上設備モニタリング装置を模擬したPCからダミーデータを地上へ伝送し、地上でデータ確認する機能。模擬PCを状態監視系に接続し、想定されるデータサイズのファイルの伝送を検証する機能で構成する（図13参照）。

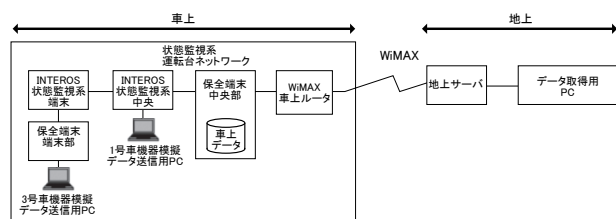


図13 地上設備モニタリング情報伝送のシステム構成

(3) カメラ映像伝送機能

列車前方映像データのリアルタイム伝送（ライブ配信機能）と蓄積データの範囲指定をダウンロードする機能（記録映像伝送機能）を有する。

(4) 故障伝送情報機能

在来線デジタル列車無線にて実現している機能（故障発生状況、モニタ画面[一部選択]、故障記録データ）と新たに追加したNFB状態情報を地上へ伝送し、地上でデータ確認できる機能である。

(5) リモートローディング機能

ローディングファイルを任意のタイミングで車上へ伝送し、車上でローディングする機能と地上からローディング指示可能な機能および地上端末でのソフトウェアバージョン管理機能である。システム構成概要を図14に示す。

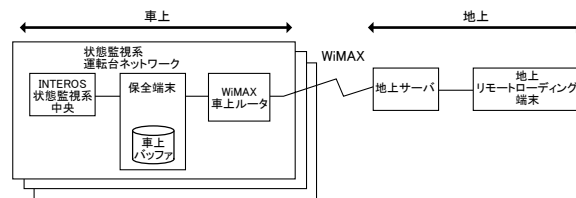


図14 リモートローディングシステム構成

6.3 検証結果

アプリケーションごとの検証結果は以下のとおりである。いずれの場合もINTEROS基本機能に影響はなかった。

(1) 動態保守&車両内情報伝送機能

地上端末から保安端末に蓄積しているデータが定置試験で約1Mbps、走行試験で約500~700Kbpsで読出しできること、異常診断記録現在値表示の表示更新周期は20秒程度が妥当であることを確認した。

(2) 地上設備モニタリング情報伝送機能

状態監視系に接続した3号車の計測機器模擬PCからダミーデータ（単一ファイル、複数ファイル）を地上から読み出せることを確認した。

(3) カメラ映像伝送機能

ライブ配信では、1秒以内の伝送遅延ではほぼリアルタイム映像が伝送できること、電波状態が悪く通信断が発生しても不通区間を抜けて再接続後に映像伝送を再開できることを確認した。記録映像伝送では、電波状態が安定している場合は正常に記録映像をダウンロードできたものの、電波状態が悪く通信断が発生した場合にダウンロードに失敗するケースがあった。

(4) 故障情報伝送機能

故障発生状況は5~6秒、モニタ画面情報は4~5秒、故障記録データは3秒弱、NFB状態情報は3~4秒で地上端末に表示できることを確認した。また、端末2台から同時にアクセス

しても更新周期が変わらないことを確認した。

通信媒体をWiMAXにすることで伝送時間や画面の表示更新周期が短くなったうえ、在来線デジタル列車無線方式で実施している同時アクセス端末台数の制限が不要になると考える。

(5) リモートローディング機能

地上端末から車上へ平均370kbpsでローディングデータを送信できること、地上端末もしくはINTEROS表示器からローディングデータの書込・ソフトウェアの切替ができることを確認した。不正データをローディングした場合は採用しないこと（真正性確認）も確認した。

(6) 総合動作

アプリケーションごとに優先度を設定し、通信帯域を制御することで、同時に実行してもアプリケーション同士が干渉することなく正常に動作することを確認した。

(7) セキュリティ性・信頼性

地上サーバと車上ルータ間で暗号化、電子署名による相互認証、ハッシュによる通信データの改ざん防止を行なった。セキュリティ機能の有無で通信速度を比較し、通信性能への影響がないことを確認した。

7. モニタリング保全への対応

当社では、車上で蓄積するデータを活用し、機器の検査（機能保全）や劣化状態の検査（寿命管理）に活かすことで従来のメンテナンス作業を軽減するモニタリング保全体系の構築を進めている。モニタリング保全では、INTEROSが蓄積するデータが大きな役割を果たすため、モニタリング保全で活用可能なデータの再検討を行った。

7.1 モニタリング保全に対応した機能の開発

以下にモニタリング保全に対応するために検討したINTEROSの機能をまとめる。

(1) 異常検知機能

INTEROSが監視している機器において異常を検知した場合に地上システムへ伝送する。また機器が異常検知に伴いトレースデータを蓄積した場合には、その情報も走行中に状態監視系からINTEROSが収集し、地上システムへ送信する。機能保全や寿命管理（劣化傾向の把握）に活用する予定である。

(2) 機器動作回数・動作時間・通電時間機能

INTEROSが、機器の動作回数、動作時間、通電時間の管理を行い、地上システムへ送信し、寿命管理として活用する予定である。

(3) 電力量演算機能

車両が消費する電力量に関連する項目を記録する。モニタ

リング保全では寿命把握として活用する。なお、本データは経済運転などほかの用途にも活用されることを考慮している。

(4) 走行中検査機能

鉄道車両の通常運用時に車上試験相当の扱いを実施した際、相当の試験結果を記録する機能。モニタリング保全では、原則（注1）として機能確認として活用する。

（注1：従来の車上試験相当の内容であるため、項目によっては寿命管理に使用できる情報も含まれる）

(5) モニタリングデータ収集機能

各機器が任意のタイミングで劣化診断用に記録したデータをINTEROSが収集する機能であり、寿命管理として活用する予定である。

(6) 劣化診断記録機能

常時監視を行い、状態の変化により劣化診断を実現する情報をINTEROSが常時記録する機能であり、寿命管理として活用する予定である。

7.2 MUE-Trainへの適用

(1)～(6)で示した機能は、MUE-Trainで適用し、6章で示したWiMAXによる地車間伝送機能により地上に送信できていることを確認した。

ただし、モニタリング保全の機能は現在も整理中の項目であり、他部門と協力して今後さらなる仕様の詳細化を進めていく必要があると考えている。

8. おわりに

本件名により、本体開発において実現したINTEROSに対し、機能拡張を行った。その結果、次期通勤車適用に向けて基本的な開発はすべて終了したと考えている。今後は実導入へ向けた課題の解決を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 川崎、菅谷、祖父江、星野、河野、佐藤（春）：「次世代車両制御システムの評価試験」第49回「鉄道サイバネ・シンポジウム」投稿論文
- 2) 祖父江、菅谷、松橋、星野：「次世代車両制御システムにおけるドア制御装置インターフェース」平成25年電気学会全国大会投稿論文
- 3) 川崎、河野、菅谷、祖父江、星野、小田、甲村：「100Mbpsイーサネットによる鉄道車両伝送システムの開発（第二報）」：2012年電気学会産業応用部門大会論文集