

1401 車両制御システムにおけるイーサネット伝送路特性実験

川崎 淳司 (JR 東日本) 飯田 隆幸 (JR 東日本)

○星野 健太郎 (三菱電機) 杉山 敦士 (東芝) 祖父江 昭彦 (日立製作所)

Experiments on Ethernet Transmission Line Characteristics for the Development of a Train Communication Network

Junji KAWASAKI, East Japan Railway Company, 2-479, Nisshincho, Kita-ku, Saitama-shi, Saitama

Takayuki IIDA, East Japan Railway Company

Kentaro HOSHINO, Mitsubishi Electric Corporation,

Atsushi SUGIYAMA, Toshiba Corporation,

Akihiko SOBUE, Hitachi Ltd. Industrial Systems

We are developing a train communication and control network "INTEROS", which adopts the Ethernet transmission technologies and has the ability of high-capacity data transmission for a next-generation railway operation system.

This paper describes characteristics of the present train's transmission line in order to clarify the problems and to develop new transmission lines which are suitable for the Ethernet transmission.

キーワード: 車両制御ネットワーク, イーサネット伝送, 鉄道運行システム

Key words: Train communication network, Ethernet transmission, Railway operation system

1. はじめに

車両制御システムは、現在、力行・ブレーキなどの制御指令を列車内の各装置に伝送するとともに、各装置の状態管理を行う装置であり、鉄道車両に欠かせない装置となっている。1980年代に、運転士に主要機器の状態情報を提供する支援装置として登場したモニタ装置は、その後、配線数の削減のため、制御指令線の伝送化を進め、指令伝送装置としての位置づけを強めた。近年では、編成全体としての制御機能や地上との情報伝達機能も備えて、さらに発展しつつある。

JR 東日本の主な在来線車両においては、車両制御システムとして、「列車情報管理装置」TIMS (Train Information Management System) を採用してきた。TIMS は、ライフサイクルコスト低減、人に優しい車両シ

ステムをコンセプトとし、2000年頃から営業車での使用を開始し、首都圏通勤電車 E231 系、E233 系車両を中心に搭載してきた。この TIMS により、引通し線の伝送化、力行・ブレーキ力の編成管理、自動出区点検機能などを新たに開発してきた。

一方、固定通信の分野では、めざましい情報技術の進歩により、Ethernet 伝送方式による伝送速度向上が図られている。これにより、大容量通信が可能となり、新たなアプリケーション開発につながっている。また、移动通信技術も、第3世代 (2Mbps) から第4世代 (100Mbps~1 Gbps) へと伝送速度が向上しつつある。高速移动通信規格である WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)においては最大 75Mbps の通信が可能となりサービスが開始されている。

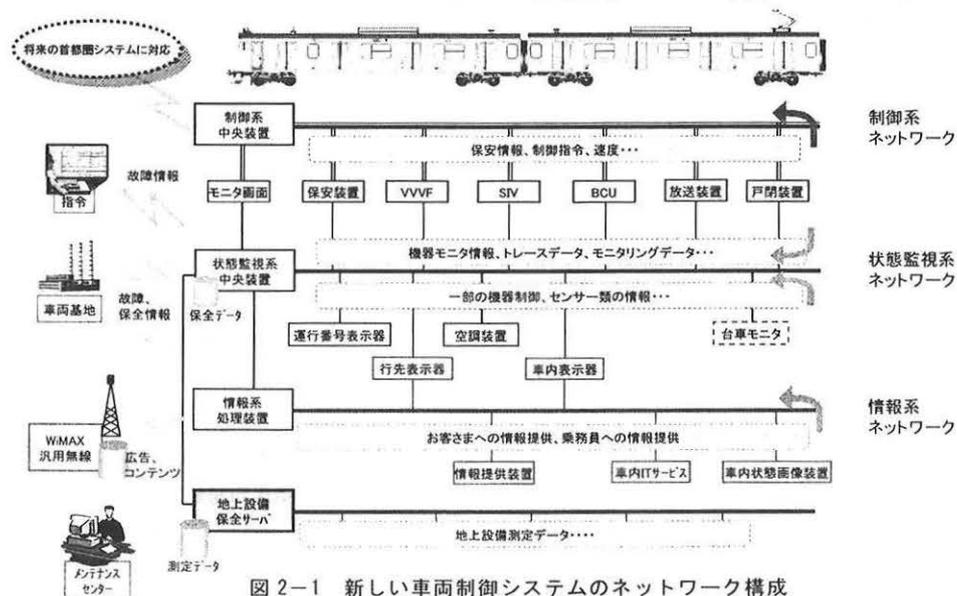


図 2-1 新しい車両制御システムのネットワーク構成

このような背景において、JR 東日本では、指令センターにおける輸送管理・運行管理、駅における進路制御、列車における列車制御・車両制御という主要な3領域を専用無線や汎用無線で有機的に結び、首都圏エリアの輸送サービスの刷新をめざす「次世代の首都圏鉄道システム」の開発を構想している。

さらに、Ethernet 伝送方式を採用した列車制御システムの国際規格が IEC/TC9/WG43（国際電気標準会議／鉄道用電気設備とシステム専門委員会／列車内情報制御伝送系ワーキンググループ）で審議されており、この国際規格への対応も重要である。

2. 新しい車両制御システムの機能

JR 東日本では、車両の信頼性を更に向上させ、将来的な地上設備システムとの連携や WiMAX などの通信技術を利用した新しいサービスに対する拡張性も備えた新しい車両制御システムの開発に着手した（図2-1）。

新しい車両制御システムの開発コンセプトとして、

- ・ 安定輸送を確保するための信頼性の向上
- ・ 次世代の首都圏鉄道システムに対応可能とする拡張性の確保
- ・ 国際規格への対応

を掲げた。このため、基幹伝送ネットワークに流れるデータを列車運行に必要な重要度及び用途を考慮した伝送速度、周期を設定し、全体ネットワークの最適化を図ることを検討している。図2-1に伝送ネットワークの構成と各装置の接続イメージを示す。

(1)制御系

制御系ネットワークは、「走る」、「止まる」等、車両を運行する際に、基本かつ必須となる保安・指令を司る車内ネットワークおよびそれらのシステム構成要素を分類した。

さらに、上記システム構成機器への電源供給機能や営業運転に必要なドア開閉機能、放送機能などの指令も含む。制御系は常に正常動作であることが求められ、異常時における冗長性を考慮した構成とする。

(2)状態監視系

状態監視系ネットワークは、各装置の機器モニタリング情報や乗務員支援機能および検修社員が必要とするメンテナンスに必要な情報の車内ネットワークおよびそれらのシステム構成要素を分類した。

TIMS では、制御系と状態監視系の分類を明確にしておらず、全てのデータが同じ伝送路を共有していたため、データ種別毎に適正な伝送周期で伝送を行えていなかった。新しい車両制御システムでは、制御系と状態監視系のハードウェア・ソフトウェアを分離することにより、データ種別・用途に応じた最適な伝送の実現を目指している。

なお、状態監視系に異常が発生しても、運転に支障が無いものとする。

(3)情報系

情報系ネットワークは、お客さまへ提供する動画・静止画等コンテンツ配信、車両内外の状態映像を乗務員や指令

へ配信するための車内ネットワーク、およびそれらのシステム構成要素を分類した。

E231 系、E233 系の情報提供装置（VIS：Visual Information System）に相当するネットワークであるが、新しいシステムでは、Suica や携帯端末を利用した車内 IT サービス装置や画像伝送を加味した車内状態画像装置などの機器の追加・機能拡張を可能とした設計とする。

(4)地上設備モニタリング装置への対応

JR 東日本では、営業用車両を用いて地上設備の状態監視を行う装置の開発を実施している。新しい列車制御システムでは、この装置に対応できるように開発する。

3. 伝送路特性実験

3.1 特性実験の概要

新しい車両制御システムにおいては、将来に向けた拡張性の確保と状態監視系や情報系における大容量伝送への対応のため、伝送速度 100Mbps の Ethernet 伝送で進めている。しかし、現状の車両においてこれを実現するための伝送特性は把握できていないため、E233 系で使用している電気連結器や伝送ケーブル等の伝送路構成部品の採用可否を検証するために、伝送特性試験を実施した。

3.2 伝送判定基準

Ethernet (100Mbps) の規格として 100BASE-TX がある。100BASE-TX は IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.:米国電気電子学会) の IEEE802.3 により規定された規格である。また、IEEE802.3 に適した伝送媒体および敷設の仕様としては、国際規格 ISO/IEC 11801 (汎用電気通信配線システム (構内配線)) が参照されている。この規格では最大周波数に応じてクラス B~F があり、この中で、100BASE-TX の伝送路規定はクラス D として分類されている。

今回、新しい車両制御システムに 100Mbps の Ethernet 伝送を検討するにあたり、伝送品質の目標評価基準にはこのクラス D を基準として用いることにした。

3.3 試験構成

伝送路特性試験構成モデルを図3-1、試験風景を図3-2に示す。伝送路構成は、E233 系で使用しているケーブル、コネクタ (QE コネクタ、GTC コネクタ)、ジャンパ連結器、電気連結器、低圧つなぎ箱 (LJB) とし実験室内に構成した。表3-1に構成モデルを示す。

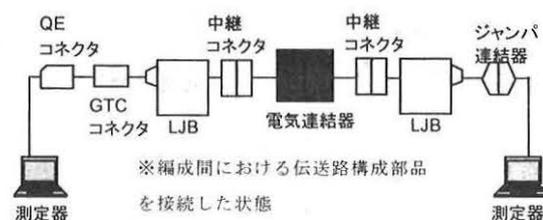


図3-1 伝送路特性試験の構成モデル

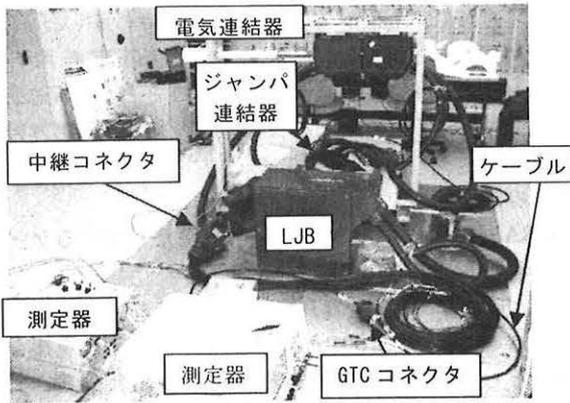


図 3-2 伝送路特性試験風景

表 3-1 伝送路特性実験に使用した構成品

ケーブル	SEV102S
中継コネクタ	GTC,QE
電気連結器	KE154-21/22
ジャンパ連結器	KE158
LJB 内端子台	WAGO-280/281

3. 4 試験結果

(1) エラー率 (BER: Bit Error Ratio) 測定と信号増幅
 エラー率測定結果を表 3-2 に示す。エラー率測定は、10Mbps 増幅 2 線式 (16Vp-p)、100Mbps 非増幅 (2Vp-p, 100BASE-TX)、100Mbps 増幅 (8Vp-p) の 3 種類で、10 分間伝送させて比較測定を行った。測定の結果 100Mbps 非増幅 (2Vp-p) でのみエラーが発生した。一方で 100Mbps (8Vp-p) ではエラーが発生していないことから、図 3-1 のような伝送路構成に対して、信号増幅は有用であることがわかった。

表 3-2 BER 測定結果

測定条件		結果
通信速度	信号増幅	
10Mbps	16Vp-p	BER=0
100Mbps	2Vp-p	BER=0.42 × 10 ⁻⁹
	8Vp-p	BER=0

(2) 伝送品質特性試験

ISO/IEC 11801 では、伝送の減衰特性、反射特性が規定されており、それに関する試験を行った。

図 3-3 に伝送路全体の減衰特性を示す。減衰特性は、信号が伝送路を通過する際に、各信号周波数帯域で信号電力が減衰する量を示している。いずれの周波数においても、ISO/IEC 11801 で規定された基準値を満たしており、100Mbps の伝送が可能であることを示している。

図 3-4 に伝送路全体における反射特性を示す。反射特性は、信号が伝送路を通過する際に、各信号周波数帯域で入力端に反射して戻ってくる信号電力を示している。例えば、15~20MHz において、基準値を満たしていないが、この部分が図 3-3 の A 部における特性の乱れの箇所である。反射特性の基準を満たしていない影響が、減衰特性にも悪影響を与えていることが分かる。

これらの結果により、次世代車両制御システムの伝送特性改善には、反射特性の影響を考慮し減衰特性を向上する

必要があることが分かった。図 3-5 にクロストーク特性を示す。クロストークは、信号が伝送路を通過する際に、各信号周波数帯域で隣接する伝送路に漏れる信号電力を示している。クロストーク特性は基準値をクリアしているが、マージンがなく余裕がない状態であることがわかる。

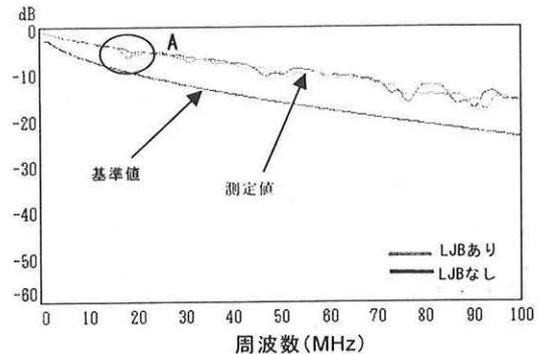


図 3-3 減衰特性

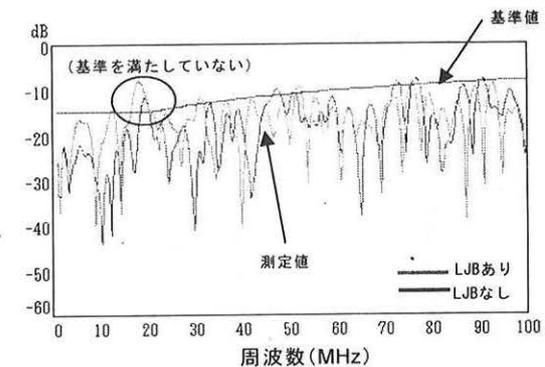


図 3-4 反射特性

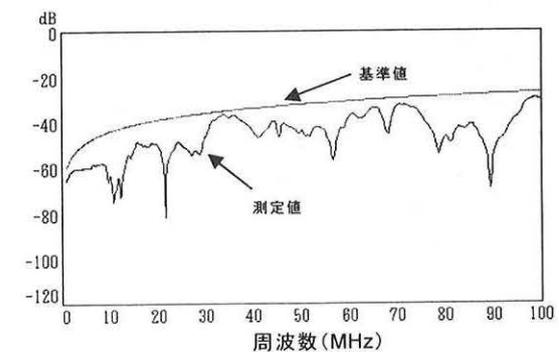


図 3-5 クロストーク特性

図 3-6、図 3-7 に電気連結器単体と端子箱付ジャンパ連結器におけるインピーダンス特性をそれぞれ示す。

100BASE-TX においては、伝送路のインピーダンスは 100Ω 均一の値であることが理想である。100Ω から外れた場合、インピーダンスが不連続となり、反射が発生し、伝送の損失が増大する。

電気連結器では結合部に相当する横軸 70ns の地点においてインピーダンスの不連続が確認できる。また、電気連結器と LJB (低圧ツナギ箱) を接続する中継コネクタ部 (図 3-2 参照) に相当する横軸 40ns の地点においてイ

インピーダンスが 175Ω となり、インピーダンスの不連続が確認できる。端子箱付ジャンパでも同様に結合部と端子箱においてインピーダンスの不連続が確認できる。

新しい車両制御システムの伝送路においては、電気連結器の結合部と中継コネクタ部、端子付ジャンパ連結器の結合部と端子箱のインピーダンス不連続の改善も必要となることがわかった。

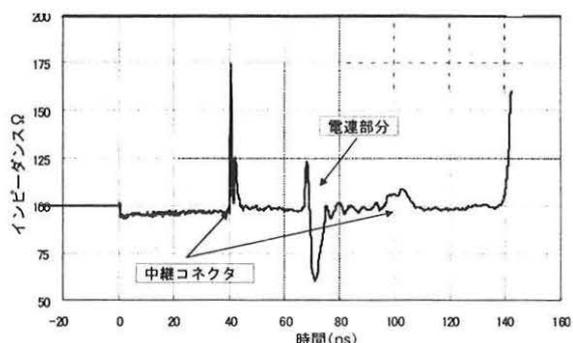


図 3-6 電気連結器インピーダンス特性

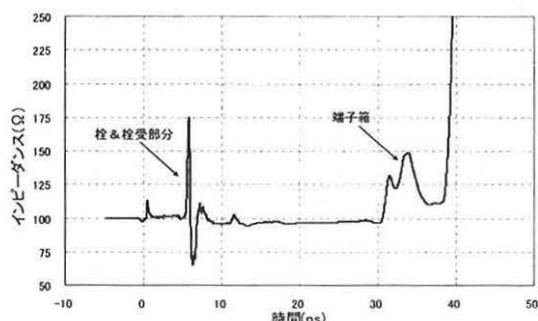


図 3-7 端子付ジャンパ連結器インピーダンス特性

3. 5 試験結果のまとめ

- ① 現状の E233 系の伝送路では、100BASE-TX の伝送路を規定するクラス D の基準値を満足しない。
- ② 100Mbps 伝送においては、信号振幅を 2Vp-p から 8Vp-p に昇圧すると BER が低減される。
- ③ 電気連結器、中継コネクタなどの接点部分においては、インピーダンスの不整合が顕著であり、減衰特性や反射特性に悪影響を及ぼす可能性がある。

3. 6 伝送路における課題と今後の開発方針

試験結果を含めて、Ethernet(100Mbps)の伝送路を実現する上での、現状の伝送路に対する課題を次にまとめる。

- ① コネクタ、連結器の接点部分において、インピーダンスが不整合となる。これにより、信号の反射が発生し伝送品質が劣化する。
- ② 信号ケーブル（ツイストペアシールド線）をコネクタに接続する箇所はシールドを剥がし、ツイストペアをバラ線にするため、耐ノイズ性が低下し、ノイズの影響を受けやすい。
- ③ 電気連結器・ジャンパ連結器において、機構上、シールドを剥がしバラ線にする部分があり、シールドが不連続となる部分がある。よって、②と同様に耐

ノイズ性が低下し、ノイズの影響を受けやすい。

これらの課題を解決するために、鉄道車両用の Ethernet(100Mbps)の伝送路を開発することとし、伝送品質の向上と耐ノイズ性の向上を目指す。具体的な開発方針を以下に示す。

【伝送品質の向上】

- ・ 100BASE-TX（クラス D）規格を満たしているケーブルを採用する。
- ・ インピーダンス（100Ω）整合や接点における絶縁物の構造を改良し、100BASE-TX（クラス D）規格を目標としたコネクタや連結器を開発する。

【耐ノイズ性の向上】

- ・ コネクタや連結器の接点において、シールドを極力途切れることなく連続して構成する。
- ・ ノイズ発生源となりうる電源線や制御線を Ethernet の伝送線と分離した構成とする。

4. おわりに

JR 東日本では、本稿で概要を述べた伝送路を採用する新しい列車制御システムを、INTEROS (INtegrated Train control network for Evolvable Railway Operation System「拡張可能な列車制御統合ネットワーク」と名付け、開発を進めている。

INTEROS 開発においては、通信の高速大容量化、汎用技術の採用、国際規格への対応を目標としており、100Mbps の Ethernet 伝送路の実現が必要不可欠である。

今回の既存伝送路をベースとした伝送特性試験により、現状の伝送レベルや課題が明らかになった。今後は、現車でのノイズレベルを評価するとともに、100Mbps の Ethernet 伝送方式に対応した伝送路を開発し、INTEROS の開発を進める計画である。

【参考文献】

- 1) 岡田、竹山、駒谷：列車内伝送系の国際規格の最新動向 2.ECN と規格案の共通部分、鉄道車両と技術、No.156, 2009
- 2) 新井、白樫：列車情報管理装置 (TIMS) の 10 年と今後の取り組み、Vol.12・No.1,2007
- 3) 新井、菅谷、小川、奥井、宮内：列車情報管理装置 (TIMS) の開発—JR 東日本 E231 系メータ表示器の適用—、第 41 回鉄道サイバネシウム論文集、論文番号 516,2004
- 4) 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 回鉄道サイバネシウム論文集、論文番号 519,2004
- 5) 是此田、鴨、神孫子、高橋：「AC トレイン用車両制御情報システムの開発」、第 38 回鉄道サイバネシウム論文集,2001
- 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