

SOLAR-Cへ向けた深宇宙バンド対応X帯/Ka帯共用フィーダの開発

戸田知朗 富木淳史 川勝康弘 (ISAS/JAXA) 池田一樹 尾保手茂樹 鹿子嶋憲一 (茨城大)

◆ Xバンド/Kaバンド搭載通信システム

□ Xバンド/Kaバンドを共に利用できる搭載通信システムの需要。

➢ Xバンドの役割: 宇宙機生存に必要な全ての通信機能(コマンド伝送、ハウスキーピングデータ取得、位置決定情報の提供)。

➢ Kaバンドの役割: X帯に不足する性能の補完(高速伝送、高精度位置決定)。

□ ISAS宇宙機に搭載可能なシステム。

➢ 最小(ミニマル)構成(例を図1: SOLAR-C通信系構成案に示す)。

➢ Xバンド/Kaバンド要素の共通化: アンテナ、基準発振器の共用化など。

➢ Xバンド/Kaバンド機能の限定化: 低速Xバンド(HGAまたはMGA、LGA)、高速Kaバンド(HGAのみ)。

➢ 最小構成には冗長と機能配分とによりヴァリエーションが考えられる。

右図は、①アンテナ、②スイッチ構成(アンテナルート選択)、③増幅段、④スイッチ構成(送受信機選択)、⑤送受信機から通信系を構成する。各段①～⑤には上述のようにヴァリエーションがあり(例えば、増幅器やアンテナの構成など)独立に変更可である。SOLAR-C(太陽極域観測ミッション)は、Xバンド/Kaバンド共用HGAをジンバル駆動し、送受信機をXバンド/Kaバンド共に完全な冗長構成とする手厚さが特長である。Xバンド/Kaバンドの1系、2系はクロスストラップにコヒーレントな系を構成する。増幅段は単に3種の提示。

現在の開発状況が表1である。方式を含めて全く実績のない新規開発品にX帯/Ka帯共用フィーダがある。

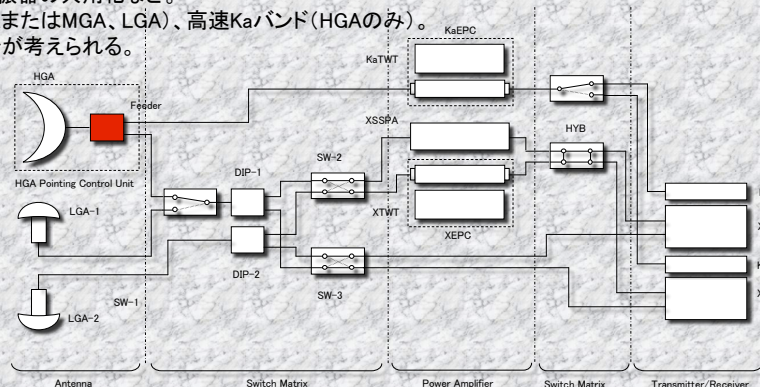


図1 SOLAR-C通信系構成案(例)。

◆ Xバンド/Kaバンド共用フィーダ開発

□ NASAで実績のあるXバンド/Kaバンド共用フィーダ(図2参照)

➢ 実績: 火星ミッション(Mars Global Surveyor, Mars Reconnaissance Orbiter)。

Cassiniでは同種のX/Ku/Kaバンド共用フィーダの開発。

➢ 特長: コルゲートホーン(Xバンド)+ディスクオンロード(Kaバンド)アンテナ。

良好な円偏波、入力インピーダンス特性。しかし複雑な同軸構造と大きな寸法。

□ ISAS/茨城大で開発中のXバンド/Kaバンド共用フィーダ(図3参照)

➢ 特長: Lプローブ給電矩形パッチシークエンシャルアレイ(Xバンド)

+ヘリカルアレイ(Kaバンド)アンテナ。

➢ 比較: 平面型であり奥行きがない。アンテナ径はほぼ半分。X帯はLプローブ給電矩形パッチアレイによる弱点の克服(比帯域の拡大(15%以上)、偏波特性の改善)。Xバンド、Kaバンドの割当帯域(各7.145 - 7.190GHz, 8.400 - 8.450GHz, 31.800 - 32.300GHz)をカバーする広帯域特性が実現。

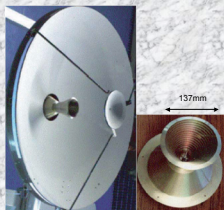


図2 MGS Xバンド/KaバンドHGA(左)と共用フィーダ(右) (NASA Deep Space Communication and Navigation Series "Spaceborne Antennas for Planetary Explorations"より)。

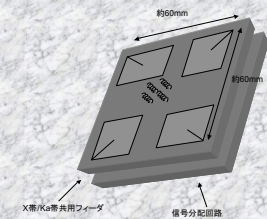


図3 開発中のXバンド/Kaバンド共用フィーダのイメージ図。周囲矩形パッチアレイがXバンド用、中央ヘリカルアレイがKaバンド用。サイズは約500四方。2段になっているのはフィーダアンテナ(上段)+信号分配回路(下段)。

表1 図1のSOLAR-C通信系構成品の開発状況。

品名	開発状況	備考
HGA	High-Gain Antenna	高利得アンテナ
HGA Control Unit	高利得アンテナ制御ユニット	HGA(1/4中心)の駆動化と高効率化(85%)が課題。シミュレーションは2段、共用フィーダは新規開発。
Ka-Ka Feeder	X-Ka Dual Band Feeder	Ka帯、X帯両用フィーダ
LGA-1	Low-Gain Antenna	低利得アンテナ
LGA-2	Low-Gain Antenna	低利得アンテナ
SW-1	Switch (SPDT, High Power)	1対2切替器
SW-2	Switch (SPDT, High Power)	2対2切替器
SW-3	Switch (SPDT, Low Power)	2対2切替器
DIP-1	Diplexer	ダイレクタ
DIP-2	Diplexer	ダイレクタ
TWT-1	Travelling Wave Tube	travelling wave tube
EPC-1	Electronic Power Conditioner	TWTA電源
SSPA	Solid State Power Amplifier	固体電力増幅器
HYB	Hybrid Divider	信号分配器
XTRP-1	X-Band Transponder	X帯トランスミッタ
XTRP-2	X-Band Transponder	X帯トランスミッタ
KATX-1	Ka-Band Transmitter	Ka帯トランスミッタ
KATX-2	Ka-Band Transmitter	Ka帯トランスミッタ

□ 開発中の共用フィーダの技術

➢ Lプローブ給電による比帯域の改善(図4)

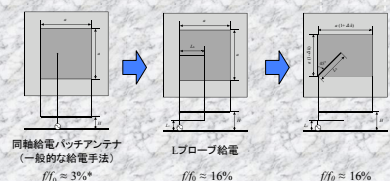


図4 Lプローブ給電。

* VSWR ≤ 1.5以下の特性となる比帯域

➢ 矩形パッチによる偏波特性の改善(図5)

(アレイ近接配置と疎結合の同時実現)

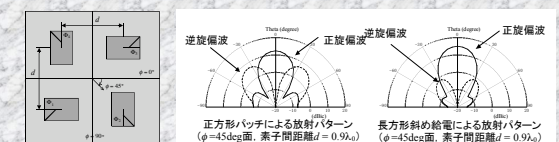


図5 矩形パッチシークエンシャルアレイ。

素子間結合が小さいため、逆旋偏波が抑制され、正旋偏波の利得も増加

➢ 設計した共用フィーダ(1次放射器)外観(図6)

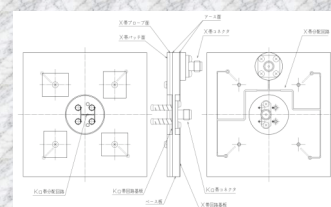


図6 フィーダ外観。

□ 共用フィーダの放射特性

表2 フィーダおよび想定HGA仕様。

X帯フィーダ仕様	
矩形パッチ	0.24λ × 0.277λ
Lプローブ長	0.161λ
基板	NPCH220A (εr = 1.27, tan δ = 0.0005)
基板厚	0.0415λ
素子間隔	0.9λ (重心間)
Ka帯フィーダ仕様	
円周	λ
傾斜角	14deg
ヘリカル巻数	4
導線径	0.24mm φ
立ち上げ高	1.5mm
共用フィーダと組み合わせる想定HGA	
開口径	1.5m φ
タイプ	カセグレン型
周波数	X帯 10MHz@7.17GHz, 8.425GHz Ka帯 500MHz@32.05GHz (いずれも割当帯域の中心)
偏波	右旋
FD比	0.33 (等価FD比 1.45)

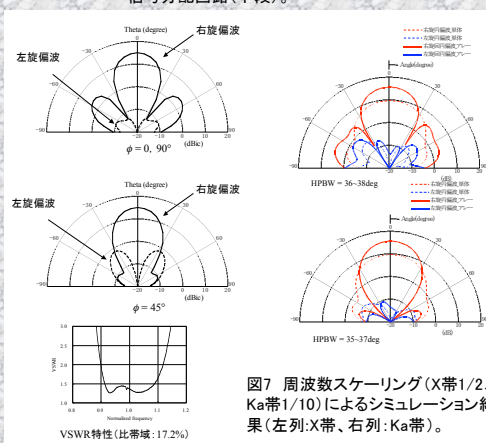


図7 周波数スケール(X帯1/2、Ka帯1/10)によるシミュレーション結果(左列:X帯、右列:Ka帯)。