

勝浦S/X帯20m大型アンテナ設備

西原秀信*
吉田武司*
酒井雄二*

20-meter Large Antenna Equipment for S/X-band Operation at Katsuura Station

Hidenobu Nishihara, Takeshi Yoshida, Yuji Sakai

要旨

勝浦S/X帯20m大型アンテナ設備は、千葉県勝浦市の(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)勝浦宇宙通信所に建設した、衛星追跡管制用の直径20mの大型アンテナ設備である。ALOS-2(陸域観測技術衛星：だいち2号)の主局として、S帯送受信及びX帯受信の衛星運用に対応しており、将来はKa帯受信機能を追加できる拡張性も持っている。アンテナ放射給電部には、高効率なリングフォーカスカセグレン方式と周波数選択反射鏡を含む集束ビーム給電方式を採用し、送信装置として自社開発した低消費電力(従来比：約30%減)な1kW電力増幅装置を含む送受信装置を、アンテナ上部の機器室内に収納したコンパクトな構造が特長である。一方、アンテナ駆動性能は、30kW ACサーボモ

ータを用いたアンチバックラッシュ駆動方式によって、直径20m級の大型アンテナとしては、三菱電機最高レベル(従来比：約40%増)の高速駆動性能を可能にした。当社の大型アンテナ製作のノウハウを集約し、短工期と高信頼性を両立させた設備として2013年9月に納入し、JAXAのアンテナとしては、64m(臼田宇宙空間観測所)、34m(内之浦宇宙空間観測所)に次ぐ口径のアンテナとなっている。将来、他の地球観測衛星や近地球科学衛星の追跡管制運用・ミッション運用での活躍も期待されている。

本稿では、大型アンテナ設備の開発計画を短期間で進める上での課題とその解決策、及びアンテナ設備や1kW電力増幅装置の構成・主要性能について述べる。

特集
I



画像提供：JAXA

勝浦S/X帯20m大型アンテナ設備

勝浦宇宙通信所に完成した直径20mの大型アンテナ設備。

*通信機製作所

1. ま え が き

勝浦S/X帯20m大型アンテナ設備は、地球観測衛星及び近地球科学衛星などの追跡管制やミッションデータの受信を行うことを目的に、JAXA勝浦宇宙通信所に整備された設備(図1)である。開発当初から設計・製作・工場試験・据付工事・現地試験までを短期間で実現するため、開発計画を効率的に進める必要があった。

本稿では、大型アンテナ設備の開発計画を短期間で進める上での課題とその解決策、及びアンテナ設備やS帯1kW電力増幅装置の構成・主要性能について述べる。

2. アンテナ設備の特長と課題

2.1 アンテナ設備の特長

この設備は、S帯送受信及びX帯受信の衛星運用に対応しており、S帯捕捉アンテナによる捕捉機能も持っている。また、将来Ka帯受信機能を追加できる拡張性を考慮し、送受信装置をアンテナ上部機器室に、制御装置をアンテナ下部機器室に収納したコンパクトな構造が特長で、高速駆動性能の実現と省電力な送信装置の製品化を実現している。

2.2 開発計画の課題

この設備の開発計画は、当初ALOS-2打ち上げに向けた整備によって、従来に比べ6か月以上短期間で実施することが求められていた。大型アンテナ製作に必要な十分な期間が確保できない中、効率的に作業を進めるために、類似機種的设计・製作方法を一部適用することを早期に決定し、高信頼性を保ち、かつ工程短縮の実現を目指した設計をスタートさせた。一方、アンテナ設備とインタフェースする他設備に対しても、主要な設備間インタフェースを基本設計の早い段階で決定し、技術リスクを軽減する調整を行うことで設計フェーズでの検討作業を加速した。

大型アンテナ特有の課題として、特に製作フェーズでの特殊加工技術課題や大型構造物の保管などに困難が伴い、据付工事フェーズでも、現地への輸送車両や据付工事エリ



図1. アンテナ設備(画像提供: JAXA)

アの制約があり通常輸送での計画ができない困難も生じた。試作品での検証や保管期間の短縮化、JIT(Just In Time)輸送出荷を徹底するなど、開発工程の遅延リスクを減らす対策を講じることで、設計開始から据付工事完了までを約18か月間で実施し、次工程である現地試験フェーズへの移行を実現した。

3. アンテナ設備とS帯1kW電力増幅装置

3.1 アンテナ設備の構成と主要性能

アンテナ設備は、アンテナ装置(機構部/放射給電部)、アンテナ制御装置、プログラム追尾装置、捕捉アンテナ及び付帯設備で構成している。アンテナ装置は、公称直径20mのカセグレン形アンテナで、S帯の送受信機能及びX帯の受信機能を持ち、2軸(AZ(方位角)/EL(仰角))制御で衛星追尾を行う。また、アンテナ装置で受信したRF(Radio Frequency)信号(S帯/X帯)を送受信測距設備^(注1)へ出力する。アンテナ制御装置は、送受信測距設備から出力された追尾誤差信号を基に各軸の誤差演算を行い、アンテナ装置の制御を行う。プログラム追尾装置は、送受信測距設備から送信されたアンテナ予報値をアンテナ制御装置へ送信する機能を持ち、衛星の初期捕捉のためのサーチ機能を持つ。捕捉アンテナは、S帯電波受信による自動追尾機能を持ち、衛星異常時及びアンテナ予報値精度が保証されないなどの場合に、送受信測距設備からの制御によって使用される。また、捕捉アンテナで受信したRF信号(S帯)を送受信測距設備へ出力する。付帯設備は、作業用に通話できる機能及び信号を中継する機能を持つ。主要性能を表1に示す。

(注1) JAXAによって別途整備された設備

表1. アンテナ設備の主要性能

項目	主要性能
アンテナ形式	集束ビームカセグレンアンテナ
マウント方式	AZ/ELマウント
駆動範囲	AZ軸: ±270°以上 EL軸: 0~90°以上
最大角速度	AZ軸: 7°/s以上 EL軸: 2.5°/s以上
最大角加速度	AZ軸: 2.5°/s ² 以上 EL軸: 2.5°/s ² 以上
耐風性	運用: 最大20m/s 駆動可能: 最大35m/s 非破壊: 最大60m/s
耐震性	水平方向: 0.2G 垂直方向: 0.2G
送信出力周波数	S帯: 2,025~2,120MHz
受信入力周波数	S帯: 2,200~2,300MHz X帯: 8,025~8,500MHz
アンテナ利得	S帯送信: 48.5dBi以上 S帯受信: 49.3dBi以上 X帯受信: 61.5dBi以上
雑音温度	2,200MHzで87K以下 8,025MHzで65K以下 (晴天時, 仰角5°, 気温25°C)

3.1.1 S/X帯給電方式

S/X帯給電部を上部機器室の限られたスペースに実装するため、S帯を反射し、X帯を透過する周波数選択反射鏡(Frequency Selective Reflector: FSR)を採用し、給電部を分散するとともに、S帯用に集束反射鏡を採用することによって、給電部の小規模化を実現した。図2にレイアウトを示す。FSRを用いることによってS/X帯を分波する機能が不要になり、給電損失が最小限にとどめられる。また、一次放射器のビーム幅を帯域ごとに最適化できるため、開口能率の周波数特性も個別に最適化でき、双方の周波数帯で高能率性を両立させることが可能となった。

3.1.2 駆動速度と可視パス比率

衛星追尾でEL角度が高くなるほど、AZ駆動速度が必要になるが、このアンテナはAZ駆動速度を当社大型アンテナでは最速(従来比:40%増)となる7°/sを実現した。これによってALOS-2軌道で追尾可能なEL角度は84.3°となり、AZ/ELマウント形式のアンテナで可視パス比率(可視パス/全パス)98.6%を達成している(図3)。

3.1.3 アンテナ機器室の設置

アンテナセンターリング内部に上部機器室、AZ台車上に下部機器室と2つの機器室を設けた(図4)。

送信設備及び受信設備のRF装置を上部機器室に実装することによって、給電線による損失を最小限に抑えている。

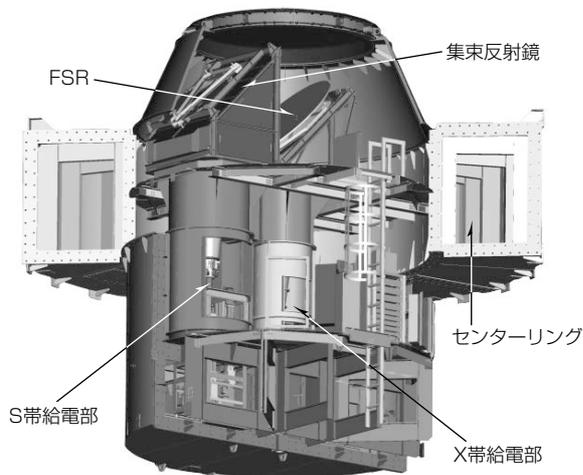


図2. 上部機器室内部のレイアウト

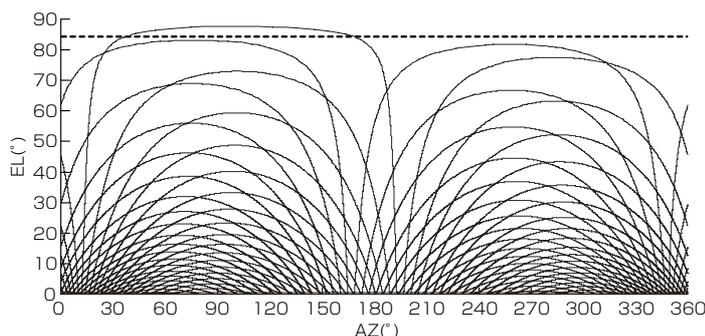


図3. アンテナ可視(ALOS-2軌道)

また、下部機器室を設けることによって、アンテナ基礎部下や周辺にアンテナ設備の機器を収容するための建屋などの建設が不要となる。

3.2 S帯1kW電力増幅装置

衛星追跡管制システム用のS帯1kW電力増幅装置を開発した。近年、地球温暖化や電気料金の高騰などから、低消費電力化の要求が強まっている。衛星追跡管制システムの中で、送信用電力増幅装置の消費電力の割合は大きく、特に消費電力低減の要求が強い。この装置は、最大出力(1kW)時の消費電力だけでなく、定常運用(100~300W)時の消費電力を抑えた設計としている。特に、低出力時に消費電力を抑えるエコモードを搭載した。

3.2.1 S帯1kW電力増幅装置の構成

図5にS帯1kW電力増幅装置のブロック図、図6に外観を示す。前段にはプリアンプを持ち、後段は、200W出力HPA(High Power Amplifier)パネルを8台合成して、1kW出力を実現している。出力部には、高調波及び受信帯を抑圧するフィルタ、アンテナ/ダミー切替え用のスイッチ及び出力電力レベルのモニタリングが可能なパワーメータを持っている。プリアンプには可変減衰器を内蔵し、コリメーション設備対向から衛星対向に必要な電力範囲(10mW~1kW)に対応している。

3.2.2 主要性能

表2にS帯1kW電力増幅装置の主要性能(設計値)を示す。

3.2.3 消費電力の低減方法

(1) 増幅素子の動作級

出力電力は衛星の性能、状態によって変更可能で、緊急時は1kWの高出力、定常運用時は100~300W出力で使用。使用した最終段のGaN FET(Field Effect Transistor)の動作級はAB級とし、低出力時の消費電力を抑えている。

(2) 飽和電力の最適化

HPAは飽和電力近くで動作させる程、効率が高くなる

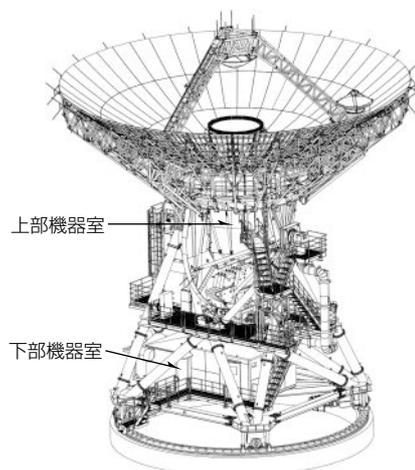


図4. アンテナ機器室

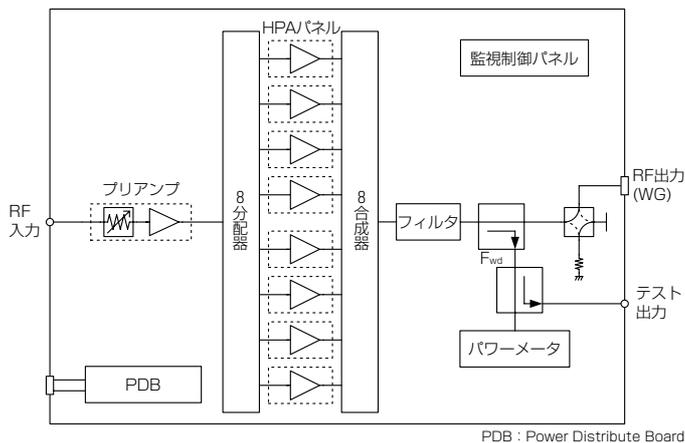


図5. S帯1kW電力増幅装置のブロック図

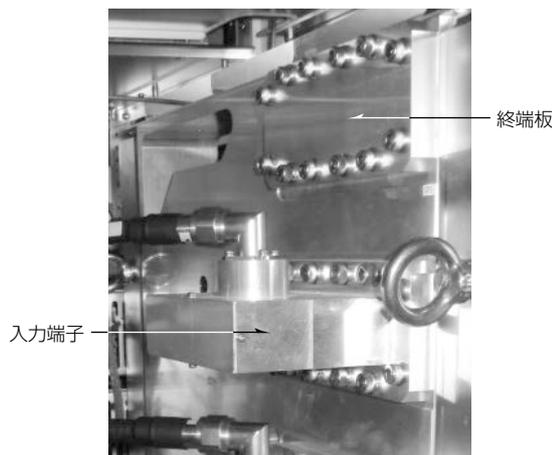


図7. 導波管合成器の入力端子部分



図6. S帯1kW電力増幅装置の外観(画像提供：JAXA)

表2. S帯1kW電力増幅装置の主要性能

項目	性能
周波数範囲	2,025~2,120MHz
最大出力電力	1 kW以上
利得	60dB以上
可変利得範囲	0~-63.75dB, 0.25dBstep
消費電力	7.5kVA以下(従来比30%減)

傾向がある。低出力時は飽和電力に余裕がでるため、バイアス制御によって飽和電力を最適化した動作モード(エコモード)を備えることで、低消費電力化を図った。

(3) HPAパネルの合成数の最適化

一般的に使用される合成器は、2のn乗の合成数となることが多い。今回開発した合成器は、合成数を任意の数に変更可能な導波管合成器⁽¹⁾⁽²⁾を開発して採用した。

図7に導波管合成器の入力端子部分の写真を示す。最大8合成が可能な導波管合成器の1つの端子を終端板に変更することによって、7合成器として動作している。

表3に、出力電力に対する消費電力の測定結果を示す。当社従来品と比較して、1kW出力時は52.6%減、300W出力(エコモード)時は64.5%減を達成した。6台でも1kW出力は可能であるが、故障時の利得低減量を抑えるため、7合成を採用した。

表3. 消費電力の測定結果

	消費電力	従来比	備考
1kW出力時			
8合成時	5.08kVA	40.5%減	
7合成時	4.05kVA	52.6%減	採用
6合成時	3.60kVA	57.9%減	
300W出力時(エコモード)			
8合成時	4.07kVA	59.7%減	
7合成時	3.59kVA	64.5%減	採用
6合成時	2.04kVA	79.8%減	

4. む す び

勝浦S/X帯20m大型アンテナ設備の特長や開発計画の課題と対策、及びアンテナ設備とS帯1kW電力増幅装置について述べた。この設備は、現地据付工事後に、現地設備内試験及び他設備とのインテグレーション試験を実施し、2013年9月にJAXAへ納入した。今後は、ALOS-2などの地球観測衛星や近地球科学衛星の追跡管制運用・ミッション運用で利用され、様々な運用に供するものと考えている。当社としては、約10年ぶりの大型アンテナ設備の建設であり、自社開発を進めた1kW電力増幅装置の製品化も含め、有識者の意見・ノウハウも取り入れながら無事完成に至った。この設備の開発に際し、JAXAの多大な支援を始め、多くの関係者からの支援・協力に対し深謝する。

参 考 文 献

- (1) 廣田明道, ほか: 入力数変更可能なS帯導波管電力合成回路の試作評価, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, C-2-89 (2013)
- (2) 廣田明道, ほか: 入力数変更可能なS帯導波管電力合成回路の設計, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, C-2-72 (2013)