

## 学位論文題名

スペクトル領域法による平面型  
マイクロストリップアンテナの研究

## 学位論文内容の要旨

電磁界ベクトルの形で表される電磁波のもつ情報を完全に利用するレーダーは、現代の電磁界センサーや画像技術の分野における不可欠な技術となっており、地殻のリモートセンシングなどの分野における役割はますます大きくなっている。当初のレーダーは振幅、周波数の情報のみを利用していましたが、位相と振幅の偏波的な情報をレーダー信号やイメージ処理に取入れることにより、ホログラフィやコンピュータを用いたトポロジー、およびそれらの応用である合成開口レーダー(SAR)、逆合成開口レーダー(ISAR)が開発、実用化された。このリモートセンシングへの応用を考えた場合、偏波情報を正確に測定することは非常に重要となり、偏波状態を電氣的・物理的に変えることのできるアンテナが求められる。

誘電体基板上にプリント技術を用いて製作されるマイクロストリップアンテナは、移動体搭載のアンテナとして非常に適している。なかでも給電線と放射素子が同一平面上にある共平面型アンテナは片面のみで製作でき、アンテナを多層構造とする場合などと比較し、より薄型化・軽量化することが可能となり、製作行程も少なくともすむ。偏波面切り替え可能であることが求められる衛星あるいは移動体搭載型のリモートセンシング用アンテナの候補として、間隙を介して半無限給電線路により励振するマイクロストリップ素子(Proximity feed Microstrip Antenna: PMA)が提案されている。共平面構造をもつPMAは、1組のPIN-diodeとLow-passフィルタを用いて給電線末端のOPEN-ENDとSHORT-ENDを切り替えることにより、PMAの動作原理である二つの結合(誘導性結合と容量性結合)に支配される二つの偏波状態を電氣的に切り替え可能である。放射素子として方形パッチを用いると直交する二つの直線偏波を、また円偏波素子を用いる事により右旋円偏波と左旋円偏波を切り替えることも可能である。

PMAは製作の容易さに加え、高速な偏波切替の要求にも応えることができ、給電線部の構造の単純化により部品点数が減少し信頼性の向上も期待できる。アレー化の際にも、給電線の両側にPMAを複数配置し、給電線末端部の開放・短絡の切り替えにより偏波切替ができるなど設計の自由度も高い。

高速な動作が期待できる電氣的偏波切替の方法として、従来より多数のダイオードを用いるものなどが提案されてきたが、給電部の複雑化にともない製作が難化し、またその数値解析は非常に困難であった。

本論文の目的は、このPMAの解析手法を確立し、その物理的な特性を明らかにすることである。このために、多層平面構造をもつマイクロストリップアンテナの解析に有用であり、現在盛んに研究が行なわれているスペクトル領域法を導入した。PMAは給電線による入力特性、偏波特性への影響、更に間隙を介して表面波による強い結合が予想されるため従来の手法では厳密な解析が不可能であった。スペクトル領域法は厳密なGreen関数を数値解析中に導

入しているため、空間波による結合だけではなく表面波による結合など、すべての電磁界現象を考慮した full-wave 解析が可能である。しかし、電流基底選択、配置など解析対象のモデル化にその解析の精度、計算速度は大きく依存する。また、スペクトル領域法は波数領域におけるリアクションの数値積分を伴うため、極における発散、積分空間が2次元空間全面にわたる積分を取り扱うことによる収束性の問題など、これを慎重に取り扱うことが必要となる。そこで、本論文ではまずスペクトル領域法の一般的な定式化を行なった上で、数値解析に関する各種手法について述べる。これらはPMA解析のモデル化の基礎となると共に、他のアンテナ、共振器等、導波路等のマイクロストリップ素子一般にスペクトル領域法を適用する際にも応用可能なものである。

PMAの特徴は、 $1/100\lambda$ 付近の非常に狭い間隙を介して給電線と放射素子が近接配置されていることである。この間隙の影響は、アンテナ系全体の共振周波数などに影響を及ぼす。マイクロストリップアンテナは小型軽量・低姿勢で航空機等の移動体への搭載に向いている反面、この長所と引き換えに低効率、高Qという短所をもつ。したがってPMAの厳密な共振周波数を解析することは、アンテナ設計のために欠くことができない条件である。本論文では一般的なマイクロストリップアンテナの共振特性解析に有用である複素共振周波数解析を導入した。マイクロストリップを共振系として考えた場合、放射によって失われるエネルギーを含んだ形で定式化を行なう必要がある。スペクトル領域法におけるリアクション積分の積分経路の設定を十分に考察する必要がある。この定式化を行なうとともに、この複素共振周波数解析によって得られた結果がPMAに対しても有効であることを示した。これにより共振系としてのPMAの解析が可能となった。

また、本論文ではPMAの放射系としての解析を行なった。まずスペクトル領域法を適用するため、PMAの動作原理を示した。PMAは給電線上の電流と放射素子上の電流は分布的に結合しており、給電線上の進行波はこれにより散乱を生じる。この影響を完全に考慮した給電線上の電流モデルを決定するとともに、このモデルの妥当性を実験値との入力特性の比較により示した。

更にモーメント法を用いて給電線上、放射素子上の電流を決定することにより、偏波の状態、誘導性結合・容量性結合の様子を数値的に解析を行なった。放射素子の横にダイポールを配置する従来の解析モデルではOPEN-END時、SHORT-END時の解析以外は困難であったが、本論文で提案したモデル化は実態に即しており、スタブ長を任意に変化させて給電線上の電流状態を変化させた場合でも解析が可能である。これにより定在波状態、間隙長、パッチの大きさを変えることにより、様々な偏波状態をもつアンテナの設計も可能であると思われる。また、物理的な考察が可能であるというスペクトル領域法の長所を生かして、従来の解析では不可能であった偏波特性、共振状態以外での特性を明らかにした。

PMAはこれまで給電線の終端の開放・短絡を切り替えることにより偏波を切り替え可能であることが実験により示されていたが、これを数値的に解析できたことにより厳密な解析が可能となった。将来の本モデルの整合問題等の解決に役立つと考えられる。またここで用いた解析手順は普遍的であり、他のモデルへの応用も可能である。

# 学位論文審査の要旨

主査 教授 伊藤 精彦  
副査 教授 小川 吉彦  
副査 教授 小柴 正則  
副査 助教授 小川 恭孝

学位論文題名

## スペクトル領域法による平面型 マイクロストリップアンテナの研究

電磁波の利用技術であるレーダーは、人工衛星や航空機に搭載することにより、地球環境のリモートセンシングに用いられるなど、その役割はますます大きくなっている。振幅、周波数の情報に加えて、偏波情報をレーダー信号やイメージ処理に取り入れることにより高度な情報処理が可能となる。このリモートセンシングへの応用を考えた場合、偏波情報を正確に測定することは非常に重要となり、偏波状態を電氣的・物理的に変えることのできるアンテナが求められる。

誘電体基板上にプリント技術を用いて製作されるマイクロストリップアンテナは、移動体搭載のアンテナとして非常に適している。偏波面切り替え可能であることが求められる衛星あるいは移動体搭載型のリモートセンシング用アンテナの候補として、間隙を介して半無限給電線路により励振する共平面型のマイクロストリップ素子 (Proximity fed Microstrip Antenna : PMA) が提案されている。共平面構造をもつ PMA は、薄型・軽量という特長に加えて、1組の PIN-diode と Low-pass フィルタを用いて給電線末端の OPEN-END と SHORT-END を切り替えることにより、PMA の動作原理である二つの結合 (誘導性結合と容量性結合) に支配される二つの偏波状態を電氣的に切り替え可能である。

本論文の目的は、スペクトル領域法を用いた PMA の厳密な解析手法を確立し、その物理的な特性を明らかにすることである。しかし、実際にスペクトル領域法を用いた場合、解析の精度、計算速度などに問題があった。

本論文ではまずスペクトル領域法の一般的な定式化を行なった上で、数値解析に関する各種手法について述べている。これらは PMA 解析のモデル化の基礎となると共に、他のマイクロストリップ素子一般にスペクトル領域法を適用する際にも応用可能である。

マイクロストリップアンテナは小型軽量・低姿勢で航空機等の移動体への搭載に向いている反面、この長所と引き換えに低効率、高  $Q$  という短所をもつ。したがって PMA の厳密な共振周波数を解析することは、アンテナ設計のために欠くことができない条件である。しかしながら、PMA では、 $1/100\lambda$  付近の非常に狭い間隙を介して

給電線と放射素子が近接配置されており、アンテナ系全体の共振周波数などに影響を及ぼす。本論文では一般的なマイクロストリップアンテナの共振特性解析に有用である複素共振周波数解析を導入した。アンテナを共振系として考えた場合、放射によって失われるエネルギーを含んだ形で定式化を行なう必要がある。この定式化を行なうとともに、この複素共振周波数解析によって得られた結果がPMAに対しても有効であることを示した。これにより共振系としてのPMAの解析が可能となった。

また、本論文ではPMAの放射系としての解析を行なった。PMAは給電線上の電流と放射素子上の電流は分布的に結合しており、給電線上の進行波はこれにより散乱を生じる。この影響を完全に考慮した給電線上の電流モデルを決定するとともに、このモデルの妥当性を実験値との入力特性の比較により示した。

更にモーメント法を用いて給電線上、放射素子上の電流を決定することにより、偏波の状態、誘導性結合・容量性結合の数値解析を行なった。従来解析モデルではOPEN-END時、SHORT-END時以外は解析が困難であったが、本論文で提案したモデルは実態に即しており、給電線上の電流状態を変化させた場合でも解析が可能である。これにより定在波状態、間隙長、パッチの大きさを変えることにより、様々な偏波状態をもつアンテナの設計も可能である。

PMAはこれまで給電線の終端の開放・短絡を切り替えることにより偏波を切り替え可能であることが実験により示されていたが、これを数値的に解析できたことにより厳密な解析が可能となった。将来の本モデルの整合問題等の解決に役立つと考えられる。また、ここで用いた解析手順は普遍的であり、他のモデルへの応用も可能である。

これを要するに著者は偏波切り替え可能な平面型マイクロストリップアンテナの諸特性をスペクトル領域法を用いることにより詳細に検討し、有益な知見を得ており、アンテナ工学の進歩に寄与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。