

学 位 論 文 題 名

電力設備に起因する低周波磁界の生体への
誘導現象ならびに低減方策に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、電力周波数を中心とする低周波磁界がヒトの健康に与える影響についての関心が持たれ、これを解明するための研究が数多く行われている。しかしながら、数多くの知見が蓄積された今日においても、科学的に見た本問題の解決には至っておらず、多くの課題が残されている。その一方で、安全性評価の観点から、国際機関等において、低周波磁界への人体ばく露に関する防護指針が示されるようになっている。

低周波磁界の生物影響を明らかにするための研究項目は多岐にわたっており、ヒトの集団を対象とした疫学研究、実験動物や細胞を用いて直接的に影響を検証する生物学研究、ならびに物理量の定量化に代表される工学研究の3領域に大別され、これらは互いに密接に関連し、相互に補間する関係にある。このうち、本研究では工学研究を主たる対象とし、(1) 磁界と人体との電磁氣的相互作用の定量化、(2) 生物実験のための磁界ばく露装置の開発、(3) 電力設備周辺磁界の定量化と人体への磁界ばく露を減らすための方策の確立、について、理論的、実験的検討を行った。

磁界と人体との電磁氣的相互作用の定量化については、さまざまな磁界条件に対する人体内誘導電流を定量的・統一的に評価するための手法を開発し、考えうるパラメータの変動に対して、人体内誘導電流分布がどのように影響を受けるかを明らかにすることを目的とし、以下の検討を行った。

はじめに、誘導電流評価手法の開発（プローブ法による測定手法ならびに電荷重畳法による数値計算手法）を行い、2次元多媒質モデルに適用し、低周波磁界による誘導電流の基礎特性を明らかにした。この結果、生体内部において、導電率が異なる空間では電流の集中が生じることがあり、生体を一様媒質で模擬では不十分であることを示した。また、開発した簡便なプローブによる測定法および適用した電荷重畳法による数値計算法により、誘導電流分布が精度良く推定評価できることを示した。

次に、対象を3次元人体モデルへ拡張するため、3次元表面電荷法による数値計算手法を開発し、その妥当性を回転楕円体の解析解との比較により検証した。また、回転対称形状の人体構成要素の組み合わせにより、容易に再現可能な5臓器模擬の人体モデルを構築し、このモデルに開発した計算コードを適用することにより、誘導電流分布を定量的に把握できることを明らかにするとともに、臓器の導電率の違いが、人

体内誘導電流分布に与える影響について、一例を示した。

また、外部磁界と人体内誘導電流の換算に着目し、本研究における検討結果を、他の研究機関による報告、および現行の磁界防護指針における換算モデルとの比較検討を行い、現状では、ばらつきが非常に大きく、磁界規制の根拠としても不十分であるとの問題点を示した。

生物実験用磁界ばく露装置の合理的設計法の開発については、等価磁気モーメントを用いた合理的設計手法を導入し、強磁界、低漏洩磁界の細胞ばく露用磁界発生装置の開発へ適用を行った。

まず標準磁界発生装置としての多重コイルの特徴を体系的に整理し一般化を行うことにより、設計の簡素化・高度化を図った。すなわち、相似則に着目した設計の一般化、漏洩磁界分布計算に対する等価磁気モーメント近似の提案、および電源容量設計すなわちインダクタンス見積りの高度化を行った。次に、得られた知見を、細胞ばく露用の漏洩磁界低減型強磁界発生装置の開発に対して適用した。また、補償コイルを用いた漏洩磁界低減方策の適用例と、強磁界発生に伴う諸問題とその解決策を示した。最後に、製作した磁界発生装置の特性評価を行い、設計仕様を満たしていること、および精度良い電源容量設計が行えたことを確認した。

電力設備周辺磁界の低減方策の確立の課題については、地中電力線を対象とした磁気シールド材料を用いる方法、ならびに架空送電線を対象として、補助ループ導体を用いる方法について、モデル実験と数値計算により、低減効果の定量化と適用方法について明らかにすることを試みた。

磁気シールド材を用いた方策については、モデル実験ならびに数値計算により、平衡3相電流路に対し、円筒型磁気シールド材を適用することにより、所定の磁界遮へい効果が得られることを示した。また、近似解析式を用いて、材料定数などのパラメータが磁界低減効果に与える影響の定量化を行った。また、磁界遮へい効果を評価する際に重要となる、円筒型磁気シールド材の材料定数を、一様磁界を用いて実験的に推定する手法を提案し、適用例を示した。

次に、補助ループ導体を用いて、架空電力線周辺磁界を低減する方策について、パッシブループの評価式の導出、スケールモデルを用いたモデル実験による検証、ならびにアクティブループ条件の導出について、電流モーメントの概念を用いた整理を行い、それらの適用方法について示し、また、それぞれの手法の特徴と利点について評価を行った。

以上の検討により得られた知見は、低周波磁界の生物影響の解明に寄与するとともに、人体への磁界ばく露の低減方策についての指針を示すものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 田 村 好 矩

副 査 教 授 栗 城 眞 也

副 査 教 授 清 水 孝 一

副 査 教 授 山 本 克 之

学 位 論 文 題 名

電力設備に起因する低周波磁界の生体への 誘導現象ならびに低減方策に関する研究

近年、電力周波数を中心とする低周波磁界がヒトの健康に与える影響についての関心が持たれ、これを解明するための研究が数多く行われている。しかしながら、数多くの知見が蓄積された今日においても、科学的に見た本問題の解決には至っておらず、多くの課題が残されている。その一方で、安全性評価の観点から、国際機関等において、低周波磁界への人体ばく露に関する防護指針が示されるようになっている。

低周波磁界の生物影響を明らかにするための研究項目は多岐にわたっており、ヒトの集団を対象とした疫学研究、実験動物や細胞を用いて直接的に影響を検証する生物学研究、ならびに物理量の定量化に代表される工学研究の3領域に大別され、これらは互いに密接に関連し、相互に補間する関係にある。このうち、本論文は工学研究を主たる対象とし、(1) 磁界と人体との電磁氣的相互作用の定量化、(2) 生物実験のための磁界ばく露装置の開発、(3) 電力設備周辺磁界の定量化と人体への磁界ばく露を減らすための方策の確立、について、理論的、実験的検討を行ったものである。

磁界と人体との電磁氣的相互作用の定量化については、さまざまな磁界条件に対する人体内誘導電流を定量的・統一的に評価するための手法を開発し、考えるパラメータの変動に対して、人体内誘導電流分布がどのように影響を受けるかを明らかにすることを目的とし、以下の検討を行った。

はじめに、誘導電流評価手法の開発（プローブ法による測定手法ならびに電荷重畳法による数値計算手法）を行い、2次元多媒質モデルに適用し、低周波磁界による誘導電流の基礎特性を明らかにした。この結果、生体内部において、導電率が異なる空間では電流の集中が生じることがあり、生体を一様媒質で模擬することは不十分であることを示した。また、開発した簡便なプローブによる測定法および適用した電荷重畳法による数値計算法により、誘導電流分布が精度良く推定評価できることを示した。

次に、対象を3次元人体モデルへ拡張し、開発した3次元表面電荷法による数値計算

手法を、新たに構築した5臓器模擬の人体モデルに適用することにより、誘導電流分布を定量的に把握できることを明らかにするとともに、臓器の導電率の違いが、人体内誘導電流分布に与える影響について、一例を示した。

生物実験用磁界ばく露装置の合理的設計法の開発については、等価磁気モーメントを用いた合理的設計手法を導入し、強磁界、低漏洩磁界の細胞ばく露用磁界発生装置の開発へ適用を行った。

まず標準磁界発生装置としての多重コイルの特徴を体系的に整理し一般化を行うことにより、設計の簡素化・高度化を図った。すなわち、相似則に着目した設計の一般化、漏洩磁界分布計算に対する等価磁気モーメント近似の提案、および電源容量設計すなわちインダクタンス見積りの高度化を行った。次に、得られた知見を、細胞ばく露用の漏洩磁界低減型強磁界発生装置の開発に対して適用した。

電力設備周辺磁界の低減方策の確立の課題については、地中電力線を対象とした磁気シールド材料を用いる方法、ならびに架空送電線を対象として、補助ループ導体を用いる方法について、低減効果の定量化を試みた。

磁気シールド材を用いた方策については、モデル実験ならびに数値計算により、平衡3相電流路に対し、円筒型磁気シールド材を適用することにより、所定の磁界遮へい効果が得られることを示した。また、材料定数などのパラメータが磁界低減効果に与える影響の定量化を行った。

次に、補助ループ導体を用いて、架空電力線周辺磁界を低減する方策について、パッシブループの評価式の導出、スケールモデルを用いたモデル実験による検証、ならびにアクティブループ条件の導出について、電流モーメントの概念を用いた整理を行い、それらの適用方法について示し、手法の特徴と利点について評価を行った。

これを要するに、著者は、磁界による人体内誘導電流ならびに人体への磁界ばく露の低減に関する新知見を得たものであり、低周波磁界の生物影響の解明に対して、貢献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。