

氏 名	しょう げん かず よし 正 源 和 義
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 5 年 6 月 10 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 54 年 3 月 東北大学大学院工学研究科情報工学専攻前期課程修了
学位論文題目	実用放送衛星搭載用高度成形ビームアンテナの研究
論文審査委員	東北大学教授 安達 三郎      東北大学教授 水野 皓司 東北大学教授 米山 務

## 論 文 内 容 要 旨

日本の実用放送衛星の歴史は1984年1月に打ち上げられたBS-2 aで始まった。次いで、1986年2月に打ち上げられたBS-2 bは順調に動作し、NHKは同年12月より2ch放送を開始し、1989年8月からは本放送とした。衛星放送はテレビの難視解消という開発当初からの目的に加え、将来のニューメディアであるハイビジョンの実用化をめざし、1989年6月からは1日1時間のハイビジョン定時試験放送が始まった。さらに、1990年8月に後継機であるBS-3aが、1991年8月にはBS-3bが打ち上げられ、安定した衛星放送の運用が行なわれている。

放送衛星の場合、静止軌道位置や周波数の有効利用のため、世界無線主官庁会議(WARC-BS)においてそれらは予め各国に割り当てられている。放送衛星搭載アンテナの設計に当たっては、日本の地上だけを効率よくカバーする成形ビームアンテナの実現と共に、諸外国の衛星放送との干渉妨害を防ぐために無線通信規則(RR, AP30)のサイドローブや交差偏波特性に関する技術基準を満たす必要がある。

日本の第2世代の実用放送衛星BS-3には、だ円コルゲートホーンと矩形コルゲートホーンから構成される給電器と1枚のだ円開口オフセット反射鏡を使った成形ビームアンテナが搭載された。BS-3のアンテナはフィードリンクに14GHz帯を使う送受共用アンテナであるため、12GHz帯と14GHz帯の両周波数帯で特性が良好であること、特に交差偏波特性がよいことが必要であった。しかし、だ円コルゲートホーンの広帯域にわたる周波数特性は理論的にまだ十分に知られていなかった。

BS-3では、BS-2と比べ、特に沖縄方向のアンテナ利得が3dB以上改善された。しかし、沖縄を含めた日本の主要地域内のアンテナ利得にはまだ差が残っている。このため、将来の放送衛星搭載用アンテナでは、日本全土をほぼ均一にカバーする成形ビームの実現という課題が残っている。高精度な成形ビームを得るためのアンテナとして、近年、マルチホーンアンテナに代わって鏡面修整アンテナが注目を集めているが、日本の地形に適用できるかは不明であった。また、サイドローブ特性の詳細な報告もなされていなかった。

現在、BS-3用のフィーダリンク送信地球局の規模は主局で80dBW程度である。しかし、無線通信規則(RR. AP30A)では地球局の等価等方放射電力は87dBW(さらに降雨時は3.2~3.7dBの電力増力を行なう)という大きな値が想定されており、現在の規模の地球局を日本全国で運用するには、諸外国の放送衛星との干渉妨害を避ける性能のよい17GHz帯搭載用フィーダリンクアンテナが要求される。

このような背景のもとで、放送衛星搭載用アンテナに関する本研究の目的は以下の通りである。

第1に、BS-3に搭載された円コルゲートホーンの解析手法を定式化すること、コルゲート溝の深さの設計法を確立すること、さらに電気特性を明らかにすること、特に、広帯域にわたる周波数特性を明らかにすることである。

第2に、円コルゲートホーンを使った反射鏡アンテナ、および人口密集値である首都圏の利得を改善した成形ビームアンテナを設計、解析することである。

第3に、BS-3以降の将来の放送衛星搭載を目標に、日本の地形に極めてよく合った高精度な鏡面修整成形ビームアンテナの設計法を確立し、フィーダリンクおよびダウンリンクアンテナを実現することである。

放送衛星搭載用アンテナの性能向上は衛星放送システムにおいて極めて重要な役割を果たす。ダウンリンクアンテナに関する本研究の意義は、限られた衛星出力を効率よく利用し、日本全土に高品質な衛星放送サービスを可能にすることである。日本の地形に極めてよく合う放射パターンを持ち、かつ無線通信規則を満たす放送衛星搭載用高度成形ビームアンテナを実現することは、日本全国で家庭用受信アンテナの大きさを均一にできる効果があり、これにより受信アンテナ製作コストの低減、さらには衛星放送のさらなる普及、発展に貢献するものと期待される。また、フィーダリンクアンテナに関する本研究の意義は、現在と同規模の地球局の運用を可能にすることである。

本論文は、日本の放送衛星搭載用オフセット反射鏡成形ビームアンテナの高性能化に関する研究をまとめたもので、1章から7章までで構成される。ここでは各章の概要と研究の独自性を述べる。

1章「序論」では、本研究の背景と目的とを明らかにしている。

2章「実用放送衛星搭載用アンテナの設計条件」では、将来の放送衛星搭載用アンテナに要求されるサービスエリア内のアンテナ利得を明らかにしている。また、ダウンリンクアンテナについてはサイドローブ、交差偏波に関するRR. AP30技術基準、フィーダリンクアンテナについては外国の放送衛星との干渉防止に関するRR. AP30Aの技術基準等から実用放送衛星搭載用アンテナの設

計条件を明らかにしている。

3章「だ円コルゲートホーン」では、BS-3に搭載されたアンテナの給電ホーンであるだ円コルゲートホーンの解析法として、だ円コルゲートホーンをだ円コルゲート導波管で近似し、導波管内部の電磁界とコルゲート溝内の電磁界を境界で接続する方法を提案している。この手法を用いて、溝の深さの設計を行い、だ円コルゲートホーンの周波数特性（速度分数特性）、および、ホーンからの放射特性を明らかにしている。この結果、だ円コルゲートホーンではバランス条件を満たす周波数帯域が狭いこと、また、偶モードと奇モードの位相定数の差はバランス条件を満たす周波数より高い領域で、広帯域にわたってほぼ一定になることなどを明らかにし、だ円コルゲートホーン設計上の基礎資料を得ている。

4章「だ円コルゲートホーンを用いた成形ビームアンテナ」では、だ円コルゲートホーンと反射鏡を組み合わせたアンテナを設計、試作、測定した結果を示している。だ円コルゲートホーンと長方形ホーンとを組み合わせて、日本を効率よく照射する放送衛星搭載用アンテナの1次給電器とした。この1次給電器とだ円開口のオフセットパラボラ反射鏡とを組み合わせたアンテナによって、日本の主要部を37dBi以上で照射することができることを明らかにしている。さらに、同じ1次給電器を用い、パラボラ反射鏡の1部を偏移させた鏡面偏移アンテナによって、日本の人口密集地のアンテナ利得を約1dB改善できることを示し、試作、測定によってこのアンテナの設計手法の妥当性を確認している。

5章「仮想マルチホーン法による鏡面修整成形ビームアンテナ」では、BS-3以後の放送衛星に搭載して日本全土をほぼ均一にカバーする高精度な成形ビームアンテナを得ることを目的に、仮想マルチホーン法による鏡面修整法を確立している。この方法によって、所望の放射パターンに対応する反射鏡電流分布（振幅、位相）を容易に、直観的に求めることができる。実際に、開口径2.8mの2枚鏡面修整アンテナを設計し、日本の主要部を41dBi以上、離島を含む日本全土を28dBi以上のアンテナ利得でカバーする12GHz帯ダウンリンクアンテナを得ている。また、このアンテナを試作、測定することによって本設計法の妥当性と有効性を実証している。

6章「最適化法による鏡面修整成形ビームアンテナ」では、BS-3以後の放送衛星搭載を目的に、最適化法による鏡面修整法を確立している。この方法によって、高精度な成形ビームアンテナが得られるばかりでなく、従来の鏡面修整法で問題になっていた鏡面段差を解消し、さらに特定方向のサイドロープレベルを抑制することが可能になる。開口径2.3mで反射鏡が、各々、2枚と1枚の12GHz帯ダウンリンクアンテナを設計し、北海道から沖縄までを40dBi以上、離島を含む日本全土を28dBi以上のアンテナ利得でカバーする放送衛星搭載用成形ビームアンテナを、鏡面段差のない滑らかな鏡面によって実現している。また、これらの鏡面修整アンテナを試作、測定することによって本設計法の妥当性と有効性を実証すると共に、サイドロープレベル、交差偏波レベルと

も無線通信規則を十分満たしていることを確認している。

また、アンテナ構造として反射鏡の数が2枚のものと1枚のものと主ビーム形状やサイドローブ特性等を比較検討し、どちらも放送衛星搭載用として有効であることを示している。

さらに、この鏡面修整技術を応用して諸外国の放送衛星との干渉妨害を防ぐ開口径 1.6 mの17 GHz帯フィーダリンクアンテナの設計を行っている。このアンテナを試作、測定し、アンテナポインティングエラー 0.1度を考慮して求めた外国方向のアンテナ利得の最大値が相対レベルで-18 dB以下、交差偏波利得が-42 dB以下という非常に良好な値を得ている。この結果、現在と同規模の81 dBW程度のフィーダリンク用送信地球局の運用を可能にする見通しを得ている。

7章「結言」は、本論文の結論であり、本研究で得られた成果を要約して述べている。

## 審査結果の要旨

日本の衛星放送の歴史は1978年に打ち上げられた実験放送衛星にさかのぼる。

その後、実用放送衛星の実現に向けて多大の努力がなされ、これが実用化された。今後は更に高度な放送衛星の実現が期待されている。本論文は著者がNHKにおいて実用放送衛星に搭載される高度成形ビームアンテナの開発に関して行って来たこれまでの一連の研究成果をまとめたもので全編7章よりなる。

第1章は序論で、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、日本の実用放送衛星搭載用アンテナの設計条件として、所要アンテナ利得、諸外国の放送衛星との干渉混信を防ぐためのサイドローブと交差偏波レベル等の制限について検討を行い、放送衛星搭載用アンテナの設計指針を示している。

第3章では、だ円開口反射鏡を円偏波で効率よく照射するためのだ円コルゲートホーンの特性を、溝構造を正確に考慮に入れて一般的かつ詳細に検討している。その結果、所望の特性を12/14 GHz帯の広帯域にわたって得るための設計条件を初めて提示した。これは重要な成果であり、放送衛星BS-3のアンテナの1次給電器として実用に供された。

第4章では、だ円コルゲートホーンと長方形ホーンを組み合わせた1次給電器によって日本全土を効率よく照射するアンテナの設計について述べている。これによって日本の主要部を37dBi以上で照射することができることを明らかにした。さらに、同じ給電器を用い、パラボラ反射鏡の一部を偏位させることによって、日本の人口密集地のアンテナ利得を約1dB改善できることを示している。これは優れた着想である。

第5章では、BS-3以後の放送衛星に搭載予定の高性能な成形ビームアンテナについて述べている。あらたに提案した仮想マルチホーン法を用いて、開口径2.8mの2枚鏡面修整アンテナを設計、試作し、12GHz帯で日本の主要部を41dBi以上、離島を含む日本全土を28dBi以上の利得で照射するアンテナを得ている。

第6章では、前章で問題となった鏡面の不連続な段差を解消し、かつサイドローブレベルを規制値以下に抑制する設計法として、最適化手法による鏡面修整法を提示している。この方法によって、開口径2.3mのアンテナを設計、試作した結果、前章で得られたアンテナと同等の性能を持つことが示された。これは注目に値する。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、日本の地形に極めてよく一致する円偏波成形ビームを放射するオフセット型鏡面修整アンテナの基本的な設計技術を確立し、試作によりその妥当性を実証したもので、電磁波工学並に通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。