衛星放送受信機

正会員 平 田 滋 昭[†], 正会員 渡 辺 浩^{††}

実用放送衛星 BS-2 用受信機に関して、その受信システムおよび構成機器である、アンテナ、BS コンバーターと BS チューナーの概要ならびにその動向について解説する。

1. ま え が き

昭和 53 年 4 月、実験用中型放送衛星「ゆり」が打上げられてから早くも 5 年の年月がたち、今度実用放送衛星 BS-2 が打上げられようとしている。「ゆり」の当時、4 dB 程度だった受信機の雑音指数も現在では 3 dB 程度も得られており、この間の技術進歩の速さの一端をうかがわせている。

今度の BS-2 衛星放送システムは、12 GHz 帯を用いた世界初の本格的な実用衛星であるが、伝送技術的に見ても、テレビ放送に加えて、デジタル音声変調方式が採用されており¹³⁾¹⁴⁾、デジタル音声放送という点でも画期的である。

衛星放送システムの技術的特記事項としては、

- (1) 放送システムに PCM 技術を採用 これによって、いわゆるスタジオなみの高品質な音声を直接家庭まで送りとどけることが可能となった。
- (2) 従来、通信回線にのみ使用されていたマイクロ波帯を民生品に使用 これは、マイクロ波デバイス製造にインパクトを与えると共に、今後、通信用マイクロ波装置にもインパクトを与えることになる。

さらに受信機のハード面での特記事項としては、

- (3) オフセットパラボラアンテナの量産
- (4) マイクロ波集積回路(MIC)の大幅採用
- (5) 音声 PCM 用専用 LSI の開発使用

等があげられる。

[†] 東京芝浦電気株式会社 AV 技術研究所

^{††} 日本電気株式会社 放送映像事業部

“Direct Broadcast Satellite Receiver” by Shigeaki Hirata (Audio and Video Products Engineering Lab., Toshiba Corporation, Kawasaki) and Hiroshi Watanabe (Broadcast and Video Equipment Div., NEC Corporation, Tokyo)

2. 受信システム

我が国で使用できる 12 GHz 帯衛星チャンネルは 1977 年の世界無線主管庁会議 (WARC-BS) にて、図 1 のように割当てられている。BS-2 では、この 8 チャンネルのうち、チャンネル 11 とチャンネル 13 の 2 チャンネルが使用されることになっている。各チャンネルは各々 27 MHz の帯域幅を持っており、我が国の場合、その伝送諸元は表 1 のように決められた⁹⁾。

2.1 受信機の構成および定格

衛星放送受信機は、12 GHz という超高周波信号を受信するシステムであるので、通常の VHF および UHF のテレビ受信機と異なり、パラボラアンテナ、12 GHz 帯を 1 GHz 帯信号に変換するコンバーター (BS コンバーター) と 1 GHz 帯信号のチャンネルを選択して、復調し、場合によってはテレビ受信機のアンテナ端子に適合する UHF 変調までを行う復調器 (BS

(注 1) ○印: 日本に割当てられたチャンネル
(注 2) □印: BS-2 の送信チャンネル

図 1 12 GHz 帯放送衛星業務用チャンネル配列 (第 3 地域)

表 1 衛星放送の信号伝送諸元

区分	項 目	諸 元		
映 像	映像信号方式	走査線数525本 (M/NTSC方式)		
	映像信号最高周波数	4.5MHz		
	主搬送波変調方式	周波数変調		
	主搬送周波数偏移	17MHzp-p (同期信号を含む)		
	変調極性	正極性		
	エンファシス特性	CCIR Rec. 405 -525本		
	エネルギー拡散信号	15Hz 対称三角波(主搬送波周波数偏移600kHz)		
像	主搬送波周波数制御方式	平均値 AFC		
	主搬送波周波数帯域幅	27MHz		
音 符 号 化 方 式	伝送モード	モードA	モードB	
	音声信号帯域幅	15kHz	20kHz	
	標準化周波数	32kHz	48kHz	
	標準化時刻	左右同一時刻 (ステレオ信号のときのみ規定)		
	量子化および圧伸	14/10ビット準瞬時圧伸	16ビット直線	
	エンファシス特性	50μsに零点, 15μsに極を持つ伝達関数		
	符号伝送速度	2.048Mb/s±10b/s		
	チャンネル数	4チャンネル	2チャンネル	
	独立データー伝送容量	480kb/s	240kb/s	
	信 号 多 重 方 式	フレーム周波数	1kHz	
フレームビット数		2048ビット		
フレーム同期パターン		16ビット/フレーム(0001001101011110)		
制御符号		16ビット/フレーム		
スクランブル		10次M系列PN信号($X^{10}+X^3+1$)		
誤り制御		音声およびデータ	BCH, SEC-DED (63, 56) ($X^7+X^6+X^2+1$)	
		レンジビット	上記に加えBCH, SEC-DED (7, 3) ($X^4+X^3+X^2+1$)	
		制御符号	繰り返し送出による多数決判定	
変調方式		副搬送波周波数	5.727272MHz±16Hz	
		副搬送波による主搬送波の周波数偏移	±(3.25MHz +10% -5%)	
	副搬送波変調方式	4相DPSK		

チューナー), および BS コンバーターと BS チューナーを結ぶ同軸ケーブルから構成される。これら衛星放送受信機を構成する各機器の定格は表 2²⁾の通りである。

2.2 受信アンテナ直径の目安

BS-2 は 100 W 出力の送信用 TWT を搭載しており, 送信アンテナフィーダー系の損失およびポインティング損失を差し引いた EIRP(Equivalent Isotropically Radiated Power)は約 56.2 dBW となる。東京附近において, 雑音指数(NF)4.0 dB の受信機と直径 1.0 m, 開口効率 55% のアンテナを使用して受信する場合, 受信機入力-112 dBW, 映像 S/N 49.4 dB が得られる。図 2 は各地で必要になるパラボラ

図 2 各地のパラボラアンテナの直径 (NF=4 dB, η =55%)

ンテナの直径¹⁾を示す。

以上の値は, 最悪月の時間率 1% に相当する降雨減衰量 2 dB を算入している。

受信機の雑音指数や, アンテナの開口効率は現在改善が進んでいるので, 今後さらに小形のアンテナで受信可能となることが期待される。

以上, 受信システムについて概要を述べたが, 各構成機器の詳細について以下に述べる。なお, 本稿で述べる基本構成以外に, ホーム共聴, 共同受信等のために BS コンバーターの出力を分配して多数の BS チューナーに接続するシステムも考えられているが¹⁾, 本稿では基本受信機についてのみ述べる。

3. アンテナ

3.1 アンテナの性能

衛星放送受信用のアンテナは, 面で電波をとらえる開口面アンテナが用いられる。衛星からの微弱な電波を受信するため, 利得が大きいアンテナが要求される。また, 他国の衛星放送の電波や, 衛星放送以外の電波を受信しないような指向性 (アンテナパターン) が要求される。民生用として使用されるので, 量産に適した構造で, 据置・調整が容易であり, 耐候性にすぐれている必要がある。

衛星放送用受信アンテナは, パラボラアンテナが最も一般的である。開口効率はパラボラ面の精度や, 加工状況により左右され, 0.5~0.75 程度の値である。

アンテナの指向性については, 主偏波 (アンテナの

表 2 衛星放送受信機の定格

機 器	項 目	定 格					
アンテナ	受信周波数範囲	11.71398~12.0095GHz					
	受信偏波	右旋円偏波					
	アンテナの直径	形名	60形	75形	90形	100形	120形
		利得 [dB]	34.5以上	36.5以上	38.0以上	39.0以上	40.5以上
BSコンバーター	出力構造	WRJ-120形方形導波管で防水形。 BSコンバーター取り付けネジ位置は、BRJ-120形フランジ					
	入力構造	WRJ-120形方形導波管で防水用パッキン付。 アンテナ取り付け用タップの位置は、BRJ-120形フランジ					
	入力信号レベル範囲	1チャンネル当たり、 $-80\text{dB (mW)} \pm 10\text{dB}$					
	局部発振周波数	10.678GHz					
	中間周波数	1035.98~1331.50MHz					
	総合利得	48dB $\pm 4\text{dB}$					
	出力構造	高周波同軸C15形コネクタ相当の防水形(レセプタクル)					
接続ケーブル	電源とその動作範囲	DC+15V $+10\%$ -12% , 4W以下					
	種 類	TVEFCX (テレビ受信用同軸ケーブル, JIS C 3502)					
	ケーブルの長さ	10m, 20m, 30mの3種類					
BSチューナ	接続コネクタ	高周波同軸C15形コネクタ相当とし、BSコンバーター側は防水プラグ、BSチューナー側はF形プラグ					
	入力構造	高周波同軸C15形コネクタ相当のF形レセプタクル					
	入力信号レベル範囲	-43dB (mW) $+15\text{dB}$ -18dB					
	中間周波数 (暫定)	134.26または402.78MHzとする。 上記以外の周波数を用いる場合には、BSチューナー端子における局部発振信号の漏れを -70dB (mW) 以下とする。					
	中間周波帯域幅	-3dB で27MHz、帯域外はWARC-BSの混信保護比カーブに適合する。					
	局部発振周波数	受信周波数の上側 (上側スーパーヘテロダイン)					
	映像出力信号レベル, インピーダンス	$1.0\text{V} \pm 0.2\text{Vp-p}$ (正極性) $75\Omega \pm 10\%$					
	音声出力レベル, 信号出力インピーダンス	142 $+142$ -42 mV_{rms} $4.7\text{k}\Omega$ 以下					
	出力構造	映像・音声端子ともピンコネクタ					
電源	電 源	AC100V $\pm 10\%$, BSコンバーター用電源としてDC+15V $\pm 10\%$, 4W以上を確保する。					

使用条件：定格および性能を規定する場合の周囲条件と、使用条件は下記のとおりとする。

1. 定格・性能は特に指定のない場合、常温常湿で規定する。
2. 使用条件は連続使用とし、以下の周囲条件で、動作に異常のないこと。
 - ① アンテナおよびBSコンバーター
周囲温度 $-30^{\circ}\sim+50^{\circ}\text{C}$, 湿度 20%~90%
 - ② BSチューナー
周囲温度 $0^{\circ}\sim+40^{\circ}\text{C}$

偏波と同一の方向の偏波をいう)のアンテナ角度に対する相対利得と、交差偏波(アンテナの偏波と逆方向の偏波)のアンテナ角度に対する相対利得で表す(ビーム中心の主偏波の利得を基準とする)。WARC-BSでは他国の衛星放送との混信をさけるためアンテナの指向性を図3のように規定している。

3.2 アンテナの構造と種類

衛星放送用の受信アンテナの構造と種類の例を図4

に示す。同図(a)は最も標準的なアンテナで、パラボラ状の反射鏡(ディッシュ)と1次放射器から成る。

同図(b)の前面給電オフセットタイプは主反射鏡の前面に1次放射器が置かれるが、反射鏡は同図(a)のパラボラの一部の面を拡大して取り出した構造となっているので、入射電波の方向からオフセットした位置に1次放射器が置かれている。このようなアンテナをオフセットアンテナと呼ぶ。このようなアンテナは、

- (注)
 ① 個別受信
 主偏波成分については、曲線 A
 交差偏波成分については、曲線 B
 ② 共同受信
 主偏波成分については曲線 A' (曲線 C
 との交点まで) 及びその先は曲線 C
 ③ 交差偏波成分については曲線 B

図 3 受信アンテナの主偏波および交差偏波の基礎パターン

(a) パラボラアンテナ

(b) オフセットアンテナ

(c) マイクロストリップアレイアンテナ

図 4 衛星放送受信アンテナの種類

設計は難しいが、入射電波をさえぎること（ブロッキング）がなく、アンテナの効率を高くできる。また、アンテナを設置したとき、反射鏡が地面に対して垂直に近くなるため、積雪の影響が少いなどの長所があり、衛星放送用受信アンテナの主流になりつつある。

図 5 1次放射器の構造例

開口面積は反射鏡の面積と等しくならず、その投影面積となる。

同図(c)の平面アンテナは、マイクロストリップのアレイを誘電体基板の上に構成したものであり、量産に適する、傾斜ビームとすることにより、建物の壁面に取り付けられる——などの特徴がある。しかし、衛星放送受信に必要な利得を得るため開口面を大きくすると、給電線路の損失が増加し、効率が低下する。

3.3 1次放射器および円偏波/直線偏波変換器

開口面に到達した電波はパラボラで反射され、1次放射器に集められる。1次放射器に到達する波の振幅や位相は、パラボラの形状や、1次放射器の指向性パターンおよび、パラボラと1次放射器の間隔でいろいろと変えることができる。1次放射器には、ホーンを用いる場合と、ヘリカル形を用いる場合がある。図5に1次放射器の構造例を示す。

我が国の衛星放送の電波は右旋円偏波が用いられる。通常屋外ユニットの入力構造は、互換性や信号の取り扱い易さの点から、直線偏波の方形導波管または同軸線路となっている。したがって、受信アンテナでは円偏波を直線偏波に変える変換器が必要になる。一般に、1次放射器と組合せる方法が多く用いられる。

円偏波/直線偏波変換器の例を図5に示す。同図(a)に示すように、出力端子で取り出したい直線偏波の方向に対して45°傾けて（直交する2つの直線偏波の一方の成分に平行に）ある長さを持った誘電体板を挿入する。誘電体板に平行な電界成分の直線偏波の位相が90°遅れ、出力には合成された直線偏波が得られる。位相差を発生させる方法として、このほか金属板によるもの、ビスによるものなどがある。また同図(b)のように、1次放射器自身を円偏波励振するヘリカル形のものもある。ヘリクスの周囲長 πD を1波長

付近にすると、円偏波を直接直線偏波に変換できる。
この構造を用いると直接同軸線路へ接続できる。

4. 屋外ユニット

屋外ユニット (BS コンバーターと呼ぶ) は、衛星放送受信機の受信性能を左右する心臓部であり、低雑音性が生命である。

4.1 屋外ユニットの所要性能

屋外ユニットの主な所要性能としては、つぎの項目があげられる。

- (1) 雑音指数 受信機内部で発生する雑音を少なくし、微弱な電波でも良好な受信画質を得るため、できるだけ小さい値が望ましい。
- (2) 入力 VSWR アンテナの出力インピーダンスと、屋外ユニットの入力インピーダンスの不整合により反射が生じ、性能指数 G/T が劣化する。VSWR は 2.5 以下程度が望ましい。
- (3) 出力 VSWR 屋外ユニットの出力端子におけるインピーダンスの不整合により、DG (Differential Gain), DP (Differential Phase) が悪くなり、画質や音声の符号誤り率の劣化を招く。VSWR は 2.5 以下程度が望ましい。
- (4) 相互変調妨害比 屋外ユニットは高利得増幅器を持っているので、複数のチャンネルの信号を受信すると相互変調妨害を生ずる。第 1 中間周波増幅器の直線性を良くし、相互変調による妨害

を抑える必要がある。-70 dB (mW) の 2 信号入力において -55 dB 程度以下が望ましい。

4.2 屋外ユニットの種類と構成

屋外ユニットは 12 GHz 帯を扱う。従来は導波管回路が用いられ、回路構成が複雑で低廉化が困難であった。これを解決するために、金属板上にパターン回路を構成し、導波管内に立体配置する立体平面回路⁴⁾が NHK で開発され、民生用衛星放送受信機の可能性が確かめられ、大きな進歩があった。

最近、GaAs FET の進歩が著しく、雑音指数、コストともに屋外ユニットの低雑音増幅器に使用が可能となってきた。GaAs FET 増幅器 1~3 段の前置増幅器をアルミナやテフロンなどの誘電体基板上にマイクロストリップで構成する MIC (microwave integrated circuit) が主流となってきた。最近では FET 単体の雑音指数が 1.6 dB 程度のものが得られており、屋外ユニット総合の雑音指数としても 2.5~3.0 dB 程度のものの開発結果が発表されている。MIC を用いた屋外ユニットの回路構成例を図 6 に、また MIC の基板パターンの例を図 7 に示す。

さらに最近では、GaAs 基板上に FET などの能動素子と同時にマイクロ波回路を構成するモノリシック MIC (monolithic MIC) も試作されており⁵⁾、民生用屋外ユニットのひとつの方向と考えられる (写真 1)。

4.3 屋外ユニットの回路

(1) 第 1 周波数変換回路

図 6 MIC を用いた屋外ユニット回路構成例

図 7 屋外ユニット MIC パターン例

(a) RF増幅用チップ

(b) IF増幅用チップ

写真 1 屋外ユニット用 GaAs MIC のパターン例

受信信号を局部発振信号と混合し、第1中間周波数帯の信号に変換する。混合部には、GaAsショットキーダイオードやバランスドミキサーが用いられる。変換損失の改善をはかるため、イメージ成分に変換されるエネルギーを再び混合部にはね返す、いわゆるイメージリカバリー技術を用いることがある。

第1中間周波数変換回路の入力部に、局部発振信号

が外部へ漏洩するのを防ぐためのローカル周波数阻止フィルターと、イメージ妨害を防ぐためのイメージ帯阻止フィルターを付加する。

(2) 第1局部発振回路

局部発振器としては、コストならびに構成の容易な点から、最近では、FETを用いた発振器と誘電体共振器を組合せたものが主流となってきた。発振周波数は他の無線業務に妨害を与えないよう10.678 GHzが選定されており、さらに周波数の漂動を抑える必要がある。

(3) 第1中間周波増幅回路

第1中間周波信号(1035~1335 MHz)を増幅し、屋内ユニットへ出力する。3~4段の増幅器で構成され、増幅度は約40 dBの高利得増幅を行う。相互変調による妨害をさけるため増幅器の直線性を向上する必要がある。

5. 屋内ユニット

屋内ユニット(BSチューナーと呼ぶ)は、屋外ユニットより供給される第1中間周波数(1035~1335 MHz)より希望する受信チャンネルを選局し、第2中間周波数に変換したのちFM復調を行い、映像信号処理および音声信号処理を経て、もとの映像信号と音声信号を再生する機能を有する。その回路構成例を図8に示す。

5.1 選局および周波数変換部

我が国の衛星放送受信機の第2中間周波数は、①受信機相互間で干渉を生じないこと、②第2局部発

図 8 屋内ユニット (BS チューナー) 回路構成例

振信号の漏れにより妨害を与えないこと、③製造しやすいこと、などを考慮し 134.26 または 402.78 MHz に暫定的に決められている。

第1次中間周波信号は、イメージ抑圧用のバンドパスフィルタを経たのち第2周波数変換回路に加えられ、第2中間周波数に変換される。第2中間周波数が 134.26 MHz の場合には、イメージ帯域が 300 MHz の受信帯域内に入るため、チューナブルバンドパスフィルタが必要である。局部発振器はバラクタダイオードによる電圧可変発振器による場合と、周波数シンセサイザによる場合などがある。

5.2 第2中間周波数増幅回路と AGC

第2中間周波数の通過帯域は、第2中間周波数バンドパスフィルタで決められるが、このフィルタの帯域が広いと FM 復調入力 CN 比が劣化する。逆に狭いとインパルス状のいわゆるトランケーションノイズを発生しやすくなる。またフィルタの振幅特性や群遅延特性は DG, DP などに影響し、画質、音質を左右するので重要な回路素子になっている。最近では、SAW フィルタで良好な特性が得られている。

FM 復調回路に中間周波信号を適当なレベルで送り

込むために AGC 回路が設けられている。

5.3 リミッターおよび FM 復調回路

リミッターは FM 波に混入した AM 雑音成分を抑圧し、理想的な FM 改善度を得るために設けられる。

FM 復調回路は、広帯域で、かつ直線性が良いことが要求される。直線性が悪いと波形ひずみや混変調の原因となる。FM 復調回路には図9のような回路が用いられる。

5.4 映像信号処理部

FM 復調出力は映像信号と音声信号に分離される。映像信号は、音声副搬送波とカラー副搬送波による相互変調妨害をさけるため、音声副搬送波のレベルを 30 dB 以上減衰させた後、ディエンファシス回路に加えられる。ディエンファシス回路で、プリエンファシスと逆の特性で高域を減衰させ、もとの映像信号にもどす。

エネルギー拡散信号除去回路は、FM 伝送の電力スペクトルの分布を均一にするため映像信号に重畳してある三角波を取り除く回路である。三角波を除去せずに再生するとフリッカー状の妨害を画面に与える。この三角波を除去するために、逆位相の波形を重畳する方法やクランプ回路を挿入する方法などがある。エネルギー拡散信号除去比は、映像信号ピークピーク値に対し、残留分のピークピーク値が 50 dB 程度減衰していることが望ましい。

5.5 音声信号処理部

我が国のテレビジョン衛星放送は、音声伝送方式として PCM 副搬送波方式を採用しているので、音声信号処理部は図8のように 4 相 DPSK (differential phase shift keying: 差動位相変調) 復調回路と PCM 復調回路から構成される。FM 復調後に帯域幅約 1 MHz のバンドパスフィルタを挿入し、音声副搬送波を取り出し、PSK 復調回路に供給するこのフィル

図9 主に使用される FM 復調器の基本構成

図10 音声入力 BPF の所要特性

レーム分をRAMに記憶したのち、インターリーブ前のPCM信号になるよう読出しが行われる。ディインターリーブされた信号は、誤り訂正回路でBCH(63, 56)訂正符号により、単一誤り訂正、二重誤り検出(SEC, DED)が行われる。また、レンジビットの検出と訂正も行われる。モードA時の音声データは、14→10ビットの準瞬時圧縮が行われているので、レンジ情報により元の音声データへ伸長される。モードA/Bの切換えは、送信側で付加する制御信号により、PCM復調回路で自動的に行われる。

6. む す び

BS-2放送衛星用受信機の基本技術について述べた。衛星放送受信機を普及させるためには、コストの低減を行わなければならない。このためには従来業務用に限定されていたマイクロ波技術が民需用として広く利用され、かつMMIC、LSIの開発実用化を含む多量生産ができる技術開発が急速に展開されると共に、大量普及を支えるための魅力あるプログラムの放送が期待されている。

終りに、本稿に引用させていただいた文献の著者各位に深く感謝する次第である。(昭和58年12月16日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 日本放送協会編：“放送衛星技術”，放送技術双書，日本放送出版協会（1982）
- 2) 衛星放送受信技術調査会：“衛星放送受信技術調査会報告書（その1 目標定格）”，電波技術協会（1983）
- 3) 衛星放送受信技術調査会：“衛星放送受信技術調査会報告書（その2 望ましい性能）”，電波技術協会（1983）
- 4) 小西良弘：“放送用SHF受信機的设计”，産報（1974）
- 5) 平田，牧野，岡野，日高：“衛星放送用SHF受信機”，東芝レビュー，**38**，7，pp.580-585（1983）
- 6) 平田，佐久間，田口，遠藤，日高：“衛星放送用SHF受信機”，昭58年度信学全大，3，pp.295-296（1983）
- 7) K. Sakuma, et al.：“A Microwave IC SHF Converter”，IEEE (ICCE)，pp.170-171（1982）
- 8) 星野，内海：“衛星放送用FM受信機の開発”，テレビ誌，**33**，10，pp.822-825（1979）
- 9) 電波技術審議会：電波技術審議会答申第4編”，電波振興会，pp.97-187（1983）
- 10) 日高，永岡，岩崎，荒木：“SHF衛星放送受信オフセットパラボラアンテナ”，昭和58年度信学全大，3，pp.297-298（1983）
- 11) 松元：“衛星放送受信システムの開発—あらゆる受信形態に対応して—”，View(財)NHKエンジニアリングサービス，**2**，2，pp.68-79（1983）
- 12) 水野，石内，竹内，山藤，金子：“低雑音GaAs FET”，テレビ学技報，**7**，23，pp.31-44（1983）
- 13) 佐藤：“衛星テレビジョン放送の音声信号方式”，テレビ誌，**37**，5，pp.366-374（1983）
- 14) 吉野ほか：“テレビジョン衛星放送ディジタル音声伝送方式”，テレビ誌，**37**，11，pp.935-941（1983）