

# 鉄道向け通信プロトコルにおける伝送媒体選択機能の提案

流王 智子\* 羽田 明生\*\* 山口 大介\*\*\*  
中村 一城\* 川崎 邦弘#

Proposal for Transmission Media Usage Functions in Transmission Protocol for Railway System

Satoko RYUO Akio HADA Daisuke YAMAGUCHI  
Kazuki NAKAMURA Kunihiro KAWASAKI

Currently, information utilized through a railway system is being collected in each section, such as rolling stock section, civil engineering section and electricity section, which makes it difficult to share the information beyond sections. Therefore, in a previous study, we proposed an integrated information network for sharing the information of each section and basic functions of the communication protocol in this network. In this paper, we present details of the transmission media usage function among them. Furthermore, we report the results of a communication verification test using a router implementing the proposed functions.

キーワード：統合情報ネットワーク，通信プロトコル，伝送媒体選択機能，伝送媒体状態把握機能

## 1. はじめに

鉄道システム内には，列車運行，設備保守，旅客サービス等の用途に使用される様々な情報が流れている。これらの情報は，それぞれの系統毎に収集・伝達されており，かつ情報の様式や形態も系統毎に異なっている。このため，現状の鉄道システムにおいて，系統間をまたぐ情報共有が難しいという課題がある<sup>1)</sup>。

このような課題に対し，鉄道総研では，異なる系統の情報を同一のネットワークで伝送し，それらを系統間でリアルタイムに共有するための統合的な情報ネットワークに関する検討を進めている<sup>1)~4)</sup>。これまでに，統合的な情報ネットワークの構想と，そのネットワークの構築に必要な列車運行向け通信プロトコルの基本的な考え方を提案した<sup>4)</sup>。この通信プロトコルを装置に実装可能なものとするためには，提案した基本的な考え方を機能仕様として具体化し，仕様に基づいて実装したプロトタイプシステムによって動作を検証する必要がある。本稿では，通信プロトコルの基本的な考え方のうち，伝送媒体の利用に関する機能を具体化した処理手順を報告する。また，提案した機能を実装したプロトタイプシステムの動作検証結果について報告する。

## 2. 鉄道向け統合情報ネットワークと通信プロトコル

### 2.1 鉄道向け統合情報ネットワーク

鉄道では，列車の安全・安定運行を支えるために様々なアプリケーションシステムが系統毎に使用されており，それに付随する通信システムも系統別に構築されてきた。例えば，安全に直結する制御情報と，安定運行に必要なモニタリングデータとでは，伝送に求められる要件が異なるため，個々の要求に適した通信技術を活用してシステムを構築することで，伝送要求を満たしてきた。その結果，伝送・収集される状態情報の粒度・頻度・精度・範囲などが系統によって異なっており，現状の鉄道システムでは，系統間での情報共有が難しいという課題が生じている。また，今後，最新の計測技術や情報通信技術を活用した車両の前方監視や車内の防犯カメラの映像など，鉄道システムのデジタル化に向けてネットワーク上で伝送・共有が必要となる情報の種類や量が増えることが想定される。これに応じて，個々の系統がそれぞれに通信システムを構築していくと，類似する伝送路が個別に構築され，結果的にコスト増につながる可能性がある。

これらの問題に対して，現在，鉄道総研では，列車の運行や制御に用いられる情報を系統間で共有できるネットワークの構想を提案し，具体的な実装方法等を開発している<sup>5)6)</sup>。以降では，このネットワークのことを「鉄道向け統合情報ネットワーク」と呼ぶ。系統を超えた情報共有が可能となれば，例えば，車両の前方監視映像や車内情報の多地点での共有による鉄道運行の安全性向上

\* 情報通信技術研究部 通信ネットワーク研究室

\*\* 情報通信技術研究部 情報解析研究室

\*\*\* 信号技術研究部 信号システム研究室

# 旧 信号・情報技術研究部（現 研究開発推進部）

や、先行列車の位置情報や信号設備等の状態情報に基づく列車運行パターンの生成による安定運行の実現が期待できる。

また、統合情報ネットワークの構築によってネットワーク基盤を共有化できれば、これまで複数存在した伝送路を一つに束ねることができ、維持管理の省力化が可能となる。また、他の伝送路を利用可能になるため、伝送の信頼性が向上するというメリットも生まれる。統合情報ネットワークの構築後、共通化できる通信路は共有基盤として提供し、列車運行用のネットワークやメンテナンスデータ管理用のネットワークの高信頼化も目指す予定である<sup>7)</sup>。一方、海外では、UIC（国際電気通信連合）が進めているFRMCS（Future Railway Mobile Communication System）のプロジェクトにおいて、自営の無線通信回線や5Gなど複数の通信システムを活用し、鉄道システムのアプリケーション間での情報伝送を担う新しい鉄道用の移動通信システムの仕様策定がほぼ完了し、2025年度の実用化に向けた実証実験を進めている<sup>8)</sup>。

## 2.2 鉄道向け統合情報ネットワークの構成

鉄道向け統合情報ネットワークにおいて、情報共有と、伝送路の効率的な利用を実現するためには、ネットワークを制御するための通信プロトコルが必要となる。鉄道総研では、この通信プロトコルをRITP<sup>®</sup>（Railway Information Transfer Protocol）と名付けている。以降では、プロトコルの基本的な考え方と機能を示す。

鉄道向け統合情報ネットワークを実際の鉄道現場へ適用するためには、現行システムに大きな変更を加えなくても導入できるレイヤや実装方法を提案する必要がある。また、アプリケーションシステム側で、送受信間の伝送経路や伝送媒体を意識することなく、情報伝送を実現できることが重要である。そこで、これを実現するネットワーク構成として、ネットワーク制御機能を保有するインターフェース用の機器を統合情報ネットワークとアプリケーションシステムとの境界点に設置する構成を提案した。アプリケーション側では、このインターフェース用機器に接続するだけで統合情報ネットワークが利用可能となる（図1）。以降では、統合情報ネットワークとシステムとの間のRITP機能を実装したインターフェース用機器をRITPルータと呼ぶこととする。



図1 統合情報ネットワークの構成

## 2.3 鉄道向け通信プロトコル

統合情報ネットワークでは、低遅延かつ低損失が求められる列車の緊急停止や停止限界位置などに関する情報と、遅延を許容しつつ確実に伝送が求められる状態監視に関する情報などが混在する。したがって、ネットワークには、伝送する頻度や優先度が異なる情報を伝送するための多種多様な要求を満たすよう、伝送するデータの優先順位の決定や、最適な伝送媒体の選択などの制御が求められる。さらに、情報の送信リクエストに即時対応するためには、統合情報ネットワーク内に情報をキャッシュすることが求められる。

そこで、RITPでは以下に示す7つの機能（図2）を提案した<sup>3)4)</sup>。

- ① 受付番号から通番と送達の確認を行う「通番・送達確認」機能
- ② 伝送の信頼性に基づき優先すべきデータを選択する「伝送データ選択」機能
- ③ 伝送媒体の状態を計測し、その計測結果を更新する「伝送媒体状態把握」機能
- ④ 複数ある伝送媒体の候補からデータの要求品質と伝送媒体状態把握機能による最新結果を踏まえて最適な伝送媒体を利用する「伝送媒体選択」機能
- ⑤ 情報の用途・目的に応じたクラスに応じて再送の有無を判定する「伝送エラー処理」機能
- ⑥ 経路選択において、ネットワークの通信状況を踏まえて経路を構成する「経路選択」機能
- ⑦ RITPルータ内に情報を蓄積し、同様の情報へのアクセスがあった場合に、ネットワーク内で情報の送信を行う「情報蓄積」機能

また、実装形態として、現行システムへの導入を考慮してIPレイヤ上に乗せることを提案し<sup>3)4)</sup>、これらの機能は、OSI参照モデルにおいて、アプリケーションレイヤに相当する位置に定義した。以降では、これらの機能を持つレイヤを新たに「RITP伝送制御レイヤ」と呼ぶ（図3）。RITPルータに接続するシステムは、RITP伝送制御レイヤのヘッダを付け、RITPルータはこの

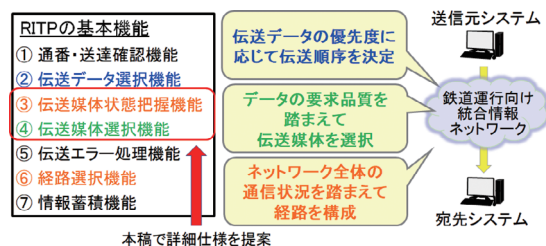


図2 RITPの基本機能

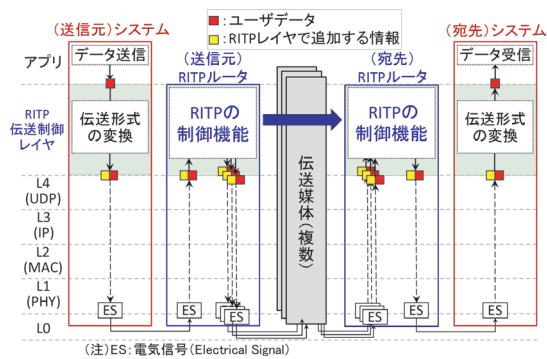


図3 RITP 伝送制御レイヤ

ヘッダの情報を元に上記機能を実行する。

本稿では、通信の基本である受信点から送信点まで伝送を実現する、伝送媒体の利用に必要な③伝送媒体状態把握機能と④伝送媒体選択機能についてその詳細を示す。

### 3. 既往研究

本章では、ネットワーク制御や複数の伝送経路に関する既往研究をまとめる。

#### 3.1 ネットワーク制御に関する研究

ネットワーク内で優先すべきデータを選択する既存技術としては、Quality of Service (QoS) 制御があり、中でも、Differentiated Services (DiffServ) では、確実な品質保証は難しいが、相対的な優先度に応じた品質制御を行うことができる<sup>9)</sup>。これにより、いくつかのクラスに分けた優先制御を行うことは可能であるが、そのクラス数には上限があるという課題がある。

一般的なネットワーク制御の範囲外の細かな伝送要求を満たすネットワークシステムを構築するための技術としては、Software-Defined Networking (SDN) や Network Function Virtualization (NFV) などがある<sup>10)</sup>。SDN とは、ネットワークの制御機能と転送機能を分離し、ソフトウェアによってネットワークの挙動を制御することができる新しいネットワークアーキテクチャのことであり、SDNにQoSを設定することも可能である。課題としては、現在使用しているネットワーク機器を専用のネットワーク機器に入れ替える必要があることが挙げられる。

NFV は、ネットワーク機器の機能を汎用サーバの仮想化基盤上でソフトウェアとして実装する方式のことである<sup>11)</sup>。SDNがネットワーク機器の制御と転送を分離するのに対して、NFVはネットワーク機器の機能をソフトウェアとして提供する。そのため、要求されるネットワーク機能の変化に応じて実行される汎用ハードウェアを変更したり、新たな機能を提供する仮想ネットワーク

を作成したりすることにより、ユーザの需要の変化に合わせたネットワーク機能の処理が柔軟に調整可能である。

鉄道用統合情報ネットワークでは、統合情報ネットワークとシステムとの境界点に設置した専用機器に、前述したNFVのようにネットワーク機器の機能を集約し、そこにネットワークの制御を実装することを提案している。しかし、SDNやNFVの技術では、柔軟にネットワーク内のフロー制御を行うことは可能であるが、統合情報ネットワークで目指す、利用可能な複数の伝送経路の中から伝送する情報の種類に応じて最適な経路を選択するような機能はない。

#### 3.2 複数伝送手段に関する研究

次に、複数ある伝送手段の候補の中から最適な伝送手段を選択する技術に関する既往研究を挙げる。統合情報ネットワークでは、RITP 伝送制御レイヤでの伝送媒体の選択を目指しているのに対して、既往研究では、着目するレイヤが統合情報ネットワークとは異なるが、利用者が意識することなく最適な伝送手段を選択する手法として、コグニティブ無線技術<sup>12)</sup>が開発されている。コグニティブ無線技術は、伝送する媒体を選択するのではなく、周囲の電波状況を端末や基地局がチェックし、その状況に応じて周波数や通信方式を選択する。このコグニティブ無線技術を異種無線ネットワークに適用すると、端末、基地局、無線アクセスネットワークを最適に選択ないし再構築することが可能なネットワークに適用することができる。

### 4. 伝送媒体状態把握機能と伝送媒体選択機能

本章では、RITPの基本機能のうち、伝送媒体状態把握機能と伝送媒体選択機能についてその詳細を示す。

#### 4.1 伝送媒体状態把握機能

まず、伝送媒体の状態を把握する機能について述べる。伝送媒体状態把握機能では、伝送速度とフレーム損失率により伝送媒体の状態を定める。これらの値を算出する毎に更新し、最新の値を把握する手順を示す。

初めに、送信元のRITPルータは、宛先のRITPルータに対して、経路確立の確認を行う。次に、経路確立が確認された宛先のRITPルータに対して、サイズ $S_i$ の $\gamma_i$ 個のデータを送信する。また、 $\gamma_i$ 個目のデータ送信後、宛先RITPルータに送信完了を送信する。宛先RITPルータでは、最初にデータを受信した時刻を $t_1$ とし、送信完了が送られる前の最後のデータを受信した時刻を $t_2$ とする。さらに、送信元ルータより送信完了を受信したら、到達データ数 $\gamma_i$ と伝送速度を送信元RITPルータに送信する。時刻を $t_1$ から時刻 $t_2$ の間に宛先RITP

ルータで受信したデータ数は  $\gamma'_i$  であるから、送信元 RITP ルータと宛先ルータ間の伝送速度  $T_i$  は以下の式で算出する。

$$T_i = \gamma'_i \times S_i / (t_2 - t_1) \quad (1)$$

また、送信元 RITP ルータは宛先 RITP ルータから受信した到達データ数  $\gamma'_i$  と送信したデータ数  $\gamma_i$  より、フレーム損失率  $F_i$  を以下の式で求める。

$$F_i = (1 - \gamma'_i / \gamma_i) \times 100 \quad (2)$$

この伝送媒体の状態（伝送速度、フレーム損失率）は、各 RITP ルータ内にある「保有テーブル」と呼ばれる表に記録される。保有テーブルは、RITP ルータ毎に設定され、地上に設置する RITP ルータ（以下、地上 RITP ルータ）と車上に設置する RITP ルータ（以下、車上 RITP ルータ）で定義が異なる。

地上 RITP ルータでは、他の RITP ルータとの間で利用可能な伝送媒体の組み合わせ毎に 1 つの保有テーブルを作成する（表 1）。ここで、他の RITP ルータとは、他の地上 RITP ルータと車上 RITP ルータのことを指す。保有テーブルには、計測時間と伝送速度、フレーム損失率が 1 つの情報として記録され、これが更新されるごとに、保有テーブルの 1 行目に挿入される。

車上 RITP ルータでも、表 1 に示した地上 RITP ルータの保有テーブルと同様に、伝送媒体の最新情報を記録する保有テーブルを作成する。地上 RITP ルータの保有テーブルとの違いは、計測時点における伝送速度とフレーム損失率に加え、計測地点（キロ程）と進行方向を記録する点である。また、車上 RITP ルータでは、沿線を複数の区間に分割した各区間で利用できる地上 RITP ルータに関する固定情報と、それら地上 RITP ルータに関する保有テーブル（表 2）も持つ。

今回提案する機能仕様では、RITP ルータ間で送受信したデータサイズ  $S_i \times \gamma_i$  とその所要時間  $t_2 - t_1$  により

表 1 地上 RITP ルータの保有テーブル

RITP 保有テーブル		
【宛先：地上 RITP ルータ：***，伝送媒体：***】		
更新日時	伝送媒体状態	
	伝送速度	フレーム損失率
###	###	###
:	:	:

表 2 車上 RITP ルータの保有テーブル

区間	地上 RITP ルータ	始点	終点	伝送媒体
***	***	***		
:	:	:		

スループットを算出し、それを伝送速度とする。スループットの値から遅延の影響を把握できるため、表 1 や表 2 の伝送媒体状態において、伝送遅延をパラメータとして定義しないこととした。

## 4.2 伝送媒体選択機能

伝送媒体選択機能として、2 つの方式を提案する。

### 4.2.1 伝送媒体切替方式<sup>5)</sup>

伝送媒体切替方式では、地上 RITP ルータと車上 RITP ルータで更新される伝送媒体の状態を元に、情報を伝送する媒体を決定する。送信元 RITP ルータと宛先 RITP ルータとの間で利用可能な伝送媒体集合を  $C$ 、伝送媒体  $i \in C$  の伝送速度とフレーム損失率をそれぞれ  $T_i$ 、 $F_i$  とする。ただし、伝送媒体を選択する際の基準として、各データには伝送速度とフレーム損失率のどちらかを優先するかが事前に与えられているものとする。以下に、送信するデータが RITP ルータに伝送された際に、RITP ルータにおける伝送媒体の選択手順を示す。初期状態は、保有テーブルの情報を元に、伝送媒体集合  $C$  に送信元 RITP ルータと宛先 RITP ルータとの間で利用可能な伝送媒体が記録されている。

- STEP1.  $C = \emptyset$  の場合は処理を終了する。そうでなければ STEP2 へ進む。
- STEP2. 送信するデータがフレーム損失率よりも伝送速度を優先する場合は STEP3 へ進む。そうでなければ、STEP4 へ進む。
- STEP3.  $i^* = \operatorname{argmax}_{i \in C} T_i$  を求め、伝送媒体  $i^* \in C$  を選択して停止する。
- STEP4.  $j^* = \operatorname{argmax}_{j \in C} F_j$  を求め、伝送媒体  $j^* \in C$  を選択して停止する。

### 4.2.2 全媒体利用方式<sup>6)</sup>

全媒体利用方式では、伝送媒体状態把握機能において、経路確立が確認できた伝送媒体全てに対して同じデータの送信を行う。利用できる伝送媒体が複数ある場合、送信側の RITP ルータでデータを複製し、この複製データに同一の受付番号を付与して送信する。一方、受信側では複数の重複するデータを受信する可能性がある。そこで、受信側の RITP ルータにおいては、事前に保持しているシステムの RITP アドレスと受信したデータの宛先 RITP アドレスが一致した場合、最初に受信したデータの受付番号を記憶し、後から到着したデータの受付番号と記憶した受付番号が一致する場合は破棄する。

## 5. 実証試験による機能の検証

### 5.1 実証試験の構成

前章で示した伝送媒体状態把握機能と伝送媒体選択機

能を確認するため、これらの機能を実装したルータを試作した。この試作ルータを用いて、鉄道総研所内試験線において試験電車を走行させ、指令を模擬した機器室と模擬車上制御装置を設置した車両との間でのデータ伝送を行い、提案した機能の動作を確認した。さらに、車両の走行に伴うデータの到達率と伝送遅延の測定を行った。試験では、機器室内に1台の中央RITPルータ（RITP①）を、試験線沿線に4台の沿線RITPルータ（RITPルータ①～④）をそれぞれ設置した。また、試験用電車（2両編成）に1台の車上RITPルータ（RITP②）を設置した。地上RITPルータ（中央RITPルータおよび沿線RITPルータ）間は光ケーブルを用いたIPネットワークで構成した。車上―地上間の伝送媒体としては、RITP④の区間には、IEEE 802.11a 準拠の5.6GHz帯無線LAN、LTE、60GHz帯のミリ波の3種類、RITP①～③の区間には、無線LANとLTEの2種類を用意した。本試験における沿線の各RITPルータが受け持つ区間の定義を表3に示す。なお、LTEに関しては全線で使用可能であるため、区間の定義をしていない。

さらに、本試験では、車上と地上にネットワークテストを設置し、ネットワークテストの模擬パケット生成・送信機能を用いて、無線LANネットワークを他のユーザが高負荷で利用している状態を模擬した。具体的には、

表3 沿線 RITP ルータの区間

区間	沿線 RITP ルータ	始点	終点	伝送媒体
4	RITP④	0	250	ミリ波
4	RITP④	0	250	無線LAN
3	RITP③	250	380	無線LAN
2	RITP②	380	600	無線LAN
1	RITP①	600	760	無線LAN
—	—	0	760	LTE

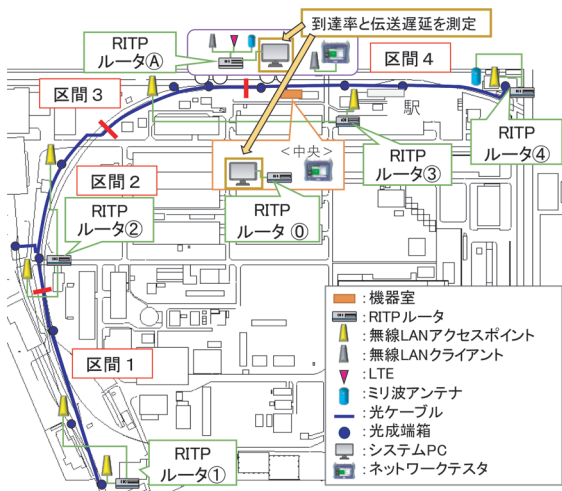


図4 実証試験の機器配置

今回の試験で使用する無線LANの帯域がひっ迫するようにネットワークテストでパケットを生成し、車上から地上、および地上から車上の双方向でUDPにより宛先のネットワークテストへ送信した。ネットワークテストも含めた機器配置図を図4に示す。また、図4には表3で定義した区間の位置も示す。

## 5.2 実証試験の方法と評価

試験では、伝送媒体選択機能のうち、「伝送媒体切替方式（以下、伝送方式A）」と、「全媒体利用方式（以下、伝送方式B）」の性能差を比較するため、車上装置と運行制御装置との間の制御情報の伝送を毎秒150byteで模擬し、車上と地上にそれぞれのデータの到達率と伝送遅延を測定した。伝送遅延については、指令を模擬した機器室のPCと接続する中央RITPルータと車上制御装置を搭載したPCと接続する車上RITPルータそれぞれにおいて計測された送信時刻の送信間隔と受信時刻の受信間隔を記録した。以降の試験結果では、送信側でのパケット送信間隔の10%値、中央値、90%値をそれぞれ算出すると共に、受信側でのパケット到達率とパケット受信間隔の10%値、中央値、90%値をそれぞれ算出し、これらの値で評価をした。

さらに、無線LANに負荷をかけた状態（以下、負荷有状態）とかけていない状態（以下、通常状態）の試験を実施し、データの到達率と受信間隔を比較した。さらに、伝送方式Aで選択された伝送媒体を図示することにより、負荷の影響による到達率の変化や選択される伝送媒体の違いを確認した。

## 5.3 試験結果

### 5.3.1 送信間隔の結果

送信側のパケット送信間隔の10%値、中央値、90%値をパケットの送信方向ごとに表4に示す。表4から、伝送方向によって送信間隔に差があり、地上から車上への送信間隔が、設定した1秒に対して、若干遅れることが分かった。

### 5.3.2 受信間隔の結果

#### (1) 通常状態の試験結果

まず、通常状態の結果を表5にまとめる。なお、全てのパケットが受信できた場合でも、次に受信するパケットを損失する可能性があるため、到達率は99.9%以上と表記する。また受信間隔の算出では、ロスしたパケットは除いて値を算出した。このため、表5における伝送

表4 送信間隔の結果

送信間隔 [秒]	伝送方向	
	地上から車上	車上から地上
10%値	1.015	1.000
中央値	1.015	1.001
90%値	1.016	1.002
N	1828	1779

N：サンプル数

方式 A の N の値は、受信間隔の方が小さい。

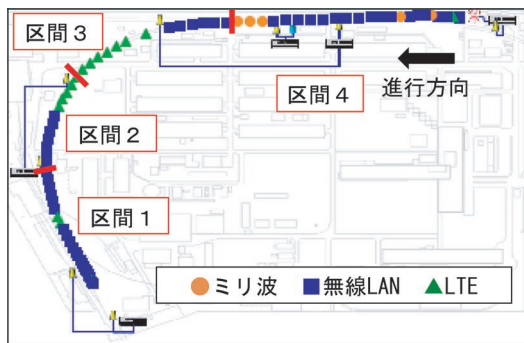
表 5 から、伝送方式 A では、地上から車上へのパケットの到達率よりも、車上から地上へのパケットの到達率が高いことが分かる。一方、伝送方式 B では、伝送方向によらず、到達率は 99.9% 以上であった。パケットの受信間隔に着目すると、中央値に関しては、送信間隔の中央値とほぼ同様の値であることが分かる。しかし、10% 値と 90% 値の差を比較すると、いずれの伝送方向においても伝送方式 B の方が伝送方式 A より小さいことが分かる。したがって、伝送方式 B は伝送方式 A より低遅延で伝送できたと言える。

また、図 5 に伝送方式 A において選択された媒体を示す。図 5 から、全ての媒体が利用可能な区間 4 では、ほぼ無線 LAN が選択されており、曲線区間である区間

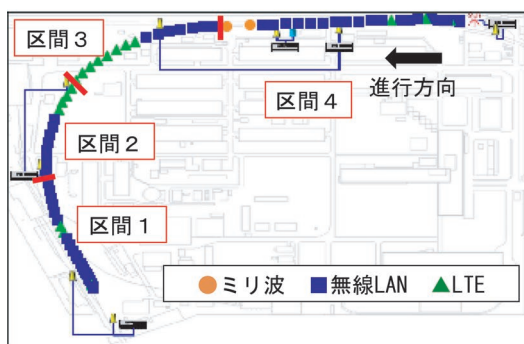
表 5 試験結果（通常状態）

伝送方向		地上から車上		車上から地上	
伝送方式		A	B	A	B
到達率 [%]	10%値	98.3	>99.9	99.1	>99.9
	中央値	99.2	>99.9	>99.9	>99.9
	90%値	>99.9	>99.9	>99.9	>99.9
	N	777	548	748	524
受信間隔 [秒]	10%値	1.000	1.000	0.985	0.994
	中央値	1.015	1.015	1.000	1.001
	90%値	1.024	1.022	1.015	1.008
	N	771	548	745	524

N：サンプル数



(a) 地上から車上へのパケット



(b) 車上から地上へのパケット

図 5 伝送方式 A での選択媒体（通常状態）

3 から 2 付近では、LTE が選択されていたことが確認できる。地上から車上へのパケットでは、無線 LAN から LTE への切り替え時に、車上から地上への伝送では、ミリ波と無線 LAN の切替え時に、それぞれ損失（プロットの抜け）が発生している様子が見られる。

(2) 負荷有状態の試験結果

次に、無線 LAN に負荷をかけた場合の試験結果を表 6 に示す。表 6 の伝送方式 A において、到達率を比較すると、表 5 と同様に、車上から地上へのパケットの平均到達率の方が、地上から車上への到達率よりも高いことが確認できる。車上の伝送媒体切替方式では、車上で伝送媒体の状態把握結果を直接受信できるのに対して、地上の伝送媒体切替方式では、伝送媒体の状態把握結果を沿線 RITP ルータから中央 RITP ルータへ転送する時間が発生する。そのため、車上で伝送媒体切替時よりも地上での伝送媒体切替時の方が、伝送媒体の状態を把握してからデータ伝送までの時間差が大きく、その間に伝送媒体の状態が変化したことで損失が発生したものと考えられる。

また、負荷をかけることによって、伝送方式 A における地上から車上へのパケットは、表 5 に示した通常状態よりも到達率が下がることが分かった。地上から車上へのパケットの詳細を解析した結果、最大で 4 パケットロスしていた。一方、車上から地上へのパケットは、負荷有状態時ではロスが発生しなかった。これは、無線 LAN に負荷がかかることにより、ミリ波や LTE を積極的に使用するようになったため、無線 LAN の接続断によるパケット損失の影響を受けにくくなったためと考えられる。

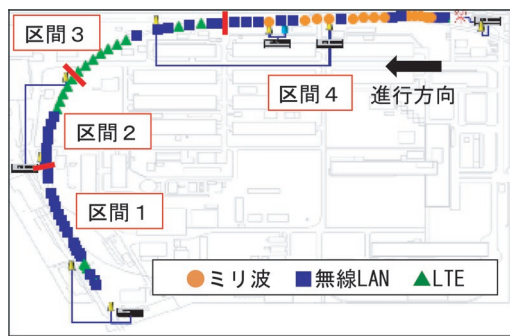
さらに、パケットの受信間隔に着目すると、その中央値は、通常状態と差がないことが分かる。一方、10% 値と 90% 値の差に着目すると、伝送方式 A の方が、伝送方式 B よりも差が大きいため分かる。伝送方式 B では、負荷状態でも到達率が 99.9% 以上であったが、受信間隔の 10% 値と 90% 値に着目すると、車上から地上へのパケットに関しては、表 5 の値よりもその差が広がったことが分かる。したがって、到達率に影響は及ぼさなかったものの、負荷によって伝送遅延が大きくなったものと考えられる。

図 6 は、伝送方式 A において選択された媒体を示し

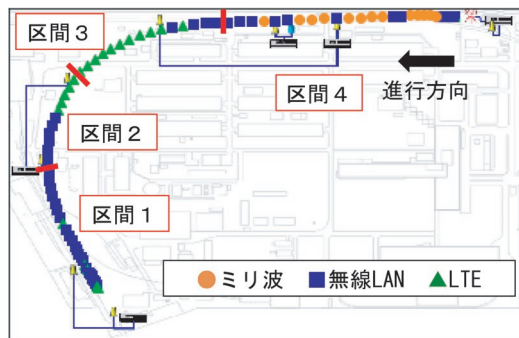
表 6 試験結果（負荷有状態）

伝送方向		地上から車上		車上から地上	
伝送方式		A	B	A	B
到達率 [%]	10%値	91.2	>99.9	>99.9	>99.9
	中央値	92.2	>99.9	>99.9	>99.9
	90%値	93.1	>99.9	>99.9	>99.9
	N	201	324	203	307
受信間隔 [秒]	10%値	0.984	1.000	0.961	0.974
	中央値	1.015	1.015	1.000	1.000
	90%値	1.039	1.028	1.037	1.026
	N	185	324	203	307

N：サンプル数



(a) 地上から車上へのパケット



(b) 車上から地上へのパケット

図6 伝送方式Aでの選択媒体（負荷有状態）

たものである。図6から、全ての媒体が利用可能な区間4では、通常状態（図5）とは異なり、伝送媒体としてミリ波が選択されていることが分かる。また、曲線区間では、図6と同様にLTEを用いているが、LTEを用いる区間が図5よりも手前に広がっていることが分かる。

以上から、伝送媒体選択機能のうち、伝送媒体切替方式は、高い負荷をかけた場合に地上から車上の通信が安定せず、負荷の影響を受けやすいことが分かった。一方で、全媒体利用方式では、いずれの場合も安定して通信が可能であることが分かった。

## 6. まとめ

本稿では、鉄道システムに流れる異なる系統のデータをネットワーク上でシステムを超えて共有できる統合情報ネットワークの構築に向けて、複数の伝送路を活用してデータを伝送する手順として提案した鉄道向け通信ネットワークプロトコル（RITP）の考え方と基本的な機能について述べた。さらに、RITPの基本機能のうち、伝送媒体状態把握機能と伝送媒体選択機能の具体的な仕様を提案し、これらの機能を実装した試作ルータを用いて、走行中の車両と地上との間で機能の実証試験を行った。その結果、伝送媒体選択機能の全媒体利用機能により、

パケット到達率が99.9%以上となることを確認した。

今後は、他のRITP機能に対する具体的な仕様の提案を行い、統合情報ネットワークの実現に向けた検討を進めていく予定である。

本研究の一部は、三菱電機株式会社との共同研究により得られた成果が含まれている。

## 文献

- 1) 竹内恵一, 川崎邦弘, 流王智子, 寺田夏樹, 祇園明宏, 辰井大祐: 鉄道の運行に関わる情報の流れをみる, Railway Research Review, vol.75, no.2, pp.16-19, 2018
- 2) 中村一城, 川崎邦弘, 竹内恵一, 流王智子: 運行に関わる情報を共有する統合情報ネットワーク, RRR, vol.75, no.8, pp.8-11, 2018
- 3) 中村一城, 川崎邦弘, 竹内恵一, 流王智子: 鉄道運行向け情報統合ネットワークの提案, 鉄道総研報告, vol.32, no.5, pp.41-46, 2018
- 4) 羽田明生, 岩澤永照, 祇園明宏, 流王智子, 川村智輝, 小川祥吾, 山口大介, 竹内恵一, 中村一城, 川崎邦弘: 列車運行向け情報統合ネットワーク用プロトコルの提案, 2019年電気学会 電子・情報システム部門大会, No.GS12-4, 2019
- 5) 流王智子, 羽田明生, 山口大介, 中村一城, 川崎邦弘, 富澤俊明: 列車運行向け統合情報ネットワークにおけるプロトコルの提案と機能検証, 電気学会研究会, TER, Vol.2022, No.1, pp.79-84, 2022
- 6) 流王智子, 羽田明生, 山口大介, 中村一城, 川崎邦弘, 富澤俊明: 列車運行向け統合情報ネットワークにおけるプロトコルの機能確認試験, 電気学会研究会資料, CMN-22-040, 2022
- 7) 北野隆康, 岩澤永照, 中村一城, 竹内恵一, 川崎邦弘: 鉄道運行制御システム向け5Gガイドラインの策定に向けた検討項目の整理, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-5-15, 2022
- 8) FRMCS: <https://uic.org/rail-system/frmcs/>(参照日: 2022年10月3日)
- 9) 阪田史郎: インターネットにおけるQoS制御, 電子情報通信学会誌, Vol.85, No.10, pp.749-755, 2002
- 10) 中尾彰宏: SDNがもたらす柔軟な将来網の世界, 電子情報通信学会誌, vol.96, no.12, pp.902-905, 2013
- 11) Han B, Gopalakrishnan V, Ji L, Lee S., "Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations.," IEEE Communications Magazine, vol.2, pp.90-97, 2015.
- 12) 原田博司: コグニティブ無線ルータの概要と今後の展開, 信学技法, SR2010-44, pp.25-32, Oct 2020