

氏名	ブンチャイ テチャムナート Boonchai TECHAUMNAT
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第2043号
学位授与の日付	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科電気工学専攻
学位論文題目	Application of the Boundary Element Method to Electromagnetic Problems in Electric Power Engineering 電理工学の電磁界問題への境界要素法の応用(英文)
論文調査委員	(主査) 教授 宅間 董 教授 牟田 一 彌 教授 島崎 眞 昭

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、数値的電磁界計算法の一つである境界要素法を、電力における各種の電磁界問題へ応用した結果をまとめたものである。電磁界計算法には大きく分けて領域分割法と境界分割法とがあるが、形状への依存度が高い電界を計算するには境界分割法の方が精度が高く、適切であり、本研究は境界分割法の一つの境界要素法を用いている。

第1章は、序論であり、電磁界の数値計算法と本研究で取り上げた電磁界問題の意義を説明するとともに、論文の各章の構成を述べている。

第2章は、使用した境界要素法の基本となる方程式と離散化方法を説明し、境界要素の高次化、面積座標による処理方法と基本解について述べている。さらに回転対称場の計算に使用する完全楕円積分の4種類の数値計算法を適当なパラメータで比較し、計算時間と精度の点から最適な方法を選んでいる。また、表面導電性が存在する場合への重みつき残差法の適用、低周波磁界の誘導電流の計算法を述べるとともに、高次要素の計算精度の比較を行っている。

第3章は、境界要素法による具体的な計算手法を述べたもので、特に計算対象の点が作用源(ソース)と一致するときの特異積分、両者がごく近接しているときの準特異積分についての工夫を説明している。それらは、主に面積座標とLog-LI変換など積分区間の局所的拡大を行う変換法の適用であり、いくつかの変換法の精度を具体的な例で比較している。

第4章は、三重点効果と呼ばれる固体絶縁物の接触点の電界分布、特に導電率の効果を定量的に解明したものである。これは基礎的な問題であるが、電力機器の絶縁の分野においては現象の解析ならびに機器の設計の双方にとってきわめて重要である。気体、液体または真空の絶縁では常に固体絶縁物が必要であるが、現実の固体絶縁物は程度の差があっても多くの場合導電性を有し、表面の吸湿や汚損によって表面の導電性が高くなることもある。本研究は、電界の特性が決定的に租違する接触角が0から90度の場合と接触角が0度の場合の双方について、体積導電性ならびに表面導電性の作用を対象とし、接触点付近の電界を定量的に明らかにした。固体絶縁物の体積導電性の存在は一般に接触点電界をより苛酷にするが、一様な表面導電性は接触角が0度の場合には電界を高め、0度と90度の場合には電界を緩和することなどを明らかにしている。

第5章は、低周波電磁界による人体の誘導電流の解析で、電磁界による人の健康問題に関わる課題である。主要な臓器を含む人体を滑らかな形状で模擬し、境界要素法で誘導電流を計算することによって、人体内の誘導電流について姿勢、臓器の導電率などの基本要因の効果を調べている。暴露の電磁界は一様電界、一様磁界、一様でない磁界の三つの場合で、一様電界および一様磁界は送電線などから遠く離れている場合に対応し、一様でない磁界は電線、家電機器の近接した場合に対応する。一様電界の誘導の場合、他臓器から離れている臓器の誘導電流密度は対象臓器の導電率と他部位の導電率の比で決まること、一様磁界の場合、臓器の最大誘導電流密度と他部位の導電率との比が対象臓器の導電率と他部位の導電率との比に比例することなどを明らかにしている。

第6章は、三次元配置の固体絶縁物の最適化問題で、具体的には同軸円筒配置のガス絶縁中のスペーサ形状を最適化する

ものである。絶縁システムの性能は特に SF₆ のガス絶縁機器の場合、最大電界に決定されるため、最大電界を減少させることによって電力機器を小さくすることができる。最適化の目的電界は絶対値と接線方向電界の二つで、同軸円筒の半径比、固体絶縁物の誘電率をパラメータにしている。製造面を考慮して、円柱形、断面が円、断面が楕円の3条件で最適形状を求め、最大電界が10～35%低下する形状を得ている。

最後の章は、全体のサマリーとして、境界要素法を適用した3種類の電磁界問題における解析の主要な成果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、電磁界の数値的計算法の一つである境界要素法を、商用周波数領域におけるいくつかの重要な電磁界問題に適用したもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 境界要素法は、二次元、回転対称、三次元の各配置にアインパラメトリック曲面形状を適用し、導電性を含む場合の定式化を行うとともに、境界変数補間関数の高次化、特異積分、準特異積分の工夫によって高精度の計算を可能にした。

2. 2種類の誘電体（絶縁物）と導体（電極）が接する接触点は三重点効果と呼ばれる電界の特異性を生じる。接触点が0度の場合と直線状境界面で接触角が0度から90度の場合について、それぞれ固体の体積導電性ならびに表面導電性の効果を定量的に解明した。接触角が0度の場合、体積導電性の電界分布に及ぼす効果はほぼ複素誘電率の絶対値に依存し、一様な表面導電性は導電性が無い場合より高電界をもたらすことを明らかにした。

3. 商用周波数の電界、磁界の人体誘導電流を、曲面形状で臓器を含めて解析した。対象は一様電界、一様磁界、ドライヤを模擬した局所的ダイポール磁界、線状導体からの磁界である。たとえば一様電界の場合、他臓器からある程度離れて存在する臓器中の誘導電流密度は、対象とする臓器の導電率と周辺の導電率の比にほぼ比例することなどを明らかにした。

4. 2種類の誘電体（絶縁物）が存在する三次元配置の最適化問題として、同軸円筒線路中の支持用固体絶縁物表面の電界を最も低くする形状を求めた。線路の半径比、固体絶縁物の誘電率、断面形状をパラメータとして、固体表面の沿面方向電界あるいは電界の絶対値をなるべく一様にする形状を明らかにした。その結果、計算条件に依存するが、電界の最大値を最大で35%低減する形状を得ている。

以上要するに本論文は、三重点問題での導電性の効果、人体への商用周波数誘導電流、絶縁物の最適形状設計など、電力工学のいくつかの電磁界問題に境界要素法を適用したもので、得られた成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また平成13年2月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。