

論文審査の結果の要旨

氏名 武居 周

今日の経済社会における継続的発展の背景には、高度に発達した電気・電子工学を基盤とした技術の発達がある。例えば、電子・情報通信技術の根幹をなす半導体テクノロジー、種々のコンピュータをはじめとするOA機器、携帯電話等のモバイル・コンピューティング機器やその接続環境など、枚挙にいとまがない。こうした日進月歩の技術革新と同じ速度で、これらの機器から生じる高周波電磁波による環境影響問題も深刻さが増してきている。従来、高周波電磁波が人体へ与える影響の検証には実験や疫学手法が主に用いられてきており、それらの結果に基づき安全基準値が定められてきた。近年、従来の実験および経験的手法に加えて数値解析手法を用いて環境中の高周波電磁波による影響を算出しようとする気運が高まりつつある。本研究では、環境電磁波の特徴に着目した新しい定式化に基づく大規模有限要素法解析コードを開発し、それを用いて実生活環境中の高周波電磁波を定量的に算出し、その結果に基づく環境アセスメント手法を提案することにより、環境中の高周波電磁波に関する安全性向上に寄与することを目的としている。

本論文は6つの章から構成されている。

第1章は序論である。自然環境・人工環境に関する諸問題に加えて、近年新たに環境中の高周波電磁波の健康リスクへの影響に関する懸念が高まりつつあることから、環境電磁波に関連する諸問題とそれに対する従来の研究の取り組みについて概観を行っている。その上で、環境電磁波研究が目指すべき到達点を述べ、本研究の背景および課題、目的について述べている。

第2章では、既存の環境電磁波解析システムに関するサーベイとして、マックスウェル方程式を支配方程式とする電磁場の各種数値解法のうち、汎用性の高い時間領域差分法、有限要素法、境界要素法に関して、それぞれの特徴および性質の吟味を行い、環境中の高周波電磁波解析への適用性という観点から各手法の検討を行っている。本検討によって、環境中の高周波電磁波解析問題に対しては有限要素法が最も適当であることを確認している。

第3章では、高周波環境電磁波向け解析システムの開発および検証に関して述べている。環境中の高周波電磁波問題の観点から、解析領域を構成する材料や着目周波数に関する検討を行い、電場 E を未知変数とした時間調和型非同次波動方程式を解くべき方程式として導出した。透磁率および誘電率は本研究で対象とする現象の周波数特性より実定数として扱うことが妥当であると考え、加えて時刻 $t=0$ を基準としたうえで、解くべき方程式の変数を全て実数変数となるような独自の定式化がなされている。さらに、磁場 H および電磁波のエネルギー密度であるポインティングベクトル P は後処理で求め、その過程も全て実変数関数で処理することが可能であることが示されている。本研究においては、コード開発にあたってオープンソースの並列電磁場解析コード ADVENTURE_Magnetic を基盤として採用し、それに波動項の導入等の独自の実装を行った。ADVENTURE_Magnetic には巨大な連立一次方程式の並列解法として階層型領域分割法が実装されており、大規模解析への対応がなされている。本解析コードの検証の目的で、基本的なアンテナモデルを作成して解析解との比較を行った結果、十分な精度を有することが確認された。

第4、5章では、本研究で開発した環境中の高周波電磁波解析コードの適用例として、職場環境および一般生活環境に関する環境安全評価を行った。職場環境としては、オフィス内に設置されたコンピュータの回路基板より漏洩する高周波電磁波の実スケール解析とその解析結果を用いた環境アセスメントを行った。また、一般生活環境としては、通勤電車車内における携帯電話使用を想定した高周波電磁波に関する安全評価問題を取り上げた。それぞれ、実環境を実スケールでモデル化し、数100万自由度の有限要素メッシュを構築し、それらに対して本解析コードを用いて解析を行い、十分な収束解が得られていることを確認するとともに、磁場、電場およびポインティングベクトルの計算と結果の可視化を行った。その結果、本解析コードが、これまでにない大規模な電磁波問題の解析に適用可能であることを示した。続いて、得られた電場強度、磁場強度および電力密度に関して、定められている環境電磁場の許容基準値との比較によって、環境アセスメントを行った。得られた結果は、ごく一部の条件に対するものにすぎないが、本解析コードを用いることにより、新しい環境電磁波安全評価が可能となることが実証された。

第6章は結論であり、上記の内容が総括され、提案手法の有効性および今後の展望についてまとめられている。

以上を要するに、本論文では、従来の環境電磁波解析および評価手法の問題点を指摘し、大規模有限要素法に基づく新たな定量評価手法の開発を行い、その際に環境電磁波問題の特徴に着目した独自の定式化および計算スキームの提案によって計算の効率化を図っており、計算電磁気学の観点から本論文の価値は高い。また、実環境の大規模かつ複雑形状を有する計算モデルを用いて解析を行い、その結果と電磁環境許容基準値との比較に基づく新しい環境アセスメント手法が示されており、人工環境の環境安全性評価の精度向上という観点からの寄与も少なくない。よって本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。