

国鉄在来線用400MHz帯簡易列車無線の技術史

加島 篤

Technological History of Simplified Train Radio Communication System in 400MHz Band Used on Conventional Lines of Japanese National Railways

Atsushi KAJIMA

Keywords: Japanese National Railways, train radio, radio wave propagation in tunnels

1. はじめに

本州と九州を隔てる関門海峡には、第二次世界大戦中に開通した在来線用の海底トンネル(通称:関門鉄道トンネル)が敷設されている。物流と旅客輸送の大動脈として日本の戦後復興と高度経済成長を支えたトンネルを、平日には1日150本近い列車^{1,2)}が通過している(写真1参照)。

昭和44年3月、日本国有鉄道(以下、国鉄)は関門鉄道トンネルを含む山陽本線の幡生操車場と鹿児島本線の東小倉駅間で、空間波無線方式による簡易列車無線の運用を開始した^{3,4)}。400MHz帯の3波(上り・下り・入換)を実装したFM変調・単信式(プレストーク式)の列車無線で、関門地区専用の電気機関車に乗務する機関士と駅および機関区との連絡用に導入された。その後、簡易列車無線は改良を重ねながら乗務員用無線、Cタイプ列車無線と進化し、昭和62年4月の国鉄分割民営化後はJR各社に継承された。写真2は、交流電車の制御車に設置された列車無線用アンテナで、送信用のスリーブ・モノポールアンテナを円筒形のプラスチ

ックカバーで保護している⁵⁾。

本報では、国有鉄道における列車無線の歴史を概説した後、在来線用の400MHz帯簡易列車無線に焦点を当て、開発の背景や単線トンネルで実施された基礎データ測定試験の詳細、関門地区に導入された経緯、移動局用送受信機の仕様と電子回路の特徴、乗務員用無線からCタイプ列車無線へと発展する過程について無線技術史の観点から考察する。

鉄道事業では、軌道脇に設置した誘導線を伝送線路とする誘導無線方式の列車無線も使用されるが、本報では空間波無線方式の列車無線を中心に解説した。また、新幹線用列車無線や国鉄以外の公民鉄道の列車無線は対象としていない。

国立国会図書館デジタルコレクションで閲覧した「鉄道通信」等の専門雑誌や、鉄道趣味雑誌、三菱電機技報等からは多くの引用をさせて頂いた。掲載した地形図や図面は、原資料を基に新たな情報を書き加えた。文中の400MHz帯は「335.4MHzを超え470MHz以下の周波数帯」、150MHz帯は「142MHzを越え170MHz以下の周波数帯」を指す⁶⁾。また、送信機の空中線電力は「送信出力」と表記し、電波形式は原資料の表記を尊重した。繁雑さを避けるため、関門鉄道トンネルを「関門トンネル」、蒸気機関車を「蒸機」、電気機関車を「電機」、ディーゼル機関車を「ディーゼル機」と略記した。

2. 国有鉄道における列車無線発達史

2.1 初期の列車無線

本邦における列車無線の濫觴は、鉄道省が大正15年7月～昭和2年7月に東海道本線大井町ー小田原間で行った列車無線試験である⁷⁻⁹⁾。速度向上の著しい列車と駅間の連絡を目的に、大井町変電所構内と列車内に真空管式送信機(送信出力:基地局500W, 移動局70W)と再生検波式受信機を設置し、長波帯(180～230kHz)による無線電信と無線電話の通信試験を、空間波無線方式と誘導無線方式で実施した。しかし、直流電化区間での通信は雑音レベルが高く、受信困難のため試験は中止された。

昭和9年1月、函館本線と羽越本線で空間波無線方式による排雪列車用無線の試験が開始された^{7,10,11)}。キマロキ編成の排雪列車で、先行するマックレー式搔寄車と後続のロータリー式排雪車の追突事故を防止するため、双方の車両に送信機(送信出力4Wまたは10W)と超再生検波式受信機を搭載して、VHF無線電話(30MHz帯2波)による通信試験が行われた。しかし、通達距離が2km程度と短く実用化は見送られた。



写真1 関門鉄道トンネル門司方坑口付近で離合する門司行き下り普通列車と上り高速貨物列車
(門司駅ホームより 令和5年4月, 撮影 加島 篤)



写真2 下関行き普通列車と地板付列車無線用アンテナ
(小倉駅にて 平成30年3月, 撮影 加島 篤)

2.2 終戦直後の列車無線試験

昭和21年12月、列車追突事故防止を目的に東海道線の保土ケ谷－平塚間と平塚－沼津間でVHF無線電話(30MHz帯2波)による列車無線試験が開始された^{11,12)}。送信出力は固定局20W、移動局10Wで、AM、FM、PMの各変調方式の比較試験を行い、到達距離5kmが目標であった。トンネル区間以外の通信は良好であったが、耐久性の低さと真空管の寿命、費用対効果が問題となり実用化は断念された。

昭和24年1月、神戸港操車場に移動無線の実用化試験局の設置が許可された⁹⁾。GHQ/SCAP(連合国軍最高司令官総司令部)は昭和20年10月から神戸港の港湾施設を接收し¹³⁾、神戸臨港線(東海道本線の貨物支線)の神戸港駅と埠頭専用線間の連絡が困難となって、作業効率が著しく低下していた。そこで、神戸港駅の運転本部と入換機関車、操車掛の連絡用に150MHz帯1波によるAM変調・単信式無線電話が計画され、神戸港操車場に基地局(送信出力20W)、入換機関車に移動局(送信出力10W)を設置し、昭和25年2月に試験を開始した^{11,12,14)}。同年25年10月には、150MHz帯2波によるFM変調・複信式無線電話(送信出力10W)に変更された^{15,16)}。基地局は運転本部と西部運転扱所の2ヶ所、移動局は入換機関車5両であった。その後も操車場用無線の改良は続き、室蘭、大宮、門司港、戸畑、長岡、旭川の操車場に導入された^{9,11)}。

写真3は昭和20年代の神戸港操車場で¹⁷⁾、無線鉄塔に基地局用のブラウンアンテナが設置され、鉄塔手前の木造平屋が基地局である。一方、移動局は入換機関車ではなく機関車に連結する控車^{ひかえしや}に変更されている^{17,18)}。入換機関車は本線走行や点検・修理など運用状況が日々変化し、運転台も



写真3 神戸港操車場移動無線
(「大阪無線区創立10周年記念アルバム」より)

狭隘なため無線設備を控車に移設したと推察される。控車に乗務する操車掛が運転本部と無線連絡を行い、拡声器や手旗信号で機関士に指示を伝えたと考えられる。写真3では、2両のヒ1形控車¹⁸⁾に送受信機を収めた継電箱と電源用鉛蓄電池が積載されている。操車掛が待機する控車の屋根に送信用と受信用の2基のホイップアンテナが設置されており、複信式への変更後に撮影されたと考えられる¹⁹⁾。

2.3 仙山線交流電化試験と列車無線

昭和30年8月10日、仙山線北仙台一作並間でED44形交流電機(主電動機は交流整流子電動機)が試運転を開始し、交流電化試験が本格化した²⁰⁾。北仙台の試験変電所²¹⁾と電機間の通話と、変電所と試験列車に設置した測定器を遠隔操作で同期させるため、同年11月に200kHz帯の誘導無線の使用を開始した^{9,22)}。しかし、交流饋電設備が発生する高調波雑音が架線や電力線に重畳し、通話に加えて測定器の同期も

困難であった²²⁾。急遽、150MHz帯の空間波無線の利用が提案され、熊ヶ根駅に中継局を設置してケーブル(アプローチ回線)で北仙台と接続した。昭和31年12月11日に始まったED45形交流電機(主電動機はイグナイトロン制御の直流電動機)の走行試験では、空間波無線方式による測定器の遠隔同期に成功した²²⁾。イグナイトロンによる電動機の位相制御では大量の高調波雑音が生じるため、誘導無線方式による通信は一層困難であったと推察される。

仙山線での交流電化試験以降、国鉄は本線の列車無線は誘導無線方式で整備し、操車場や排雪列車用の特殊無線は空間波無線方式とする従来方針を転換することになった²¹⁾。

2.4 東京-大阪間の列車無線試験

昭和31年6月、東海道本線を舞台に150MHz帯のFM変調・単信式列車無線(電波形式F3、送信出力:固定局50W、移動局25W)の通信試験が開始された^{23,24)}。目的は、機関士や車掌と駅間の業務連絡用無線電話の開発であった。東京－大阪間の14ヶ所に固定局を配置し、移動局である電機の屋根にキノコ状の円板装荷型トップロードアンテナ^{17,25)}を設置して、移動試験やトンネル内の伝搬試験を実施したが、丹那トンネルなど長大トンネルでは通話不能であった²⁴⁾。

停車駅の少ない特急では、客車での緊急事態発生を車掌から機関士や先行・後続の列車に伝えるため、列車前後部間および列車間の連絡無線が必要である。昭和32年3月、東京－大阪間を走行する特急列車で150MHz帯の2波によるFM変調・複信式列車無線の通話試験が行われた^{17,23,26)}。結果、列車前後部や列車相互間5kmでの連絡は地形によらず良好であった。一方、単線トンネル内の伝搬は不良で、単一導線を誘電体で被覆したGライン(Goubau line、表面波伝送線の種類)や平行2線(Lecher line)による導波が検討された²⁶⁾。

2.5 ビジネス特急用の列車無線

昭和33年11月1日、東海道本線東京－大阪間で新開発の特急電車「こだま」が営業運転を開始した²⁷⁾。最高速度120km/hで、東京大阪間の日帰り出張を可能にするビジネス特急と呼ばれた。昭和35年7月1日、東海道本線の特急電車「こだま」、「つばめ」で事業用列車無線の使用が開始された²⁸⁾。当初は150MHz帯を使用する予定であったが、同帯域は移動無線の利用が急増し列車無線用の周波数割当は困難とされた^{29,30)}。昭和34年9月、急遽400MHz帯の電波伝搬試験を東海道本線全線でを行い³¹⁾、UHF帯のFM変調・複信式列車無線²³⁾の導入が決定した。

東京－神戸間の14ヶ所に基地局(400MHz帯4波、送信出力100W、八木・宇田アンテナ)が設置された^{28,31)}。4ヶ所の基地局は、走行する列車の搜索と追跡を行う中継交換装置と追跡交換装置を備えた統制局で^{28,31)}、昭和34年4月に使用を開始した国鉄の幹線系多重マイクロ波回線(7.5GHz、SS-FM方式)³²⁾で相互に接続された。統制局は業務用電話の交換台を備え、周辺の基地局とは裸線搬送やケーブル搬送、多重無線で接続した³³⁾。主な長大トンネルには近接して基地局を配置したが、トンネル内など地形による不感地帯が残り、

弱電界対策に課題を残した³¹⁾。移動局(400MHz帯2波、送信出力40W、環状スロットアンテナ)は、12両編成の151系直流電車で組み込むビュフェ合造中間電動車(モハシ150)に設置された^{28,31,34)}。昭和35年8月20日、電電公社からの委託を受けて東京－大阪間の特急電車内で一般公衆電話サービスが開始された²⁸⁾。

東海道本線で培われたUHF帯列車無線の技術は、昭和39年10月に開業した東海道新幹線に継承され³⁵⁾、長大トンネルの不感対策ではブースターと平行2線を用いた開放系導波線路方式が採用された³⁶⁾。

2.6 急勾配区間用の列車無線

山陽本線の瀬野－八本松間(10.6km)は最大22.6‰の連続急勾配区間で、戦後も客車列車で1両、貨物列車で2両の後補機を連結するプッシュプル運転が行われていた³⁷⁾。昭和37年5月12日に三原－広島間で電気運転が開始されると³⁸⁾、貨物列車は本務機が電機、補機が蒸機(D52形)の異形式機関車による協調運転となり^{37,39)}、警笛合図に代わる前後部連絡用の列車無線が必要となった⁴⁰⁾。トンネルが少ない同区間では空間波無線方式が選定され、昭和37年11月にFM変調・単信式の携帯無線電話機(150MHz帯、送信出力0.9W、ホイップアンテナ)が導入された^{40,41)}。昭和39年7月の広島貨物電化で、瀬野機関区所属の補機は順次電機(EF59形)に変更されたが⁴²⁾、協調運転における前後部連絡用無線の重要性が変わることはなかった。写真4は瀬野－八本松間で後補機を務めたEF59形1号機で、第2端運転室(下関方)の前面窓下にV字形の警戒塗装が施されている⁴²⁾。

信越本線の横川－軽井沢間(11.2km)は最大66.7‰の急勾配区間で、明治45年5月に電気運転が開始され、戦後もアプト式電機(ED42形)によるプッシュプル運転が続いていた⁴³⁾。昭和36年4月、国鉄は老朽化したアプト線に代わる新線の建設に着手した。昭和38年7月15日、横川－軽井沢間に新線(上り線)が開通し、新型電機(本務機EF62形、補機EF63形)による粘着運転が開始された⁴³⁾。

国鉄は、アプト線時代の昭和32年7月に本務機・補機間の連絡用として空間波無線方式(150MHz帯のFM無線電話)の通信試験を行っている⁴⁴⁾。山間部でトンネルも多く回線数も少ないため誘導無線方式が有利と判断され⁹⁾、昭和37年8月に横川－丸山信号所間で現地試験が実施された⁴⁵⁾。横川－軽井沢間が高調波雑音の少ない直流電化区間であったことも、誘導無線方式が選択された理由の1つと推察される。



写真4 瀬野－八本松間で運用されたEF59形直流電気機関車
(碓氷峠鉄道文化村にて 平成14年2月、撮影 加島 篤)

横川－軽井沢間の誘導無線は昭和38年7月の上り新線開通時に使用開始となり、新線の複線化が完了した昭和41年7月25日に本格的な運用が始まった^{9,44)}。LF帯(155～235kHz)の4波によるFM変調・複信式の無線電話で、本務機・補機間および駅や機関区との連絡が目的であった^{9,46-48)}。トンネルを含む全区間に誘導線(被覆銅線1条)を架設し、横川・軽井沢の両駅に基地局(送信出力10W)、機関車に移動局(送信出力10W)を設置した。移動局の送信回路は送信結合部とパンタグラフを介して電車線に給電し、電車線と誘導線の電磁結合により誘導線に高周波電流が流れる。移動局の受信アンテナは4基のフェライト磁心入ループアンテナで、副誘導線となる軌条に近い機関車下部に設置された。下り勾配では本務機と2両の補機が3重連で走行するため、機関車間の連絡には引き通し線によるインターホンを使用した。

2.7 青函連絡船接続特急用の列車無線

昭和36年10月1日のダイヤ改正で、キハ80系気動車による北海道初の特急列車「おおぞら」が函館－旭川間で運行を開始した⁴⁹⁾。青函連絡船に接続する上り特急は東室蘭－函館間を無停車で走行し、連絡船に乗換予定の乗客に欠航等の運航情報を伝える手段がなかった。昭和37年12月1日、乗客に関する業務連絡と通報のため、特急「おおぞら」に150MHz帯1波によるFM変調・単信式の無線電話が導入された^{9,41,50)}。函館本線の長万部と森の両駅に基地局(送信出力0.5W、ブラウンアンテナ)を設置し、通信範囲は約10kmであった。特急列車側の移動局(送信出力0.5W、円板装荷型トップロードアンテナ)は、車掌室で送受信機の取扱を行った。

昭和40年10月1日、青函連絡船に接続する函館行き気動車特急の列車無線が改良され^{9,51)}、サービスエリアは室蘭本線の苫小牧から函館本線の森まで198kmに拡大した。150MHz帯2波によるFM変調・複信式の無線電話で、室蘭市の測量山(標高199.6m)に基地局(送信出力50W、八木・宇田アンテナ)を置き、回転式の八木・宇田アンテナで特急列車の移動局(送信出力25W)を追尾した。

昭和42年12月28日、本州側でも青函連絡船に接続する気動車特急と寝台特急列車で列車無線の使用が始まった^{9,52)}。東北本線尻内－青森間95kmをカバーする150MHz帯2波によるFM変調・半複信式の無線電話で、向山、上北町、野辺地、小湊、青森の各駅に基地局(送信出力25W、八木・宇田アンテナ)が配置された^{9,52,53)}。上野発の特急列車に設置された移動局設備は、後述する常磐線上野－取手間の通話系列車無線装置と同等品であった⁵³⁾。

2.8 常磐線上野－取手間の列車無線

昭和37年5月3日、常磐線三河島駅構内で列車脱線多重衝突事故(三河島事故)が発生し、死者160名、負傷者296名の大惨事となった⁵⁴⁾。事故原因は機関士の信号冒進と関係者の不適切な列車防護措置とされ、列車指令電話装置と緊急警報発信装置の必要性が指摘された⁵⁵⁾。昭和38年5月に発足した国鉄の列車無線研究会は列車事故防止と列車無線の活用について検討を重ね、試行線区に選定した常磐線上野－

取手間に列車防護無線と通信系列車無線を整備することが決定した^{9,56,57)}。

列車防護無線は、列車事故や車両故障、踏切障害、送電故障等の発生時に、列車や駅、踏切、線路巡回作業員から防護警報を発報して周辺を走行する列車を緊急停車させる保安システムで、東海道新幹線にも導入されていた⁵⁸⁾。通話系列車無線は、列車からの事故通報など列車指令と列車間の連絡用である。なお、通信系列車無線の周波数(150MHz帯)は日米安保条約に基づく在日米軍の使用周波数帯と重複しており、周波数割当が難航した^{59,60)}。郵政省は米国政府との折衝を重ね、社会的公共性が高い設備として一部周波数の返還が実現した。

上野―取手間の列車無線は昭和39年4月から総合試験が始まり⁶¹⁾、昭和41年3月5日に運用が開始された⁹⁾。列車防護無線では、電車や機関車に防護警報の発報と受信を行う送受信機(送信出力75mW、トップロードアンテナまたはスリーブアンテナ)が設置された^{9,62)}。発報信号は150MHz帯の1波(169.01MHz、電波形式F2、トーン信号2155Hz)による単信・単方向の通信で、列車が受信すると送受信機付属のスピーカーから警報音(1000Hz)が流れる^{9,58)}。通話系列車無線は150MHz帯2波によるFM変調・半複信式の無線電話で、港区赤坂(東京放送TBS移動無線センター内)と我孫子駅構内に基地局(送信出力25W、3素子八木・宇田アンテナ)を設置し、各車両に移動局(送信出力10W、トップロードアンテナ)が設置された^{23,48,62)}。列車指令はアプローチ回線を経由して基地局から全列車に向けて通話を行い⁹⁾、各列車からの通話は緊急時を除いて列車指令のみが聴守可能であった⁵⁷⁾。

3. 400MHz帯簡易列車無線の開発

3.1 簡易列車無線の構想とタクシー無線の発達

常磐線上野―取手間に導入された列車無線は多額の設備費を要し、同線区を走行する全動力車が搭載した送受信機も高価であった⁶³⁾。一方、山陽本線瀬野―八本松間や信越本線横川―軽井沢間など一部区間を除き、列車無線の導入は遅れていた。特に、機関車牽引の旅客列車や貨物列車では、事故発生時や列車防護の際に機関士と車掌(貨物列車では列車掛)の間で即時連絡の手段がなかった^{9,63)}。そこで、全国的な列車無線整備の第一段として、送信出力を1W以下に抑えてアンテナや電源など車上設備を簡略化し、小型軽量化した無線機本体を乗務員が携行して必要な車両に取り付ける簡易列車無線の開発が急務となった⁹⁾。

昭和42年、国鉄は簡易列車無線用に400MHz帯の携帯用無線機(FM変調・単信式、送信出力1W)を試作し、各種通信試験を開始した⁹⁾。UHF帯の携帯用無線機が昭和40年代初頭に実用化された背景には、半導体素子の急速な進歩と共に、タクシー事業用の400MHz帯車載無線機をめぐる熾烈な開発競争があったと考えられる。

先述のように、400MHz帯の列車無線は昭和35年に東海道本線のビジネス特急に初めて導入された。移動局用送受信機(送信出力40W)には多数の真空管が用いられ、トランジスタ(Ge合金接合型)の使用は受信回路の一部に留まってい

た^{64,65)}。昭和39年に開業した東海道新幹線では、移動局用送受信機(400MHz、送信出力4W)は送信部の出力段を除いて固体化され^{66,67)}、軽量化と省電力化が実現した。高周波増幅用のトランジスタには、Geマイクロアロイ拡散型やGeメサ型、温度特性に優れたSiメサ型が用いられた^{67,68,69)}。なお、東海道本線のビジネス特急や東海道新幹線の列車無線システムは、三菱電機が製造を担当した¹⁶⁾。同社は昭和23年に吹田操車場向けに30MHz帯連絡用無線機を納入し、神戸港操車場の列車無線でも150MHz帯FM送受信機を製造している¹⁶⁾。

昭和39年5月、郵政省は400MHz帯によるタクシー事業用無線の免許方針を決定した⁷⁰⁾。従来の60MHz帯4波、150MHz帯3波⁷¹⁾では急増するタクシー無線の需要に対応できず、新たに400MHz帯の周波数を地域毎に割り当てる二周波集中基地方式(最大17ch、複信式)が採用された⁷⁰⁾。また、400MHz帯への早期移行を促し、昭和46年6月1日以降はタクシー無線によるVHF帯の使用を認めない方針も明らかとなった。

昭和39年、三菱電機は電源部にDC-DCコンバータを内蔵したタクシー無線用の400MHz帯車載無線機FM-17D形(FM変調、送信出力4W)を開発した^{14,72)}。400MHz帯用の従来機は送信部の終段に真空管を用いたセミ・トランジスタ式であったが、性能向上が著しい高周波電力用トランジスタ(Si三重拡散プレーナー型)と通信用バラクタダイオードを用いた小型軽量・省電力の全トランジスタ式車載無線機を他社に先駆けて実現した⁷²⁾。同社は、昭和41年に全ての半導体素子をシリコン化したDC-DCコンバータレス400MHz帯車載無線機FM-21D形(FM変調、送信出力4W)を開発した^{14,73)}。高周波電力用トランジスタは、高信頼性のSiエピタキシャルプレーナー型であった^{73,74)}。写真5は、昭和44年3月に三菱電機が製造したダッシュマウント形のタクシー用車載無線機(型式FM-21DL04B)で、累計生産台数は約5,000台である¹⁴⁾。

3.2 RC・CTC線区での実用化試験

昭和41年10月、田沢湖線の雫石―志度内間と根室本線の落合一新得間がRC線区として開業した^{75,76)}。RC(remote control)は、運転業務の効率化と保安度の向上を目的に、制御駅から周辺の無人駅の信号機や転轍機を遠隔制御する方式で、列車指令の権限を持つ1ヶ所の制御所から線区全体の信号機と転轍機を集中制御するCTC(centralized traffic control)の簡易版である⁷⁷⁾。

RC線区では、制御駅が走行する列車と連絡を取るため、無人の駅や信号所に設置した連絡装置(テレホンスピーカー)



写真5 三菱電機製FM-21D形車載無線機(加島 篤 所蔵)

で車掌を呼び出す場合がある⁶³⁾。しかし、豪雪地帯では積雪でスピーカーの音量が低下して連絡に支障が生じ易く、雪中を車掌が歩行する時間的損失も大きい。また、車掌が発合図を送るため線路脇に設置された押ボタンを押す線区では、夜間に車外に出た車掌が通路から転落する危険性や、車掌の欠乗(乗り残り)が問題となっていた⁶³⁾。

昭和42年に田沢湖線と根室本線のRC線区で簡易列車無線の実用化試験が行われた^{78,79)}。田沢湖線の簡易列車無線では400MHz帯の2波を「上り」「下り」に割り当て、制御駅の雪石に通信所、無人の大池沢信号所に基地局を設置してケーブル(アプローチ回線)で接続した^{63,80)}。基地局には、上り・下り用に2組の5素子八木・宇田アンテナと送受信機(送信出力1W)が設置された。一方、移動局は機関士と車掌が持つ単信式の携帯用無線機(送信出力1W, ホイップアンテナ)で、スイッチで上り・下り用の周波数を切り換えた。

簡易列車無線の導入によって短いトンネルが散在する区間でも制御駅と乗務員間で運転手配や情報連絡が円滑に行われ、連絡能率の向上と乗務員の危険防止に大きな効果が認められた⁸⁰⁾。また、携帯用無線機は機関士一車掌間の前後部連絡にも有効であった。

その後、CTC線区でも400MHz帯簡易列車無線の実用化試験が行われた。土讃本線は昭和42年3月に多度津―阿波池田間、同年7月に阿波池田―高知間がCTC化され、阿波池田に集中制御所が設置された⁸¹⁾。昭和44年4月25日、制御所と通信ケーブルで接続した無人駅の小歩危と大歩危の間で、通話系と識別系の列車無線試験が開始された⁸²⁾。上り・下り用に400MHzの2波(電波型式F3)を用いた通話系試験では、列車の前後部に携帯用無線機(送信出力1W)を設置し、各駅に基地局(送信出力1W)、トンネル内に中継局を配置して列車と制御所間および機関士と車掌間の通話試験を行った^{41,82)}。

CTC化と同時に単線自動信号化された土讃本線では⁸³⁾、軌道回路で列車位置を検知した。国鉄は、非採算路線への簡易CTCの導入を見据え、無線によって列車位置と列車番号を検知して制御所のCTC表示盤に表示する識別系列車無線試験を土讃本線で実施した^{41,82,84,85)}。試験では400MHz帯の1波を用い、各列車に固有の識別信号(2275~2475Hz内の1周波数)を割り当てた。小歩危・大歩危の両駅には、駅構内の両端(上り・下り方向)に受信ゾーンを設定し、高指向性のカーディオイドアンテナを1基ずつ設置した。機関車前面に設置した乾電池駆動の小型送信機から、識別信号で位相変調した微弱電波(電波型式F2, 出力1mW)を送信する。各ゾーンに列車が進入しアンテナが電波を捉えると、受信機の出力をゾーン固有の識別信号(1275~1425Hz内の1周波数)で変調し、駅の基地局から通信ケーブルで制御所に伝送する。制御所では複数の帯域フィルターで識別信号を弁別し、CTC表示盤に列車位置と列車番号を表示した。

3.3 奥羽本線福島―米沢間の列車無線

奥羽本線の福島―米沢間(43.0km)は連続33.3‰、最大38.0‰の急勾配区間で、最小曲線半径300m、4ヶ所のスイッチバックを擁する鉄道輸送の隘路であった⁸⁶⁾。戦後、急勾



写真6 福島―米沢間で運用されたED78形交流電気機関車
(利府駅構内にて 平成13年3月、撮影 加島 篤)

配専用蒸機の老朽化と石炭事情の悪化によって輸送が逼迫し、福島―米沢間は昭和24年4月24日に直流電化された⁸⁷⁾。電化時に投入されたEF15形直流電機も下り勾配での制動力が不足し、回生制動装置を追加してEF16形に改番された⁸⁶⁾。

昭和40年2月の国鉄理事会において、東北地方の輸送力強化と動力近代化を目的に、非電化の奥羽本線米沢―山形間の交流電化と、既設直流電化区間の奥羽本線福島―米沢間と山形―羽前千歳間、仙山線作並―羽前千歳間を改修して交流化する方針が決定された⁸⁸⁾。作並駅を境に交流と直流に分かれた仙山線では老朽化した交流電機と直流電機の更新が必要で、福島・米沢・山形・仙台を結ぶ線区で直流と交流が混在する弊害を避ける目的もあった。

昭和43年9月22日、福島―米沢間で交流への切替工事が完了し、新造の交流電機EF71形とED78形が牽引する列車が運行を始めた⁸⁶⁾。両形式は、サイリスタブリッジの非対称制御により高力率で高調波の発生を抑制した改良型交流回生ブレーキを備えていた²⁰⁾。写真6は福島―米沢間で本務機や補機として活躍したED78形1号機で、運転室正面窓の上部にツララ切りの底を装備している。

福島―米沢間では、電化方式の変更と自動信号化、一部区間の複線化やルート変更が一挙に行われ、切替工事の直後は列車と駅、峠変電所、福島切替対策本部の間で緊密な連絡が必要であった⁸⁹⁾。特に、急勾配区間での機関車故障や回生失敗などの緊急連絡に、列車無線は不可欠であった⁹⁰⁾。そこで、交流電化工事に合わせて列車無線の整備が急ピッチで進められた⁸⁹⁾。交流電化完成後、福島切替対策本部と峠変電所の通話装置は、仙台鉄道管理局の列車指令と福島機関区に移設された。

福島―米沢間の列車無線は、施設区間の短さと工期短縮のため400MHz帯の1波による単信式無線電話(上り・下り兼用、電波型式F3)が採用された^{80,90,91)}。各駅の基地局、トンネル周辺やトンネル内の中継局など沿線29ヶ所に地上無線機(送信出力1W, 都市部は3素子八木・宇田アンテナ、他はスリーブアンテナ)を配置し、通信ケーブルで送信開始と停止を遠隔操作した。なお、隣接局間の電波干渉を避けるため、29基の地上無線機を2組に分けて組毎の通信ケーブル(A回線, B回線)で縦続接続し、通話状態を見ながらA, B回線を切り換えた。移動局の携帯用無線機(送信出力1W, ホイップアンテナ)は、磁石付置台で交流電機の運転台上に固定した。

3. 4 列車無線における基礎データ測定試験

150MHz帯の列車無線は、昭和37年に山陽本線瀬野ー八本松間と函館本線の特急「おおぞら」、昭和41年に常磐線上野ー取手間に導入され、業務連絡用無線として実績を重ねていた。ところが、昭和43年2月に瀬野ー八本松間で列車無線が関係する運転事故が発生した^{40,41)}。送電線の故障により上り勾配区間で列車が臨時停車したが、トンネル内で本務機・補機間の無線連絡ができず、発車時のノッチ操作の不協調で自動連結器が破断して列車分離が生じた。事故を受けて、150MHz帯列車無線のトンネル不感対策が急務となった。

同時期、国鉄は列車無線における基礎データ測定を目的に複数の試験を実施している^{92,93)}。テーマは、①150MHz帯における室内アンテナと車両アンテナの感度比較試験、②400MHz帯、800MHz帯、1200MHz帯による列車前後部間の伝送損失測定試験、③単線トンネル内における150MHz帯と400MHz帯の電波伝搬試験で、鉄道技術研究所通信研究室、電気局通信課、東京鉄道管理局電気部通信課、東京鉄道管理局東京無線区が連携した大規模な試験であった。

試験①では、東北本線の田端操車場を舞台に電機、蒸機、ディーゼル機など各種形式の機関車が使用された。150MHz帯のFM送信機(送信出力10W)と地上高11mの4素子八木・宇田アンテナで電波を発射し、機関車運転室の窓際に置いた室内アンテナ(地板付ホイップアンテナ)と、機関車の屋根に設置した車両アンテナ(トップロードアンテナ)で受信レベルを比較した。中央本線の豊田電車区でも、通勤電車を用いて同様の試験を行った。結果、室内アンテナは受信レベルの変動幅が大きく、車両後方からの電波に対しては車両アンテナに比べて受信レベルが約15dB低かった。

試験②では、トンネルが多数存在する中央本線の八王子ー甲府間で列車長約250mの貨物列車を走行させ、電機と緩急車間で伝送損失を測定した。周波数と送信出力が異なる3台のFM送信機(400MHz帯1W、800MHz帯0.4W、1200MHz帯0.4W)を準備し、送信アンテナは機関車の運転室窓際に置いた地板付ホイップアンテナと屋根に設置したダイポールアンテナを使用した。受信は、緩急車の屋根に設置した地板付ホイップアンテナで行った。何れの周波数でも、列車の前頭部か最後部が単線トンネル内にあると伝送損失が急激に増加し、列車全体が単線トンネル内にある時は受信不能となった。一方、短いトンネルで列車の前後部がトンネル外にある時は受信可能であった。

試験③は、東海道本線保土ヶ谷ー戸塚間の単線トンネル(延長約1km)で、150MHz帯1Wと400MHz帯1WのFM送信機を用いて実施された。トンネル内でホイップアンテナ付の携帯用無線機を頭上に掲げた人を歩行させ、受信用ダイポールアンテナと電界強度測定器で受信レベルを測定した。更に、トンネル内を走行する電機の運転席に無線機を設置して同様の測定を行った。試験の結果、単線トンネル内の通話可能距離で400MHz帯の優位性が実証された。この試験結果が400MHz帯簡易列車無線の実用化に大きな影響を与えたと考えられる。次章では、試験③の舞台となったトンネルと路線の歴史、電波伝搬試験の結果を詳細に解説する。

4. 品濃トンネルの沿革と電波伝搬試験

4. 1 保土ヶ谷ー戸塚間の線路増設と電化

昭和43年に実施された150MHz帯と400MHz帯の電波伝搬試験は、東海道線保土ヶ谷ー戸塚間の貨物線にある品濃トンネルの上り線で行われた⁹²⁾。図1に昭和41年の地形図⁹⁴⁾を示す。周辺は武蔵国と相模国の国境で、旧東海道の保土ヶ谷宿から戸塚宿へ向かう丘陵地に品濃坂がある⁹⁵⁾。品濃坂の北西に東海道本線(複線)と貨物専用の別線(複線)が敷設され、前者は清水谷戸トンネル、後者は品濃トンネルで丘陵地を抜けている。

東海道本線保土ヶ谷ー戸塚間の変遷を表1に示す。表中の程ヶ谷は保土ヶ谷駅の旧称で、昭和6年10月1日付で改称されている⁹⁶⁾。清水谷戸トンネル(延長212.66m⁹⁷⁾)の上り線トンネルは明治20年7月に竣工し⁹⁸⁾、同年7月11日に東海道本線横浜ー国府津間が開業している³⁸⁾。同トンネルは、東北本線矢板ー野崎間の針生トンネル(延長158.9m、明治20年5月竣工)^{99,100)}と並ぶ現役最古級の鉄道トンネルである。清水谷戸トンネルは、明治31年8月1日の横浜ー大船間複線化³⁸⁾に合わせて下り線トンネルを開鑿し、単線併列形に変更されたと考えられる。

大正後期、鉄道省は輸送量増強のため横浜ー小田原間の線増(複々線化)を計画し、大正11年3月に程ヶ谷ー戸塚間で貨物別線の建設を開始した¹⁰¹⁾。同年4月には、貨物線用の単線併列トンネル(後の品濃トンネル)の建設に着手している¹⁰²⁾。大正11年9月、鉄道省は水力発電の利用による燃料用石炭の節約を目的に、東京ー国府津間の電化工事を開始した¹⁰³⁾。よって、品濃トンネルは電化に対応した内空断面で設計されたと推測される。大正12年9月1日、関東大震災が発生し東海道線の電化工事は中断した¹⁰³⁾。清水谷戸トンネルでは、両坑門口と内部に亀裂を生じている¹⁰⁴⁾。建設中の品濃トンネルも震災の影響を受けた可能性がある。大正13年4月1日、震災の応急復旧の進捗を受けて東海道電化工事が再開された¹⁰³⁾。そして、品濃トンネルは着工から3年後の大正14年3月25日に漸く開通した¹⁰⁵⁾。同日、後に東海道本線となる熱海線の湯河原ー熱海間が開通している³⁸⁾。

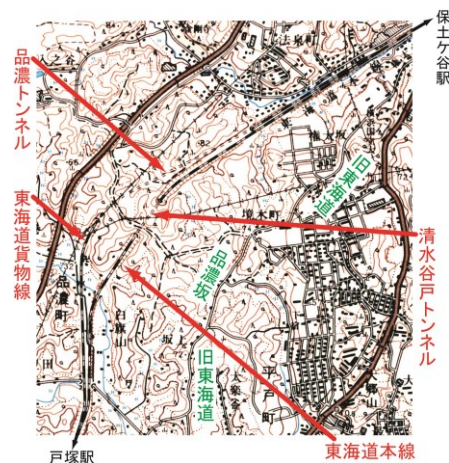


図1 東海道貨物線と品濃トンネル
(国土地理院 昭和41年測量の2万5千分1地形図「横浜西部」から抜粋し、加筆)

表1 東海道線保土ヶ谷－戸塚間の変遷

年	月日	路線の変遷および関連事項
1887(明20)	7.-	清水谷戸トンネル上り線開通
	7.11	東海道線横浜－国府津間開業
1898(明38)	8.1	横浜－大船間複線化
1922(大11)	3.-	程ヶ谷－戸塚間線路増設工事着手
	4.-	貨物線用品濃トンネル建設工事着手
	9.-	東京－国府津間電化工事着手
1923(大12)	4.-	戸塚－大船間線路増設工事着手
	9.1	関東大震災発生、東海道線電化工事中断
1924(大13)	4.-	東海道線電化工事再開
	3.25	品濃トンネル開通
1925(大14)	8.-	清水谷戸トンネル改築工事着手
	12.13	東京－国府津間電化完成、湘南旅客列車の一部で電機蒸機重連運転開始
		3.- 程ヶ谷－大船間貨物線電化完成
1926(大15)	5.16	全ての湘南旅客列車で電機重連運転を開始
	12.-	清水谷戸トンネル改築工事竣工
	2.-	品濃隧道内下水一部改築工事着手
1927(昭2)	5.11	全ての湘南旅客列車で電機単機運転を開始
	12.-	品濃隧道内下水改築工事竣工
		1.20 品川－国府津間の貨物列車の一部で電気運転開始
1928(昭3)	3.31	程ヶ谷－大船間複々線化完成
	10.1	程ヶ谷駅を保土ヶ谷駅に改称
1968(昭43)	3.8	品濃トンネル上り線で電波伝搬試験実施
1971(昭46)	5.-	新貨物線用猪久保トンネル建設工事着手
1972(昭47)	1.-	猪久保トンネル建設工事竣工
1977(昭52)	4.6	品濃トンネル改築工事着手
1979(昭54)	10.1	新貨物線の使用開始、旧貨物線休止
1980(昭55)	3.31	品濃トンネル改築工事竣工
	10.1	東海道本線と横須賀線の分離運転開始、東戸塚駅開業

大正14年8月、鉄道省は清水谷戸トンネルの改築工事に着手した¹⁰⁶⁾。電車線の吊架等に必要な内空断面を確保するため、路盤面を掘削する「盤下げ」を行ったと推測される¹⁰⁷⁾。また、改築工事の期間は程ヶ谷－戸塚間の列車を品濃トンネル経由で運転したと考えられる。大正14年12月13日に東京－国府津間の電化が完成し、東京－小田原間を走行する湘南旅客列車の一部で電気運転が開始された¹⁰⁸⁾。しかし、輸入電機の主電動機で閃絡事故が頻発し、当初は補機用蒸機との重連で客車を牽引した。その後、輸入電機の改造と試験が繰り返され、信頼性の向上により大正15年5月に電機重連運転、昭和2年5月に電機単機運転に移行した¹⁰⁸⁾。

大正15年3月、程ヶ谷－大船間で貨物線の電化が完了し¹⁰⁹⁾、同年12月には清水谷戸トンネルの改築工事が竣工した¹⁰⁶⁾。続いて、昭和2年2～12月に品濃トンネルで下水路の改築工事が行われた¹¹⁰⁾。昭和3年1月12日、品川－国府津間を走行する貨物列車の一部で電気運転が始まり¹⁰⁸⁾、同年3月31日には東海道線程ヶ谷－大船間の複々線化が完了している³⁸⁾。

4.2 東海道本線と横須賀線の分離運転

昭和41年4月、通勤旅客の急増による東海道本線の危機的な混雑状況を解消するため、国鉄は東京－小田原間の線増と東京－大船間で線路を共有する湘南電車と横須賀電車の分離運転を計画した¹¹¹⁾。新線併設(一部は地下線)による線増や既設貨物線の転用、貨物別線の新設、貨物駅の集約など長期に亘る大規模な整備計画で、品濃トンネルを含む保土ヶ谷－戸塚間の貨物線は横須賀電車の走行ルートとされた。鶴見－大船間の貨物別線の新設では、品濃トンネル西側の丘陵地を抜ける猪久保トンネル(複線用、延長3,713m)

が新たに開鑿され、昭和47年1月に竣工している^{112,113)}。

一方、横須賀電車が走行予定の品濃トンネルは、煉瓦目地からの漏水と排水の悪さから道床が噴泥化し、電食による軌条の交換も数年毎に必要であった¹⁰²⁾。同トンネルでの深刻な電食被害は、戦前から問題となっていた¹¹⁴⁾。

品濃トンネルの改築工事は昭和52年4月に開始され¹⁰²⁾、初期の工程では列車の通過がない保守間合を利用して、煉瓦アーチ部裏へのモルタル注入とロックボルトの打込を行った。昭和54年10月の新貨物線への切替後¹⁰²⁾、上り線370m、下り線380mの区間で煉瓦覆工の取壊とコンクリート覆工が行われた。その後、路盤の強化と重軌条化(50kgから60kgレールへの交換)を実施し、昭和55年3月末に改築工事が竣工した。昭和55年10月1日のダイヤ改正で東海道本線と横須賀線の分離運転が開始され、保土ヶ谷－戸塚間に請願駅の東戸塚駅が開業した¹¹⁵⁾。

4.3 品濃トンネルの構造

改築前の品濃トンネルの諸元を表2に、断面図を図2に示す^{97,102)}。延長約1kmの単線併列形で、神戸方の約300mが曲線半径R=500mの曲線区間となっている(図1参照)。断面は本州や九州の主要線区に多い単線乙形¹¹⁶⁾で、馬蹄形の覆工はアーチ部が煉瓦造、側壁がコンクリート造である。大正期に入ると、コンクリート材料の急速な普及によって鉄道トンネルの煉瓦積覆工は減少し、品濃トンネルのアーチ部は最晩期の施工例と考えられる¹¹⁷⁾。

図3は、現在の横須賀線の線路図から抜粋した品濃トンネルの位置と線路平面図である¹¹⁸⁾。改築前と比較して、神戸方坑口付近の曲線区間に変化は見られない。トンネルの内空断面の形状も改築による変更はなかった¹⁰²⁾。

4.4 単線トンネル内での電波伝搬試験

品濃トンネルが電波伝搬試験の試験地に選定された理由として、以下の3点が考えられる。①品濃トンネルは単線併列形で、単線トンネル内での電波伝搬試験が可能である。②上り線は出口(東京方)付近に曲線がなく、約800mの直線区間が確保できる。③東京近郊に位置し、試験機材の搬入や人員の移動・配置が容易である。④保土ヶ谷－戸塚間は

表2 改築前の品濃トンネルの諸元(「品濃トンネル改築」より)

形 式	単線併列形	線路	東京方坑口付近R=600m、神戸方坑口付近約300m間R=500m
断 面	単線乙形	平面	
中心間隔	8.54m	線路縦断	東京方坑口から神戸方坑口へ3.3‰、0.5‰の上り勾配、出口から約405mに勾配変更点
延 長	下り線:982m800 上り線:978m450		

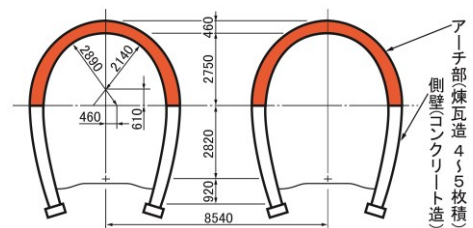


図2 改築前の品濃トンネルの断面図
(鉄道土木「品濃トンネル改築」より)

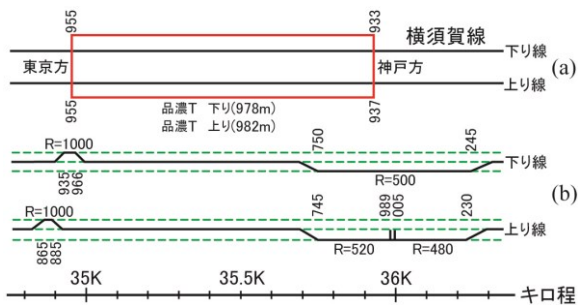


図3 現在の品濃トンネル周辺の線路図
(a)横須賀線とトンネルの位置、(b)線路平面図
(「線路図 横須賀線(東京～久里浜)」より抜粋、
垂直方向に記入した3桁の数値はキロ程の端数)

複々線で、試験列車以外の貨物列車は旅客線への迂回運転が可能である。先述のように、品濃トンネルにおける電波伝搬試験には鉄道技術研究所を始め多くの国鉄無線技術者が関与しており、試験列車の編成や運転指令など東京鉄道管理局との綿密な打ち合わせが行われたと推察される。

試験条件と使用機器を表3に示す^{92,119)}。3種類の携帯型無線機(送信出力1W)が用意され、414.5MHzは簡易列車無線、157.69MHzと150.93MHzは事故災害時の連絡用移動無線の許可周波数(電波型式F3)であった⁴¹⁾。広帯域電界強度測定器ARM-5705Aは安立電気製で、信号発生器部と測定器部の2台1組で構成されている¹²⁰⁾。電界強度測定器の動作を安定させるため、交流電源である発動発電機の出力電圧をスライダックで調整したと考えられる。

実際の電波伝搬試験は、414.5MHzと150.93MHzの2波を用いて歩行試験と列車走行試験の2項目で実施された^{92,119)}。歩行試験では、送信側は担当者が携帯型無線機のホイップアンテナを高さ約2mの頭上に掲げて、連続送信を行いながら出口に向かって軌道中心部を歩行した。この時、トンネル側面に30m毎に配置されたマンホール(保線作業用の待避壕)の番号を受信側に連絡している。受信側では、トンネル出口から91m手前のマンホールを基準点に定め、地上高3mでトンネル側面から30cm離れた位置にダイポールアンテナを取り付け、電界強度計で計測した受信レベルを記録電流計(ペンレコーダー)で連続的に記録した。測定装置はマンホール内に置かれ、交流電源はトンネル外に設置した発動発電機から供給した。

列車走行試験では、トンネル内を徐行する貨物列車から連続送信を行い、歩行試験と同じ方法で受信レベルの変化を記録した。試験では、列車を牽引する電機の運転室に携帯型無線機を設置し、通過するマンホールの番号と列車速度を逐次連絡した。牽引機のEF10形7号機は昭和9年10月に製造された貨物用電車で、試験当時は国府津機関区の配置であった^{121,122)}。貨車の重量換算を1両10トン、延長換算を1両8mとすると¹²³⁾、牽引した貨車37両の重量は600トン、延長は328mとなる。EF10形7号機の機関車長18.38m¹²⁴⁾を加えると、試験列車の列車長は約

表3 電波伝搬試験の試験条件と使用機器一覧
(「列車無線のための基礎データ測定結果」参照)

試験日	昭和43年3月8日 天候:雨
試験地	東海道本線保土ヶ谷～戸塚間 上り貨物専用線 品濃トンネル内
試験列車	牽引機 EF10形7号機 列車編成 現車37両 換算60両 延長41両 列車速度 30km/h
使用機器	FM携帯型無線機(414.5MHz 送信出力0.9W) 4台 FM携帯型無線機(157.69MHz 送信出力0.9W) 2台 FM携帯型無線機(150.93MHz 送信出力0.9W) 2台 電界強度測定器 (ARM-5705A型, 測定範囲25～470MHz) 2組 記録電流計(10mA用) 2台 発動発電機(容量300VA) 2台 スライダック 2台 ダイポールアンテナおよび支持物 2組

350mと見積られる。

4.5 試験結果

電波伝搬試験の結果を図4に示す¹¹⁹⁾。横軸はトンネル出口付近の基準点から入口方向への距離で、縦軸は電界強度測定器の受信入力電圧である。歩行試験では1波で8回以上測定を繰り返しており、データのバラツキをエラーバーで表している。列車走行試験は、各波1回の測定データを表示している。距離677m以上は曲線区間となるが、直線区間と比べて受信レベルの急激な変化は見られない。入力電圧が10dBμVに低下する距離は、400MHz帯で歩行試験の場合は810m、列車走行試験では900m、150MHz帯では歩行試験と列車走行試験で共に230mであった。単線トンネル内で送信出力1Wの携帯用無線機を使用した場合、400MHz帯の通話可能距離は150MHz帯の約4倍となる。400MHz帯の伝搬損失は91～95dB/kmで、送受信機間の損失から伝搬損失を引いた結合損失は50～60dBであった⁹²⁾。また、150MHz帯は400MHz帯に比べ定在波比が大きく、同じ回線品質を得るには高い平均電界強度が必要であった。

写真7は、横須賀線の電車が間断なく通過する品濃トンネルの東京方坑口で、右側が電波伝搬試験の舞台となった上り線トンネルである。馬蹄形の坑門は煉瓦積で、建設当時の面影を残している。

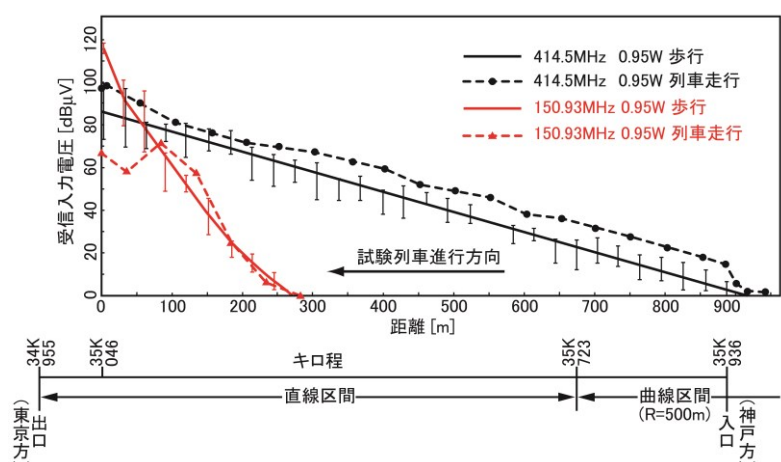


図4 品濃トンネル上り線における電波伝搬試験結果
(「国鉄無線計画図集 昭和43年5月」掲載のグラフより)



写真7 品濃トンネル東京方坑口 (令和5年3月, 撮影 加島 篤)

4.6 円形導波管モデル

昭和50年頃に東北新幹線の第2葉坂トンネル(延長1473m, 複線断面)で行われた研究^{125,126)}では、V/UHF帯の電波伝搬実験と円形導波管モデルによる理論解析から、長い直線状の鉄道トンネルは高域通過型の伝送線路と見なせること(主要伝搬モードはTE₀₁)、遮断周波数以上では周波数の上昇と共に減衰定数が低下し、トンネルの半径 a と真空中の波長 λ の比 a/λ が数倍～10倍程度あればトンネル全域で通話が可能であることが確認された。

円形導波管の主要伝搬モードをTE₀₁とすれば、その遮断周波数 f_c は $f_c = c_0 x'_{01} / 2\pi a$ となる¹²⁷⁾。ここで、 a は円筒の半径、 c_0 は真空中の光速、 x'_{01} は零次の第1種Bessel関数 $J_0(x)$ の微係数 $J'_0(x)$ の根である。図2を参考に、品濃トンネルと同じ断面を持つ円の半径を $a=2.7\text{m}$ と仮定すると、 $x'_{01}=3.832$ より遮断周波数 $f_c=67.8\text{MHz}$ となる。 a/λ は150.93MHzで1.35、414.5MHzで3.73となり、通信距離では a/λ 値の大きい400MHz帯が有利となる。図4の試験結果でも、150MHz帯に比べて400MHz帯の減衰定数は低く有効通信距離が長い。

5. 簡易列車無線の普及と関門地区への導入

5.1 推進運転用およびCTC区間の列車無線

品濃トンネルにおける電波伝搬試験の結果は、国鉄が郵政省に提出した上申書⁴¹⁾や鉄道通信の専門雑誌⁶³⁾でも紹介された。150MHz帯の列車無線に比べて、トンネル対策が容易で車上アンテナも不要な400MHz帯の簡易列車無線は、EL・DL牽引列車の前後部間連絡やCTC区間における中央制御所と車掌間の連絡、駅構内や操車場の入換仕業における機関士と操車掛の連絡など様々な現場への導入が計画された^{63,84)}。昭和44年4月に開始された土讃本線での列車無線試験(3.2節参照)でも、品濃トンネルでの試験結果を参考にトンネル内に中継機を設置したと考えられる⁴¹⁾。

上野駅～尾久客車区間で行う回送列車の推進運転で、列車前後部間の信号見張の連絡用に簡易列車無線の導入が計画された⁸⁴⁾。尾久客車区間は東北本線尾久支線に隣接する尾久客車操車場内にあり、同区間の推進運転は昭和9年頃に開始され、前頭車両(客車最後尾)に乗務する推進機関士と本務機の機関士との連絡は汽笛や手旗信号等で行っていた¹²⁸⁾。昭和38年、前後部連絡用に150MHz帯の携帯用無線機(送信出力0.2W)を配備したが、推進運転士など乗務員の装備重量が過大となり試験的な使用に留まった⁹⁾。

昭和44年12月5日、上野～尾久客車区間で2ヶ所の基地局、

142ヶ所の移動局からなる400MHz帯列車無線(単信式)の使用が開始された^{129,130)}。尾久駅構内に基地局を設置することで、列車と尾久客車区、田端機関区との直接連絡が可能となり、運転手配など多目的な活用が期待された⁸⁴⁾。

上野～尾久間の列車無線と同日、CTC区間である函館本線の桔梗～森間で400MHz帯2波による列車無線(単信式)の使用が開始された^{129,130)}。函館本線五稜郭～森間は昭和44年11月26日にCTC化され³⁸⁾、車掌から中央制御所への出発合図に列車無線が必要であった¹²⁹⁾。

5.2 関門地区の列車無線計画

関門トンネルは昭和17年7月1日に下り線が開通し、山陽本線の幡生操車場と鹿児島本線の大里新町操車場(後の門司操車場)間が直流電化された^{38,131)}。昭和19年8月8日に上り線も開通し、同年9月9日に複線運転を開始した³⁸⁾。

昭和36年6月1日、鹿児島本線門司港～久留米間が交流電化され、門司駅構内に交直分界点が設置された¹³²⁾。EF10形直流電機に代わり、シリコン整流器を搭載した関門地区専用のEF30形交直流電機が配置され、下関～門司間6.3kmで客車列車、幡生操車場～門司操車場間10.4kmで貨物列車を牽引した¹³³⁾。昭和38年10月1日、東小倉貨物駅に小荷物センターが開設されると¹³⁴⁾、同電機の運転区間は東小倉まで延長された¹³³⁾。昭和43年11月の時点で門司機関区には22両のEF30形が配置され¹³⁵⁾、単機で旅客列車、重連で貨物列車を牽引した¹³⁶⁾。短区間で折り返し運転を繰り返すEF30形の効率的な運用を図るため、関門地区に簡易列車無線の導入が計画された⁸⁴⁾。

一方、関門トンネルでは過去の事例を教訓に、列車無線設備の整備計画が進行していた。昭和28年6月の西日本大水害では、河川氾濫による濁水が門司駅構内に侵入し、関門トンネルは上下線とも水没した¹³⁷⁾。水没の直前、EF10形が牽引する岩国発佐世保行き下り普通列車がトンネルの門司方坑口付近で立ち往生したが、機関士の機転と卓越した運転技術によって危機を脱し、無事門司駅に到着している¹³⁸⁾。

当時の関門トンネルには緊急連絡用の通信設備はなく、保守作業等で使用するTB(talk back, 高声電話機)が唯一の通信手段であった¹³⁹⁾。初期のTBは、絶縁低下を防ぐため鉱油で満たした端子箱(通信ケーブルと接続)を上り線と下り線のトンネル内24ヶ所に設置し、現場に携行した送受信器を端子箱に接続して各部署と通話した。水没事故後はTBの改良や更新が繰り返された。トンネル内での運転事故に対処するため、昭和39年度から列車無線設備の調査が始まり、誘導無線方式や開放同軸ケーブルを導波線路とする無線通信が検討されていた¹³⁹⁾。

5.3 関門地区簡易列車無線の全容

昭和44年3月31日、関門トンネルを含む関門地区で簡易列車無線の運用が開始された⁴⁾。地上設備の配置を図5に示す。図中の幡生操車場は九州からの上り貨物列車の分解組成、門司操車場は本州対九州の貨物中継と九州各線行き貨物列車の組成、東小倉駅は小口貨物、混載貨物、手荷物、小荷

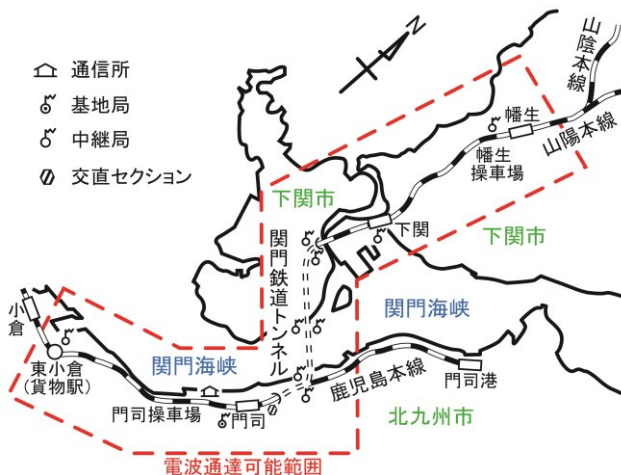


図5 関門地区簡易列車無線の地上設備配置図(昭和44年頃)
(「門司無線区要覧」掲載の「関門簡易列車無線地上設備概要図」を修正・加筆)

表4 関門地区簡易列車無線の許可無線局(昭和44年頃)
(「門司無線区要覧」より)

無線局種別 (局数)	周波数	送信 出力	呼出名称
基地局(8)	414.55MHz	1W	こくてつもじ
			こくてつもじだい2
			こくてつもじだい3
			こくてつものせき
			こくてつものせきだい2
陸上移動局(4)	414.55MHz	0.95W	こくてつものせきだい3
			こくてつものせきだい4
			こくてつものせきだい5
			こくてつれっしゃもじ1~4

物の着発と中継を担当した¹⁴⁰⁾。EF30形の運用区間である幡生操車場～東小倉間13.0km^{141),142)}に、通信所や基地局、複数の中継局が配置されている。関門トンネルは延長約3.6kmの単線併列形で¹⁴³⁾、品濃トンネルでの電波伝搬試験の結果に基づき、上り線・下り線の各トンネル内に中継局を分散配置したと推測される。

表4は許可無線局の一覧で⁴⁾、図5の基地局や中継局との対応は不明である。使用周波数も414.55MHzのみ記載されており、初期の計画は福島～米沢間と同様に400MHz帯1波による列車無線であった可能性がある。簡易列車無線では、電波法第39条の規定により基地局に有資格者(無線従事者)を

表5 関門地区簡易列車無線の主要設備(昭和44年頃)
(「門司無線区要覧」より)

機器名	仕様	数量
固定局用	400MHz 1波 送信出力1W	20
FM無線送受信機	400MHz 3波 送信出力1W	4
固定局用アンテナ	5素子八木・宇田	6
制御装置	ブラウン	18
移動局用FM無線電話機	基地局用	1
	400MHz 3波 送信出力0.95W	44

配置すれば移動局側の資格は不要であった¹⁴⁴⁾。

関門地区簡易列車無線の回線系統図を図6に、主要設備の仕様を表5に示す⁴⁾。通信所は門司機関区、基地局は門司駅に隣接する門司無線区に置かれ、通信所と基地局、各中継局は通信ケーブルで接続されている。通信所の操作台から、EF30形との連絡と通信回線の制御を行ったと考えられる。送信周波数は f_1 (上り列車用)、 f_2 (下り列車用)、 f_3 (構内作業用)の3波で、 f_1 と f_2 の用途は後述する乗務員用無線と逆である⁸⁴⁾。構内作業を行う門司、下関、幡生の各駅と門司操車場には、 $f_1 \sim f_3$ に対応した送受信機が別途設置されている。固定局用の送受信機(送信出力1W)は24台で、アンテナは無指向性のブラウンアンテナと指向性の八木・宇田アンテナである。なお、無線設備一式は三菱電機が製造した¹⁴⁾。

関門トンネル内の中継局では、上り線の下関側だけ八木・宇田アンテナを使用している。関門トンネルはV字構造で、中央部から門司方坑口までの勾配は上り線・下り線共に20‰、中央部から下関方坑口までの勾配は下り線の20‰に対し上り線は22‰と大きい¹⁴³⁾。よって、坑口と下関駅間約2kmの平坦部で列車との通信を確保するため、中継局に高利得の指向性アンテナを使用したと考えられる。

表4の陸上移動局は4局であるが、実際は44台の携帯用無線機が配備された⁴⁾。当時の門司機関区は22両のEF30形を擁しており(5.2節参照)、1両当たり2台の無線機が配備されたことになる。EF30形の機関士は、単機や重連統括制御での列車牽引や回送運転、入換仕業で機関車への乗降や前後の運転室間の移動を頻繁に行う。EF30形は、携帯用無線機を前後の運転室に常時据え付けていた可能性がある。

単線トンネルでは、進入した列車が電波の伝搬経路を塞ぐため列車前後部間の連絡は困難となる(3.4節参照)。よっ

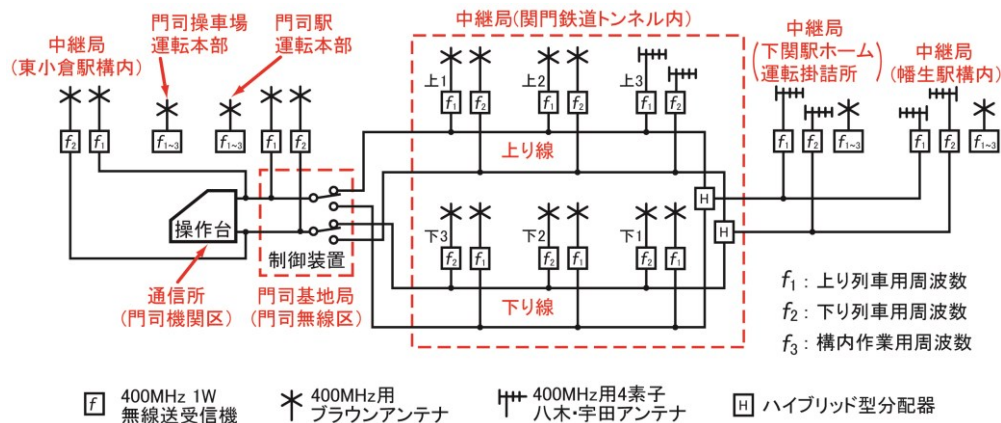


図6 関門地区簡易列車無線の回線系統図(昭和44年頃) (「門司無線区要覧」掲載の「関門簡易列車無線回線系統図」を修正し加筆)

て、EF30形の牽引列車では関門トンネル内での機関士と車掌・列車掛間の無線連絡は不可能であった。一方、昭和36年6月の北九州交流電化で導入された421系交流電車は、車内電話のノーベルフォン(Nobel phone)により関門トンネルを走行中も運転士・車掌間の連絡が可能であった¹⁴⁵⁾。ノーベルフォンは、送受信器に圧電性結晶のロッシェル塩(Rochelle salt, 酒石酸カリウムナトリウムの結晶)を用いた有線電話で、通話用の電源が不要である¹⁴⁶⁾。前後の運転室間に電話線を引き通し、呼出には電磁ブザーを用いた¹⁴⁵⁾。

写真8は門司機関区に増集するEF30形で¹³⁶⁾、撮影(昭和47年11月)は後述する乗務員用無線機の運用が全国で始まった後である。写真8(a)では、左端の機関車で運転室の窓越しに乗務員用無線機が見える。写真8(b)はEF30形前面のクローズアップで、運転室の窓際に置かれた乗務員用無線機とホイップアンテナ、肩吊下用のビニール紐が確認できる。

5.4 単線運転時の列車無線

図6に示すように、関門トンネル内に敷設された列車無線用通信ケーブルは4回線で、下関方坑口に設置した広帯域のハイブリッド型分配器^{147,148)}で混合し、2回線で下関駅以東と連絡している。通常の複線運転では上り線トンネルの中継局(上1, 上2, 上3)を上り列車用、下り線トンネルの中継局(下1, 下2, 下3)を下り列車用として使用し、事故や補修作業等による単線運転の場合は、予備の回線と中継器に切り換えて上り・下りの列車と通信したと推測される。



(a)



(b)

写真8 EF30形交流電気機関車と乗務員用無線機
(a)門司機関区の留置線で待機するEF30形
(b)運転室窓際に設置された乗務員用無線機
「月刊『鉄道ファン』1973年2月号(交友社)」



写真9 関門鉄道トンネル上り線下関方坑口に進入する下り高速貨物列車(令和5年3月, 撮影 加島 篤)

兵員や軍需物資、九州炭など膨大な戦時輸送に対応するため、関門トンネルは開通当初から単線運転が可能な閉塞方式を採用していた。運転方向梃子による単線自動閉塞で、上り線・下り線の各トンネルに上り・下り用の信号機を5基ずつ設置し、上り・下りの切替は門司駅構内の東梃子扱所で行った^{143,149)}。関門トンネル以外の国鉄路線で複線区間に単線自動閉塞を並設した例は、昭和49年7月にCTC線区として開業した湖西線までなかった^{150,151)}。

簡易列車無線でも、単線運転に対応可能な回線設計が行われたと推測される。平成期に門司機関区で勤務したJR貨物の元運転士は、「関門トンネルでは、単線運転時も上り列車は上りの周波数、下り列車は下りの周波数で通信した」と証言している。写真9は、現在の関門トンネル下関方坑口である。撮影当日は単線運転中で、上り線トンネルに下り貨物列車が進入している。

6. 乗務員用無線機

6.1 簡易列車無線用携帯用無線機の規格

昭和43年7月12日、簡易列車無線用携帯用無線機がJRS(日本国有鉄道規格)に制定された¹⁵²⁾。奥羽本線福島ー米沢間の交流電化を控え、切替工事の作業連絡用に制定した臨時規格であった¹⁵²⁾。携帯用無線機とスピーカーマイク、アンテナ、収納ケース、肩吊下用ベルトで構成され、車上据置用の置台も用意された。表6に示すように、電源は密閉型Ni-Cd電池パック(公称電圧1.25Vの単電池を10個直列^{153,154)})で、単3(UM-3)のマンガン乾電池8本を収めた電池ボックスと互換

表6 極超短波無線送受信機(乗務員用)
(JRS制定 昭和43年12月)

送信周波数	400MHz帯 最大2波
電波型式	F3
通話方式	プレストーク
周波数偏差	±0.001%以内
送信出力	0.95W±20%
最大周波数偏位	±5kHz
帯域幅	12kHz以上(6dB低下の幅)
選択度	25kHz以下(50dB低下の幅)
スプリアス感度	-40dB以下
スケルチ感度	アンテナ端子で2dBμV以下
音声出力	200mW
ひずみ率	10%以下(1kHz 70%変調 40dB入力 出力100mW)
電源	密閉型Ni-Cd電池
電源電圧	定格12.5V, 終止電圧11V
電源容量	450mAh
寸法	W85×D45×H155mm
重量	850g

性があつた。Ni-Cd電池の充電は専用の充電器で行つた。送信周波数は、福島－米沢間の交流電化区間では1波(414.55MHz)、田沢湖線雫石－志度内間のRC区間では2波(上り列車用414.50MHz、下り列車用414.55MHz)が用いられた⁸⁰⁾。因みに414.500MHzと414.550MHzは、昭和43年頃に郵政省が列車の前後部連絡用に割り当てた周波数である⁴¹⁾。

関門地区での簡易列車無線の運用開始後、昭和44年8月22日にJRSで携帯用無線機の規格が改定された¹⁵⁵⁾。改定後の仕様を表7に示す^{155,156,157)}。送受信機は機関士用400-1形、車掌用400-2形、構内作業用400-3形の3形式で、前2形式の送信周波数は下り列車用の f_1 (415.200MHz)、上り列車用の f_2 (414.550MHz)に構内作業用の f_3 (414.425MHz)が追加された。通話は単信式(プレストーク式)で、緊急停止を指示する警報信号(2kHzの連続音)をF2波で送出する機能が付加された¹⁵⁸⁾。更に、400-2形と400-3形は入換など構内作業時の合図信号(1kHzで0.5秒周期の断続音)をF2波で送出する機能を備えている¹⁵⁸⁾。警報信号と合図信号は、通話中でも受信可能であつた。改良の結果、携帯用無線機の寸法はW88×D44×H165mmに、重量は約1kgとなつた¹⁵⁹⁾。写真8でEF30形電機の運転室に置かれた乗務員用無線機も、規格改定後の400-1形と考えられる。

6.2 EL・DL1人乗務と乗務員用無線機

焚火作業が必要な蒸機に比べ、近代化された電機やディーゼル機における機関助士の業務は、信号の注視、信号の喚呼応答、前方の注視、通票の授受中継等に限られていた¹⁶⁰⁾。1960年代後半、国鉄は経営合理化の一環として電機やディーゼル機の機関助士を廃止するEL・DL1人乗務の方針を決定した¹⁶⁰⁾。昭和44年11月1日、EL・DL1人乗務に関する労使協議が成立し³⁸⁾、一部の列車を除き機関助士の廃止が決まつた。これに伴い、各種保安設備の改良と共に機関士と車掌・列車掛間の連絡や、機関士または車掌から駅への緊急連絡、駅構内での入換仕業の合図用に携帯用無線機の導入が本格化した^{159,161)}。EL・DL1人乗務の議論が進む中で、国鉄では従来の「簡易列車無線」を「乗務員用無線」、乗務員用の携帯用無線機を「乗務員用無線機」と称し始めたと推察される。

昭和45年3月1日、郵政省は機関士と車掌・駅長間の列車無線(基地局155、移動局621)を承認し³⁾、EL・DL牽引列車での乗務員用無線の運用が正式に始まつた¹⁶²⁾。昭和45年10月1

日、全国でEL・DLの1人乗務が開始された¹⁶³⁾。

電波法に基づく乗務員用無線機の無線機器型式検定では、日本電気製のATR-400PI-3A型が昭和45年9月9日、三菱電機製のMT-52D01形が同年10月6日に合格している¹⁶⁴⁾。

6.3 乗務員用無線機の回路構成

写真10(a)は、昭和48年3月に製造された400-1形乗務員用無線機(三菱電機製MT-52D01形)である。アンテナは $\lambda/4$ ホイップアンテナで、カールコードで接続された送受信器(スピーカーマイク)の側面にはプレストーク用と警報信号送信用のプッシュスイッチがある。写真10(b)は無線機の操作パネルで、電源のON/OFFと周波数切換を兼ねたロータリースイッチ、アンテナ接栓(同軸コネクタ)、送受信器接栓(6極コネクタ)、スピーカージャック、蓄電池の充電状態を表示する電池インジケータ(指針式電圧計)が配置されている。

図7は、400MHz帯乗務員用無線機の回路構成である¹⁶⁵⁾。図中のIDC(瞬間偏移制御)回路は、FM変調時に周波数偏移が規定値を超えないように音声信号の尖頭値を制限する¹⁶⁶⁾。タクシー無線など初期の400MHz帯無線機では、変調器の変調度が深く取れず周波数通倍は36倍が一般的であつた⁷²⁾。その後、スプリアス特性を改善するため変調器の改良と通倍数の低減が進み、写真5に示す三菱電機製のタクシー無線用送受信機では18通倍⁷³⁾、日本電気製の400MHz乗務員用無線機(ATR-400PI-3A型)では12通倍に抑えられている¹⁶⁷⁾。

写真11は、写真10に示す乗務員用無線機の電子基板で、回路図は入手できていない。横長の基板の上半が送信部、下半が受信部で、殆どがディスクリート素子で構成されている。④の広帯域増幅器(三菱電機製M57201H、トランジスタ2個と複数の抵抗を集積した初期のモノリシックIC)⁷⁴⁾が唯一の集積回路で、国産ICの先駆けとして三菱電機が昭和36年に試作に成功した「モレクトロン」の一種である¹⁶⁾。送信部の原発振用水晶振動子(3個)は抜き取られ、通倍数は不明である。アンテナは送受信共用で、高周波スイッチング用PINダイオード(三菱電機製MI301)^{74,168)}を2本用いたTRスイッチを採用している。⑤で示す水晶振動子群の頭部には、通信チャンネルの周波数(415.200, 414.550, 414.425)が刻印されている。これらはオーバートーン水晶振動子¹⁶⁹⁾で、受信チャンネル

表7 極超短波無線送受信機(携帯用無線送受信装置)
(JRS制定 昭和44年8月)

形式	電氣的仕様	送信周波数	警報信号	合図信号	主な用途
400-1	送信出力:0.95W 電源電圧:12.5V (マイナス接地) 電波形式:F3,F2 受信方式: 水晶制御スーパー ヘテロダイン	415.200MHz (下り列車用) 414.550MHz (上り列車用) 414.425MHz (構内作業用) の3波切換	○		前後部連絡 (機関士用)
400-2	〃	〃	○	○	前後部連絡 (車掌用)
400-3	〃	373.650MHz 373.675MHz 373.700MHz の3波切換	○	○	構内入換 作業の連絡

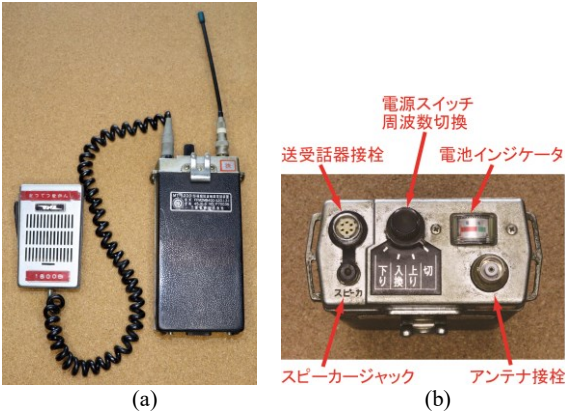


写真10 三菱電機製MT-52D01形乗務員用無線機
(a)本体と付属品, (b)操作パネル (加島 篤 所蔵)

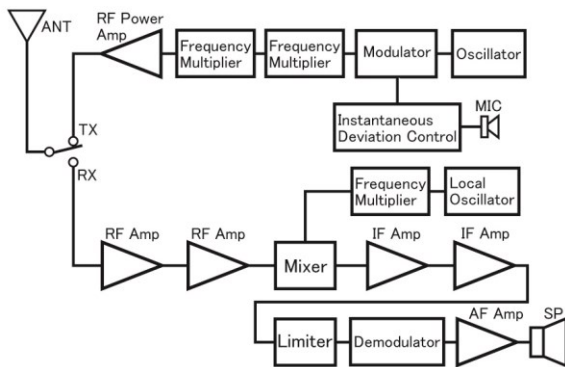


図7 乗員用無線機の基本回路構成
(車輛工学「乗員用無線機(400-2形)故障防止の一考察」参照)

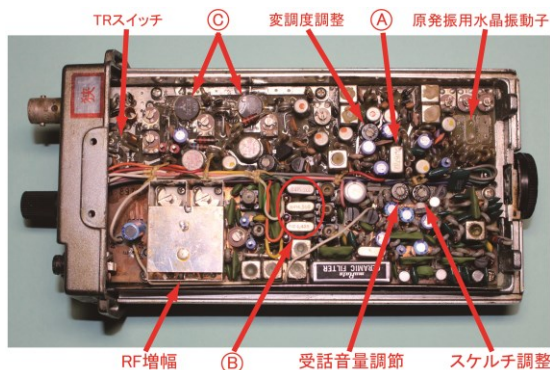


写真11 MT-52D01形乗務員用無線機の電子基板

選択用の水晶フィルターと推定される。

写真11の◎は、三菱電機製の高周波電力増幅用トランジスタ2SC1016で、400MHz帯電力増幅回路の終段と励振段に使用されている。昭和40年頃に三菱電機が開発した400MHz帯のタクシー用車載無線機は、電力増幅した150MHz帯のFM変調波を大容量のバラクタ(バリキャップ)で3通倍する方式を採用していた^{72,73)}。その後、電力増幅用トランジスタの性能向上により、400MHz帯への通倍後にトランジスタで電力増幅する方式に変更され、スプリアスの低減と調整の簡易化、効率の向上など多くの利点を得られた¹⁷⁰⁾。

写真12は2SC1016の外観である。ストリップライン形の外装で⁷⁴⁾、裏面に白いディスク状の凸部がある。実装の際は、基板に開けた円孔に凸部を嵌め込んでリードを基板に密着させ、基板の裏側から凸部をハンダで覆っている。白い凸部は、絶縁性と熱伝導性に優れたベリリア磁器(BeO_2)¹⁷¹⁾と推定される。EIAJ(日本電子機械工業会)の登録情報によると、2SC1016の構造はSiエピタキシャルプレーナー型で、最大定格はコレクタ損失 $P_c=2\text{W}$ 、接合部温度 $T_j=200^\circ\text{C}$ 、500MHzに

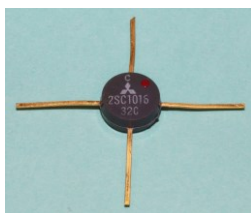


写真12 2SC1016
(加島 篤 所蔵)

における出力電力は $P_o=1.3\text{W}$ である¹⁷²⁾。一方、昭和46年版の三菱電機半導体ハンドブック(NPN型高周波用トランジスタは2SC300~2SC1211を掲載)⁷⁴⁾では欠番扱いで、 T_j の高さから国鉄用の高信頼性品種であった可能性がある。

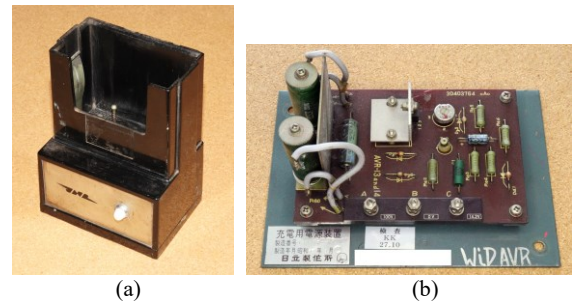


写真13 400-1形乗務員用無線機の置台と充電用電源回路
(a)電気機関車用置台、(b)充電用電源回路 (個人蔵)

6.4 無線機置台と充電回路

写真13(a)は、直流電機に設置されていた400-1形乗務員用無線機の置台で、Ni-Cd電池用の充電スタンドを兼ねている。運転室の窓際に固定するため、置台の底にフェライト磁石をネジ止めしている。充電回路は、制御用パワートランジスタと負荷(Ni-Cd電池)を直列に接続する直列制御式定電圧回路¹⁷³⁾で、定格出力DC14.5V 45mAで浮動充電を行う¹⁵⁴⁾。写真12(b)は、交直流電機に設置されていた充電用電源回路で、機関車の制御用電源DC100Vを降圧し、置台の充電回路にDC14.2Vを供給する。負荷と並列に制御用パワートランジスタを挿入する並列制御式定電圧回路で、降圧用のドロップ抵抗2本は定格電力20Wのホーロー抵抗である。

7. 乗務員用無線の発展

7.1 漏洩同軸ケーブルの導入

昭和45年3月、瀬野一八本松間の協調運転用列車無線が従来の150MHz帯から400MHz帯の乗務員用無線(基地局8、移動局114)に更新された⁴⁰⁾。複線の同区間には4ヶ所のトンネル(単線併列型、最長210m)があり、不感対策に漏洩同軸ケーブル(leakage coaxial cable, LCX)の導入が検討された⁴⁰⁾。昭和45年11月には、トンネル区間にLCXを架設して列車前後部間の通話試験に成功している¹⁷⁴⁾。これは、中継装置のない無饋電のLCXであったと推測される¹⁷⁵⁾。

LCXは開放型同軸ケーブルの一種で、伝送電力の一部を外部導体に周期的に開けたスロットから電波として放射する¹⁷⁵⁾。初期のLCXは、東海道新幹線用列車無線のトンネル対策のため、昭和37年に鴨宮モデル線区(神奈川県)で試験が行われた^{175,176)}。しかし、中心導体と外部導体が銅製のため高価で実用に至らなかった。昭和43年、東海道新幹線米原-京都間の音羽山トンネル(延長5,045m)¹⁷⁷⁾で、中心導体と外部導体をアルミ化した改良型LCXの性能試験が行われ、伝送損失の増加防止のため定期的な清掃が必要な平行2線式に比べて、保守と回線品質の両面で優位性が確認された¹⁷⁵⁾。その後、在来線でもトンネル対策の切り札としてLCXの利用が拡大した。

7.2 北陸トンネル列車火災事故と長大トンネル対策

昭和47年11月6日、北陸本線敦賀-南今庄間の北陸トンネル(延長13,870m)内で列車火災が発生し、死者30名、負傷者714名の大火事となった¹⁷⁸⁾。複線トンネル内での事故で、車

掌は乗務員用無線機を用いて火災発生の第一報を機関士に伝えることができた¹⁷⁹⁾。単線トンネルと異なり、複線トンネルは対向線の空間が空いているため通話に支障はなかった。しかし、当時の北陸トンネルは乗務員無線の中継設備がなく、乗務員と最寄駅との連絡に時間を要したことが救助活動の遅れに繋がった¹⁷⁹⁾。

列車火災の直後、国鉄電気局は延長5km以上の長大トンネル18ヶ所の総点検を実施した¹⁸⁰⁾。その後、トンネル内でも列車前後部間や列車と最寄駅間の無線連絡が可能な通信設備の整備(トンネル対策)と、当該トンネルを通過する全列車(電車・気動車を含む)への乗務員用無線機の配備が決定された¹⁷⁹⁾。12ヶ所の長大トンネル(北陸、長崎、丹那、大原、清水、新清水、六十里越、仙山、狩勝、頸城、新深坂、深坂)¹⁷⁹⁾のトンネル対策は、昭和48年7月までに完了している¹⁸¹⁾。トンネル対策の概要を以下に示す¹⁷⁹⁾。

- ① トンネル内の無線系は2系統とし、各系統はトンネルを挟んで対向する最寄りの有人駅A、Bと通話系を構成する。A、B両駅間に通信ケーブルを敷設し、各駅は自系統、他系統の何れも選択できる。
- ② 通話要領は従来の乗員用無線に準じ、下り f_1 、上り f_2 、通話 f_3 とする。列車からは f_3 で駅を呼び出しそのまま通話する。駅からは f_1 または f_2 で列車を呼び出し、 f_3 に切り換えて通話する。列車前後部間の連絡は f_1 または f_2 で行う。
- ③ 複線トンネルは電波の伝搬条件が良いため、隣接する中継局の電波が干渉してビート障害が発生する。そこで八木・宇田アンテナによる空間波方式を避け、横断面の放射パターンが均一で長さ方向の干渉が生じにくいLCXを採用する。中継局のサービスエリアは約3kmで、A、B両系統の中継局と最寄駅間を通信ケーブルで接続する。
- ④ 単線トンネルは、電波伝搬の空間が列車によって分断されるため、空間波方式でも電波干渉による障害は軽減される。よって、約1km毎に八木・宇田アンテナを有する中継局を並べ、A、B両系統の中継局と最寄駅間を通信ケーブルで接続する。また、列車前後部間の連絡のため、トンネル内壁に無饋電のLCXを架設して伝送線路とする。

7.3 準長大トンネル対策

長大トンネルに続いて、総延長5km以上に亘って複数のトンネルが連続する区間や、急勾配で旅客列車の通過に5分以上かかる区間を対象に乗務員無線のトンネル対策が計画された¹⁷⁹⁾。これら区間は「準長大トンネル」と呼ばれ¹⁸²⁾、昭和48年度の対策工事では列車密度の高い横川ー軽井沢間、福島ー米沢間、関門トンネルの3ヶ所が選定されている¹⁸¹⁾。

昭和50年10月29日、横川ー軽井沢間の協調運転用列車無線が、従来の誘導無線方式から400MHz帯の空間波方式に変更された^{183,184)}。準長大トンネル対策に加え、昭和41年7月に運用を開始した誘導無線装置の劣化と通話品質の低下も改修の理由であった¹⁸³⁾。新たな列車無線は400MHz帯の2波による複信式で、中継局16組、送信出力1W、LCXの延長は13kmであった¹⁸⁴⁻¹⁸⁶⁾。LCXの架設区間はトンネルが断続し、昼夜の温度差やトンネル内と明かり区間の温度差が大きく、ケ

ーブルの呼吸作用が生じる。ケーブル内の結露による性能低下を防ぐため、乾燥空気を封入するガス入LCXが採用された¹⁸⁵⁾。同時に、専用電機のEF62形とEF63形の合計75両にLCX用アンテナが装備された¹⁸³⁾。EF63形の場合、第2端運転室(軽井沢側)の側面にある引窓下部の外板と運転室の屋根上にアンテナが設置された⁴³⁾。

横川ー軽井沢間と同時期に、関門トンネルの準長大トンネル対策も実施された可能性はあるが、詳細は不明である。先述のように、幡生操車場ー東小倉駅間の簡易列車無線システムは昭和44年に設置されている。しかし、設置目的はEF30形電機の運行管理で、単線併列形の関門トンネルでは空間波による機関士ー車掌間の前後部連絡は困難である。よって、準長大トンネル対策として既存の列車無線システムの改修とトンネル内への無饋電LCXの架設が検討・実施された可能性がある。

写真14は横川ー軽井沢間で活躍したEF63形で、協調運転用のジャンパー連結器栓受が多数並ぶ第2端(軽井沢側)が正面である。運転室の左側面窓下にある長方形が、初期のLCX用アンテナの取付位置である。後述するように、国鉄末期の列車無線整備で400MHz帯の乗務員用無線はCタイプ列車無線となり、横川ー軽井沢間専用の列車無線はC'タイプ無線と呼ばれた¹⁸⁷⁾。JR東日本発足後に車上無線機とアンテナが更新され、機関士ー運転所間に加えて列車指令ー機関士間の通話が可能になり、トンネル区間での混信も抑制された¹⁸⁷⁾。写真14で機関車前面に設置された白い棒が新型アンテナで、平成2年3月までにEF63形21両とEF62形5両に搭載された¹⁸⁷⁾。形状等から高利得のコリニアアンテナ¹⁸⁸⁾と推定される。なお、横川ー軽井沢間のLCXは上り・下り線とも軽井沢に向かって左側に架設されている¹⁸⁵⁾。C'タイプ無線用の新型アンテナも、EF63形電機の前2ヶ所に軽井沢に向かって左側に装備されており¹⁸⁹⁾、LCXとの結合を考慮したと推測される。

JR発足後の平成元年1月、北陸新幹線高崎ー軽井沢間の着工と横川ー軽井沢間の廃止が決定された¹⁹⁰⁾。廃止予定路線の車両に新型の無線機とアンテナを搭載した理由は、ガス入LCXや中継器の老朽化で結合損失や伝送損失が増加した通信設備の全面改修を避けるためであった可能性がある。

7.4 CTC線区情報連絡用無線

首都圏の外環状路線として昭和48年4月1日に開業した武蔵野線は国鉄初の複線CTCを採用し、列車指令と乗務員間の情報連絡に乗務員用無線が活用された¹⁹¹⁾。同線区の使用



写真14 横川駅構内に留置されたEF63形直流電気機関車
(平成12年9月、撮影 加島 篤)

周波数を以下に示す¹⁹²⁾。

- ①f₁：列車指令から下り列車の呼出と下り乗務員間の連絡
- ②f₂：列車指令から上り列車の呼出と上り乗務員間の連絡
- ③f₃：列車指令と乗務員間の指令通話，乗務員から列車指令の呼出
- ④f₄～f₆：構内入換

なお、f₃は乗務員と駅間の連絡や構内入換用には使用せず、構内入換はf₄～f₆の3波から選択して使用した。2～2.5kmおきに八木・宇田アンテナを備えた基地局を設置し、トンネル区間にはブースター付のLCXを架設した¹⁹²⁾。

昭和49年7月20日に開業した湖西線でも複線CTCが採用され、CTCセンターと乗務員間の連絡に乗務員用無線を活用した¹⁹³⁾。また、トンネル区間の不感対策にLCXを架設し、全線で列車前後部間の連絡が可能であった。

7.5 山手ほか3線区の列車無線と青梅線列車無線試験

昭和40年代後半、大都市通勤線区である山手ほか3線区(山手、京浜東北、赤羽、根岸の各線)の輸送力増強と保安力向上を目的に、ATC(automatic train control, 自動列車制御装置)の導入が計画され¹⁹⁴⁾、昭和56年12月6日に1期工事分の山手線全線と京浜東北線大宮―蒲田間でATCの使用が開始された¹⁹⁵⁾。ATCの実施で従来の地上信号方式から運転台に表示する車内信号方式に替わるため、列車指令と乗務員間の情報連絡用に新たな列車無線が開発された^{23,194)}。400MHz帯の4波を用いたFM変調・複信式の無線電話で、基地局(送信出力3W，八木・宇田アンテナを設置)と移動局(送信出力1W，車両屋根上にホイップアンテナを設置)で構成される。各線区を複数のゾーンに分割し、FSK変調波とマイコンを組み合わせた呼出通話接続制御により、列車指令側はゾーンを指定した列車の呼出と通話に加えて全ゾーンへの一斉通話も可能で、列車側も割込通話が可能であった¹⁹⁴⁾。

昭和41年3月に常磐線上野―取手間で運用が始まった列車防護無線は、列車や駅等から150MHz帯の発報信号で周辺を走行する列車を緊急停車させる直接方式であった。昭和50年代半ば、発報信号を乗務員用無線で実績のある400MHz帯に変更し、発報信号(周波数f)を受信した基地局からエリア内の全列車に別周波数f'で緊急停止を指示する間接方式の開発が計画された¹⁹⁶⁾。防護系と通話系を同一周波数帯とすることで、トンネルなど弱電界対策の共通化や防護系を通話系のバックアップとする二重化が可能となり、信頼性と経済性の両面で優位性が期待され¹⁹⁶⁾、昭和57年5月から東京郊外の青梅線拝島―奥多摩間で実証試験が行われた¹⁹⁷⁾。

本システムでは、防護系・通話系の通信に加えて、通話系の周波数を用いたデジタルデータの伝送(FSK変調)も行われ、列車指令台には防護発報を行った列車の番号と場所、防護受報(基地局が中継した発報信号を受信)した列車の番号と場所が表示された¹⁹⁸⁾。拝島―奥多摩間30.3kmに基地局を5局配置し、拝島駅に中央装置を設置した¹⁹⁷⁾。車上装置はデジタル化され、使用周波数も狭帯域(12.5kHz)の複数チャンネルに分割して有効利用を図った¹⁹⁸⁾。しかし、全国展開には長い工期と膨大な費用が必要で¹⁹⁹⁾、在来線用の標準規格とはならなかった。

7.6 国鉄末期の在来線列車無線

昭和56年10月1日、昭和44年に導入された乗務員用無線機の規格が12年ぶりに改定された²⁰⁰⁾。従来機では外付けであったマイク・スピーカーを内蔵し、集積回路技術の急速な進展により大幅な小型軽量化(重量560g)を実現した。電気特性では、スプリアス放射の抑制と受信感度の向上が図られ、電源の定格電圧も12.5Vから7.5Vに低減されて、信頼性の向上と防水性能の強化を実現した。

郵政省は昭和57年9月13日に無線設備規則の一部を改正し、需要が急増する400MHz帯の有効利用を名目に、陸上移動業務用の周波数割当間隔を従来の25kHzから12.5kHzに変更した^{201,202)}。国鉄は400MHz帯の狭帯域化に対応するため、昭和58年12月15日に乗務員用無線機の規格を改定し、周波数安定度の向上や占有周波数帯域の減少、スプリアスの低減を図った²⁰³⁾。同時に、車両搭載用、携帯用、構内作業用等に分かれていた乗務員用無線機の規格が統一された。

昭和60年3月14日のダイヤ改正で、貨物輸送の効率化を理由に貨物列車に連結する緩急車が省略された²⁰⁴⁾。昭和61年11月1月のダイヤ改正では、貨物列車の列車掛と回送列車の車掌の乗務が省略され、防護無線の導入など異常時に機関士1人で対応できる体制作りが進められた^{199,205)}。国鉄は昭和61年11月のダイヤ改正に合わせ、全国約7,000kmの在来線に400MHz帯の通話系・防護系列車無線を整備した¹⁹⁹⁾。

整備された列車無線の仕様を表8に示す¹⁹⁹⁻²⁰⁷⁾。輸送密度が特に高い首都圏の線区用のAタイプは、山手ほか3線区で実用化された列車無線をベースとする。複信式で1chに2波を割り当てる。大都市圏および主要線区用のBタイプはAタイプの簡易版で、列車指令と乗務員間の通話は半複信式で1chに2波を割り当てる。機関士と駅・車掌間の通話は、従来の乗務員用無線と同様の単信式(プレストーク式)である。その他線区用のCタイプは従来の乗務員用無線で、使用周波

表8 国鉄末期の400MHz帯在来線用列車無線(運用開始:昭和61年11月)

無線機の 種類	通信 方式	列車 呼出	個別 通話	緊急 割込	周波数	チャンネル数	送信出力		通話対象	導入線区	特記事項	
							基地局	移動局				
通話無線	Aタイプ	複信	一斉	○	○	336MHz帯 352MHz帯	最大8ch (1線区1ch)	3W	1W	列車指令－乗務員	山手・京浜東北・埼京・川越・京葉の各線	Bタイプ区間でも 使用可能
	Bタイプ	半複信	〃	○	○	〃	5ch(1線区1ch)	〃	〃	列車指令－乗務員	大都市圏および 主要線区	Aタイプ区間、 Cタイプ区間でも 使用可能
		単信	〃	－	－	415.200MHz 414.550MHz 414.425MHz	3ch(全国共通)	－	〃	機関士－駅、車掌		
	Cタイプ	単信	〃	－	－	〃	3ch(全国共通)	1W	〃	列車指令－乗務員 機関士－駅、車掌	その他の線区	地上設備の増強、 車外アンテナの設置
防護無線	－	－	－	－	373.275MHz	1ch(全国共通)	－	〃	－	全国	直接方式	

数は変わっていない。機関車牽引列車に加えて電車や気動車にも導入され、全区間で通話を可能にするため地上無線設備を増強し、Aタイプ、Bタイプと同様に車両の屋根に車外アンテナを設置した。なお、Aタイプの車上無線機はBタイプの区間で、Bタイプの車上無線機はAタイプとCタイプの区間でも使用可能であった。

従来の防護無線は常磐線の一部区間に限られていたが、周波数を150MHz帯から400MHz帯に移行し、全国共通の1波による直接方式(基地局を使用しない列車対列車の通信)の防護無線が全国の在来線に導入された²⁰⁶⁾。車上の防護無線機と通話用無線機は、広帯域の車外アンテナを共用する。無線機相互の干渉を防止するため、無線機とアンテナの間に周波数選択性を持つアンテナ共用器を挿入した^{199,205)}。昭和61年2月以降、約9,600両の車両を対象に無線機、広帯域アンテナ、アンテナ共用器等の取付工事が行われたという¹⁹⁹⁾。

400MHz帯の簡易列車無線からCタイプ列車無線に至る過程を表9に示す。

7.7 現在の列車無線

昭和62年4月1日の国鉄分割民営化後、400MHz帯の列車無線システムはJR各社に継承され、デジタル方式への移行による高機能化や狭帯域化等の改良が続けられている²³⁾。

写真15は、JR九州の幹線用P型列車無線の基地局アンテナで、2基の八木・宇田アンテナが上り・下り方向に向けられている。P型列車無線は、JR九州が平成17年5月に導入を開始したCタイプ列車無線の改良版で、Cタイプと同一周波数を用いて音声通話(電波型式F3E)と列車指令情報のデータ伝送(電波型式F2D, MSK変調)を行う^{209,210)}。運転台と車掌室に、無線機、文字情報表示用の液晶ディスプレイ、印字用小型プリンターが設置される。北九州市とその周辺では、山陽本線の下関一門司間と鹿児島本線、日豊本線はP型、輪



写真15 P型列車無線の基地局アンテナ
(日豊本線の駅にて 令和5年4月, 撮影 加島 篤)



写真16 防護無線中継用アンテナ
(関門鉄道トンネル付近 令和5年3月, 撮影 加島 篤)

送密度が低い筑豊本線や日田彦山線はCタイプの列車無線が用いられている^{209,211)}。

写真16は、関門トンネル付近に設置された防護無線中継用のアンテナで、トンネル坑口と反対方向を向いた八木・宇田アンテナが、上り・下り線の線路脇に1基ずつ設置されている。トンネル外での防護発報を受信して、トンネル内を走行中の列車に通報するシステムである²¹²⁾。簡易列車無線の導入から半世紀以上が経過した今も、列車無線は関門トンネルにおける安全運行の要である。

8. おわりに

平成24年7月、古書店から届いたばかりの「続日本無線史」をめくっていた私は、付録の無線年表³⁾に気になる記述を見つけた。

「昭和44年3月25日、日本国有鉄道、門司一関間の海底トンネル内の専用機関車の運用手配と事故時の保守対策として、関門機関区と結ぶ移動無線系(400MHz, 1W)を設定、運用開始」

関門機関区は門司機関区の誤植で、専用機関車はEF30形交流電機を指すことは分かったが、関門地区に導入された列車無線システムの詳細は不明であった。

私は、小学生だった昭和43年に父と門司駅や幡生駅を訪れ、関門トンネルを出て門司駅のホームを通過するEF30形3重連の回送列車や、幡生操車場で出発を待つEF30形重連の下り貨物列車を目にしたことを思い出した(写真17参照)。そして、訪問した翌年に関門地区で鉄道無線の歴史上特筆すべき通信システムの運用が始まったことに興味を抱き、関係資料を探し始めた。昭和42年発行の「関門トンネル電気関係25年史」¹³⁹⁾には、「トンネル内列車無線の伝送線路に開放同軸ケーブルを検討中」と記されていた。その後、JR関係者から関門トンネル内に列車無線用のアンテナが設置されていると教えられたが、それ以上の情報は得られなかった。

表9 400MHz帯簡易列車無線の変遷

年	月日	簡易列車無線とその関連事項
1967(昭42)	-	RC区間の田沢湖線零石一大釜間、根室本線落合一新得間で簡易列車無線試験
1969(昭43)	3.8	東海道貨物線品濃トンネルで電波伝搬試験
	7.12	簡易列車無線用携帯用無線機JRS規格制定
	9.22	奥羽本線福島ー米沢間で連絡無線運用開始
1969(昭44)	3.31	関門地区(幡生操車場ー東小倉間)で簡易列車無線使用開始
	4.25	CTC区間の土讃線大歩危ー小歩危間で列車無線試験開始
	8.22	乗務員用無線機JRS規格制定
	12.5	東北本線尾久支線上野ー尾久間、函館本線森ー栲間間で列車無線使用開始
1970(昭45)	3.1	郵政省、機関士ー駅長・車掌間の列車無線許可、EL・DL牽引列車用の乗務員用無線機運用開始
	3.-	山陽本線瀬野ー八本松間の列車無線更新
	10.1	EL・DL1人乗務全国で実施
1972(昭47)	11.6	北陸トンネルで列車火災事故発生
1973(昭48)	4.1	武蔵野線CTC線区で情報連絡用列車無線使用開始
1974(昭49)	7.20	湖西線CTC線区で情報連絡用列車無線使用開始
1975(昭50)	10.29	信越本線横川軽井沢間の列車無線更新
1981(昭56)	10.1	乗務員用無線機規格改定(小型軽量化)
	12.6	山手線・京浜東北線ATC区間の列車無線開始
1981(昭57)	5.-	青梅線列車無線試験開始
1982(昭58)	12.15	乗務員用無線機規格改定(狭帯域化)
1986(昭61)	11.1	全国の在来線で列車無線(AーCタイプ)を整備



写真17 EF30形重連が牽引する下り貨物列車
(幡生操車場にて 昭和43年, 撮影 加島昭三)

令和3年の年末、無線雑誌の編集長であるO氏から、高名な国鉄無線技術者が遺した大量の無線関係文書を預かった。全国の拠点をつなぐSHF回線網の構築や、安全運行と乗客サービスを担う新幹線用列車無線の開発など、国鉄の無線技術の高さと先進性を物語る歴史的資料であった。期待した関門地区の列車無線に関する記述は僅かであったが、400MHz帯の簡易列車無線が様々な試行錯誤を経て乗務員用無線へと発展する過程に強く興味を引かれた。

中でも、トンネル区間における400MHz帯の優位性を証明した電波伝搬試験で、貨物列車に無線機を搭載してトンネル内を走行するダイナミックな実験手法に感服した。そして、試験の結果が関門地区の列車無線システムの設計に多大な影響を与えたことを確信した。試験結果のグラフには、トンネル周辺のキロ程や曲線半径、走行試験で使用した電機車の車両番号が記されていた。車両番号から電機の配置機関区を割り出し、国府津機関区に近い電化区間(東海道本線や身延線)を調べたが該当するトンネルは見当たらなかった。

令和4年3月、昭和44年発行の「門司無線区要覧」と昭和48年製の乗務員用無線機を相次いで入手した。「門司無線区要覧」には関門地区の簡易列車無線の詳細が記載されており、保守を担当した門司無線区(昭和31年3月発足)⁴⁾がSHF回線網の維持管理など高度な無線技術を有する技術者集団であったと知った。一方、乗務員用無線機の電子基板は、高周波電力増幅用Siトランジスタや初期のアナログICなど半導体素子の急速な進歩を反映した回路構成となっていた。

後日、昭和35年の時刻表²⁰⁸⁾を眺めていた私は、横須賀線のキロ程は東京が起点で、大船までは東海道本線と同じ数値が並び、横須賀電車が停車する保土ヶ谷と戸塚の間のキロ程が電波伝搬試験の舞台となったトンネルに該当すると気付いた。地形図で確認すると、現在の横須賀線の保土ヶ谷―東戸塚間に延長約1kmのトンネルが実在した。それは、大正後期に建設された単線併列形の品濃トンネルで、トンネルを含む複線区間は昭和55年9月まで東海道貨物線であったことが分かった。トンネルの名称が決め手となり、鉄道総合技術研究所が収蔵する電波伝搬試験の報告書を取り寄せることができた。謎だった品濃トンネルの開通日も、大正末期に神奈川県で発行された新聞に掲載されていた。

令和5年3月、東戸塚駅前発の路線バスに揺られ品濃トンネルの東京方坑口に向かった。横須賀線の跨線橋を渡って煉瓦積の坑門をカメラに収め、低回顧望して駅に戻った。

私は、品濃トンネルと関門トンネルを結ぶ不思議な縁に感動し、北国の閑散線区から利用が始まった簡易列車無線が、国鉄末期に全国展開されたCタイプ列車無線に成長する道程を、基礎データの測定や実用化試験の舞台となった各路線の歴史を織り交ぜながら纏めてみたいと思った。

現在、本州と九州を結ぶ普通列車や長大なコンテナ列車が行き交う関門トンネルでは、交直流電車や交直流電機の屋根に設置された円筒状の無線アンテナが安全で効率的な運行を支えている。輸送密度が高くトンネル対策が必要な関門地区で、揺籃期にあった簡易列車無線の有用性が実証されたことは、列車無線の発達史の中でも重要な事例の1つと考えられる。EF30形電機の運行管理用無線として、初めて「上り」「下り」「入換」の3波を実装した携帯用無線機は、その後の乗務員用無線機の原型となった可能性が高い。

関門地区の簡易列車無線は、操車場や貨物駅における入換仕業でも大きな役割を果たした。昭和59年2月1日のダイヤ改正で、国鉄貨物は従来のヤード集結輸送方式から拠点間直行輸送方式に転換され、門司や幡生を含む全国110ヶ所の操車場が機能を停止した²¹³⁾。しかし、平成14年3月23日、門司操車場の跡地に北九州貨物ターミナル駅が開業し、東小倉や浜小倉など周辺の貨物駅の業務を集約すると共に、着発線荷役方式の駅構造と大型海上コンテナへの対応により貨物輸送近代化を担う一大物流拠点となった²¹⁴⁾。

簡易列車無線時代に通信所が置かれた門司機関区では、昭和61年3月に老朽化したEF30形から3電気方式(DC1500V, AC20kV 50/60Hz)のEF81形交直流電機への置き換えが始まり¹³⁵⁾、JR発足直前の昭和62年3月29日にEF30形のさよなら運転が行われた²¹⁵⁾。平成18年9月、EF81形の老朽取替用に2車体連結のEH500形交直流電機の配置が始まった²¹⁶⁾。令和3年12月にはEF81形とED76形交流電機の後継車両となる新型交直流電機(EF510形300番台)が配置され、令和5年3月から日豊本線で運用を開始した²¹⁷⁾。門司機関区は、物流の要衝を支える車両基地として今も新陳代謝を繰り返している。

一方、誘導無線や空間波無線、ガス入LCXなど列車無線システムの試験場と化していた横川―軽井沢間は、平成9年10月の北陸新幹線高崎―長野間の開通に合わせて廃止された²¹⁸⁾。急勾配区間における簡易列車無線の先駆けであった福島―米沢間も、平成4年7月の山形新幹線東京―山形間直通運転開始のため標準軌に改軌された²¹⁹⁾。これらの路線では、専用電機の廃車と共に旧機関区等に保管されていた列車無線に関する技術資料が散逸した可能性がある。

効率的な物流と安全な旅客輸送を支える列車無線は、重要な社会基盤である。列車無線の発展に力を尽くした国鉄無線技術者たちの活動の軌跡は、日本の無線技術史における貴重な記録として後世に伝えていくべきであろう。

9. まとめ

国有鉄道における列車無線の開発史を概説した後、昭和40年代初頭に開発された400MHz帯簡易列車無線が、乗務員用無線、Cタイプ列車無線と発展した過程を、無線技術史の視点から解説した。特に、品濃トンネルで実施された電波

伝搬試験と、関門地区に導入された簡易列車無線システムについて詳細な解説と考察を行った。また、列車無線の発達に際し、高周波半導体や集積回路など電子技術の飛躍的な進歩と、三河島事故や北陸トンネル列車火災など大規模な鉄道事故の経験が大きな影響を与えたことを示した。

謝 辞

国鉄無線技術者であった故・藤原功三氏が遺された無線関係文書を御提供頂くと共に、無線技術について多くの助言を頂いたCQ出版社の小串伸一氏に感謝致します。

トンネル内での電波伝搬試験に関する報告書の調査に御協力を頂いた日本工営株式会社 鉄道事業部鉄道計画部の兎束哲夫氏に感謝致します。また、同報告書の複写に御尽力を頂いた(公財)鉄道総合技術研究所 研究開発推進部 知的財産課の滝澤太朗氏に感謝致します。

乗務員用無線機の運用方法や充電回路について御教授頂き、電波伝搬試験が行われたトンネルの同定でも助言を頂いた日本貨物鉄道株式会社 九州支社 車両運輸部長の中山昇氏に深謝致します。

関門トンネル周辺の列車無線設備について助言を頂いた九州旅客鉄道株式会社 社員研修センター主席の有延 寛氏と、関門トンネルでの列車無線の運用方法について貴重な証言を頂いた日本貨物鉄道株式会社元運転士の土谷祐二氏に感謝致します。

高周波トランジスタの特性について助言を頂いた河野勝行氏と、「鉄道ファン」誌に掲載された写真の利用許可を頂いた株式会社 交友社に感謝致します。

参考資料

- 1) JR時刻表 2023年6月号(交通新聞社, 2023)
- 2) 2023貨物時刻表, 鉄道貨物協会発行(2023)
- 3) 続日本無線史 第2部 下, 続日本無線史刊行会発行(1973)
- 4) 門司無線区要覧, 門司無線区作成(1969)
- 5) 川上春夫: “列車無線用アンテナ”, RFワールド, No.7 (CQ出版社, 2009)
- 6) 官報 第1446号, 郵政省告示第405号(1994/7/21)
- 7) 日本無線史 第2巻 無線技術史 下, 電波監理委員会発行(1951)
- 8) 官報 第4068号, 通信省告示第551号(1926/3/19)
- 9) 鉄道通信発達史, 鉄道通信協会発行(1970)
- 10) 官報 第1863号, 通信省告示第565号(1933/3/18)
- 11) 藤原功三: “鉄道の無線史 第2回 無線利用の始まりから携帯無線機の誕生まで”, RFワールド, No.46 (CQ出版社, 2019)
- 12) 続日本無線史 第1部, 続日本無線史刊行会発行(1972)
- 13) 神戸港史概説, 神戸港振興協会発行(1961)
- 14) 三菱無線機ごばれ話, 三菱電機無線機OB有志発行(1993)
- 15) 官報 第7143号, 電波監理委員会告示第147~154号(1950/10/31)
- 16) 三菱電機社史 創立60年, 三菱電機株式会社発行(1982)
- 17) 大阪無線区創立10周年記念アルバム, 大阪無線区発行(1957)
- 18) 吉岡心平: 控車のすべて, RM LIBRARY No.221 (ネコ・パブリッシング, 2018)
- 19) 清水秀夫: 鉄道移動無線の揺籃時代[11], 鉄道通信, 40, No.6, 鉄道通信協会発行(1989)
- 20) 川添雄司: 交流電気車両要論(電気車研究会, 1971)
- 21) 石原達也: “交流電化の試験研究計画”, 電気鉄道, 8, No.10, 鉄道電化協会発行(1954)
- 22) 清水秀夫: “鉄道移動無線の揺籃時代(13)”, 鉄道通信, 40, No.9, 鉄道通信協会発行(1989)
- 23) 藤原功三: “鉄道の無線史 第4回 鉄道における無線通信系の発展と変遷”, RFワールド, No.48 (CQ出版社, 2019)
- 24) 丸浜徹郎: “移動無線とITV”, 鉄道通信, 8, No.4, 鉄道通信協会発行(1957)
- 25) 赤川 馨: “やさしい通信工学 VHF/UHF無線工学(10)”, 鉄道通信, 18, No.10, 鉄道通信協会発行(1967)

- 26) 清水秀夫: “東海道線超短波無線電話試験”, 鉄道通信, 8, No.7, 鉄道通信協会発行(1957)
- 27) 星 晃: “ビジネス特急電車こだまの誕生”, 電気鉄道, 12, No.9, 鉄道電化協会発行(1958)
- 28) 来 豊平, 寺井和巳: “列車無線電話装置”, 日立評論 別冊No.39, 日立評論社発行(1960)
- 29) 清水秀夫: “空間波利用による列車無線の話6”, 鉄道通信, 9, No.2, 鉄道通信協会発行(1958)
- 30) 寺井和巳: “列車無線電話”, 鉄道通信, 11, No.1, 鉄道通信協会発行(1960)
- 31) 寺井和巳: “東海道線列車電話設備”, 鉄道通信, 11, No.7, 鉄道通信協会発行(1960)
- 32) 藤原功三: “鉄道の無線史 第3回 SHF回線の建設, 発展, そして光へ”, RFワールド, No.47 (CQ出版社, 2019)
- 33) 田島 巖, 工藤 康: “列車無線電話用伝送装置”, 日立評論 別冊No.39, 日立評論社発行(1960)
- 34) 佐藤 博: “151系(モハ20系)電車 車両のあゆみ”, 鉄道ピクトリアル, 55, No.9 (電気車研究会, 2005)
- 35) 石原嘉夫: 新幹線の電子通信システム, 電子通信学会発行(1973)
- 36) 遠藤由松: “新幹線列車無線のトンネル対策”, 鉄道通信, 15, No.9, 鉄道通信協会発行(1964)
- 37) 宇田賢吉: “セノハチ重連運転覚え書き”, 鉄道ピクトリアル, 71, No.10 (電気車研究会, 2021)
- 38) 日本国有鉄道百年史 年表, 日本国有鉄道発行(1972)
- 39) 赤川 馨: “列車無線計画の現状—前後部連絡—”, 鉄道通信, 13, No.12, 鉄道通信協会発行(1962)
- 40) 北川太郎: “乗務員用無線の実績”, 鉄道通信, 21, No.9, 鉄道通信協会発行(1970)
- 41) 国鉄無線計画 昭和43年5月, 日本国有鉄道電気局通信課作成(1968)
- 42) 村上 勉: “セノハチのEF59のあゆみ”, 鉄道ピクトリアル, 32, No.4 (電気車研究会, 1982)
- 43) 杉田 肇: “EF63形電気機関車のあゆみ”, 鉄道ピクトリアル, 38, No.4 (電気車研究会, 1988)
- 44) ニュース「横川—軽井沢間の列車無線試験始まる」, 鉄道通信, 8, No.9, 鉄道通信協会発行(1957)
- 45) 内山与吉, 牧 賢嘉: “密結合誘導無線”, 16, No.5, 鉄道通信協会発行(1965)
- 46) 赤川 馨: “誘導無線”, 写真解説[誘導無線], 鉄道通信, 14, No.10, 鉄道通信協会発行(1963)
- 47) 赤川 馨, 金井信夫, 芳賀重雄, 田村輝雄: “横川—軽井沢間誘導無線設備”, 鉄道通信, 15, No.11, 鉄道通信協会発行(1964)
- 48) 鶴田正幸: “国鉄における運転無線の動向”, 電気車の科学, 24, No.3 (電気車研究会, 1971)
- 49) 三宅俊彦: “キハ80系 運転のあゆみ”, 鉄道ピクトリアル, 53, No.8 (電気車研究会, 2003)
- 50) 写真解説[列車無線], 鉄道通信, 13, No.12, 鉄道通信協会発行(1962)
- 51) ニュース「北海道で特急列車無線電話を使用開始」, 鉄道通信, 16, No.11, 鉄道通信協会発行(1965)
- 52) ニュース「尻内青森間列車無線使用開始さる」, 鉄道通信, 19, No.1, 鉄道通信協会発行(1968)
- 53) 中川重健, 斉藤長四郎: “ラジコールとその使用実績”, 鉄道通信, 20, No.9, 鉄道通信協会発行(1969)
- 54) 日本国有鉄道監査報告書 昭和36年度, 日本国有鉄道監査委員会発行(1962)
- 55) 坂田竜範: “三河島列車事故を省みて”, 鉄道通信, 13, No.6, 鉄道通信協会発行(1962)
- 56) 松下純二郎: “列車無線の構想”, JREA, 7, No.2, 日本鉄道技術協会発行(1964)
- 57) 赤川 馨: “列車無線計画(上)”, 鉄道通信, 14, No.12, 鉄道通信協会発行(1963)
- 58) 杉岡 昇: “防護無線”, 信号保安, 28, No.4, 信号保安協会発行(1973)
- 59) 石島光男, 高山建継: “列車無線と電波法”, 鉄道通信, 16, No.5, 鉄道通信協会発行(1965)
- 60) 石島光男: “無線雑感”, 鉄道通信, 19, No.4, 鉄道通信協会発行(1968)
- 61) ニュース「列車無線の総合テスト初まる」, 鉄道通信, 15, No.5, 鉄道通信協会発行(1964)
- 62) 石島光男, 佐藤 潔: “常磐線列車無線の車両への取付”, 鉄道通信, 16, No.5, 鉄道通信協会発行(1965)
- 63) 馬場 武, 中島久雄: “列車無線計画のなかにおける簡易列車無線等の考え方と進め方”, 鉄道通信, 19, No.7, 鉄道通信協会発行(1968)
- 64) 寺井和巳: “東海道線列車電話設備”, 鉄道通信, 11, No.7, 鉄道通信協会発行(1960)
- 65) 最新トランジスタ規格表'76 (CQ出版社, 1976)
- 66) 中村敏行: “新幹線の列車無線”, 鉄道通信, 16, No.5, 鉄道通信協会発行(1965)
- 67) 中村敏行, 佐野定治郎, 遠藤由松, 黒田忠光, 阿部 修, 奥村 徹, 沼田敏男, 中村信弘: “東海道新幹線列車無線旅客電車用設備”, 三菱電機技報, 38, No.11, 三菱電機技報社発行(1964)

- 68) 池沢 茂:“テレビジョン年報 電子管”, テレビジョン,**14**,No.6, テレビジョン学会発行(1960)
- 69) 柴田昭太郎, 佐藤興吾:“拡散形メサトランジスタ”, 日立評論,**45**, No.7, 日立評論社発行(1963)
- 70) 生野常喜:“400Mc帯によるタクシー事業用無線局の免許方針等について”, 電波時報,**20**,No.5, 電波振興会発行(1965)
- 71) 池庄司繁雄:“タクシー無線の現況について”, 電波時報,**13**, No.10, 電波振興会発行(1958)
- 72) 黒田忠光, 荻野 完, 桂川 弘:“全トランジスタ式 400Mc FM 4W 移動用無線電話装置”, 三菱電機技報,**40**,No.6, 三菱電機技報社発行(1966)
- 73) 奥村 徹, 桂川 弘, 久保田肇, 大坪弘昌:“全シリコン固体化 DC-DC コンバータレス 400Mc/FM 4W 移動用無線電話装置”, 三菱電機技報,**41**,No.12, 三菱電機技報社発行(1967)
- 74) 三菱半導体ハンドブック 総合版1971, 三菱電機株式会社電子事業部編, 誠文堂新光社発行(1971)
- 75) 土居則夫:“各地で新線開業 狩勝・生橋(田沢湖)・神岡の3線”, 交通技術, **21**,No.12, 交通協会発行(1966)
- 76) 伊藤充江:“事業展望 3.鉄道”, 電子通信学会雑誌,**50**,No.9, 電子通信学会発行(1967)
- 77) 三室正巳, 加藤典正:“CTC, RC線区における通信設備について”, 鉄道通信,**18**,No.11, 鉄道通信協会発行(1967)
- 78) 中島久雄:“列車無線について”, 信号保安,**31**,No.5, 信号保安協会発行(1976)
- 79) 長沼茂雄, 飯田 真, 近藤 博, 八木正夫, 山本哲也:“1967-1968年鉄道技術の成果/電気/簡易列車無線システムの実用化試験”, 交通技術,**23**,No.10, 交通協会発行(1968)
- 80) 星 保雄:“国鉄の列車無線について”, 電波時報,**24**,No.4, 電波振興会発行(1969)
- 81) 信号界ニュース「土讃線CTC使用開始」, 信号保安,**22**,No.5, 信号保安協会発行(1967)
- 82) ニュース「列車無線システム簡易化の試験行われる」, 鉄道通信,**20**,No.5, 鉄道通信協会発行(1969)
- 83) 小沢耕一:“土讃線のCTC化と今後の考え方”, 交通技術,**21**,No.3, 交通協会発行(1966)
- 84) 馬場 武, 杉岡 昇:“対列車通信の使用方と今後の動向”, 鉄道通信,**19**,No.12, 鉄道通信協会発行(1968)
- 85) 上吉原敏夫:“土讃線における国鉄CTCについて”, 電波時報,**24**, No.9, 電波振興会発行(1969)
- 86) 三宅俊彦:“板谷峠をめぐる列車運転概史”, 鉄道ピクトリアル,**39**,No.2(電気車研究会, 1989)
- 87) 中川浩一:“奥羽線福島ー米沢間の建設, 改良史”, 鉄道ピクトリアル,**39**,No.2(電気車研究会, 1989)
- 88) 馬場開一郎:“奥羽本線の電化計画”, 交通技術,**20**,No.5, 交通協会発行(1965)
- 89) 夜久忠雄, 永沢良二郎:“福島米沢間交流化切替工事と連絡通信設備”, 鉄道通信,**19**,No.11, 鉄道通信協会発行(1968)
- 90) 茂原弘明:“1968-1969年鉄道技術の成果/運転/奥羽本線福米間交流化切替に伴う運転保安対策”, 交通技術,**24**,No.10, 交通協会発行(1969)
- 91) 国鉄無線計画 昭和44年5月, 日本国有鉄道電気局通信課作成(1969)
- 92) 松村和彦, 岸本利彦, 中島久男, 志野 豊, 横井昭三, 加藤孝一, 関谷重男, 川崎一男:“列車無線のための基礎データ測定結果”, 鉄道技術研究所速報,**No.68-139**, 日本国有鉄道 鉄道技術研究所発行(1968)
- 93) 松村和彦, 岸本利彦, 中島久男, 志野 豊, 横井昭三, 加藤孝一, 関谷重男, 川崎一男:“列車無線のための基礎データ(第1報)”, 鉄道技術研究資料,**26**,No.2, 研友社発行(1969)
- 94) 2万5千分1地形図 横浜西部(明治39測量 昭和41年改測), 国土地理院発行(1967)
- 95) 鈴木 享:横須賀歴史散歩 史跡をたずねて各駅停車(鷹書房, 1986)
- 96) 官報 第1395號, 鐵道省告示第196號(1931/8/22)
- 97) 白井慶治, 高木盛男, 川上義輝:“トンネル変状の傾向”, 鉄道技術研究報告,**No.1026**, 鉄道技術研究所発行(1976)
- 98) 日本鉄道請負業史 明治篇, 土木工業協会編, 鉄道建設業協会発行(1967)
- 99) 相沢時正:工業叢書 実地応用 隧道新書, 博文館発行(1906)
- 100) 官報 第1238號, 彙報 農工商 通運 日本鐵道會社第十一回實際報告(鐵道局)(1887/8/13)
- 101) 大正十四年度 鐵道省鐵道統計資料, 鐵道省発行(1927)
- 102) 佐藤庄三郎:“品濃トンネル改築”, 鐵道土木,**22**,No.9, 日本鐵道施設協会発行(1980)
- 103) 日本国有鐵道百年史 第9巻, 日本国有鐵道発行(1972)
- 104) 国有鐵道震災誌, 鐵道省発行(1927)
- 105) 「戸塚方面 新鑿トンネル 愈本日から開通 舊線路は貨物専用」, 横浜貿易新報 第8650號(1925/3/25)
- 106) 昭和元年度 鐵道統計資料 第二編 建設 工務 工作 電氣 研究, 鐵道省発行(1928)
- 107) 小野田 滋:“横須賀線におけるトンネルの沿革と特徴”, 鐵道ピクトリアル,**38**,No.11(電気車研究会, 1988)
- 108) 東海道線電氣運轉沿革誌, 東京鐵道局運轉課発行(1928)
- 109) 鐵道電化と電氣鐵道のあゆみ, 鐵道電化協会発行(1978)
- 110) 昭和二年度 鐵道統計資料 第二編 建設 工務 工作 電氣 研究, 鐵道省発行(1929)
- 111) 板倉秀明:“東海道本線東京ー小田原間線増工事”, 交通技術,**21**,No.7, 交通協会発行(1966)
- 112) 日本鐵道請負業史 昭和(後期)篇, 日本鐵道建設業協会発行(1990)
- 113) 日下部好男:“東海道貨物別線建設の経緯”, JAEA,**22**,No.9, 日本鐵道技術協会発行(1979)
- 114) 服部定一:“電軌とその防止法に就て”, 信號,**15**,No.3, 信號會発行(1942)
- 115) 鶴巻栄光:“東海道本線・横須賀線の分離運転にあたって”, 交通技術,**35**,No.10, 交通協会発行(1980)
- 116) 小野田 滋:“断面から見た鐵道トンネルの史的研究序説(Ⅰ)”, 鐵道ピクトリアル,**37**,No.11(電気車研究会, 1987)
- 117) 小野田 滋:“鐵道トンネルにおける覆工材料とその変遷”, 鐵道総研報告,**11**,No.7, 鐵道総合技術研究所発行(1997)
- 118) 線路図 横須賀線(東京ー久里浜)(2010)
- 119) 国鉄無線計画図集 昭和43年5月, 電氣局通信課作成(1968)
- 120) 安立電氣五十年史, 安立電氣株式会社発行(1982)
- 121) 杉田 肇:“EF10・11・12・14形30年の動き”, 鐵道ピクトリアル,**15**, No.12(電気車研究会, 1965)
- 122) 鐵道車両ディテール・ファイル002 ひさし付車体のEF10(1~16)(ネコ・パブリッシング, 2009)
- 123) 牛尼吉高:“客貨車人のための運轉法規(3)”, 車輛工学,**37**,No.6, 車輛工学社発行(1968)
- 124) 座談会記録「EF10・11・12・14形電氣機關車設計回顧」, 鐵道ピクトリアル,**15**, No.12(電気車研究会, 1965)
- 125) 千葉二郎, 佐藤利三郎:“トンネルにおける電磁波の伝播(損失について)”, 電氣学会電磁界理論研究会資料ETM-76-51(1976)
- 126) 稲葉龍夫:“トンネル電波の伝搬特性に関する研究”, 東北大学博士学位論文 第546号(1981)
- 127) 末武国弘, 林 周一:マイクロ波回路 実用マイクロ波講座(オーム社, 1958)
- 128) 勝俣勇二:“上野尾久間に於ける空客車廻送列車の推進運轉に就て”, 信號,**7**,No.3, 信號會発行(1934)
- 129) ニュース「上野・尾久, 森・桔梗間の列車無線使用開始」, 鐵道通信,**21**,No.1, 鐵道通信協会発行(1970)
- 130) 尾関雅則:“国鉄無線 無線の現状と今後の方向”, 電波時報,**25**,No.1, 電波振興会発行(1970)
- 131) 丹沢貞吾:“關門電化と運轉従事員の養成”, 鐵道ピクトリアル,**26**,No.9(電気車研究会, 1976)
- 132) 松久恒三:“鹿児島本線及び山陽本線の電化工事概要”, 鐵道ピクトリアル,**11**,No.6(電気車研究会, 1961)
- 133) 谷口良忠:“關門時代のEF10形”, 鐵道ファン,**13**,No.2(交友社, 1973)
- 134) 各局便「門司局 西日本一を誇る荷物センター営業開始」, 車両と電氣,**14**,No.11, 車両電氣協会発行(1963)
- 135) 佐藤芳彦:“EF30形式”, 鐵道ジャーナル,**No.206**(鐵道ジャーナル社, 1984)
- 136) 表紙・グラビア「關門の舟頭さん EF30」, 鐵道ファン,**13**,No.2(交友社, 1973)
- 137) 昭和28年西日本水害記録 日本国有鐵道西部総支配人発行(1954)
- 138) 加島 篤:“昭和28年西日本大水害で水没した關門鐵道トンネルについての電氣工学的考察ー初期の電氣設備と列車脱出事件”、北九州工業高等専門学校研究報告,**No.40**, 北九州工業高等専門学校発行(2007)
- 139) 關門トンネル電氣關係25年史, 門司鐵道管理局電氣部発行(1967)
- 140) 半谷哲夫:“門操東小倉改良”, JREA,**3**,11, 日本鐵道技術協会発行(1960)
- 141) 日本鐵道旅行地図帳 No.11 中国 四国(新潮社, 2009)
- 142) 日本鐵道旅行地図帳 No.12 九州 沖繩(新潮社, 2009)
- 143) 關門隧道 運輸省下關地方施設部編, 土木学会発行(1949)
- 144) 赤川 馨, 杉岡 昇:“わかりやすい電波法規(2)”, 鐵道通信,**21**,No.8, 鐵道通信協会発行(1970)
- 145) 最新 交直流電車 関西鐵道学園運轉第二科編 改訂増版(交友社, 1967)
- 146) 日絵「車両用ノーベルフォン」, 車両と電氣,**8**,No.5, 車両電氣協会発行(1957)
- 147) テレビ共同受信技術 日本放送協会編(日本放送出版協会, 1974)
- 148) 山村英徳:トイダル・コア活用百科(CQ出版社, 1983)
- 149) 昭和28年西日本水害記録, 日本国有鐵道西部総支配人発行(1954)
- 150) 永井和夫:“ヨーロッパあれこれ”, 鐵道通信,**27**,No.2, 鐵道通信協会発行(1976)
- 151) 納村喜一:“現場のはなし 湖西線 鐵道電氣建設所だより”, 電氣鉄

- 道,28,No.4, 鉄道電化協会発行(1974)
- 152) JRS「極超短波無線受信機(乗務員用)」, 鉄道通信,19,No.8, 鉄道通信協会発行(1968)
- 153) 夜久忠雄, 高安孝直:“ニッケルカドミウム電池の特性”, 鉄道通信,22,No.2, 鉄道通信協会発行(1971)
- 154) 武井正美, 千野耕平, 小松 隆, 向新忠博:“乗務員用無線機の蓄電池保守についての一考察”, 車輛工学,47, No.6, 車輛工学会発行(1978)
- 155) JRS「極超短波無線送受信機(携帯用無線送受信装置)制定」, 鉄道通信,20,No.11, 鉄道通信協会発行(1969)
- 156) 夜久忠雄:“運転作業と無線システム(続)”, 鉄道通信,21,No.6, 鉄道通信協会発行(1970)
- 157) 国鉄無線計画 昭和46年6月 日本国有鉄道電気局通信課作成(1971)
- 158) 赤川 馨:“400MHz携帯用無線機”, JREA,13,No.1, 日本鉄道技術協会発行(1970)
- 159) ニュース「乗務員用無線電話の使用始まる」, 鉄道通信,20,No.12, 鉄道通信協会発行(1969)
- 160) ニュースを追って「電機・ディーゼル機1人乗務をめぐる」, 交通技術,23,No.5, 交通協会発行(1968)
- 161) ニュースを追って「EL・DL1人乗務実施へ」, 交通技術,25,No.4, 交通協会発行(1970)
- 162) ア・ラ・カルト「乗務員用無線機」, 運輸界,26,No.3(中央書院, 1973)
- 163) 夜久忠雄:“乗務員用無線機の信頼度”, 鉄道通信,22,No.9, 鉄道通信協会発行(1971)
- 164) ニュース「乗務員用無線機型式検定に合格」, 鉄道通信,21,No.11, 鉄道通信協会発行(1970)
- 165) 坂田光雄, 永田一美:“乗務員用無線機(400-2形) 故障防止の一考察”, 車輛工学,49,No.1, 車輛工学会発行(1980)
- 166) 藤村 喬:FM技術入門 OHM文庫 No.83(オーム社, 1958)
- 167) 飯沼善勝, 吉野利夫, 水上富昭, 寺川昌宏:“ICを用いた無線電話機”, NEC日本電気技報, No.92, 日本電気株式会社発行(1969)
- 168) 最新ダイオード規格表'95(CQ出版社, 1995)
- 169) 品田敏雄:水晶振動子の理論と実際(改訂版), OHM文庫 No.53(オーム社, 1963)
- 170) 「電子管および半導体素子 トランジスタ」, 三菱電機技報,43,No.1, 三菱電機技報社発行(1969)
- 171) 土佐雅宣, 笹田雅昭, 竹中 功, 平瀬邦久:“高周波高出力シリコントランジスタ”, 三菱電機技報,39,No.10, 三菱電機技報社発行(1965)
- 172) 最新トランジスタ規格表'76(CQ出版社, 1976)
- 173) 清水和男:安定化電源回路の設計(CQ出版社, 1971)
- 174) 鉄道技術研究所だより 第101回 研究室紹介(通信実験室), 鉄道通信,22,No.1, 鉄道通信協会発行(1971)
- 175) 岸本利彦, 佐々木 伸:LCX通信システム, 電子通信学会発行(1982)
- 176) 石原嘉夫:新幹線の電子通信システム, 電子通信学会発行(1973)
- 177) 東海道新幹線工事誌 土木編, 日本国有鉄道 東海道新幹線支社発行(1965)
- 178) 吉田 裕, 安倍誠治:“鉄道トンネル火災事故における避難行動と救助活動”, あんけん 研究成果レポート,Vol.10, 西日本旅客鉄道株式会社安全研究所発行(2017)
- 179) 杉岡 昇:“トンネル対策(列車無線)”, 鉄道通信,24,No.1, 鉄道通信協会発行(1973)
- 180) 「今日の話題」, 鉄道通信,23,No.12, 鉄道通信協会発行(1972)
- 181) 国鉄無線計画 昭和48年5月, 日本国有鉄道作成(1973)
- 182) 飯野 昇:“列車火災走行試験に立合って”, 鉄道通信,26,No.1, 鉄道通信協会発行(1975)
- 183) 藤原功三:“国鉄における無線の足どり[その2]”, 鉄道通信,32, No.10, 鉄道通信協会発行(1981)
- 184) 近藤幹雄:“国鉄における列車無線の現状”, 鉄道通信,35,No.7, 鉄道通信協会発行(1984)
- 185) 志野 豊:“横川・軽井沢間LCXのガスケーブ化”, 鉄道通信, 27,No.5, 鉄道通信協会発行(1976)
- 186) 新免 健:“地方だより 高崎信号通信区の巻”, 鉄道通信, 32,No.4, 鉄道通信協会発行(1981)
- 187) NEWS FILE「横軽間に新型無線装置を設置」, 鉄道ジャーナル, No.285(鉄道ジャーナル社, 1990)
- 188) 佐藤源貞, 川上春夫, 田口光雄:現代アンテナ工学(総合電子出版社, 2004)
- 189) 「EF63形形態分類」, Rail Magazine,No.153(ネコ・パブリッシング, 1996)
- 190) 大島登志彦:“在来線横川・軽井沢間存続断念までの経緯と問題点”, 鉄道ピクトリアル,46,No.11(電気車研究会, 1996)
- 191) 舟田正男:“生まれ変わる首都圏輸送 待望の武蔵野線開業”, 国有鉄道,31,No.4, 交通協会発行(1973)
- 192) 千脇一矩:“武蔵野線の列車無線計画”, 鉄道通信,23,No.6, 鉄道通信協会発行(1972)
- 193) 北尾昭司:“湖西線の通信設備”, 鉄道通信,25,No.9, 鉄道通信協会発行(1974)
- 194) 喜田信明, 藤原功三, 土屋孝明:“山手ほか3線区列車無線の概要”, 鉄道通信,31,No.10, 鉄道通信協会発行(1980)
- 195) 片岡 章:山手線・京浜東北線ATC使用開始ー自動閉そく式から一夜でATCへー, 信号保安,37,No.1, 信号保安協会発行(1982)
- 196) 横井昭三, 湯原 裕, 三嶽利明:“青梅線列車無線工事について”, 鉄道通信,33,No.2, 鉄道通信協会発行(1982)
- 197) 渡邊壽夫:“これからの対列車通信システム”, 鉄道技術研究資料, 40,No.3, 研友社発行(1983)
- 198) 藤原功三, 土屋孝明:“青梅線列車無線試験計画について”, 鉄道通信,32,No.9, 鉄道通信協会発行(1981)
- 199) 湯原 裕:“在来線列車無線について”, 鉄道通信,37,No.11, 鉄道通信協会発行(1986)
- 200) 藤原功三:“JRSの解説 UHF無線送受信機(乗務員連絡用)”, 鉄道通信,32,No.11, 鉄道通信協会発行(1981)
- 201) 官報 号外第67号, 郵政省告示第37号(1982/9/13)
- 202) 「1982年電波行政を顧みて」, 電波時報,1982,No.6, 電波振興会発行(1982)
- 203) 藤原大典:“JRSの解説 UHF無線送受信機(乗務員用及び構内作業連絡用)”, 鉄道通信,35,No.5, 鉄道通信協会発行(1984)
- 204) 菅原憲一:“貨物輸送の効率化のためにー緩急車の連結省略についてー”, 交通技術,40,No.5, 交通協会発行(1985)
- 205) 高橋 司, 湯原 裕:“新しい列車防護無線”, 交通技術,41,No.10, 交通協会発行(1986)
- 206) 湯原 裕, 佐々木 伸:“移動体通信[10]”, 鉄道通信,37,No.6, 鉄道通信協会発行(1986)
- 207) 藤原功三:“在来線列車無線システム Iーアナログ方式”, RFワールド, No.38(CQ出版社, 2017)
- 208) 日本国有鉄道監修 時刻表,36,No.3, (日本交通公社, 1960)
- 209) 齋藤憲司:“列車無線を利用したデータ伝送システムの開発”, JR gazette,65,No.2(交通新聞社, 2007)
- 210) 新井 隆, 永井義久:“列車無線高度化”, 富士時報,79,No.2, 富士時報編輯部発行(2006)
- 211) 総務省 無線局等情報検索, <https://www.tele.soumu.go.jp/musen/SearchServlet?pagelD=1>
- 212) 浦島敬三, 荒井隆司, 佐藤英光:“トンネルにおける防護無線方式の一考察”, 鉄道通信,37,No.12, 鉄道通信協会発行(1986)
- 213) グラビア「国鉄貨物は拠点間直行輸送体制へ」, トランスポート,34,No.5, 運輸振興協会発行(1984)
- 214) RAILWAY TOPICS「JR貨物の新しい物流拠点として北九州貨物ターミナル駅が開業」, 鉄道ジャーナル,No.428(鉄道ジャーナル社, 2002)
- 215) RAILWAY TOPICS「EF30形が引退」, No.247(鉄道ジャーナル社, 1987)
- 216) RAILWAY TOPICS「門司機関区にEH500形を新造配置」, 鉄道ジャーナル,No.482(鉄道ジャーナル社, 2006)
- 217) RAILWAY TOPICS「九州の貨物機最新版EF510-301が運用開始」, 鉄道ジャーナル,No.680(鉄道ジャーナル社, 2023)
- 218) 井上 進:“長野新幹線の輸送計画”, JREA,40,No.11, 日本鉄道技術協会発行(1997)
- 219) 吉田宏美, 澤田貞悦:“山形新幹線の工事および施設概要”, JREA,35,No.8, 日本鉄道技術協会発行(1992)

(2023年10月31日 受理)