

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 車両間データ伝送用無線通信ネットワーク

鉄道車両のメンテナンスは、運転実績や走行距離に基づいた定期保全を基本としています。これに対して、車上機器の状態情報を収集・表示するための状態監視システムが導入され、故障の兆候や不具合を早期に検知できるようになることが期待されています。すでに一部の鉄道車両においては、引き通し線を利用した車両の状態監視システムが導入されていますが、引き通し線が装備されていない車両では、有線回線を伝送路とする状態監視システムの導入が困難です。そこで、車両の状態情報を無線通信で伝送するネットワークを開発しました。

## はじめに

現在、鉄道車両では、車上機器などの動作状態を運転台で監視する状態監視システムが導入されつつあります。それらの情報の伝送路として、現在はおもに引き通し線（有線回線）が利用されています。したがって、引き通し線が装備されていない貨車や客車、気動車などの車両では、有線回線を伝送路とするシステムの導入が困難です。そこで、無線通信を用いて車両の状態情報を伝送するネットワークを開発しました。

タを無線で伝送するための端末（以下、ノード）と各車両もしくは複数車両ごとに設置され、ノードの一部からデータを収集する中継ノードとで構成されるネットワークと、データを収集した複数の中継ノードと各車両で収集したすべてのデータを集約するための装置（集約装置）とで構成されるネットワークの2つのネットワークを用いたマルチレイヤー構造のネットワークがあります。この技術を貨車のように頻繁に増解結をする編成に適用すると、車両の解結により、ノードがネットワークから切り離される事象が発生する可能性があるため、編成の変更のたびにネットワークを変更しなければならないという課題があります。

## 車両向け無線通信ネットワークの課題

車両の状態監視を行うための既存の無線通信ネットワーク技術としては、車両内に設置されたセンサーのデー

このような課題を解決する手法のひとつに、動的にネットワークを構成できるアドホックネットワーク（参照）の技術があります。しかし、都市部の駅構内などでは、近接する番線に別編成の列車が存在する場合も多く、アドホックネットワークでは、このような近接する別編成の車両にあるノードともネットワークを構成してしまう可能性があります（図1(a)）。この課題へ

### アドホックネットワーク

アドホックとは、ラテン語で「その場限り」という意味をもちます。端末どうしが直接接続し、その場で自立的に作り上げたネットワークをアドホックネットワークとよびます。そのネットワーク内で端末から端末にデータを伝送することで通信を実現します。



流王 智子

Satoko Ryuo

信号・情報技術研究部  
ネットワーク・通信研究室  
副主任研究員

【専門分野】 データ分析、  
センサーネットワーク



岩澤 永照

Nagateru Iwasawa

信号・情報技術研究部  
ネットワーク・通信研究室  
研究員

【専門分野】 無線通信シ  
ステム



川村 智輝

Tomoki Kawamura

信号・情報技術研究部  
ネットワーク・通信研究室  
研究員

【専門分野】 誘導障害



羽田 明生

Akio Hada

元 信号・情報技術研究部  
ネットワーク・通信研究室  
副主任研究員

【専門分野】 最適化



川崎 邦弘

Kunihiko Kawasaki

信号・情報技術研究部  
部長

【専門分野】 無線通信シ  
ステム, EMC

の対策として、同一のグループID間でネットワークを構成するように設定することも可能ですが、ノード、中継ノード、集約装置に対して、あらかじめグループIDを登録しておく必要があります(図1(b))。そのため、車両の増解結が頻繁に行われる場合、グループIDの事前登録作業が煩雑化するので、実用面で現実的な手法ではないといえます。

そこで、車両の増解結などにより編成内の車両が変化した場合においても、自列車のネットワークのみを自動で構成する新たな手法が必要となります。そこで、車両間でデータ伝送を行う無線通信ネットワークを編成情報に基づいて構成する手法を提案しました。

### 車両間データ伝送用無線通信ネットワークの提案

提案する無線通信ネットワークは、車両の状態データを取得して無線で送信する「センサーノード」、運転台などに設置して各車両からのセンサーデータを収集し、表示や蓄積を行う「ホスト装置」、センサーノードからのデータを収集して、直接または中継をしながらホスト装置までデータ伝送を行う「中継装置」で構成されます。この無線通信ネットワークでは、車両ごとに中継装置一台と複数のセンサーノードからなる「車両内ネットワーク」で中継装置にデータを収集し、各車両の中継装置とホスト装置からなる「車両間ネットワーク」でホスト装置にデータを収集します(図2)。つまり車両単位の車両内ネットワークと編成単位の車両間ネットワークの2つのネットワークによるマルチレイヤー構造となっています。

車両間ネットワークでは、ホスト装置が輸送管理システムからあらかじめ中継装置と車両の固有番号とをひも付けた編成情報を受け取ることで、

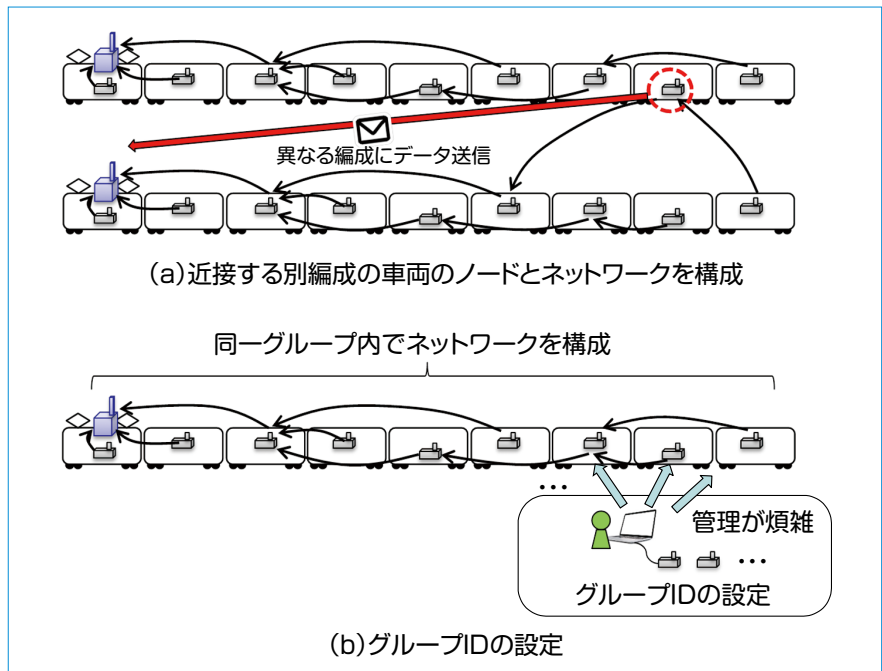


図1 アドホックネットワークの課題

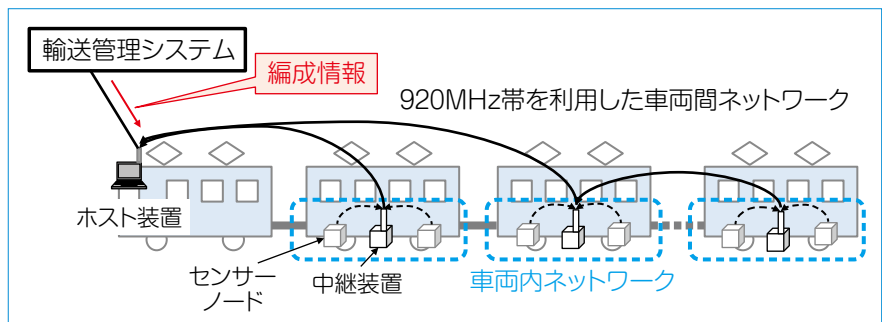


図2 車両間データ伝送用無線通信ネットワークの構成

同じ編成内にある中継装置がどこにつながっているかを特定することができます。その情報を基に、伝送経路を自動的に切り替えることで、車両の増解結にも対応することができます。

### 車両間ネットワークの構成手法

図2で示した車両間ネットワークは、次のような手順で構成します。

まず、駅などで列車が停車中にホスト装置が本社などの輸送管理システムから編成情報を得て、編成を構成する車両番号と連結順を把握します。また、ホスト装置には、編成情報に加えて、端末間で直接伝送可能な車両数を表す「想定通信可能両数」が設定されています。なお、この想定通信可能両

数は、使用する無線機の特長や使用環境などから事前に算定しておきます。

次にホスト装置は、想定通信可能両数内にあるホスト装置と中継装置間、中継装置と中継装置間で、通信確認を行います。この通信確認では、各装置間の伝送の可否を確認するため、送信元の装置から宛先の装置に対して、伝送可能の可否を確認するパケットを送信し、宛先装置がそのパケットを受信すると、送信元の装置にパケットを受信したことを返信します。送信元装置では、宛先の装置から返信されてきた数をカウントし、その成功数によって、通信状態を判定します。

このように当該編成内の車両に設置された中継装置と通信を行いながら、

データ伝送に使える経路を決めていき、車両間ネットワークを構成します。一旦ネットワークが構成されれば、列車の編成に変更がない限り、構成されたネットワークを利用してデータの伝送を行うことができます。

### 車両間ネットワークにおけるデータ伝送

車両間ネットワークでは、基本的にはまず無線通信を確立させてネットワークを構成した上で、センサーデータを収集します。センサーデータを出発前や走行中の車両の状態を確認するために使用されることを想定しますと、データの収集時間はより速いことが望まれます。そこで、車両間ネットワークを構成しながら、センサーデータを収集する手法を提案しました。図3に、ホスト装置が編成情報を把握したのちに、ホスト装置と中継装置間で車両間のネットワークを構成しつつ、データを収集する動作手順を示します。

この動作手順のうち、STEP1とSTEP2はネットワークの構成手順を、STEP3は中継装置からのデータ収集手順をそれぞれ示します。提案する手法では、ホスト装置に近い中継装置から順番にネットワークを構成していくと同時に中継装置からのデータ収集を行います。また、想定通信可能両数内の限られた通信範囲ではありますが、実際に通信確認を行うことによって、構成するネットワークの信頼性が向上します。なお、編成が変更されず、ネットワークの構成に変化がない場合には、上記の動作手順のうちデータ収集に該当するSTEP3を実行することで、データ収集を短時間で繰り返し行うことができます。

### 消費電力量の推定手法

各車両に1台取り付ける中継装置は、バッテリー駆動を想定しています。実

運用の場面では、各中継装置の消費電力量を予測し、バッテリーの交換周期まで確実に稼働するようなバッテリー容量の設計が必要となります。そこで、各中継装置の電力消費量を推定する手法を提案しました。

消費電力量の算出フローを図4に示します。算出フローでは、まず、中継装置の台数、想定通信可能両数(図4の入力①)などを入力し、市販のネットワークシミュレーターで車両間データ伝送用無線通信ネットワークの構成と

データ収集の手順を模擬することにより、各中継装置の送受信回数や処理時間を算出します。次に、算出した各中継装置の送受信回数や処理時間と無線機の送信時消費電力、受信時消費電力、待機時消費電力の仕様値または実測値(図4の入力②)から、各中継装置の電力消費量を求めることができます。

各車両の運用計画を把握し、停車する駅数や停車駅での車両数、車両の編成順をネットワークシミュレーターに入力することにより、運用計画に応じた各中継装置の消費電力量を推定し、バッテリーの交換周期に合わせた適切なバッテリー容量の設計が可能となります。

### プロトタイプ装置を用いた実験

提案した車両間データ伝送用無線通信ネットワークのうち、ネットワークの構成とデータ伝送機能を実装したプロトタイプ装置を製作し、機能確認試験を行いました。図5に製作したプロトタイプ装置を示します。

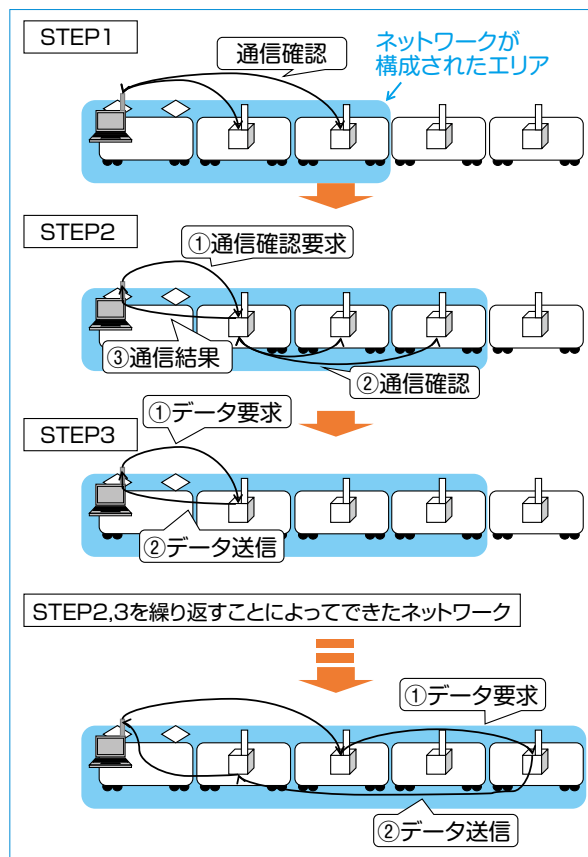


図3 車両間データ伝送用無線通信ネットワークの動作手順

現在、国内における編成の最大車両両数は、旅客列車が17両、貨物列車が26両であるため、中継装置を26台製作し、ネットワークを構成しながらデータ収集を行う場合と、ネットワークがすでに構成された状態でデータ収集のみを行う場合の二通りのパターンについて、処理に要する時間を測定しました。図6にホスト装置1台と中継26台を用いて実験を行った際の処理時間の測定結果を示します。

図6から、車両数が増えると二次関数的に処理時間が増加している様子がわかります。これは、ホスト装置から離れた中継装置であるほど、他の中継装置を経由する回数が多いためです。今回の試験結果は、市販品をそのまま組み合わせて試作したプロトタイプによるものですが、26台の中継装置によるネットワーク構成とデータ収集に必要な処理時間は、約6分30秒でした。一方で、あらかじめネットワークが構成された状態であれば、10両以下の

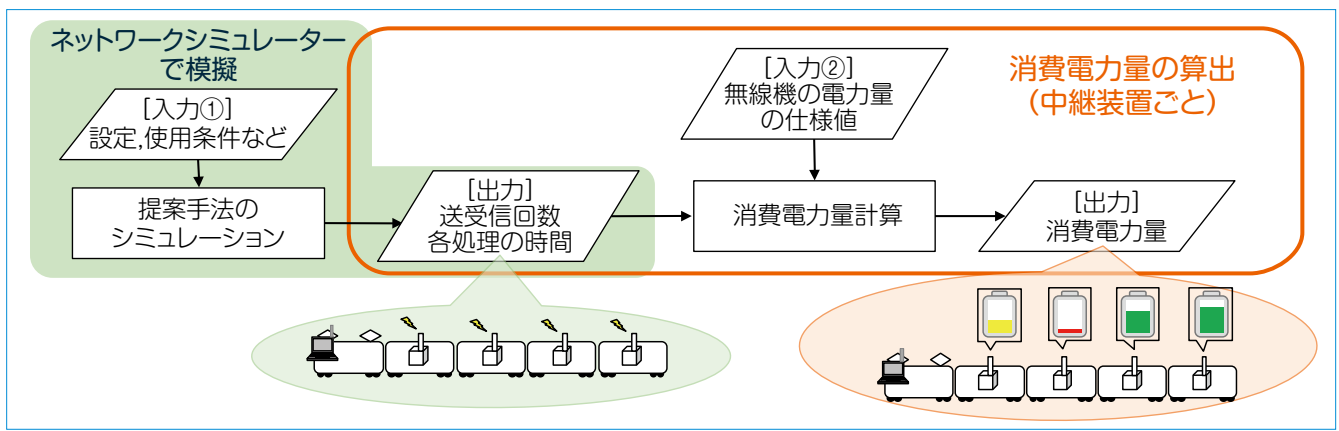


図4 消費電力量の算出フロー

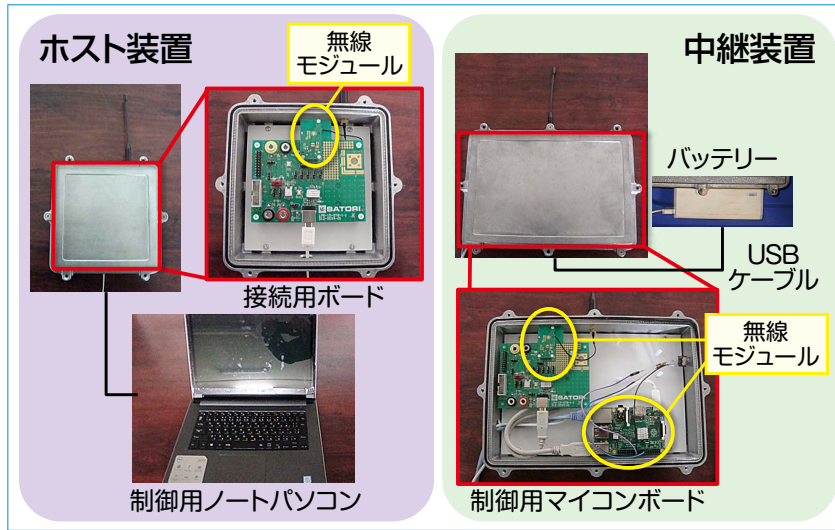


図5 製作したプロトタイプ装置

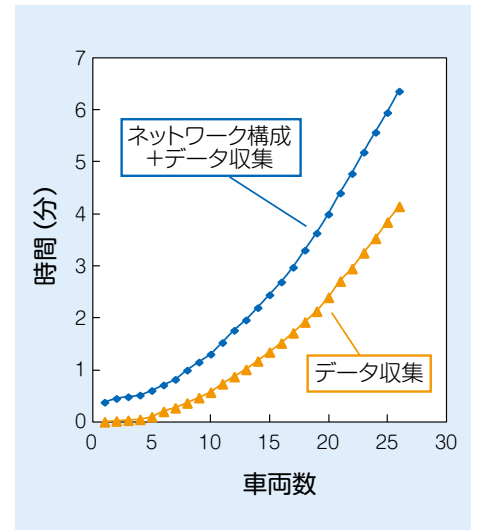


図6 車両数と処理時間の関係

編成の場合約30秒以内の周期でデータ収集を行うことが可能であることがわかりました。なお、ここで示した処理時間は、無線機の特性に依存するため、本試験で用いた無線機よりも伝送速度や処理速度の速い無線機を選定し、専用のハードウェアを設計・実装することによって、さらに処理時間を短縮することが可能です。

### おわりに

ここでは、有線の伝送路を構築することが難しい車両や、増解結のある車両に状態監視システムを導入するための手法として、車両単位で構成される車両内ネットワークと、編成単位で各車両の中継装置とホスト装置から構成される車両間ネットワークの二つのネットワークを組み合わせた車両間

データ伝送用無線通信ネットワークを提案しました。また、各中継装置からホスト装置までの伝送路を増解結に合わせて自動的に構成するための車両間ネットワークの構成手法を提案するとともにプロトタイプ装置を製作し、提案手法によるネットワーク構成とデータ収集が可能であることを確認しました。さらに、ネットワークシミュレーターによる計算結果と無線機の仕様などから、各中継装置の消費電力量を推定する手法を提案しました。これらの検討結果を、車両間データ伝送用無線通信ネットワークの仕様書としてまとめています。

今回提案した車両間データ伝送用無線通信ネットワークを活用することにより、車両基地や駅出発前に車両の状態を確認することが可能となります。

今後は、走行中に電波環境が変化した場合でも伝送品質を安定させる手法など、走行列車への導入に向けた研究開発に引き続き取り組んでいく予定です。

RRR

### 文献

- 1) 流王智子, 岩澤永照, 川村智輝, 羽田明生, 川崎邦弘: 車両状態監視向け車両間ネットワークの構成手法, 鉄道総研報告, Vol.31, No.3, pp.41-46, 2017
- 2) 流王智子, 岩澤永照, 川村智輝, 羽田明生, 川崎邦弘: 車両増解結に対応した車両間無線通信ネットワーク, 鉄道と電気技術, Vol.28, No.10, pp.31-35, 2017
- 3) 岩澤永照, 羽田明生, 流王智子, 川村智輝, 川崎邦弘, 野末道子: 車両増解結を考慮した車両間ネットワーク構築, 平成28年電気学会産業応用部門大会講演論文集, No.5-38, pp.283-288, 2016