

氏 名	岩 崎 久 雄
授 与 学 位	博 士 ( 工 学 )
学位授与年月日	平成 6 年 3 月 16 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 50 年 3 月 東北大学工学部電気工学科卒業
学 位 論 文 題 目	電磁結合型アンテナ素子を用いたセルフダイプレ キシング機能を有するアレーアンテナの研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 安達 三郎    東北大学教授 米山 務 東北大学教授 澤谷 邦男

## 論 文 内 容 要 旨

本論文では、移動体衛星通信システムの携帯端末用アレーアンテナの開発を最終的な目的とし、そのために小形・薄型・軽量化、利得の向上、セルフダイプレキシング機能の付加を図ったアレーアンテナに用いる一連の研究をまとめたものである。本研究においては、1点給電で良好な円偏波特性を有する電磁結合型アンテナ素子、セルフダイプレキシング機能を有するアレーアンテナの配列法、高利得の素子配列法と給電法の3つの要求技術を中心に検討を加え、これらを基にL帯の移動体衛星通信のデータ通信インマルサットCと音声通信インマルサットMに応用した携帯端末用電磁結合型アレーアンテナを開発した。以下に、本論文の概要を述べる。

第1章は、序論であり、本研究の目的、技術的背景、本論文の構成などについて述べている。

第2章では、1点給電で円偏波を発生させることができ、広角にわたり良好な軸比特性を有するアンテナ素子を開発するために、新たなクロススロットの概念を導入した開口結合方式と、オフセット給電によりモードの縮退を解いて円偏波化を図った近接結合方式の2種類の電磁結合型アンテナ素子について、理論・実験の両面から検討した。

まず、1点給電開口結合型アンテナ素子については、キャビティモデルを用いて円偏波発生条件を明らかにし、その設計法を確立した。クロススロットの各々の長さを制御することにより、VSWRが2以下で3.5%、軸比が2 dB以下で0.5%の帯域幅と、正面方向で約6 dBiの利得、±60度の広角にわたり軸比2 dB以下が得られた。一方、近接結合型アンテナ素子は、アンテナ素子部と給電線路部を重ね合わせた多層構造であり、簡単な給電系により広角にわたって良好な軸比特性

を有する円偏波アンテナ素子を実現した。また、時間領域の解析法である空間回路網法を用いて矩形パッチと地導体板間の電界を求めることより、円偏波アンテナとしての動作のメカニズムを明らかにした。

以上の検討から、新たな円偏波発生方法を導入することにより、移動体衛星通信システムの移動体アンテナに適する給電系が簡単で、良好な円偏波特性を有する小形・薄形電磁結合型アンテナ素子を開発できた。

第3章では、スロットを介した開口結合型アンテナ素子をトリプレート線路で給電した場合に、地導体板間を伝搬するパラレルプレートモード（TEM波）について、理論・実験の両面から検討を加えた。まず、パラレルプレートモードがアンテナ素子の共振周波数とアレーアンテナ素子間の結合に与える影響を実験的に検討し、次に、空間回路網法を用いてボイティング電力と電界をビジュアル化し、その発生メカニズムを初めて明らかにした。これにより、パラレルプレートモードはスロットに対して直交した方向にスロットアンテナと同様の指向性で伝搬すること、E面配列で半波長間隔の場合、約 $-20\text{dB}$ 程度のパラレルプレートモードが発生することがわかった。

次に、パラレルプレートモードの抑圧法として知られている短絡ピンを用いた場合を解析し、トリプレート線路に平行に短絡ピンを設けることにより、スロットを完全に囲った場合と同レベルまでパラレルプレートモードを抑圧できることを明らかにし、その有効性を実験で確認した。これにより、ピン数を極力少なくした効果的なピン設置法を明らかにすることができた。

第4章では、送受信の周波数で共振する直交直線偏波素子で構成した円偏波アレーアンテナについて、送信信号の受信信号への漏れ込みを抑圧し、セルフダイプレキシング機能を有するアレー構成法を理論・実験の両面から検討した。

まず、3素子以上の円形アレーアンテナの送受信間のアイソレーションを、素子間の相互結合を考慮したSパラメータを用いて解析し、無限大のアイソレーションが得られる給電法と配列法を明らかにした。すなわち、無限大のアイソレーションが得られるアレー構成条件は、(1)同一素子を正N角形にシーケンシャル配列し、(2)円形アレーの中心に対して $2\pi/N$ で空間的に回転させ、(3)素子間の散乱行列が巡回行列となるように配列し、(4) $2\pi/N$ の空間的回転角度に対応した位相差で給電し、(5)送受信とも同旋の円偏波で給電した場合であることを示した。

また、素子単位でセルフダイプレキシング機能を有する近接結合の直交直線偏波2周波共振スロット付き円形パッチと楕円パッチを用いた実験を行い、送受信が同旋円偏波の場合には、3素子アレーで約 $50\text{dB}$ 以上、4素子アレーで約 $70\text{dB}$ 以上、8素子アレーで約 $50\text{dB}$ 以上のアイソレーションが得られることを示した。また、給電回路の振幅・位相誤差がある場合についても良好なアイソレーションが得られるメカニズムを明らかにできた。

更に、素子間の相互結合を考慮したSパラメータを用いた解析を応用し、 $2 \times 2$ のセルフダイプレキシングアレーアンテナのビーム走査特性を検討し、配列軸方向にビームを走査した場合に無限大の送受信間のアイソレーションが得られることを明らかにし、これを実験的に確認した。

第5章では、移動体衛星通信システムの携帯端末用アンテナと送受信機の小形化を目指し、そのために、利得すなわち開口効率の改善を図るために、セルフダイプレキシング機能を有する円形ア

レーアンテナの利得と偏波回転角度の関係、及び、この円形アレーを同心円状に複数個配列したアンテナの利得と各円形アレーの偏波回転角度の関係を理論及び実験の両面から検討した。まず、単一の円形アレーアンテナの利得は偏波回転方向に依存し、素子数が少なくアレーの半径が小さい場合には円形アレーの中心から放射状の方向に、また、素子数が多くアレーの半径が大きい場合には方位角方向にアンテナ素子の偏波を向けることにより利得を向上させることができることを示した。また、多重の円形アレーでは、各円形アレーの偏波回転角度をそれぞれ制御することにより、利得の向上を図ることができ、2重の円形アレーでは互いに直交するように設定すれば良いことがわかった。以上のように、利得は、円形アレーを構成する各直線偏波素子の偏波回転角度に依存することを初めて理論的に明らかにし、偏波回転角度を制御することにより利得の向上を図れることを示した。例えば、4素子円偏波アレーアンテナでは偏波方向によって0.7dB程度の利得差が、また、2重の12素子円偏波円形アレーアンテナで0.8dB程度の利得差が生じることを理論と実験から確認した。

以上の検討により、円偏波円形アレーアンテナの給電法と素子配列法を最適化すれば、利得すなわち開口効率を改善できるのでアンテナ開口面積の小形化や、送受信機の増幅器の出力電力の低減を図ることができ、アンテナ自体の小形化と送受信機の小形化を実現できる。従って、本提案の電磁結合型アンテナ素子を用いた円偏波アレーアンテナは、移動体衛星通信システムの携帯端末用アンテナに有効である。

第6章では、アンテナ自体の小形化・薄形化だけでなく、携帯端末用送受信機の小形化・薄形化が図れるアレーアンテナの開発を目標として、第4章で述べた送受信の各々の周波数で共振する直交直線偏波電磁結合型アンテナ素子からなる円偏波セルフダイプレキシングアレーアンテナと第5章で述べた開口効率を改善できる直線偏波素子で構成した円偏波アレーアンテナの利得と偏波回転角度の関係、及び円形アレーアンテナを同心円状に複数個配列したアンテナの利得と各円形アレーの偏波回転角度の関係を解析結果を応用したアレーアンテナについて検討を加えた。まず、薄形化と製造の容易さが図れ、アンテナ素子自体でセルフダイプレキシング機能と、送信で問題となる高調波の発生を抑圧機能を有するスロット付き円形パッチアンテナと楕円パッチアンテナを開発した。低速データ通信インマルサットポータブルCに用いる利得10dBi程度の携帯端末用アンテナにスロット付き円形パッチアンテナを適用し、外形寸法230×200mm、厚さ3.2mm、利得10.5dBi、送受信間のアイソレーション40dB以上の電磁結合型アレーアンテナを開発した。更に、音声通信インマルサットポータブルMに用いる利得14dBi以上の携帯端末用アンテナに楕円パッチアンテナで構成した2重円形アレーからなる12素子アレーアンテナを適用し、各円形アレーの送受信の偏波方向に最適化することにより、外形寸法450mm、厚さ3.2mm、送受信の帯域で利得15.2dBi以上、アイソレーション48dB以上の電磁結合型アレーアンテナを開発した。

これらの2種類の電磁結合型アレーアンテナはアンテナ層と給電回路層を重ね合わせた多層構造であり、層と層間に半田付け等の直接的な電気配線を用いることなく、非接触で放射素子を励振できるため、製造の容易さと低価格化を実現した。これらの結果は、第4章と第5章で述べた理論及び実験的検討の有効性を十分に立証し得るとともに、移動体衛星通信のアンテナのみならず送受信

機の小型・薄形・軽量化を図った携帯端末用のアレーアンテナを実現できることを示すものである。

本論文で述べた結果は、移動体通信、宇宙通信用反射鏡の1次給電系、無線 LAN、防衛等のアンテナに広く応用できる成果である。

## 審 査 結 果 の 要 旨

移動体衛星通信の携帯端末用送受信機においては、アンテナ並びに給電回路の小形軽量化・高性能化が要求される。

本論文は、電磁結合型の平面マイクロストリップアンテナ及び給電回路を用い、送受信機の小形化・高性能化を目指して行った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章は序論である。

第2章では、アクティブ素子との一体化に適した円偏波アンテナ素子として、クロスロット結合型の1点給電円形マイクロストリップアンテナ、並びにオフセット給電近接結合型矩形マイクロストリップアンテナを提案し、これらはいずれも優れた放射特性を有していることを明らかにしている。

第3章では、後方放射を抑圧するためにトリプレート線路で給電したスロット結合型マイクロストリップアンテナにおいて、トリプレート部分を伝搬するパラレルプレートモードの数値解析を行っている。これにより、定量的にこのモードの発生と伝搬の様子を示すと共に、その伝搬を効果的に抑圧する短絡ピンの配置を明らかにして、実用上重要な知見を与えている。

第4章では、フィルタ回路への要求を軽減するために、ダイプレキシング機能を有するアレーアンテナについて検討を加えている。送受2周波共用の直線偏波素子を、円偏波を得る目的でシーケンシャル配列し、送信周波数において送信ポートと受信ポートの間の結合を零とするアレーアンテナの構成法と給電位相の条件を与えている。ここで提案されたセルフダイプレキシングアレーアンテナを用いることにより、フィルタやダイプレキサ回路への要求を大幅に軽減できるので、これらの給電回路については送受信機の小形化を図ることが可能となった。

第5章では、直線偏波のアンテナ素子をシーケンシャル配列して円偏波アレーアンテナを構成したとき、アンテナ素子の方向を最適に選ぶことにより、利得を向上させることができることを明らかにしている。これは、アレーアンテナの寸法をさらに小形化する上で有用な知見である。

第6章では、第4章及び第5章により得られた解析と実験の結果に基づいて、L帯移動体衛星通信システムのインマルサットに用いる携帯端末用アンテナに応用した結果を述べられている。近接結合給電型マイクロストリップアンテナ素子を用いて、高利得のセルフダイプレキシングアレーアンテナを開発した結果、アンテナ並びに送受信機的大幅な小形化・高性能化を達成できることが明らかとなり、本研究の有効性が示された。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文はアンテナとアクティブ素子の一体化に適した小形・薄形の電磁結合型アンテナ素子、及びセルフダイプレキシング機能を有する小形で高利得のアレーアンテナの構成法を提案すると共にその有効性を示したもので、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。