

外 96-35

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

移動体衛星通信用アレーアンテナの
高能率素子に関する研究

申 請 者

竹内 和則
Kazunori Takeuchi

1996年 11 月

内 容 梗 概

移動体衛星通信では、今後のデータ通信の大容量化と高信頼化に対応する為、B-ISDN に代表される広帯域通信サービスの提供が強く求められている。他方、ユーザーのひろがりに伴い、通信機とりわけアンテナの取り扱いの困難さが問題となっており、対向局の方向をほとんど意識せずに使用できるアンテナが必須なものになりつつある。しかし、アンテナに高い利得が求められる広帯域、高速通信は、従来の携帯電話で用いられるような無指向性アンテナでは実現不可能である。

ビーム走査を電氣的に行うフェーズドアレーアンテナは、対向局の高速追尾が可能であり、高利得と取り扱いの簡便さを両立できる。電子走査ならではの高機能化を盛り込むことが可能で、さらに機械駆動部分が不要なため小型化薄型化と同時に高信頼性も望める。このように数々の利点を有するフェーズドアレーアンテナの実用化は大きな研究課題となっている。

本論文は、無線通信の分野において普及が待たれるフェーズドアレーアンテナの実用化を押し進める一連の研究についてまとめたものである。特に、素子アンテナに着目し、高能率として知られるマイクロストリップアンテナのアクティブ化手法とショートバックファイアアンテナの解析法を研究の対象としている。その主な目的は、より広帯域で高品質な通信を提供する高利得フェーズドアレーの実現に向け、素子アンテナの給電損失を解決する具体的な構造の提案および素子アンテナの最適設計法の確立にある。

第1章は序論であって、広帯域で信頼性の高い移動体衛星通信を実現するフェーズドアレーアンテナについて述べ、高能率な素子アンテナとしてスロット結合マイクロストリップアンテナおよびショートバックファイアアンテナに関する従来の研究経緯を論じ、本研究の背景と位置づけを明らかにする。また、本論文の構成を述べる。

第2章及び第3章は、本研究で用いるアンテナ解析手法を網羅的に述べている。

第2章では、スロット結合マイクロストリップアンテナの解析に時間領域の解析法である空間回路網法を適用する方法を示す。空間回路網法を用いる場合のアンテナのモデル化、給電モデル、観測点の取り方を示す。観測点で得られた時間系列データから周波数特性を算出する方法、同じく時間系列データから特定周波数のアンテナパターンを算出する手法を述べる。相異なる誘電体材料に夾まれたスロットを成すノードの誘電率決定法等を提案する。計算量を決定する解析空間の検討を行い、解析空間が十分な大きさであることを確認する。高誘電率給電基板および厚い接地導体板の代表例に関して計算を行い、得られた結果を実測値と比較評価し、その妥

当性を検証する。

第3章では、ショートバックファイアアンテナの解析に先立ち、円形反射板とダイポールの組み合わせアンテナのモーメント法による解析を論ずる。円形反射板の蜘蛛の巣状ワイヤグリッドモデルを提案する。本解析の要となる各セグメントの径の決定手法を詳述する。セグメントに対応する電流がのる導体小片を矩形に近似し、矩形を円筒に丸めた時の径をセグメント径として提案する。展開函数と評価函数の選択にガラーキン法、給電部位にデルタギャップモデルを採用し、アンテナパターンを算出する。これを物理光学を用いて得た厳密解と比較し、提案の有効性を実証する。

第4章では、まずマイクロストリップアンテナとMMICの接合によるアクティブ化について共平面給電、背面プローブ給電、スタック結合についてそれぞれ総括し、スロット結合の優位性を確認する。次いでスロット結合マイクロストリップアンテナとMMICの統合に際して給電基板の誘電率がアンテナ特性に与える影響を、アンテナの各パラメータや比帯域との関係から明らかにする。パラメータとして代表的なスロット長、放射導体軸長を用いて計算と実測の両面から検討を行った結果、給電基板誘電率が与える影響が些少であり、従来の低誘電率を前提とした各種データがMMIC化された給電基板に対しても有効であることを明らかにする。さらに背面放射について検討を行い、誘電率の変化に対してもアンテナ背面への放射は悪化しないことを示す。

第5章では、第4章の結果をふまえ、ミリ波帯やKa帯におけるMMICとの接合の課題である物理的支持をはじめとする実装問題に対して、厚い接地導体板及びそれを発展させた多段接地導体板を提案する。ミリ波帯、Ka帯ではアンテナ基板はミリオーダ以下となりMMICを接合した際に十分な物理的強度を得られない、これに対して、厚い接地導体板はアンテナ基板ではなく接地導体を物理的支持の拠り所とすることにより実装上の問題点を解決する。多段接地導体板はMMICをチップキャリアに収めた状態のまま、MMIC上のストリップ線路と放射導体との電磁結合を可能ならしめるものである。加えて、MMICをチップキャリアから剥がすことなくスロット長の調整が可能であるという利点も有する。本提案になる単層および多層接地導体板に関して、その設計の基礎資料となるスロット長や共振周波数との関係を実測と計算の両方から示す。アレー間隔に起因する厚みの限界を提示し、本限界の厚みにおいても比帯域が損なわれないことを示す。14.2GHzにおける厚みの限界は15mm(0.7波長)である。

第4章第5章の結果を踏まえてスロット結合マイクロストリップアンテナと接合させる22GHz帯LNAを有するMMICを試作を行う。本MMICを多層接地導体板

を利用したチップキャリアに搭載し、放射導体直下に置くことで給電損失を最少限に抑えたアクティブアンテナを組み上げ、その評価実測を行なった結果を示し、第5章の提案の有効性を確認する。

第6章では、第3章で示した解析法を用いてショートバックファイアアンテナの最適設計を行う。第3章で提案のワイヤーグリッドモデルを用いた場合の分割数の制限を示し、制限内で解が収束していることを確認する。ショートバックファイアアンテナの代表的な特性である低サイドローブレベルとリムの高さの関係を計算と実測の両方から示す。同様にビーム半値幅に関して小反射板の径との関係を示す。利得を最大にする小反射板径を実測と計算から示し、基本設計チャートとなる大反射板径と能率の関係を明らかにする。これにより大反射板径に対して最大の能率を与える小反射板径が得られ、本アンテナに関する最適設計をはじめて可能とならしめた。

第7章は結論であり、本論文のまとめを行うとともに今後の課題について整理し、高能率素子を用いたアレーアンテナの今後の課題について言及する。