

# 小型反射鏡アンテナ技術

内藤 出\*  
山本伸一\*\*  
縫村修次\*\*\*

## Small Reflector Antenna Technology

Izuru Naito, Shinichi Yamamoto, Shuji Nuimura

### 要 旨

近年、乗客向けインターネットサービス、運行管理、乗務員の福利厚生、災害・事件の現場からの高画質映像の伝送のため、航空機、船舶、車両などの移動体を対象としたブロードバンド通信サービスの要望が高まっている。これらの移動体の移動範囲、災害時運用を鑑(かんが)みると、広域性、耐災害性の特長を持つ衛星通信が最適である。

ブロードバンド移動体衛星通信システムでは、衛星との間でのブロードバンド通信を可能とし、かつ移動体の姿勢変動などに対応して衛星追尾が可能な、高利得のビーム走査アンテナを移動体に搭載する必要がある。このようなアンテナとして、低姿勢化が容易で移動体への搭載性に優れることから、APAA(Active Phased Array Antennas)などの研究開発が盛んに行われている。しかし、APAAは構造が複雑で多数のモジュールが必要となることから、コスト面での課題が大きい。これに対し、妥当なコストで必要な機能・性能の実現が期待できる小型反射鏡アンテナを機械駆動する構成が考えられる。

一般に、反射鏡アンテナは、電波の波長に比べて十分大きな反射鏡を用いることができれば、簡単な構造で比較的容易に高性能を実現できるため、固定衛星通信用アンテナとして広く実用化されている。しかし、反射鏡が小さくなると反射面として十分機能しなくなり、特性が劣化する。このため、小型反射鏡アンテナでは、大きさの制約の下での要求性能の実現が課題となる。

本稿では、小型反射鏡アンテナの課題を整理し、その対応策について述べる。また、設計例として、Ku帯ブロードバンド船舶衛星通信端末用に開発した小型反射鏡アンテナについて述べる。このアンテナは、1mクラスのアンテナとしては極めて高いピーク電力密度(最大EIRP(Equivalent Isotropically Radiated Power)<sup>(注1)</sup>密度39.7dBW/40kHz)で、Eutelsat Standard Mの型式認証を取得している。

(注1) 実効放射電力のことで、アンテナから放射される電力の強さを表す指標である。



Ku帯ブロードバンド船舶衛星通信端末

ヘリサット/小型車載局用

### 移動体衛星通信地球局用小型反射鏡アンテナ

左：Ku帯ブロードバンド船舶衛星通信端末(Ku-Mate SX-5300)用1mアンテナ(2枚鏡形式)、Eutelsat Standard Mの型式認証取得  
右：ヘリサット/小型車載局用Ku帯40cmアンテナ(バックファイア一次放射器を用いた1枚鏡形式)、HD(High Definition)映像伝送に対応

1. ま え が き

乗客向けインターネットサービスや運行管理、災害や事件発生時の現場からの高画質映像伝送へのニーズから、航空機、船舶、車両などの移動体を対象としたブロードバンド移動体衛星通信サービスの要望が高まっている<sup>(1)(2)(3)</sup>。このようなシステムでは、移動体に高利得のビーム走査アンテナを搭載する必要がある。従来、このようなビーム走査アンテナとして、低姿勢化が容易で移動体への搭載性に優れることから、APAAなどの平面アンテナの研究開発が盛んに行われている<sup>(4)(5)</sup>。しかし、APAAは構造が複雑で多数のモジュールが必要となることから、コスト面での課題が大きい。これに対して、妥当なコストで必要な機能・性能を実現できるアンテナとして、小型反射鏡アンテナを機械駆動する構成が考えられる<sup>(1)(2)(3)</sup>。

一般に、反射鏡アンテナは、電波の波長に比べて十分大きな反射鏡を用いることができれば、簡単な構造で比較的容易に高性能を実現できるため、固定衛星通信用アンテナとして広く実用化されている。しかし、反射鏡が小さくなると反射面として十分機能しなくなり、特性が劣化する。このため、小型反射鏡アンテナでは、大きさの制約の下での要求性能の実現が課題となる。

本稿では、小型反射鏡アンテナの課題を整理し、その対応策について述べる。また、設計例として、Ku帯ブロードバンド船舶衛星通信端末用に開発した小型反射鏡アンテナについて述べる。

2. 小型反射鏡アンテナの課題と対応策

反射鏡アンテナの構成は、一般に、オフセット形式とセンターフィード形式とが考えられる。アンテナ特性を決定する主要なパラメータであるアンテナ開口径を同一とした場合の構成の比較を図1に示す。オフセット形式では、主反射鏡から放射される電波の進行方向に遮るものがないが、アンテナ構成がかなり大きくなる。これに対して、センターフィード形式は、主反射鏡の前面にある一次放射器や副反射鏡が、主反射鏡から放射される電波を遮る(ブロッキングする)ものの、コンパクトな構成を実現できる。したがって、反射鏡アンテナの小型化には、センターフィード形式の適用が有効である。

これに対し、アンテナの放射特性の観点では、ブロッキングはアンテナの高効率化・低サイドローブ化を阻害し、一般に、アンテナ開口径に対するブロッキング径の比が小さいほど性能が向上する。一方、ブロッキングが存在する条件下で実現可能な開口能率とサイドローブレベル、及びこれを実現する理想的な開口分布も知られている<sup>(6)</sup>。したがって、反射鏡アンテナで小型化と高性能(高効率・低サイドローブ)化とを両立するためには、小型のセンターフ

ード形式でブロッキングを小さくした上で、いかに理想に近い最適な開口分布を実現するかが課題となる。

ブロッキングの低減には、1枚鏡形式の場合、一次放射器の小型化が重要で、バックファイア形式<sup>(注2)</sup>の一次放射器<sup>(1)</sup>が有効である。バックファイア一次放射器は自立でき、支持構造が不用になるため、これに起因するブロッキングを回避できる点からも有利である。しかしながら、バックファイア一次放射器では、一次放射パターンを細かく制御できないため、開口分布の最適化には限界がある。

一方、2枚鏡形式の場合、鏡面修整技術を適用することによって、開口分布を最適化できる利点がある。しかしながら、副反射鏡は、反射面としての機能を実現し、鏡面修整による開口分布を最適化する役割を果たすためには、ある程度(少なくとも数波長)以上の大きさが必要になるため、ブロッキング低減の観点では限界がある。

以上の結果を表1に示す。アンテナ開口径が比較的大きく、反射面として機能する大きさの副反射鏡をブロッキングとして許容できる場合、開口分布の最適化に優れる2枚鏡形式が有利である。一方、アンテナ開口径が小さい場合、  
(注2) 後方に電波を放射する形式である。

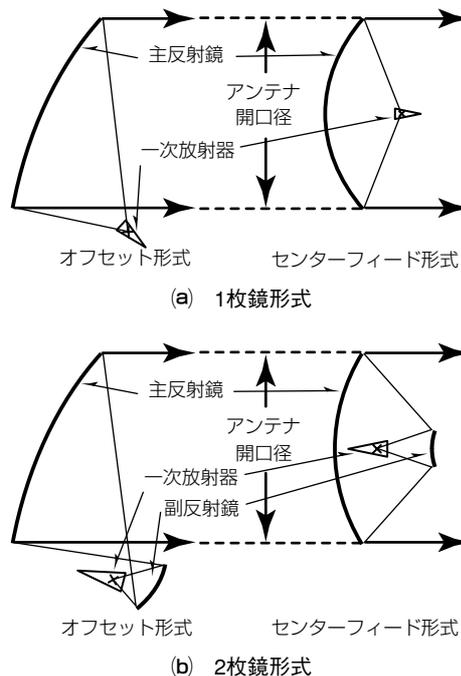


図1. アンテナ開口径を同一とした場合のオフセット形式とセンターフィード形式との比較

表1. 小型反射鏡アンテナの課題と対応策

課題	対応策
小型化	センターフィード形式の適用
高効率・低サイドローブ化	ブロッキングの低減
	・バックファイア形式小型一次放射器の適用(1枚鏡形式)
	・副反射鏡の小径化(2枚鏡形式)
	開口分布の最適化
	・一次放射パターンの最適化(1枚鏡形式)
	・鏡面修整(2枚鏡形式)

副反射鏡をブロッキングとして許容できないため、1枚鏡形式が有利である。したがって、放射特性と大きさ、特にアンテナ開口径に対応して適切なアンテナ構成を選定する必要がある。

### 3. 小型反射鏡アンテナの設計例

ここでは、開口径1mのKu帯船舶衛星通信アンテナ<sup>(2)</sup>の設計例を示す。

#### 3.1 設計手順

設計手順は次のとおりである。

##### (1) アンテナ構成の決定

1枚鏡形式と2枚鏡形式とを比較検討した結果、アンテナ開口径が50波長程度と比較的大きいことから、2枚鏡形式を選定した。鏡面構成は、副反射鏡ブロッキングの影響低減、及び一次放射器設置の自由度確保の観点から、軸偏位(リングフォーカス)グレゴリアン形式とした。鏡面構成を図2に示す。

##### (2) アンテナ諸元の設計

このアンテナは、船舶の位置・姿勢の変動に対応して衛星を追尾するため、全体を機械駆動してビーム走査する。したがって、装置としての小型化を実現するため、全駆動領域にわたってアンテナが掃引する領域の体積を最小とするように主反射鏡の焦点距離を決定した。また、副反射鏡径は、ブロッキングを許容できる範囲で開口分布の最適化に必要な最小限の6波長程度とした。

##### (3) 鏡面修整による開口分布の最適化

ブロッキングが存在する条件下での理想的な開口分布は知られている<sup>(6)</sup>が、小型反射鏡アンテナで実際に実現することは困難である。このため、まず、幾何(きか)光学的に鏡面修整を行い、次に、波動的な解析を適用して補正を行い理想開口分布に近付けることで、開口分布の最適化を行った。なお、波動的な解析では、副反射鏡径が必要最小限の大きさであることから、解析精度の確保が課題となる。ここでは、ホーン、副反射鏡、給電導波管などを全体として有限要素法(Finite Element Method: FEM)で解析を行うことで解析の高精度化を図った。

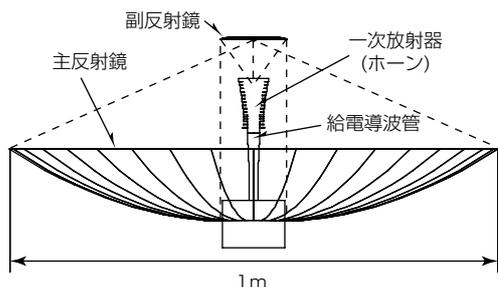


図2. 鏡面構成

##### (4) 放射特性の確認

(3)で述べたとおり、主反射鏡を照射する波源として、ホーン、副反射鏡、給電導波管などを全体としてFEMで解析を行った結果を用いることで、高精度化を図った。主反射鏡上に誘起される電流を物理光学(PO)近似で求め、アンテナ放射特性を解析した。

#### 3.2 波動的解析を適用した鏡面修整の例

ここでは、波動的解析を適用した開口分布の最適化の例として、開口の位相分布の補正について述べる。

補正前のアンテナ開口でのE(電界)/H(磁界)面の位相分布を、半径方向座標を横軸として図3に示す。理想的な一様位相分布に対して、最大60°(+/-30°)程度のずれがあることが分かる。

図3の開口の位相分布は、主反射鏡を鏡面修整することで、理想的な一様位相分布に近付けることができる。主反射鏡の鏡軸方向の修整量を図4に示す。ここでは、製造性の観点から、軸対称な主反射鏡とするため、修整量として、主反射鏡の各点で求められる値の周方向にわたる平均値を用いている。鏡面修整前後の放射パターンを図5に示す。鏡面修整の効果で、E面の第一、第二サイドローブ、H面の第一サイドローブが低減されていることが分かる。

#### 3.3 測定結果

放射パターンの測定結果を図6に示す。図中、Eutelsat Standard M<sup>(7)</sup>のEIRP密度に対する軸外輻射(ふくしゃ)規格を併せて示している。縦軸は、EIRP密度とし、放射パターンはEutelsat Standard Mで認定された最大EIRP

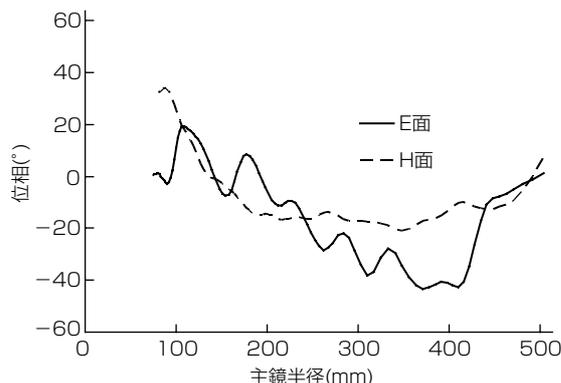


図3. 補正前の開口の位相分布

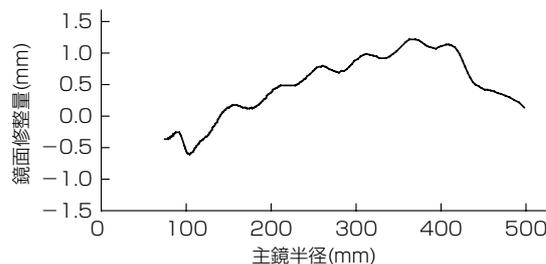


図4. 主反射鏡の鏡軸方向修整量

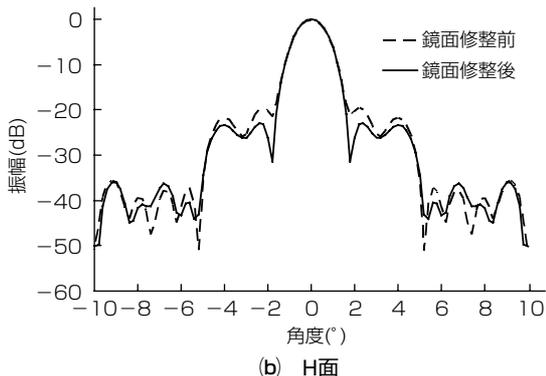
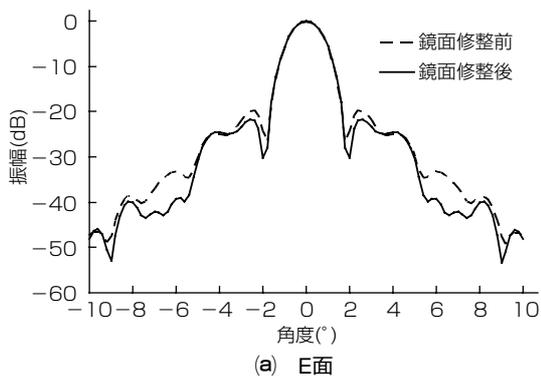


図 5. 主鏡の鏡面修整前後の放射パターンの比較

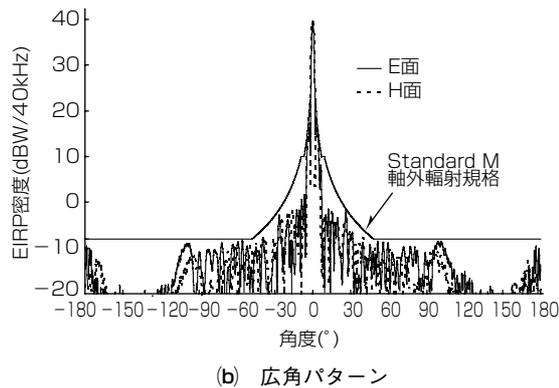
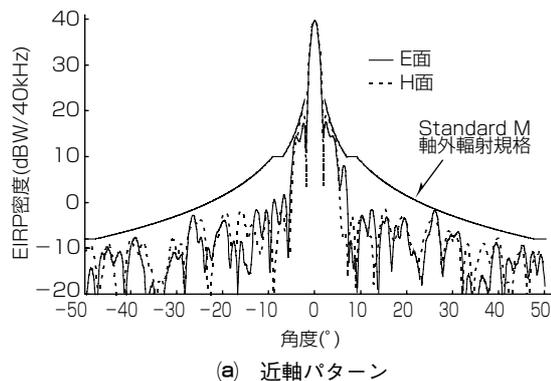


図 6. 放射パターンの測定結果(14.25GHz)

密度39.7dBW/40kHzをピーク値としている。1mクラスのアンテナとしては極めて高いピーク電力密度(最大EIRP密度39.7dBW/40kHz)でEutelsat Standard Mのサイドローブ・軸外輻射規格を満たし、型式認証を取得した。

#### 4. む す び

小型反射鏡アンテナの技術課題を整理し、その対応策について述べた。小型反射鏡アンテナは、妥当なコストで必要な機能・性能の実現が期待できるため、ブロードバンド衛星通信を実現する移動体搭載アンテナなどとして有効である。一般に、反射鏡アンテナは、電波の波長に比べて十分大きな反射鏡を用いることができれば、簡単な構造で比較的容易に高性能を実現できるが、反射鏡が小さくなると反射面として十分機能しなくなり、特性が劣化する。このため、小型反射鏡アンテナでは、大きさの制約の下での要求性能の実現が課題となる。アンテナ開口径、鏡面構成、実現できる特性は密接に関係しており、アンテナ開口径に応じて鏡面構成を適切に選定することが重要である。また、Ku帯ブロードバンド船舶衛星通信端末用に開発した小型反射鏡アンテナの設計例を示した。このアンテナは、1mクラスのアンテナとしては極めて高いピーク電力密度(最大EIRP密度39.7dBW/40kHz)でEutelsat Standard Mのサイドローブ・軸外輻射規格を満たし、型式認証を取得している。

#### 参 考 文 献

- (1) 土谷牧夫：ブロードバンド移動体衛星通信用アンテナ技術，三菱電機技報，**83**，No.3，187～190（2009）
- (2) 佐藤裕之，ほか：船上での高速ブロードバンド通信を可能にする船上地球局 Ku-Mate SX-5300，三菱電機技報，**84**，No.8，462～465（2010）
- (3) 尾崎 裕，ほか：災害・危機管理・報道に威力を発揮するヘリコプター及び小型車載用衛星通信システム，三菱電機技報，**84**，No. 8，466～470（2010）
- (4) Konishi, Y. : Phased array antennas : IEICE Trans. Commun., **E86-B**, No.3, 954～967（2002）
- (5) Nishikawa, K. : Land vehicle antennas : IEICE Trans. Commun., **E86-B**, No.3, 993～1004（2002）
- (6) 後藤尚久，ほか：与えられたサイドローブレベルを持つカセグレンアンテナの最大開口能率，電子通信学会論文誌B，**J61-B**，No.5，321～326（1978）
- (7) Eutelsat : Earth station minimum technical and operational requirements, STANDARD M EESS 502 ISSUE 12-REV.0（2009）