

学 位 論 文 題 名

A STUDY OF MILLIMETER-WAVE ANTENNAS
BASED ON IMAGE NRD GUIDE AND
PLANAR-TYPE STRUCTURES

(イメージNRDガイドおよび平面構造を用いた
ミリ波アンテナに関する研究)

学位論文内容の要旨

本論文は、イメージNRDガイド並びに平面構造を用いたミリ波アンテナの構成法を提案するとともに、それらの有効性を数値解析と実験の両面から検討した成果をまとめたものである。

携帯電話や無線LANに代表される移動体通信の急速な普及に伴い、マイクロ波帯における周波数資源の不足が大きな問題となりつつある。また、ユビキタスネットワーク社会の実現に向けて、高速データ通信を無線で行う動きも活発化している。無線による高速データ通信は広い周波数帯域を占有するため、マイクロ波に代わる新たな周波数資源の開発が求められている。これらの需要に応え得る周波数資源としてミリ波帯が有望視されている。

一方、ミリ波帯においては、導体損や誘電体損といった材質固有の損失に起因するアンテナや導波路、回路素子等の性能低下が著しく、この問題が新しい周波数資源としてのミリ波の実用化を妨げる一因となっている。したがって、高性能なミリ波アンテナの開発はミリ波無線システムの実用化を促進させるための重要な課題である。

ミリ波帯においても挿入損失が非常に小さな導波路として、非放射性誘電体導波路 (Non-Radiative Dielectric Wave Guide; 以下 NRDガイドと略する) が知られている。NRDガイドにイメージ面を組み合わせたイメージNRDガイドはNRDガイドと同様の特性を有しており、かつ、NRDガイドに比べて小型な利点を有している。そこで本論文では、イメージNRDガイドを給電線路あるいは放射素子として用いたミリ波アンテナの構成法について検討した。

従来の無線システムでは、アンテナと送受信回路を個別の構成要素として取り扱うのが一般的であった。しかし、MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) に用いられる超微細加工技術の進展を背景に、アンテナと回路素子や半導体デバイスを一体化し、無線システムの高性能・小型化を図る動きが加速しつつある。このような手法はミリ波無線システムの構築にも有用であると期待されるため、本論文では、回路素子や半導体デバイスとの一体化が容易な平面構造のミリ波アンテナ構成法についても検討した。

以下、本論文において得られた結果と考察を要約するとともに、その意義を述べる。

第1章では、本論文の背景ならびに概要を述べた。

第2章では、イメージNRDガイド共振型漏れ波アンテナに着目し、そのアレー化について検討した。イメージNRDガイド共振型漏れ波アンテナは、 LSE_{11} モードのカットオフ近傍での共振現象を用いることにより、低サイドロープレベルのブロードサイド放射を実現したものである。本アンテナの改良すべき点として、磁界面 (H面) ビーム幅 (70° 程度) が、電界面での値 (20° 程度)

に比べて広いことが挙げられる。そこで本章では、イメージNRDガイド共振型漏れ波アンテナのH面ビーム幅を狭めて放射特性の向上を計るために、方形導波管の広壁面上スロット励振を用いたイメージNRDガイド共振型漏れ波アンテナのアレー化手法を提案した。まず、時間領域差分(FDTD)法による数値解析によりアレー設計のための基礎データを明らかにした。次に、それを踏まえて2素子のリニアアレーを設計し、その特性を数値解析と実測の両面から評価した。この結果、H面ビーム幅は 34° となり、1素子の場合に比べて 36° 狭くなることが確認された。

イメージNRDガイドの端部から誘電体ロッドを突出させることにより、誘電体ロッドアンテナを構成することができる。しかし、イメージNRDガイドを伝搬する電磁界(モード)と、誘電体ロッドアンテナにおけるモードは異なる形態であるから、単にロッドを突出させた場合はモード不整合による放射特性の劣化が問題となる。そこで第3章では、誘電体ロッドアンテナとイメージNRDガイドとの間にテーパ状のモード変換器を設けることにより、モード不整合による放射パターンの乱れが改善されることを30GHz帯におけるFDTD解析と実測により示すとともに、モード変換器を利用しない場合に比べて利得が3dB上昇することを明らかにした。

誘電体ロッドアンテナの利得は、アンテナ全長を増加させることにより上昇する。しかし、機械的強度の観点からアンテナ全長には制限があり、その制約の元で実現可能な利得は18~20dBiが上限となるのが一般的である。そこで第4章および第5章では、イメージNRDガイド給電誘電体ロッドアンテナの利得向上を目的として、方形導波管の広壁面上スロット励振を用いたイメージNRDガイド給電誘電体ロッドアンテナのアレー化手法を提案した。第4章では方形導波管の広壁面上スロットにより励振されるイメージNRDガイド給電誘電体ロッドアンテナのFDTD解析を行い、アレー設計のための基礎データを明らかにした。第5章では、第4章で得られた結果を踏まえて設計した2素子アレーの特性評価を行い、30GHz帯において22dBi程度の利得が得られることを示し、提案手法の有効性を確認した。

セクタアンテナは、高速無線通信において問題となるマルチパス波の影響低減に有効である。量産性および設置の容易さを考慮すると、プリント配線技術で製作可能な平面セクタアンテナの開発が望まれる。そこで第6章では、プリント配線技術のみで製作可能な平面セクタアンテナのための基本素子として、ポスト壁キャビティ付き八木・宇田アレーを提案するとともに、本アレーで構成した平面セクタアンテナの特性を明らかにした。FDTD解析により基本素子の諸特性を明らかにするとともに、6組の4素子アレーから成る平面セクタアンテナを製作し、その特性を実験により評価した。この結果から、本章で提案した基本素子を平面配置するだけで、セクタ間の相互干渉が -38dB 以下の平面セクタアンテナが構成できることを確認した。

第7章では、間げきを介して給電される円偏波マイクロストリップアンテナ(CP-PMA)を提案した。本アンテナは、マイクロストリップ線路と、線路と同一面に配置された円偏波パッチアンテナにより構成される。はじめに、1素子のCP-PMAのFDTD解析および測定を行い、この結果から、線路終端とパッチとの距離を制御することにより、偏波の回転方向が切換可能であることを確認した。また、CP-PMAを用いた2素子アレーを設計し、FDTD解析および実験による特性評価を行った。その結果から、アレー化した場合であっても、1素子の場合と同様に、マイクロストリップ線路の終端条件を変化させることにより、偏波切換が可能であることを示した。

第8章では、PINダイオードを用いた偏波切換回路をマイクロストリップ線路の終端に付加することにより、右旋および左旋偏波の切換を可能としたCP-PMAを設計するとともに、その諸特性をFDTD解析により明らかにした。また、軸比が最小となる周波数においてインピーダンス整合を実現するために、PINダイオードと並列スタブから成る整合回路を付加した場合についても特性評価を行い、その有効性を確認した。

第9章は結論であり、論文全体の成果を要約している。

学位論文審査の要旨

主査	教授	野島俊雄
副査	教授	小柴正則
副査	教授	小川恭孝
副査	教授	宮永喜一
副査	助教授	山本学

学位論文題名

A STUDY OF MILLIMETER-WAVE ANTENNAS BASED ON IMAGE NRD GUIDE AND PLANAR-TYPE STRUCTURES

(イメージNRDガイドおよび平面構造を用いた
ミリ波アンテナに関する研究)

本論文は、イメージNRDガイドを給電線路あるいは放射素子として用いたミリ波アンテナ構成法について検討するとともに、回路素子や半導体デバイスとの一体化が容易な平面構造のミリ波アンテナ構成法について検討したものであり、第1章から第9章までの全9章で構成されている。

第1章は序論であり、イメージNRDガイドおよび平面構造を用いたミリ波アンテナに関する従来の研究例を概説するとともに、本論文の目的および構成を述べている。

第2章では、イメージNRDガイド共振型漏れ波アンテナに着目し、そのアレー化について検討している。イメージNRDガイド共振型漏れ波アンテナは、 LSE_{11} モードのカットオフ近傍での共振現象を用いることにより、低サイドロープレベルのブロードサイド放射を実現したものである。本アンテナの改良すべき点として、磁界面(H面)ビーム幅(70°程度)が、電界面での値(20°程度)に比べて広いことが挙げられる。そこで本章では、イメージNRDガイド共振型漏れ波アンテナのH面ビーム幅を狭めて放射特性の向上を計るために、方形導波管の広壁面上スロット励振を用いたイメージNRDガイド共振型漏れ波アンテナのアレー化手法を提案している。

第3章では、誘電体ロッドアンテナの給電線路として、イメージNRDガイドを用いた場合の給電構造について検討している。イメージNRDガイドの端部から誘電体ロッドを突出させることにより、誘電体ロッドアンテナとして動作させることが可能であるが、イメージNRDガイドを伝搬する電磁界(モード)と、誘電体ロッドアンテナにおけるモードは異なる形態であるから、単にロッドを突出させた場合はモード不整合による放射特性の劣化が問題となる。そこ

で、誘電体ロッドアンテナとイメージNRDガイドとの間にテーパ状のモード変換器を設けることにより、モード不整合による放射パターンの乱れが改善されることと、モード変換器を利用しない場合に比べて利得が改善されることを明らかにしている。

第4章および第5章では、イメージNRDガイド給電誘電体ロッドアンテナの利得向上を目的として、方形導波管の広壁面上スロット励振を用いたイメージNRDガイド給電誘電体ロッドアンテナのアレー化手法を提案している。第4章では方形導波管の広壁面上スロットにより励振されるイメージNRDガイド給電誘電体ロッドアンテナのFDTD解析を行い、アレー設計のための基礎データを明らかにしている。第5章では、第4章で得られた結果を踏まえて設計した2素子アレーの特性評価を行い、30GHz帯において22dBi程度の利得が得られることを示している。

第6章では、高速無線通信において問題となるマルチパス波の影響低減に有効なセクタアンテナの構成法について検討している。量産および設置の容易さを考慮すると、プリント配線技術で製作可能な平面セクタアンテナの開発が望まれる。そこで本章では、プリント配線技術で製作可能な平面セクタアンテナのための基本素子として、ポスト壁キャビティ付き八木・宇田アレーを提案するとともに、本アレーで構成した平面セクタアンテナの特性を明らかにしている。

第7章では、間げきを介して給電される円偏波マイクロストリップアンテナ(CP-PMA)を提案している。本アンテナは、マイクロストリップ線路と、線路と同一面に配置された円偏波パッチアンテナにより構成される。はじめに、1素子のCP-PMAのFDTD解析および測定を行い、この結果から、線路終端とパッチとの距離を制御することにより、偏波の回転方向が切換可能であることを確認している。また、CP-PMAを用いた2素子アレーを設計し、アレー化した場合であっても、1素子の場合と同様に、マイクロストリップ線路の終端条件を変化させることにより、偏波切換が可能であることを明らかにしている。

第8章では、PINダイオードを用いた偏波切換回路をマイクロストリップ線路の終端に付加することにより、右旋および左旋偏波の切換を可能としたCP-PMAを設計するとともに、その諸特性をFDTD解析により明らかにしている。また、軸比が最小となる周波数においてインピーダンス整合を実現するために、PINダイオードと並列スタブから成る整合回路を付加した場合についても特性評価を行い、その有効性を確認している。

第9章は結論であり、論文全体の成果を要約している。

これを要するに、著者は、イメージNRDガイドおよび平面構造を用いたミリ波アンテナの構成法に関する有益な新知見を得たものであり、アンテナ工学の発展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。