

走行中ワイヤレス給電における両側隣接送電コイルを用いた漏洩磁界低減と車体模擬実証

学生員 小林 諒翔 正 員 居村 岳広 フェロー 堀 洋一（東京理科大学）

Leakage Magnetic Field Reduction Using Bilateral Adjacent Transmitting Coils and Vehicle-Body-Emulated Verification in Dynamic Wireless Power Transfer

Ryoto Kobayashi, Takehiro Imura, Yoichi Hori, (Tokyo University of Science)

In dynamic wireless power transfer (DWPT), leakage magnetic fields generated by the transmitter and receiver coils during high-power transfer can cause electromagnetic interference. This paper investigates a leakage magnetic field reduction method that utilizes adjacent transmitter coils, which are not used for power transfer, as cancellation coils. Both single-sided and dual-sided cancellation methods are considered. In a system using Double-LCC compensation circuits, the leakage magnetic field reduction effect is evaluated by varying the amplitude ratio and phase of the voltage applied to the cancellation coils. In the simulation, the peak leakage magnetic field over all azimuthal directions was evaluated. The dual-sided cancellation method reduced the leakage magnetic field by 14.2–28.3 dB compared with the case without cancellation, and the maximum leakage magnetic field was 68.30 dB μ A/m, which was below the reference value of 68.4 dB μ A/m. In addition, a one-third-scale experiment was conducted with a vehicle mock-up. The converted full-scale 25 kW equivalent results showed that, under appropriate conditions, the dual-sided cancellation method reduced the leakage magnetic field by more than 10 dB and kept it below 68.4 dB μ A/m at the representative measurement directions. These results demonstrate that the proposed method is effective for reducing leakage magnetic fields in a practical coil configuration.

キーワード：走行中ワイヤレス給電，漏洩磁界低減

Keywords：DWPT, Reduction of Leakage Magnetic Fields

1. 序論

電気自動車（EV）の普及に伴い、充電の利便性向上やバッテリー容量の削減を目的として、走行中ワイヤレス給電（DWPT）が注目されている。DWPTでは、道路側に設置された送電コイルから車両側の受電コイルへ非接触で電力を伝送するため、停車中の充電時間を削減できる。一方で、大電力伝送時には送受電コイルから漏洩磁界が発生し、人体ばく露や周辺機器への電磁妨害（EMI）の観点から低減が必要となる。特に、遠方における漏洩磁界は電波法⁽¹⁾などの規制値との関係で重要であり、DWPTの社会実装に向けた課題の一つである。

漏洩磁界の低減手法としては、磁界低減用コイル（キャンセルコイル）を用いて漏洩磁界を相殺するアクティブ遮蔽^{(2)–(6)}と磁性体や導電体を用いるパッシブ遮蔽⁽⁷⁾⁽⁸⁾などが検討されている。しかし、追加部材による重量増加や損失の増加、専用コイルの設置が課題となる場合がある。これ

に対し、DWPTでは複数の送電コイルが道路側に連続して配置されるため、給電に用いていない隣接送電コイルをキャンセルコイルとして利用できる⁽⁴⁾。この方法では、既存の送電コイルを活用できるため、追加コイルを用いずに漏洩磁界を低減できる可能性がある。

本研究では、隣接送電コイルをキャンセルコイルとして用いる漏洩磁界低減手法について、片側キャンセル方式および両側キャンセル方式を比較する。Double-LCC補償回路を用いた構成において、シミュレーションではキャンセル電圧の振幅比および位相を変化させ、漏洩磁界低減に適した条件を検討する。また、方位角 0°～360°における漏洩磁界を評価し、特定方向だけでなく全方位でのピーク値低減を確認する。さらに、1/3スケール実験ではキャンセル電圧の振幅比および位相を変化させ、実測によりシミュレーションを基に選定した測定方位において漏洩磁界低減効果を検証する。

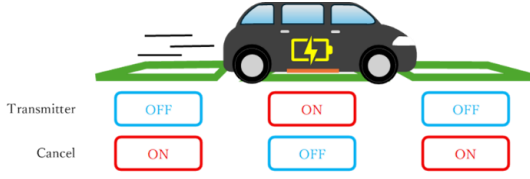


Fig. 1. DWPT system under consideration

2. 理論

〈2・1〉 DWPT システム Fig. 1 に、本論文で想定する DWPT システムを示す。道路側に配置した複数の送電コイルに対し、受電コイルを搭載した EV が上方を通過する際、車両直下の送電コイルから電力を伝送する。同時に、その送電コイルに隣接するコイルを漏洩磁界低減のためのキャンセルコイルとして起動し、EV の移動に伴って送電コイルとキャンセルコイルの役割が逐次切り替わる。また、キャンセルコイルを含む回路の入力電圧を、本論文ではキャンセル電圧と呼ぶ。

〈2・2〉 Double-LCC 回路における磁界の式 Fig. 2 に隣接コイルも含めた Double-LCC 回路を示す。コイルの内部抵抗を考慮しない場合のコイルを流れる電流の式を式(1)に示す。ただし、送電回路、受電回路、キャンセル回路 1, 2 をそれぞれ $m = Tx, Rx, Can1, Can2$ で表し、対応するコイルをそれぞれ $i = T, R, C1, C2$ とする。また、補償インダクタンスおよびコイル面積は、送電回路およびキャンセル回路 1, 2 で共通であるため、路面側と車載側を表す添字としてそれぞれ $l = G, V$ を用いる。すなわち、 $(m, i, l) = (Tx, T, G), (Rx, R, V), (Can1, C1, G), (Can2, C2, G)$ の組み合わせを用いる。

$$I_i = -j \frac{1}{\omega_0 L_{0l}} \alpha_m V e^{j\theta_m} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 α_m は送電電圧を基準としたときの、各電圧振幅の比率、 θ_m は同基準における各電圧の位相である。

コイルと測定位置の位置関係を示した図を Fig. 3 に示す。磁界計算には先行研究⁽⁹⁾にて示されている、ベクトルポテンシャルにより算出する方法を使用した。ここで、送電コイルと受電コイルの合計面積をそれぞれ S_G, S_V 、送電コイル同士の間隔を s とする。式(2)に各コイルから発

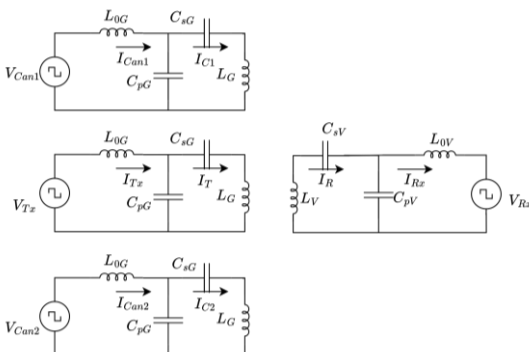


Fig. 2. Double-LCC Circuit

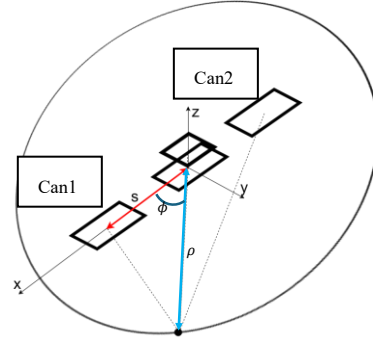


Fig. 3 Positional relationship between coil and measurement position

生する磁界の近似式を、式(3)にそれらの合成磁界の式を示す。

$$\begin{cases} H_x^m \approx \frac{S_l}{4\pi} \frac{3z(\rho \cos \phi \pm ns)}{\{\rho^2 + z^2 \pm 2ns\rho \cos \phi + (ns)^2\}^{\frac{5}{2}}} I_i \\ H_y^m \approx \frac{S_l}{4\pi} \frac{3z\rho \sin \phi}{\{\rho^2 + z^2 \pm 2ns\rho \cos \phi + (ns)^2\}^{\frac{5}{2}}} I_i \\ H_z^m \approx \frac{S_l}{4\pi} \frac{2z^2 - \{\rho^2 \pm 2ns\rho \cos \phi + (ns)^2\}}{\{\rho^2 + z^2 \pm 2ns\rho \cos \phi + (ns)^2\}^{\frac{5}{2}}} I_i \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

$$H = \sqrt{\begin{aligned} &|H_x^{Tx} + H_x^{Rx} + H_x^{Can1} + H_x^{Can2}|^2 \\ &+ |H_y^{Tx} + H_y^{Rx} + H_y^{Can1} + H_y^{Can2}|^2 \\ &+ |H_z^{Tx} + H_z^{Rx} + H_z^{Can1} + H_z^{Can2}|^2 \end{aligned}} \dots\dots\dots (3)$$

Double-LCC 回路では、式(1)に示すように各コイル電流が結合係数によらない。したがって、式(2)で表される磁界も電流と同様に結合係数によらずに評価できる。その結果、各コイルの寄与を分離して計算しやすく、キャンセル電圧の最適な振幅および位相を導出しやすい。

3. シミュレーション

〈3・1〉 解析条件 隣接コイル Can1 および Can2 の両方を使用する場合を「両側キャンセル」、Can2 のみを使用する場合を「片側キャンセル」と呼ぶ。本章では理論計算により、送電コイルの入力電圧を基準としたときのキャンセル電圧振幅の比率 $\alpha_{can} = \alpha_{can1} = \alpha_{can2}$ と位相 $\theta_{can} = \theta_{can1} = \theta_{can2}$ を 2 変数とし、漏洩磁界が低減される条件を探索した。両側キャンセルと片側キャンセルの双方について最適値を求め、得られた条件を用いて電磁界解析により妥当性を確認した。さらに、電波法に基づく規制値 (68.4 dBμA/m) との比較を行った。片側キャンセル時には Fig. 3 において $\phi = 180 \text{ deg}$ 方向の隣接コイル (Can2) をキャンセルコイルとして使用した。

本論文では、電磁界解析ソフト「FEKO」を使用した MoM 法での電磁界解析を行った。Fig. 4 に解析モデルを示す。コイルの共振周波数は動作周波数同様に 85 kHz とし、出力電力は 25kW で固定した。以降、出力電力は受電側負荷に供給される有効電力を指すものとする。また、エアギャップは 25cm、送電コイル中心間距離 s はコイルの敷設率が 0.5 となるように送電コイルの長辺の 2 倍である 2.6 m とした。磁界の測定位置は Fig. 3 に示した送電コイルの中心を原点とする座標系において $\rho = \sqrt{x^2 + y^2} = 11.9 \text{ m}, z =$

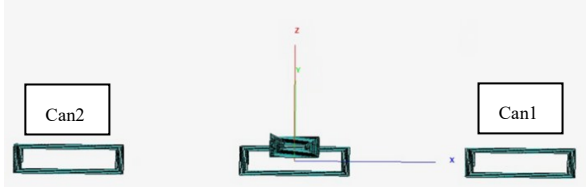


Fig. 4. Analytical model

1 mとした。11.9 m とは、SAE 規格⁽¹⁰⁾において受電コイル中心から半径 1.9 m の範囲は電源等を設置する WPT Measurement Boundary としており、そこから漏洩磁界において遠方とされる 10 m 先を解析点としたためである。

(3・2) 漏洩磁界の評価方法 各条件における漏洩磁界は、式(1)により算出した各コイル電流を式(2)および式(3)に代入することで求めた。評価点は送電コイル中心から半径方向に離れた位置に設定し、方位角 (ϕ) を $0\sim 360^\circ$ まで変化させた。各方位における漏洩磁界を算出し、その最大値を評価指標とした。すなわち、本解析では特定方向の漏洩磁界ではなく、送電コイル周囲の全方位における最大漏洩磁界を最小化するようにキャンセル電圧条件を決定した。

キャンセル電圧の探索では、 α_{Can} および θ_{Can} を変化させ、各条件における最大漏洩磁界を比較した。評価指標は次式で表される。

$$H_{max} = \max_{\phi} |H(\rho, \phi, z)| \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 H_{max} は全方位における最大漏洩磁界である。本研究では、この値が最小となる α_{Can} および θ_{Can} を最適条件として選定した。

(3・3) 漏洩磁界低減効果 Fig. 5 に、キャンセルなし、片側キャンセル方式、および両側キャンセル方式における漏洩磁界の解析結果を示す。キャンセルなしの場合、漏洩磁界は方位角に対してほぼ一定値を示した。一方、キャンセルコイルを用いる場合、送電コイルおよび受電コイルにより発生する磁界と、キャンセルコイルにより発生する磁界の重ね合わせにより、漏洩磁界の低減効果は方位によって異なる。

片側キャンセル方式では、片側の隣接送電コイルのみをキャンセルコイルとして用いるため、一部の方位では漏洩

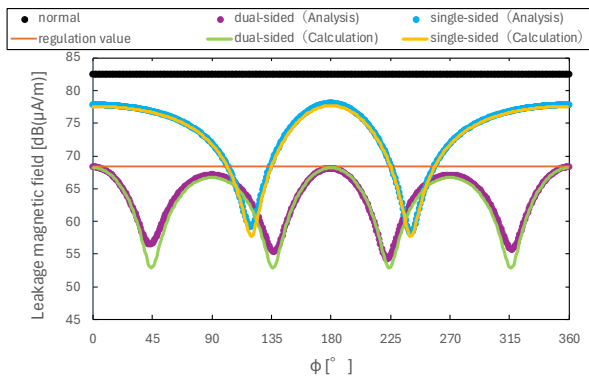


Fig. 5. Comparison of omnidirectional leakage magnetic field using the optimal cancellation voltage.

磁界を大きく低減できた。しかし、低減量が小さい方位も存在し、全方位で評価した場合には規制値を超える方位が残った。シミュレーションの結果、片側キャンセル方式ではキャンセルなしの場合と比較して 4.5～24.4 dB の低減が得られた。

両側キャンセル方式では、送電コイルの両側に配置された隣接送電コイルをキャンセルコイルとして用いた。その結果、片側キャンセル方式と比較して全方位における最大漏洩磁界を低減できた。シミュレーションの結果、両側キャンセル方式ではキャンセルなしの場合と比較して 14.2～28.3 dB の低減が得られ、最大漏洩磁界は 68.30 dBμA/m となった。これは比較基準である 68.4 dBμA/m を下回る値である。以上より、両側キャンセル方式は、片側キャンセル方式で課題となる最大漏洩磁界の低減に有効であることを確認した。また、最適なキャンセル電圧条件においても、出力電力は目標値である約 25 kW を維持し、効率にも大きな変化は生じなかった。

(3・4) 実験における測定方位の選定 実験における測定方位を決定するため、全方位シミュレーションにより漏洩磁界が最大となる方位を確認した。Fig. 6 に、両側キャンセル方式におけるキャンセル電圧の振幅比および位相差を変化させた場合の漏洩磁界が最大となる方位を示す。漏洩磁界が大きくなる方位は主に進行方向である $\phi = 0^\circ/180^\circ$ または車幅方向である $\phi = 90^\circ/270^\circ$ に現れた。したがって、実験では対称性を考慮し、代表測定方位として $\phi = 90^\circ$ および $\phi = 180^\circ$ の 2 方向を選定した。次章では、これらの測定方位において車体模擬を用いた 1/3 スケール実験を行い、片側キャンセル方式および両側キャンセル方式の漏洩磁界低減効果を検証する。

4. 実験方法

(4・1) 車体模擬を用いた 1/3 スケール実験装置 Fig. 7 に、車体模擬を含む 1/3 スケール実験装置を示す。本実験では、中央の送電コイルを電力伝送用コイルとして使用し、その両側に配置された隣接送電コイルをキャンセルコイルとして使用した。受電側には受電コイルを配置し、車体模擬としてフェライト、アルミシールドおよび鋼板を配置した。アルミシールドは 500 mm×500 mm×2 mm、鋼板は 1467 mm×565 mm×2.3 mm の物を用意した。Table 1 に

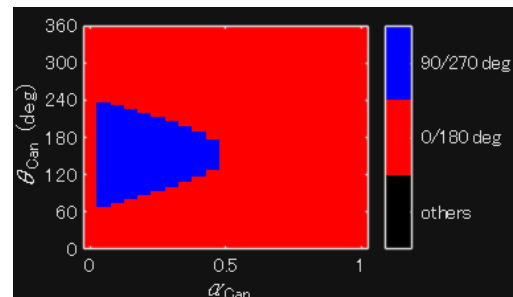


Fig. 6. The measurement position in which the leakage magnetic field is strongest.

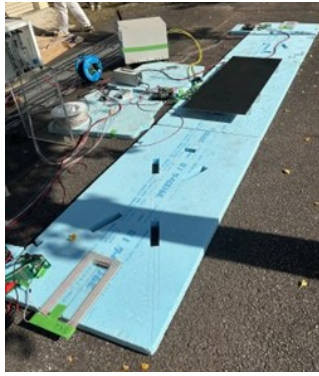


Fig. 7. 1/3-scale experimental apparatus

送受電コイルについてのパラメータを示す。ここで、送電側と受電側の補償インダクタンスはそれぞれ送電コイルと受電コイルのインダクタンスの 1/4 となるように設計をした。また、共振キャパシタの値は共振周波数 85 kHz における共振条件を満たすように設計した。使用回路は Double-LCC 回路とし、負荷には電子負荷を CV モードで接続した。

漏洩磁界の測定位置は、シミュレーションと同様に送電コイル中心から半径 11.9 m の位置とした。測定方位は、全方位シミュレーションにおいて漏洩磁界が大きくなる方位として選定した $\phi = 90^\circ$ および $\phi = 180^\circ$ の 2 方向とした。本実験では、1/3 スケール実験で得られた漏洩磁界を実スケールかつ受電電力 25 kW 相当値へ換算し、規制値 68.4 dB μ A/m と比較した。

〈4・2〉キャンセル電圧条件の設定 実験では、まず車体模擬を設置しない空芯条件における漏洩磁界を測定した。次に、車体模擬を設置した状態で、送電側への入力および電子負荷の CV 設定値を、実験回路の交流電圧が 30 V となるように固定した。

キャンセル電圧の条件は、送電電圧を基準としたキャンセル電圧の振幅比 α_{can} および位相差 θ_{can} により設定した。まず、キャンセル電圧の位相条件を決定するため、 $\phi = 90^\circ$ の測定位置において、キャンセルコイル Can1 および Can2 への入力電圧を 3 V に固定し、送電電圧を基準としたキャンセル電圧位相差 θ_{can} を変化させた。得られた漏洩磁界の変化から、漏洩磁界が最小となる位相条件を決定した。

次に、決定した位相条件に固定した状態で、キャンセル電圧の振幅比 α_{can} を変化させ、 $\phi = 90^\circ$ における漏洩磁界を測定した。その後、測定位置を $\phi = 180^\circ$ に変更し、同じ位相条件で α_{can} を変化させた場合の漏洩磁界を測定し

た。両側キャンセル方式では Can1 および Can2 の両方にキャンセル電圧を印加した。

両側キャンセル方式におけるキャンセル電圧振幅比は、次式で定義した。

$$\alpha_{can} = |V_{can1}|/|V_{Tx}| = |V_{can2}|/|V_{Tx}| \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 V_{Tx} は送電コイルを含む回路の入力電圧、 V_{can1} および V_{can2} はそれぞれキャンセルコイル Can1 および Can2 を含む回路の入力電圧である。

一方で、片側キャンセル方式では、キャンセルコイルが片側のみに配置されるため、送電コイルを中心とした漏洩磁界分布は $\phi = 0^\circ$ 方向と $\phi = 180^\circ$ 方向で対称にならない。そのため、本来は $\phi = 0^\circ$ および $\phi = 180^\circ$ の両方で漏洩磁界を評価する必要がある。本実験では、送電コイルを中心として Can1 と Can2 が対称に配置されていることを利用し、測定位置を $\phi = 180^\circ$ に固定した状態で、使用するキャンセルコイルを Can1 と Can2 で切り替えた。これにより、片側キャンセル方式における $\phi = 0^\circ$ および $\phi = 180^\circ$ の測定条件を等価的に取得した。

〈4・3〉実スケール 25 kW 相当値への換算 本実験は 1/3 スケールで実施しているため、得られた測定値をそのまま実スケールにおける規制値と比較することはできない。そこで、測定された漏洩磁界を、コイル面積比、電圧比 α_V および補償インダクタンス比 $\alpha_{L0,eq}$ を用いて、実スケール 25 kW 相当値へ換算した。

1/3 スケール実験における測定値を H_{exp} 、実スケール 25 kW 相当値を H_{eq} とすると、換算式は次式で表される。

$$H_{eq} = H_{exp} \alpha_S \alpha_V \alpha_{L0,eq} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 α_S はコイル面積比、 α_V は電圧比、 $\alpha_{L0,eq}$ は合成磁界に対して等価的に定めた補償インダクタンス比である。

本実験では、実験装置が 1/3 スケールであるため、コイル面積比を $\alpha_S = 9$ とした。電圧比 α_V は、実験時に印加した電圧実効値に対する、実スケールにおいて受電電力が 25 kW となる印加電圧実効値の比として定義した。

補償インダクタンス比については、送電側・キャンセル側および受電側で換算比が一樣ではない。そのため、単一の補償インダクタンス比を全てのコイルに対して一律に適用するのではなく、各コイルが測定点の合成磁界に与える寄与を考慮し、合成磁界に対して等価的に作用する補償インダクタンス比 $\alpha_{L0,eq}$ を用いた。以上の換算により、1/3 スケール実測値から実スケール 25 kW 相当の漏洩磁界を算出した。

5. 実験結果および考察

〈5・1〉1/3 スケール実測値 Fig. 8 に、キャンセル電圧の位相差 θ_{can} を変化させた場合の 1/3 スケールでの漏洩磁界の実測値を示す。比較のため、同条件における FEKO 解

Table 1. 送受電コイル.

送電コイル	サイズ 430 mm×200 mm, 7 巻き
	24.0 μ H
受電コイル	サイズ 270 mm×200 mm, 7 巻き
	25.0 μ H
エアギャップ	60 mm
送電コイル中心間距離	2600 mm

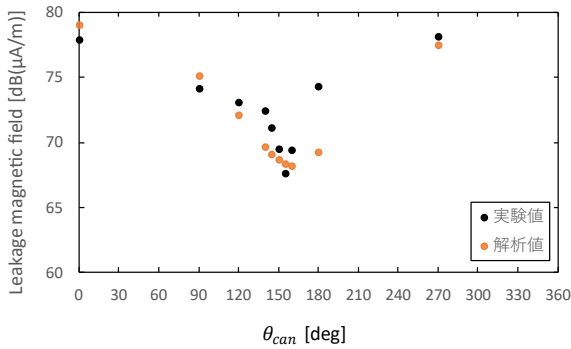
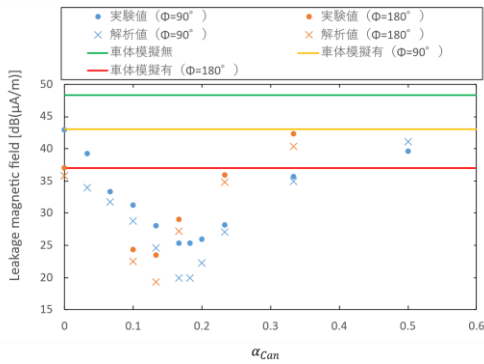


Fig. 8. Changes in the leakage magnetic field due to the cancellation voltage phase.

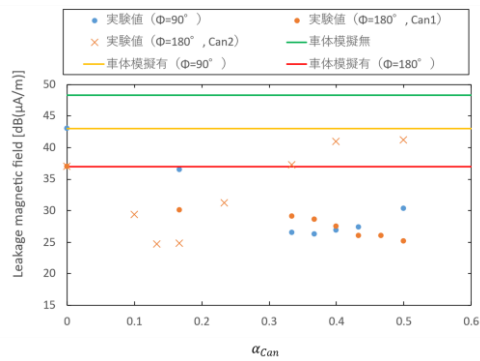
析値も併せて示す。

Fig. 8 より、キャンセル電圧位相を変化させることで漏洩磁界が大きく変化することが確認できる。これは、送電コイルおよび受電コイルから発生する磁界に対して、キャンセルコイルから発生する磁界が重畳され、両者の位相関係によって合成磁界の大きさが変化するためである。

本実験では、適切な位相条件において漏洩磁界が最小となった。一方で、位相条件が適切でない場合には、キャンセルコイルから発生する磁界が漏洩磁界を打ち消す方向ではなく、強める方向に作用し、漏洩磁界が増加する場合があった。したがって、漏洩磁界低減にはキャンセル電圧の振幅だけでなく、位相の設定が重要であることが確認された。以降のキャンセル電圧振幅比を変化させる実験では、



(a) Dual-sided



(b) Single-sided

Fig. 9. Changes in the leakage magnetic field due to the cancellation voltage amplitude ratio.

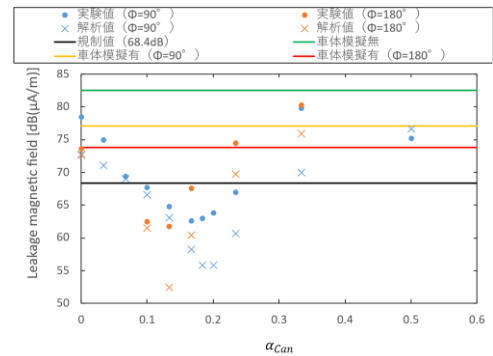
Fig. 8 において漏洩磁界が最小となった位相条件 $\theta_{can} = 155^\circ$ に固定した。

Fig. 9 に、 $\theta_{can} = 155^\circ$ に固定し、キャンセル電圧振幅比 α_{can} を変化させた場合の 1/3 スケール実測値を示す。両側キャンセル方式については比較のため、同条件における FEKO 解析値も併せて示す。

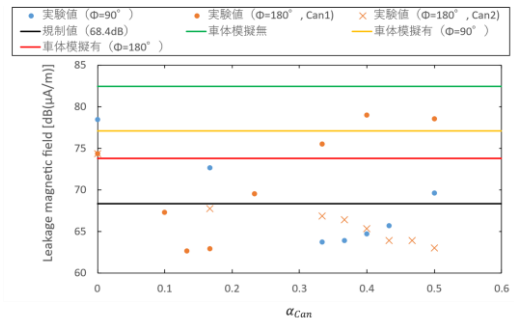
両側キャンセル方式では、 α_{can} の変化に伴い、 $\phi = 90^\circ$ および $\phi = 180^\circ$ の漏洩磁界が変化した。実測値と解析値を比較すると、漏洩磁界の絶対値には差が見られたが、キャンセル電圧振幅比の変化に対する漏洩磁界の変化傾向はおおむね一致した。この差は、測定環境の影響、車体模擬の配置誤差、コイル定数のばらつき、および解析モデルにおける車体模擬構造の簡略化に起因すると考えられる。

片側キャンセル方式では、一方の測定方向において漏洩磁界が低減される一方で、もう一方の測定方向では低減量が小さくなる傾向が確認された。これは、片側の隣接コイルのみをキャンセルコイルとして使用する場合、送電コイルを中心としたキャンセル磁界の分布が非対称となり、測定方向に対するキャンセルコイルの相対位置によって磁界の寄与が変化するためである。一方、両側キャンセル方式では、送電コイルの両側に配置された隣接コイルを同時に使用するため、片側キャンセル方式と比較して、代表測定方位における漏洩磁界を同時に低減しやすいことが確認された。

〈5・2〉 実スケール 25 kW 換算値による評価 Fig. 10
に、1/3 スケール実測値を実スケール 25 kW 相当値へ換算し



(a) Dual-sided



(b) Single-sided

Fig. 10. Evaluation based on a 25 kW equivalent value at actual scale.

た漏洩磁界を示す。図中には、比較基準として規制値 68.4 dB μ A/m を示している。

両側キャンセル方式では、キャンセル電圧振幅比 α_{can} の特定の範囲において、 $\phi = 90^\circ$ および $\phi = 180^\circ$ の両方で漏洩磁界が規制値を下回った。特に、 $\alpha_{can} = 2/15 \approx 0.133$ の条件では、車体模擬ありかつキャンセルなしの場合と比較して、両方の測定方位において 10 dB 以上の低減が得られた。

一方、片側キャンセル方式では、進行方向の一方側に対応する測定条件において漏洩磁界が低減される場合でも、反対側に対応する測定条件では低減効果が十分ではなかった。そのため、片側キャンセル方式では、代表測定方位の両方において同時に規制値を下回る条件は確認されなかった。

以上より、1/3 スケール実験結果を実スケール 25 kW 相当値へ換算した場合においても、隣接送電コイルをキャンセルコイルとして用いることで、実機条件における漏洩磁界を低減できる可能性が示された。特に、両側キャンセル方式は、片側キャンセル方式で課題となる測定方向による低減効果の偏りを抑え、シミュレーションにより選定した代表測定方位において漏洩磁界を同時に低減できることが確認された。したがって、車体模擬を含む実験条件下においても、両側キャンセル方式は片側キャンセル方式より有効に遠方漏洩磁界を低減できることが示された。

ただし、本実験は停止状態において、所望の振幅および位相を持つキャンセル電圧を印加した場合の漏洩磁界低減効果を評価したものである。そのため、走行中の DWPT に本手法を適用するためには、EV の移動に伴って送電コイルとキャンセルコイルの役割が切り替わる状況においても、キャンセルコイルに対して所望のキャンセル電圧を制御により適切に印加できることを検証する必要がある。

6. 結論

本論文では、DWPT における遠方漏洩磁界の低減を目的として、隣接送電コイルをキャンセルコイルとして利用する手法を、送電コイルの両側に配置された隣接送電コイルを用いる両側キャンセル方式へ拡張して検討した。Double-LCC 補償回路を用いた構成において、片側キャンセル方式と両側キャンセル方式を比較し、キャンセル電圧の振幅比および位相が漏洩磁界に与える影響を評価した。

シミュレーションでは、送電コイル周囲の全方位における最大漏洩磁界を評価し、両側キャンセル方式が片側キャンセル方式よりも最大漏洩磁界の低減に有効であることを確認した。また、キャンセル電圧を印加した場合でも、出力電力は目標値である約 25 kW を維持した。

さらに、車体模擬を含む 1/3 スケール実験を行い、キャンセル電圧の位相および振幅比を変化させた場合の漏洩磁界を測定した。その結果、適切なキャンセル電圧条件を設定することで漏洩磁界を低減できることを実測により確認した。実測値を実スケール 25 kW 相当値へ換算した結果、

両側キャンセル方式では代表測定方位の両方において漏洩磁界を同時に低減でき、特定の条件では規制値である 68.4 dB μ A/m を下回ることを確認した。

以上より、隣接送電コイルをキャンセルコイルとして用いる手法は、追加の専用キャンセルコイルを用いずに DWPT の遠方漏洩磁界を低減する手法として有効であることが示された。今後は、走行中の DWPT において、送電コイルとキャンセルコイルの役割が逐次切り替わる状況でも、所望の振幅および位相を持つキャンセル電圧を制御により適切に印加できるかを検証する。

謝辞

本研究の一部は、株式会社ダイヘンの協力のもと NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の補助事業（JPNP21028）の結果得られたものです。

文 献

- (1) 総務省, 電波法施行規則, 昭和 25 年電波監理委員会規則第 14 号, 第 46 条の 2, 第 1 項第十号, e-Gov 法令検索, 参照日: 2026 年 6 月 3 日.
- (2) S. Lee *et al.*, "Double C-Shaped Reactive Shielding Coils for Low EMF and High Efficiency Wireless Power Transfer System," 2022 *Wireless Power Week (WPPW)*, Bordeaux, France, 2022, pp. 610-613
- (3) S. Cruciani, T. Campi, F. Maradei and M. Feliziani, "Active Shielding Design for a Dynamic Wireless Power Transfer System," 2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE, Rome, Italy, 2020, pp. 1-4
- (4) K. Takashima, T. Imura and Y. Hori, "Theorization of a Compatible Method for Far-field Leakage Magnetic Field Reduction and High Efficiency Power Transfer Using Adjacent Transfer Coil in Dynamic Wireless Power Transfer," 2024 IEEE Wireless Power Technology Conference and Expo (WPTCE), Kyoto, Japan, 2024, pp. 566-569
- (5) B. Sim *et al.*, "A Near Field Analytical Model for EMI Reduction and Efficiency Enhancement Using an nth Harmonic Frequency Shielding Coil in a Loosely Coupled Automotive WPT System," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 63, no. 3, pp. 935-946, June 2021
- (6) Z. Gu, L. Yan, X. Mu, X. Zhao and R. X. -K. Gao, "Magnetic Field Leakage Reduction and Efficiency Enhancement of Wireless Power Transfer by Using Side-Positioned Coil Array," 2021 *IEEE International Joint EMC/SI/PI and EMC Europe Symposium*, Raleigh, NC, USA, 2021, pp. 29-32
- (7) W. Lujun, Z. Yifan, C. Zhiwei, X. Xiaoming, D. Linzi and L. Hui, "Optimization of magnetic coupling shielding structure of DD coil for electric vehicle wireless charging based on parameter estimation," 2022 25th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Chiang Mai, Thailand, 2022, pp. 1-5
- (8) B. S. Gu *et al.*, "Optimisation of Magnetic Material Placement in IPT Pad for EV Charging," 2022 *Wireless Power Week (WPPW)*, Bordeaux, France, 2022, pp. 338-343
- (9) Soma Hasegawa, Takehiro Imura, Yoichi Hori, "Theory Development of Far-field Leakage Magnetic Field in Dynamic Wireless Power Transfer for Electric Vehicles Charging and Influence of Ferrite", 2022 Asian Wireless Power Transfer Workshop (AWPT2022), Hybrid, Dec. 2022.
- (10) SAE International, "Wireless Power Transfer for Light-Duty Plugin/Electric Vehicles and Alignment Methodology J2954," Issued 2016-05