地球局アンテナ・衛星搭載アンテナ

小西 善彦[†]

キーワード 衛星放送, 衛星通信, アンテナ, 反射鏡, 鏡面修整, 成形ビーム

1 ま え が き

日本における衛星放送/通信は、1963年11月23日に実施された太平洋横断テレビ中継の衛星通信実験から始まった¹⁾。この実験では、偶然にも数時間前に発生したケネディ大統領暗殺のニュースが伝えられ、衛星通信の即時性と有効性を身近に知ることとなった。その後、インテルサットによる静止通信衛星網の実用化により、国際衛星通信は、1960～1970年代に基幹通信網として大きな発展を遂げた。

国際衛星通信の成功に基づき、国内放送/通信の分野においても衛星を利用する研究開発が進められた。1977年には実験用静止通信衛星「さくら (CS)」²⁾、実験用中継放送衛星「ゆり (BS)」³⁾が打ち上げられ、国内衛星放送/通信の実験が開始された。実験の進捗に伴い、1989年6月には、放送衛星「ゆり2号 a/b (BS-2a/b)」により、BS放送の本放送を開始、2000年12月からはBSデジタル放送がスタートし、現在に至っている。また、スカパーJSAT (株) の民間通信衛星を用いたCS放送も1991年から行われている。

ここでは、これらの衛星放送、衛星通信に使用されるアンテナについて紹介を行う。

2節では、各種地球局アンテナを示す。具体的には、放送衛星/通信衛星の管制や、BSデジタル放送信号の衛星へのアップリンクなどに用いられる大形の固定局用アンテナ、および、取材現場からのテレビ映像素材を放送局に伝送するSNG (Satellite News Gathering) システムなどに用いられる小型移動局用アンテナの紹介を行う。

3節では、放送衛星/通信衛星に搭載されるアンテナとして、日本の国土に沿ったビームの形状を実現する成形ビーム反射鏡アンテナの紹介を行う。

2 地球局アンテナ

図1は、上述した太平洋横断テレビ中継実験のために、国際電信電話 (株) (KDD) が茨城宇宙通信実験所 (後の

図1 KDD 茨城宇宙通信実験所第1施設アンテナ^{4) 5)} (20m φカセグレンアンテナ)

KDDI茨城衛星通信センター) に設置した開口径20mのカセグレン型反射鏡アンテナ (カセグレンアンテナと略す) である。カセグレンアンテナは、図2 (a) の破線に示すように、回転放物面 (パラボラ面) の主反射鏡と回転双曲面の副反射鏡を組合せたものであり、光学望遠鏡のカセグレン反射望遠鏡を起源とする^{4) 5)}。この形式は、日本が世界で最初に実用化したものであり、以下の特長を有している。

- (1) 容積と重量の大きい送受信機を主反射鏡の背面に設置できる。
- (2) 1次放射器である小型ホーンアンテナと送受信機を直結できるので、給電損失が小さい。
- (3) 副反射鏡を用いることで、主反射鏡の外縁から地面方向に漏れる電波強度を小さく抑えることができ、雑音温度が低い。

20mカセグレンアンテナは、1966年に開口径22mに改造され、インテルサット衛星通信地球局として用いられた。

さらにカセグレンアンテナは、利得の向上と衛星方向以外への不要輻射の低減 (サイドロープレベルの抑圧) のために、「鏡面修整技術」⁶⁾ および、反射鏡の組合せで電波を低

[†] 三菱電機株式会社

"Satellite Broadcasting Antennas; Earth Station Antennas and Satellite Onboard Antennas" by Yoshihiko Konishi (Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura)

図2 カセグレンアンテナの鏡面修整

損失に伝送する「集束ビーム給電系」⁷⁾の研究開発が行われ、衛星通信地球局の国際標準形式の地位を確立した。

鏡面修整は、2枚の反射鏡の形状を修整 (Shaping) するものである。アンテナで最大利得 (理論限界) を得るためには、開口上の電波の強度分布を一樣にする必要があるが、図2 (b) の破線 (非修整) に示すように、カセグレンアンテナの電波の分布は、中心部が最大で主反射鏡外縁部が小さいテーバ状の分布となっている。そのため、一般のカセグレンアンテナの利得は、理論限界の50～60%である。利得を向上させる鏡面修整では、図2 (a) の実線に示すように副反射鏡の中央部を膨らませて、1次放射器からの電波が主反射鏡のより外側に集中するようにして一樣な強度分布に近づける。開口での位相分布を均一にし、かつ、反射の法則を成立させるため、主反射鏡の深さも副反射鏡に応じて深くなる⁶⁾。

図2 (b) の実線に、鏡面修整カセグレンアンテナの電波の強度分布例を示す。この例はシャープロールオフ分布と呼ばれるものであり、主反射鏡の主要部分では強度をほぼ一樣の分布として高利得を実現し、主反射鏡の外縁部で急激にレベルを下げることで不要輻射の抑圧を行っている。

この鏡面修整技術は、さらに進化を続け、現代の地球局アンテナにも使用されている。放送衛星や通信衛星の管制業務にはKu帯 (地上から衛星へのアップリンクに14GHz帯、衛星から地上へのダウンリンクに12GHz帯) の10m級鏡面修整カセグレンアンテナが使用されている。また、テレビ放送局のSNGシステムや放送局間の番組伝送には、在京キー局などの主局には7m級、地方放送局などのハブ局には4.5～5m級のアンテナが用いられており、これらのアンテナにも鏡面修整が適用されている⁸⁾。図3は、7mおよび4.5mの鏡面修整カセグレンアンテナの例を示す⁹⁾。

図4 (a) は、BSデジタル放送の開始に伴い、BSデジタル放送信号を放送衛星BSAT-2シリーズにアップリンクする設備として、2000年に設置された5.5mオフセットグレゴリアンアンテナである¹⁰⁾。このアンテナでは、アップリンク送信に17GHz帯を使用し、衛星追尾とモニタの受信に

(a) 7mアンテナ

(b) 4.5mアンテナ

 図3 鏡面修整カセグレンアンテナ⁹⁾

(a) アンテナ外観

図4 5.5mオフセットグレゴリアンアンテナ

図5 楕円開口オフセットグレゴリアンアンテナ¹²⁾

12GHz帯を用いるため、広い周波数帯域で高利得、低不要輻射を実現する必要がある。また、アンテナの小形化も意図して、集束ビーム給電技術を応用した3枚反射鏡構成と、副反射鏡の遮蔽(ブロッキング)がないオフセット反射鏡形式が採用されている。

図4(b)に、3枚の反射鏡の構成と、電波の反射の状況を示す。主反射鏡の裏側(地面側)に設置された#1鏡と、副反射鏡である#2鏡の2枚の反射鏡(有効開口径は各1.1m)で集束ビーム給電系を構成し、放物面鏡である主反射鏡の照射を行っている。F1が主反射鏡の焦点であり、主反射鏡からはZ軸方向(衛星方向)に電波が放射され、#2鏡は主鏡に対してブロッキングとはなっていないことがわかる。また、#1鏡と#2鏡の鏡面修整により開口分布をシャーププロールオフ分布とし、高利得と低不要輻射、さらに、低交差偏波を実現している¹¹⁾。

次に、移動局アンテナの紹介を行う。図5は、報道取材現場の映像素材を、通信衛星を介して放送局へ伝送するSNGシステムに用いるKu帯車載アンテナの例である¹²⁾。このアンテナは楕円形状の主反射鏡を採用しており、鏡面修整技術により、円形の1次放射器から放射された電波が、幅2m×高さ1mのほぼ楕円形の主反射鏡に効率よく照射されるように設計されている。また、副反射鏡の遮蔽の影響を除くため、オフセット形式を採用している。横長の主反射鏡形状とすることにより、水平方向のビーム幅を細くし、かつ、水平方向の不要輻射を低減することで、使用する静止通信衛星に隣接する他の静止衛星への干渉を抑える設計となっている。

図5のアンテナも含め、従来のSNG用車載アンテナは、車の屋根上にアンテナを折りたたんだ状態で取材現場に移動し、現場で車をジャッキアップ固定してからアンテナの展開と衛星捕捉を行い、送受信を開始する運用となっていた。しかし、現場での迅速な運用や、地震のように揺れている状態や走行中での使用などが求められ、種々の方式の開発が行われている。例えば文献13)は、電子的にビーム走

(a) 40cmアンテナ

(b) 小型車載局

図6 40cm小型車載アンテナ^{14) 15)}表1 40cm小型車載アンテナの主要性能¹⁵⁾

	受 信	送 信
周波数	12.25~12.75GHz	14.0~14.5GHz
最大EIRP	-	47.7dBW
偏波	送受直交直線偏波	
伝送信号	HDTV or SDTV映像信号:1ch 音声信号:最大8ch	
アンテナ形式	バックファイア一次放射器形式 パラボラアンテナ	
アンテナ利得	31.3dBi	32.5dBi
開口径	直径40cm	
駆動範囲	仰角:15~75°, 方位角:全方位	

査を行うフェーズドアレイアンテナ技術を採用している。

図6は、走行中に通信衛星の自動捕捉と追尾を行う自動追尾アンテナを搭載した小型車載局である^{14) 15)}。棒状のバックファイア1次放射器を使用した開口径40cmの1枚反射鏡アンテナを採用しており、走行中に衛星回線を設定できる。また、MPEG-4 AVC/H.264エンコーダとDVB-S2変調器の組合せによってHDTVの伝送が可能である。表1に40cmアンテナの主要性能を示す¹⁵⁾。

③ 衛星搭載アンテナ

上述の通り、日本の放送衛星と通信衛星は「ゆり(BS)」

図7 日本の放送衛星のITU-R登録アンテナパターン¹⁸⁾ 図8 スーパーバードC2衛星と日本ビーム^{20) 21)}

と「さくら (CS)」から始まったが、これらの衛星に搭載するアンテナでは、中国大陸などのカバレッジエリア外への電波放射 (不要輻射) を最小限に抑え、かつ、日本国土に満遍なく電波を照射する成形ビームアンテナの研究開発が行われてきた。例えば放送衛星では、楕円形状の1次放射器として、楕円コルゲートホーンの開発が行われた¹⁶⁾。通信衛星では、ホーンリフレクタアンテナの鏡面に鏡面修整を行い、三角形形状に近いビームの形成が行われている¹⁷⁾。

図7は、日本の放送衛星に適用する成形ビーム放射パターンとしてITU-Rに登録が行われているものを示す¹⁸⁾。現在、運用が行われている放送衛星BSAT-3a~3c¹⁹⁾に搭載されるアンテナは、図7の放射パターンが得られるように鏡面修整がなされた反射鏡アンテナが使用されている。

通信衛星においても、成形ビームアンテナは多用されている。図8は、スカパーJSATが所有し、ケーブルテレビ放送の配信にも使用されているスーパーバード* C2衛星²⁰⁾と、搭載された日本ビーム用アンテナのビーム形状²¹⁾を示す。

スーパーバードC2衛星は、炭素繊維強化樹脂を反射鏡に用いた6台の成形ビームアンテナを搭載しているが、鏡面修整により反射鏡アンテナの表面に生じた「縞状のうねり」が図8 (a) において確認できる。

* スーパーバードはスカパーJSAT (株) の登録商標です。

4 む す び

地球局アンテナ、および、衛星搭載アンテナの概要を示した。衛星放送/通信は、災害対策をはじめ国民の安全・安心を担う技術として、今後も発展が期待される。

(2012年9月1日受付)

〔文 献〕

- 1) http://www.kddi.com/corporate/news_release/2009/1123/index.html
- 2) http://www.jaxa.jp/projects/sat/cs/index_j.html
- 3) http://www.jaxa.jp/projects/sat/bs/index_j.html
- 4) T. Saito, T. Sasaki, T. Kashimoto and T. Kitsuregawa: "Cassegrain Antenna for Space Communication and Satellite Tracking", ICMCI in Tokyo, M26-4 (Sep. 1964)
- 5) <http://dbnst.nii.ac.jp/pro/detail/902>
- 6) 水澤丕雄: "鏡面修整カセグレンアンテナの放射特性に及ぼす副反射鏡放射パターンの効果", 信学論, J52-B, 2, pp.78-85 (Feb. 1969)
- 7) M. Mizusawa and T. Kitsuregawa: "A Beam-waveguide Feed Having a Symmetric Wave Beams", IEEE Trans. Antennas & Propag., AP-21, 6, pp.884 - 886 (Nov. 1973)
- 8) 大場達博, 日向正端, 香月良夫, 杉原正己, 今井英夫, 藤井秀奇: "ディジタルSNGシステム", 三菱電機技報, 71, 9, pp.818 - 825 (Sep. 1997)
- 9) http://www.mitsubishielectric.co.jp/society/space/products/satellite_systems/sng.html
- 10) 豊田浩一, 大川祐二, 星野良春, 岡村浩彰, 笠原武, 今井一夫: "BSデジタル放送アップリンクセンター設備の概要", 放送技術, 54, 7, pp.874-884 (July 2001)
- 11) 青木克比古, 牧野滋, 浦崎修治, 増田剛徳: "主反射鏡をバラバラとする3枚反射鏡アンテナにおける低交差偏波鏡面系の設計", 信学論, J82-B, 1, pp.71 - 80 (Jan. 1999)
- 12) 青木克比古, 蛭子井貴, 牧野滋, 萩原光男, 松本操一: "SNG用小型地球局アンテナ", 三菱電機技報, 65, 10, pp.1000-1006 (Oct. 1991)
- 13) T. Murata, H. Mitsumoto, M. Fujita, S. Tanaka, K. Takano, K. Imai and N. Toyama: "Portable Digital Satellite News Gathering (SNG) RF Terminal Using a Flat Antenna", IEICE Trans. Commun., E77-B, 12, pp.1501-1994 (Dec. 1994)
- 14) <http://www.mitsubishielectric.co.jp/society/space/products/satellite-equipments/vehicle.htm>
- 15) 尾崎裕, 佐々木源: "災害・危機管理・報道に威力を発揮するヘリコプターおよび小型車載用衛星通信システム", 三菱電機技報, 84, 8, pp.466-470 (Aug. 2010)
- 16) 正源和義: "だ円コルゲートホーンの溝の深さの設計と速度分散特性", 信学論, J74-B-II, 5, pp.309-316 (May 1991)
- 17) T. Katagi and T. Takeichi: "Shaped-beam Hornreflector Antennas", IEEE Trans. Antennas & Propagat., AP-23, 6, pp.757-763 (Nov. 1975)
- 18) BR International Frequency Information Circular (Space Services), IFIC2509, PART II-S, JBSS-1, ID 103560006 (Dec. 2003)
- 19) <http://www.b-sat.co.jp/jigyounanai/index.html>
- 20) 針生健一, 舟田雅彦, 高津寿三鈴: "衛星通信ミッション技術", 三菱電機技報, 83, 3, pp.211-214 (Mar. 2009)
- 21) http://www.sptvjsat.com/satellite_churn?id=32

こにし 善彦 1982年, 早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。1984年, 同大学院電気工学専攻博士前期課程修了。同年, 三菱電機 (株) 入社。以来, レーダ, 衛星通信等のアンテナの研究に従事。現在, 同社情報技術総合研究所アンテナ技術部長。2001R&D100賞, 第58回電気科学技術奨励賞, 第22回電波功績賞総務大臣賞受賞。博士 (工学)。