

移動体通信用アンテナの高性能化に関する研究

西本, 研悟 / NISHIMOTO, Kengo

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

57

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

7

(発行年 / Year)

2016-03-24

博士学位論文
論文内容の要旨および審査結果の要旨

論文題目	移動体通信用アンテナの高性能化に関する研究
氏名	西本 研悟
学位の種類	博士（工学）
学位授与年月日	2016年3月24日
学位授与の条件	法政大学学位規則第5条第1項第2号該当者（乙）
論文審査委員	主査 中野 久松 教授 副査 山内 潤治 教授 副査 堀端 康善 教授

2016年(月)22日

学位論文審査委員会

委員長 佐藤 勉 殿

学位論文審査小委員会

主査 教授 中野 文 樹 

副査 山内 潤 治 

副査 塚端 康 善 

副査 

試問による学識確認の報告

法政大学学位規則第20条により、西本 研 悟 氏について、その論文を中心に関連する学問領域の試問を行った結果、合格と判定した。

以 上

(報告様式 I ・ 論文博士)

2016年 1 月 22 日

学位論文審査委員会

委員長 佐藤 勉 殿

学位論文審査小委員会

主査 教授 甲 錦 之 松 

副査 山内 潤 治 

副査 堀 端 康 善 

西本 研悟 氏 提出学位請求論文

「移動体通信用アンテナの高性能化に関する研究」

論文内容の要旨と審査結果の要旨 (報告)

(報告様式II)

1. 論文内容の要旨

移動体通信システムは、高速化、高性能化に向け進化し続けており、我々の生活の身近で多く利用されるようになってきている。移動体通信システムは、一般には、基地局と小形端末から構成される。

小形端末用アンテナには、移動体通信システムの進歩に伴い小形化、広帯域化がますます求められている。寸法、使用帯域、放射効率（利得）などの要求条件下で、理論限界に近い高性能のアンテナを設計する方法としては、主として、(1)小形端末内の地導体を放射体の一部として積極的に利用する方法と、(2)アンテナを小形端末内の地導体から分離する方法がある。前者では地導体に電流を流すモノポール系のアンテナが、後者では地導体に流れる電流を抑制できるダイポール系のアンテナが用いられる。モノポール系のアンテナにおいては、筐体(端末の地導体)上の電流により筐体もアンテナとして動作し、地導体の形状がアンテナ特性を変化させる。一方、ダイポール系のアンテナにおいては、地導体に流れる電流を抑圧できるので端末構造に起因する特性劣化を低減できるが、モノポール系よりアンテナ寸法を大きくする必要があり、実装寸法に制約がある場合には広帯域化が困難である。すなわち、小形端末用アンテナの課題は、モノポール系では端末構造を含めた最適設計法の確立であり、ダイポール系では広帯域特性が要求される場合の小形化の実現である。

また、モノポールやダイポール等の線状アンテナの解法としては、積分方程式を解いてアンテナの電流分布を求め、これにより放射特性を求める方法について多くの研究がなされている。積分方程式を解く際には、一般に、電流は円筒導体の中心軸を流れていると仮定し、これによる円筒導体表面のポテンシャルを計算する（細線近似）。すなわち、近似核を用いる。また、波源としては、無限小の間隔に電圧が印加されると仮定した δ 関数を用い、給電部の有限間隙を考慮しない。しかし、実際の線状アンテナは線径と給電間隙が有限なので、高精度に解析するためにはこれらを考慮する必要がある。線状アンテナの解析においては、厳密核と有限間隙の両方を考慮した高精度の解法の確立が課題である。

基地局においては、小形端末と比較して、より高性能、高機能なアンテナが用いられ、携帯電話用基地局では、トラフィック量に応じてビーム方向を垂直面内でチルト可能なリニアアレーアンテナが用いられる。電氣的にビーム方向を変化させるために、各素子アンテナの励振位相を変化させる移相器が使用される。基地局用アンテナにおいてはPIM (Passive Intermodulation) を抑圧する必要があるため、移相器としては金属間接触の無い構造が望ましい。また、低損失でありながら構造が簡易であることが求められる。更に、基地局用アンテナでは、マルチパスフェージングを抑制するために、空間ダイバーシチや偏波ダイバーシチが使用されることが多い。中でも偏波ダイバーシチは、省スペースでありながら空間ダイバーシチと同等以上の効果があるため、広く使用されている。偏波ダイバーシチアンテナにおいては、ダイバーシチ利得を上げるために低交差偏波化が重要となる。すなわち、基地局用アンテナの課題は、簡易・小形で金属間接触の無い移相器の設計

法確立と、偏波ダイバーシチアンテナの低交差偏波化である。

第2章では、モノポールアンテナの端末構造を含めた最適設計法として、2枚の地板をスライドさせる構成のスライド式端末に着目する。スライド式端末において広帯域化を実現する設計手法はこれまでなかった。そこで、スライド構造を有する小形端末にモノポールタイプのアンテナを設置した時に、スライド構造の共振を利用することで、アンテナの入力インピーダンスを広帯域化する方法を提案する。スライド構造は互いに重なった2枚の地板と、地板間を接続するFPC(Flexible Printed Circuit)から構成される。FPCの長さや地板間容量を変化させることで、スライド構造の並列共振周波数を調整できることをFDTD法を用いた計算、測定により示し、提案方法の有効性を実証した。

第3章では、限られた実装領域下で広帯域に適用できるダイポール系のアンテナを提案する。ダイポール系のアンテナの一種であるスリーブアンテナでは、これまでに、端末内の地導体に流れる漏れ電流を阻止する周波数帯域まで考慮した、広帯域に適用可能なスリーブアンテナの報告はなかった。そこで、小形化のために可変容量素子を装荷した帯域可変スリーブアンテナを提案する。可変容量 C をスリーブ導体と給電線路の地導体から構成される線路の途中に並列に設置し、 C を変化させることで、漏れ電流を阻止する周波数帯域を調整できることを計算と実験により示した。また、実際に可変容量ダイオードを用いた場合のアンテナ構成について示し、本アンテナの有効性を実験により実証した。

第4章では、線状アンテナの解法として、厳密核と給電部の有限間隙の両方を考慮した方法を提案する。Hallénの積分方程式に対してNyström法を適用し、近似核を厳密核に変換する補正関数を導出する。また、特異性を持つ核に対して、1点修正法を提案する。階段関数の波源に対して様々な求積法を適用して比較し、各求積法による違いは小さいことを示した。更に、モノポールアンテナのアドミタンスの周波数特性を測定し、測定値と計算値が非常に良く対応することを示し、本理論の妥当性を明らかにした。

第5章では、簡易・小形の移相器として、M字型誘電体移相器を提案し、設計式を導出する。提案する移相器は金属間接触構造が無く、M字型の誘電体板をストリップ線路のストリップ導体と地導体板の間で動かすことで移相量を調整する。本移相器においては、誘電体板の可動量にかかわらず反射係数は中心周波数において最小であり、移相量と可動量の関係は線形である特長を有する。これらの特性を計算と測定により検証し、計算結果、測定結果、理論式の傾向がほぼ対応することを示した。

第6章では、偏波ダイバーシチを実現する方法として、アンテナの数と大きさを減らすことができる直交偏波共用パッチアンテナに着目する。基地局用アンテナではビームをチルトさせるため、水平面から下に傾いた観測面(チルト面)における特性が重要である。チルト面では、パッチアンテナの基本モード自身が交差偏波成分を発生させるため、従来の方法だけでは交差偏波を低減することができない。そこで、直交偏波共用パッチアンテナの基板誘電率を最適化することにより、チルト面における交差偏波を低減する方法を提案する。パッチアンテナのキャビティモデルにより、交差偏波の誘電率特性を明らかにし、

直交 2 偏波双方の交差偏波を同程度まで低減する最適誘電率が存在することを見出した。更に、パッチアンテナに無給電素子を装荷した場合を検討し、本方法が有効であることを計算と実験により実証した。

以上のように、本論文では、小形端末用アンテナに関する 3 つのテーマ（モノポール系、ダイポール系のアンテナの設計法、線状アンテナの解法）と基地局用アンテナに関する 2 つのテーマ（ビーム方向を制御するための簡易・小形の移相器、偏波ダイバーシチを実現するための直交偏波共用パッチアンテナ）についての課題に対して提案を行い、その有効性を示した。

2. 審査結果の要旨

本論文は、全7章から成り、移動体通信に関する小型端末アンテナおよび基地局アンテナについての考察を提示している。審査の結果、以下に示す第2章から第6章において、工学上の新規性と有効性が確認された。

第2章ではモノポールタイプのアンテナをスライド構造の機器に設置した場合が考察されている。スライド構造の共振を使用することにより、アンテナ入力インピーダンスの広帯域化を実現している。スライド構造の並列共振周波数はFPC (Flexible Printed Circuit) の長さや地板間容量の変化により調整できる。

第3章では可変容量素子を装荷した帯域可変スリーブアンテナが創案されている。本アンテナにおいては、スリーブ導体と給電線路地導体から構成される回路の途中に、可変容量 C が並列に設置されている。漏れ電流阻止周波数帯域はこの C の変化を利用することにより制御できる。

第4章では線状アンテナが給電部の有限間隙を考慮に入れて解析されている。Hallénの積分方程式における近似核を厳密核に変換するための補正関数が導出されている。これにより解法の精度をあげている。モノポールアンテナのアドミタンスの周波数特性の測定により、本解法の妥当性が確認されている。

第5章では接地板、M字型誘電体、ストリップ導体から成る簡易・小型移相器が創案されている。設計式を導出し本移相器を実現している。本移相器においては、誘電体板の可動量にかかわらず反射係数が中心周波数において最小であり、移相量と可動量の関係が線形となる特長を有する。

第6章ではパッチアンテナがキャビティでモデル化されており、交差偏波と誘電率の関係が解明されている。直交2偏波双方の交差偏波を同程度まで低減する最適誘電率の存在を見出している。これにより従来不可能であったチルト面における交差偏波の低減化を達成している。

以上、本論文は、小型端末アンテナを実現するための動作解明・解析法・設計法、ならびに基地局アンテナを実現するための位相器構成法とチルトビーム成形法について、貴重な知見を提供し通信工学に資するところが大きい。よって、本審査小委員会は全会一致をもって提出論文が博士(工学)の学位に値するとの結論に達した。

(報告様式Ⅲ)