

学位論文題名

小形板状ループアンテナの高機能化に関する基礎研究

学位論文内容の要旨

本論文は小形携帯通信端末に内蔵される板状ループアンテナをはじめとする通信用小形・薄形アンテナの特性を理論解析ならびに実験を通して明らかとした研究成果についてまとめたものである。

無線通信は有線通信と比較すると帯域の制限を受けるために大容量の通信はできないものの「いつでも、どこでも、だれとでも」というコミュニケーション形態を可能とする大きな特徴を持っている。最近、ページャや携帯電話あるいは PHS といった無線を利用した移動通信サービスにおいてはビジネスユースだけでなくパーソナルユースの需要が急激に増え、低年齢層にも浸透するなど、その契約者数は大幅に増加している。また、通信の自由化が唱えられ、事業者間の競争が激化するとともに低価格化が進んでいる。このような無線通信の動向を技術的な側面から考えると、端末の小形化・軽量化が進み、携帯が容易になったことがパーソナル通信の発展に寄与したと思われる。情報通信の分野においては、近年インターネットが急速に普及するとともに、企業内などでは LAN の需要が増加している。今後は、無線通信と有線通信が融合し、大容量かつ高速な情報を無線を使って伝送する必要があるものと考えられる。

移動通信においては、自由空間と無線機との窓口とも言うべきアンテナの性能を向上させることが非常に重要である。これは、アンテナの性能がシステム全体の性能に直接関わっているからである。ところが、通信機端末の小形化に伴い、アンテナに対しても小形化、薄形化の要求がなされている。一般に、アンテナは大きさが小さくなるほど特性は劣化する。したがって、小形でかつ高性能なアンテナの開発は技術的に大きな課題となる。例えば、ページャに内蔵されるアンテナは端末の筐体形状に左右され、アンテナの形状に自由度があまりない。このような物理的な制約に加えて、アンテナは使用波長の 10 分の 1 以下の電気的小形アンテナとなり、不整合損の増大、利得の低下など様々な問題を含んでいる。このため、小形アンテナの設計は容易ではなく、解析手法の確立が望まれている。

このような背景のもとに、本論文では小形形態通信端末に内蔵される板状ループアンテナ等についてモーメント法により解析し、その結果を実験的に検証した。また、アンテナの放射効率を簡易に測定できる Wheeler 法について、小形アンテナへの適用手法を確立した。さらに、Wheeler 法の問題点を指摘し、数値シミュレーションを行い検証した。また、高性能なアンテナの開発を目的として、偏波切替アンテナを提案し、解析的および実験的検討を行った。

本論文は6章により構成される。以下に各章の要旨を示す。

第1章では、研究の背景と目的を述べるとともに、本論文の概要を記した。

第2章では、線状アンテナを数値解析するためのモーメント法について詳述した。まず、モーメント法の概要を述べ、電磁界散乱の基本式から積分方程式を導出するとともに、それを離散化し、行列方程式に変形した。続いて、分岐を含む複雑な構造のアンテナに対しても適用可能な区分正弦波関数について述べ、分岐ダイポールを2つのモノポール分解して相互インピーダンスを計算する方法を明らかにした。その際に、小形アンテナにおいて問題となる不要な点電荷の寄与を事前に除去し、また、一般化インピーダンス行列が対称行列になるような真モノポールの配置法を導入し、数値計算上の問題点を解決した。また、実際に数値計算を行う上で有益な計算の高速化手法について説明した。また、ワイヤの導電損失のために生じる相互インピーダンスの導電損失項の計算、電流分布から遠方界ならびに各種特性量の計算法について述べた。

第3章では、携帯通信端末に内蔵可能な板状ループアンテナの数値解析について述べた。板状ループアンテナは導体板とワイヤから構成されるアンテナで、本論文ではこのうち薄形のカードサイズ形状のアンテナを扱っている。数値計算においては、導体板にワイヤグリッド法を適用してメッシュ状のワイヤに置き換えることで、第2章で論じた線状アンテナ用のモーメント法を適用した。まず、ワイヤグリッドの設定について数値的に検討した。次に、アンテナの短絡位置を変化させた場合、あるいは、アンテナの形状を変えた場合の入力特性、放射パターン、偏波パターン、アンテナ効率に関して論じ、板状ループアンテナの特性を明らかにした。

第4章では、アンテナの放射効率を簡易に測定できる Wheeler 法について検討した。小形アンテナでは、放射効率が重要なパラメータの一つとなるため、その設計において放射効率を把握しておくことが重要である。まず、Wheeler 法の原理を説明した。次に、放射効率を高精度に測定するための方法を提案した。そして、ループアンテナや板状アンテナの放射効率を実験的に評価し、測定された Wheeler 効率と数値解析により得られる放射効率との関係を吟味し、Wheeler 法の妥当性を示した。しかし、Wheeler 法の適用にあたってはいくつかの注意が必要である。本論文では、ノイズを含む測定結果の処理法について論じ、また、整合をとったアンテナに対して Wheeler 法を適用する場合の問題点を指摘した。さらに、Wheeler 法の数値シミュレーションを行うことにより、その原因を明らかにした。また、シミュレーション結果から、Wheeler 法の適用条件について論じた。

第5章では、高性能な携帯通信機用内蔵アンテナの一つとして、偏波切替アンテナを取り上げ、その特性について数値解析結果および実験結果を示した。まず、偏波面を制御する目的と効果について説明した。次に、第3章で特性を明らかにした板状ループアンテナについて、その短絡位置を切り替えることで偏波面の制御が可能であることを示した。また、短絡位置を切り替えた場合の特性について数値解析を行い、偏波ダイバーシチ効果があることを示した。さらに、短絡位置を切り替え可能なアンテナを試作し、基礎実験を行うことにより本提案が有効であることを明らかにした。また、実験により明らかになった切替素子の影響について、モーメント法による数値解析が可能であることを示した。また、偏波ダイバーシチの効果について解析的に検討した。

第6章では、結論を述べ、本論文で得られた結果を要約した。

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

小形板状ループアンテナの高機能化に関する基礎研究

近年の社会・経済の高度情報化の急速な進展により、無線通信の需要が拡大するとともに大衆化が進んでいる。移動通信においては、システム全体の性能に直接関わっているアンテナの性能を向上させることが非常に重要である。ところが、通信機端末の小形化に伴い、アンテナに対しても小形化・薄形化の要求がなされている。一般に、アンテナは小さくなるほど特性は劣化する。したがって、小形でかつ高性能なアンテナの開発は技術的に大きな課題となる。小形端末に内蔵されるアンテナは端末の筐体形状に左右され、アンテナの形状に自由度があまりない。このような物理的な制約に加えて、アンテナは使用波長の 10 分の 1 以下の電氣的な小形アンテナとなり、不整合損の増大、放射効率の低下など様々な問題を含んでおり、その設計は容易ではなく、解析手法の確立が望まれている。

従来、携帯端末のアンテナには、人体の近傍に置かれた場合に特性が劣化することの少ないループアンテナが多く用いられてきた。板状ループアンテナはループアンテナの持つ人体効果を損うことなく利得を改善可能なアンテナのひとつである。このアンテナは導体板とワイヤから構成され、導体板は端末の筐体と併用可能である特徴を持つ。しかし、導体板を含むアンテナの解析は単純ではない。また、携帯端末が持ち運ばれた場合には、アンテナの向きが変化することによる受信感度の劣化が予想される。通常、このような受信感度の劣化を防止するためにはダイバーシチを行うが、端末が極めて小形のためアンテナを複数個配置することは得策ではない。

本論文はこうした状況のもとで、ページャ端末をはじめとする携帯通信端末に用いられる小形・薄形アンテナの設計・開発の基礎となる数値解析ならびに測定法に関する研究の成果をまとめたものであり、その主要な成果は以下のように要約される。

第 2 章では、線状アンテナを数値解析するためのモーメント法について詳述している。特に、実際に数値計算を行う上で有益な計算の高速化手法について説明している。

第3章では、携帯通信端末に内蔵可能なカードサイズ板状ループアンテナの数値解析を行っている。まず、ワイヤグリッドの設定について数値的な検討を行っている。次に、アンテナの短絡位置を変化させた場合、あるいは、アンテナの形状を変えた場合の入力特性、放射パターン、偏波パターン、アンテナ効率に関して論じ、板状ループアンテナの特性を明らかにしている。

第4章では、アンテナの放射効率を簡易に測定できる Wheeler 法について検討している。まず、Wheeler 法の原理を説明し、放射効率を高精度に測定するための方法を提案している。そして、ループアンテナや板状アンテナの放射効率を実験的に評価し、Wheeler 法の妥当性を示している。次に、Wheeler 法を小形アンテナに適用する場合には、測定器の確度を越えた測定を行うことによる雑音が無視できないため、その解決策として、雑音を含む測定結果の処理法について論じ、その効果を示している。さらに、整合をとったアンテナに対して Wheeler 法を適用する場合の問題点を指摘し、Wheeler 法の数値シミュレーションから、その原因を明らかにしている。また、Wheeler 法が適用可能な周波数範囲について新しい知見を得て、Wheeler 法の利便性を示している。

第5章では、高性能な携帯通信機用内蔵アンテナの一つとして、偏波切替アンテナを取り上げている。まず、アンテナの短絡位置を切替えて偏波面を制御することで偏波ダイバーシチを実現できることを説明している。このことについて、整合回路ならびに切替回路を内蔵した送信タイプのアンテナを試作し、基礎実験を行うことにより偏波面切替の有効性を明らかにしている。また、切替素子とアンテナ特性の関係をモーメント法による数値解析により明らかにしている。

第6章では、結論を述べ、本論文で得られた結果を要約している。

これを要するに、著者は板状ループアンテナに代表される小形アンテナの特性解析および高機能化の検討、および Wheeler 法による放射効率測定など、通信用小形・薄形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。

よって著者には北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。