

# 北陸新幹線デジタル列車無線システム

千田晴康\*

Digital Train Radio System for Hokuriku Shinkansen

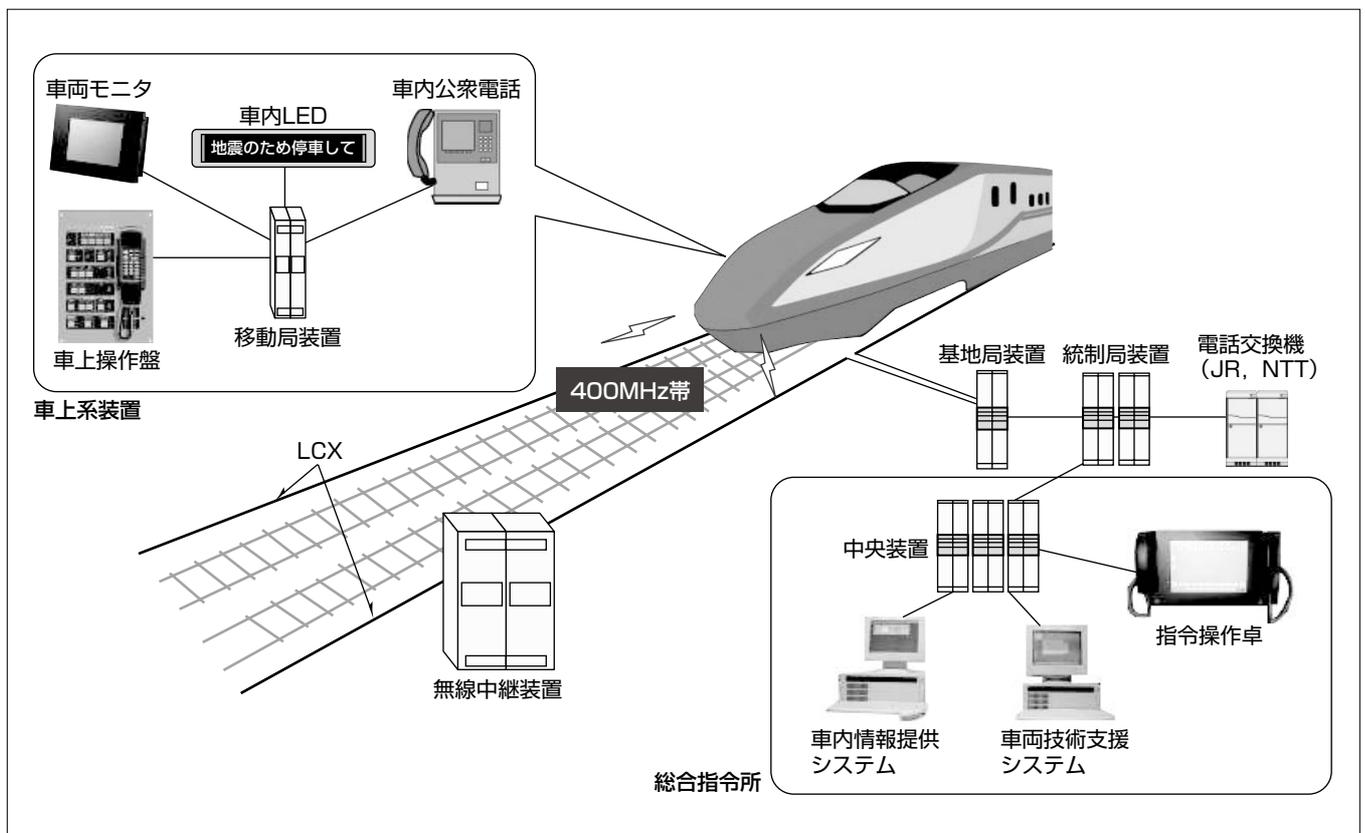
Haruyasu Senda

## 要旨

2015年3月に北陸新幹線の長野～金沢延伸区間が開業した。三菱電機はデジタル列車無線システムを納入し、列車の安全・安定輸送と旅客サービスの向上に貢献している。今回の延伸区間は長野駅～上越妙高駅間が東日本旅客鉄道(株)の管轄(東日本区間)、上越妙高駅～金沢駅間が、西日本旅客鉄道(株)の管轄(西日本区間)となっており、同一の新幹線の路線が2社の管轄によって運行される初めての区間である。この会社間を通過する列車では通話の継続性が求められる。このため東日本区間と西日本区間の2つの列車無線システムを相互に接続し、会社間の境界でも通話が途切れることなく継続する仕組みを“モデリング(抽象化)”の概

念を活用して構築し、処理の複雑化を回避しつつ、独立したシステムでありながら互いの管轄区間を走行する列車とのスムーズな通信を実現した。さらに、線路沿線に設置する無線中継装置には、雪対策のため設置箇所に高さ方向の制限があり、無線中継装置の小型化(低背化)が必要となった。そこで、無線中継装置内の増幅部ユニットを共通増幅方式にすることで小型化を図り、従来1,700mmの無線中継装置高さを1,440mmまでに低背化した。

本稿では、北陸新幹線デジタル列車無線システムと新たに導入した技術について述べる。



## 北陸新幹線デジタル列車無線システムの構成

デジタル列車無線システムは中央装置、統制局装置、基地局装置、無線中継装置、LCX、移動局装置で構成している。移動局装置を搭載した列車とはLCXを介してデジタル無線伝送を行う。デジタル無線技術によって、高品質な音声回線を提供するとともに、データ回線を活用してあらゆるデータ伝送を行い、列車の安全・安定輸送と旅客サービスの向上に貢献している。

1. ま え が き

時速約260kmの高速で移動する新幹線でも、地上と車両間の無線通信には、安全・安定輸送を実現するために高品質、高安定性、高速伝送等が求められる。これまで、当社は、国内すべての新幹線にデジタル方式の列車無線システムを納入し、多くの技術やノウハウを蓄積してきた。

北陸新幹線の列車無線システムは2012年に旧長野新幹線区間(高崎駅～長野駅間)のアナログ方式からデジタル方式への切換え<sup>(1)</sup>に引き続き、新たに長野～金沢延伸間(228.1km)をデジタル方式でシステムを拡張した東京駅～金沢駅の全区間を高品質、高安定性、高速伝送の通信方式にしたシステムである。また、北陸新幹線はJR東日本とJR西日本が初めて相互乗り入れすること、及び日本有数の豪雪地帯を走る新幹線であることが特徴でもある。

本稿では、2015年3月に開業した北陸新幹線の長野～金沢延伸区間の列車無線システムとその特長について述べる。

2. システム概要

北陸新幹線の列車無線システムは、既存新幹線システム<sup>(2)</sup>を拡張した東日本区間と、新設した西日本区間の2つの列車無線システムを相互に接続したシステム構成に特徴がある。

2.1 システム構成

新幹線列車無線システムは、中央装置、統制局装置、基地局装置、無線中継装置、LCX(Leaky Coaxial cable:漏洩(ろうえい)同軸ケーブル)、及び移動局装置で構成している(表1)。地上システムの構成は中央装置配下に統制局装置、統制局装置配下に基地局装置、基地局装置配下に無線中継装置を接続したツリー型構成となっており、沿線に敷設したLCXを介して車両の移動局装置と接続する。

2.2 無線仕様

このシステムの無線区間通信には、時分割多重アクセス方式(TDM-TDMA)を採用し、400MHz帯で送受信各2波を使用した伝送速度384kbpsと307.2kbpsの無線回線を構成している。表2に、無線仕様を示す。

2.3 チャンネル数

このシステムの機能は、通話を行う音声系システムと、主に文字ニュースなどの車内情報提供サービスや車両技術支援サービスなどのデータ系システムに分類できる。

音声系では、当社が鉄道無線用に特化して開発した高効率音声符号化技術“RL-CELP”を導入し、音声1チャンネル当たりの帯域を圧縮することで音声チャンネル数を確保しつつデータ系の帯域を捻出し、伝送速度の高速化も図った。

2.4 機能

このシステムは、次の主要機能を備えている。

2.4.1 音声通話・放送機能

(1) 運転指令電話

表1. 装置の機能

装置	機能
中央装置	①指令電話、運転指令通告等、中央装置～移動局装置間の音声回線及びデータ回線の追跡制御 ②指令卓など総合指令所内の機器との接続
統制局装置	①指令電話、運転指令通告等、中央装置～移動局装置間の音声回線及びデータ回線の追跡制御 ②業務公衆電話など、統制局装置～移動局装置間の音声回線及びデータ回線の追跡制御 ③JR電話及びNTT電話交換機との接続
基地局装置	①電波の送受信 ②無線信号と有線信号間の変換
無線中継装置	①LCX内の電波伝送損失を補償するための電波の直接増幅
LCX	①基地局装置送信電波の伝播(でんぱ)及び輻射(ふくしゃ) ②移動局装置送信電波の受信及び伝播 ③無線中継装置用電源の給電
移動局装置	①指令電話、運転指令通告等、中央装置～移動局装置間の音声回線及びデータ回線の追跡制御 ②業務公衆電話など、統制局装置～移動局装置間の音声回線及びデータ回線の追跡制御 ③操作盤など車上機器との接続

表2. 無線仕様

項目	仕様
伝播方式	LCX方式
アクセス方式	基地局装置送信：時分割多重方式 移動局装置送信：時分割多重アクセス方式
変調方式	基地局装置送信： $\pi/4$ シフトQPSK 移動局装置送信： $\pi/4$ シフトQPSK
周波数	基地局装置送信：400MHz帯2波 移動局装置送信：400MHz帯2波
送信出力	基地局装置送信：2W 移動局装置送信：4W

QPSK：Quadrature Phase Shift Keying

輸送指令員が指定した列車の運転士を呼び出し又は運転士から指令員を呼び出すことによって、個別又は一斉通話を行う機能である。

(2) 旅客指令電話

旅客指令員が指定した列車の車掌を呼び出し又は車掌から指令員を呼び出すことによって、個別又は一斉通話を行う機能である。

(3) 業務公衆系電話

運転士や車掌がJR電話網の加入者又は顧客が車内の公衆電話機から公衆網の加入者と、通話を行う機能である。

また、緊急時は、チャンネルの用途を業務電話専用に切り換える方式を採用することで、柔軟なサービスの提供が可能である。

3. 課題を解決した技術

3.1 会社境界における通話継続

今回延伸した区間は、東日本区間と西日本区間をまたいでいるため、会社間を通過する列車では通信の継続性が求められる。これは、例えばJR東日本の列車が西日本区間を走行している場合でも、JR東日本の指令員はその列車と通話する必要があるためである。この機能実現のため、2つの会社の別々の新幹線列車無線システムで各会社の中

中央装置同士を専用回線で接続した。さらに、通話を継続させるために前方同報方式を採用した(図1)。この方式は、通話中の列車が進行方向の1つ前の基地局に移動した場合に、確実に通話用の無線チャンネルを使用可能なように、あらかじめ前方基地局で無線チャンネルを予約し、ほかの列車の通話に影響されないように通話経路を確保する。この方式によって、列車が高速移動しながら基地局エリアから次の基地局エリアに移動しても、途切れることなく音声通話の継続ができるハンドオーバー機能を実現した。

通話継続パターンは、通話サービスの種類(7種類)と通話継続パラメータ(4種類)及び無線チャンネルの予約範囲の組合せで決まるため、単純計算すると648パターンとなる。そのため、パターン数が膨大となり処理が複雑になるという課題があった。今回、この課題解決のために、モデリング(抽象化)の概念を活用した設計で処理の複雑化を回避した。回避方法の一例として、音声通話のパターンについて、次に述べる。

通話継続パターンは、次のようなパラメータによって決定される。

- (1) 指令員の所属会社
- (2) 列車の走行位置
- (3) 列車進行方向
- (4) 通話サービスの種類等

音声通話を指令員からの視点で考えた場合、指令員の所属会社の違い、通話先の列車の走行位置等が異なる場合は、すべて違うパターンと考える必要がある。

しかしながら、通話継続が必要となる場所を具体的な場所(区間)で見るとはならず、自システムと他システムのように抽象化することで、通話継続パターンの統合を行った(図2)。

この抽象化について、列車の走行位置という通話継続パラメータを一例にして述べる。列車が存在する具体的な位置をもとに通話継続のパターンを考えると10種類ある(図3①~⑩)。しかし、それぞれの列車の走行位置で通話継続する場合を考え、同様の処理パターンを集約すると、列車が存在する位置(列車の走行位置)は次の3パターンにまとまる。

- (1) 同一システム内ハンドオーバー：①⑤⑥⑩
- (2) 異なるシステム間での無線チャンネル予約：②④⑦⑨
- (3) 異なるシステム間ハンドオーバー(前方同報)：③⑧

同様に通話サービスの種類等、ほかの通話継続パラメータも抽象化を行うことで、通話継続パターンを48パターンにまで集約でき、処理の簡素化が図れた。

### 3.2 無線中継装置に導入した技術

#### 3.2.1 無線中継器の小型化(低背化)

無線中継装置は線路沿線に約1.5kmおきに設置される屋外装置である。この延伸区間は日本有数の豪雪地帯にあり、

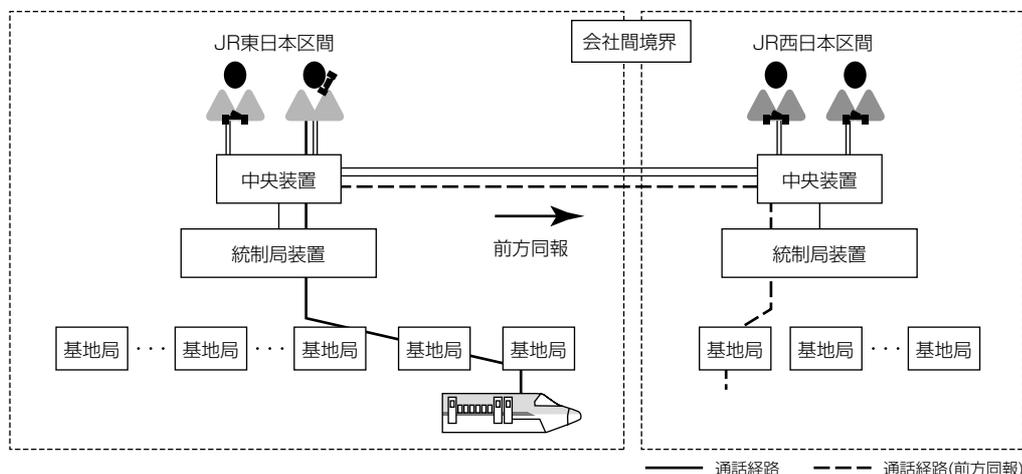


図1. 通話継続方式

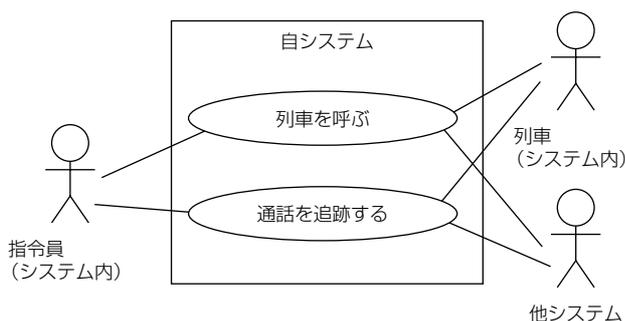


図2. 抽象化例

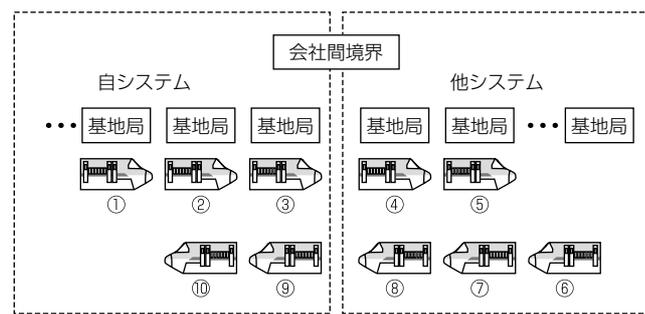


図3. 列車位置パターン

高架には様々な雪対策が要求されており、さらに、日本海沿岸を走行する区間は塩害対策も必要となる。無線中継装置設置場所によっては、防音壁上部に雪覆いを設け、床面には融雪パネルヒーターが設置されている箇所があり、床面はヒーターの高さに合わせて高くなっている。このような高さ方向に制限がある場所に設置できるよう、無線中継装置の小型化(低背化)が必要となった。

このため、無線中継装置内の内部ユニットの小型化を図ることで、従来1,700mmの無線中継装置高さを1,440mmまでに低背化した。

無線中継装置に内蔵している各ユニット(増幅部、高周波部、電源部)の小型化では、ユニットの中で一番容積を占める増幅部ユニットを小さくすることが課題であった。そこで、従来5台あった増幅部(図4)を、基地から列車(A-B)方向と列車から基地(B-A)方向の2種類を同時に増幅する共通増幅方式の採用によって2台減らした3台化を実現した(図5)。

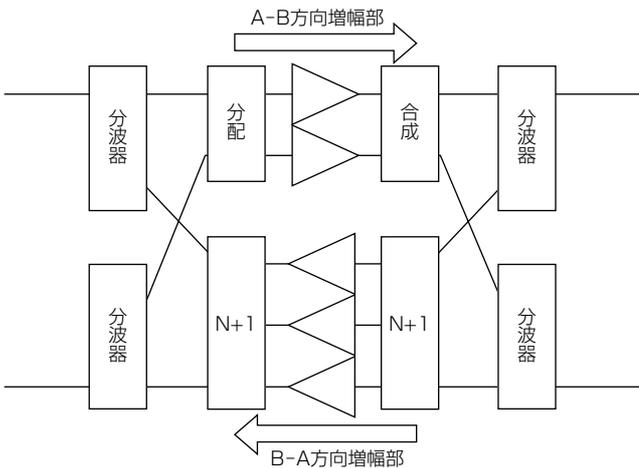


図4. 従来の無線中継装置の構成

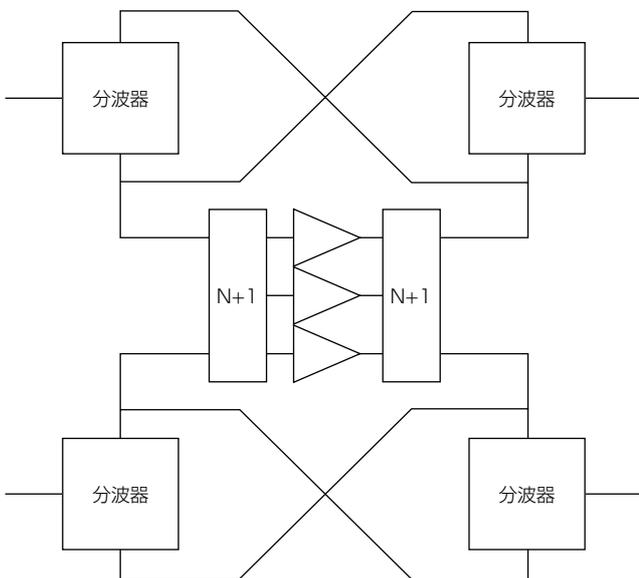


図5. 増幅部3台で構成した無線中継装置

共通増幅方式による双方向増幅機能の実現に当たっては、次の課題の解決が必要であった。

- (1) 多段中継による相互変調歪(ひず)み劣化を考慮して、増幅部単体の信号歪みを抑制(-66dBc以下)
- (2) A-B方向とB-A方向の両方の周波数帯を共通増幅するための広帯域性能(従来2MHz→40MHz)

共通増幅方式では、無線中継装置はA-B方向とB-A方向の2種類を同時に増幅している。これら双方向の増幅機能を実現するため、これまでは双方向の信号を分波器で分けて、A-B方向を2台の増幅部、B-A方向を3台の増幅部でそれぞれ増幅していた(図4)。これに対し共通増幅方式は、1つの増幅部ユニットで双方向性を実現するため、A-B方向とB-A方向の信号周波数が異なることを利用し、増幅部ユニットの入力と出力に分波器を配置して、B-A方向の信号を増幅部入力に導くことで、A-B方向とB-A

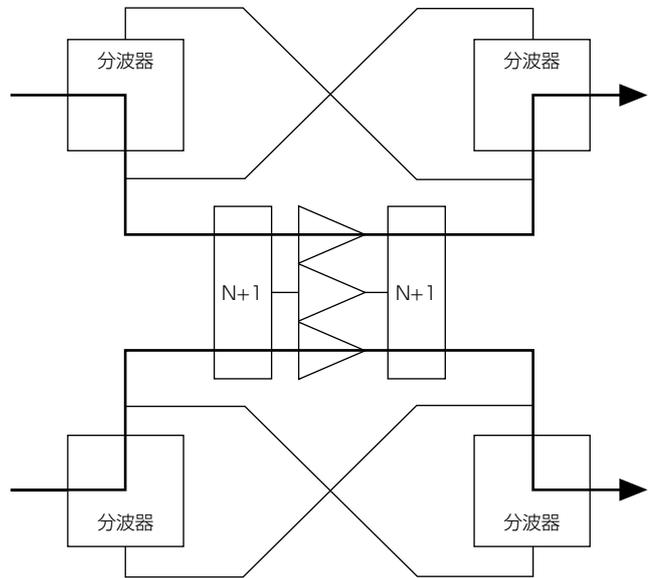


図6. A-B方向の信号経路

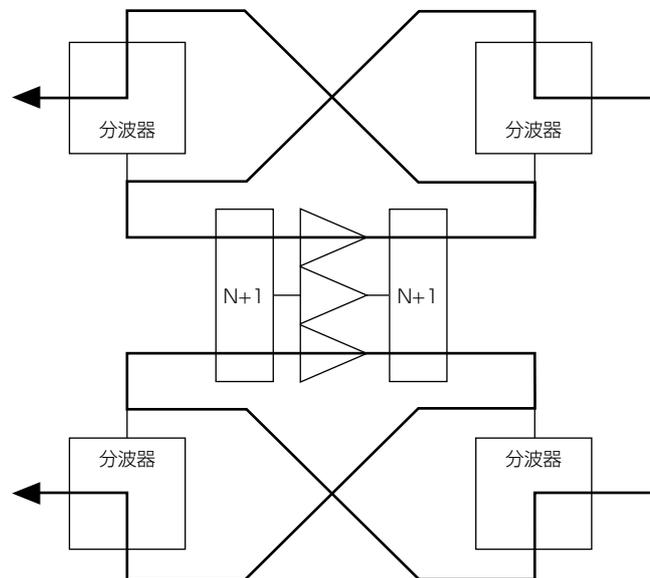


図7. B-A方向の信号経路

表3. 歪み補償方式の比較

方式	歪み補償量	複雑さ
アナログプリディストーション	10dB程度	○
デジタルプリディストーション	20~30dB	×
フィードフォワード	30dB以上	△

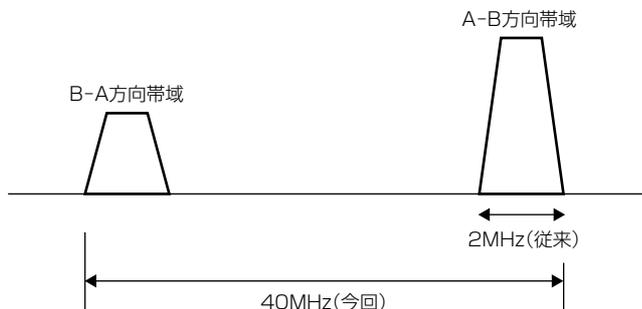


図8. 歪み補償帯域の広帯域化



図9. 無線中継装置

方向の2種類の信号を同時に増幅し、双方向増幅機能を実現した(図6, 図7)。

3.2.2 歪み補償

さらに、今回採用した共通増幅方式では、低信号歪み性能を得るため、歪み補償増幅器を用いた。

無線中継装置に適用可能な歪み補償方式としては、アナログプリディストーション方式、デジタルプリディストーション方式、フィードフォワード方式がある(表3)。アナログプリディストーション方式はアナログ的に逆歪みを発生させて歪みを軽減する方式であり、構成が簡単であるが歪み補償量が小さい(~10dB程度)。デジタルプリディストーションは大きな歪み補償量(~30dB程度)が得られるが、構成が複雑であることに加え、歪み補償回路そのものの消費電力が大きいため、無線中継装置程度の出力(約1W)では得られるメリットが少ない。フィードフォワード方式は構成が複雑ではあるが、非常に大きな歪み補償量(30dB以上)が得られることから、無線中継装置の歪み補償方式として適当と判断し、採用した。

3.2.3 広帯域化

従来の無線中継装置では、歪み補償する周波数帯はA-B方向の信号のみであったため帯域は2MHzであった。今回、共通増幅方式の採用によって、A-B方向の信号と、B-A方向の信号の両方を同時に歪み補償する必要があることから、歪み補償の広帯域化(2MHz→40MHz)を行い(図8)、必要な帯域で歪み補償が効果的に働くよう構成部品や振幅・位相調整の最適化を行った。

3.3 投雪対策

北陸新幹線延伸区間は日本有数の豪雪地帯であり、雪害対策として散水消雪設備や貯雪設備が備えられている。さらに、貯雪量を超えるような大雪の場合には除雪車によって除雪される。この際、高架下に投雪が不可能な一部区間では線路脇に投雪されることがあるため、無線中継装置には投雪による圧力に耐えうる強靱(きょうじん)性が必要とされる。設計段階で投雪時の無線中継装置筐体(きょうたい)の変形量を見積り、装置に加わる雪の圧力及び時間を算出した。これらのデータを基にした強度解析に基づく遮蔽版の構造設計(板金厚、骨組み構造等)で、投雪にも耐えうる強度を確保した(図9)。

4. むすび

北陸新幹線金沢延伸にかかわる列車無線システムの特徴及びそれらを支える技術について述べた。今後とも、当社は列車無線システムなどで、安心・安全・快適な社会の実現に貢献していく。

参考文献

- (1) 後藤泰史, ほか: 北陸新幹線列車無線システムのデジタル化, 三菱電機技報, 87, No. 5, 293~296 (2013)
- (2) 藤岡 滋, ほか: 東北・上越新幹線デジタル列車無線システム, 三菱電機技報, 78, No. 2, 148~151 (2004)