

ハルバッハ巻線構造を適用した伝送コイルによる ワイヤレス給電システムの漏えい磁界低減

山縣 一輝*, 日下 佳祐 (長岡技術科学大学)

Reduction in Leakage Electromagnetic Field using Transmission Coils
with Halbach Winding on Wireless Power Transfer

Kazuki Yamagata, Keisuke Kusaka (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年、電動車両の普及を促進するためワイヤレス給電システムの実用化に向けた検討が進められている。本技術により、電動車両使用者は充電ケーブルを接続することなく車両の充電が可能となるため利便性が改善される期待がある。しかし、ワイヤレス給電には電力伝送時に伝送コイル周囲に漏えい磁界が発生する問題がある。漏えい磁界については人体防護の観点からガイドラインが定められており、実用化にあたっては本規格を満足するよう漏えい磁界を抑制する必要がある⁽¹⁾。そこで本研究では、ハルバッハ巻線構造を伝送コイルに適用することで漏えい磁界の低減が可能であることを、実機試験により実証したので報告する。

2. ハルバッハ巻線構造を適用した伝送コイル

ハルバッハ巻線構造は、磁石の片側のみ磁界を発生させることが可能な磁石配置(ハルバッハ配列⁽²⁾)を巻線により再現したものである。図1にハルバッハ巻線構造を適用したコイルの断面図を示す。ハルバッハ巻線構造では、コイル断面から見て上下方向に磁界を発生させる巻線に加えて左右方向に磁界を発生させる巻線を追加する。本巻線により、発生する磁界をコイルの片側に集中させることができる⁽³⁾。

図2にハルバッハ巻線構造を適用した伝送コイル構造を示す。本検討では、ワイヤレス給電の送電側と受電側の伝送コイルをハルバッハ巻線構造として、伝送コイル間に磁界を集中させることで、周囲に漏えいする磁界を低減する。

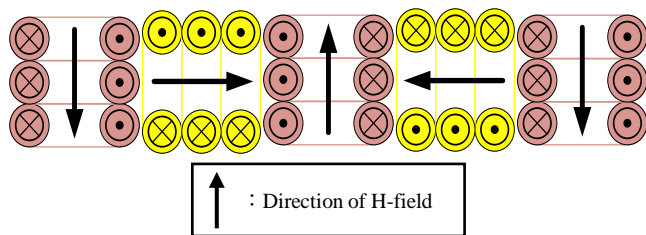


図1 ハルバッハ巻線構造

Fig. 1. Section diagram of a coil with Halbach winding structure.

3. 電磁界解析による漏えい磁界低減効果の検証

漏えい磁界の低減効果を検証するため、電磁界解析ソフト(JMAG)による漏えい磁界の評価を行った。モデルは、実際のコイルをスケーリングして作成したものを対象とし、比較のためハルバッハ巻線構造を適用したコイルと、同サイズのスパイラルコイルを用意した。なお、両モデルにおける送電側及び受電側の伝送コイルに与える電流値は同一とし、送電側を2.44 Arms, 受電側を2.75 Armsとした。

図3に電磁界解析における漏えい磁界の評価ポイントを示す。本測定点も伝送コイルと同様にスケーリングしたものであり、実システムにおいて、車両内部及び車両近傍の人体位置を想定して決定した。

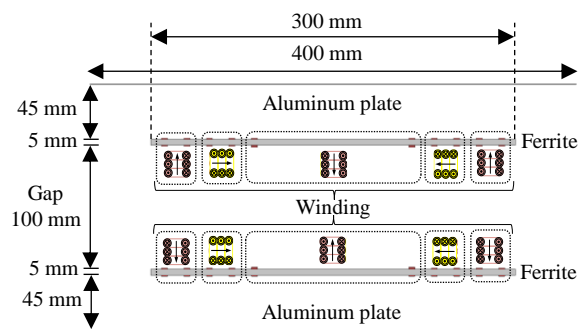


図2 ハルバッハ巻線構造を適用した伝送コイル
Fig. 2. The transmission coils with Halbach winding structure.

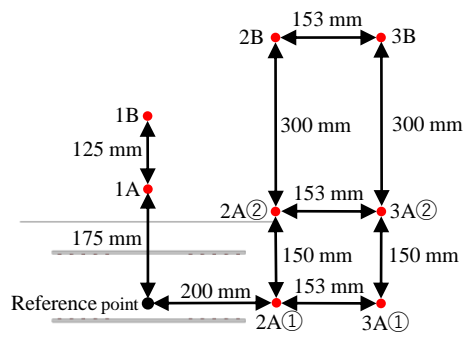


図3 漏えい磁界評価ポイント

Fig. 3. The evaluation point of leakage electromagnetic field.

図4に電磁界解析によって得られた、スパイラルモデルとハルバッハ巻線モデルの各測定ポイントにおける磁束密度の解析結果を示す。図4に示す通り、ハルバッハ巻線モデルでは全ての測定ポイントでスパイラルモデルより磁束密度が低下し、平均で約48%低減できることが確認できる。これより、伝送コイルに同振幅の電流を流通させた場合、ハルバッハ巻線構造の適用により伝送コイル周辺の漏えい磁界が低減可能であることを確認した。

4. 漏えい磁界低減効果の実機検証

図5に実機試験用の伝送コイルを示す。実験においても、漏えい磁界の低減効果を検証するため、従来構造としてスパイラル構造を有する伝送コイルと比較を行う。これらの伝送コイルはプリント基板上に作成され、端子により巻線構造を変更可能なようにすることで、提案構造と従来構造を同一の基板で実現した。伝送コイルの巻き数は送電側と受電側で同一としスパイラルコイルを25turn、ハルバッハ巻線コイルについてはコイル断面から見て上下方向に磁界を発生させる巻線は10turn、中央部を15turn、左右方向に磁界を発生させる巻線は10turnとした。なお、伝送電力は500W（スパイラルコイル接続時）とし、実験システムの共振周波数の都合から、ハルバッハ巻線適用時の伝送周波数を86kHz、スパイラル巻線適用時の伝送周波数を96kHzとした。

図6に実機試験によって得られた、スパイラルコイルとハルバッハ巻線コイルの各測定ポイントにおける磁束密度の測定結果を示す。本試験では、両システムで送電側及び受

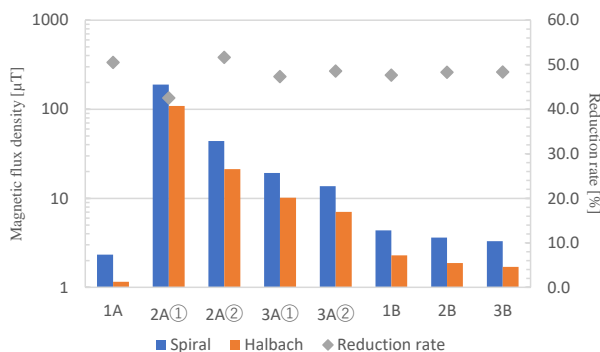


図4 各測定点における磁束密度の解析結果
Fig. 4. Analysis result of magnetic flux density at each measurement point.

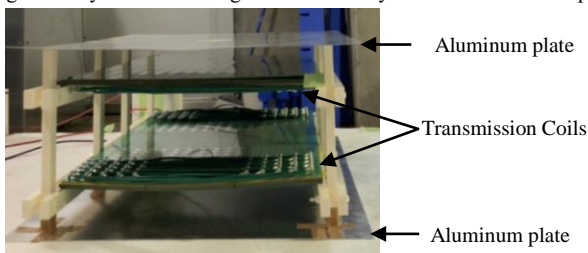


図5 実機試験用伝送コイル
Fig. 5. The transmission coils for experiment.

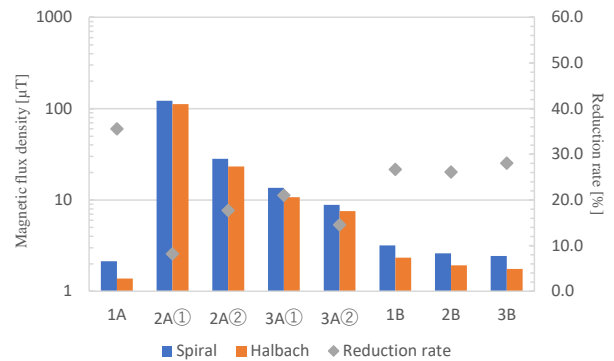


図6 各測定点における磁束密度の測定結果
Fig. 6. Measurement results of magnetic flux density at each measurement point.

電側の伝送コイルに供給する電流振幅を同一とし、図3に示す各ポイントの磁束密度を電磁場測定プローブ（ELT-400 磁界暴露レベルテスタ）により測定した。電流値と測定ポイントは電磁界解析実施時と同一条件である。

図6に示す通り、ハルバッハ巻線コイルでは全ての測定ポイントでスパイラルコイルより磁束密度が低下し、平均で約22%低下していることが確認できる。以上より、伝送コイルに流通する電流値が同一の場合、ハルバッハ巻線構造の適用により伝送コイル周辺の漏えい磁界が低減可能であることを実験により示した。

5. まとめ

本研究では、ワイヤレス給電システムの伝送コイルに対してハルバッハ巻線構造を適用した場合の伝送コイル周辺の漏えい磁界低減効果について、電磁界解析と実機試験により検証した。検証の結果、伝送コイルに流通する電流値が同一の場合、ハルバッハ巻線構造を適用した伝送コイルでは伝送コイル周辺の磁束密度がスパイラルコイルに対して抑制できることを確認した。

文献

- (1) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), "ICNIRP GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (1HZ - 100 kHz)", (2010)
- (2) K. Halbach, " Design of Permanent Multipole Magnets with Oriented Rare-Earth Cobalt Material ", Nuclear Instruments & Methods, vol. 19, no. 1, pp. 1-10, (1979)
- (3) H. Kim, K. Hwang, J. Park, D. Kim and S. Ahn, " Design of single-sided AC magnetic field generating coil for wireless power transfer ", in 2017 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC), pp. 1-3, (2017)