

光伝送型 LCX 中継システムの開発

鈴木 祐輔* 立石 幸也 後藤 健太郎 馬場 貴博 (東日本旅客鉄道株式会社)

山崎 吉晴 飯塚 昇 浅野 安良 (ソフトバンクテレコム株式会社)

The Development of An Optical LCX Relay System for The High Speed Rail

Yusuke Suzuki*, Yukiya Tateishi, Kentaro Goto, Takahiro Baba (East Japan Railway Company)

Yoshiharu Yamazaki, Noboru Izuka, Yasuyoshi Asano (SOFTBANK TELECOM Corporation)

Abstract

The LCX (Leaky Coaxial) cables are built beside the high speed rail (Shinkansen) tracks, and they provide stable electric fields along whole length of the line. The present digital train radio system is able to achieve high quality communication by using LCX cables. However, Wi-Fi or WiMAX have been popular, the broadband mobile communication is expected even in moving high speed trains. We developed the attachable optical relay system for LCX cables, which is broadband and enables low transmission loss. This system can realize the broadband mobile communication having no interference with the existing digital train radio system.

キーワード：新幹線デジタル列車無線、漏洩同軸(LCX)ケーブル、光波長多重方式、RoF (Radio on Fiber)
(Digital Train Radio System for Shinkansen, LCX, Optical Wavelength Division Multiplexing, Radio on Fiber)

1. はじめに

東北・上越新幹線では、新幹線デジタル列車無線（以下、「列車無線」）が全線に亘って導入されている。沿線に敷設された漏洩同軸(LCX)ケーブルを利用し、高品質で安定的な地上-車上間通信を実現している⁽¹⁾が、伝送速度が最大 384kbps であり、現在では十分な伝送容量を有しているとは言えない。

一方、モバイル通信においては WiMAX や無線 LAN など高速なシステムが実用化されており、新幹線列車内においてもブロードバンド無線通信が求められていると考えられるが、安定した通信を提供するには LCX ケーブルを列車無線と共用することが必須となる。

これまで、新たな無線通信システムの導入は列車無線の更新に合わせて行われてきた。もし、既存システムに比較的簡易に「付加」する事ができれば、新幹線列車内におけるブロードバンド無線通信を経済的に実現できると考えられる。

今回、ブロードバンド無線通信システムが付加できるよう、光伝送型 LCX 中継システム（以下、「本システム」）の基礎開発を行ったので報告する。

2. 光信号による高周波伝送技術

従来は電波などの高周波信号はメタル製の同軸ケーブルによって伝送されてきたが、近年では光ファイバと光電変換技術を用いた伝送方法が可能になっており、Radio on Fiber (RoF) と言われている。光伝送を用いることで、同軸ケーブルと比較して低損失かつ、他の電気信号による妨害を受けにくいといった長所がある。近年、鉄道分野においても RoF が用いられるようになってきている⁽²⁾。

無線基地局から遠方へ方向のみに高周波信号を送送する場合、それぞれどのような構成となるかを図 1 に示す。

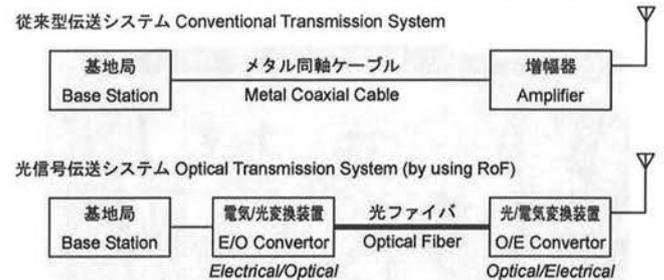


図 1 伝送システムの違い

Fig. 1 The Difference of The Radio Transmission Systems

3. 基本的なシステム構成

地上-列車間においてブロードバンド無線システムを構築する場合、仮に LCX を排他的に使用できる場合には、図 2 のような構成が考えられる。

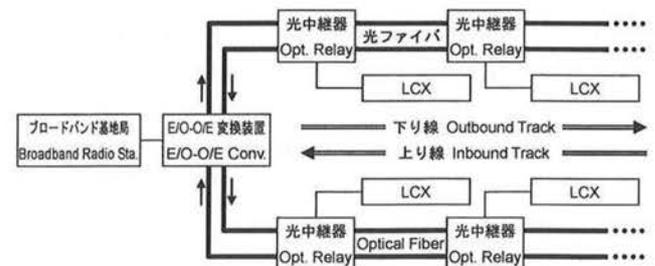


図 2 ブロードバンド無線システム構成図 (LCX 排他使用)

Fig. 2 The Broadband Radio System (Occupying LCX Cables exclusively)

3.1 光中継器

光中継器は、基地局→列車方向 (Down Link, DL)の光/電気変換機能(O/E)と、列車→基地局 (Up Link, UL)の電気/光変換機能(E/O)を持ち、隣接光中継器へも信号を伝えることができるものである。内部構成を図3に、概観を図4に示す。

光中継器の通過によってDL信号が減衰するため、設置された箇所により光分波器の分波比は異なる。基本的に下部方光中継器への分波比を大きく取り、分波損失を極力抑えるような仕様となっている。そのため、O/E変換器向けのDL信号は減衰するが、パワーアンプ部の自動増幅制御機能によって、一定の高周波出力を保持するように設計されている。

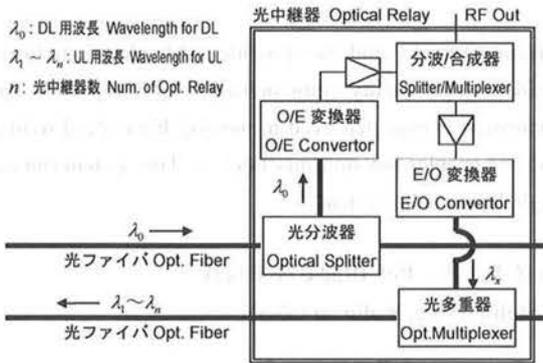


図3 光中継器内部構成図

Fig. 3 The Internal Composition of The Optical Relay

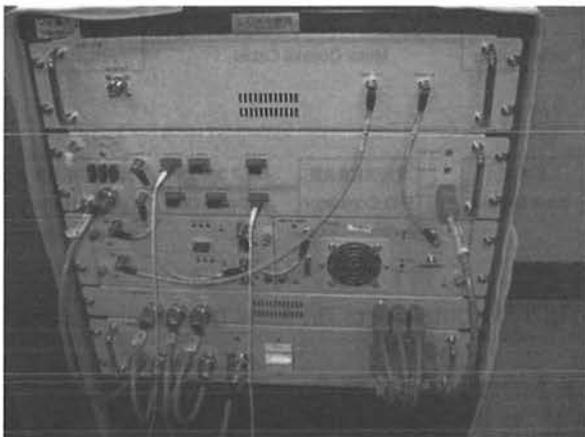


図4 光中継器概観

Fig. 4 The Optical Relay

図3に示すように、DLは光ファイバ1芯線を1波で使用しているが、ULについては光中継器毎に異なる信号が送られてくる。そのため、光中継器毎に異なる波長の光を割り当て、光波長多重 (Wavelength Division Multiplexing, WDM)を行うことで、ULについても1芯線に対応可能としている。

3.2 E/O-O/E 変換装置

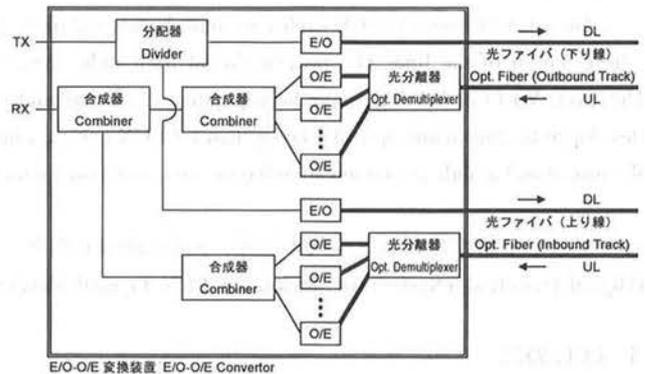
(a) ダイバーシティなしの場合

無線機の高周波信号を光信号に変換して送信する、また受信した光信号を高周波信号に変換するのが、E/O-O/E変換装置

置である。基地局が送受信ともにダイバーシティなしの場合の内部構成を図5へ示す。

無線機の送信部 (TX) から受けたDL信号は、分配器で上り線側と下り線側に分けられ、それぞれE/O変換部にて光信号へと変調される。

また、UL信号については、光分波器にて光信号が波長毎に分離され、それぞれO/E変換部で高周波信号に変換された後、上り線側と下り線側の信号が合成されて無線機の受信部 (RX)に接続される。E/O変換器とO/E変換器は一对向のみとし、その間の光伝送損失を形成するものはすべて受動素子としているため、熱雑音が重畳される事なく高品質な光伝送を実現している。



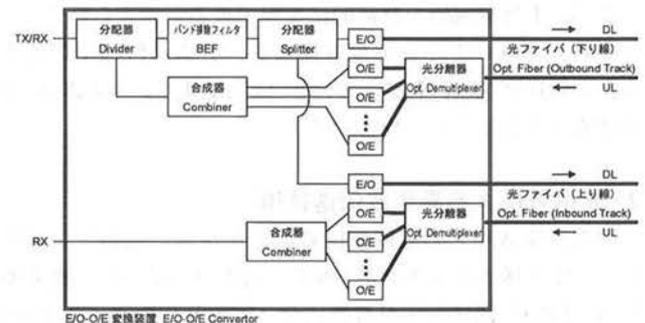
E/O-O/E 変換装置 E/O-O/E Converter

図5 E/O-O/E 変換装置内部構成 (ダイバーシティなし)

Fig. 5 The Internal Composition of the E/O-O/E Converter without Diversity

(b) 基地局受信ダイバーシティありの場合

昨今では受信感度の増大を目的に、ダイバーシティ技術を用いる場合が増えてきている。新幹線においては、線路の両側に一条ずつのLCXケーブルが敷設されていることから、基地局の受信ダイバーシティが可能である。今回は受信ダイバーシティが適用できるようにE/O-O/E変換装置を製作した。なお、列車無線のUL信号が回り込まぬよう、バンド排除フィルタ (Band Elimination Filter, BEF)を内蔵している。内部構成図を図6に、概観を図7に示す。



E/O-O/E 変換装置 E/O-O/E Converter

図6 E/O-O/E 変換装置内部構成 (基地局受信ダイバーシティ)

Fig. 6 The Internal Composition of The E/O-O/E Converter with Receiving Diversity in The Broadband Base Station

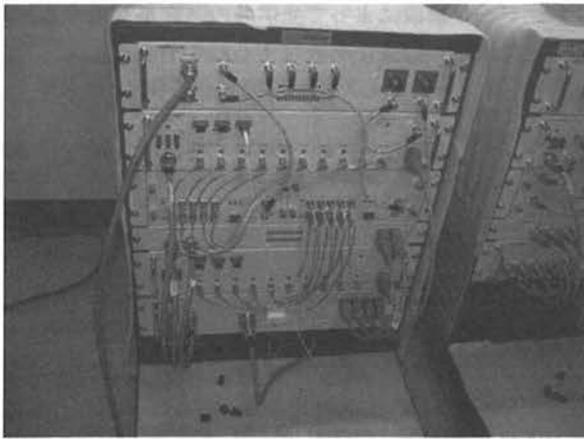


図 7 E/O-O/E 変換装置概観
Fig. 7 The E/O-O/E Converter

4. LCX ケーブルの共用

前項においては、本システムが LCX ケーブルを排他的に占有できるという前提においてシステム構成を考えた。実際には、現在敷設されている LCX ケーブルは列車無線によって使用されており、本システムの導入によって列車無線に影響が出ないようにシステム構成を行う必要がある。列車無線の構成および LCX ケーブル共用に必要な本システムの構成について考える。

4.1 列車無線の構成

東北・上越新幹線の列車無線は、沿線を約 30km 毎に分割された通信ゾーンで構成している。このゾーン内では、1 スパン=約 1.5km 長の LCX ケーブルが複数段直列に接続されており、スパンごとに発生する伝送損失は 1.5km 毎に設置された中継器によって損失分が補償増幅される。電界を一様に近づけるため、LCX ケーブルは、基地局側から終端側へ向かって放射特性を変えて製作されている⁽¹⁾。

1つのゾーンでは、駅通信機器室等に設置された基地局装置を起点として、ゾーンの終端点まで LCX ケーブルで信号を中継伝送している。LCX ケーブルは空中線としての役割だけでなく、高周波信号の中継線や中継器駆動用の電源線も兼ねている。構成を図 8 に示す⁽³⁾。

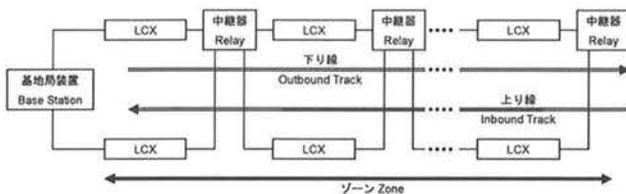


図 8 列車無線構成図

Fig. 8 The Overview of The Existing Digital Train Radio System

4.2 列車無線との LCX ケーブル共用

本システムは列車無線と LCX ケーブルを共用する必要があることから、列車無線に影響を与えずに高周波信号を重畳する必要がある。そこで、2 種のインターフェース装置(I/F)を用いて本システムを LCX ケーブルに接続する。詳細を図 9

に示す。

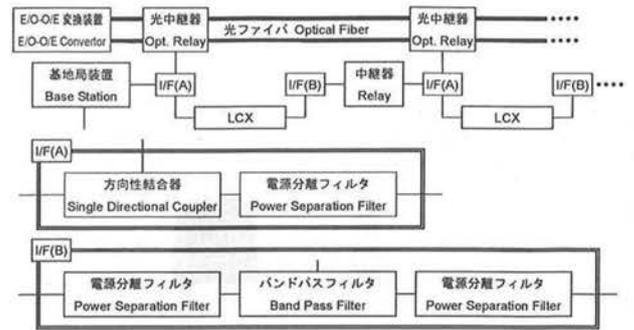


図 9 I/F による本システムと LCX ケーブルの接続

Fig. 9 The Connection This System with LCX Cables by I/F

I/F(A)は方向性結合器を用いて、上部方へブロードバンド無線の高周波信号が流れ込むことを防止する。I/F(B)は列車無線の周波数のみを通させるバンドパスフィルタを設け、ブロードバンド無線が下部方へ流れ込み、マルチパスによる干渉を起こすことを防止する。なお、電源分離フィルタは LCX ケーブルに重畳された電源電圧 (交流 400V) を分離するためのフィルタである。

5. システム性能評価試験

本システムの性能を評価するため、汎用のブロードバンド無線機を組み合わせ、東北新幹線小山駅付近にシステムを仮設して新幹線の実車を走行させ、地上-車上間通信試験を実施した。

5.1 試験システム諸元

今回使用した汎用のブロードバンド無線機の仕様は表 1 の通りである。

表 1 ブロードバンド無線機仕様

Table 1 The Specification of The Broadband Radio

無線周波数	f_c : 416.25MHz (UL)
Radio Frequency	f_c : 460.75MHz (DL)
無線送信出力	2W (基地局 B.S.)
Radio Output	0.2W (移動局 Mobile)
占有周波数帯域	1.28MHz (UL)
Occupying Band Width	1.28MHz (DL)
多重方式	OFDMA (Flash-OFDM)
Signal Multiplexing	
変調方式	適応変調方式 Adaptive
Signal Modulation	(BPSK - 256QAM)
伝送速度(無線リンク)	UL: 1.8Mbps(実効 1.5Mbps)
Transmission (Link) Speed	DL: 5.3Mbps(実効 4.5Mbps)

5.2 試験概要

本試験は、ブロードバンド無線機を実験局として、図 10 に示す実験局周波数を取得・使用する事で実施した。システム導入を簡易に行うため、列車内の既存設備を変更しないこと、移動局は列車内で直接受信すること、という 2 つの条件

を設定し、移動局とそのアンテナは客室内の窓際に設置した。新幹線列車を 240km/h で小山駅付近を通過させ、その際のスループットを計測した。

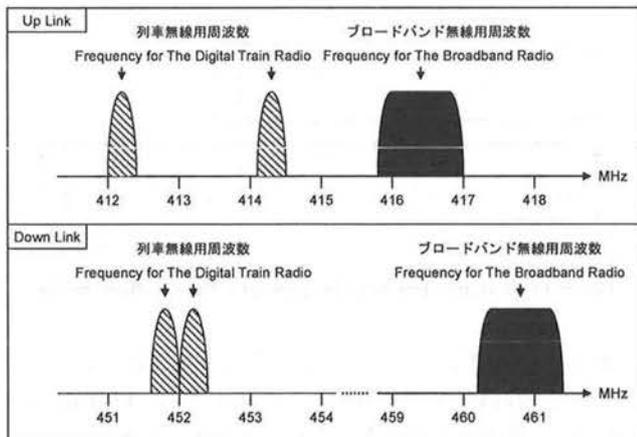


図 10 実験局周波数

Fig. 10 The Frequency for The Broadband Radio on Experiment

5.3 試験結果

試験の結果、240km/h 走行時における最大伝送速度は UL が約 1.3Mbps、DL が約 4.2Mbps であり、表 1 に示した実効速度に近いスループットを得ることができた。

6. 中継段数の検討

本システムでは光ファイバによる低損失な中継伝送が可能のため、柔軟なゾーン構成ができるようになった。列車無線のゾーン構成とは別にゾーン構成を細分化、すなわち「小ゾーン化」する事ができる仕様とした。

小ゾーン化により LCX ケーブル 1 スパンあたりの伝送容量が向上するため、需給に合わせてシステムを拡張することが可能になる。ただし、小ゾーン化を行うためには必要な光ファイバ芯線数が増加することに留意する必要がある。列車無線の 1 ゾーンあたりをブロードバンド無線で小ゾーン化する場合、機器数や伝送速度がどのように変化するかを表 2 に示す。

表 2 ゾーン構成による機器数および伝送速度

Table 2 The Equipments and The Transmission Speed varying Zone composition

ゾーン数 Zone(s)	機器数 Equipment(s)		ゾーン長 Zone Length	伝送速度* Transmission Speed
	E/O-O/E 変換機 E/O-O/E Conv.	光中継器 Opt. Relay		
1	1	21	31.5km	x1
2	2	21	17km	x2
3	3	21	11km	x3

*1 ゾーン構成時との比較

なお、ゾーン構成によって光信号の減衰が変化するため、最適な光分波器の分波比を設定する必要がある。

さらに、3 ゾーンとした場合の構成例を図 11 に示す。

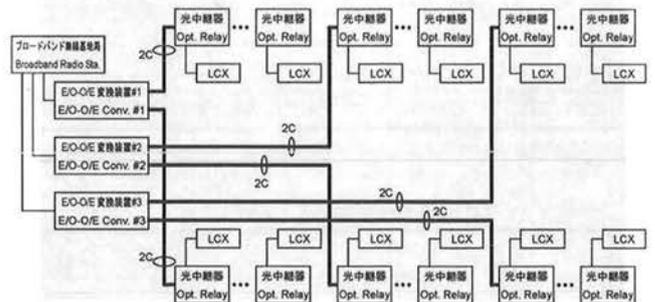


図 11 本システムによる 3 ゾーン構成例

Fig. 11 An Example of Three Zone Composition by This System

7. まとめ

新幹線列車内における高速データ通信を実現するため、既存の列車無線に後付けが可能な光中継システムの開発を行なった。列車無線が LCX ケーブルで信号の中継を行っているのに対し、本システムは光ファイバを用いて信号の中継を行うため、低損失で大容量なデータ伝送が可能となった。既設の LCX ケーブルを共用するため、新幹線デジタル列車無線と本システムの相互接続点にインターフェース装置を設け、内部に相互干渉を防ぐためのフィルタを実装した。これにより、互いに干渉する事無く LCX ケーブルを共用可能な仕様とした。

また、長距離伝送が可能であるという光ファイバの特性から、必要とされるトラフィック量に応じて柔軟にゾーンを構成する事が可能となった。

本システムと汎用のブロードバンド無線機を組み合わせ、新幹線列車による走行試験を実施した結果、240km/h で走行中の車内において無線機の実効速度に近いスループットが得られる事を確認した。

今回は中継システム部分のみ開発を行ったが、今後は無線機を含めたシステムの検討・仕様設計を行っていく必要があると考えられる。

文 献

- (1) 岸本利彦, 佐々木伸, LCX 通信システム, 電気通信学会, 1982
- (2) 岩永伸理, 千田晴康, 越馬淳, 久保博嗣, 三菱電機技報 Vol.83 No.6, p18-p20, June 2009
- (3) 原田芳昭, 安部哲也, 鉄道と電気技術 Vol.11 No.10, p28-p32 October, 2000