5. 衛星放送用 FM 受信機の開発

NHK 総合技術研究所 星 野 紀 甫, 内 海 要 三

1. 開発の経緯と背景

日本をはじめ各国で衛星放送用受信機の研究が本格的に開始されたのは、1971年に開催された宇宙通信に関する世界無線主管庁会議(WARC-ST)以後である。

それまでは衛星を利用した放送システムとして主に、各国間の番組交換が考えられ、また受信する側も地上基地局や、せいぜい共同で受信し、それを再送信あるいは分配によって各家庭へ送ることが目的とされていた。したがって、受信機開発も衛星放送用の研究ということでなく衛星通信の分野に近く、マイクロ波低雑音増幅器として常温パラメ、トンネルダイオード増幅器等の簡易化や、その特性改善が研究対象となっていた。

しかし放送衛星業務の定義づけと、周波数分配が行われた WARC-ST により、本格的放送衛星への各国における受信機の研究開発が明確となった。すなわち、“放送衛星業務とは、一般公衆によって直接(個別および共同)受信されることを目的として信号を衛星から伝送する無線業務”であり、それを行う下り回線の周波数帯として 700 MHz, 2.6 GHz, 12 GHz, 22 GHz, 42 GHz, 85 GHz 帯が割り当てられたことである。

わが国においても、将来、各家庭で直接受信できる 12 GHz 帯放送衛星用受信機の研究が NHK 技研で開始された。開発の大きな目的は当初から高感度・簡易・低価格化であった。直接受信方式が普及するかどうかは、いかにして、この目的を達成するかにかかっていた。

当時、MIC 技術が一般化された中で海外では、この目的を達成しようと MIC 型のコンバータを受信機のヘッドに用いる構成が主流となった。しかし MIC は多量生産が可能であるが、回路をコンパクト化したことで MIC 特有の回路損失が導波管回路にくらべて増加する。いいかえれば、高感度化に多少無理があった。しかし、当時の考えでは、個別受信が実用化する場合の基準として雑音指数が 9 dB (共同受信で 4 dB) 程度と報告され

ていた。これは衛星送信電力が 600 W (共同受信で数十 W) 程度となると予想したときの値である。当時の開発状況を見ても雑音指数は 8~9 dB 程度であった。

NHK 技研では、衛星の送信電力が共同受信システムに近い 100 W 程度でも受信でき、個別受信の上記性能を大きく上まわることを目標とした。そのことによりアンテナを含め受信機全体を簡易化することができると考えたからであった。しかし簡易で高性能な受信機の開発は非常に難しく、何らかの発想の転換が必要であった。

MIC (平面回路) は多量にでき、一方、従来から蓄積された導波管技術は低損失である。この両者をうまく利用できる方法はないか?、平面回路を導波管に入れられないか?、いろいろ検討した結果、導波管内の電磁界とうまく作用する平面回路が考案された。それが立体平面回路である¹⁾。導体板に形成されたパターンが導波管内で電磁界と作用し、各種の素子を形成することができる。導波管に平板が挿入されて初めて動作する新しい回路であった。

1972年、立体平面回路を用いたコンバータの試作に成功し、雑音指数 4.5 dB が得られた。この値は前述の個別受信の標準性能を大きく上まわっている。しかし、第1次試作は帯域幅が 50 MHz 程度であった。一方、低廉化ということから、受信機全体の回路構成の検討も合わせて行われ、FM-AM 直接変換器²⁾の開発に成功し、受信機が非常に簡単化された。

翌年、帯域幅が 180 MHz に改善され、これを機に、SHF 帯の新しい技術ではあるが、受信機という民需品をめざして NHK が国内の受信機メーカーに対し技術的な指導を始めた。このことによりメーカーにおける受信機開発がスタートし、以後国内 14 社、外国 1 社のメーカーが指導を受けながら現在開発を進めている。

1976年、改良が重ねられてきた受信機は米国 NASA から CTS (通信技術衛星、76年1月打上げ) の受信実験参加の要請があるなど³⁾、海外からも注目されるようになった。

CTS は、衛星放送を含め将来の衛星通信のため、種々の実験を行う目的で打上げられたものである(送信

“Development of FM Receiver for Satellite Broadcasting” by Norio Hoshino and Yozo Utsumi (NHK Technical Research Laboratories, Tokyo)

電力 200 W)。1976 年 4～6 月にかけて行われた受信実験で、直径 60 cm ϕ のアンテナでも良好な画質が得られ、さらに引き続き行われたアメリカ国内の数カ所における 1 年半にわたる長期フィールドテストにも良い結果を得ることができた。この経験により BS 実験への確認と、実用化の可能性へ大きく前進した。

CTS 実験以降、BS に向けてさらに改良が進められたが、一方、1976 年 11 月、長期にわたり検討、研究が進められてきた都市難視用 SHF 地上放送の技術基準が答申され、低廉な SHF コンバータが必要となった。衛星放送用として開発してきた SHF コンバータは、ここでもうひとつ大きな利用面の拡大がはかれることになった。他のシステムへの技術の転用と、低廉化への多量生産の道ができたのである。

しかし、この SHF 地上放送への利用に際して局部発

振の周波数変動が問題となった。地上放送は AM 信号であり、安定した簡易な局部発振が必要となった。これを受けて新しくトランジスタと誘電体共振器による簡易な高安定発振器を開発した。1つの技術を他のシステムへ転用し、そこでまた発展しもどってくる一例であった。

1977 年 1～2 月の WARC-BS によりチャンネル分配と種々の基準が与えられ、いっそう将来の放送衛星に対しての受信機の開発が明確となった。

翌 1978 年には、4 節で述べる WARC-BS の基準に適合する受信機の試作が行われ、現在もさらに研究が進められているが、現在ではすでに WARC-BS による個別受信の技術基準で示されたアンテナ直径 90 cm ϕ を上回る 75 cm ϕ 以下で受信可能な性能が得られている。

昨年、打ち上げられた BS に対する受信実験においても現在良好な結果が得られているが、今後さらに、この結果をふまえて実用化に向けて改善を進める必要があろう。

2. 衛星放送用受信機

2.1 衛星放送用受信機の構成

開発した受信機の構成例を図 2⁴⁾ に示す。パラボラアンテナで受信された 11.95～12.13 GHz の FM 波は約 -80 dBm のレベルで SHF 第 1 混合器に入り、約 3 dB の変換損失で 290～470 MHz の第 1 中間周波に変換される。これを約 50～55 dB の利得の中間周波増幅器で増幅し、約 -30～-25 dBm にした後、同軸ケーブルで室内にある FM-AM コンバータに導く。ここでは、まず第 2 混合器で 130 MHz の第 2 中間周波に変換し、130

図 1 受信機開発の進展 (NF と帯域幅の改善経過)
(○は得られた特性例)

図 2 衛星放送用受信機の構成

写真1 衛星放送用受信機の外観

MHz 帯域通過フィルタ、増幅器、AGC、リミッタ、周波数弁別器を経て映像信号と 4.5 MHz の音声信号を得ている。映像信号については、エネルギー拡散信号除去回路で拡散信号を抑圧している。また最後に再変調回路で VHF-AM 出力が得られるようになっており、通常の家庭用受信機に接続できる。この衛星放送用受信機の外観を写真1に示した。

2.2 SHF ダウンコンバータ

(1) 立体平面回路

立体平面回路とは、回路上要求されるすべての機能を平面構造の1枚の金属板に構成し、それを導波管中に立体的に配したものである。そして、この立体平面回路はエッチングやプレス打ちぬきにより精度と再現性を良く作ることができる。特長は回路の無負荷 Q 値が 12 GHz 帯で 2500~3000 と高く (MIC の場合はアルミナ基板を用いても 250~300 程度)、低損失回路に適すること、構造上、低廉で大量生産に適していることである。

(2) SHF 第1混合器

立体平面回路を用いたダウンコンバータの構造例を図3⁵⁾⁶⁾に示した。(3)で述べるSバンド (2.915 GHz) のトランジスタ発振器出力をステップリカバリダイオードで4通倍して得た 11.66 GHz の局部発振器出力をショットキーダイオードに印加し、11.95~12.13 GHz の信号波と混合する。このうち SHF 帯域阻止フィルタ

図3 立体平面回路を用いたダウンコンバータの構造例

表1 立体平面回路を用いた SHF ダウンコンバータの特性

受信周波数	受信帯域幅 (MHz)	中間周波数帯 (MHz)	総合雑音指数 (dB)	イメージ抑圧度 (dB)
11.95~12.13	180	290~470	3.7 以下	20 以上
11.7 ~12.0	300	960~1260	3.7 以下	30 以上
11.7 ~12.2	500	960~1460	4.0 以下	30 以上

F_R を経て 290~470 MHz の中間周波 (IF) 成分のみを取り出し、IF 前置増幅器へ送り込むわけである。また図3で入力部に、局発出力が外部へ輻射するのを防ぐためのローカル帯域阻止フィルタと、イメージ妨害を防ぐためのイメージ帯域阻止フィルタが付加してある。このダウンコンバータにはイメージ成分に変換されるエネルギーをはね返し IF 成分の発生を効率良く行わせる、いわゆるイメージリカバリー技術⁷⁾⁸⁾ がほどこされていて

表1⁵⁾⁶⁾に示すような低雑音特性が得られている。

(3) 局部発振器

従来から自己注入タイプのガンダイオード発振器や、水晶発振器出力を高次通倍する方法があるが、ここでは周波数安定度が高いことと、低廉化の両方の要求に答えるものとして、バイポーラトランジスタと誘電体共振器で構成したSバンドの発振器出力をステップリカバリダイオードで4通倍し、約 10 mW の SHF 出力を得る方法⁹⁾を用い、 $-10 \sim +40^\circ\text{C}$ の温度範囲で ± 50 kHz の高い周波数安定度を得ている。

(4) 低雑音中間周波増幅器

初段の低雑音バイポーラトランジスタに、3段のトランジスタを接続し、雑音指数約 1.4 dB、増幅度 50~55 dB の特性が得られている。

上記のダウンコンバータ部品すべてがアルミダイキャストのケースに1本化して組み込まれ、低廉化に適した構造になっている。

2.3 FM-AM コンバータ

バラクタダイオードにより発振周波数を可変にした局部発振器を用いた第2混合器により 130 MHz の第2 IF を得ている。130 MHz 帯の帯域通過フィルタ⁹⁾(最近、弾性表面波フィルタ¹⁰⁾も開発されており、衛星放送用受信機にとり入れられる可能性がある)を経て AGC とリミッタに導かれる。そしてこの AGC、リミッタには、通常のダイオードリミッタと非線形増幅器とロッキング増幅器を組合せた新回路⁶⁾を用い、約 25 dB の AGC とベースバンド全体で約 25 dB の AM 雑音を抑圧している。これに続く信号処理回路については図2に示す通りである。

2.4 受信アンテナ

衛星放送受信用として最も一般的なものはパラボラアンテナで、直径が 0.6, 1.0, 1.6 m のもので 11.7~12 GHz で利得が 34.9, 39.6, 43.9 dB, 開口率が 54, 63, 64% と報告されている¹¹⁾。

3. 開発した受信機の評価実験

開発された受信機について、地上における特性評価実験と衛星電波を直接受信した場合の受信品質評価が CTS, BS の両衛星を使って行われてきた。

CTS を利用した受信実験は 1976 年 4 月~6 月に、あらかじめ地上でのベンチテストの後、衛星を経由した信号で行われた。ここで使用された受信アンテナは 0.6, 1.0, 1.6, 2.4 mφ の 4 種類である。受信 S/N は、それぞれ 0.6 mφ の場合 44 dB (評価 S/N)、1 mφ の場合 49.3 dB と良好な値が得られた。この値は回線設計に非常によく一致しており、誤差は約 0.5 dB 程度であった。

その後、約 1 年半にわたってアメリカ国内の数ヵ所で行われた各種評価実験（飛行機、高架鉄道による影響、ビルの反射波受信実験等）においても受信機は正常に動作し、長期フィールドテストにより信頼性が確認された。

たとえば、実験開始時の NF に対して 1 年間使用した場合の劣化は、ほとんど現われず、測定誤差に近い約 0.3~0.5 dB 程度であった。

BS 実験における簡易受信装置（4.4 参照）についても昨年 7 月から日本の各所において長期安定度テストならびに受信品質の確認を目的として実験が進められているが、受信入力レベルは推定値の ± 1 dB 以内に 85% 以上が入っている。また映像 S/N についても受信入力レベル -80 dBm に対して約 48 dB (評価 S/N) が得られており、これは計算値によく一致していることが確認されている。今後、気象条件による影響の調査と長期間テストの結果を、受信機開発へフィードバックしていきたい。

4. 受信機開発の将来動向

1977 年の WARC-BS で、わが国の 12 GHz 帯の衛星放送の受信帯域は 11.7~12.2 GHz の中の 300 MHz (BS は 180 MHz) となり、受信可能チャンネルは 8 チャンネルで、円偏波 (BS は直線偏波) を用いることが決められた。それ故、将来の衛星放送用には、より広帯域

で円偏波が受信できる受信機の開発が必要である。すでに、IF を 960~1260 MHz の 300 MHz に選んだ広帯域受信機が 2 節に述べたのと同様の方式で開発され (表 1) 雑音指数 3.7 dB 以下の特性が得られている。また円偏波受信については誘電体板を 45° の角度で円筒導波管に挿入した構造の円偏波-直線偏波変換器がすでに開発されており、それを図 1 のパラボラアンテナのフィードに取付け、その方向を変えることにより、右、左の円偏波および直線偏波を簡単に選別できる。

最近、Si や GaAs の FET が開発され、SHF 帯の低雑音増幅器として用いられている。14 GHz 帯で 1 段の利得が 9 dB、雑音指数が 4~5 dB の特性が報告されている⁵⁾。これらを受信機の初段に用いる検討もなされつつあるが、大量生産した場合の価格は、ミクサーダイオードの約 5~9 倍が予想され⁵⁾、特性的にも価格的にも、3 節で紹介した直接ダウンコンバータ方式が優れていることがわかる。そしてダウンコンバータ方式では IF 前置増幅器の低雑音化が望まれる。また各種半導体デバイスの低雑音化は将来の SHF 技術の大きな課題であるが、衛星放送用受信機にとり入れられていくためには、その取扱い易さと、低廉さを充分考慮し開発を進めていかなければならない。

(昭和 54 年 6 月 25 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 小西, 上中田, 矢沢, 星野: 平面回路を立体的に配した新マイクロ波回路 (立体平面回路) 技術, 信学会マイクロ波研究会, MW 72-84 (1972)
- 2) Y. Konishi, et al: Proposed SHF FM Receiver for Satellite Broadcasting, ICC '73 Conference Record (1973)
- 3) 小西, 長町, 保科, 倉掛: CTS 直接受信の実験, NHK 技研月報, **20**, 5 (1977)
- 4) 内海: 衛星放送用受信機, 放送技術, **32**, 1 (1979) 129-135
- 5) 小西: 放送分野における最近の SHF 技術, テレビ全大 (1979)
- 6) Y. Konishi: Home Receiver for Broadcasting Satellite Service, 11th International Television Symposium and Technical Exhibition, Montreux (1979)
- 7) Y. Konishi: 12 GHz Band FM Receiver for Satellite Broadcasting, IEEE Trans., **MTT-26**, 10 (1978) 720-725
- 8) 内海, 小西: イメージリカバリーダウンコンバーターの解析, テレビ誌, **33**, 3 (1979) 216-221
- 9) 小西: SHF 受信機-衛星放送用・地上放送用-, NHK 技研月報, **20**, 5 (1977)
- 10) 千葉, 吉川, 小西: 130 MHz 帯弾性表面波フィルター, テレビ全大 (1979)
- 11) Y. Konishi: 12 GHz FM Broadcasting Satellite Receiver, Microwave J., **21**, 1 (1978) 55-63