

とばなてるお

氏名	戸花 照雄		
授与学位	博士(工学)		
学位授与年月日	平成13年3月26日		
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程) 電気・通信工学専攻		
学位論文題目	磁性体を用いたプリント基板からの電磁波放射抑制に関する研究		
指導教官	東北大学教授 澤谷 邦男		
論文審査委員	主査 東北大学教授 澤谷 邦男	東北大学教授 根元 義章	
	東北大学教授 杉浦 行	東北大学助教授 陳 強	

論文内容要旨

近年、技術の進歩や高度な情報処理技術の必要性から、情報処理機器をはじめとする電子機器の動作周波数の高速化が進んでおり、これに伴い、妨害電磁波の放射が問題となりつつある。特に、現在使われている多くのシステムでは、計算機の制御による自動化が進んでおり、妨害電磁波により制御機器や計算機が誤動作し事故を引き起こす、といった深刻な電磁干渉問題が発生する可能性がある。また、電子機器の低電力化が進んでおり、外部からの妨害波に対する感受性が強くなり、誤動作しやすくなっているという問題もある。

前者の妨害電磁波は、電子機器内部に置かれたプリント基板上のマイクロストリップ線路や発振回路、地板などが主な放射源であると考えられ、特に、マイクロストリップ線路による電磁放射について、無限大の大きさの地板上にある伝送線路の問題として、曲がりのある線路や、線路の立上り部分などの不連続部分からの放射の解析が行われている。また、実際のプリント基板は有限な地板を持っているため、線路からの放射が地板の大きさにより影響を受け、地板の電気長が小さい場合や、線路が地板の端に配置されている場合には、地板面に大きな電流が回り込み、放射が増加する原因となると考えられる。

電子機器内部で発生した電磁波は、機器内部の別の回路に電磁結合し、制御回路を誤動作させたり、信号品質を劣化させたりする。また、外部との通信や電源などに使用するケーブルに電磁結合することにより、ケーブル表面を流れる伝導雑音となり、ケーブルを伝わって筐体外部へ洩れだし、外部で再び放射し、他の電子機器に対する妨害電磁波となる。

電子機器からの妨害電磁波を抑制するために、金属導体や導電性塗料などの導電性材料を用いて機器を完全に遮蔽する方法がある。しかし、電子機器の筐体には、冷却用の開口や筐体の接続部分に生ずる隙間、扉やふたの縁に生ずる隙間、操作用のスイッチや表示用のパネルなど遮蔽が困難な部分があり、電子機器を完全に遮蔽することは一般に困難である。また、ほとんどの電子機器には、インタフェースケーブルや電源ケーブルなどのケーブルが接続されているが、ケーブルを筐体に適切に接続しなければ、ケーブル表面に発生した電流による放射を引き起こす。

放射抑制のための別の手法として、フェライトやカーボンなどの電波吸収体を用いて放射電磁波を吸収する方法が近年注目されつつある。電波吸収体を用いる方法では、電子機器を完全に遮蔽する必要も、内部回路に変更を加える必要もなく、ただ、機器筐体内部に電波吸収体を配置するだけで良い。現在までに、携帯電話用アンテナ近傍に電波吸収体としてフェライトを置き、人体頭部に吸収される電磁波を抑制したり、プリント基板の電源ケーブルにフェライトビーズを配置することにより放射電磁波を低減する研究が行われている。また、筐体内部に電波吸収体を配置する方法として、マイクロストリップ線路近傍にカーボンを配置したり、ICパッケージや筐体内部に磁性吸収体を配置した研究もある。このように、電波吸収体を用いた方法は、EMC設計における時間とコストを小さくするために、非常に有効であると考えられる。

しかしながら、現在行われている電波吸収体の評価方法は、主に遠方界における平面波入射を用いており、波源の近傍界に置いた電波吸収体の放射抑制効果の評価はあまりなされていない。そのため、波源近傍に電波吸収体を置いたときの放射抑制の機構が不明であり、電波吸収体の最適な形状や寸法、効果的な配置方法などは検討されておらず、電波吸収体の使用法は技術者の経験により決定されているのが現状であり、設計の効率化の妨げとなっている。そこで、より現実的な、波源近傍に電波吸収体を置いたモデルによる解析を行い、その放射抑制の機構を調査し、用いる電波吸収体の最適な寸法と使用方法等を明らかにし、EMC設計規則に取り込む必要があると考えられる。

本論文の目的は、プリント基板近傍に置かれた磁性吸収体の放射抑制効果を明らかにし、電磁波放射を抑制するための位置や寸法などの最適なパラメータを示すことである。そのために、図1のように、

フェライトや複合軟磁性金属など、磁性を持つシート状の電波吸収体に着目し、波源近傍に磁性吸収体を置き、磁性吸収体の配置条件をさまざまに変化して、波源より放射された電磁波の解析を行うことにより、磁性吸収体による最適な放射抑制効果の条件を検討した。ここで、磁性吸収体として広く用いられているフェライトを取り上げ、波源としてプリント基板上に配置したマイクロストリップ線路を考えた。また、数 GHz 以上の高周波回路では信号の伝送損失が問題となるが、電波吸収体を用いると伝送特性の減衰が大きくなってしまい、回路の機能を損ねてしまうため、数 GHz 以上の高周波回路では電波吸収体を用いることはないと考えられる。そこで、動作周波数が数 GHz 以下の論理回路と高周波回路に注目し、解析周波数は 3GHz までとした。また、解析結果の妥当性を検討するために、容易に入手でき、加工のしやすい複合軟磁性金属を磁性吸収体として、プリント基板からの放射電力の抑制効果の測定を行った。

本研究における解析においては、金属、誘電体からなるプリント基板及び強い分散性を持つ磁性体を含むモデルの電磁界解析を行う必要がある。このような複雑な構造の電磁界解析には FDTD (Finite Difference Time Domain) 法が有効である。また、デバイ分散など特定の分散を持つ媒質に適用できる FD-FDTD (Frequency Dependent FDTD) 法が提案されており、フェライトのように透磁率に強い周波数分散性を持つ媒質の解析にも FDTD 法を適用することができる。これらの特徴から、本解析においては FD-FDTD 法を用いることにし、第 2 章において、分散性媒質を FDTD 法に適用する方法、FDTD 法による放射と吸収電力の計算法、解析領域の境界面において使用する吸収境界条件、銅損を考慮するために適用した表面インピーダンス法をそれぞれ示した。また、磁性吸収体として用いられているフェライトと複合軟磁性金属の性質や構造について説明し、フェライトをデバイ分散式により表わし、フェライト以外の磁性吸収体をデバイ分散とローレンツ分散の和として表わした。

第 3 章では、プリント基板の大きさが波長に比べて十分大きい場合を考慮して、無限大の地板を持つプリント基板に配置したマイクロストリップ線路近傍にフェライトを置いたモデルを用いて、フェライトの位置、長さ、幅、厚さをそれぞれ変化させて放射抑制効果の数値解析を行った。ここで、放射抑制効果を評価するパラメータとしては、正規化放射電力 P_r/P_{inc} と放射抑制効果 P_r/P_r^0 を用いた。 P_r^0 は、プリント基板からの放射電力を示し、 P_r は、フェライトを近傍に置いたときのプリント基板からの放射する電力を示す。また、 P_{inc} は線路への入射電力を示し、整合負荷のときの入力電力に等しい。解析結果より、マイクロストリップ線路のごく近傍の、磁界の強い部分にフェライトを置くこと及びフェライトの大きさを、線路と同じ長さでかつやや大きい幅にすることにより大きな放射抑制効果が得られることを示した。また、プリント基板が波長に比べて小さい場合を考慮して、有限でかつ小さな地板を持つプリント基板を用いて数値解析し、地板の大きさが有限な基板の場合には、地板に回り込んだ電流の影響により、地板の幅が小さいときに放射電力が増加し、放射電力が最大になる周波数が地板の長さに依存することを示し、地板の裏面の電流による放射を抑制するために、線路面と地板の裏面にそれぞれ 2 枚のフェライトを使用することにより、大きな放射抑制効果を得られることを示した。

第 4 章では、複合軟磁性金属 (トーキン製バスタライド) に着目し、マイクロストリップ線路近傍に置いたときの放射電力を放射電力積分法により測定し、解析結果の妥当性を検討する。その際、より厳密な解析をするために、複合軟磁性金属の透磁率をデバイ分散とローレンツ分散の和として表わし、測定値との定量的な比較を行う。まず、複合軟磁性金属の比誘電率と比透磁率をストリップ線路法を用いて測定した。このとき、ストリップ線路法の誤差の原因となる問題点を補正する方法を提案し、導波路を用いた方法との比較により本手法の有効性を示した。次に、FDTD 法に表面インピーダンス法を適用し、デバイ分散とローレンツ分散の和を用いることにより解析精度を向上できることを示した。さらに、十分大きなプリント基板を用いて複合軟磁性金属による放射抑制効果の測定を行い、第 3 章における結果と定性的に一致することから、第 3 章の結果は、フェライトだけでなく別の磁性吸収体にも適用できることを実験的に示した。

以上本研究において、プリント基板からの放射電磁波を抑制するために、フェライトを含めた磁性吸収体を用いる場合、磁界の強い部分に置くべきであるという一般的な指針と、プリント基板の大きさや線路の先端条件の違いによる磁性吸収体の配置方法や大きさなどの指針が示されている。

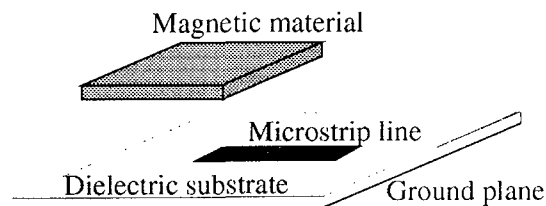


図 1: フェライトによるプリント基板からの放射電磁波抑制モデル

論文審査結果の要旨

近年の電子機器の高周波化に伴って、機器からの不要電磁波の放射に伴う電磁環境問題が危惧されている。このような不要放射を抑制するためには、機器内にフェライトなどの電波吸収体を設ける方法が有効であるが、その抑制効果に関する検討がほとんど行われていないために、吸収体の設置法についての指針は得られていない。著者はプリント基板近傍に磁性吸収体を設けた場合に着目し、時間領域差分 (FDTD) 法に基づいた数値計算と実験により、電磁波放射を効果的に抑制するための吸収体の寸法や位置などを明らかにした。本論文はこれらの研究成果をまとめたもので、全編 5 章よりなる。

第 1 章は緒言である。

第 2 章では、強い周波数分散性をもつ磁性吸収体がマイクロストリップ線路近傍に置かれた場合について、次章以降で必要となる FDTD 法の適用法と定式化について述べている。

第 3 章では、まず無限の大きさを有する誘電体基板上のマイクロストリップ線路の上部にフェライトが置かれたモデルについて数値解析を行い、線路の電流が大きい部分の上部にフェライトを置くことにより、効果的に放射が抑制されることを明らかにしている。また、誘電体基板が有限の場合には、基板の表面だけでなく裏面にもフェライトを設けることが重要であることを示している。これらの結果は有用な知見であり、高く評価できる。

第 4 章では、磁性吸収体の放射抑制効果を実験的に検討した結果を述べている。まず、TEM 線路法に基づいて磁性材料の誘電率と透磁率を同時に高精度で測定する方法を提案し、導波管を用いた測定結果との比較によりその有効性を示している。次に、放射電力積分法を用いてマイクロストリップ線路からの放射電力を測定することにより磁性吸収体の放射抑制効果を求め、数値解析結果と一致することを示している。従来マイクロストリップ線路からの放射電力を高精度で測定した例はなく、この成果は極めて有用である。

第 5 章は結言である。

以上要するに本論文は、磁性体を用いてプリント基板からの電磁波放射の抑制を図った場合の効果を数値計算と実験により明らかにし、最適な吸収体の寸法や位置の指針を示したもので、環境電磁工学ならびに電気・通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として合格と認める。