

論文の内容の要旨

論文題目 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
(Study on Wireless Power Transfer for Monitoring
in Geological Disposal of Radioactive Waste)

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で方策の課題を解決し、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放射性廃棄物は、放射性物質の種類や濃度、発生する場所に応じていくつかの種類に分けられる。その中で、高レベル放射性廃棄物、および低レベル放射性廃棄物のひとつである長半減期低発熱放射性廃棄物 (TRU廃棄物) の一部については、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。既存研究では、システムの安全機能に影響を与えるような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た。

本論文の内容及び構成を下記に示す。

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て、モニタリングの位置づけを説明した。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た。

第2章では、電力供給をワイヤレス化す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た。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。さらに、新しい手法としてWPTを検討し、既存技術との比較を行い、各手法のメリットとデメリットを明確にした。さらには、その結果からWPTが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た。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た。

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（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た。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を利用することが最適であることを示した。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た。

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た。概念設計法とは、コイル設置場所からコイルサイズを設定して、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する方法である。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、評価を行った。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た。

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た。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であることを示した。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のサイズの見通しを立てた。

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た。電力伝送実験では、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確認した。その結果、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は、磁界共振結合によるWPTの伝送効率の損失には影響を与えないことを示した。

第7章では、第2章から第6章までの総括を行い、今後の展望について示した。