

学位論文題名

3次元時間領域解析手法のアンテナおよび伝搬問題への適用

学位論文内容の要旨

近年、マイクロ波、ミリ波回路素子の設計、およびレーダ分野などの電磁波解析において3次元時間領域解析が重要となってきている。素子の小形化、複雑化により従来の解析的アプローチおよび2次元解析では対処できなくなりつつあること、また、従来の周波数領域解析のみならず、時間領域での解析の必要性も増大していることなどが背景にある。このことはその中の一分野であり無線通信で重要なアンテナおよび伝搬問題解析についても同様である。特に、近年の計算機の急速な発展は上述のような大規模な3次元解析を可能としている。このことは計算機上であたかも物理実験をしているとも考えられるので、計算物理と言われる新しい研究分野となりつつある。しかしながら、このような解析は本格的な意味でアンテナおよび伝搬問題解析には適用されてこなかった。本論文では、アンテナおよび伝搬問題で重要なパッチアンテナ、八木アンテナ、配向分極、磁化プラズマの3次元時間領域解析を試みた。これらは、いずれもアンテナおよび伝搬解析において基本となる重要なものである。パッチアンテナは現在の高周波アンテナの代表的アンテナとなっており、八木アンテナは短波帯アンテナの代表的アンテナでありこれらのアンテナの特性把握はアンテナ工学において非常に重要である。配向分極はマイクロ波領域でおこる周波数分散であり、磁化プラズマは分散特性の他に異方性を示す媒質である。ともに、他の周波数帯での分散現象や他の異方性媒質と共通の性質を持っており、これらの媒質中の波形伝搬の解析手法の定式化は他の媒質を取り扱う上でも一般性を持っている。

本論文は上述の問題点に注目し3次元時間領域解析手法をアンテナおよび伝搬問題解析に適用し、従来行われていなかった厳密な解析を行いその有効性を示したものである。

本論文は全7章により構成されている。

第1章は序論で、本研究の背景および目的、従来の関連する研究の概要について述べた。

第2章では本論文で用いた3次元時間領域解析手法であるFD-TD法およびBergeron法について説明している。

第3章では、パッチアンテナの基本形である方形パッチを例にとりBergeron法により近傍界の3次元時間応答解析を行った。近年、パッチアンテナは携帯無線、移動体通信用アンテナなどとしてその重要性が高まっている。また、アンテナ構造そのものが複雑化し従来の解析的近似法では設計が困難になってきており、系の形状を厳密に考慮した3次元解析が重要となっている。本章ではアンテナ特性に重要な遠方界計算を行った。更にベクトル解析の特徴を生かし直線偏波、円偏波の両偏波について、それぞれパッチ近傍の電界ベクトル表示を行い、界の空間的、時間的形

成過程、近傍界から遠方界への変化の過程を求めている。これらによりアンテナ解析に対する本手法の有効性を示している。

第4章ではFD-TD法を用いて八木・宇田アンテナの時間領域解析を行った。八木・宇田アンテナはその構造の簡単さにもかかわらず導波作用および反射作用という特徴ある特性を示し様々な分野で使用されている。従って、このアンテナの動作原理を理解することはアンテナ工学において重要であると思われる。ところで、放射現象を従来から行われている周波数領域ではなく、時間領域で直接的に把握することも重要と考えられる。特に、系の特性を生み出す、あるいは記述するインパルス応答を求めることは意義が大きいと考える。また、インパルス応答は一般に波の反射、透過、屈折、回折、散乱過程などを容易に示し、アンテナにおいて波がどのような経路で伝搬、あるいは放射するかを直接的に示すことができる。本章では、まず、入力インピーダンスおよび指向性を求めた。次に、本アンテナのインパルス応答解析を行った。この時、得られた界の空間分布の時間的変化が可視化されている。また、初期応答、後期応答が示された。

第5章ではFD-TD法を用いて分散性媒質の一例として配向分極の定式化を行った。近年、厳密なシミュレーションの立場から、時間領域解析手法において分散現象の定式化が不可欠となってきた。分散性媒質を含んだ系を時間領域で解析する場合、従来の分散を考慮していない定式化では二つの問題がある。一つはパルス波応答を見る場合正確な応答ではないこと。二つ目はプラズマなどに見られるように誘電率が負になる場合など解の安定性の問題から解析ができないことである。本章では定式化の妥当性を示した後に解析例を示している。解析例としては配向分極特性を持つ代表的な媒質として水を取り上げ、一般的な問題である水と空気の二媒質問題について、水の分散特性を考慮した場合としない場合につきバースト波を例に取り波形伝搬の違いを示している。この時、デバイ型の分極のみならず、更に複雑なコール・コール型の分極についても定式化を行っている。

第6章では異方性媒質の一例としてBergeron法を用いて磁化プラズマの定式化を行った。磁化プラズマはマイクロ波領域においてジャイロ異方性を示す複雑な特性を持っている。この媒質は異方特性の他に上述したように、周波数分散も強く現れる。そのため、従来の2次元周波数領域での解析では不十分な場合も生じており、数値計算による3次元解析の重要性が増大してきている。本章では、磁化プラズマの定式化を行った。定式化にはジャイロ異方性の原因となる媒質中の電荷に関する運動方程式を用いた。更に、本定式化の妥当性を確かめるため、ジャイロ異方性媒質中の波動伝搬現象として基本的な、横伝搬波および縦伝搬波についてシミュレーションを行なった。また、3次元的効果であるファラデー効果をシミュレートした。

最後に、第7章を結論とした。

以上の様に、本論文では3次元時間領域解析手法をアンテナおよび伝搬問題に適し従来困難であった厳密な解析を行い、その有効性を示した。近年の計算機の発達はこの3次元時間領域解析を益々有効に行くものと考えられる。

学位論文審査の要旨

主査	教授	田頭博昭
副査	教授	長谷川英機
副査	教授	伊藤精彦
副査	教授	小柴正則
副査	助教授	吉田則信

学位論文題名

3次元時間領域解析手法のアンテナおよび伝搬問題への適用

近年、アンテナおよび伝搬問題の数値解析に関する研究が盛んに行われている。しかし、その多くは形状および媒質が限定された系の解析を目的としており、任意の系を対象とした汎用的解析手法に関する研究は未開拓の状態にあった。

本論文は、汎用的解析手法である3次元時間領域解析手法のアンテナおよび伝搬問題への適用について研究したものである。具体的にはアンテナおよび電磁波伝搬問題で典型的なパッチアンテナ、八木アンテナ、配向分極、磁化プラズマについて3次元時間領域解析をFD-TD法、Bergeron法を用いて行っている。パッチアンテナは高周波平面アンテナの、八木アンテナは短波帯でのワイヤー系アンテナのそれぞれ代表的アンテナであり、本研究で行ったこれらのアンテナの設計手法の確立と電磁場の可視化はアンテナ工学において重要な地位を占めている。配向分極はマイクロ波領域でおこる代表的周波数分散であり、磁化プラズマは分散特性の他に異方性を示す媒質で、ともに、他の周波数帯での分散現象や他の異方性媒質と共通の性質を持っている。本研究で行ったこれらの媒質中の波形伝搬の解析手法の定式化は他の媒質を取り扱う上でも一般性を持つものである。

本論文は全7章により構成されている。第1章は序論で、本研究の背景および目的、関連する従来の研究の概要について述べている。第2章は本論文で用いた3次元時間領域解析手法であるFD-TD法およびBergeron法について説明している。

第3章では、パッチアンテナの基本形として重要である方形パッチを例にとり、Bergeron法により近傍界の3次元時間応答解析を行っている。まず、アンテナ特性に重要な遠方界計算を行ない、更にベクトル解析の特徴を生かし、直線偏波、円偏波の両偏波について、それぞれパッチ近傍の電界ベクトル表示を行い、界の空間的、時間的・形成過程および近傍界から遠方界への変化の過程を明らかにし、アンテ

ナ解析に対する本手法の有効性を示している。

第4章ではFD-TD法を用いて八木・宇田アンテナの時間領域解析を行っている。放射現象の理解には従来のような周波数領域だけではなく、時間領域で直接的に把握することも重要である。本章では、まず、入力インピーダンスおよび指向性を求め、ついで、インパルス応答解析を行ない、得られた界の空間分布の時間的変化が可視化されている。また、初期応答、後期応答が示されている。

第5章ではFD-TD法を用いて分散性媒質の一例として配向分極の定式化を行っている。近年、超高帯域技術の立場から、時間領域解析手法において分散現象の定式化が不可欠となってきた。分散性媒質を含む系を時間領域で解析する場合、従来の分散を考慮しない定式化では、正確なパルス波応答が見られないこと、プラズマのように誘電率が負になる場合など解の安定性の問題から解析ができないなどの問題が生じる。解析例としては配向分極特性を持つ代表的な媒質の水を取り上げ、一般的な問題である水と空気の水と空気の水の二媒質問題について、水の分散特性を考慮した場合としない場合につきパースト波の波形伝搬の違いを示している。さらに、デバイ型の分極のみならず、更に複雑なコール・コール型の分極についても定式化を行っている。

第6章では異方性媒質の一例としてBergeron法を用いて磁化プラズマの定式化を行っている。磁化プラズマはマイクロ波領域においてジャイロ異方性を示す複雑な特性を持つ上、上述のように、周波数分散も強く現れる。そのため、従来の2次元周波数領域での解析では不十分な場合も生じており、数値計算による3次元解析の重要性が増大している。本論文では、磁化プラズマの定式化を行うとともに、本定式化の妥当性を確かめるため、ジャイロ異方性媒質中の波動伝搬現象として基本的な、横伝搬波および縦伝搬波についてシミュレーションを行なっている。また、3次元的效果であるファラデー効果をシミュレートしている。第7章は結論で、本研究の主要な成果を総括している。

これを要するに、本論文はFD-TD法、Bergeron法を用いてアンテナおよび電磁波伝搬問題について3次元時間領域解析を行い、従来得られていなかった厳密な結果を得、その有効性を示すとともに種々の新知見を得たものであって、電磁波工学に対して貢献するところ大である。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。