学位論文題名

移動体通信用アンテナの小形化に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、移動体通信は急速な普及を見せており、携帯電話や PHS などの小形無線端末に於いては国民の 2 人に 1 人以上の割合で所有している。このような急速な普及の一因として、端末の軽量化、小形化がすすみ、利便性が向上したことが挙げられる。その後も小形、軽量化競争は終息することなく続いている。

携帯端末に於いてアンテナに対する小形化、軽量化の要求は大きい。さらに、端末を使用する上での利便性やデザイン上の要求も課せられている。一般的に、小形アンテナはその電気的大きさと性能が比例しており、アンテナの小形化は狭帯域化、利得の低下に結びつく。さらに、人体の近傍で使用されるため、人体による性能劣化が大きい。このような条件下で可能な限り小形で高性能なアンテナを実現することが課題となっている。一方、携帯端末の小形化の要求から、アンテナや回路などの部品が 1 波長以内の狭い領域に高集積されている。携帯端末の中では様々な周波数の電磁波が使用されており、アンテナと回路の間の電磁結合により不具合が生じる場合がある。回路とアンテナの干渉を防ぐためには回路をシールドケースにて覆う対策が用いられるが、小形化された端末で完全なシールドを実現することは工作上的理由により困難である。一般的には部分的に隙間の開いたシールド構造となるため、アンテナと回路間にはあるレベルの結合が生じる。この結合量を定量的に評価し、結合を低減するための手法を明らかにすることが課題となっている。また、携帯端末の回路をシールドするためのシールドケースの材料として、誘電体の形成品の両面に金属メッキ処理を施したものが多用されており、誘電体と金属の多層構造となっている。金属は通常の電磁界解析では完全導体としてモデル化される。しかし、金属の厚みが表皮深さに比べて薄い場合には導体に入射された電磁波の一部は透過波となり、金属を透過する。シールドケースのメッキ厚は軽量化のため、 $1\mu\text{m}$ 以下にする場合があり、この場合は 1GHz における表皮深さより薄くなるため、透過波を考慮した解析が必要となる。携帯端末のような複雑な形状を考慮できる電磁界解析手法として FDTD 法がある。これまでは FDTD 法に於いて多層構造の導体を透過する波を模擬することは困難であり、課題となっている。一方、アンテナの開発には高精度な測定は必要不可欠である。携帯端末に用いられるアンテナはアンテナ自体が小形化されているだけでなく、アンテナが搭載されている地導体も波長程度、またはそれ以下という特徴がある。この場合には地導体がアンテナの一部として動作するため、測定のための RF ケーブルを端末に接続すると、ケーブル上に不要な電流が誘起され、ケーブルがない状態の本来の測定結果が得られない場合があるという課題がある。また、移動体通信の基地局の設置コスト低減のためにはアンテナの風圧荷重の低減が必要であり、小径の基地局アンテナが望まれている。増加する加入者に対応するため、さらには第二世代から第三世代への移行のため、使用される周波数が高くなっている。現在 NTTDoCoMo では第二世代の PDC 用に 800MHz, 1.5GHz 帯を、第三世代の W-CDMA 用に 2GHz 帯を用いており、3 周波数共用の小形基地局アンテナの開発が課題となっている。

本論文は移動体通信における端末と基地局のアンテナを小形化する際に生じる上記課題の解決

法を述べたものであり、端末用の小形アンテナ(2章)、端末内の高周波に関する干渉解析(3, 4章)、端末用アンテナの高精度測定法(5章)、および小形基地局アンテナ(6章)に関わるものである。第2章ではフリップに内蔵するダイポールアンテナを提案し、その設計法、および特性について述べる。フリップは人体より離れた位置にアンテナを設置可能な場所の一つとして挙げられ、人体損の小さな高利得アンテナが実現できる。本アンテナの問題点はフリップの開閉によりインピーダンス特性が大きく変化するという点である。本章では、これを解決する方法としてフリップ閉時にはアンテナの動作するモードを変化させ、筐体上の電流からの放射を有効に利用することを提案する。各アンテナのパラメータとインピーダンス特性の関係を明らかにし、フリップ開閉の両方で良好なインピーダンス整合が得られることを示す。さらに、人体近傍に於ける放射特性について検討を行い、従来のモノポールに比べ、大幅に利得が改善されることを示す。第3章では携帯端末のアンテナとシールドケース内のストリップ線路の結合解析について述べる。携帯端末近傍に於ける電磁界分布を正確にモデル化するため、シールドケース、およびアンテナを含めた携帯端末全体の形状を考慮したモデル化を行う。計算効率を向上させるため、結合量の計算はFDTD法と起電力法を併用する。両手法を併用することで、セルサイズの増大を防ぎ、かつストリップ線路に関するパラメータの変化に対しては計算コストのかかるFDTD法の再計算が不要となる。間隙部の長さ、ストリップ線路の高さ、アンテナ長などの各パラメータと結合量との関係を明らかにし、結合量が低減できる条件を明らかにする。第4章では多層導体薄膜を透過する波をFDTD法に於いて模擬するためのサブセル法について述べる。多層導体薄膜の透過係数をFDTD法にて正確に模擬することを第一目的とし、多層導体薄膜と等しい透過係数を有する表面抵抗膜を導入する。上記表面抵抗膜の抵抗値を簡単な形で導出し、FDTD法にて前記抵抗値を用いた定式化を行い、多層導体薄膜の透過係数を模擬する方法について述べる。本手法の有効性を確認するため、無限平面に対する平面波入射、及び微小ダイポールに対するシールド効果をシミュレーションした結果、実用範囲の誤差で解が得られたことを示す。5章ではRFケーブルが携帯端末用アンテナの測定結果に影響しない測定法として、RF信号の伝達手段として光ファイバーを導入し、携帯端末用アンテナのインピーダンス特性、放射特性を測定するための系を提案する。本測定系の有効性を検証するため、光ファイバーを用いた測定系に於いて、従来のRFケーブルを用いた系と同程度の精度で測定できること、および光ファイバーが携帯端末のアンテナ特性にほとんど影響を与えないことを示す。本測定系の適用例として、直方体の金属筐体上のモノポールについて測定を行い、FDTD法を用いた計算値とよく一致する結果が得られることを確認する。6章では小形な3周波共用基地局アンテナを提案する。3周波に於いてインピーダンス整合を得るため、それぞれの周波数に於いて動作する非励振素子を装荷する。非励振素子に対応した共振周波数に於ける帯域幅を広くするため、励振素子に対して2つの非励振素子をシリアルに配列することを提案する。2つの非励振素子の共振長、間隔に最適な条件があり、最適な寸法により広帯域化が実現できることを示す。これらの構造を用いた携帯電話の基地局用3周波数共用アンテナ(0.9/1.5/2.0GHz)を提案し、従来の2周波共用アンテナと同程度のサイズで、所望の帯域、ビーム幅が得られることを示す。最後に7章に於いて以上の結果をまとめる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 小 川 恭 孝
副 査 教 授 宮 永 喜 一
副 査 教 授 野 島 俊 雄
副 査 教 授 小 柴 正 則

学 位 論 文 題 名

移動体通信用アンテナの小形化に関する研究

携帯電話や PHS などの移動体通信は近年著しい普及を見せている。このような急速な普及は、端末の軽量化、小形化が進んだことに大きな要因があり、さらに利便性の高い端末が要求されている。これを実現するために携帯端末のアンテナに対する小形化、軽量化の要求は大きい。一般的に、小形アンテナはその電気的大きさと性能が比例しており、アンテナの小形化は狭帯域化、利得の低下に結びつく。また、人体の近傍で使用されるため、人体による性能劣化が大きい。このような条件下で可能な限り小形で高性能なアンテナを実現することが課題となっている。また、移動体通信の基地局の風圧荷重の低減が必要であり、小径の基地局アンテナが望まれている。通信事業者によっては第二世代の移動通信サービスに 800MHz, 1.5GHz 帯を、第三世代のサービスに 2GHz 帯を用いており、これら 3 周波数共用の小形基地局アンテナの開発が課題となっている。本論文は移動体通信における端末搭載用の小形アンテナの構成法、端末内の高周波に関する干渉解析、端末用アンテナの高精度測定法、および、小形基地局アンテナに関する成果をとりまとめたもので、7 章から構成されている。

第 1 章では、移動通信における小形アンテナの問題点の整理、本論文の目的を述べている。

第 2 章では、フリップと呼ばれる端末のカバー部分に内蔵するダイポールアンテナを提案し、その設計法、および特性について述べている。フリップは人体より離れた位置にアンテナを設置可能な場所の一つであり、人体損の小さな高利得アンテナが実現できる。著者は、フリップ開閉の両方で良好なインピーダンス整合が得られることを示している。さらに、人体近傍に於ける放射特性について検討を行い、

従来のモノポールに比べ、大幅に利得が改善されることを示している。

第3章では、携帯端末のアンテナとシールドケース内のストリップ線路の結合解析について考察している。携帯端末近傍に於ける電磁界分布を正確にモデル化するため、シールドケース、および、アンテナを含めた携帯端末全体の形状を考慮したモデル化を行っている。計算効率を向上させるため、結合量の計算はFDTD法と起電力法を併用することを提案している。これにより、セルサイズの増大を防ぎ、かつストリップ線路に関するパラメータの変化に対しては計算コストのかかるFDTD法の再計算が不要となる。間隙部の長さ、ストリップ線路の高さ、アンテナ長などの各パラメータと結合量との関係を明らかにし、結合量が低減できる条件を明らかにしている。

第4章では、多層導体薄膜を透過する波をFDTD法により模擬するためのサブセル法を明らかにしている。多層導体薄膜の透過係数をFDTD法により正確に模擬するため、多層導体薄膜と等しい透過係数を有する表面抵抗膜を導入している。この手法の有効性を確認するため、無限平面に対する平面波入射、および、微小ダイポールに対するシールド効果をシミュレーションした結果、実用範囲の誤差で解が得られたことを示している。

5章では、RFケーブルが携帯端末用アンテナの測定結果に影響しない方法として、RF信号の伝達手段として光ファイバーを導入し、携帯端末用アンテナのインピーダンス特性、放射特性を測定するための系を提案している。本測定系の適用例として、直方体の金属筐体上のモノポールについて測定を行い、FDTD法を用いた計算値とよく一致する結果が得られることを確認している。

6章では、小形の3周波共用基地局アンテナについて論じている。3周波に於いてインピーダンス整合を得るため、それぞれの周波数に於いて動作する非励振素子を装荷することを述べるとともに、広帯域化を実現する手法を明らかにしている。これを用いた携帯電話の基地局用3周波数共用アンテナ(0.9/1.5/2.0GHz)を提案し、従来の2周波共用アンテナと同程度のサイズで、所望の帯域、ビーム幅が得られることを明らかにしている。

7章は結論であり、本論文の成果を要約している。

これを要するに、著者は移動体通信における端末と基地局のアンテナの小形化について重要な提案を行い、理論的・実験的にその妥当性を示すとともに、測定法の改善も実現しており、アンテナ工学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あるものと認める。