

論文審査の結果の要旨

氏名：瀧川 道生

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：2つの異なる断面形状を有するビーム走査可能な反射鏡アンテナの構成と設計法に関する研究

審査委員：（主査） 教授 三枝 健二

（副査） 教授 山崎 恆樹 教授 坂口 浩一

世界各地で発生している自然災害の監視や、地表の土地利用、森林、農作物の状況の把握など、宇宙から地球を観測する衛星リモートセンシングの需要が増加している。これに伴い、衛星リモートセンシングによって得られる観測データの高分解能化、観測回数の高頻度化、観測領域の広範囲化が求められている。この要求に対して、近年、複数の衛星を組み合わせた衛星連携システムによる観測についての検討が活発化している。このシステムの実現には、衛星1機毎の低コスト化が必要である。衛星の低コスト化にあたっては、小型ロケットの利用、衛星自体の小型、軽量化が必要となる。

衛星リモートセンシングに使用される観測センサには、電波センサと光学センサがあるが、電波センサは昼夜、天候によらず観測が可能な全天候型の特長を有している。この電波センサの主なものとして、合成開口レーダがある。合成開口レーダを構成するアンテナは、その目的から高利得及びビーム走査機能が要求される。これらの要求を満たすアンテナは大型かつ構造が複雑となってしまう、小型衛星の搭載には適さない。

そこで申請者は、小型リモートセンシング衛星に搭載する高性能アンテナの実現及び設計法の確立を目的として研究を行った。対象とする衛星は、500kg級の小型衛星としている。まず、基本構成として、高利得の実現が可能で、かつ軽量材料や展開構造による小型化が可能な反射鏡アンテナに着目した。その中で、ビーム走査特性に優れたイメージングリフレクタアンテナの構成を採用することとした。しかし、イメージングリフレクタアンテナはオフセット形式の鏡面系をとるため、小型化にはなり難い。そこで、イメージングリフレクタアンテナにセンターフィード形式を採用し、その反射鏡アンテナの構成と設計法について検討を行った。提案したアンテナについて、解析及び実験により構成と設計法について有効性を明らかにした。論文はその成果をまとめたものであり、序論から結論までの5章からなる。以下、論文の章立てに沿って、研究の意義や審査判断の内容を報告し、論文審査の結果の要旨とする。

第1章は、序論として研究の背景と目的について述べている。背景では、リモートセンシング衛星の搭載例を挙げることで、研究の社会的意義が明確にされている。また、新規提案アンテナの基となるイメージングリフレクタアンテナの動作原理が示され、本論文の研究課題を明らかにしている。

第2章は、一次元に電子ビーム走査が可能なセンターフィード形式反射鏡アンテナを提案し、設計法及び基本特性の解析・実験結果について述べている。ここで、ビーム走査を一次元に限定しているのは、複数衛星による衛星連携システムや衛星姿勢制御の導入により、二次元走査に拡張することが可能だからである。そのため、ビームを走査する断面はイメージングリフレクタアンテナ（放物線）、ビームを走査しない断面は軸対称カセグレンアンテナ（双曲線）とした、直交する2つの断面形状が異なるアンテナを提案している。なお、ビームを走査しない断面は、イメージングリフレクタをセンターフィード形式としたときの課題となる一次放射器によるブロッキング領域の改善を目指してカセグレンアンテナとしている。このような2つの異なる二次曲線で構成される反射鏡アンテナを実現するために、幾何光学的手法である二重曲面反射鏡の理論を応用した設計法を示している。この設計法は、直交断面で異なるパターンを有する任意の反射鏡アンテナに適用可能であり、また簡便に行えることから実用性は高い。

本論文では、その設計法をもとに直交断面の開口径600mmの試作アンテナを設計、製作している。実験を行った結果、ビーム走査角0度における開口能率は約48%、ビーム走査時の利得変化は0.8dBと得られ、計算結果と良好に一致することも確認されている。さらに、計算によって、ビーム走査時の利得を同サイズの開口径を有する変位給電方式の反射鏡アンテナと比較した結果、提案アンテナの方が2.6dB高くなることが確認され、アンテナ構成と設計法の有用性が認められる。

第3章は、多重反射による性能の劣化を低減する新しい一次元に電子ビーム走査が可能な反射鏡アンテナを提案し、設計法及び基本特性の解析・実験結果について述べている。第2章のアンテナ提案後の検討より、提案アンテナでは一次放射器と副反射鏡の間で多重反射が生じていることが判明した。多重反射はサイドローブの劣化や利得の低下、利得の周波数変動を生じさせていることが確認されたため、多重反射を低減すればアンテナのさらなる性能の向上が目指せる。そこで、申請者はビームを走査しない断面の形状を、副反射鏡を表現する2つの焦点の軸を傾けた鏡面構成であるリングフォーカスカスケグレンアンテナとすることを提案している。これによって、幾何光学的に、一次放射器から放射され副反射鏡で反射された電波が、一次放射器へ入射することがないようにすることができる。このアンテナを実現する設計法は、第2章と同様に二重曲面反射鏡理論を用いているが、2つの断面のうちの1つにリングフォーカス形式のアンテナの設計法が導入されている。このように本論文で提案している設計法は、直交断面で異なるパターンを有する反射鏡アンテナにおいて、任意の鏡面形状を組み合わせることが可能である。

ここでは、その設計法をもとに第2章のアンテナと同サイズの試作アンテナを設計、製作している。実験を行った結果、利得の周波数特性の平坦度は、第2章のアンテナの2dBp-pに対し、0.9dBp-pと得られ1.1dBの改善効果が確認されている。また、利得は0.4dBの増加が確認されている。これらの結果より、本アンテナの構成と設計法の有用性が認められる。

第4章は、広域観測を実現する楕円開口形状を有する一次元に電子ビーム走査が可能な反射鏡アンテナを提案し、設計法及び基本特性の解析・実験結果について述べている。合成開口レーダは、通常、アンテナの3dBビーム幅内を撮像範囲とする。そのため、広範囲の観測の実現には、必要なアンテナ利得を確保する開口面積を有しつつ、エレベーション方向の開口径がアジマス方向と比較して小さくなるような、直交断面で開口径が異なる反射鏡アンテナの実現が必要となる。そこで、申請者は楕円開口形状を有する反射鏡アンテナを提案している。このアンテナを実現する設計法は、第3章の設計法を基にしているが、ロケットへの搭載性を考慮し形状が楕円となるようにしている。このように本論文で提案している設計法は、直交断面の開口径が異なる場合でも適用が可能である特長を有していると言え、この点からも実用性は高い。

ここでは、その設計法をもとに直交断面内でビーム幅が2倍以上異なる楕円開口径1600mm×600mmの試作アンテナを設計、製作している。実験を行った結果、開口能率は50%以上を達成し、直交断面内で異なるビーム幅が得られることが確認されている。これらの結果より、本アンテナの構成と設計法の有用性が認められる。さらに、試作した楕円開口径1600mm×600mmのアンテナと、同一開口面積となる円形開口径980mmのアンテナにおいて、観測衛星における一般的な対地高度約500km、地表面への入射角20度の条件で、アンテナの3dBビーム幅から換算できる観測幅がそれぞれ求められている。その結果、後者の17kmに対して前者は約28kmと得られており、楕円開口とした場合の方が10km以上も広域観測を実現する。これより、本研究で提案した設計法により広域観測が可能な反射鏡アンテナの実現性が示された。

第5章は申請者の研究成果をまとめ、結論として整理している。

以上、申請者は小型観測衛星に搭載可能で、かつビーム走査特性に優れた合成開口レーダ用の反射鏡アンテナの実現を可能とした。本論文の研究成果は、衛星リモートセンシングの観測システムの発展に寄与するものと認められる。加えて、ここで示された設計法は、直交断面で異なるパターンを有する任意の反射鏡アンテナに適用可能であり、また簡便な方法であることから、アンテナの研究分野の進展に貢献するものと認められる。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、またはその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以上

平成28年5月19日