

移動体通信用マイクロストリップアンテナに関する研究

学位論文内容の要旨

本研究は、移動体通信を目的としたマイクロストリップアンテナの解析法ならびに設計法についての研究成果をまとめたものである。

移動体通信に対するユーザーニーズの増大、移動体通信技術の適用範囲の拡大等により、市場は拡大の一途である。携帯電話をはじめ、列車電話、船舶電話、そして自動車電話等の移動体通信、さらに新たに衛星利用の移動体通信も登場してきた。山間部や離島での利用も可能となり、広範囲なサービスエリアを提供するものである。すでにインマルサット、N-STAR が実用化されており、災害時の臨時利用等にもその有効性を発揮している。従来の大型地球局からより小形の可搬型の地球局で衛星との通信が可能になり、衛星のパーソナル利用も可能になってきた。さらには、低軌道から中軌道に打ち上げた衛星との通信も多く計画されている。海上、空中での利用も可能であり、どこにでも持ち運べ、利用できるようになる。通信のパーソナル化という大きな流れの中で移動体通信の果たす役割は大きい。

このように通信のパーソナル化に伴い、当然通信機器には小形化が要求される。中でも比較的容積の大きいアンテナには小形化の要求が強い。薄型で高利得化が可能なアンテナとしてマイクロストリップアンテナ (Microstrip Antenna; 以下 MSA と略する) がある。MSA はホイップアンテナ等の線状アンテナに比べエッチング加工によって簡単に製作できるため、量産化に適している特長を有している。又、薄型の構造であるため通信機器の表面に張り付けることもでき、移動体搭載に適した構成が可能となる。

しかしながら、移動体搭載用 MSA としては以下のような問題点がある。移動体に搭載する際、移動体での散乱波の影響により利得、サイドローブ、交差偏波、軸比が変化するため、搭載する移動体を考慮した MSA の設計が必要である。又、移動体搭載用アンテナとして普及するためには薄形化、低コスト化が必須である。さらには、マルチメディア化が進む中、画像情報を扱うためにはより広帯域な特性が必要となり、ミリ波帯への高周波数化が進むのは必須である。しかし、ミリ波帯の MSA の研究開発の実績がまだ少ないため、損失等ミリ波帯特有の課題が多く残されており設計法が確立されていない。

本論文ではこのような問題に対し、まず MSA の基本的な設計を行うために必要となる、任意アンテナ形状に適用できる円偏波 MSA の解析法を示した。次に、薄形で高利得特性を有する MSA を提案し、その設計法を示した。又、給電回路と一体化したコンパクトな構成が可能な広帯域特性を有する MSA を提案し、移動体の影響を考慮した設計法を示した。さらに、ミリ波帯での MMIC 一体化アンテナの設計法を示し実験的にその有効性を検証した。以下に本論文の要旨を示す。

第 1 章では、研究の背景と目的及び論文の構成を述べた。

第 2 章では、境界要素法を用いた一点給電円偏波 MSA の解析法を示した。複雑な形状

のMSAの負荷を求めるために摂動法を用い、繰り返し計算で形状に適した負荷を求める方法を提案した。負荷による収束性を示し、境界が複雑であっても十分計算できることを明らかにした。外部境界に切り欠きを設けた円形MSAと方形MSA、及び内部にショートピンを設けた円形MSAについて入力インピーダンス、軸比の計算値と測定値の比較を行い、この解析法の有効性を示した。また、給電点と切り欠きの位置関係を変えることで給電ピンのインダクタンスを相殺し、整合が可能となることを示した。

第3章では短絡導体で縮退を解いた高利得特性を有する新しい円偏波アンテナMSADS (Microstrip antenna with diagonal short) 及びその設計法を提案した。パッチ導体の中心部を45°角度をオフセットさせ短絡することで、高利得特性が得られるだけでなく円偏波を励振することができる。従って、ロープロファイルな構成を保持したままで高利得特性が得られる特長がある。短絡導体の幅、長さを変えることで円偏波を励振する最適な寸法が存在することを明らかにした。

第4章では給電回路と一体型の新しいタイプのロープロファイルな構成の共平面給電形ARMSA (Annular-Ring Microstrip Antenna) を提案した。円偏波を励振するための給電回路としてのブランチライン形ハイブリッドを環状リング内部に挿入することによって、コンパクトな構成となる特長を有している。又、無給電素子を設けることで広帯域な特性が得られるだけでなく、低インピーダンス化を図ることができ、ブランチライン形ハイブリッドを環状リング内部にインピーダンス整合回路無しに直結させている。さらに、ARMSAと無給電素子をそれぞれL-C-Gの並列共振器で表示し、2つの共振器の共振周波数を一致させることで広帯域特性が得られることを明らかにした。

第5章では、移動体衛星通信用車載アンテナとして TM_{11} モード励振MSAの利得と軸比の設計法について述べた。日本における移動体衛星通信を考え、地板の影響を考慮した軸比と利得の最適設計法を示した。利得及び軸比と比誘電率の関係を示し、高利得が得られ且つ軸比も良くなるという2つの条件を満足する最適な誘電率が存在し、その値は1.5～1.7であることを明らかにした。このアンテナは、移動体衛星通信用車載アンテナとして実用化され、ETS-V (科学技術試験衛星V号) を用いた試験を行い、その有効性が確認された。

第6章では、GaAs基板上に構成したMMICと放射素子を一体化したMMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 一体化アンテナとして、スロットを介して放射素子と結合させる開口結合形MSAのミリ波帯を考慮した設計法と、40GHz帯及び90GHz帯での試作結果について述べた。放射素子の基板に石英基板、給電回路の基板にGaAs基板を用い87.1%の高い放射効率と $VSWR < 2$ で帯域幅3.1%という広帯域特性を実現した。この形式の応用例として、40GHzでのMMIC周波数変換回路を一体化した開口結合形MSAの試作結果について示した。さらに、W帯(90GHz)においてもMMIC周波数変換回路を一体化したアンテナの試作を行い、MMICアンテナとして実用化された。

第7章では、結論を述べ、論文全体の成果を要約した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 藤 精 彦
副 査 教 授 小 柴 正 則
副 査 教 授 小 川 恭 孝

学 位 論 文 題 名

移動体通信用マイクロストリップアンテナに関する研究

本論文は、移動体通信を目的としたマイクロストリップアンテナの解析法ならびに設計法についての研究成果をまとめたものである。

近年の移動体通信の発達には目覚ましいものがあり、その市場は拡大の一途をたどっている。携帯電話をはじめ、列車電話、船舶電話、そして自動車電話等の移動体通信、さらに新たに衛星利用の移動体通信も登場してきており、衛星のパーソナル利用も可能になってきた。通信のパーソナル化という大きな流れの中でどこにでも持ち運べ、利用できる移動体通信の果たす役割は大きい。

このように通信のパーソナル化に伴い、当然通信機器には小形化が要求される。薄型で高利得化が可能なアンテナとしてマイクロストリップアンテナ (Microstrip Antenna ; 以下 MSA と略する) がある。製作が容易であり、量産性に優れているため、移動体搭載に適した構成が可能となる。しかしながら、搭載する移動体によりアンテナ特性が変化するため、搭載する移動体を考慮した MSA の設計が必要である。

本論文ではこのような課題に対し、まず MSA の基本的な設計を行うために必要となる任意アンテナ形状に適用できる円偏波 MSA の解析法を示した。次に、薄形で高利得特性を有する MSA を提案し、その設計法を示した。又、給電回路と一体化したコンパクトな構成が可能な広帯域特性を有する MSA を提案し、移動体の影響を考慮した設計法を示した。さらに、ミリ波帯での MMIC 一体化アンテナの設計法を示し実験的にその有効性を検証した。以下に本論文の要旨を示す。

第 1 章では、研究の背景と目的及び論文の構成を述べた。

第 2 章では、境界要素法を用いた一点給電円偏波 MSA の解析法を示した。複雑な形状の MSA の負荷を求めるために摂動法を用い、繰り返し計算で形状に適した負荷を求める方法を提案した。負荷による収束性を示し、境界が複雑であっても十分計算できることを明らかにした。外部境界に切り欠きを設けた円形 MSA と方形 MSA、及び内部にショートピンを設けた円形 MSA について入力インピーダンス、軸比の計算値と測定値の比較を行い、この解析法の有効性を示した。また、給電点と切り欠きの位置関係を変えることで給

電ピンのインダクタンスを相殺し、整合が可能となることを示した。

第3章では短絡導体で縮退を解いた高利得特性を有する新しい円偏波アンテナ MSADS (Microstrip antenna with diagonal short) 及びその設計法を提案した。パッチ導体の中心部を 45° 角度をオフセットさせ短絡することで、高利得特性が得られるだけでなく円偏波を励振することができる。従って、ロープロファイルな構成を保持したままで高利得特性が得られる特長がある。短絡導体の幅、長さを変えることで円偏波を励振する最適な寸法が存在することを明らかにした。

第4章では給電回路と一体型の新しいタイプのロープロファイルな構成の共平面給電形 ARMSA (Annular-Ring Microstrip Antenna) を提案した。円偏波を励振するための給電回路としてのブランチライン形ハイブリッドを環状リング内部に挿入することによって、コンパクトな構成となる特長を有している。又、無給電素子を設けることで広帯域な特性が得られるだけでなく、低インピーダンス化を図ることができ、ブランチライン形ハイブリッドを環状リング内部にインピーダンス整合回路無しに直結させている。さらに、ARMSA と無給電素子をそれぞれ L-C-G の並列共振器で表示し、2つの共振器の共振周波数を一致させることで広帯域特性が得られることを明らかにした。

第5章では、移動体衛星通信用車載アンテナとして TM_{21} モード励振 MSA の利得と軸比の設計法について述べた。日本における移動体衛星通信を考え、地板の影響を考慮した軸比と利得の最適設計法を示した。利得及び軸比と比誘電率の関係を示し、高利得が得られ且つ軸比も良くなるという2つの条件を満足する最適な誘電率が存在し、その値は 1.5 ~ 1.7 であることを明らかにした。このアンテナは、移動体衛星通信用車載アンテナとして実用化され、ETS-V (科学技術試験衛星 V 号) を用いた試験を行い、その有効性が確認された。

第6章では、GaAs 基板上に構成した MMIC と放射素子を一体化した MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 一体化アンテナとして、スロットを介して放射素子と結合させる開口結合形 MSA のミリ波帯を考慮した設計法と、40GHz 帯及び 90GHz 帯での試作結果について述べた。放射素子の基板に石英基板、給電回路の基板に GaAs 基板を用い 87.1% の高い放射効率と $VSWR < 2$ で帯域幅 3.1% という広帯域特性を実現した。この形式の応用例として、40GHz での MMIC 周波数変換回路を一体化した開口結合形 MSA の試作結果について示した。さらに、W 帯 (90GHz) においても MMIC 周波数変換回路を一体化したアンテナの試作を行い、MMIC アンテナとして実用化された。

第7章では、結論を述べ、論文全体の成果を要約した。

これを要するに、本論文は移動体通信用マイクロストリップアンテナに関して、有益な多くの新知見を得ており、アンテナ工学の分野に貢献するところ大なるものがある。

よって、著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。