

鉄道で公衆通信回線を活用するため、データの流れをさぐる



細川 雄太
Yuta Hosokawa
情報通信技術研究部
通信ネットワーク研究室
研究員



竹内 恵一
Keiichi Takeuchi
情報通信技術研究部
通信ネットワーク研究室
主任研究員

はじめに

鉄道システムでは、列車を安全に、かつ定時で運行するため、さまざまな情報が流れています。列車と地上との間には、無線を用いた鉄道独自の通信システムが構築されており、乗務員—指令間の音声や、運行制御情報、車上装置の状態監視データなどの情報が流れています。

近年、運行制御の省力化・自動化と通信設備数の削減に向けて、LTEや5Gなどの公衆通信回線を活用する取り組みが進められています。公衆通信回線を使って安全・安定運行に関わるデータを送る際には、送った情報がきちんと流れて相手に届くかを把握したうえで、適切な活用方法を検討する必要があります。

そこで、公衆通信回線を鉄道の運行制御や状態監視などに活用可能か否かを手軽にチェックできるよう、簡易的に伝送特性を測定するシス

テムと、測定結果を容易に分析できるツールを開発しました。本記事では、開発した伝送特性測定システムと分析ツールについて紹介します。

自営通信回線のメリットと課題

これまで、列車無線[☞]や無線式列車制御システム[☞]など、安全・安定運行に関わるデータを列車—地上間で伝送するための通信回線は、鉄道事業者が自ら設計・構築してきました(図1(a))。通信回線を自ら構築する最大のメリットは、通話や制御情報などのデータを送るために必要な伝送品質[☞]を自由に設定して実現できることにあります。また、通信回線の伝送品質を自ら細かく測定できるため、情報がきちんと流れているかを随時確認でき、万が一データがうまく流れなかったときの対応がしやすい、というメリットもあります。

☞ 列車無線

列車の乗務員と指令所との間で音声やデータの通信を行う無線システムです。運行指示、緊急時の対応、運行状況の報告などに使われ、鉄道の安全確保とスムーズな運行に不可欠な役割を果たしています。

☞ 無線式列車制御システム

地上の信号機や軌道回路などを使わず、列車と地上設備間の無線通信で列車の位置や速度、列車の停止点などの情報を伝送し、安全な間隔を保ちながら運行を制御する方式です。これにより、地上設備の削減のほか、列車間隔を縮めて運行本数を増やしたり、柔軟なダイヤ設定が可能になったりするメリットがあります。

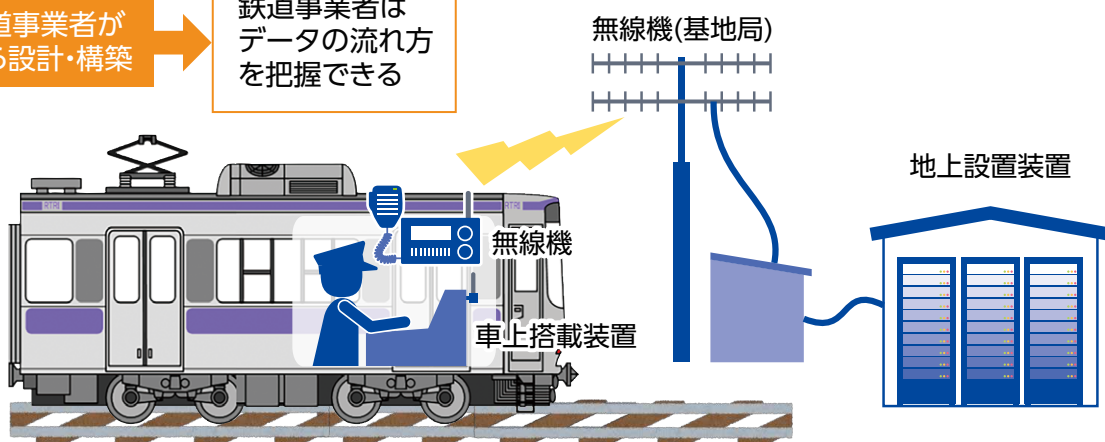
☞ 伝送品質

通信回線を通してデータが伝送される途中で誤りや欠落、遅れがどの程度発生するかを示す指標です。具体的には、受信したデータに誤ったビットが含まれる確率を表すビット誤り率や、送ったデータが伝送途中で失われてしまう確率を表すパケット損失率、データを送ってから届くまでにかかった時間を表すレイテンシーなどが用いられます。これらの値が小さいほど高品質の通信回線になります。実際の通信回線では、伝送品質は一定ではなくさまざまな要因によって変動するため、必要な伝送品質よりも悪くならないよう、余裕を持たせて通信回線を設計します。

(a) 自営通信回線

鉄道事業者が
自ら設計・構築

鉄道事業者は
データの流れ方
を把握できる



(b) 公衆通信回線

通信事業者が
設計・構築

鉄道事業者は
データの流れ方
を把握しづらい

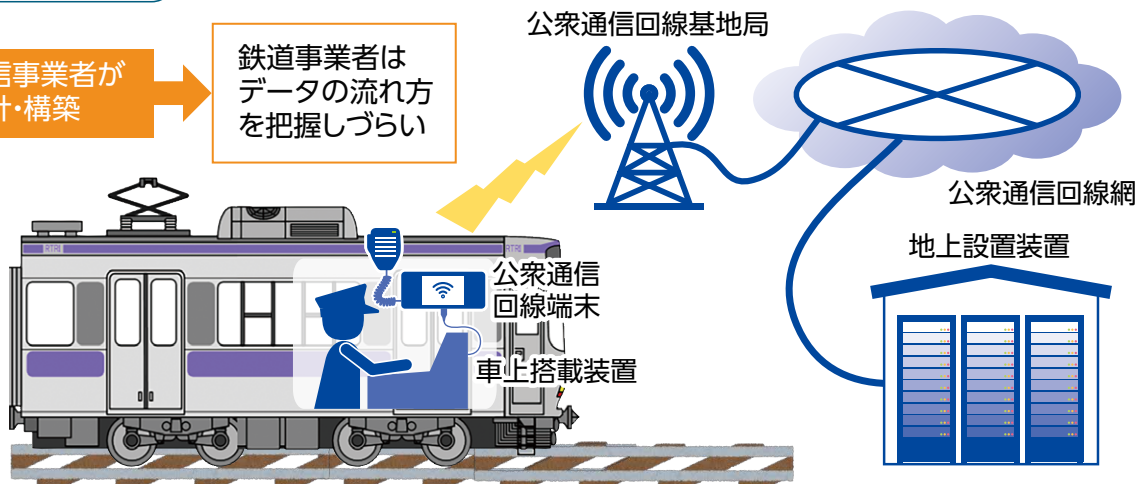


図1 車上-地上間の通信回線

その一方で、鉄道事業者が自ら設備を持って運用するため、構築と保守にコストや手間がかかるといった課題があります。この課題を解決するための一つの手段として、性能向上が著しい公衆通信回線の活用が検討されています。

公衆通信回線の活用と課題

スマートフォンで使われるLTEや5Gのような通信サービスは、通信事業者が設備を設置・運用し、利用者に提供されています。とくに、不特定多数のユーザーに対して提供されるこのような通信回線を公衆通信回線と呼びます。近

年の公衆通信回線は、伝送できる容量が向上しており、また、利用可能なエリアの拡大も進められています。そこで、図1(b)のように、列車-地上間の情報伝送に公衆通信回線を活用することで、無線通信設備の導入・維持・管理に関わる業務の削減や機能の向上が期待されています。

公衆通信回線は、不特定多数のユーザーと回線を共有するため、伝送品質が変動することが想定されます。そのため、従来の自営通信回線の代わりに公衆通信回線を活用しようとする場合には、伝送品質の詳細な管理に代えて、所望



図2 伝送特性測定システムの外観と動作

のデータが問題なく流れるか、通信に大きな遅延が発生しないか、といった特性を確認する必要があります。さらに、同じ通信回線でも、時間帯や曜日によってこれらの特性がどの程度変化するかについても確認が必要です。しかし、1ユーザーとなる鉄道事業者側では、伝送品質の詳細な測定やデータの流れる経路の把握が難しいという課題があります。

公衆通信回線の伝送特性測定システム

そこで、公衆通信回線を用いて情報伝送を行おうとする路線における通信回線の伝送品質の変化などを簡易に測定するため、伝送特性測定システムを構築しました。装置の外観を図2に示します。必要な機器はすべてA4サイズの板に集約しており、付属のバッテリーで動作します。大がかりな機器を準備したり列車の電源に接続したりする必要はなく、本システムを実際

に走行する列車に持ち込むだけで簡単に測定を行うことができます。

本システムでは、公衆通信回線で必要なデータが問題なく流れるか、また送り先に届くまでにどの程度の時間がかかるかを確認するため、地上の設備を模擬するPCに対して、実際に伝送するデータの代わりにチェック用のデータを一定の周期で流します。地上のPCがそのデータを受け取ると、直ちに応答メッセージを返します。本システムでは、チェック用のデータを送ってから応答メッセージが返ってくるまでの時間を記録することで、公衆通信回線を通るデータの往復の伝送時間（遅延時間）を算出します。また、走行する路線のどの区間で通信ができたかを確認できるように、位置情報（緯度・経度）や接続基地局、受信した電波の強さなどの情報を同時に記録します。対象の路線を走行する列車に本システムを持ち込み、時間帯や日

を変えて複数回測定することで、対象路線全体の特性の変化も把握できます。

伝送特性の測定データ 分析ツール

分析ツールの開発

伝送特性測定システムで記録された測定結果は、**図3**の画面内にあるようなテキストデータとして保存されています。特に、対象の路線が長距離におよぶ場合や、同じ路線で繰り返し測定を行った場合、大量の測定データの分析に多大な労力を要します。そこで、本システムで測定したデータを読み込み、グラフや地図を表示して容易にデータ分析ができるツールを開発しました(**図4**)。ユーザーのPCには特別なソフトウェアをインストールする必要がなく、通常のWebブラウザから利用できます。測定データを画面上にドラッグアンドドロップすると、自動的にグラフや地図が表示され、場所や時間ごとの公衆通信回線の特性を評価できます。

測定結果の分析例

開発した伝送特性測定システムと分析ツールの有効性を確認するため、鉄道総研の所内試験線や周辺の道路を巡回して公衆通信回線

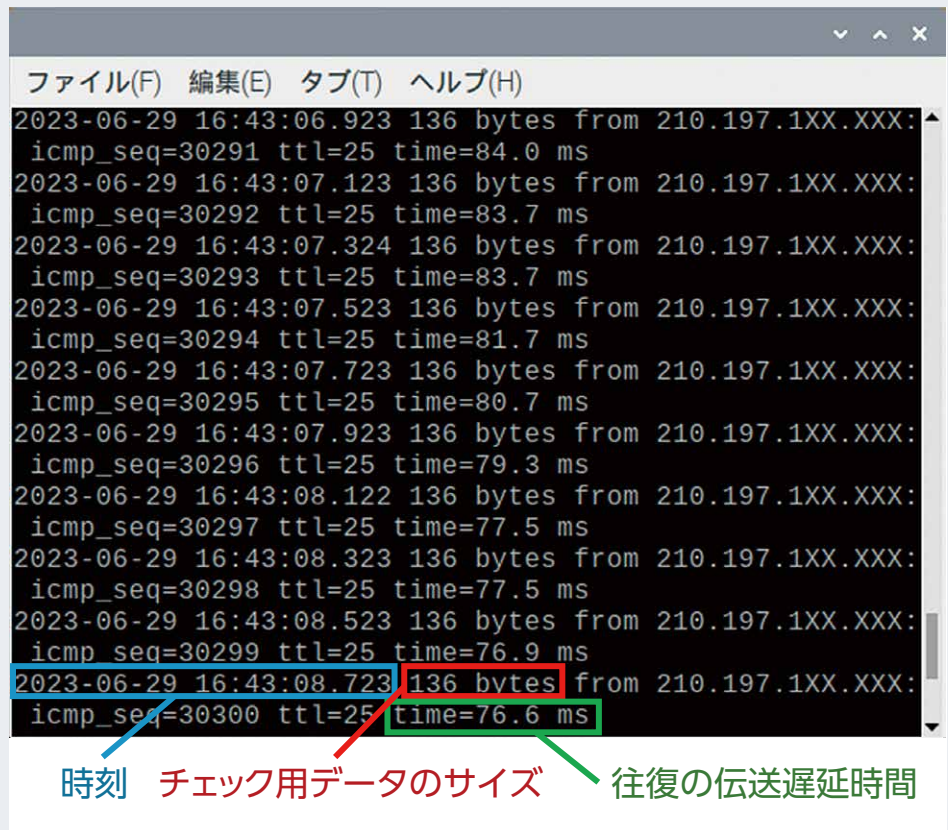


図3 測定システムで記録した結果の例

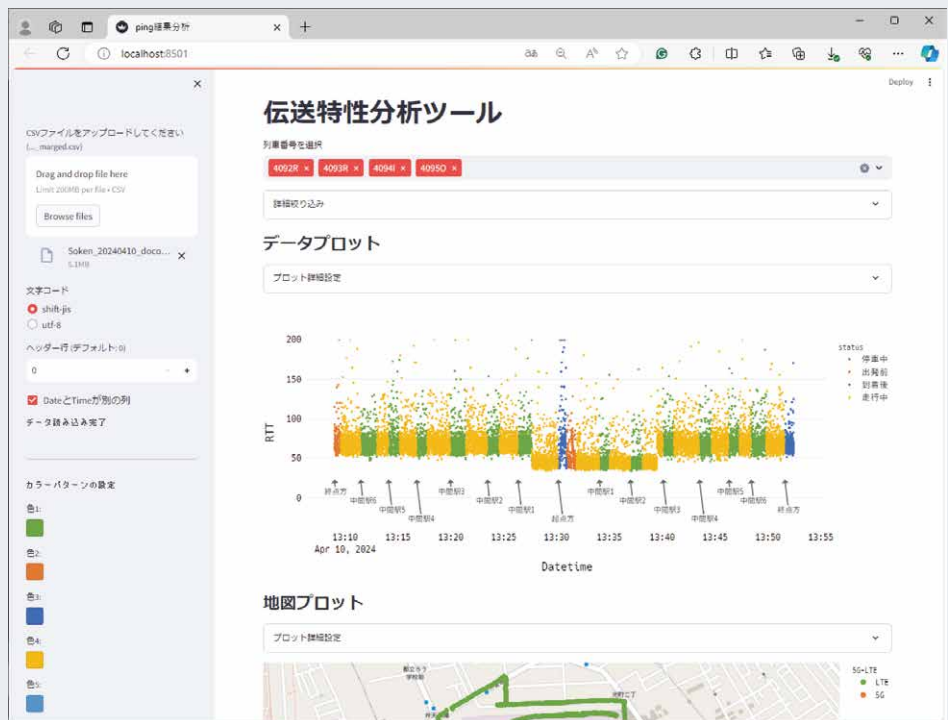


図4 分析ツールの画面

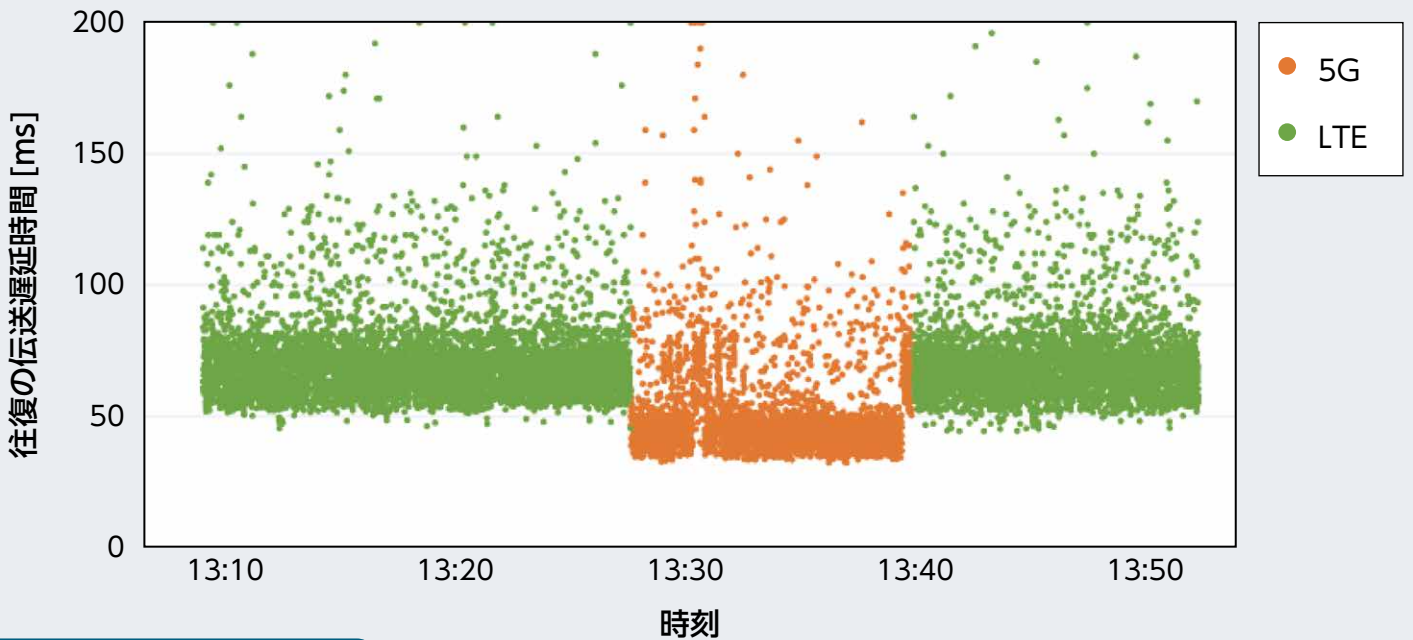


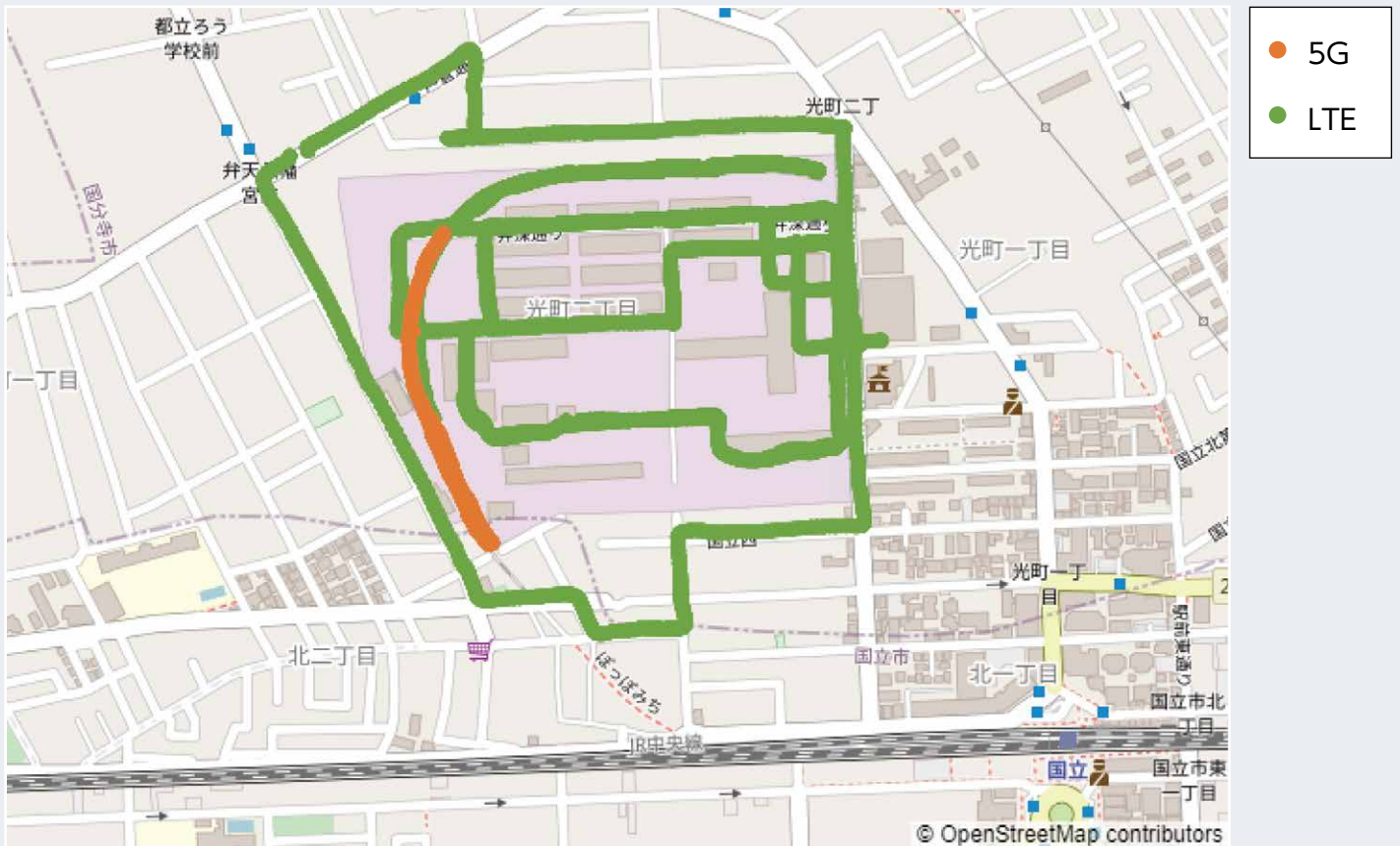
図5 伝送遅延時間の時間変化

の伝送特性を測定し、測定結果の分析を試行しました。

図5は、往復の伝送遅延時間の時間変化をまとめたグラフです。5Gに接続していた^{だいたい}橙色の区間のほうが、緑色のLTEの区間と比較して伝

送遅延時間が短い傾向にあり、より速くデータが流せることがわかります。次に、5G/LTEのそれぞれで接続していた位置の情報を地図上に表示した結果が図6です。巡回したルートのうち、どの位置で5Gに接続していたかが特定

図6 5G/LTEの接続エリア（地図データ：OpenStreetMap³⁾）



できます。これらの分析結果は、例えば、5Gが接続可能な区間に入ったときに大きなデータを送るシステムの導入検討などに活用できます。

公衆通信回線では、通信事業者が設置した基地局との間で無線通信を行うため、基地局との距離や障害物の有無などの要因によって、受信する電波の強さが変わります。図7のように、受信した電波の強さを地図上に表示すると、対象路線のうち問題なく通信ができる区間を把握することができます。さらに、時間帯や曜日を変えて測定したときの変動をみることで、公衆通信回線を常時活用可能であるかの判断材料となります。分析結果から、安全・安定運行に関わるデータを送るシステムの仕様の検討に活用することができます。

おわりに

本記事では、公衆通信回線の伝送特性を簡易に測定できるシステムと、測定したデータを容

易に分析するためのツールを紹介しました。鉄道の安全・安定運行に関わる情報の伝送に公衆通信回線の活用を検討する際、これらを利用することで、公衆通信回線でも必要なデータが問題なく流れるか、またその時間変化を把握できるようになります。今後は、複数の通信事業者の特性の違いや情報伝送が困難な区間を特定した結果から、複数社の公衆通信回線と自営通信回線を併用して情報伝送を行うシステムの研究開発を進めていく予定です。RRR

文献

- 1) 細川雄太, 竹内恵一, 流王智子, 北野隆康, 祇園昭宏: 地車間情報伝送の伝送遅延測定システムの開発 - 公衆通信回線の地車間情報伝送への適用を目指して -, 第60回鉄道サイバネ・シンポジウム, 論文番号610, 2023
- 2) 細川雄太, 竹内恵一: 公衆通信回線の伝送特性分析ツールの開発, 第61回鉄道サイバネ・シンポジウム, 論文番号612, 2024
- 3) OpenStreetMap: 著作権とライセンス, <https://www.openstreetmap.org/copyright> (入手日: 2025年6月11日)

図7 受信した電波の強さ (地図データ: OpenStreetMap³⁾)

