

氏名	川 畑 将 人
学位の種類	博 士 (工学)
学位記番号	工博甲第251号
学位授与の日付	平成19年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	小型電波無響室解析と波源モデリングによる 10m法放射エミッション推定に関する研究
論文審査委員	主 査 教 授 桑 原 伸 夫 ” 石 川 聖 二 ” 芹 川 聖 一 ” 水 波 徹

学位論文内容の要旨

電子機器・装置の普及に伴い、EMC に対する社会ニーズが拡大している。その中で、電子機器・装置の放射エミッションについて、CISPR により測定法と許容値が規格化され、それに準じた規制が布かれている。10m 距離の電界強度で許容値を規定しているこの規制に対応するためには、10m 法による最終規格測定を実施し、許容値に適合していることを実証しなければならない。オープンサイトは外来の電磁雑音の影響を大きく受け、また、外来の電磁雑音の影響を受けない 10m 法電波無響室は高価であるため、最終規格測定を行うにあたって、小型電波無響室などで事前に予備測定を実施し、十分に対策を施さなければならないが、測定距離などが異なるため最終規格測定データの予測は困難である。そのため、予備測定後の最終規格測定で許容値を満足することができず、再三の低減対策が必要となり、スケジュールの遅延やコストアップにより商品価値を失うケースも多い。本研究は、放射エミッション低減対策の効率化を目的として、小型電波無響室（予備測定値）と最終規格測定値のデータ相関技術について検討を行ったものである。

本論文は、第1章「序論」、第2章「小型電波無響室の FDTD 解析法」、第3章「レイトレーシング法の適用周波数範囲」、第4章「EMC 測定設備における放射エミッション推定に影響を与える要因」、第5章「波源モデリングによる放射エミッション推定法」、第6章「放射エミッション推定法の小型電波無響室への適用」、第7章「結論」から構成されている。

第1章では本研究の背景、および目的について述べている。

第2章では、小型電波無響室の解析法について述べている。まず、サイト減衰量の定義について述べ、次に、低周波数帯域で適用可能なサイト減衰量の FDTD 解析法を提案している。本手法では、PC 程度の計算機で解析を可能にするため、解析対象よりも大きいセルを用いて、ダイポールアンテナおよび複合型電波吸収体をモデル化している。そして、サイト減衰量の解析結果と測定結果を比較して、本解析法の有効性を示している。

第3章では、測定結果および FDTD 解析結果とレイトレーシング解析結果を比較して、これまで明らかにされていなかったレイトレーシング法の適用範囲について検討している。そして、電波無響室サイズと適用下限周波数の関係を明らかにしている。

第4章では、放射エミッション測定における 10m 法と 3m 法の相関性について論じている。まず、CISPR 規格に準拠した放射エミッション測定系や相関性を検討するための解析方法とその妥当性について述べ、続いて、10m 法と 3m 法の測定結果が距離換算により求めた相関係数に従わない理由、すなわち、データ相関に影響する要因を明らかにしている。

第5章では、EUT の波源モデリングと、それを応用した 10m 法放射エミッション推定法について述べている。波源モデリングは、放射エミッション波源探知法に基づいており、まず、この波源探知法で用いる座標系と波源モデル、および、最適化アルゴリズムについて説明している。次に、EUT を複数の微小ダイポール波源でモデル化し、レイトレーシング法を用いて 10m 法の放射エミッション

を推定する方法を提案している。そして、電波半無響室における 3m 距離の測定値から、10m 法の測定結果を推定し、シミュレーションおよび実験の両面から推定精度を検証している。最後に、アンテナ掃引範囲を変化させた場合の推定精度についても併せて検証し、電波無響室のサイズに応じた適用範囲を示している。

第 6 章では、放射エミッション推定法を小型電波無響室に適用する方法について述べている。まず、第 2 章で示した FDTD 解析法を用いて小型電波無響室内の電波伝搬特性解析を実施し、電波吸収体からの反射の影響を評価している。次に、サイト減衰量測定結果と電波吸収体の影響との相関性を示し、サイト減衰量を用いた補正法を提案している。最後に、その有効性を明らかにするため、実機を用いた検証を実施し、推定精度が改善されることを示している。

第 7 章では、第 2 章から第 6 章で得られた結果について総括している。

本研究成果により、企業の開発部門においても維持管理が可能な小型電波無響室による予備測定の信頼性が飛躍的に向上し、電子機器・装置開発における EMC 対策コストの低減化に大きく貢献できるものと考えられる。

学位論文審査の結果の要旨

電子機器内で使用されるデジタル信号は多くの周波数成分を含むため、それが機器から不要に放射されると、無線通信や放送の受信を妨害する恐れがある。そのため、電子機器から不要に放射される妨害波について国際機関より規格が発行され、各国はそれに準じた規制を実施している。この規制に対応するためには、10m 距離において妨害波の電界強度を測定し許容値に適合していることを実証しなければならない。

この測定にはシールドルーム壁の内側に電波吸収体を配置した電波無響室が広く使用されている。しかし、10m 距離で電界強度測定が可能な電波無響室は高価であるため、多くの企業は 3m 距離でのみ電界強度測定が可能な小型の電波無響室で対策を実施した後、最終規格測定を行っている。しかし、小型電波無響室での測定結果から 10m 距離の電界強度の予測は誤差が大きく、許容値を満足するためには再三の対策が必要となり、スケジュールの遅延やコストアップにより商品価値を失う事例もある。本論文は、放射妨害波対策の効率化を目的として、小型電波無響室測定結果から 10m 距離の電界強度予測精度を改善する技術について研究を行ったものであり、主な成果は次の 5 点である。

- (1) FDTD 法は電波吸収体のモデル化が可能な利点がある反面、膨大なメモリを必要とするため、電波無響室への適用は困難とされてきた。本論文では材料サイズより大きなセルで電波吸収体をモデル化することにより、PC 程度の計算機で小型電波無響室の性能を表す指標であるサイト減衰量の解析を可能にしている。また、この解析方法を小型電波無響室に適用し、測定値と±2dB 以内の精度で解析可能であることを示している。
- (2) 電波無響室の解析にはレイトレーシング法が、計算負荷の軽さから、広く使用されている。しかし、この方法は電波を光線として近似するため適用できる周波数下限が存在する。本論文ではレイトレーシング法と FDTD 法による解析結果を比較してこの周波数下限を明らかにする方法を提案している。そして、この方法を小型電波無響室に適用し、180MHz 以上ではレイトレーシング法が適用可能であることを示している。
- (3) 10m 距離における電界強度と 3m 距離における電界強度の間に相関性が得られないことは良く知られているがその原因は明らかにされていない。本論文では、原因の切り分けが容易な模擬機器から放射される電磁界の解析値を用いて相関性が得られない原因の分析を行い、その原因が、波源となる電子機器から放射される電磁波の分布や受信アンテナの指向性、直接波と反射波の経路長差による伝搬損失差や位相差が原因となっていることを定量的に明らかにしている。
- (4) 10m 距離における電界強度の推定誤差には多くの要因が寄与しているので直接補正を行うことは困難である。そこで、本論文では、電子機器を 3m 距離での電界強度分布より波源モデリングし、この波源を用いて 10m 距離の電界強度を求めることにより、指向性や伝搬経路長の問題を解決して 10m 距離の電界強度推定精度を改善する方法を提案している。また、PC を使用して本手法の評価を行い、最大推定誤差を約半分に減少できることを示している。

(5) 小型電波無響室は壁面からの反射が大きいため、推定結果に影響を与える。本論文では、波源モデリングを用いた推定法に、小型電波無響室特性が与える影響について、FDTD法を用いて検討を行い、サイト減衰量特性を用いて補正を行うことにより、推定精度を改善できることを明らかにしている。さらに、コムジェネレータを使用して本補正法の評価を行い、最大推定誤差を約2/3に減少できることを示している。

これらの研究成果により、従来困難であった低い周波数における電波無響室の特性解析や3m距離の電界強度分布から10m距離の電界強度の高精度推定が可能になった。これは、企業において維持管理が容易な小型電波無響室による予備測定信頼性を飛躍的に向上させ、電子機器・装置開発におけるEMC対策コストの低減化に大きく貢献できるものであると考えられる。

以上述べたように、本論文は、もの創り日本を代表する重要な技術である電子機器・装置の妨害波対策について、学術的に新しい知見を与えるのみでなく、社会へその成果を反映できる実用的価値の高いものであり、博士（工学）の学位に値する内容であると判断する。

本論文に関して、審査委員ならびに公聴会出席者から、3m距離で測定を行う理由、推定に必要な時間やデータ数、モデル化に必要な波源数等の質問がなされたが、いずれも著者の適切な説明によって質問者の理解が得られている。以上の結果から、本審査委員会は、論文提出者が最終試験に合格したものと判定する。