

## 新幹線列車無線システムに適用可能な要素技術に関する検討



洞井 裕介<sup>\*1</sup>



中村 亮介<sup>\*1</sup>



領木 慎一<sup>\*1</sup>



柴原 大樹<sup>\*1</sup>



阿部 文俊<sup>\*1</sup>



国藤 隆<sup>\*1</sup>

### Study on element technologies applicable to Shinkansen train radio system

Yusuke DOHI<sup>\*1</sup>, Ryosuke NAKAMURA<sup>\*1</sup>, Shinichi RYOKI<sup>\*1</sup>, Daiki SHIBAHARA<sup>\*1</sup>, Fumitoshi ABE<sup>\*1</sup> and Takashi KUNIFUJI<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Advanced Railway System Development, Research and Development Center of JR EAST Group

#### Abstract

Firstly, we introduce the current Shinkansen train radio system from the viewpoint of LCX technique. Secondly, we describe the LCX-MIMO technology that is scheduled to be chosen as main technology of the next-generation Shinkansen train radio system, and O-SDR technology to switch communication technology for the coexistence the current Shinkansen radio communication section with the next Shinkansen radio communication section. In addition, millimeter wave communication technology are explained. Finally, we show our future image of the Shinkansen train radio system.

●**Keywords:** Shinkansen, Train radio, LCX, MIMO, O-SDR, Millimeter wave communication, ALFA-X

## 1. まえがき

2002年にアナログ方式からデジタル方式への更新が開始された現行の新幹線列車無線システム<sup>1)</sup>では、新幹線沿線に敷設したLCX(Leaky Coaxial cable:漏洩同軸ケーブル)と新幹線車上局アンテナとの間で通信を行うLCX方式をデジタル化することにより、従来からある音声系機能の品質向上に加えて、車内情報提供機能などのデータ系機能が拡張された。これら音声系・データ系機能を担う業務用通信は、列車の運行に直接関係する通信であるため、高い信頼性が求められる。また、業務用通信のアプリケーション拡大を図るため、伝送容量の拡大も重要である<sup>2)</sup>。その一方で、新幹線車両内の情報通信系サービスについては、その利便性向上のため、お客さまサービス用通信の伝送容量の拡大も求められている。

本稿では、現行新幹線列車無線システムに採用されているLCX方式について簡単に説明した後、新幹線列車無線を大容量化するための先端鉄道システム開発センターのこれまでの取り組みを、その要素技術に着目して紹介する。そして、我々が考える新幹線列車無線システムについて、その将来像を示す。

## 2. 新幹線列車無線システムの要素技術に関するこれまでの取り組み

現行の新幹線列車無線システムに採用されているLCX方式は、軌道の両側に設置された2本のLCXケーブルと車上に搭載された4つの車上局アンテナとの間で信号データを伝送し、これによるダイバーシチ効果により非常に高い回線品質を実現している<sup>3)</sup>。一方、使用電波の帯域幅が狭いため(288kHzおよび230kHz)、伝送容量は384kbpsおよび307.2kbpsと小さく、用途は限定的である。そのため、将来的に機能拡張する場合には、新たな無線通信技術を取り入れる必要がある。

以降では、2002年にデジタル方式への更新が開始されて以降行ってきた新幹線列車無線システムに対する先端鉄道システム開発センターの研究開発について、その要素技術に着目して説明する。

### 2・1 LCX-MIMO方式

新幹線列車無線は、数年後に次期新幹線列車無線に更新される予定である。次期新幹線列車無線の主要技術は、現行の4倍の伝送速度を実現する256QAM(Quadrature Amplitude Modulation:直交振幅変調)による信号多値化、現行よりも高い

周波数利用効率とマルチパスフェージング耐性を得られるSBC (Single-Carrier Block) 伝送<sup>4)</sup>、そしてLCX-MIMO (Multi-Input Multi-Output) 方式<sup>4)</sup>である。図1にLCX-MIMO方式の概念を示す。

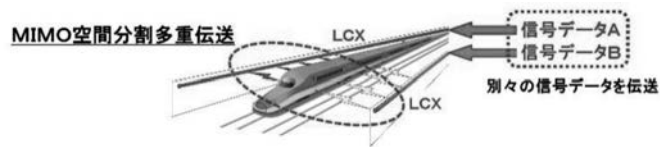


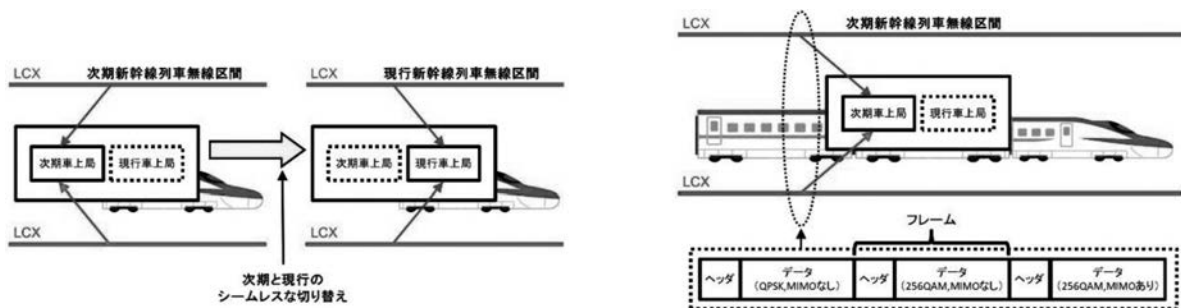
図1 LCX-MIMO方式の概念

LCX-MIMO方式は、軌道の両側に設置された2本のLCXケーブルに別々の信号データを伝送するMIMO空間分割多重伝送を行うことにより、地上局から車上局への伝送容量を増大させることができる。

先端鉄道システム開発センターでは、無線通信技術の動向調査、無線通信高速化技術の一つであるMIMOをLCX方式に応用したLCX-MIMO方式の開発とその基本性能シミュレーション、そしてフィールド試験<sup>5)</sup>を行った。その結果、約10Mbpsのスループット(現行の約26倍)を実現できることを確認した。

## 2・2 O-SDR方式

現行の新幹線列車無線を次期新幹線列車無線に更新する際、一度に全ての線区を更新することは困難であるため、順次更新してゆく必要がある。つまり、現行新幹線列車無線による通信を行う区間と次期新幹線列車無線による通信を行う区間が混在する線区が発生する。そのため、このような線区における業務用通信をシームレスに行うための仕組みが必要となる。一方で、将来的な業務用通信のためのアプリケーション拡大を考慮すると、新幹線列車無線に流れるトラフィックの性質に応じた伝送容量と信頼性を提供することも重要である。図2に、これらの要求に答えるためのフレームワークを提供するO-SDR (“User” Oriented Train Radio Software-defined radio) 方式<sup>6)</sup>の概念を示す。



(a) 次期方式と現行方式の切り替え

(b) 信号多値数の切り替え

図2 O-SDR方式の概念

図2 (a) は、新幹線車両が次期新幹線列車無線 (次期方式) 区間から現行新幹線列車無線 (現行方式) 区間に移る際に、O-SDRによる信号処理ソフトウェアの切り替えにより、LCXと通信を行う車上局の機能が次期方式から現行方式に切り替わり、通信がシームレスに継続されることを示している。一方、図2 (b) は、次期方式区間において、伝送するデータの内容により、信号多値数やLCX-MIMOを行うかどうかを切り替えている様子を示している。なお、地上局から車上局へ送信されるフレームのヘッダには、その後に続くデータの復調方法 (変調方式やLCX-MIMO実行の有無) を指示する情報が格納されており、受信側はこれを見てデータの復調を行う。

先端鉄道システム開発センターでは、新幹線列車無線システムの更新に向けてO-SDR方式の試作機を開発し、試作機を用いたフィールド試験により、現行・次期システムの切り替え機能と、大容量通信と高信頼通信を切り替えるためのフレームワークの動作検証を行い、その実現性を確認した。

### 2・3 ミリ波通信

新幹線列車無線を含めた対列車無線システムにおいて、ミリ波通信<sup>7)</sup>は、通信の高速大容量化を実現する上でその活用が最も期待される技術である。鉄道での活用については、総務省における「周波数再編アクションプラン(平成22年2月改定版)」において、40GHz帯を候補として技術的検討を進める方針が示された<sup>8)</sup>。図3に、先端鉄道システム開発センターにおけるミリ波通信の鉄道での活用イメージを示す。



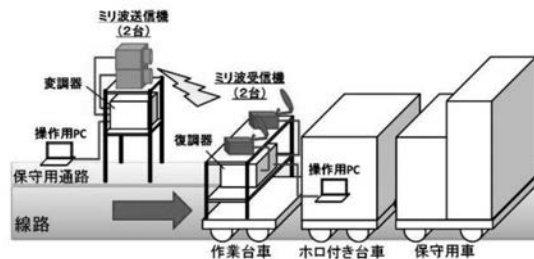
図3 ミリ波通信の鉄道での活用イメージ

ミリ波は、広い帯域幅を確保しやすく、装置を小型化しやすいなどの通信に有利な特徴を持つ。ミリ波通信のこのような特徴を利用して、車両前方や車内の映像といった車上路から地上局への監視映像伝送や、ホームの映像など地上局から車上路への映像伝送、そして大容量ファイル一括伝送といった活用方法をイメージしている。一方、自由空間損失が大きい、雨や雪による減衰が大きい、障害物による遮蔽損失が大きいなど、通信に不利な特徴も併せ持つため、ミリ波の活用には課題も多い。

先端鉄道システム開発センターでは、ミリ波を効果的に新幹線列車無線システムに適用するため、鉄道特有の環境における電波伝搬測定やミリ波アンテナの仕様検討等の研究開発を継続的に行っている。ここでは、2017年12月に行ったフィールド試験について紹介する。この試験では、開発した運転台前方に設置可能な小型ミリ波アンテナを使用し、トンネル区間(榛名トンネル)と駅明かり区間(本庄早稲田駅)におけるミリ波通信を実施した。使用した小型ミリ波アンテナ、試験構成・設備を図4に示す。



(a) 小型ミリ波アンテナ



(b) 試験構成・設備

図4 ミリ波通信フィールド試験

小型ミリ波アンテナを搭載したミリ波受信機を作業台車に設置し、地上のミリ波送信機と通信する構成である。ホロ付き台車には、ミリ波送受信のコントロールや試験結果ログ収集のための作業員が乗り込み、保守用車により、ミリ波受信機を搭載した作業台車とホロ付き台車を約40km/hの速度で移動させ、試験を実施した。図5、図6にフィールド試験の結果を示す。図5が駅明かり区間、図6がトンネル区間の結果である。

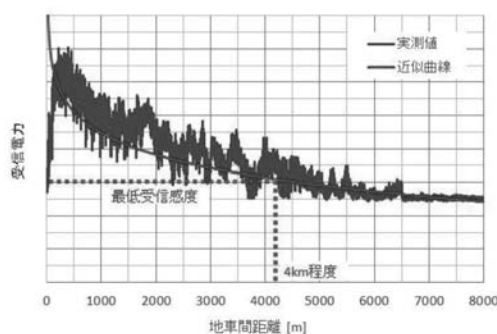


図5 フィールド試験結果(駅明かり区間)

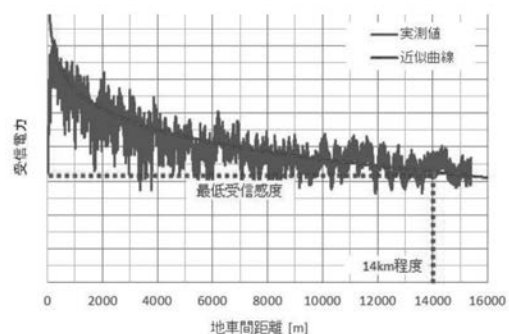


図6 フィールド試験結果(トンネル区間)

図5、図6より、駅明かり区間では地車間距離4km程度、トンネル区間では14km程度まで、受信側の最低受信感度を上回る電力を受信できており、ミリ波による通信が可能であることが分かった。特にトンネル区間では、トンネルによる導波管効果により比較的長い距離のミリ波通信が可能になることを裏付けた。

### 3. 新幹線列車無線システムの将来像

図7に、先端鉄道システム開発センターが描く新幹線列車無線システムの将来像を示す。



図7 新幹線列車無線システム将来像

LCX-MIMO方式などの要素技術を適用した次期列車無線により、通信の信頼性を維持しつつ伝送容量と周波数利用効率を向上させ、業務用通信の品質向上とアプリケーションの拡大を図る。一方で、駅やトンネル内などにおけるスポット的なミリ波通信の利用により、監視映像伝送(車両前方・車内・ホーム)やインターネットに代表されるお客さまサービス用通信の大容量化を実現してゆく。

### 4. むすび

本稿では、新幹線列車無線に適用可能な要素技術の観点から、先端鉄道システム開発センターの取り組みを紹介した。そして、新幹線列車無線システムの将来像を示した。

新幹線列車無線システムの将来像を実現するにあたり、特にミリ波通信については、アンテナレドームによる減衰、地上局の形状・設置位置・着雪対策、MAC (Media Access Control) 層以上のプロトコル開発など課題が多い。現在、先端鉄道システム開発センターでは、E956形式新幹線高速試験電車 (ALFA-X)<sup>9)</sup>のために専用のミリ波通信装置を開発し、前方監視、車内映像伝送、ホーム映像伝送のために必要となる地上局との間の映像伝送実証試験を行う計画を推進している。ALFA-Xにおける実証試験などを通して、実用化に向けた継続的な研究開発を進める予定である。

#### 参考文献

- 1) 厚澤誠、西村佳久、吉田勝弘、東北上越新幹線デジタル列車無線システムの開発、JR EAST Technical Review (in Japanese)、No.5、pp.59-64、2003
- 2) 服部鉄範、ミリ波無線技術とその応用(6) 一対列車ミリ波通信システムの実現に向けた研究開発一、鉄道と電気技術、Vol.28、No.12、pp.79-82、2017
- 3) 岸本利彦、佐々木伸、LCX通信システム、電子情報通信学会、1982年8月
- 4) 中村亮介、服部鉄範、新幹線列車無線システムに適用可能な要素技術に関する一検討、電子情報通信学会無線通信システム研究会技術研究報告、RCS2017-403、pp.469-474、2018年3月
- 5) 中村亮介、服部鉄範、工藤司、高速移動環境下におけるLCX-MIMO伝送方式のフィールド実験評価、電子情報通信学会総合大会、B-5-51、2017
- 6) 中村亮介、服部鉄範、高速移動環境下における通信制御方式O-SDR方式の屋外実験評価、電子情報通信学会総合大会、B-5-38、2018
- 7) 立石幸也、服部鉄範、川崎邦弘、鉄道におけるミリ波通信、電子情報通信学会マイクロ波・ミリ波フォトニクス研究会技術研究報告、MWP2013-48、pp.7-12、2013年11月
- 8) 中村一城、ミリ波無線技術とその応用(8)、鉄道と電気技術、Vol.29、No.2、pp.97-100、2018
- 9) <https://www.jreast.co.jp/press/2017/20170705.pdf> (参照日 2018年5月24日)