

論文審査の結果の要旨

氏名 長井 千明

本論文は、「放射性廃棄物の地層処分におけるモニタリングのためのワイヤレス電力伝送に関する研究」と題し、放射性廃棄物の地層処分モニタリングを、ワイヤレス電力伝送（WPT）を利用してケーブルレスで長期間行うシステムを提案、様々な問題を解決する方策を示して、理論と電磁界解析および実験によってその有効性を実証し、実用化への道を大きく切り開いたものである。

原子力発電や核燃料のリサイクルなどに伴って発生する、放射性物質を含んだ廃棄体である高レベル放射性廃棄物は、数万年以上といった長期にわたり人間の生活環境から隔離する必要があることから、地層処分が計画されている。この地層処分事業では処分場の操業中や閉鎖後における人工バリアの状態確認などのために長期間のモニタリング計画が検討されている。モニタリングの実施時には、その機器のケーブルが人工バリアシステムの安全機能に影響を与えないことが重要である。

従来から、システムの安全機能に影響を与える放射性核種の移動に関わる潜在的な水みちを発生させることのない、ケーブルレスの地中モニタリングを目指して、情報をワイヤレス伝送、電力供給をバッテリーで行うシステムが提案されているものの、モニタリング期間がバッテリーの消耗度に依存するため、長期間の利用には不向きである。消費電力が少ないシステムや、劣化が少ないバッテリーを使えばモニタリングの期間の延長は可能であるが測定期間には限界がある。

そこで本研究では、電磁波や電磁界を用いエネルギーをワイヤレスで供給する WPT により、電力と情報の両方をワイヤレスで伝送することで、長期間の測定を可能にするシステムを提案して方策を示し、理論と電磁界解析および実験で方策の課題を解決している。

第 1 章では、序論として放射性廃棄物の地層処分の現状を紹介し、モニタリングの位置づけを説明している。また、それを踏まえて、放射性核種の移動に関わる潜在的な水みちを発生しないようなケーブルレスで長期間モニタリングができるシステムが必要なことを示している。

第 2 章では、電力供給をワイヤレス化するべき場所をプラグおよび処分孔と設定し、適用場所を明確にしている。また、地層処分におけるケーブルレス化の既存技術として化学電池、原子力電池を調査した上で、新しい手法として WPT を取り上げ、既存技術との比較を行いながら、各手法のメリットとデメリットを明確にしている。その結果から WPT が最も適した手法であることを示し、地層処分におけるモニタリングに WPT を適用するための研究課題を抽出している。最後に、WPT を利用してケーブルレスで長期間モニタリングを行うシステム構成案を示している。

第 3 章では、WPT の方式のうち、地層処分におけるモニタリングに最適な方式を選定す

るために、ワイヤレスで電力供給を行う場所であるプラグおよび処分孔の媒体における複素誘電率と複素透磁率を測定している。その結果、媒体における損失を考慮した場合には、磁界を用いた WPT を利用することが得策であることを示している。また、磁界を用いた WPT には、磁界結合（電磁誘導）と磁界共振結合（磁界共鳴）の 2 種類が考えられるが、伝送効率で優れている磁界共振結合を選定することがシステムを構築するために最適であることを示している。

第 4 章では、システム設計の見通しを立てるために、WPT の送受電コイルの概念設計手法を提案している。コイル設置場所からコイルサイズを設定し、そのサイズに応じたコイル形状を簡易に表現して送受電コイル間の結合係数を試算し、それに基づき伝送効率を概算している。磁界共振結合の WPT の構成のうち、高効率かつ十分な電力を伝送可能である S-S 方式を選定し、概念設計法によりプラグおよび処分孔における WPT の伝送効率を概算し、評価を行っている。これらの結果より、磁界共振結合による WPT のプラグと処分孔における適用可能性を示している。

第 5 章では、小型の送受電コイルの実験結果から大型のコイルの伝送効率の推定を目的とした、結合係数とコイルサイズにおけるスケール則を提案し、プラグと処分孔において必要と考えられる電力伝送距離を実現するために必要なコイルのサイズ検討を行っている。これにより、巨大な送受電コイルを実際に製作する前に、小型の送受電コイルを利用した実証実験結果を元に巨大コイルの評価を行うことができ、設計の初期段階におけるコストや手間の削減が可能になることを示している。さらに、スケール則の結果から、プラグおよび処分孔において高効率の電力伝送を実現するために必要なコイルサイズの見通しを立てている。

第 6 章では、地層処分のモニタリングにおける送受電コイル間の媒体が、磁界共振結合による WPT に与える影響を電力伝送実験により評価している。とくに、送受電コイルの間の媒体の有無による伝送効率の変化について、実験的に確認している。その結果、送受電コイル間の媒体の有無は、磁界共振結合による WPT の伝送効率の損失に影響を与えないことを示している。

第 7 章は結論であり、第 2 章から第 6 章までの総括を行い、本研究の成果をまとめるとともに、今後の展望について示している。

以上これを要するに、本論文は、放射性廃棄物の地層処分における重要課題である、多重バリアシステムの経年変化モニタリングのために、ワイヤレス電力伝送技術を用いた新しい手法を開発し、モニタリングに最適な電力伝送方式の提案、小規模実験での評価を大規模実験に適用するスケール効果の検討、媒体の影響評価などを体系的にまとめることで実用化への可能性を大きく進展させたものであり、先端エネルギー工学、とくに、原子力工学、電気電子工学などの分野への貢献が少なくない。

よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。