

---

 研 究
 

---

## 4.3 高度衛星放送実験 衛星搭載機器の開発

### 4.3.1 高度衛星放送実験 搭載機器の概要

井口 政昭\*<sup>1</sup> 都竹 愛一郎\*<sup>1</sup> 大内 智晴\*<sup>2</sup>

福地 一\*<sup>3</sup> 粟沢 晃\*<sup>4</sup>

(1996年11月14日受理)

## 4.3 DEVELOPMENT OF THE ON-BOARD EQUIPMENT FOR THE ADVANCED SATELLITE BROADCASTING EXPERIMENTS

### 4.3.1 OUTLINE OF THE ON-BOARD EQUIPMENT FOR THE ADVANCED SATELLITE BROADCASTING EXPERIMENTS

By

Masa-aki IGUCHI, Aiithiro TSUZUKU, Tomoharu OHUCHI,  
Hajime FUKUCHI, and Akira AWASAWA

This paper presents an overview of the advanced satellite broadcasting equipment (SBE), one of the on-board systems of COMETS. The purpose of the SBE is research on the next-generation advanced broadcasting services, including high-definition television (HDTV), integrated services digital broadcasting (ISDB), and region-specific broadcasting. The SBE is a through-repeater transponder that comprises an antenna system and a transmission system. The antenna is a multi-beam antenna whose two-beams irradiate the Kanto-Koshinetsu region and the Kyushu region. The two down-link beams use the same 20.7GHz frequency. The high-output transmission system and reception system have respective redundant systems.

[キーワード] 高度衛星放送, 地域別放送, 通信放送技術衛星, 21GHz帯, 搭載機器, マルチビーム, COMETS, Satellite broadcasting, On-board equipment, Multi-beam antenna, Region-specific broadcasting, 21GHz frequency-band.

#### 1. はじめに

現在我が国を含む第3地域では, 放送衛星業務用として, 12GHz帯, 21GHz帯, 42GHz帯及び85GHz帯と, 合計四つの周波数帯が割り当てられている。

12GHz帯を利用に関しては, 1977年の世界無線主管庁会議(WARC-BS)において第1, 第3地域に対し

て詳細な基準が設定されている<sup>(1)</sup>。我が国においては, 12GHz帯を用いた直接衛星放送サービスが1984年に放送衛星2号(BS-2)により開始された。直接衛星放送は, 山間部や離島といった従来の地上システムでは十分なサービスが出来なかった地域に対しても, 都市部と同等のサービスが容易に提供できるという利点がある。この12GHz帯を用いた直接衛星放送サービスは, その後, 放送衛星3号(BS-3)に引き継がれ, さらに我が国に割り当てられた8チャンネルの内先発の4チャンネル計画の4号衛星(BSAT)への移行の準備が進んでいる。

21GHz帯の利用については, 1992年2月のWARC-

\*<sup>1</sup> 総合通信部 放送技術研究室

\*<sup>2</sup> 宇宙通信部 衛星通信研究室

\*<sup>3</sup> 企画部 企画課

\*<sup>4</sup> 宇宙開発事業団

92において広帯域HDTV (High Definition Television) 衛星放送用周波数として国際的に割り当てられた<sup>(2)</sup> (第1, 3地域: 21.4~22GHz, 第2地域: 17.3~17.8GHz).

12GHz帯におけるサービスがWARC-BSによる合意という制約から, 送信電力やチャンネル数, 周波数帯域についての自由度が制約される. 一方, 21GHz帯の利用に関しては, 現在のところ, こうした詳細な規定が定められていないために, より広い帯域の利用の検討が今後可能であり, 新しい放送サービスでの利用に適している.

12GHz帯の利用が全国規模での直接衛星放送サービスである. これに対して, 21GHz帯の利用は, 同じ太さのビーム幅の場合, 12GHz帯に比べて物理的に小さな開口径アンテナにより実現可能という利点から, もっと狭い地域を対象とした地域別衛星放送での利用が適している. このことは, 狭い地域に効率良く電力を集中させることになり, 周波数が高いために降雨減衰や大気吸収損失が12GHz帯に比べて大きいという欠点を補うことにつながる. 従って, 21GHz帯衛星放送では, 地域別放送や新しい放送サービスなどの高度な衛星放送サービスの実現が期待できる.

通信放送技術衛星<sup>(3)</sup> (COMETS: Communication and Broadcasting Engineering Test Satellite) 高度衛星放送用搭載機器 (Satellite Broadcasting Equipment: SBE) は, 以上の21GHz帯を用いた次世代の高度衛星放送サービスのための研究を目的とした, 宇宙開発事業団と当所の共同開発の実験用のCOMETS衛星搭載機器である. 本論文では, 高度衛星放送ミッション計画の経緯, 地域別衛星放送の潜在的な需要, 高度衛星放送サービスのためのミッションモデル, SBEの構成及び機能の概要について述べる.

## 2. 高度衛星放送ミッション計画の経緯

郵政省では, 1987年に次世代の衛星放送技術および移動体衛星通信技術の開発を目指して「放送および通信の複合型技術衛星 (BCTS: Broadcasting and Communications Technology Satellite)」の検討に着手し, これに基づいて通信総合研究所は衛星搭載機器開発のための地上試験モデルの開発を行ってきた<sup>(4)</sup>.

21GHz帯衛星放送ミッションについては, 1988年から4年間にわたり, 地域別衛星放送の検証のための衛星搭載用マルチビームアンテナ (民間との共同研究成果を利用) や衛星搭載用200W級高出力進行波管増幅器 (日本放送協会の技術開発成果を利用) などを開発した. このBCTS計画に対して, 1989年宇宙開発委員会は宇宙

開発事業団の実験用データ中継・追跡衛星計画 (EDRTS: Experimental Data Relay and Tracking Satellite) と統合する方針を示した. さらにその後, 郵政省, 科学技術庁, 宇宙開発事業団は時期通信衛星 (CS-4) およびEDRTSの開発を引き継ぐ新たな通信放送分野の研究開発衛星COMETS計画を提案し, 1990年5月に宇宙開発委員会によりこの計画の実施が決定された. 以上のようにCOMETS高度衛星放送ミッションは, BCTS計画における21GHz帯衛星放送ミッションの開発成果を引き継ぐものである.

## 3. 地域別衛星放送の潜在的な需要

カナダにおける検討によれば, カナダでは地域別衛星放送の需要があるとされている. 我が国においても, 以下のことを勘案すれば潜在的な需要はあると検討されている<sup>(5)</sup>. その主な理由は, 地上のテレビジョン放送の対象は一部を除き県単位であること, 他地域向け放送に対する違和感が存在すること, 行政区域上の地方, 地理学上の地方が現実存在していること等である.

## 4. 高度衛星放送サービスのためのミッションモデル

### 4.1 ビーム配置

以上の地域別衛星放送の潜在的な需要から, 最もきめの細かいカバレッジは県単位であるが, この場合大型アンテナが必要となるために将来の静止プラットフォーム関連ミッションと想像される. したがって, 第1段階の地域別放送としては関東地方や東北地方などの地方単位が適当である. 我が国は大きく八つの地方に分割されているが, 静止軌道上から各地方を見た場合の大きさは, 角度として約0.34度から0.61度までの開きがある. 各地方をその大きさに合ったビームでカバーすると, 開口径が異なる複数のアンテナが必要になるなど衛星システムが複雑になるために, ここでは各ビームの太さをほぼ同一とし, 日本本土を6つのマルチビームでカバーすることを想定する. そのビーム構成案を第1図に示す. そのカバレッジのビーム幅は約0.55°であり, アンテナ開口径は2.5mである. 第1図で示す方式は, 中部と近畿の両地方が同一のカバレッジに入っていること, 各カバレッジ内の概略の人口が不均衡である等の欠点があるが, 第1段階の地域別放送のミッションモデルとする. なお, 第1図では本土ビームのみであるが, 本土から離れた沖縄, 小笠原などへのビーム追加は技術的に厳しい条件を与えるものではない.

### 4.2 周波数の再利用

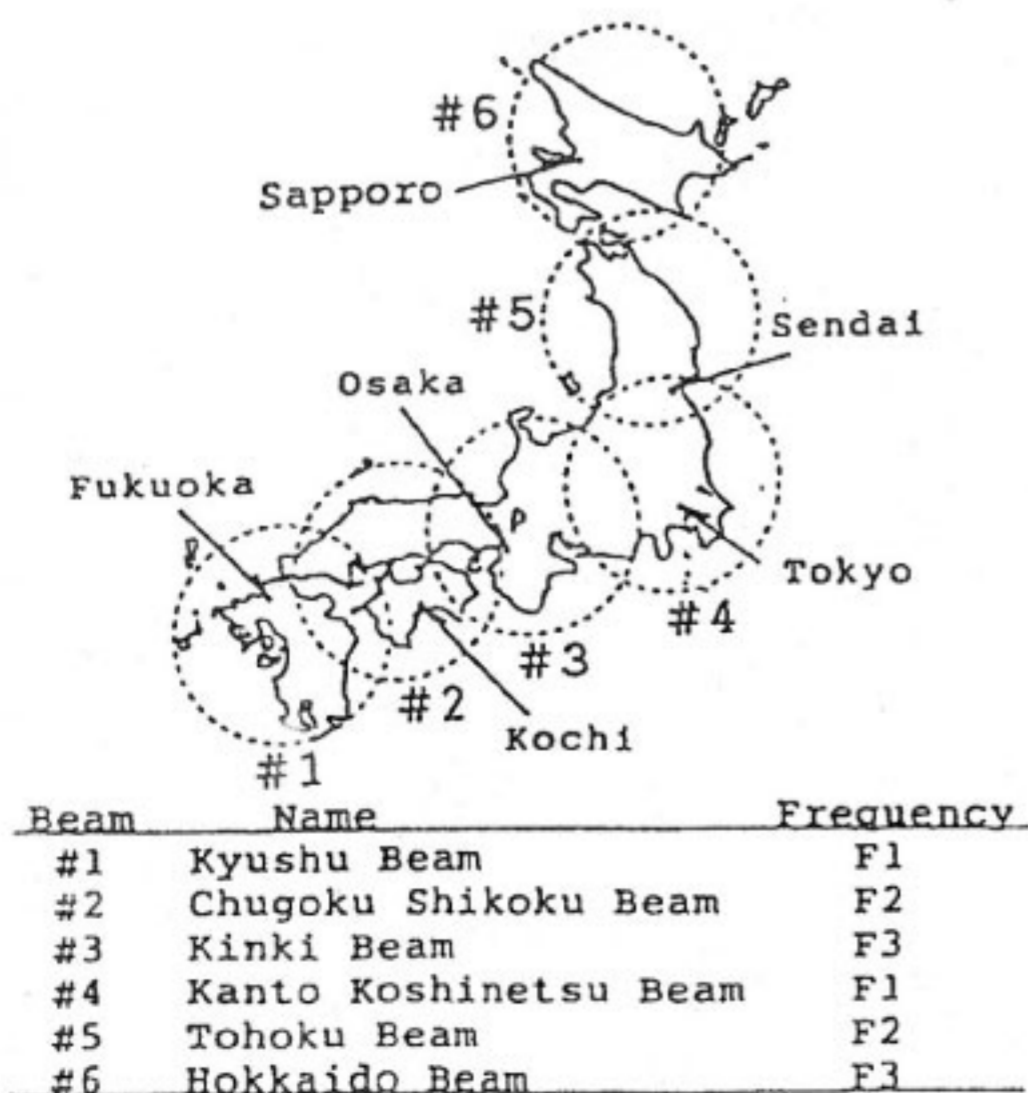
マルチビームの衛星放送では周波数の再利用が重要で

ある。以上のような配置において、周波数の再利用の度合は同じ周波数を用いるビーム間での干渉の許容レベルと搭載アンテナの特性に依存する。

干渉の許容レベルは、伝送する信号の変調方式に依存する。BCTS計画における検討では、変調方式として周波数変調を考慮し、その許容レベルはWARC-BSでの基準値を採用して35dBに設定している。

アンテナの特性の検討において、カバレッジ端をアンテナ利得の-3dBと仮定すると、上記周波数変調方式の場合のサイドローブレベルは-38dB以下でなければならない。このサイドローブレベル-38dB以下を実現するビーム間隔は、WARC-BSで定義されたアンテナ指向性によると、-3dBビーム幅の7.11倍とする必要があり、6ビーム方式では周波数共用が困難となる。そこで、第2図のビームを仮定する。その場合、ビーム間隔は-3dBビーム幅の2.28倍となり、6ビーム方式で周波数の再利用が可能となる。結果として、2ビームおきに同一周波数を、具体的にはビーム1と4、ビーム2と5、ビーム3と6が同一周波数を使用する。この場合、2倍の周波数再利用が実現出来る。

以上の検討はBCTS計画に基づくものであるが、この検討結果をBCTS計画の成果を引き継ぐCOMETSのSBE開発においても踏襲している。なおBCTS計画における周波数変調方式の採用は、BCTS計画当時、有効な帯域圧縮技術が実現出来ていなかったことによるものである。現在、デジタル技術の進歩によりMPEG (Moving Picture Experts Group)<sup>(6)</sup>等の画像圧縮技術の進展が図られている。この画像圧縮技術を



第1図 高度衛星放送システムマルチビーム構成案

用いたデジタル信号にたいしては位相変調によるデジタル変調が効果的である。このデジタル変調において、干渉許容レベルは-20dB程度でも可能である。

### 4.3 家庭用受信機

21GHz帯では、12GHz帯に比べアンテナ開口径が同じ場合、ビーム幅が細くなる。例えば開口径1mのアンテナの半値幅は0.93度となる。直接衛星放送の場合、受信アンテナは一般の家庭に置かれるものであり、追尾機能を有するものは適さない。衛星の軌道保持精度を東西南北ともに0.1度とし、無追尾の受信アンテナのポインティング損失を0.5dB以下とした場合、受信アンテナの開口径は1m以下となる。一方、平均的な受信機の雑音指数は現在の12GHz帯家庭用受信機と同等の2.5dBの達成は可能と考えられる。

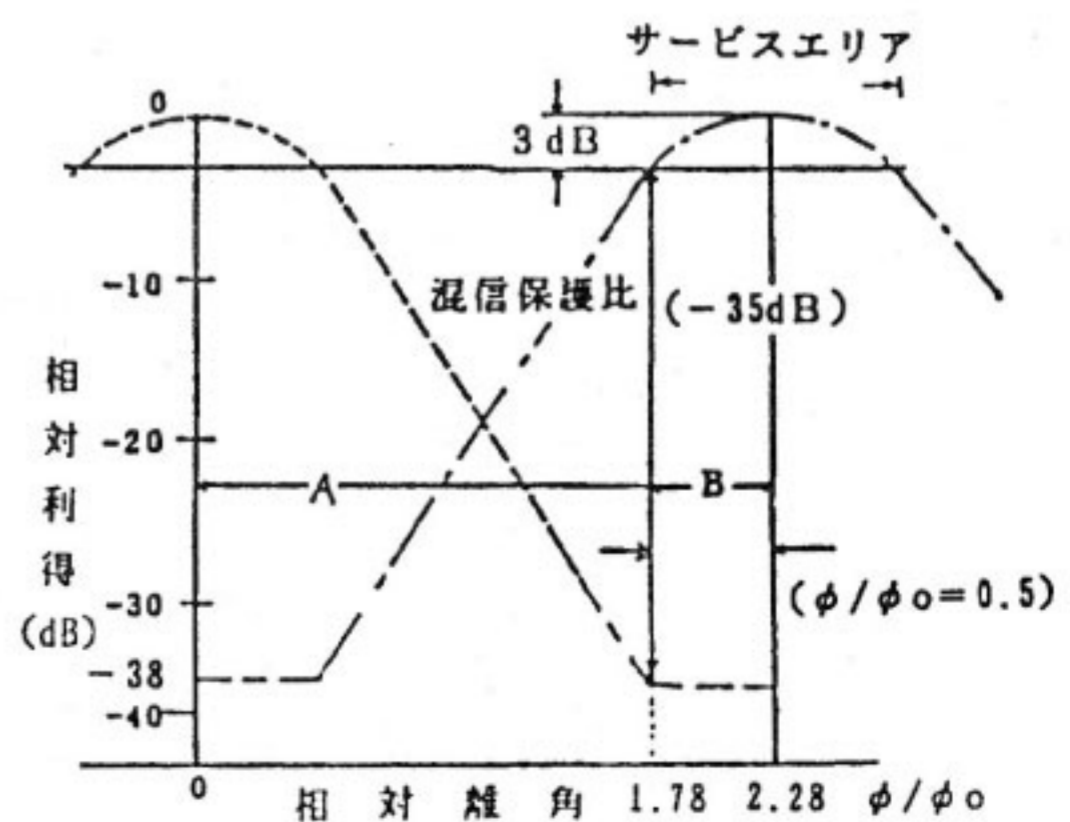
### 4.4 伝搬路上の信号減衰

我が国の降雨強度については、降雨強度累積分布を対数正規分布で近似した場合の各地の平均値及び標準偏差が与えられている<sup>(7)</sup>。それを基に、各地の年間最悪月の99%においてその値を超すことのない降雨強度を求め、CCIRレポート<sup>(8)</sup>を用いて各地の21GHz帯の降雨減衰量を推定する。その結果、年間最悪月の99%の時間率で回線を確保するためには、東京で約6dB、近畿、四国、九州の太平洋沿岸で約8~12dBの降雨減衰を見込む必要があることが推定される<sup>(9)</sup>。

また、高温多湿という気候条件をもつ我が国では、21GHz帯において水蒸気による減衰が回線に特に影響を与える。約1.1~1.3dBの大気による減衰を考慮する必要がある<sup>(9)</sup>。

### 4.5 チャンネル数

21GHz帯においては周波数の分割等に関して12GHz帯にあるような規定がない。ここではサービス内容に応じて周波数分割を各ビーム毎にそれぞれ行うと仮



第2図 2ビーム間の分離角

定する。21GHz帯で放送衛星用として全部で500MHzの帯域が与えられている。前述のように2倍の周波数再利用を行い、6ビームに割り振ると各ビームあたり約166MHzの帯域が利用できる。次世代高度衛星放送サービスにおいては、より広帯域を使用するサービスが主流となると考えられる。上記約166MHzを2分割すると仮定すると、一つの衛星でのチャンネルの総数は12チャンネルとなる。さらに、周波数分割数と全体のチャンネル数は比例するが、衛星に搭載可能な中継器の総数は各中継器の出力電力の総和（重量と消費電力に依存）と構成によるため、一つの衛星でのチャンネル数には限界がある。100W級の中継器を仮定すると、2t級衛星では18台の中継器（18チャンネル）が上限であろう。

5. 構成及び機能の概要

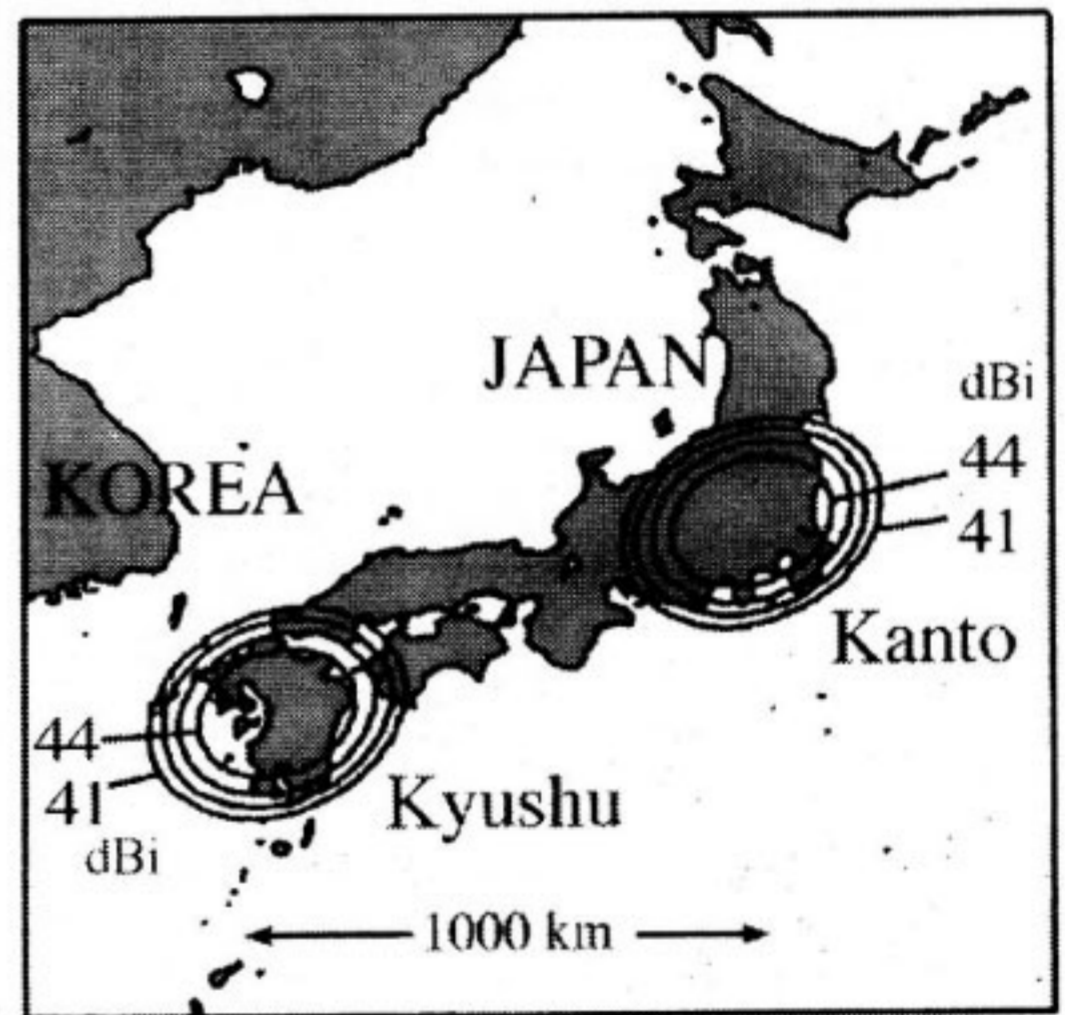
SBEは、世界で初めての21GHz帯次世代高度衛星放送システムの研究のために開発した搭載用中継器<sup>(9)(10)</sup>である。SBEは、実験システムであり、次世代高度衛星放送システムで想定している6つのビームの内の2つのビームを有するマルチビームアンテナを搭載する。中継器は120MHzの信号伝送帯域を有し、そのチャンネル数は1ビームあたり1チャンネルである。さらに下り回線（地上での受信）の周波数は20.7GHzを使用する。これは、前述のようにWARC'92における国際的に割り当て以前に、20.7GHzを使用した21GHz帯衛星放送ミッション計画が先行したためである。

第1表にSBEの主要諸元を、第3図にSBEの各ビームのサービスエリアを、第4図にSBEのブロックダイヤグラムを示す。

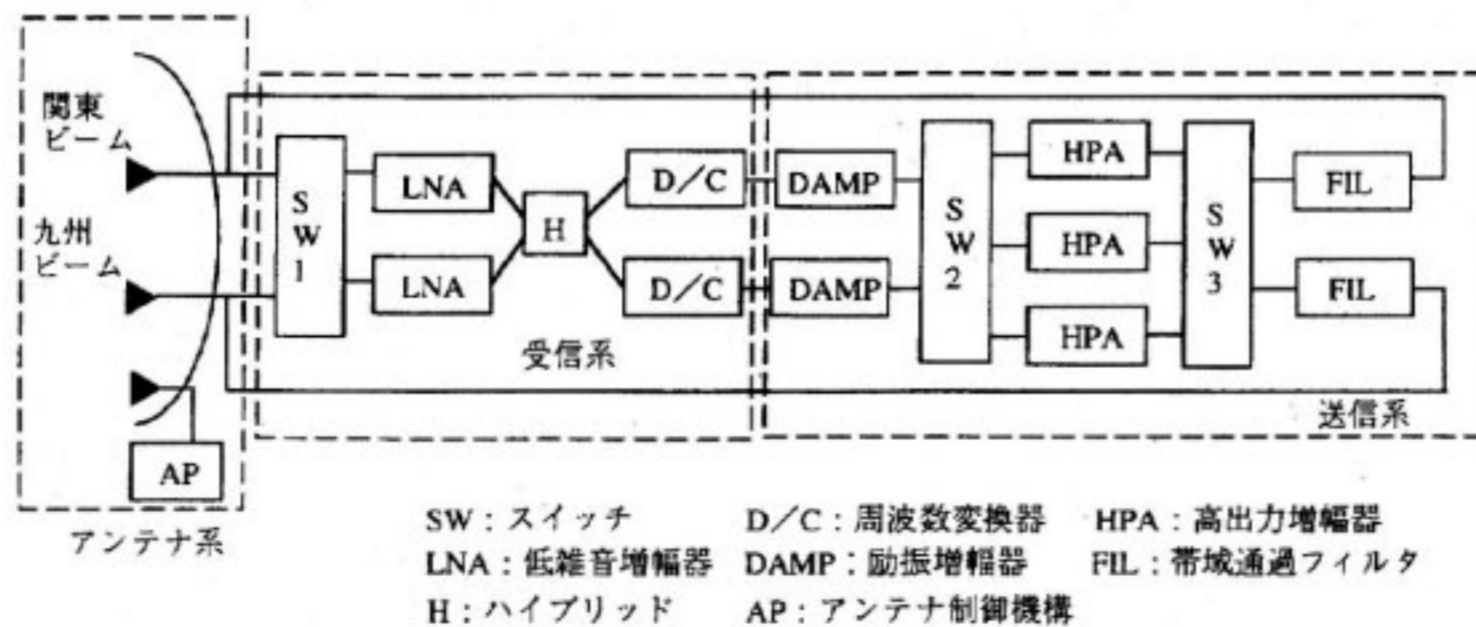
SBEは、アンテナ系<sup>(11)</sup>、中継器系<sup>(12)</sup>から構成される。中継器系は、受信系（低雑音増幅器（Low Noise Amplifier: LNA）、周波数変換部）、送信系（励振増幅器（Driver Amplifier: DAMP）、高出力増幅器（High Power Amplifier: HPA）、及びスイッチ（Switch:

第1表 SBEの主要諸元

アンテナ	形式 開口径 ビーム駆動範囲 ビーム数 偏波	オフセットカセグレン型 2.3mφ（公称） ±0.3°以上 2（関東・甲信越ビーム、九州ビーム） 右旋円偏波 （アップリンク、ダウンリンク）
ビーム間アイソレーション		35 dB以上
受信周波数	アップリンク ダウンリンク	27.3、27.8GHz 28.6GHz（アップリンクビーコン） 20.7GHz
帯域幅（-3dB）		120MHz以上
中継器入力レベル		-57~-77dBm/ch
G/T	（関東甲信越ビーム） （九州ビーム） （サービスエリア）	20.2dB/K（ポアサイト） 18.9dB/K（ポアサイト） 12dB/K（仕様値）
EIRP	高出力（関東甲信越ビーム） （九州ビーム） （サービスエリア） 低出力（関東甲信越ビーム） （九州ビーム） （サービスエリア）	69.3dBW（ポアサイト） 68.9dBW（ポアサイト） 64dBW（仕様値） 64.2dBW（ポアサイト） 63.9dBW（ポアサイト） 50dBW（仕様値）
AM/PM変換係数		2deg/dB以下
周波数安定度	長期 温度	±1×10 <sup>-5</sup> 以内 ±6×10 <sup>-6</sup> 以内（-20~+50℃）



第3図 SBEのサービスエリア



SW: スイッチ      D/C: 周波数変換器      HPA: 高出力増幅器  
LNA: 低雑音増幅器      DAMP: 励振増幅器      FIL: 帯域通過フィルタ  
H: ハイブリッド      AP: アンテナ制御機構

第4図 SBEのブロックダイヤグラム

SW) から構成され、スルーリピーターの中継器である。

HPA は予備システムを有し、LNA も片方が機能を停止しても上り回線が片方のビームのみの運用という制限を伴うが他方の LNA で代用が可能であり、実効的に冗長システムを有する。各 SW はその冗長システム選択のための導波管スイッチであり、軌道上で地上からのコマンドで切替が可能である。

SBE の 2 つのビームは、上りと下り回線の両方が関東・甲信越地域と九州地域をそれぞれ照射する。下り回線の 2 つのビームには同じ周波数 20.7GHz を使用する。

各々のビームの受信用給電部から出力される 27GHz 帯の上り回線の信号は、それぞれの LNA で個別に増幅された後、ハイブリッドで電力合成される。合成された信号は、周波数変換部で下り回線の周波数 20.7GHz の信号に変換され、送信系で高出力に増幅され、アンテナ系に供給され、送信される。DAMP は、上り回線の降雨減衰による受信レベル変動を補償する AGC 機能を有し、HPA を一定の電力で励振する。

下り回線のビームの選択方法について以下に示す。ここで、SBE の 2 つの周波数変換部の出力周波数は同じであるがその変換周波数は異なる。それぞれの周波数変換部の入力周波数に一致する周波数の信号のみが同一周波数帯の信号として、それぞれの周波数変換部から出力される。その出力信号は、送信系を経由し、下り回線の各ビームに対応するアンテナ給電部に接続される。したがって、中継器の構成 (コンフィギュレーション) を変更することなく、地上局の送信周波数を変更することにより下り回線のビームを選択することが可能である。このビーム選択の機能は、上述のように LNA で個別に増幅された後、ハイブリッドで電力合成され、それぞれの周波数変換部に入力されることから、上り回線の両ビームについて共通である。

なお、受信信号が無い場合 (無信号時) は、雑音が発信されるが、中継器は損傷しないように設計しており、地上局不具合などによって上り回線に信号断が生じても、緊急に特別な対応をとる必要がない。

第 5 図に SBE の周波数配列を示す。アップリンクビーコンは、搭載アンテナの自動追尾用受信機のための信号であり、地上から送信される信号である。

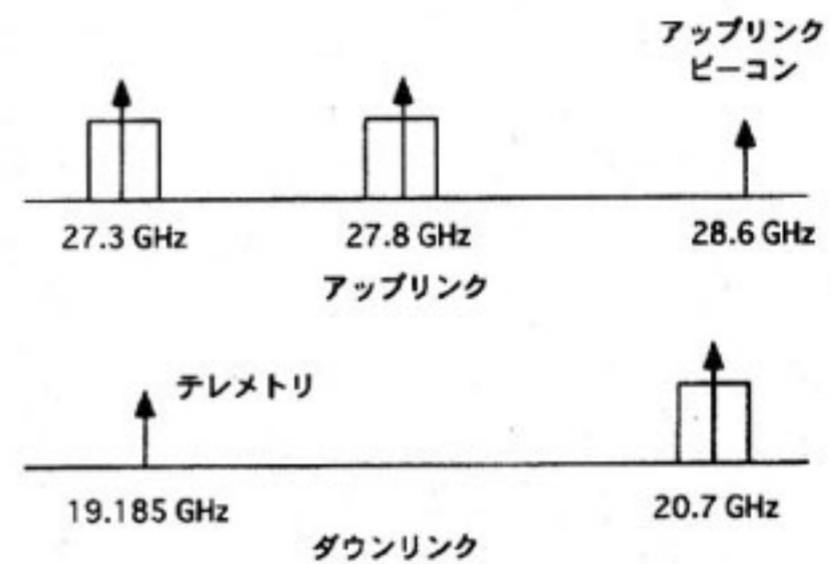
### 6. 回線設計例

以上のアンテナ利得及び入出力特性を考慮した衛星回線設計例を第 2 表に示す。この回線設計例は、送信局を鹿島支所鹿島宇宙通信センター (茨城県鹿嶋市) の次世代高度衛星放送実験用主局とし、受信局を直接受信を想定した受信専用局 (アンテナ開口径 75cm) とした晴天

時の場合である。受信局の設置場所は同センターとした。回線総合の信号対雑音電力密度 (C/No) は、98.3dB-Hz が得られることが分かる。

### 7. むすび

高度衛星放送ミッション計画の経緯、地域別衛星放送の潜在的な需要、高度衛星放送サービスのためのミッションモデルについて述べ、平成 9 年夏期に打ち上げ予定の通信放送技術衛星 (COMETS) に搭載される次世代高



第 5 図 SBE の周波数配列

第 2 表 衛星回線設計例

COMETS-SBE 回線設計例

関東甲信越ビーム、鹿島局 (5mφ) 送信  
受信専用局 (75cmφ) 受信

	Freq.(up)	[GHz]	27.3
	Freq.(down)	[GHz]	20.7
KASHIMA-TX (ant;5m)	K-EIRP	[dBW]	75.0
	K-Pointing loss	[dB]	0.3
	Pass loss	[dB]	212.6
	Absorp. loss	[dB]	0.7
COMETS-SBE	Pointing loss	[dB]	0.5
	ANT gain	[dBi]	46.0
	Rx In	[dBW]	-93.1
	G/T	[dB/K]	15.5
	(C/No)up	[dB-Hz]	105.0
	Tx out	[dBW]	21.0
	ANT gain	[dBi]	46.3
KASHIMA-RX (ant;75cm)	EIRP	[dBW]	67.3
	Pointing loss	[dB]	0.5
	Pass loss	[dB]	210.2
	Absorp. loss	[dB]	0.7
	K-Pointing loss	[dB]	0.3
	G/T	[dB/K]	15.2
(C/No)down	[dB-Hz]	99.4	
(C/No)total	[dB-Hz]	98.3	

度衛星放送用搭載機器 (SBE) について, その構成及び機能の概要の報告を行った。

### 謝 辞

BCTS から COMETS に至るまで計画, 開発, 調整に携わって来られた科学技術庁, 通信総合研究所, 宇宙開発事業団, また開発を担当して戴いた日本電気(株), (株)東芝の関係各位に感謝します。

### 参 考 文 献

- (1) ITU, "Radio Regulations, Edition of 1982", Appendix 30.
- (2) 桑田, "放送衛星用周波数の分配はどのように決められたか—1971年の思い出—", 放送技術, pp.952-956, 10, 1982.
- (3) 藤原, 他 "The Outline of Communications and Broadcasting Engineering Test Satellite (COMETS)", ISTS, pp.1303-1311, 1992.
- (4) 福地, 他 "21GHz 帯衛星放送システムの研究動向と COMETS 衛星放送実験計画の概要", ITU ジャーナル, Vol.25, No.12, pp.52-60, 1995.
- (5) 吉本, 他 "22GHz 帯地域別衛星放送システムの検討" 電子通信学会論文誌 vol.J69-B, No11, pp.1258-1266, 1986.
- (6) 藤原洋, 最新 MPEG 教科書マルチメディア通信研究会編, アスキー出版局, 1994.
- (7) 森田和夫 "衛星通信回線における伝搬特性の推定法 (準ミリ〜ミリ波帯の場合)", 研実報, 28, 2, pp.267-274, 1979.
- (8) CCIR: "Propagation data required for space telecommunication systems", Rep. 561-1.
- (9) 大内, 他 "COMETS 21GHz 帯高度衛星放送機器の開発", 37回宇科技連, 1B3, 1994.
- (10) 亀田, 他 "COMETS 21GHz 帯高度衛星放送機器の開発".
- (11) 井口政昭, 他 "4.3.2 高度衛星放送実験 搭載アンテナ系", 通信総研季, 43, 1, pp77-82, Mar.1997.
- (12) 井口政昭, 他 "4.3.3 高度衛星放送実験 搭載中継器系", 通信総研季, 43, 1, pp83-88, Mar.1997.



井口 政昭  
Masaaki IGUCHI  
総合通信部 放送技術研究室  
衛星通信, 衛星放送, ケーブルテレビ  
E-Mail: igu@crl.go.jp



都竹 愛一郎  
Aiichiro TSUZUKU  
総合通信部 放送技術研究室  
デジタル放送  
E-Mail: tsuzuku@crl.go.jp



大内 智晴  
Chiharu OHUCHI  
宇宙通信部 衛星通信研究室  
衛星通信, 衛星放送  
E-Mail: ohuchi@crl.go.jp



福地 一  
Hajime FUKUCHI  
企画部 企画課  
衛星通信, デジタル放送  
E-Mail: fuku@crl.go.jp



粟沢 晃  
Akira AWASAWA  
宇宙開発事業団 軌道上技術開発システム本部 通信放送衛星グループ  
人工衛星のシステム設計及び通信システムの研究 (衛星間通信等)  
E-Mail: Awasawa.Akira@nasda.go.jp

