テレビ映像中継に活躍した NTTマイクロ波中継方式の草創期

桑原 守二[†]

キーワード：マイクロ波方式，パスレングスアンテナ，テレビ中継サービス，3マシンセット，STC方式

1. ま え が き

2004年（平成16年）4月，電電公社（現NTT）の4GHz帯マイクロ波中継方式が東京－名古屋－大阪（東名阪）間に開通してから50年が過ぎた。50年前にサービスを開始したのはテレビジョンプログラム中継用が1システム，電話中継用が1システムである。

電電公社の時代にマイクロ波方式の研究，開発，建設，運用，保守に携わったNTTのOBたちにとって（通信機器の製造に携わったメーカのOBたちを含め）まことに感慨深い節目であり，この50年間にマイクロ波方式が発展してきた様子や往時の思い出話をまとめて「私たちのマイクロ波通信50年」を編纂し，その刊行記念を兼ねて祝賀会も開催した。

本稿では，電電公社がマイクロ波方式を建設するに至るまでの背景から，東名阪SF-B1方式，大阪－広島－福岡（阪広福）STC方式，東京－仙台－札幌（東仙札）SF-B2方式に至るまでのエポック的な事項について紹介する。それぞれの方式の詳細は，上記50年史（主要大学図書館に寄贈済み）を参照されたい。

2. 電電公社の東名阪マイクロ波方式建設に至るまでの経緯

電電公社によるマイクロ波方式の開発と正力松太郎氏のマウンテン・トップ方式構想とは切り離せない因縁があ

る。この辺りは私が電電公社に入社する前のことで，私自身はつまびらかではないが，拙著「マイクロ波通信」第一章に，松本高士氏（故人，元NTT経営調査室長）が「監修のことばに代えて」と題して執筆した一文があり，ここに簡明に記述されているので，それから引用させて頂く。

「日本のマイクロ波方式が発展する推進力となった要因の一つに，いわゆる「正力旋風」がある。当時通信界に朝野をあげての大議論を巻き起こした「マウンテン・トップ方式」は，創生期における発展の巨大なエンジンであった。

正力旋風というのは，当時の読売新聞社社長，正力松太郎氏が外資によって，日本列島の中央山岳地帯を結ぶマイクロ波回線を作り，日本テレビ放送網が全国主要都市にテレビジョン放送を実施するとともに，余った回線を当時まだ市外回線網の整備が出来ていなかった電電公社（当時は電気通信省）に貸そうという計画で，昭和26年9月具体的計画と電波の申請を電波管理委員会に提出したことに始まる。

この計画に対して直ちに起こった反応は，全国的なテレビジョン中継というような大事な業務を一民間企業に任すべきではないという反対と，テレビジョンというマスコミが正力一人に独占されるという危惧から，NHK，各新聞社を中心とする反対であった。NHKは直ちに東京－大阪間のテレビ中継計画を発表し，電気通信省も10月には「電波は国民の財産であり，公共の福祉増進のために使用すべきもので，テレビジョンならびに市外回線の将来需要をあわせて一元的に運営する

のが国家的にみて最善の方策である」という方針をうち立て，昭和28年度末までには東京－大阪間にマイクロ波回線を建設することを決定した。（以下略）

3. 東名阪SF-B1方式について

3.1 進行波管の採用

わが国のマイクロ波方式を開発するにあたり，電電公社は米ベル研究所が開発したTD-2方式を参考にした。使用周波数帯も同方式と同じく3.7GHz～4.2GHzであり，各無線システムの周波数を40MHz間隔に設定したのも同様である。

所要のマイクロ波出力を得るために当然ながら増幅器が必要である。これにTD-2方式では板極管を使用していた。

一般に，真空管を用いて電気信号を増幅しようとするとき，信号の周波数が高くなると，真空管の陰極（カソード）から格子（グリッド）まで電子が到達する時間（電子走行時間），および電極までのリード線のインダクタンスが無視できなくなり，利得が得られなくなる。この2点を解決するため考案されたのが板極管である。板極管は，電極間の間隔を極限まで狭くし，また電極へは円盤で配線する。TD-2方式で用いられていた板極管では，格子と陰極間の距離は15μm，格子線の直径は8μmであった。今日では驚くような数値ではないが，終戦直後における日本の工作技術ではこれほどの精密加工は不可能であった。

そこでSF-B1方式では進行波管を採用することにした。進行波管とは細い

[†] 桑原情報研究所
 "The Start of Microwave Radio-relay System in Japan" by Moriji Kuwabara (Tokyo)

図1 SF-B1方式の中継装置

螺旋（ヘリックス）の真ん中に電子ビームを通し、螺旋の上を伝わるマイクロ波にエネルギーを移して増幅する。キャビティのような共振器を使用しないので、原理的に広帯域であり、後に方式の広帯域化に役立った。

電子ビームを螺旋中央に真直ぐ通すため螺旋に平行して磁界を加えるのであるが、初期の進行波管はソレノイドコイルに直流を流した電磁石を用いていた。しかし、電磁石と螺旋を平行に調整するには名人芸的な熟練が必要であり、保守者は互いにその技を競いあった。後には永久磁石による交番磁界を管と一体でメーカーが製造するようになって、この苦労は昔話になった（図1）。

3.2 パスレングスアンテナ

SF-B1方式の研究を開始したとき、ベル研究所の月刊誌「BSTJ」に「パラボラアンテナは回り込みがあって超多重方式の中継用には使えない。レンズアンテナがよい」と書かれており、事実TD-2方式はレンズアンテナを使っていたので、パラボラアンテナは検討対象から除外した。

種々検討の結果、SF-B1方式で採用したのはパスレングスアンテナである。

屈折率が1より大きい誘電体内では

図2 パスレングスアンテナの原理

電波の伝搬速度が真空（あるいは空気）中より遅くなる。そこで屈折率が1より大きい誘電体をレンズ状に作ると、中央部を通る電波は周辺部を通る電波より遅くなり、波面が平面となる。これがレンズアンテナである。

パスレングスアンテナはディレイレンズの一種であり、電波の発射軸に対して一定角度傾いた多くの平行金属板群を設置すると、軸方向の伝搬速度が傾斜角に相当して遅れる現象を利用したものである（図2）。

実用化されたパスレングスアンテナは、前述の500MHz帯域で利得40dB、フロントバック比75dB、サイド・サイドの結合減衰量80dBの高特性が得られた。しかし前面の高さ4m、幅3m、奥行5m、重量4トンもの大きさになった（図3）。

阪広福のSTC方式がパラボラアンテナを用いていたこともあり、パスレングスアンテナと同等以上に特性の良いパラボラアンテナを実用化し得る見通しが得られたので、東仙札以降のマイクロ波回線にはパラボラアンテナが使用された。

3.3 開通式典

東名阪を結ぶ2システムの工事が完成し、1954年（昭和29年）4月16日から業務を開始した。これに先立ち、15日にマイクロ波回線の開通式が東京では東京会館、大阪では新装なった本町電話局、名古屋では丸栄ホテルにおいて行われた。

東京会館の会場には、三笠宮はじめ郵政大臣など各界の名士400名を集め、午前11時式を開始、梶井総裁から日本通信建設、三菱電機、日本電気

図3 大阪端局屋上に設置されたパスレングスアンテナ

図4 開通式典会場の郵政大臣と徳川夢声、入江たか子氏

表1 映像に見られた現象

	映像に見られた現象
画像に混入するもの	ハム、フリッカ、パルス(特に数 μ s長のものは通称メダカ〔白、黒〕と言った)、マイクロホニックパルス、混信縞、ゴースト
機器の特性不良による画像の劣化	コントラスト不良、白づまり、映像対同期信号比不良、ストーリーキング、解像度不良、白黒反転、同期外れ

の3社に対して表彰状が送られ、次いで梶井総裁の挨拶があった後、NHKのテレビ放送で黒川廣二調査課長のマイクロ波方式に関する解説があった。

その後、わが国で最初の顔をみなからの“テレビ電話”が東京の塚田郵政大臣、大阪の杉商工会議所会頭の間で行われた。映像に写る相手の顔がはっきりと浮び上り、成功裏のうち次々と予定者の会話が終った。ここにわが国電気通信事業の一大躍進が確保され、その後計画されている阪広福、東仙札マイクロ波工事の完成に一大光明を与え、その期待に胸を膨らませたのであった(図4)。

3.4 テレビ回線の監視

東名阪のマイクロ波方式がサービスを開始した当時、テレビ放送は12時から13時半頃までと、18時から21時半頃までであった(高校野球や年末年始などには運用時間が延長された)。方式の初期不良は早期に改善されたが、テレビ中継サービスは公社の歴史

の中でまったく異質のサービスであったため、保守者はテレビの常識に慣れるまで悩まされることが多かった。

保守者が特に神経を使ったのはテレビ回線運用中の画像監視である。テレビ中継を行っている間、保守者はモニタの前で、パルス1本の混入も見逃さないように注意深く画像を監視していた。それは運用中に障害が発生した時や画質不良の苦情を放送局から申告された時、あるいは、他中継所保守者からの問合せに対して直ちに対応するためであった。

回線の不安定さに加えて、NHKが公社より1年先に自営の回線を運用したノウハウを有していたのに対して、公社の保守者はテレビ中継の経験がなかったため、NHKに対しては受け身の対応を余儀なくされることが多かったようである。

そのうえ、放送局と公社の端局を結ぶ無線回線(STリンク)の脆弱さも負担であった。本装置はマイクロ波回線

の開通に併せて購入された暫定的な設備であったが、トラブルが多く、また予備機もなかった。そのためSTリンクが不通になったときには、放送モニタ用に使用していた大型受像機の出力信号を利用できるように、出力端子を設けて切替えを準備していたとのことである。番組終了時に流れる日の丸の映像がモニタに映しだされると、それまでの緊張から解放され、ほっとしたという。

なお、テレビ回線の障害には回線断のほか、画像劣化現象として表1に示すようなものがあるが、これらは公社の人間にとって、それまで耳慣れないものであった(表1)。

4. 阪広福STC方式について

昭和29年の東名阪マイクロ波回線サービス開始に続いて、阪広福、東仙札を初めとして全国マイクロ波回線網を施設する計画が立てられた。

これを実行するにあたり、広く諸外国のマイクロ波通信技術を導入することが、わが国のマイクロ波通信方式の確立を促進するのに有効であると考え、阪広福マイクロ波回線は、英国STC社(Standard Telephones and Cables LTD)製の機器を輸入することを決定した。

東名阪SF-B1方式と比較してSTC社製品の特徴ある点は、①パラボラアンテナを用いている、②入力テレビ信号を直接クライストロンに加えて変調している、③遅延歪みを軽減するため、受信機入力の周波数変換段に平衡ミキサを用いていない、④送信周波数変換段にゲルマニウムを用い、変換出力を高レベルにすることによって進行波管増幅段を1段で済ませている、⑤中継器はスケルチを持たず、回線障害の場合には受信端局で雑音を検出し、回線を断つようにしている、などであった。

東名阪マイクロ波方式では直流電源を使用していた。商用電源を整流してバッテリーをフローティングし、停電時にはエンジンにより発電機を駆動するが、このエンジンの起動も中間中継所

図5 東仙札マイクロ波回線に導入された国産3マシンセット

図6 山上中継所に向かう雪上車

を無人化できない理由の一つであった。あわせて、マイクロ波中継所のように供給電圧の種類が多い場合には、直流式よりも交流無停電方式が望ましいと考えられていたが、STC式の3マシンがこれに一つの解答を与えてくれた。

3マシンとは電動機、発電機およびエンジンをセットにしたものである。常時は3相交流電動機により発電機とフライホイールを回転させ、各装置に単相の電源を供給する。商用電源に異常があったときは、自動的にエンジンを起動するとともに、電動機を電源から切り離す。大きなフライホイールがあるため、発電機は回転を続ける。起

動したエンジンの回転数が一定値に達すると電磁クラッチが動き、エンジンと発電機が直結される。主商用電源が復旧した場合には、自動的にスイッチが動作して電動機を動作させるとともに電磁クラッチを離脱させ、エンジンへの燃料供給も停止する。

3マシンは直ちに国産化され、わが国マイクロ波中継所の標準電源方式として採用されることになった(図5)。

阪広福マイクロ波回線は1956年(昭和31年)4月に運用を開始したが、本回線に用いられたSTC方式は、パラボラアンテナ、遠隔監視制御による中間中継所の無人化、3マシンセットなど、

わが国マイクロ波方式の技術に貢献するところが大きかったが、取扱説明書は英文のみであり、技術内容を理解するのに保守者の苦心も大きかった。

5. 東仙札SF-B2方式について

東名阪SF-B1方式における経験と、導入を進めつつあった英国STC方式の諸技術を参考にして、東仙札マイクロ波回線に用いるSF-B2方式が開発された。パラボラアンテナを採用し、また遠隔監視制御および3マシンの導入により中間中継所の無人化が実現された。

当時、マイクロ波方式の設計、建設を所掌する臨時極超短波部という組織があったが、阪広福STC方式を担当する係と東仙札SF-B2方式を担当する係とは、互いに相手に後れをとらないよう競い合った。東京－仙台間が開通したのは阪広福と同じ1956年(昭和31年)4月である。このときNHKの仙台局も開局した。さらに仙台－札幌が開通したのは同年12月であり、道民待望の東京からのテレビ中継が開始された。

北海道側には札幌を含めて2有人局と3無人中継所が設置されたが、極寒の冬季における無人局への巡回保守が困難を極めたことは想像に難くない(図6)。

6. む す び

福岡から札幌までのテレビ中継が完成した後、マイクロ波回線は東京－金沢－大阪、札幌以北の北海道エリア、福岡以南の九州エリア、四国など全国へ広げられて行った。マイクロ波方式もSF-B2からSF-B3に、そしてカラーテレビ映像の中継が可能なSF-B4へと進歩して行ったのである。

(2005年3月9日受付)

1956年、早稲田大学理工学部電気通信学科卒業、同年、日本電信電話公社に入社。マイクロ波方式、移動通信方式の開発などに従事。常務取締役技術企画本部長、代表取締役副社長などを歴任。現在、桑原情報研究所代表取締役、工学博士。