

美笹深宇宙探査用地上局アンテナサブシステム

Misasa Deep Space Station Antenna Subsystem

*電子通信システム製作所

要 旨

美笹(みささ)深宇宙探査用地上局アンテナサブシステムは、臼田宇宙空間観測所64mアンテナ設備の後継として、長野県佐久市の臼田宇宙空間観測所美笹局に建設した大型アンテナ設備である。

X帯送受信及びKa帯受信の探査機運用に対応しており、将来の機能拡張に向けて段階的に装置を追加できる拡張性も持っている。三菱電機の大型アンテナや望遠鏡設計のノウハウを集約し、高効率な鏡面修整リングフォーカスカセグレ方式、周波数選択反射鏡を含む集束ビーム給電方式、実績のあるマスターコリメーター方式及び55kW ACサーボモーターを用いたアンチバックラッシュ駆動方式を採用している。高い鏡面精度と指向精度を実現するため、熱・構造設計に空冷ファンによる日射への熱対策を積極的に取り入れており、従来設備の臼田宇宙空間観測所64mアンテナ設備と同等以上の受信性能を実現している。

このアンテナは、2016年1月に設計着手し、2020年9月に納入した。2023年5月には機能付加工事も完了し、現在は主以小惑星探査機“はやぶさ2”の運用に利用されている。

1. ま え が き

美笹深宇宙探査用地上局アンテナサブシステムは、深宇宙探査機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整備された大型アンテナである(図1)。この設備は当社の大型アンテナや望遠鏡設計のノウハウを集約することで、既存の臼田宇宙空間観測所64mアンテナより開口径が10m小さいにもかかわらず同等以上の性能を実現している。

本稿では、設備の概要と採用した技術について述べる。



©JAXA/GREAT2 プロジェクト



図1-美笹深宇宙探査用地上局アンテナサブシステム

2. アンテナサブシステムの概要

2.1 アンテナサブシステムの特長

美笹深宇宙探査用地上局アンテナサブシステムは、はやぶさ2、MMO(Mercury Magnetospheric Orbiter)など深宇宙探査機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、臼田宇宙空間観測所美笹局に建設した地上局システムである。当社以外が整備した送受信サブシステムや低雑音受信増幅設備、基準信号／時刻標準装置、施設／基盤設備とインターフェースし、相模原キャンパス及び筑波宇宙センターからの探査機の追跡管制及びミッション運用を行うことが可能である。

2.2 アンテナサブシステムの主要性能

アンテナサブシステムの主要性能諸元を表1に示す。

表1-美笹深宇宙探査用地上局アンテナサブシステムの主要性能諸元

アンテナ開口径	54m Φ	
アンテナ形式	修整リングフォーカスカセグレ	
周波数帯	X帯送受信, Ka帯受信	Ka帯(32GHz帯, 19GHz帯, 22GHz帯, 26GHz帯)
X帯受信G/T	54.02dB/K以上(実測値, Effective G/T)	仰角15°, 現地実測値を設計条件に換算した値
Ka帯受信G/T	59.61dB/K以上(設計値, Effective G/T)	仰角15°(詳細設計報告書)
X帯送信利得	70.14dBi以上(設計値)	仰角80°(詳細設計報告書)
送信耐電力	20kW以上	
アンテナ駆動範囲	AZ: 北を0°として, 180° \pm 270°以上	
	EL: 水平を0°として, 7°から90°まで	
最大駆動速度	AZ/EL共に1°/s以上	
最大駆動加速度	AZ/EL共に1°/s ² 以上	

AZ: Azimuth, EL: Elevation

3. アンテナサブシステムの構成

アンテナサブシステムは、アンテナ装置、アンテナ給電装置、アンテナ制御装置、アンテナ付帯装置で構成している。アンテナサブシステムのシステム系統図を図2に示す。

3.1 アンテナ装置

アンテナ装置は直径54mの主反射鏡、直径5mの副反射鏡及び集束ビーム給電系を持つ修整リングフォーカスカセグレアンテナであり、高い鏡面精度を得るためにホモロジー設計法を応用している。アンテナ装置には2階建てのアンテナ機器室を設けており、アンテナサブシステムの機器だけでなく、低雑音受信増幅装置、送受信サブシステムの装置を取納している。

アンテナ装置は高い鏡面精度や指向精度を要求されている。その実現のため構造系設計で実施した対策の一例について述べる。

(1) バックキングストラクチャー

主反射鏡を支持するバックキングストラクチャーは鏡面精度や指向精度に対する熱変形感度が高いため、図3に示す熱対策を採用している。

主反射鏡パネルと日よけカバーの表面には白色塗装をすることによって入熱を抑制し、さらにそれぞれの裏面は低放射率塗料を塗装することで輻射(ふくしゃ)による温度上昇を抑制している(特許出願済み)。

また強制空冷用ファンでメインリブ内に外気を取り込んで外気温に追従させることで外気温とアンテナ構造物の間の温度差発生を抑制し、構造物内の熱変形の偏在に起因するひずみを最小化させて、鏡面形状を高精度に保持している。さらに日よけカバーの内側やメインリブ内の温まった空気を自然換気できるように日よけカバーに隙間を設けている。

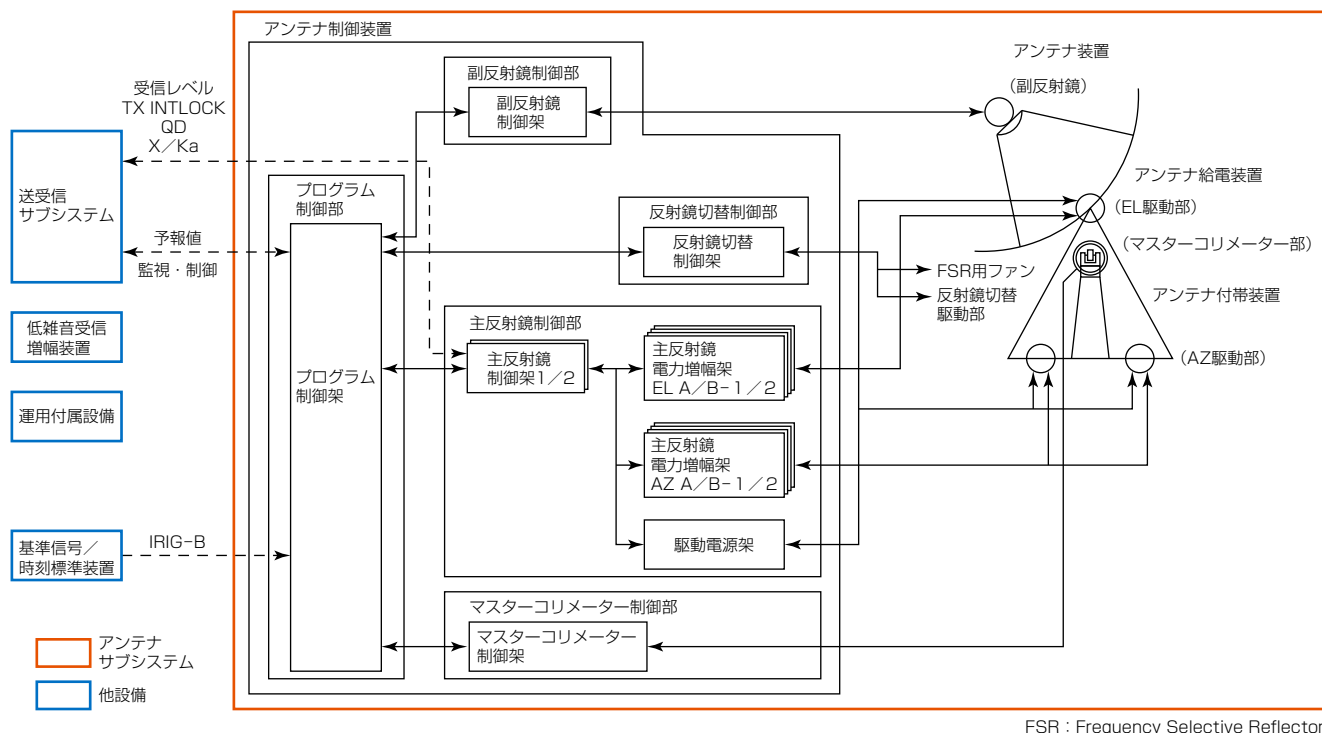


図2-アンテナサブシステムのシステム系統図

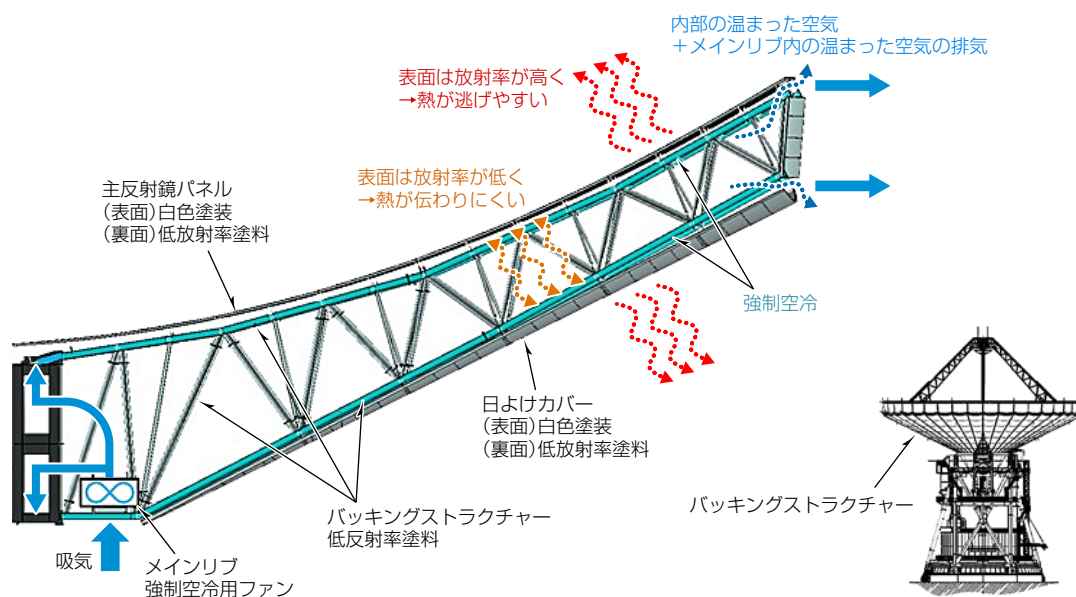


図3-バッキングストラクチャーの熱対策

(2) マスターコリメーター

マスターコリメーターのイメージを図4に示す。大型アンテナで高い指向精度を満たすためには、通常のAZ、EL軸での角度検出ではなく、主反射鏡そのものの指向方向を直接測定することが有効である。そこで、主反射鏡構造の束ねであるセンターリングに固定された平面鏡(コリメーターミラー)に光を当てて、その反射方向をコリメーターで測定することによって、主反射鏡そのものの指向方向を測定する。アンテナ基礎とは独立したタワー構造を設けAZ・EL交点にマスターコリメーターを設置することで、マスターコリメーターを基準とした角度誤差の検出・補正を行い、高い指向精度を得る方式を採用している。熱変形によって、基準になるマスターコリメーターの位置に誤差が生じてしまうと、正確に補正を行うことができないため、マスターコリメーターを支えるマスターコリメータータワーには、日よけカバー・断熱材の取付けによる入熱抑制や強制空冷による温度むら抑制を行っている。温度むら抑制の方法は空気攪拌(かくはん)ダクトを介してタワー内にファンの空気を送り込むことで、温度の均一化を図り、タワーの周方向の温度むらを抑制している。

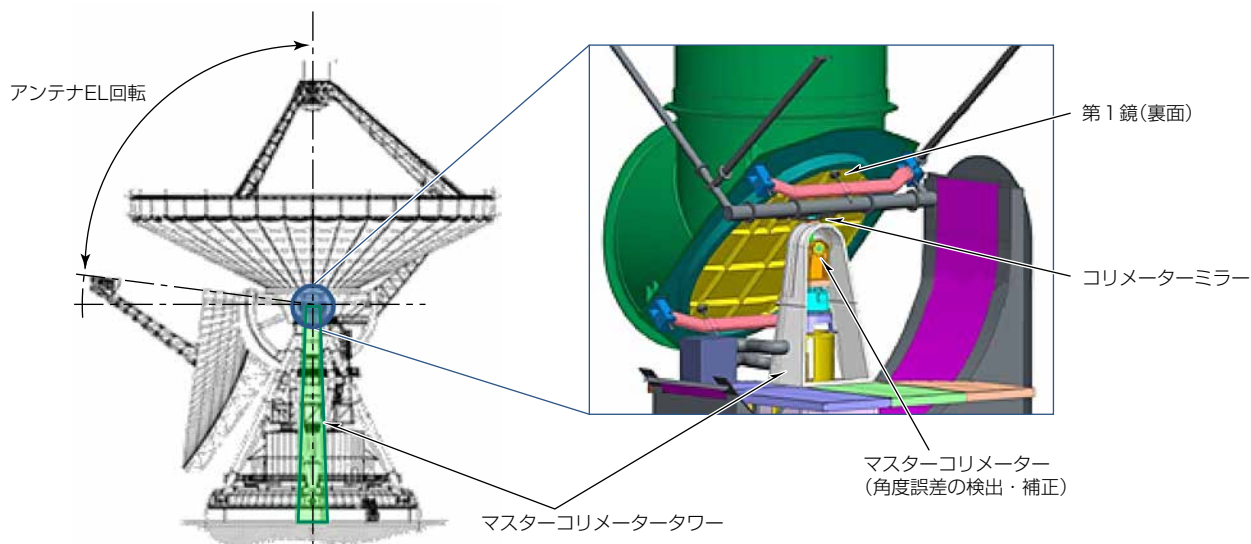


図4-マスターコリメーターのイメージ図

3.2 アンテナ給電装置

アンテナ装置，集束ビーム給電系を含めたアンテナ放射給電系のブロック図を図5に示す。

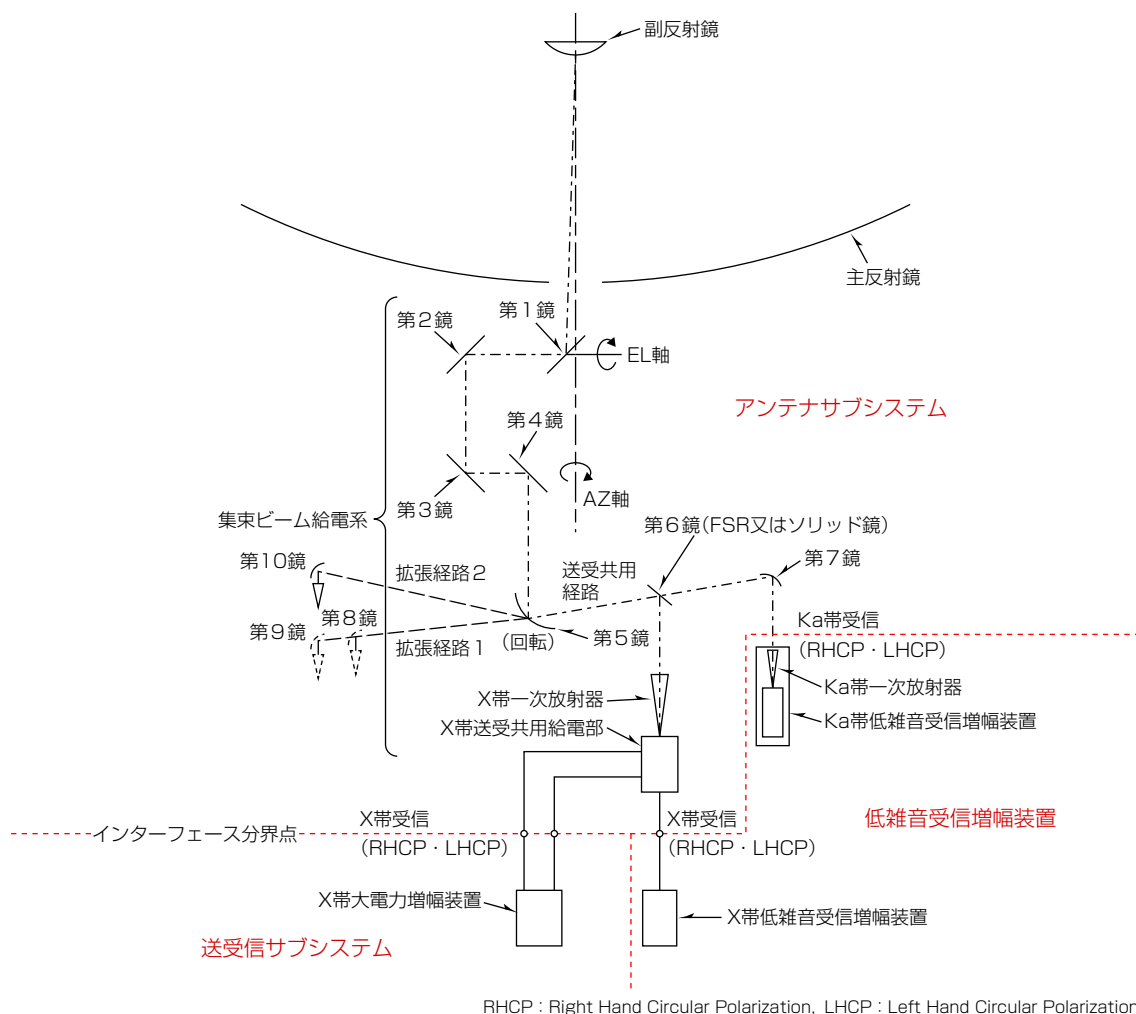


図5-アンテナ放射給電系ブロック図

アンテナ放射給電系は、X帯送受信及びKa帯受信を行う送受共用経路(第6鏡下、第7鏡下)のほかに拡張経路を2系統設けている。経路の切替えは第5鏡を回転することによって実現する。

拡張経路1(第8鏡下、第9鏡下)は将来拡張用としており、拡張経路2(第10鏡下)には将来衛星対応として送受共用経路(第6鏡下、第7鏡下)とは異なる周波数帯(19GHz帯、22GHz帯、26GHz帯)を受信できるよう整備されている。

送受共用経路(第6鏡下、第7鏡下)の動作と設計内容を次に述べる。

(1) X帯送信系

X帯送受共用給電部は、送受信サブシステムとのインターフェースから入力されたX帯送信信号を円偏波に変換し、X帯一次放射器に給電する。X帯一次放射器は、X帯送信信号を集束ビーム給電系に照射し、副反射鏡、主反射鏡を介して、自由空間へ放射する。

(2) X帯受信系

自由空間から到来するX帯受信信号は、主反射鏡、副反射鏡を介して集束ビーム給電系に伝えられる。集束ビーム給電系の第6鏡はFSRとソリッド鏡の選択方式になっている。FSR使用時は第6鏡でX帯受信信号とKa帯受信信号の分波が可能になる。X帯一次放射器で受信したX帯受信信号は、円偏波の状態のままX帯送受共用給電部から低雑音受信増幅装置とのインターフェースに伝えられる。

(3) Ka帯受信系

自由空間から到来するKa帯受信信号は、主反射鏡、副反射鏡を介して集束ビーム給電系に伝えられる。第6鏡にFSRを使用することでX帯受信信号とKa帯受信信号を分波し、第7鏡を介してKa帯一次放射器でKa帯受信信号を受信する。

Ka帯一次放射器は低雑音受信増幅装置のクライオスタット内部に設置されるため、低雑音受信増幅装置とのインターフェースはKa帯一次放射器開口になる。

3.3 アンテナ制御装置

アンテナ駆動制御系は、図2に示すように主反射鏡制御部、副反射鏡制御部、マスターコリメーター制御部の3系統で構成している。主反射鏡制御部はアンテナ装置のAZ及びEL各4台のモーターによるアンチバックラッシュ駆動を制御している。副反射鏡制御部は主反射鏡の重力変形に応じて副反射鏡の位置及び姿勢が最適になるよう制御している。マスターコリメーター制御部はマスターコリメーターのAZ及びELを制御している。

探査機の軌道予報値に従ってマスターコリメーターを駆動し、マスターコリメーターを基準とした光学角度誤差によって主反射鏡を駆動することで高い指向精度を実現している。

4. む す び

美笹深宇宙探査用地上局アンテナサブシステムの概要と、採用した技術について述べた。この設備は2020年9月にJAXA(国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)に納入した。また、2023年5月にはアンテナサブシステムとしての機能付加工事を完了しており、地上局としては2024年3月まで機能付加後の施行運用を行った。今後、水星磁気圏探査機“みお”、火星衛星探査計画“MMX(Martian Moons eXploration)”，深宇宙探査技術実証機“DESTINY+”，NASAが開発を進めるナンシー・グレイス・ローマン宇宙望遠鏡、二重小惑星探査計画“HERA”等の運用に利用される計画である。開発に際して、JAXAの多大な支援を始め、多くの関係者からの支援・協力に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 大西 徹，ほか：GREATのシステム設計，第62回宇宙科学技術連合講演会講演集，3C05(2018)
- (2) 阿戸弘人，ほか：GREATのX帯/Ka帯アンテナ技術，第62回宇宙科学技術連合講演会講演集，3C06(2018)