

## 学位論文題名

## 通信用小形・薄形アンテナに関する研究

## 学位論文内容の要旨

本論文は、無線呼出し端末内蔵のカードサイズ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にした研究成果についてまとめたものである。

携帯電話をはじめとする無線移動通信の大きな特長は、モジュラー・コード等の通信線を一切必要とせず、通信媒体として空間を利用することにある。これによって、無線移動通信は、通信エリア内において、距離の制約から解放され、パーソナル・アシスタントとして機能し始める。また、衛星を利用した広域移動体通信を利用することにより、カーナビゲーションをはじめとする GPS (Global Positioning System) による位置検出等を行うことも可能である。このように、今後の高度情報化社会において、「いつでも、どこでも」情報を引き出す、あるいは、送り出すことがごく当たり前となるであろう。その意味で、情報の窓口としてのパーソナル・アシスタントの役割を担う無線移動通信端末機は、これまでも増して需要が伸び、その基地局および衛星局についても重要性が増し高性能化が求められると考えられる。

現在のパーソナル無線通信形態の代表的な例として、無線呼出し、携帯電話、PHS (Personal Handy-phone System) が挙げられる。これらのシステムの携帯端末機において共通して問題となるのがアンテナの受信感度である。例えば、無線呼出し用のカードサイズ端末において、基地局からの微弱な電波を受信するには内蔵のアンテナの受信感度は他の無線通信携帯端末に比べて悪い。これは、端末に内蔵されるアンテナが使用波長の 10 分の 1 以下の大きさとなり、その利得が非常に小さくなるためである。一般に、端末内蔵アンテナは電氣的な小形アンテナであるため、その設計は容易ではない。

一方、アンテナの放射効率が取れない大きな要因として、アンテナ内において放射電力に比べ損失電力が支配的となることが挙げられる。効率改善のためには、表面抵抗が小さな高温超電導体薄膜を利用したマイクロストリップアンテナを利用するとよい。特に宇宙空間では、周辺温度が極めて低く、現状の高温超電導体薄膜においても超電導現象が生じ、衛星搭載用のアンテナ素子へ応用が期待されている。

また、GPS 携帯端末に内蔵されるアンテナは、円偏波受信可能でかつ薄形であるマイクロストリップアンテナが利用される。このアンテナを背面より同軸線路を用いて給電する場合、給電ピンのインダクタンスのため、円偏波受信周波数において整合が取れないことが問題となっており、その対処法の開発が必要とされている。

このような背景のもとに本論文では、無線呼出し用カードサイズアンテナ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、高温超電導体マイクロストリップアンテナについて数値解析を行い、GPS 用円偏波マイクロストリップアンテナについて解析的な検討を行った。本論文は 7 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、複雑な線状アンテナの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、零リアクション定理より電磁界散乱の基本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、アンテナが分岐を持つ複雑な構造に対しても適用可能な区分正弦波関数について述べ、相互インピーダンスの計算方法を明らかにした。その際に、不要な点電荷の寄与を事前に除去し、ワイヤの位置関係が可逆とするオフセット法を導入し、一般化インピーダンス行列を対称行列とすることにより、数値計算上の問題点を解決した。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。さらに、現実的に設定可能なポートの電圧値のみで各種特性量を表現した。

第3章では、無線呼出し端末内蔵用のカードサイズアンテナの数値解析ならびに Wheeler 法を用いた放射効率の測定について述べた。カードサイズアンテナは、導体板とワイヤから構成されるので、導体板をワイヤグリッドに置き換え、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、その後、入力特性、偏波面の制御、Lセクション整合回路を利用したときの不整合損を含めたアンテナ効率に関して論じた。次に、小形アンテナの簡易効率測定法である Wheeler 法を用いてカードサイズアンテナの放射効率を実験的に評価し、数値解析により得られる放射効率の妥当性について吟味した。さらに、Wheeler 法の適用根拠となる放射抑制シールドの効果についてグリーン関数を用いて検討した。

第4章では、第2章で論じたモーメント法に対して最適化問題を考え、第3章で取り上げたカードサイズアンテナの各種特性量の限界値について述べた。モーメント法において、多くの特性量はエルミート形式の比の形で表現でき、その最適値が一般化固有値問題の最大・最小固有値を求める問題に帰着することを説明した。実際には、カードサイズアンテナのワイヤグリッドモデルに対して、設定可能なポートを限定して、この最適化手順を適用した。また、モーメント法の固有モード問題を考え、各モードの励振振幅を評価し、各特性量が最適化された状態を定量的に明らかにした。

第5章では、高温超電導体マイクロストリップアンテナの数値解析について述べた。まず、高周波における超電導現象を巨視的な立場で取り扱うために必要となる基本事項を述べた後、その実験的な現象論モデルである三流体モデルについて説明を行った。また、数値解析手法として用いたスペクトル領域モーメント法において、接地導体面の損失を考慮したグリーン関数の導出、ならびに、境界条件によるパッチ面の損失の繰り込みにより、高温超電導体マイクロストリップアンテナの解析を可能とした。これらのモデルおよび数値解法を利用して、パッチ形状がダイポールである場合について、高温超電導体マイクロストリップアンテナの基本特性を計算し考察を加えた。

第6章では、背面給電型の円偏波円環マイクロストリップアンテナにおいて、給電ピンのインダクタンス分を相殺するために整合用のスタブを設けることを議論した。まず、マイクロストリップアンテナのキャビティモデル、ならびに、パッチの形状が摂動を受けたときの取り扱いについて説明した。相殺効果を明確にするために、円偏波用のスタブと整合用スタブの動作メカニズムを上記の手法を用いて統一的に解析し、その効果に対して物理的な解釈を与えた。その結果を検証するために実験を行い、その妥当性を確認した。

第7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

## 通信用小形・薄形アンテナに関する研究

本論文は、無線呼出し端末内蔵のカードサイズ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にした研究成果についてまとめたものである。

携帯電話をはじめとする移動通信の大きな特長は、モジュラー・コード等の通信線を一切必要とせず、通信媒体として空間を利用することにある。これによって、移動通信は、通信エリア内において、距離の制約から解放され、パーソナル・アシスタントとして機能し始める。また、衛星を利用した広域移動体通信を利用することにより、カーナビゲーションをはじめとする GPS (Global Positioning System) による位置検出等を行うことも可能である。このように、今後の高度情報化社会において、「いつでも、どこでも」情報を引き出す、あるいは、送り出すことがごく当たり前となるであろう。その意味で、情報の窓口としてのパーソナル・アシスタントの役割を担う移動通信端末機は、これまでも増して需要が伸び、その基地局および衛星局についても重要性が増し高性能化が求められると考えられる。

このような背景のもとに本論文では、無線呼出し用カードサイズアンテナ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、高温超電導体マイクロストリップアンテナについて数値解析を行い、GPS 用円偏波マイクロストリップアンテナについて解析的な検討を行った。本論文は7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、複雑な線状アンテナの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、零リアクション定理より電磁界散乱の基本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、アンテナが分岐を持つ複雑な構造に対しても適用可能な区分正弦波関数について述べ、相互インピーダンスの計算方法を明らかにし、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。さらに、現実的に設定可能なポートの電圧値のみで各種特性量を表現した。

第3章では、無線呼出し端末内蔵用のカードサイズアンテナの数値解析ならびに Wheeler 法を用いた放射効率の測定について述べた。ワイヤグリッドモデルで近似した上

で第2章で論じたモーメント法を適用し、入力特性、偏波面の制御、Lセクション整合回路を利用したときの不整合損を含めたアンテナ効率に関して論じた。次に、小形アンテナの簡易効率測定法である Wheeler 法によりカードサイズアンテナの放射効率を実験的に評価し、数値解析により得られる放射効率の妥当性について考察した。さらに、Wheeler 法の適用根拠となる放射抑制シールド効果についてグリーン関数を用いて検討した。

第4章では、第2章で論じたモーメント法に対して最適化問題を考え、第3章で取り上げたカードサイズアンテナの各種特性量の限界値について述べた。モーメント法において、多くの特性量はエルミート形式の比の形で表現でき、その最適値が一般化固有値問題の最大・最小固有値を求める問題に帰着することを説明した。実際には、カードサイズアンテナのワイヤグリッドモデルに対して、設定可能なポートを限定して、この最適化手順を適用した。また、モーメント法の固有モード問題を考え、各モードの励振振幅を評価し、各特性量が最適化された状態を定量的に明らかにした。

第5章では、高温超電導体マイクロストリップアンテナの数値解析について述べた。まず、高周波における超電導現象を巨視的な立場で取り扱うために必要となる基本事項を述べた後、その実験的な現象論モデルである三流体モデルについて説明を行った。また、数値解析手法として用いたスペクトル領域モーメント法において、接地導体面の損失を考慮したグリーン関数の導出、ならびに、境界条件によるパッチ面の損失の繰り込みにより、高温超電導体マイクロストリップアンテナの解析を可能とした。これらのモデルおよび数値解法を利用して、パッチ形状がダイポールである場合について、高温超電導体マイクロストリップアンテナの基本特性を計算し考察を加えた。

第6章では、背面給電型の円偏波円環マイクロストリップアンテナにおいて、給電ピンのインダクタンス分を相殺するために整合用のスタブを設けることを議論した。まず、マイクロストリップアンテナのキャビティモデル、ならびに、パッチの形状が摂動を受けたときの取り扱いについて説明した。相殺効果を明確にするために、円偏波用のスタブと整合用スタブの動作メカニズムを上記の手法を用いて統一的に解析し、その効果に対して物理的な解釈を与えた。その結果を検証するために実験を行い、その妥当性を確認した。

第7章では、結論を述べ、本論文で得られた結果を要約した。

これを要するに、本論文は通信用小形・薄形アンテナに関して、有益な多くの新発見を得ており、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。