

鉄道における公衆高速無線通信サービス導入時の 伝送品質評価手法

中村 一城* 河村 裕介* 川崎 邦弘*
関 清隆** 松原 広***

Evaluation Method of Transmission Quality of Public High Speed Wireless
Telecommunication Service for Use in Railway Systems

Kazuki NAKAMURA Yusuke KAWAMURA Kunihiro KAWASAKI
Kiyotaka SEKI Hiroshi MATSUBARA

Recently the public high speed mobile communication services by use of mobile phone and data communication systems etc. have spread throughout the world. In railways, there are demand to develop the operation support systems and to improve passenger services by using these services. However, there are no methods to evaluate the quality of these services and determine whether these services can be used in railways. Therefore we have developed a method to evaluate the transmission quality of these services by using the results of measurement and simulation. In this paper, we show the developed evaluation method and an example of evaluation of quality of the movie transmission system between the running train and the ground by using the proposed method.

キーワード：公衆高速無線通信サービス，伝送品質，場所率，シミュレーション

1. はじめに

近年の移動体通信技術の進歩は著しく、携帯電話やデータ通信サービス、無線 LAN などのブロードバンド無線通信システムが広く普及している。鉄道業界においても、これらのブロードバンド無線通信システムを活用することにより、業務支援システムの構築や旅客サービスの向上を図りたいという要望が高まっている。しかし、ブロードバンド無線通信システムのうち、携帯電話やデータ通信サービス（以下公衆高速無線通信サービス）は、自営通信網でないため、ユーザである鉄道事業者が伝送品質を詳細に把握することができず、回線の設計や管理を自由に行うことができないという課題がある。

そこで筆者らは、鉄道事業者が公衆高速無線通信サービスを利用して伝送システムを設計する際の支援を行うことを目的に、その伝送品質を予測するためのシミュレーション手法と、アプリケーションの導入可否を評価する手法について検討を行った。

本報告では、導入しようとする線区における公衆高速無線通信サービスを利用した伝送システムの伝送品質

を、鉄道事業者が簡易に実施することが可能な測定方法によって得た測定結果と、推定した基地局位置等の条件に基づいて行う簡易なシミュレーション結果から予測する手法について述べる。また、予測した伝送品質を基にアプリケーションが必要とする品質を満足できるか否かの評価事例について紹介する。

2. 公衆高速無線通信サービスの概要

現在提供されている主な公衆高速無線通信サービスを表 1 に示す。表 1 のうち、最も普及している公衆高速無線通信サービスは、携帯電話システムである。近年、3.9 世代と呼ばれる LTE 方式のサービスが一部の通信事業者で開始された。そして、現在第 4 世代の方式の技術開発・標準化作業が進められている。

また、近年では、データ通信に特化したサービスも提供されており、Mobile WiMAX がサービスエリアを拡大しつつある。さらに、AXGP と呼ばれる規格のシステムについても、最近サービスが開始されたところである。

3. 鉄道環境における公衆高速無線通信サービスを利用した伝送システム

公衆高速無線通信サービスを利用して走行列車と鉄道

* 信号・情報技術研究部 ネットワーク・通信研究室

** 信号・情報技術研究部

*** 信号・情報技術研究部 交通計画研究室

表1 公衆高速無線通信サービスの例

		周波数 (GHz)	伝送速度 (Mbps)
1	Mobile WiMAX	2.5	40 (ダウンリンク) 10 (アップリンク)
2	3.5 世代携帯電話 (HSPA+)	1.7	21 (ダウンリンク) 5.8 (アップリンク)
3	3.5 世代携帯電話 (DC-HSDPA)	1.5 1.7	42 (ダウンリンク) 5.8 (アップリンク)
4	3.9 世代携帯電話 (LTE)	1.5 1.7 2.0	75 (ダウンリンク) 25 (アップリンク)
5	AXGP	2.5	76 (ダウンリンク) 10 (アップリンク)
6	衛星 (インマルサット)	1.5 (ダウンリンク) 1.6 (アップリンク)	0.492

※通信システムの伝送速度は、製品またはサービスとして実現されている値

事業者のサーバ間で情報を伝送するシステムでは、車上と鉄道事業者の間は、移動体通信事業者ネットワークやインターネット網など、複数のネットワークで構成されている。

特に、公衆高速無線通信サービスは、回線の設計や管理を通信事業者が行っていることから、鉄道事業者が当該サービスを利用しようとする場合には、通信事業者が定めた利用条件、回線の伝送品質等の制約条件下でシステムの設計をしなければならない。

そこで、車上・地上間の伝送システムとして構成される各ネットワークの境界点を整理し、車上側端末～鉄道事業者のサーバ間等でデータ伝送を行うための伝送システムモデルを作成した(図1)。本モデルにより、鉄道事業者(ユーザ)がシステム設計を行うに当たって、ネットワークの設計・把握が可能な部分(①～②,⑥～⑧)と、一部可能な部分(⑤～⑥)、不可能な部分(②～⑤)を明確にした。

次に、ネットワークの設計・把握が不可能な部分を含んだ伝送システムの品質を予測する方法について検討を行った。

伝送システムを設計する場合には、導入しようとする線区において、できるだけ多くの使用環境条件下による

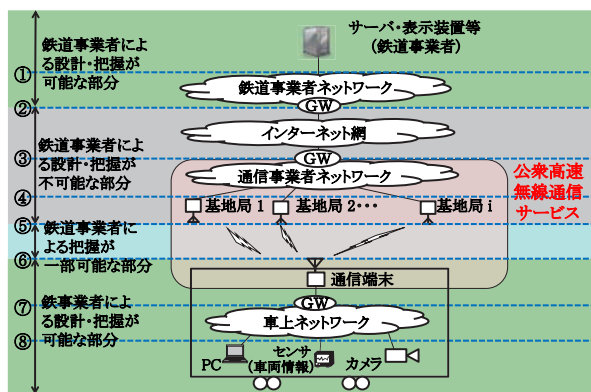


図1 鉄道におけるブロードバンド通信システムのモデル

測定試験を行い、伝送特性を把握することが望ましい。しかし、そのためには、膨大な人員や時間などのリソースが必要となり現実的ではない。また、シミュレーションにより、実際に測定を行わずに伝送特性を予測する手法があるが、公衆高速無線通信サービスの基地局条件やインターネット網の負荷など、鉄道事業者では設計や把握が不可能な未知の部分があることから、場所や時間ごとに変動する伝送特性を厳密にシミュレーションで再現することは困難である。

そこで、公衆高速無線通信サービス用の通信端末とPCだけを利用して限られた使用環境条件下で行う簡易測定と、測定を実施していない仮定した使用環境条件下における伝送特性のシミュレーション結果を組み合わせ、エンド・ツー・エンドにおけるスループットや伝送遅延等の伝送特性を予測し、品質の評価を行う手法を考案した。

なお、ここでは無線回線設計において用いられている、「ある一定の割合で所望の伝送品質を満たせない場所や時間が存在することを許容する」という考え方を採用することとした。検討にあたっては、災害時やイベント時のように、ネットワークに大きな負荷がかかる時ではなく、通常時を評価の対象とすることとし、ある区間において所定の伝送品質が得られる範囲の割合を示す場所率を評価指標として、伝送品質の評価を行うこととした¹⁾。

4. 公衆高速無線通信サービスを利用した伝送システムの伝送品質予測手法

本章では、筆者らが提案する簡易測定結果とシミュレーション結果から伝送システムの品質を予測する手順と、予測した伝送品質から所望のアプリケーションの導入可否を評価する手順について述べる。

提案手法では、3つのステップで伝送品質の予測とアプリケーション導入可否の評価を行う(図2)。また、各ステップにおける具体的な手順を以下に示す。

(1) ステップ A

ステップ A では、導入環境、ネットワークの構成、アプリケーションの機能を満足させるために伝送システムに求められる伝送品質などから、伝送システムに必要な条件を整理する。

まず、伝送システムの品質を決定するために必要なアプリケーションの要求事項(ユーザ数や1ユーザ当たりのサービス所要品質等)の整理を行う。

次に、アプリケーションが要求するサービス品質を実現するために必要な伝送システムの品質を設定する。ここでは、アプリケーション層で求められる伝送速度とトランスポート層に必要なスループットが異なることを考慮した所望のスループット設定が必要である。

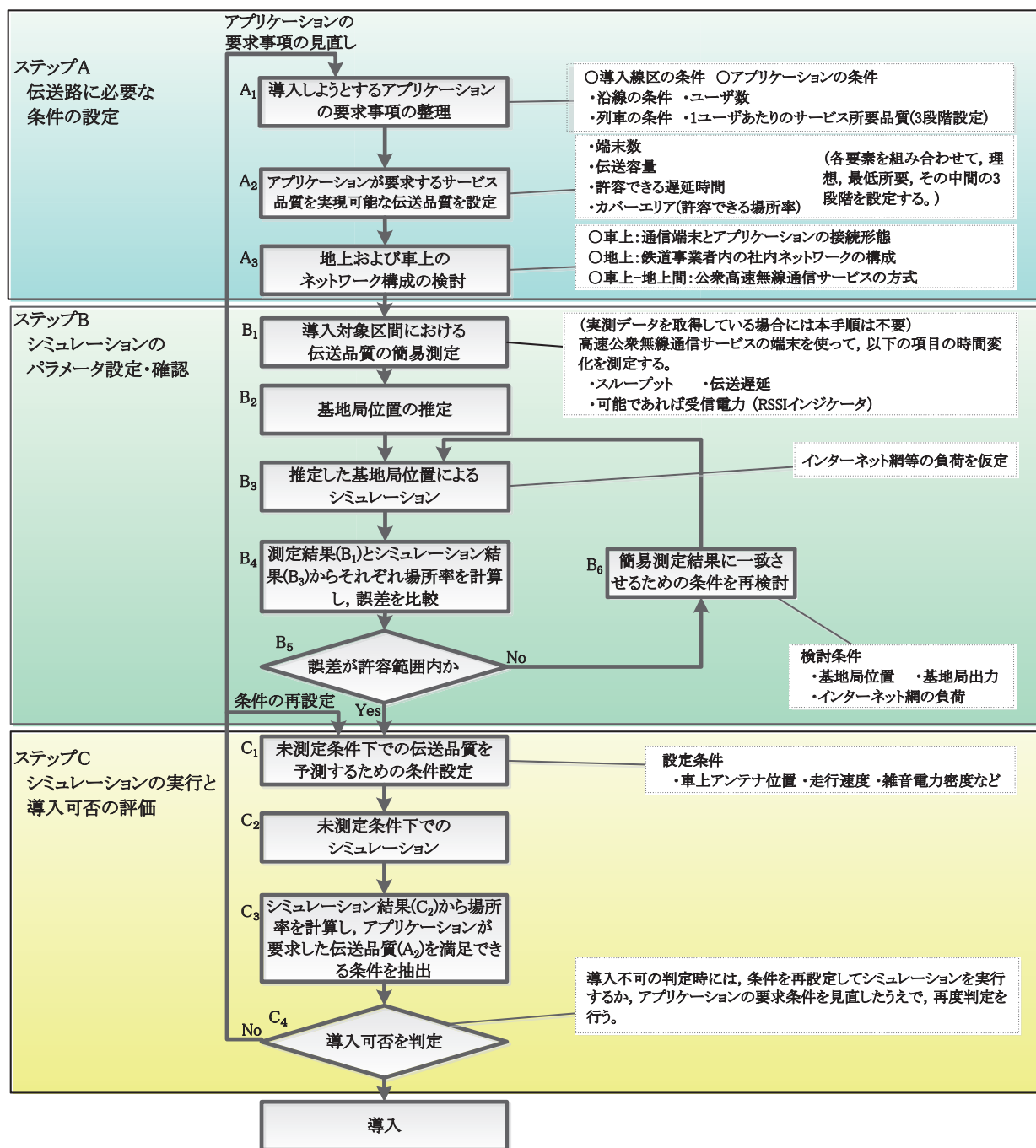


図2 伝送品質予測とアプリケーション導入評価の手順

さらに、車上・地上それぞれのネットワーク構成、車上～地上間に利用する公衆高速無線通信サービスを設定する。

(2) ステップ B

ステップ B では、導入対象区間において、スループットや伝送遅延時間の簡易測定を行うとともに、開発したシミュレータによるシミュレーションを行うために必要なパラメータを設定し、その設定の妥当性を確認する。

まず、未知である公衆高速無線通信サービスの基地局位置を、簡易な測定方法によって得た結果から推定する。

次に、この基地局位置の推定結果を基に、測定時の

条件にインターネット網の負荷等を仮定したシミュレーションを実施し、シミュレーション結果から場所率を求める。

これらのシミュレーション結果と測定結果の場所率を比較し、相関係数を求める。相関係数が閾値以上であれば、ステップ C へと手順を進めていく。相関係数が閾値以下であった場合には、基地局の条件やネットワークの負荷などのパラメータを再設定してシミュレーションを実行し、相関関係になるまで繰り返す。

(3) ステップ C

ステップ C では、ステップ B において設定したパラ

特集：信号通信技術

メータにより、未測定な環境下の伝送品質を予測するためのシミュレーションを実行し、その結果をステップ A で設定したアプリケーションを実現するために必要な伝送システムの品質と比較して、アプリケーションの導入が可能か否かを評価する。

まず、ステップ B で設定した条件を基に、仮定した未測定の使用環境条件下における伝送特性を予測するためのシミュレーションを実行し、その結果から場所率を算出する。

次に、場所率の算出結果とステップ A で設定した伝送システムに求められる伝送品質を比較し、所望のアプリケーションの導入可否を評価する。

5. 提案手法による公衆無線通信サービスを利用した伝送システムの品質評価の試行

5.1 シミュレータの開発

前章において提案した手法が必要とされるシミュレーションを実行するため、各種使用環境条件を入力することで、車上～鉄道事業者のサーバ間におけるエンド・ツー・エンドのスループットや伝送遅延等を出力可能なネットワークシミュレータを開発した。開発に当たっては、ネットワークシミュレータとしての実績があり、無償で公開されている ns-3²⁾ をベースにした。

5.1.1 ネットワークシミュレータ ns-3

ns-3 は研究および学術目的に開発されたオープンソースの離散事象型ネットワークシミュレータであり、多くの研究者によって各種ネットワークモジュールが開発および共有されている。ns-3 の主な特徴は以下のとおりである。

- 各種ネットワークモジュール間で独立した関数等の制御が容易である。
- 独自の乱数生成機構を内蔵しており、各種乱数を用いた確率的事象を扱うことができる。
- シミュレーション実行結果をトレースするための関数が提供されている。
- C++ 言語で記述されている。

5.1.2 シミュレータの構成

開発したシミュレータは、図 1 のモデルに示した複数のネットワークを、各種モジュールで置き換えて実装した。例えば、鉄道事業者ネットワークや通信事業者内、車両内のネットワーク (①～②, ③～④, ⑦～⑧) は、LAN (CSMA) モジュールで、またインターネット網 (②～③) については、両端の接続先が決まっていることから、Point to Point モジュールでそれぞれ置き換えた。さらに、公衆高速無線通信サービスの無線部分 (⑤～⑥) のモジュールは、鉄道の環境に合わせて既存モジュールを改良した。

これらのモジュールを組み合わせ、公衆高速無線通信サービスを含む走行列車上の端末と鉄道事業者が地上に設置するサーバ間におけるエンド・ツー・エンドの伝送特性の予測を可能とした。

5.1.3 ns-3 の改良

前項で述べたとおり、既存モジュールを改良することによって、公衆高速無線通信サービスの無線部分のモジュールを開発した。例えば、Mobile WiMAX³⁾ 用モジュールは、固定 WiMAX 用モジュールに、以下の改良を加えて開発した。

- (1) 無線データ伝送回線シミュレータによる計算結果の取り込み機能

鉄道総研で開発している無線データ伝送回線シミュレータ⁴⁾ による計算結果を取り込む機能を実装することにより、周辺環境 (都市部、郊外部)、列車移動によるフェージングや雑音の変動などを反映した計算を可能とした。

- (2) 基地局選択機能

列車の移動に合わせて、複数の基地局から最適な基地局を選択する機能を追加した。

- (3) 疑似適応変調機能

複数の変調方式・符号化率を、S/N の変化に応じて切替える機能を実装した。

5.1.4 シミュレータの機能

ns-3 に前項までに述べた改良を加えて開発したシミュレータにおける主な入出力パラメータを図 3 に示す。本シミュレータに基地局条件、車上局条件、伝搬環境条件等を入力することにより、一部の制約はあるものの、仮定した使用環境条件下において公衆高速無線通信サービスを利用して車上・地上間で 1 対向のデータ伝送を行った場合の列車位置ごとのスループット、遅延、受信パケット数などの伝送品質を予測することが可能となった。

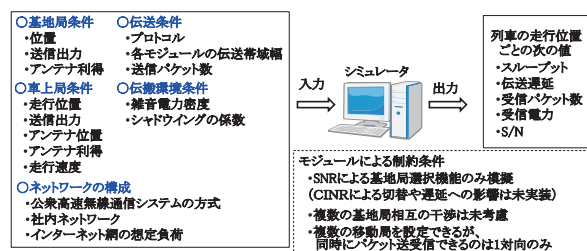


図 3 シミュレータにおける入出力パラメータ

5.2 提案手法の試行

前章で提案した評価手法を用い、車上で撮影した動画を鉄道事業者のサーバや表示装置に伝送するシステムを例とした導入可否の評価を試行した。

- (1) ステップ A

まず、アプリケーションの条件として、車上においてカメラを 2 台使用することとした。1 台当たりの所望の

画質としては、理想とするブロードバンド用配信動画、できれば実現したいナローバンド用配信動画、最低限実現したい携帯電話向け動画の3段階の画質を設定した。また、許容場所率についても、それぞれ仮定した(表2)。

次に、アプリケーションが要求するサービス品質を実現するために必要な伝送システムの品質として、1台当たりに必要なトランスポート層でのスループットをそれぞれ600kbps、200kbps、100kbpsと設定した。また、許容遅延時間についても表3のとおり仮定した。さらに、車上～地上間に利用する公衆高速無線通信サービスはMobile WiMAXとした。

表2 導入しようとするアプリケーションの要求事項

品質レベル	①	②	③
カメラ台数	2		
1台当たりの画質	ブロードバンド用配信動画	ナローバンド用配信動画	携帯電話向け動画
許容場所率(%)	60	80	95

表3 アプリケーションが要求するサービス品質を実現可能な伝送品質

品質レベル	①	②	③
1台当たりに必要なスループット(kbps)	600	200	100
許容遅延時間(ms)	40	70	100

(2) ステップ B

まず、公衆高速無線通信サービスの基地局位置を推定する。車上～地上間で実施した測定試験より、スループットと受信電力が同様の変動傾向を示すことが確認できたことから(図4)、簡易な方法で測定したスループットの結果を用いて基地局位置を大まかに推定することとした。実際にMobile WiMAXを利用して車上～地上サーバ間で行ったスループット測定の結果と、その結果から基地局位置を推定した例を図5に示す。

次に、この基地局位置の推定結果を基に、測定時の条件にインターネット網の負荷等を仮定したシミュレーションを実施し、シミュレーション結果から場所率を求める。

なお、シミュレーション時の電波雑音については、今回検討を行ったMobile WiMAXが使用されている周波数帯(2.6GHz帯)では、車上、沿線ともに鉄道に起因すると考えられる電波雑音の発生は確認されなかったことから(図6)、鉄道沿線以外の環境と同様に電波雑音を扱えることが分かった。

これらのシミュレーション結果と測定結果の場所率を比較する(図7)。ここでシミュレーション結果が測定結果と相関関係があれば、ステップCへと手順を進めていく。相関関係になれば、基地局の条件やネットワークの負荷などのパラメータを再設定してシミュレーショ

ンを実行し、相関関係になるまで繰り返す。

(3) ステップ C

ステップCでは、ステップBにおいて設定したパラメータにより、未測定な環境下の伝送品質を予測するた

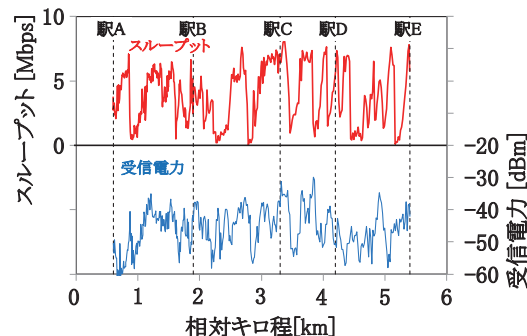


図4 スループットと受信電力の比較

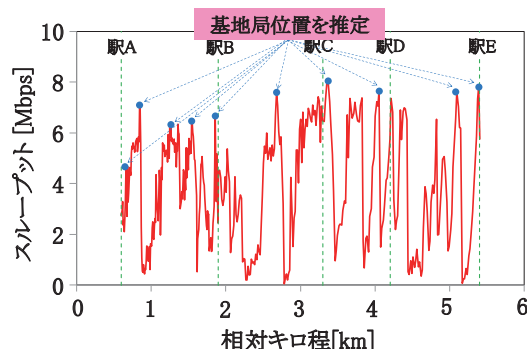


図5 測定結果と基地局位置推定例

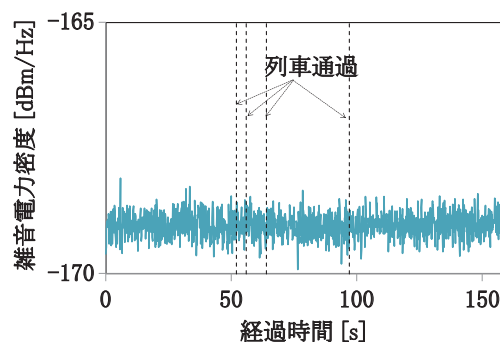


図6 沿線における電波雑音強度測定結果例(2.6GHz帯)

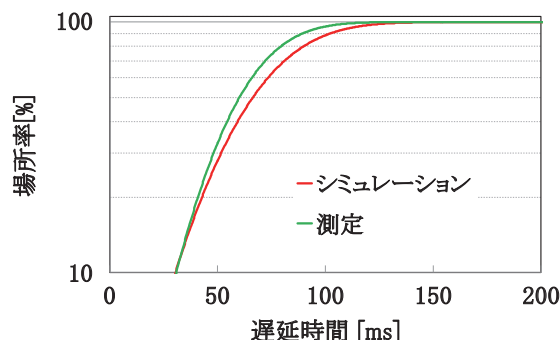


図7 測定結果とシミュレーション結果の比較例

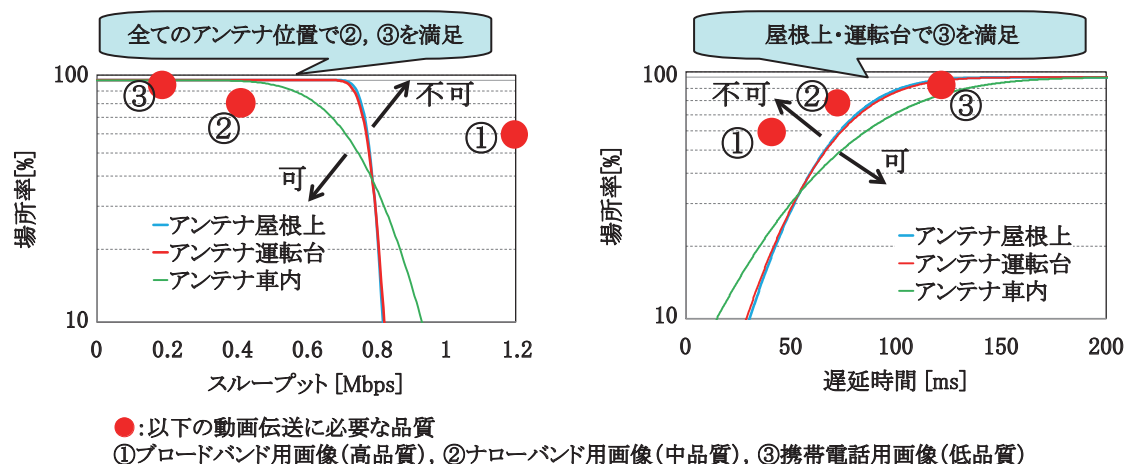


図8 導入評価結果 (Mobile WiMAX の例)

めのシミュレーションを実行し、シミュレーション結果から場所率を算出する。そして、場所率の算出結果をグラフに示し、ステップ A で設定した伝送システムに求められる品質をグラフ上にプロットする (図 8)。ここでは、未測定な環境を車上側のアンテナ位置とし、アンテナ位置を変化させた場合のシミュレーションを実施した。これにより、アンテナ位置を変えた場合におけるアプリケーションの導入可否を評価することができる。

今回試行した評価例 (図 8) では、車上側端末のアンテナを列車の屋根上もしくは運転台に設置することで、携帯電話向け動画相当の画像が伝送可能であると判定でき、提案手法が適用可能であることを確認できた。

6. まとめ

本報告では、鉄道事業者がシステムの設計・把握を行うことができない公衆高速無線通信サービスを利用した伝送システムの伝送特性を、簡易な測定とシミュレーションから予測し、その品質を場所率という評価指標により評価する手法を提案した。さらに、提案手法による伝送品質の評価を試行し、その有効性を確認した。

今後は、評価手法の改良やシミュレータのスループット

ト計算範囲の拡大、基地局選択時にかかる遅延の影響を含めたハンドオーバ機能の実装、複数列車が同一区間に存在して同時に通信を行った場合の評価を可能にするなどの機能の向上を図り、予測精度の向上に努めるとともに、他の公衆高速無線通信サービスでの評価が可能になるよう、検討を進めていく予定である。

謝辞

本研究に当たり、現地試験にご協力いただきました東日本旅客鉄道株式会社、東海旅客鉄道株式会社の関係者の皆様に対し、深く感謝致します。

文献

- 1) 唐沢好男：デジタル移動通信の電波伝搬基礎, pp.14-36, コロナ社, 2003
- 2) “ns-3,” <http://www.nsnam.org/>
- 3) 庄納崇：WiMAX 教科書, インプレス R&D, 2008
- 4) 菅原宏之, 川崎邦弘, 中村一城, 祇園昭宏：無線式列車制御システム用通信ネットワーク性能シミュレータの開発, 鉄道総研報告, Vol.26, No.7, pp.35-40, 2012