

氏名・（本籍） 石 田 修 己（神奈川県）
学位の種類 博 士（工学）
学位記番号 工博乙第 42 号
学位授与の日付 平成 4 年 7 月 31 日
学位授与の要件 学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目 衛星通信地球局アンテナ用直交偏波共用分波系に関する研究

論文審査委員 (委員長)
教授 水 品 静 夫
教授 池 田 弘 明 教授 渡 邊 健 藏
教授 岡 本 尚 道 教授 岡 村 静 致
助教授 小 楠 和 彦

論 文 内 容 の 要 旨

衛星通信では、通信需要の増大に対処するため周波数の有効利用、通信帯域幅の拡大が重要である。本論文は、地球局の大型アンテナを広い周波数帯域の直交偏波で使用するため、分波系について行った研究をまとめたものである。

第 1 章では、衛星通信地球局アンテナ用直交偏波共用分波系に関する従来の研究概要を示し、本研究の意義を明らかにした。6 / 4 GHz 帯および 14 / 11GHz 帯衛星通信地球局用分波系にそれぞれ適した 2 つの分波方式として、周波数-偏波分波方式と偏波-周波数分波方式を取り上げた。各分波方式の分波系について動作帯域幅を制限する構成要素を明確にし、解決すべき課題、本論文で採用した解決法、およびその結果を示した。本研究の主たる意義は、1979 年の世界無線主管庁会議（WARC'79）で割り当てられた広帯域な固定衛星通信帯域に対応できる分波系を実現した点にある。

第 2 章では、周波数-偏波分波方式分波系の広帯域化技術について述べた。この分波系の動作帯域幅を制限する構成要素として、偏波共用帯域分波器と円偏波発生器を取り上げた。偏波共用帯域分波器としては、4 乗コサインテーパ導波管を用いた帯域分波器について述べた。一般化された伝送方程式によってテーパ導波管を解析し、任意形状テーパ導波管の特性を簡明に表す近似式を導出した。この近似式によって、4 乗コサインテーパ導波管が偏波共用帯域分波器の広帯域化に有利な特性を有することを示し、試作によって妥当性を確認した。この偏波共用帯域分波器は、それぞれ従来より 1.6 倍広帯域な 6 / 4 GHz 帯の送受信帯域幅 800MHz において良好な特性を有するものである。送信帯域 5,850 ~ 6.775GHz において VSWR は 1.1 以下、挿入損は 0.04dB 以下、交差偏波レベルは -45dB

以下、受信帯域 3.4～4.2GHz においてそれぞれ 1.2 以下、0.2dB 以下、-44dB 以下、送受アイソレーションは 70dB 以上である。この偏波共用帯域分波器を適用することにより、インテルサットの研究開発課題“Wideband Earth Station Antenna Feed”で求められていた広帯域な 6 / 4 GHz 帯直交偏波共用分波系を開発し、国際通信衛星に対向する K D D 茨城第 4 衛星通信地球局、K D D 山口第 3 衛星通信地球局で実用に供せられている。

円偏波発生器に関しては、金属ポスト形円偏波発生器で広帯域な特性を得るための設計法を確立した。この円偏波発生器では、円形導波管の管軸に対して対称に対を成して挿入された金属ポストの挿入長を 1/8 波長程度まで短くし、直径を最適化することによって偏波間位相差の周波数特性を平坦にしている。まず、金属ポストの挿入長を短くすると正規化サセプタンスの周波数依存性が偏波間位相差の広帯域化に有利な特性になることを理論と実験によって確認した。次に、管軸方向に配列された金属ポスト間の電気長、金属ポストの正規化サセプタンス、および偏波間位相差の周波数特性の定量的な関係を明らかにし、正規化サセプタンスの周波数依存性を利用した円偏波発生器の広帯域設計法を示した。最後に、試作によって設計法の妥当性を確認した。この設計法によって、金属ポスト形円偏波発生器の楕円偏波率は従来の 1/4 以下に改善され、4 GHz 帯の比帯域 13 % で 0.23dB 以下になった。この結果、直交偏波共用地球局アンテナに適用できるようになり、国際通信衛星に対向する英国通信省 (BPO) のマドレー地球局で実用されている。

第 3 章では、偏波-周波数分波方式分波系の広帯域化技術について述べた。この分波系の動作帯域幅を制限する構成要素として、帯域共用偏分波器と帯域分波器を取り上げた。帯域共用偏分波器としては、直交偏波を伝送する共通導波管に十字形導波管を用いた偏分波器を提案し、設計と試作結果について述べた。偏分波器の共通導波管としての観点から十字形導波管の遮断周波数、電磁界分布、特性インピーダンスを解析し、いずれの点においても従来の偏分波器で用いられている円形導波管や正方形導波管より広帯域化に有利であることを示した。また、この偏分波器の分岐部の設計に、方形導波管の場合と同様なインピーダンス整合法が適用できることを示した。最後に、偏分波器の試作によって設計法の妥当性を確認した。試作偏分波器の特性は、10.7～14.5GHz において V S W R 1.17 以下、挿入損 0.3 dB 以下、交差偏波レベル -42dB 以下であり、W A R C '79 で 14 / 11 GHz 帯固定衛星通信に割り当てられた全周波数帯域に対応できる。開発した偏分波器は、欧州通信衛星 E C S に対向するスウェーデンの地球局と国際通信衛星に対向する英国のマーキュリー標準 C 地球局で実用されている。

帯域分波器としては、リッジ導波管を用いたハイブリッド形分波器を提案し、設計法と試作結果について述べた。ハイブリッド形分波器の構成要素の特性と帯域分波器としての特性との関係式を与え、この分波器を広帯域化する上でハイブリッド結合器の広帯域化が重要であることを示した。ハイブリッド結合器には分岐導波管形方向性結合器を採用し主副導波管をリッジ導波管にすることによって広帯域化が可能であることを明らかにした。また、この方向性結合器を用いたハイブリッド形分波器の設計法を示し、試作によって設計法の妥当性を確認した。試作帯域分波器の特性は、受信帯域 10.7～11.7GHz で V S W R 1.14 以下、挿入損 0.4dB 以下、送信帯域 12.75～14.5GHz で V S W R 1.17 以下、

挿入損 0.2dB 以下、送受アイソレーション 55dB 以上である。この分波器は、帯域通過フィルタを交換することによって異なる周波数配置にも容易に対応できる。開発した帯域分波器は、放送衛星 BS-3 に対向する NHK の地球局で実用されている。

本研究は、W A R C '79 の周波数配置に対応できる 6 / 4 GHz 帯および 14 / 11GHz 帯の衛星通信地球局アンテナ用直交偏波共用分波系を実現することによって、周波数資源の有効利用と衛星通信の大衆化に寄与する。

論文審査結果の要旨

本論文は、人工衛星通信地球局に使われているアンテナの給電系に関して著者が行った研究の成果を纏めたものである。

論文は4章から成る。第1章は序論で、衛星通信の発展と本研究の背景について述べている。固定衛星通信では、地球局から衛星へ6GHz帯、衛星から地球局へ4GHz帯の右旋および左旋の直交円偏波と地球局から衛星へ14GHz帯、衛星から地球局へ11GHz帯の直交する2つの直線偏波を使う。地球局では直径が30m程度のパラボラアンテナを送信と受信に共用する。アンテナ給電系の中の分波系では、送信波と受信波の分波、直交する2つの偏波の分波を行う。増大する通信量に対処するため、1979年の世界無線主管官庁会議で、それぞれの周波数帯域が0.5GHzから約1GHzに拡大された。これを受けて、広帯域分波系の開発が必要となった。筆者はその基本技術の開発を担当し、6/4GHz帯では、アンテナから見て、初めに周波数で送信波と受信波を分離した後、直交2円偏波を分離する方式（周波数-偏波分波方式分波系）を開発した。また、14/11GHz帯では、初めに直交2直線偏波を分離した後、14/11GHzの送信波と受信波を分離する方式（偏波一周波数分波方式分波系）を開発した。中心周波数と、帯域の比から、前者には周波数-偏波分波方式が、後者には偏波一周波数分波方式が適することを指摘している。第2章は周波数-偏波分波方式分波系について述べている。6GHz送信波と4GHz受信波の分波にはテーパ導波管を用いた分波器を開発した。反射特性と分散特性の兼ね合いから、4乗コサインテーパが適していることを見いだした。また、直交2円偏波の分波器として、円形導波管内に短い金属ポストを軸方向に周期的に配置した金属ポスト円偏波発生器を開発した。これらの技術によって製作された分波系はインテルサット研究開発試験局、KDD茨城第4アンテナ、KDD山口第3アンテナに適用され、実際の衛星通信に使われている。第3章は、偏波一周波数分波方式分波系について述べている。直交2直線偏波を分波する広帯域（11-14GHz）分波器として十字形導波管分波器を開発した。また、11GHz帯と14GHz帯を周波数分離する分波器として、リッジ導波管ハイブリッド形分波器を開発した。これらの技術によって製作された分波系は欧州通信衛星用のスウェーデンの地球局、インテルサット用の英国の地球局、NHKの放送衛星用の地球局に使われている。第4章は結論である。

以上、本研究の成果は衛星通信の基礎技術の開発とその運用に大きく貢献しており、本論文は博士（工学）の学位を授与するに十分な価値を持つものと認定される。