

いつでもどこでも情報を伝える技術

中村 一城

信号通信技術研究部(通信 副主任研究員)



なかむら かずき

1. はじめに

近年、携帯電話の普及率は90%を超え、いつでもどこでも伝えたい相手に情報を伝えることができる環境が整いつつあります。鉄道においても、指令所と移動する列車間を結ぶ列車無線システムなどの鉄道専用の通信システムのほかに、汎用技術や公衆網を活用した様々な通信システムが利用されています。鉄道における通信システムは、列車の運行に欠かすことのできない情報を伝えるためのものとお客様へのサービスを提供するためのものとして大きく分けられます。本稿では、そのうち、列車の運行に欠かせない情報を伝えるための通信システムを中心に、その概要を紹介します。また、携帯電話やWiMAXなどに代表される公衆通信ネットワーク技術の動向と今後の鉄道通信の展望についても述べます。

2. 鉄道における通信技術

指令から駅や列車無線基地局など、地上の固定地点と固定地点の間は、メタリックケーブルや光ケーブルでつないで通信を行う有線通信が使われています。一方、固定地点と移動する列車との通信には、主に電波を利用した無線通信が使われています。通信システムは有線通信と無線通信を組み合わせで構成されています。

鉄道における通信システムのうち、列車の運行に欠かすことのできない情報を伝えるための通信システムでは、情報が届かなかつたり、あるいは誤った情報が伝わってしまうと、重大な事故に結びつく可能性があります。そのため、このような通信システムには以下のような条件が求められます。

- ・相手がどこにいても情報を伝えられる(相手の位置を追跡して接続することができる)。
- ・伝えたい時に確実に情報を伝えられる(話中や輻輳によって通信できないことがない。また接続時間、伝送遅延も少ない)。

- ・伝えたい情報を正確に伝えられる(伝送品質がよい)。

3. 有線通信設備

有線通信設備とは、前章で述べたように通信装置間の伝送路が全て線につながって構成されている設備です。有線通信には、周囲の建物や天候などの影響で通信品質が左右されることがほとんどなく、常に安定した状態で通信が行えるという特徴があります。私たちの生活の身近なものとして、各家庭におけるADSLや光通信がこれに当たります。

有線通信が登場した当初は、必要な通信回線の数(以下、回線数)だけ電線(心線)を使って伝送していましたが、回線数が増加すると必要となる電線の数が増えてしまい効率が悪いことから、多数の回線を1対の線(電線を使った通信では、2本の電線で1つの回線を構成します。この2本の電線を「1対」と呼びます)でまとめて伝送する技術が開発されました。これを多重化技術といいます。多重化技術の登場により、1本のケーブルで伝送できる回線数が飛躍的に増えただけでなく、伝送できる距離も伸びました。

鉄道においては、メタリックケーブルを用いた多重化装置が指令～拠点駅や拠点駅間に数多く導入され、ローカル駅や沿線との回線を拠点駅でまとめて指令まで伝送するシステムが構築されてきました。近年では材料が低価格化したこともあり、メタリックケーブルにかわって光ケーブルの導入が盛んに行われています。

光ケーブルは、距離による信号強度の減衰が非常に少ないため、長い区間を高速・大容量で伝送できる特徴があります。鉄道におけるメタリックケーブルを用いた多重化装置の伝送速度は1.5Mbps(「bps」:1秒間に送るデータ量の単位)程度、伝送距離は2km程度でした。その上、沿線に中継器を設置して拠点間を結ぶ必要がありました。これに対し、光ケーブルを利用した多重化装置(光搬送装置という)を導入することにより、数Gbpsの速度で数10kmの距離を無中継で伝送することが可能となりました。

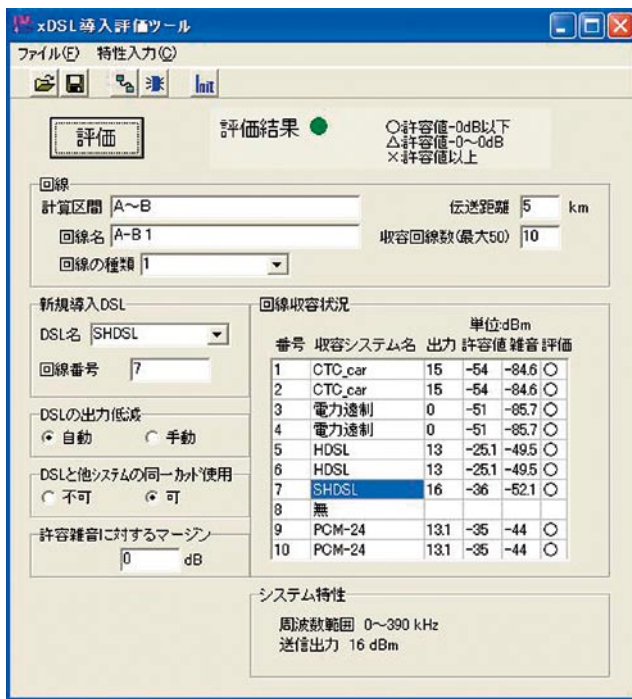


図1 xDSL導入時の評価例

また、光ケーブルはトロリ線やき電線からの電磁的な誘導現象に伴う雑音の混入による影響を受けないことから、新幹線の変電所で連絡や遠隔制御するための回線などにも導入が進められています。

なお、鉄道総研では、現在メタリックケーブルへxDSL伝送装置を導入する際の回線品質を予測し、導入の可否を評価する手法の研究を行っています(図1)¹⁾。これにより、実際に試験を行わなくとも導入の可否が判定でき、光ケーブルへ移行して空き回線となったメタリックケーブルや、諸事情で光ケーブルへ移行することができない区間のメタリックケーブルを有効活用して、伝送速度の高速化や中継距離の延伸を行うことができます。

その他の主な有線通信設備としては沿線電話があります(図2)。鉄道沿線に一定の間隔ごとに電話機もしくは携帯型の電話機を接続するための端子が設置されており、保守作業員が作業時や緊急時に指令と直接通話できるようになっています。また、緊急時には列車の乗務員が地上に降りて指令との連絡用に使用することもあります。

4. 無線通信設備

無線通信設備は、伝送路に電波を用いている通信設備のことを言います。私たちの生活で身近なものとしては、携帯電話がそれに当たります。鉄道においても、様々な無線通信設備が利用されていますが、ここでは、その代表例として、地上と走行列車との間で通信を行うための列車無線



図2 沿線電話機



図3 基地局アンテナ

システムについて紹介します。

4.1 列車無線システム

鉄道における、無線通信設備として、指令員と乗務員の間での連絡を行うための列車無線システムがあります。列車無線システムは、2章でも述べたように、確実に情報を伝えなければならないため、高い信頼性と伝送品質が求められています。そのため、列車無線システム専用の周波数を確保し(免許をもらい)、他の無線通信システムとの干渉を避けています。列車無線システムには、主に3つの方式があります。

(1) 空間波無線方式

沿線に設置された基地局とそのエリア内にある列車との間で通信を行う方法です。主に150MHz帯や300~400MHz帯が使用されています。

例として、JRの空間波無線方式では、通話の形態として、

- ・複信式(電話と同様相手の声を聞きながら話ができる)
- ・半複信式(指令員は同時送受信ができ、乗務員は交互の通話のみ可能)
- ・単信式(交互通話のみ)

の3通りがあり、首都圏などの高密度線区では複信式、その他の主要線区には半複信式、地方などの閑散線区では

単信式がそれぞれ主に使用されています。

基地局を設置してそのサービスエリア内に存在する列車との間で通話する方法は、携帯電話における基地局と端末の関係と同様ですが、鉄道では、線路に沿って細長くサービスエリアを設ける必要があります。そのため、基地局用のアンテナには、図3に示すような指向性（限られた方向に重点的に電波を放射する特性）を持った、八木・宇田アンテナが多く用いられています。一方、列車側の車上局については、どの方向からの電波も受信できる特性のアンテナが使用されています。

(2) LCX方式

漏えい同軸ケーブル（LCXケーブル）を沿線に布設し、ケーブルから漏れる電波を用いて通信を行う方法です。地上のLCXケーブルと車上のアンテナが常時近接していることから、安定した通信品質を保つことができます。

在来線と新幹線では構成方法が若干異なり、在来線では前節で述べた空間波の不感地帯となる箇所（トンネルや駅部など）に主に導入されています。

一方、新幹線では全線に渡ってLCXケーブルが布設されており（図4）、全線の99.99%以上の区間で良好な通信品質が確保できるように整備されています。また上下線の両側に布設することで、より通信状態の良い方を選択して通信を行い、品質の向上を図っています。万が一、片側のLCXケーブルに異常があった場合でも、もう一方のLCXケーブルを使って通信が確保できるようになっています。さらに、一度通信を開始したら、列車の進行にかかわらず通信が継続できる機能（追跡・交換機能という）も持っています。



図4 新幹線に布設されたLCXケーブル

(3) 誘導無線方式

沿線に布設した誘導線や電車線に高周波電流を流し、近接した列車側のアンテナと静電誘導や電磁誘導現象により結合させて通信する方法です。周波数は100kHz～200kHz帯を使用しており、主に地下鉄等で利用されています。LCX方式同様、全線に線が布設されているため、不感地帯が少ないという特徴があります。

4.2 その他の主な無線通信設備

在来線において、ある列車で異常が発生した場合に、当該列車から対向列車に直接異常を知らせるシステムとして、防護無線システムがあります。防護無線を傍受した列車の乗務員はただちに列車を停止させることになっており、2重事故の発生を予防しています。

また、近年の鉄道においては、ミリ波帯（30GHz～300GHz）を利用した無線システムも使用されています。この周波数帯では、伝送に使用できる帯域を広く確保することができるので、大容量の情報伝送に適しています。ミリ波は、直進性が強く降雨の影響を受けやすいという特徴があります。鉄道総研においても、これまで様々な研究を行ってきました²⁾。主な利用場面としては、ワンマン運転時におけるホーム画像の運転士への伝送や車内広告情報の更新などがあります。

5. 最新の通信技術の動向

これまで鉄道における通信設備について述べてきましたが、私たちが普段の生活で身近に使っている通信システムについても、常に技術が進歩しており、それらを鉄道へ導入することで、新しいアプリケーションに利用できる通信システムを構築できる可能性があります。

そこで、近い将来に実用化が予定されている無線を用いた列車制御システムの概要や無線LAN、公衆網通信サービスの動向についていくつか述べます。

5.1 無線を用いた列車制御システム

現在、JR東日本で実用化を予定している無線を用いた列車制御システム（ATACS）では、列車を制御するための情報伝送に無線を使っています³⁾。ここで伝送する情報は、列車の安全運行に直接関わることから、通信システムには高い信頼性、安定性が求められます。このため、ATACSの無線システムでは、無線区間で発生する伝送の誤りを極力減らすための最新の技術を取り入れているうえ、万が一、無線が通じない場合や情報が誤って伝送された場合でも不安全な動作にならないよう、何重もの対策がとられて

います。このような安全に関わる情報を伝送する無線システムを設計するためには、多大な労力がかかり、また、安全を確認するために多くの実験を行う必要があります。鉄道総研では、無線システムの設計や伝送品質の確認にかかる労力や時間を軽減することを目的として、鉄道特有の伝送環境（伝搬途中で混入する雑音や、電波の強さの変動など）を考慮して、無線によるデータ伝送の品質をシミュレーションする手法を研究しています⁴⁾。

5.2 無線LAN

無線LANは、免許が不要であり、自営で独自のネットワーク構成をしやすいことから様々な場所で利用されており、鉄道においても活用されています。鉄道環境で使用する場合には、鉄道外の無線LANシステムとの干渉を避けるため、用途やチャンネル、セキュリティなどを十分に考慮する必要があります。鉄道総研では、2つの無線方式（2.4GHzと5.6GHz）を併用して、必要な品質を安定して確保する試みなど、鉄道環境での使用に向けた取り組みを行っています⁵⁾。

5.3 公衆網サービスの動向と鉄道への導入

公衆網の通信サービスは、利用者側でインフラの整備・管理が不要なため、安価で手軽に導入できるという利点があります。しかし、鉄道専用の通信システムではないことから、輻輳や話中などで伝えたい時に情報が伝わらない可能性があります。そのため、鉄道に導入する際には、求められる品質等についての十分な検討が必要です。

(1) 携帯電話

現在は下り（事業者→端末）21Mbps／上り（端末→事業者）7.2Mbpsでサービスが提供されています。そして、2010年度から順次導入される予定のシステム（LTE：Long Term Evolution）では、下り100Mbps／上り50Mbps以上の伝送速度でのサービスが予定されています。さらに、規格では350km/hの高速移動にも対応することになっており、新幹線のように高速で走行中にも利用できる新たなアプリケーションへの応用が期待できます。

(2) PHS

次世代のPHS規格であるXGP(eXtended Global Platform)は、上り／下りともに最大20Mbpsの伝送速度で首都圏においてサービスが開始されています。現在のPHS同様に自営網の構築が可能となる予定であることから、鉄道構内で自営の通信システムの構成などに利用が期待できます。

(3) Mobile WiMAX

現在、主要都市でサービスが開始されており、徐々にサー

ビスエリアを拡大中です。伝送速度は下り40Mbps／上り10Mbpsにて現在サービスを提供しています。120km/hの高速移動に対応しています。JR東日本において専用線的な利用の検討も行われています⁶⁾。なお、すでに次世代のMobile WiMAX規格が検討されており、350km/h以上の高速移動への対応が予定されています。

鉄道総研においては、これらの公衆サービスを鉄道に導入する際に伝送品質を予測評価するための手法の検討や、新たなアプリケーションシステムを構築する際の課題の整理と構築例の提示などに向けた取り組みを行っています。

6. 今後の通信の展望

近年、汎用通信技術の進歩により、通信システムを手軽に、また安価に構築・利用できるようになりました。前章でも述べたように、高速移動に対応したいくつかの無線通信システムが近い将来実用化される予定となっています。直接安全に寄与しない業務支援や、旅客サービスのための情報伝送には、それらのシステムを応用することで、より高品質なサービスの提供が期待できます。しかし、鉄道における業務上の情報、なかでも列車の運行に必要な情報は、安全に直結することから、できるだけ専用の通信システムを構築して常に安定した状態で確実に伝送することが望まれます。

鉄道の通信システムについては、各方面で研究開発が進められていますが、鉄道総研においても、電波雑音などの鉄道特有の環境や必要となる要素（所望の伝送品質、信頼性、移動性など）をふまえ、新たな鉄道通信システムの提案に向けて研究に取り組んでいく予定です。今後も、通信技術の動向に常に注目し、よりよい鉄道通信システムの構築を目指していきたいと思えます。 [RRR]

文 献

- 1) 竹内、関：鉄道沿線のメタルケーブルでの高速データ回線構築評価手法、鉄道総研報告、第20巻第10号、P41、2006.10
- 2) 進藤、川崎：ミリ波を利用した蓄積伝送装置の開発、鉄道総研報告、第15巻第1号、P11、2001.1
- 3) 馬場、立石、森、青柳、武子、齋藤、鈴木、渡邊：無線による列車制御システム（ATACS）、JR EAST Technical Review No.5、2003秋
- 4) 関、川崎、加藤、立石、高荷、宮木：回線設計を指向した対列車無線データ伝送回線のモデル化と実装、J-RAIL2008、2008.12
- 5) 関、川島：複数の無線伝送方式を併用する地上－車上伝送システム、J-RAIL2009、2009.12
- 6) 茂澤、安部：ブロードバンド通信サービスWiMAXの概要とJR東日本の取り組み、JREA、Vol.52 No.8、P15、2009.8