国内中継

日本電信電話公社電気通信研究所

増 田 孝 雄 ・ 伊 藤 貞 男

1. ま え が き

国内テレビ中継網の高規格化は昭和 36 年から進められてきたが、昭和 41 年 3 月、北は北海道稚内から南は鹿児島に至る全国カラー中継サービス網が完成した。また、技術的にはマイクロ波中継装置の固体電子化が進み、高信頼かつ経済性にすぐれた方式が実用化された。さらに、方式総合の信頼性を高めるための位相合成スペースダイバーシティー方式の実用化、方式適用域の拡大のため回折網方式の導入、ならびに画像通信サービスの検討などが行なわれた。

2. カラーテレビの全国中継網の完成

カラーテレビの放送番組を全国的な規模で中継するために、電電公社では、テレビ中継用マイクロ波回線と無線および有線方式による端末設備とを、従来の白黒テレビ方式用からカラーテレビ方式の信号も伝送できる新しい施設にとりかえる、いわゆるテレビ中継網の高規格化¹⁾を、さる昭和 36 年から進めてきたが、昭和 41 年 3 月完成し、全国カラー中継サービスが可能となった。これによってカラーテレビ中継線は約 25,000 km となり、カラーテレビ時代の発展に大いに貢献することが期待される。

3. 中継装置の固体電子化

3.1 固体電子化の目的

現在電電公社では、全国約 130 局の NHK、民間放送のテレビ局を、4GHz のマイクロ波回線と同軸ケーブルとで結び、テレビ番組の中継サービスを十数年前から実施している。これらテレビ信号あるいは多重電話信号を中継伝送する機器の固体電子化は、従来から半導体技術の進歩とともに行なわれてきたが、その目的は、(1)高信頼化、(2)低消費電力化、(3)保守の簡易化により、(4)伝送路の総合的な経済化をはかるためである。以下、具体的に固体電子化の効果を説明する。一例として、電

電公社の東京一名古屋一大阪を結ぶ 6GHz 回線の第一ルートをとる。このルートに使っている方式(SF-U 1 方式)は真空管を全面的に使用している。この回線の昭和 39 年度における要因別障害件数および時間率は、原因不明で自然回復するものを除くと次のようになっている。

〔障害件数の場合〕

- (a) 伝搬路: 20.5%
- (b) 中継装置: 13.3%
- (c) 電力供給装置: 10.2%

〔障害時間の場合〕

- (a) 中継装置: 72.1%
- (b) 変復調装置: 8.3%
- (c) 電力供給装置: 5.2%

これらのうち伝搬路による障害は 4 章で述べるダイバーシティー方式の改良とともに、回線切換装置の固体化による高速化、高信頼化により、障害件数を 1/10 以上に減少しうる。残る要因は装置障害であるが、これをさらに原因別にみると、部品不良、調整不良およびその他に分けられる。このうち過半数が部品の故障または不安定によるものと考えられる。

いま、部品の故障率から真空管式中継装置の MTBF を推定すると、約 500 時間となる。この値に決定的影響を与えているものは真空管である。現在、マイクロ波回線では、定期保守により真空管による障害を減少させ、等価 MTBF を 1 桁以上向上している。これに対して、進行波管以外の部分を固体電子化した中継装置および変復調装置においては、装置の MTBF を 10,000 時間以上に上げることが可能となるほか、安定化、調整の簡易化ができ、装置障害を半減しうる事が明らかとなった。

つぎに電力供給装置であるが、従来、真空管式マイクロ波方式では電動機、発電気およびディーゼルエンジンを組合せた無瞬断装置を用いてきた。これは真空管式の装置を用いたマイクロ波中継局においては、少なくとも 10 kW 以上の電力を要することから、経済性などを考慮して採用してきたものである。一方、中継装置などを固体化すると、消費電力を 1/3 に減減でき、小電力容量となる結果、蓄電池浮動方式のほうが経済的となる。固体電子化方式ではこの蓄電池浮動方式の採用により、エ

¹⁾ "Television Transmission Network in Japan" by Takao Masuda and Sadao Ito (Telecommunication Research Laboratories, Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation, Tokyo)

ンゾン起動不良などによる電力供給装置の障害を救済しうる。

また、固体化方式の有する他の利点としては、諸装置の小形化が可能になる結果、所要床面積が減少でき、局舎費を削減することができる。

以上説明したマイクロ波装置の固体化は、半導体技術の進歩のうえに初めて具体化したものである。すなわち、より高い周波数出力で信号の増幅や発振を可能にし²⁾、また、従来のゲルマニウムに代わってシリコンを使った半導体の普及により信頼性も増加した点、とくにマイクロ波方式の開発を大きく推進した可変容量ダイオードの出現は、見のがすことができない。このダイオードは、低い周波数の出力を通倍法によって低損失でマイクロ波のような高い周波数に変換することができ³⁾、また、これまでクライストロンでしか果たせなかった広帯域信号の周波数変調を高品質で達成できる性能をもつ⁴⁾⁵⁾。これまでに開発されたマイクロ波の固体電子化装置では、これが大きな役目を果たした。

以下、最近開発されたマイクロ波方式について説明する。

3.2 4 GHz 固体電子化方式⁶⁾ (SF-B5 方式)

SF-B5 方式は、4 GHz 帯長距離幹線用として、進行波管以外を固体電子化した最初的方式であり、1 システム 960 チャンネルまたはカラーテレビを国際規格で伝送できる。この方式は昭和 41 年夏、広島と松山間の回線にまず適用され、伝送特性、信頼性などがきわめて良好であることを確認し、現在商用中である。この方式を用いた回線はさらに昭和 42 年、旭川—遠軽—北見、新潟—酒田、秋田—青森の各区間で完成、また昭和 43 年、鹿児島—宮崎区間で完成、青森—札幌（第二ルート）の工事終了も間近い。

3.3 6 GHz 固体電子化方式⁷⁾⁸⁾

長距離電話回線用として開発された 6 GHz 方式は、当初 1 システム当たり 1,200 チャンネルを伝送する方式 (SF-U1 方式) であった。その後、1 システム当たり 1,800 チャンネルを伝送する SF-U2 方式が開発され、東名阪第二ルートを初め、大阪—岡山—広島、金沢—富山などの各区間が相ついで開通するとともに、既設区間に対して増設工事が進められ、41 年度末で北は旭川から南は福岡まで、2,100 km の日本縦断幹線が完成している。

一方、市外ダイヤル即時サービスの急速な進展につれて、さらに新設の必要が生じ、現在、東京—水戸—平—仙台、大阪—高松—松山—大分—熊本—福岡などで工事が進められている。なかでも大阪—福岡区間は、新たに開発された固体電子化方式 (SF-U3) が初めて導入さ

れることになっており、信頼性、経済性に富む方式として期待されている。この回線が完成すると、既設の大阪—岡山—広島—福岡間の山陽ルートと合わせて近畿、中国、四国、九州を結ぶ 6 GHz 方式幹線の西日本ループ回線が完成することになる。

また、11 GHz 帯 1,800 チャンネルの固体電子化方式も開発され、東京—横浜を初め各地で使用されている。

4. 位相合成スペースダイバー

シティー方式⁹⁾¹⁰⁾

無線通信の宿命ともいえるフェーディングの影響は、マイクロ波方式でも例外ではない。現在の長距離マイクロ波方式では、フェーディングによって電波の強さが平常時の -40 dB 程度にまで低下しても、AGC (自動利得制御) によりほぼ平常に近い品質を維持できるように設計されているが、それ以下に低下すると雑音が急激に増大し、回線は切断されてしまう。そして、フェーディングによる電界強度の変化が非常に早くかつ大きい場合は、短時間の回線断が散発的に発生することになる。これは種々の原因で発生するが、特に送信アンテナから受信アンテナへ直接伝搬した直接波と、大地や海面で反射した反射波が存在する区間では、これら両者の干渉により非常に激しいフェーディングが発生する。

このような回線の瞬断は、データ伝送など短い符号が伝送されている場合には、符号の誤りが発見しにくいという点で、むしろ長時間の回線断より深刻な問題となる。また、テレビジョン伝送においても、画像信号に対する瞬断の影響は、電話信号に比しきわめて大きい。そのため、フェーディングに対処する種々な対策が従来から研究され実用されてきた。その主なものに雑音切換方式とスペースダイバーシティー方式がある。第一の方法は、フェーディングによって、ある程度以上雑音が増加すると、予備システムへ切換えを行なう方式¹¹⁾である。第二の方式は、2つの受信アンテナを適当な間隔で配置し、それぞれの受信電波を位相が同じになるように制御しながら合成する方式で、位相合成スペースダイバーシティー方式と呼ばれている。この方式によって、マイクロ波回線の瞬断は約 50 分の 1 から 100 分の 1 程度 (理論的推定値) に改善できる。

従来使用されてきたスペースダイバーシティー方式では、受信電波の位相を制御する速度をあまり早くすることができなかったため、2つの受信電波の相対位相変化速度が速い区間では、著しい効果は得られていなかった。しかし、昭和 41 年に位相制御速度を従来の約 20 倍にまで改善した高速度位相合成スペースダイバーシティー方式が実用化され、これにより一連のフェーディング対

策が完成した。この方式は、固体電子化されているので信頼度も高く、保守も容易なように設計されている。この方式は、すでに上厚内一釧路など、全国3区間に導入され、成果をあげている。

5. 回折網方式¹²⁾¹³⁾

従来、マイクロ波の中継所は、適当な間隔で相手局と見通しのある山頂などに建設されてきた。しかし、見通しはきかないが、比較的距離の短い都市を結ぶ場合、その中間に中継所を建設することは得策でない。この場合、従来は両局を見通せる場所に反射板を設置して電波の進路を曲げる方法がとられてきた。しかし、この方法では場所の選定や反射板の設置に問題があるため、さらに経済的にマイクロ波回線を作る有力な手段として実用化されたのが、回折網方式である。この方式は、山岳回折現象を用いる見通し外通信方式と原理的には同じである

写真1 短距離区間の新しい中継方式として開発された回折網

が、電波を回折させるための網を張り、人工的にこの性質を強めるものである。写真1は伊勢一松坂間の11GHzのマイクロ波回線に建設された回折網である。実際このような回折網を使用することにより、回折網利得として約15dBを得、良好なサービスを提供している。このような回折網方式の開発によって、マイクロ波方式の適用領域が従来よりも拡大されることになろう。

6. 映像音声同時伝送方式

現在、公社のテレビ回線は、映像と音声とを別個の伝送路によって構成している。回線障害は映像信号と音声信号のいずれの中断によっても生ずるので、音声を映像に重畳して伝送すれば、回線信頼度の向上を期待できる。また、無人中継所からの割込中継の場合にも、音声を同時に挿入することにより、回線構成の簡易化とともに、音声回線の品質を改善することができる。このため、公社では42年度から映像音声同時伝送方式について技術検討を開始した。この方式では、副搬送波を音声でFM

した信号をビデオ帯で合成、分離する方式の予定である。なお、このような方式は、白黒テレビに関してCCIR勧告があるが、カラーテレビにはない。

7. 画像通信サービス¹⁴⁾

最近産業用、教育用などの、いわゆるITV(インダストリアルテレビ)の発展が目ざましく、視聴覚教育への応用、企業の合理化への導入など、積極的に利活用され始めている。そしてこの利用範囲も、これまでの同一構内、同一企業内にとどまらず、本社一工場とか、視聴覚教室をもつ学校相互間など、かなりの距離を隔てた場所にテレビ画像を伝送したいという要求が高まってきている。このため、電電公社では、有線、無線の両技術で新方式を開発し、新しい画像通信サービスとしてこの要望に答えることとし、とりあえず社内で教育用テレビの伝送に試用して、技術上、運用上の問題点を検討することになっている。

まず、無線方式では準ミリ波帯(とりあえず18GHz帯を想定)を選び、局間中継回線用および5km程度以上の遠距離加入者回線用としての画像通信無線機を開発した。最大1スパン伝送距離は、2.4m径パラボラを使用した場合、降雨減衰のマーヅンを考慮すると、加入者線約30km、局間中継線約13km程度となる。また、最大中継数は10中継以上可能と思われる。無線機の特徴としては、①完全固体電子化することにより、小形で信頼性高く、保守が容易であること、特に回路の一部にICを試用して回路を簡易化し、高信頼化をはかったこと、②白黒テレビのみでなくカラーの伝送も可能なこと、③7.5MHzの副搬送波を音声でFMしてビデオ帯に挿入することにより、映像と音声の同時伝送を可能としたこと、④降雨による大きな伝搬損失をおぎなうよう、60dB以上の広レベルAGCを採用していること、などである。

次に、有線を用いたテレビ伝送としては、その伝送路として既設の電話用加入者ケーブルを使用し、経済化をはかっている。有線方式の特徴としては、①加入者ケーブルを伝送路として用いる関係上、周波数の高い領域では、伝送損失が急激に上昇するため、搬送波を用いず、ビデオ信号のまま伝送すること、②中間中継器は、地下ケーブルの場合はマンホール内に、架空ケーブルの場合は柱上に設置され、中継器の設置、保守が容易であること、③中継器に必要な電力は遠方給電が可能なこと、④中継器の遠方監視を行なっていること、⑤温度によるケーブル損失変動を補償するため、5MHzパイロット電流を用いてAGC機能を備えていること、⑥同一ケーブル内の別心線を用い、音声の伝送も同時に行なえるこ

と、⑦カラー伝送が可能なこと、などである。

8. む す び

(1) 今後のマイクロ波方式 装置の固体電子化については、最近ますますすぐれた半導体部品が実用化され、4 GHz 帯で全固体化中継装置の研究も進められている。また、多重度をさらにあげて経済化をはかる目的で、2,700 チャネルを伝送しうる方式の開発も進んでいる¹⁵⁾。一方、周波数の開発面では、15 GHz 帯以上の高い(準ミリ波)無線周波数帯を用いる方式¹⁶⁾の実用化なども検討されている。

(2) 衛星通信方式 衛星を用いた国内中継方式も検討されている。また、米国の NASA (航空宇宙局) が主管して行なう ATS 計画に、大平洋地域からは日本、オーストラリアなどが参加している。これは 41 年 12 月から静止衛星 4 個、中高度衛星 1 個を順次打上げ、衛星の姿勢安定法、気象、科学、通信 (とくに多元地上局接続、マルチプルアクセス) の実験を行ないつつあるので、郵政省に協力して電電公社もこの計画に参加し、主として PCM 方式の適用に関するデータを得ることに重点をおいている。

(3) パルス符号変調方式 (PCM 方式) 24 通路路 PCM (時分割パルス符号変調方式) 方式の実用化¹⁷⁾により、近距離伝送路の大幅な経済化が行なわれたが、さらに多重度を増すとともに、画像伝送なども考慮して符号速度を上げ、伝送路には同軸ケーブル、マイクロ波、ミリ波導波管などを使用する方式の検討、これらの実現に必要な超高速パルス回路技術や多重化構成法などの研究が進んでいる。

その他、同軸ケーブル方式では障害対策上、および伝送品質などの面から、海底同軸中継方式の検討も進められている。また、全国自動即時電話網完成後の通信サービスは、現行の電話単一のサービスから、たとえばテレビ電話のような広帯域情報を含む多彩な通信サービスへの移行が考えられ、種々の検討が加えられている¹⁸⁾。

〔参 考 文 献〕

- 1) 林ほか: 高規格化テレビジョン回線のカラーテレビジョン伝送特性について, 昭 40 年信学全大予, No. 909
- 2) 増田, 中村: 固体マイクロ波発生源, 信学誌, 50, 10 (1967) 2206
- 3) 山崎: 可変容量ダイオードによる通信回路の解析, 信学誌, 49, 2 (1966) 257
- 4) 野田: 可変容量ダイオードを用いた周波数変調器, 研実報, 15, 10 (1966) 2011
- 5) 篠田: 広帯域 FM 変調用可変容量ダイオード, 信学誌, 50, 3 (1967) 424
- 6) 林, 沢田, 鎌田: 固体電子化された 4 Gc 方式 (SF-B5 方式), 施設, 19, 7 (1967) 97
- 7) 中村, 伊藤ほか: 6 Gc 1,800 CH 半固体電子化中継方式, 昭 41 年信学全大予, No. 970
- 8) 三好, 田中ほか: 6 GHz 1,800 CH マイクロ波の固体電子化-SF-U 3 方式の設計, 施設, 19, 12 (1967) 72
- 9) 原ほか: 鋼路一上厚内海上区間 4 Gc 合成受信現場試験結果, 昭 41 年電気四学会連大予, No. 1585
- 10) 林, 鎌田: 高速位相合成スペースダイバシティ方式の商用試験結果報告, 施設, 19, 6 (1967) 91
- 11) 仲上ほか: マイクロ波回線の切替方式における切替効果の研究, 信学誌, 50, 3 (1967) 362
- 12) 鶴岡ほか: 回折網通信方式, 信学誌, 46, 5 (1963) 653
- 13) 海老原ほか: 回折網によるマイクロ波中継方式 (その 2), 施設, 19, 10 (1967) 105
- 14) 藤尾: 画像通信サービス, 電気通信, 30, 252 (1967) 32
- 15) 渡辺, 中村ほか: 7 Gc 2,700 CH 無線中継用送受信装置, 昭 42, 年信学全大予, No. 1194
- 16) 高田, 伊藤ほか: 15 Gc 帯 960 CH 短距離無線中継方式, 研実報, 15, 11 (1966) 2409
- 17) 熊谷ほか: 近距離 24 通路路 PCM 方式, 通研研究発表会論文集 12
- 18) 熊谷: 通信サービス総合網とテレビジョン電話, テレビ誌, 21, 5 (1967) 314

テレビジョン 8 月号 予定目次

【テレビ随想】	日本のテレビ技術に望む	会長 井深 大
【解 説】	画像通信サービス	電電公社 藤尾 茂
【論 文】	イメージオシコンの解像度特性	NHK 前原昭義・和久井孝太郎・千葉孝雄
	アップコンバーターの大幅振動作の解析	神戸工業 西山弘志・村瀬賢二
	カラーエンコーダー自動副搬送波平衡回路の解析	中部日本放送 加藤泰正・平岩昭三
	粉末塗布焼成による薄膜螢光面	NHK 小島健博
	走査線の目立たない受像管	東芝 山田達也・佐野俊一
【資 料】	薄膜素子の VHF 無線機器への応用	NHK 長谷川豊明
【これすばんでんす】	トンネルカソードを用いた陰極線管	松下東研 太田健一郎・西田 洋・林 猛
【講 座】	テレビ技術者のための集積回路 (第 1 回) 集積回路の発展経過	阪大 菅田栄治