

新幹線におけるブロードバンド無線伝送

○鈴木 祐輔 (東日本旅客鉄道株式会社)

立石 幸也 (東日本旅客鉄道株式会社)

工藤 司 (東日本旅客鉄道株式会社)

井上 学 (東日本旅客鉄道株式会社)

Broadband Radio Transmission in High Speed Railway

○Yusuke Suzuki (East Japan Railway Company), Yukiya Tateishi (East Japan Railway Company)

Tsukasa Kudou (East Japan Railway Company), Manabu Inoue (East Japan Railway Company)

The radio transmission speed in the Shinkansen, the Japanese high speed railway, has been increased by digitization. However, radio services with higher speed are available today, the demand of broadband data transmission has been growing even in the Shinkansen cabin. We experimented a new radio transmission system in Shinkansen to explore the practicability to railways. The simulation showed that the down link throughput would be more than 1.5Mbps in the down link even in 300km/h. In the trial runs, the down link throughput achieved about 4Mbps in the train faster than 200km/h.

キーワード：無線，OFDM，ブロードバンド，フェージング

Key Words：Radio, OFDM, Broadband, Fading

1. はじめに

東北・上越新幹線では、デジタル列車無線が導入されており、伝送速度 384kbps を有し、音声系 22 チャンネル、データ系 15 チャンネルで構成されている。データ系では運転指令通告や運転制御のほか、お客さまへの情報提供のチャンネルも有しており、運行情報や文字ニュースの表示を可能にしている。一方、公衆向けサービスでは、WiMAX や LTE のサービスが開始され、数 Mbps～数十 Mbps の伝送速度を実現している。鉄道においても、業務のほかにお客さまサービス向けの無線伝送のニーズが高まっており、伝送速度の高速化が潜在的に求められていると考えられる。

今回、新しい無線伝送方式を適用し、新幹線において地上～車上間のデータ伝送試験を実施したので、報告する。

2. 無線伝送方式

今回採用した無線伝送方式の概要を表 1 に示す。

2.1 直交周波数分割多重方式

直交周波数分割多重 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 方式とは、互いに直交する複数の副搬送波 (サブキャリア) を用いて変調を行う無線伝送方式である。サブキャリアを密に配置できることから、周波数利用効率がが高く、無線 LAN や地上デジタルテレビジョン等に用いられている。また、複数の移動局に対して動的にサブキャリアを割り当てる方式を直交周波数分割多元接続 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA) 方式と呼ぶ。

2.2 サブキャリアの適応変調

今回の試験に用いた無線機では、各サブキャリアにおいて変調方式を BPSK～256QAM までアダプティブに選択される。

表 1 無線伝送方式概要

Frequency	f_c : 416.25MHz (Up Link) f_c : 460.75MHz (Down Link)
Power	2W (Base Station) 0.2W (Mobile Station)
Occupied Bandwidth	1.28MHz (Up / Down Link)
Multiplexing	OFDMA
Modulation	Adaptive (BPSK – 256QAM)
Diversity	Space Diversity (Up Link) None (Down Link)
Transmission Rate	1.8Mbps (effect. 1.5Mbps) (Up Link) 5.3Mbps (effect. 4.5Mbps) (Down Link)

3. 単体性能評価試験

本方式の性能評価を行うため、基地局装置と移動局装置を対向させ、単体での性能評価試験を実施した。

3.1 静的伝送試験

列車停止時の無線伝送を模擬するため、図 1 のように基地局装置と移動局装置の間に可変減衰器を介して接続し、受信レベルの違いによる伝送速度の変化を確認した。結果を図 2 に示す。伝送速度がダウンリンク (基地局装置→移動局装置) において最大 4.4Mbps、アップリンク (移動局装置→基地局装置) において最大 1.5Mbps となることが分かる。



図1 単体性能評価試験（静的伝送試験） 試験構成

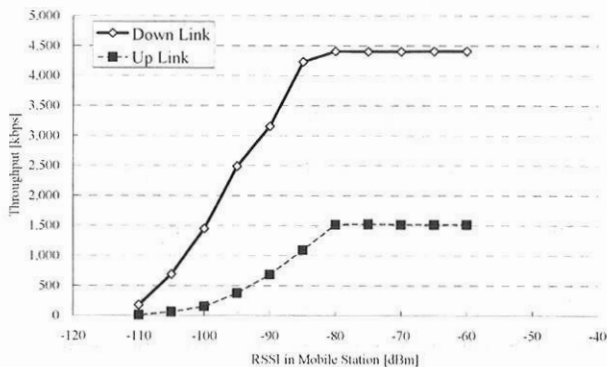


図2 受信レベルと伝送速度の関係（静的伝送試験）

3.2 動的伝送試験

列車走行時の無線伝送を模擬するため、基地局装置～移動局装置の間にフェージングシミュレータを挿入し、図3の構成で試験を行った。列車速度は360km/hを想定した。

新幹線沿線には漏洩同軸（Leaky Coaxial, LCX）ケーブルが設置され、列車無線の空中線として利用されている。空間波方式の無線伝送特性は一般にレイリー分布になるといわれているが、LCXケーブルを用いた場合はライス分布となることが報告されている¹⁾²⁾。そのため、今回はフェージングモデルをレイリー分布とライス分布($k=5$ および $k=10$)として試験を実施した。結果を図4に示す。

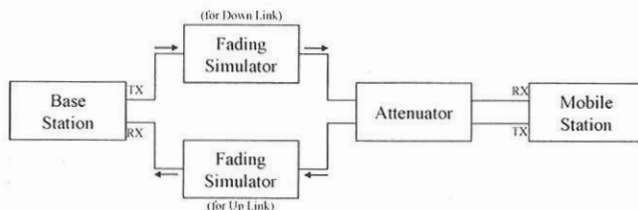


図3 単体性能評価試験（動的伝送試験） 試験構成

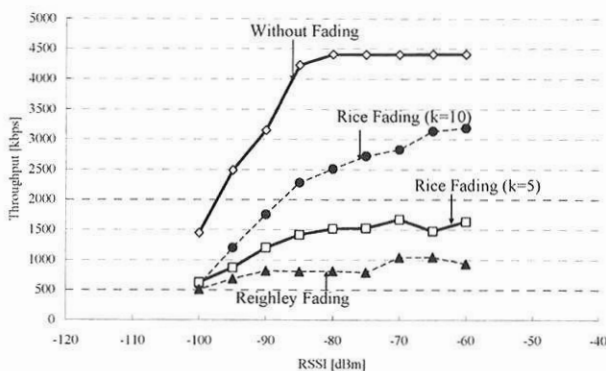


図4 フェージングによる受信レベルと伝送速度の変化

3.3 単体性能評価試験（走行模擬試験）

新幹線の LCX ケーブルでは、移動局における受信レベ

ルを一定の範囲に保てるよう、「グレーディング」とよぶ、結合損が異なる LCX ケーブルを組み合わせで敷設している。³⁾

本無線伝送方式においても、グレーディングが伝送速度に対してどのような影響を与えるか想定するため、前項の構成にグレーディングの模擬を付加したシミュレーションを実施した。図5に例として列車速度100km/hの場合を示す。標準的な回線設計を鑑み、双方とも移動局受信レベルが-75dBm～-85dBmの間で変動するように設定した。図6にダウンリンクの、図7にアップリンクの列車速度と伝送速度の関係を示す。列車速度が上がるほど伝送速度が低下することが分かる。アップリンクの変動が小さいのは、基地局装置にて受信ダイバーシチを行っているためである。

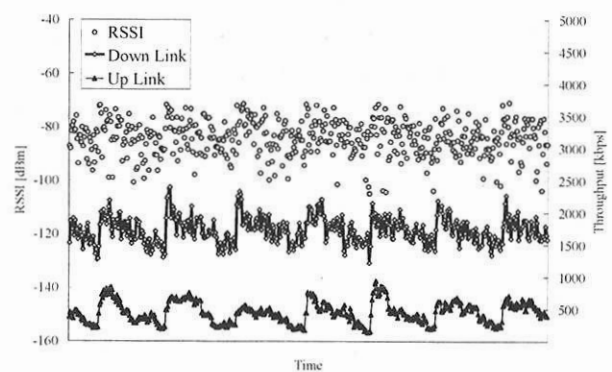


図5 グレーディングによる受信レベル変動と伝送速度

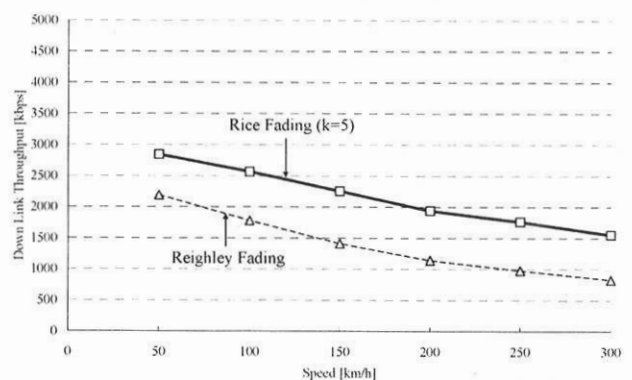


図6 フェージングモデルの違いによる列車速度とダウンリンク伝送速度

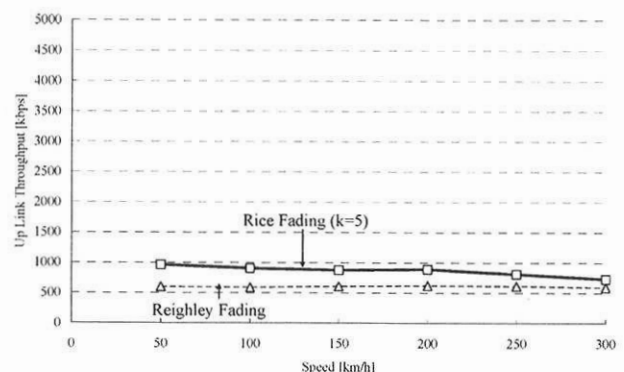


図7 フェージングモデルの違いによる列車速度とアップリンク伝送速度

これらの結果から、ライスフェージングを前提とした場合、ダウンリンクにて 1.5Mbps~2Mbps、アップリンクにて 800kbps 程度のスループットが得られることが想定された。

4. 試験装置の仮設

フィールド試験にあたり、東北新幹線小山駅付近に無線装置を仮設した。空中線系統については、駅の前後 1 スパンの LCX ケーブルを列車無線と共用させることとした。共用にあたっては光ファイバを用いた中継システムを用い、既存の列車無線中継器をバイパスする構成とした。図 8 に試験装置の構成を示す。

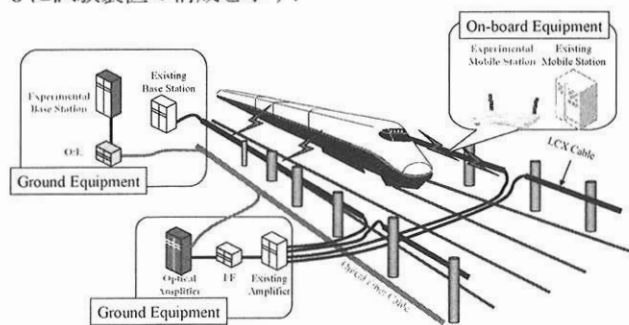


図 8 試験装置の構成

5. モーターカー走行試験

基地局装置の仮設後、保守用車（モーターカー）による走行試験を実施した。移動局装置は図 9 のように、モーターカー窓際へ設置した。



図 9 モーターカーへの移動局装置仮設

図 10 に列車速度と測定された伝送速度を示す。なお、列車速度は GPS 測位結果から簡易に算出したものであり、実際の速度と必ずしも一致するわけではない。ここから、特にダウンリンクにおいて列車速度に応じて伝送速度が低下することが読み取れる。この関係を明らかにするため、列車速度と伝送速度の関係を図 11 に示す。

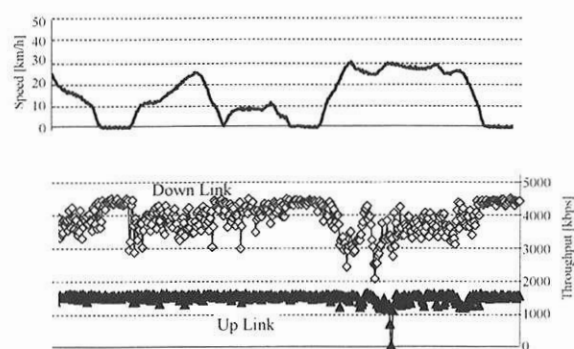


図 10 モーターカー走行試験 速度と伝送速度

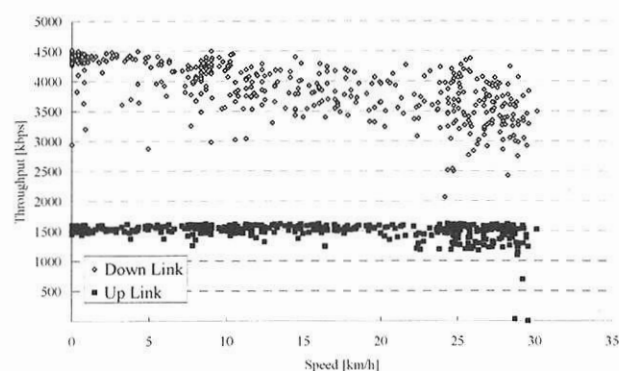


図 11 モーターカー走行試験 列車速度と伝送速度の関係

6. 高速走行試験

新幹線の実車を用いた高速走行試験を実施した。図 12 のように新幹線車両の客室窓際に移動局装置を設置し、速度 200km/h 以上の高速で実験箇所を通過させ、伝送速度や受信電界レベルを測定した。図 13 に列車速度と伝送速度を示す。伝送速度が 0 となっているのは、実験箇所通過前および後である。なお、この図においても列車速度は GPS 測位結果により簡易に算出したものであり、実際と必ずしも一致するわけではない。



図 12 客室内への移動局装置仮設

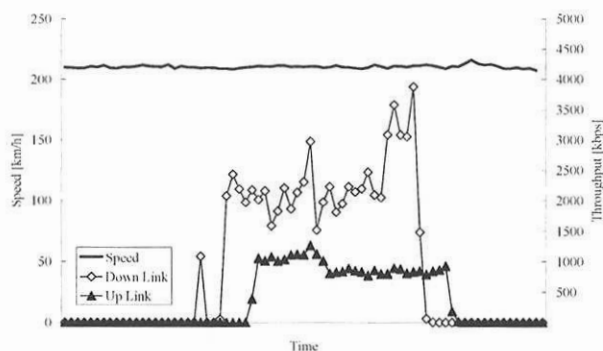


図 13 列車速度とダウンリンク伝送速度

また、図 14 に受信電界レベルとダウンリンク伝送速度の関係を示す。

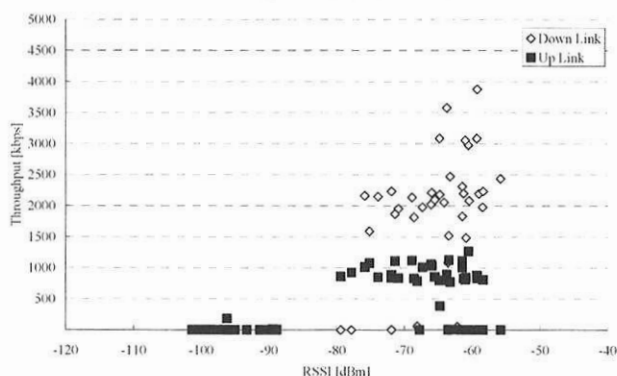


図 14 受信レベルとダウンリンク伝送速度の関係

この試験により、高速走行時においても、ダウンリンクにおいて最大 4Mbps 近くの伝送速度が得られることが分かった。また、ダウンリンクにおいて 2Mbps 以上の伝送速度を確保するためには移動局装置における受信レベルは -75dBm 以上が必要であることがわかった。

シミュレーション結果と比較するため、3.3 項で行った列車速度 200km/h を模擬した場合のライスフェージング ($k=5$) とレイリーフェージングによるダウンリンクの伝送速度を図 15 に示す。ここから、LCX ケーブルを利用した電波伝搬環境では、無線伝送特性は $k=5$ 程度のライス分布になることが確認できる。

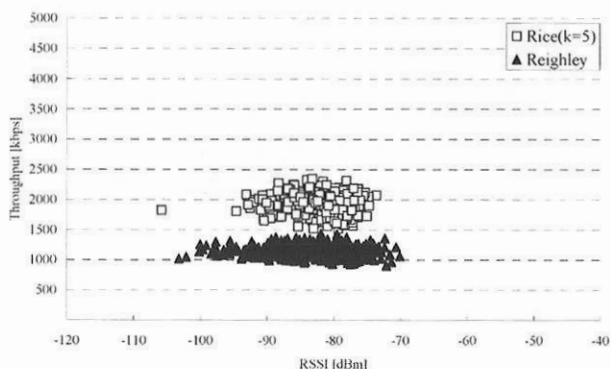


図 15 シミュレーション結果 (ダウンリンク, 列車速度 200km/h)

7. まとめ

今回は OFDM を利用した無線伝送方式の鉄道への適用可能性を探るため、基地局装置と移動局装置を対向させた評価試験、モーターカーによる走行試験、新幹線実車による高速走行試験を実施した。

モーターカーによる走行試験では、列車速度の上昇に伴って伝送速度が低下することが示されたが、アップリンクについては基地局装置でのダイバーシチ効果によって伝送速度の低下が抑えられていることが分かった。

高速走行試験では、200km/h 超の列車速度においても、ダウンリンクで 4Mbps 程度の伝送速度が得られることを示した。

評価試験によって得られた結果と走行試験の結果を比較すると、LCX ケーブルを利用した場合の無線伝送特性がライス分布となることが確認できた。

高速走行試験は営業時間帯で行うため、「既存設備を変更しない」、「移動局は列車内で LCX ケーブルからの電波を直接受信する」という 2 つの条件を設定した。そのため、LCX ケーブルと移動局装置の間に -10dB の結合損が生じるなどの制約の中での試験となった。

今回の試験によって、LCX ケーブルによる無線システムにおいてブロードバンド伝送が可能であり、OFDM 方式が新幹線の高速走行時においても安定的に高い伝送速度が得られることが分かった。今後はより高速な伝送が可能となるよう検討を進めてゆく。

参 考 文 献

- 1) 立石幸也, 中村忠, LCX 回線における高速デジタル信号伝送特性の検討, 信学総大, 1986
- 2) 立石幸也, 林秀一, 山村博, 川崎邦弘, 長谷川豊, LCX 方式における高速走行時のデータ伝送特性, 信学秋大 B-268, 1994
- 3) 岸本利彦, 佐々木伸, LCX 通信システム, 1982
- 4) 立石幸也, 馬場貴博, 工藤司, 井上学, 新幹線における LCX を用いた高速無線伝送試験, 信学技報, 2011