

kW クラス磁界共鳴ワイヤレス電力伝送における 電磁界シミュレーションと磁界分布計測の対比評価

堀内 雅城 小林 茂 平野 圭蔵 新井 栄 石川 明彦

長野日本無線株式会社 〒381-2288 長野県長野市稲里町 1163

E-mail: hori@lab.njrc.co.jp

あらまし 磁界共鳴方式によるワイヤレス電力伝送デモシステムにおいて、その近傍における磁界分布のシミュレーション解析を行い、実測結果との対比評価を行った。送電方向以外の磁界強度を抑えるため送受電コプラそれぞれの背面にシールドケースを配し、その効果を確認するとともに ICNIRP のガイドラインとの比較を行った。シールドケースにより周辺磁界を抑える効果があることを確認した。評価したデモシステムは 13.56MHz の ISM バンドを用い、送受電コプラの z 軸方向の間隔が 10~30 cm の範囲において、受電側の電気自動車の電池 (72V 鉛電池) に 1kW の電力を供給可能である。

キーワード ワイヤレス電力伝送, 磁界共鳴, 電磁界シミュレーション, 磁界分布

Comparison of Simulation and Real Distribution of Magnetic Field Emitted by kW Magnetic Resonant Wireless Power Transmission Demo System

Masaki HORIUCHI Shigeru KOBAYASHI Keizo HIRANO Sakae ARAI and Akihiko ISHIKAWA

Nagano Japan Radio Co.,Ltd. 1163 Inasato-machi, Nagano City 381-2288 Japan

E-mail: hori@lab.njrc.co.jp

Abstract In the wireless power transmission system based on magnetic resonance method, simulation analysis of the magnetic field distribution was conducted, and was compared with experimental results. To suppress near-by magnetic field than the power transmission direction, the shielding case was arranged on the back of each coupler, and the effect was checked. The evaluated system using 13.56MHz ISM band can supply 1 kW to the 72V lead battery of EV in the range of 10~30cm of z axis.

Keyword Wireless Power Transmission, magnetic resonance, Electric-Magnetic field simulation, magnetic field

1. まえがき

自動車メーカーの量産型 EV が発売され、電気自動車 (EV) が社会の中で本格的に使われる状況が近づいてきている。その普及のカギは充電インフラの整備にあるといわれているが、現状では充電時の接続動作のわずらわしさや扱いに課題がある。ワイヤレス電力伝送技術は、ワイヤを使用しないですむ圧倒的な利便性が評価され、研究が活発化している。〔1〕

筆者らは、磁界共鳴方式によるワイヤレス電力伝送の実用化を目指し、2009 年 8 月に伝送電力 30W の原理デモシステムを公開〔2〕するとともに、その評価・検証を行ってきた。〔3〕,〔4〕,〔5〕また、2011 年 6 月には小型 EV の電池へ 1kW のワイヤレス電力伝送が可能なデモシステムを公開した。〔6〕

ワイヤレス電力伝送、とりわけ磁界共鳴方式〔7〕の場合は、伝送可能距離が、従来の電磁誘導方式に比べ格段に長いと、利便性が高い一方で、その伝送区

間の内部および周辺の磁界分布において、磁界暴露からの人体の安全性確保の観点から電波防護指針〔8〕ないし、国際的には ICNIRP のガイドライン〔9〕への適合性評価が欠かせない。

この方式の実用化を目指す上では、この電波防護指針ないし ICNIRP のガイドライン以下に抑えるか、または超過する範囲を如何に限定し、人体に暴露しないよう対策を施すかが重要になってくる。そのためには電磁界強度に関するシミュレーション手法の確立が喫緊の課題である。我々は、設計段階から磁界分布の掌握とその対策ができるよう、デモシステムのモデル化を行った上で、3次元電磁界シミュレーションを用いた設計手法を導入した。

本稿では 1kW のワイヤレス電力伝送デモシステムにおいて、電力伝送方向以外への磁界強度を低減するためにシールドケースの効果をシミュレーションにより確認し、実測値との比較検証を行ったので報告する。

2. デモシステムの構成

製作したデモシステムの写真を図 1，システムブロック図を図 2，13.56MHz の電源を図 3 に示す。

本デモシステムは小型 EV 搭載の 72V の鉛電池へ 1kW の充電が行える。送電側カプラと受電側カプラの間隔がおよそ 10 cm から 30 cm の範囲において横方向にずれたり、角度が変わったりしても、自動的に整合を行い常に最適の効率で電力伝送が可能である。

送受電カプラのコイル背面には、筐体、車体へ設置した時の共振周波数への影響をなくすため、かつ送電方向以外の電磁界の漏れを低減するためにアルミの板が配置されている（図 4）。

送受電間は 2.45GHz の特定小電力の通信モジュールにより送電対象物の認証、電池状態、充電状態等の情報を通信している。

図 3 に本システムの 13.56MHz の電源を示す。最大出力は 1.6kW で変調はかかっていない。

主なスペックを下に示す。

送電カプラ	: 70cm x 60cm, 厚さ 16cm
受電カプラ	: 60cm x 60cm, 厚さ 10cm
送電周波数	: 13.56MHz
充電電力	: 1kW
送電距離	: 10 cm ~ 30 cm
充電対象	: 72V, 鉛電池



図 1 1kW ワイヤレス電力伝送デモシステム

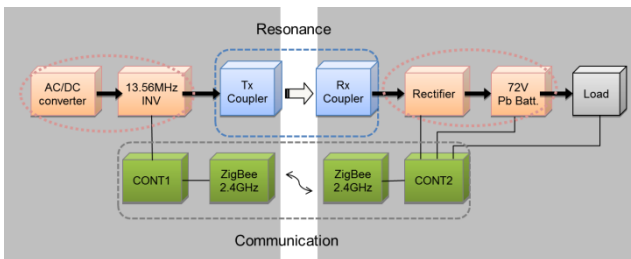


図 2 システムブロック図



図 3 13.56MHz 電源

3. 電磁界解析の手法とモデル化

解析手法は有限要素法（FEM）を用い、解析にはアジレント・テクノロジー社の 3 次元電磁界シミュレーター EMPro2011 を使用した。

モデル化にはインダクタンスとキャパシタンスによる共鳴条件を高効率で実現できるカプラ部の設計とその近傍空間に放射する電磁界解析に着目して行った。送電側の電源スタンド、受電側の小型 EV は解析モデルに含めていない。またキャパシタンスは複合部品を搭載しているが、誘電率にて容量値を調整し単板コンデンサ相当としたモデルを用いた。

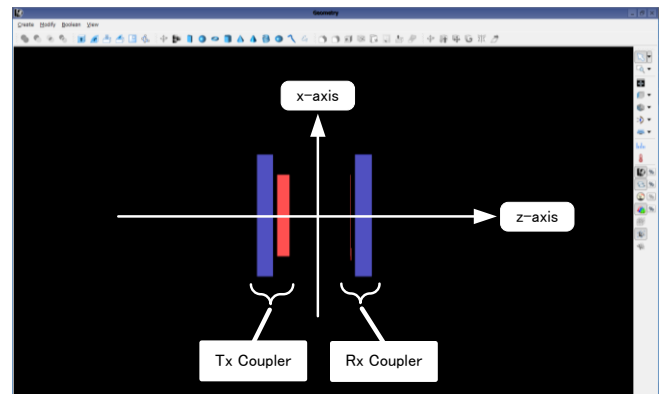


図 4 送電・受電カプラの解析モデル

解析に際して、原点の設定は、郵政省の告示 300 号〔10〕では送電アンテナ端を想定しているが、磁界共鳴方式では、送電、受電カプラがあって共鳴状態となるので、送電カプラ・受電カプラの中央を原点として測定した。

x, z 軸は次の通り定義する。

x 軸：送電、受電カプラの中央を通り、カプラ面に平行な軸

z 軸：カプラ面に垂直でカプラの中心を結ぶ軸

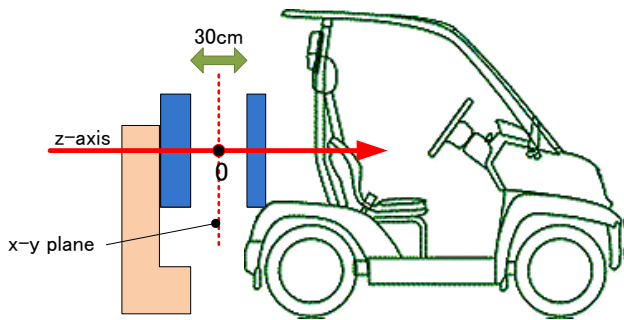


図5 解析の座標系

4. 電磁界シミュレーション結果

図6, 図7に送受電カプラのz軸方向の距離が30cmの場合の電磁界シミュレーション結果をx-z平面の磁界強度分布として二次元的に示す。

ただし, 図6はアルミのシールドを配した場合, 図7はコイルのみの場合である。

5. 近傍の電磁界の実測と解析結果の対比

デモシステム近傍の実際の磁界を測定するために, NARDA Safety Test Solutions社のNBM-550高周波電磁界測定機に磁界プローブHF3061を装着して測定を行った。

図8はx軸上の磁界強度, 図9はz軸上の磁界強度を示す。両図とも線がシミュレーションによる結果を表し, ●が実測値を示す。

それぞれの図にはカプラ間のz軸の間隔が30cmのときのシールドがある場合とない場合のシミュレーション値がありシールドの効果が比較できる。

カプラ間隔が30cmでシールドがある場合は実測値と比較できる。

またシールドがある場合の10cm, 20cmのシミュレーション値も参考に示す。

なお, 図中の点線(pub_GL)はICNIRPの公衆の暴露の参考レベル(0.073A/m => -22.7dB(A/m) at 13.56MHz)である。

・x軸方向について

x軸方向の磁界強度はカプラ間距離が30cmの場合には原点から単調に減少している(図8)。カプラ間距離が近くなると原点から数10cmほど離れたところに山が生じてくるが, これは送受電のコイルが近いからと考えられる。

シールドによりガイドラインの限界位置が50cmほど狭くできている。

シミュレーション値に対して裾野では少し実測値のほうが高くなっているが, 傾向はほぼ一致していると考えられる。裾野で実測値が高い原因として, 測定ケージの壁面が金属であり, 壁面に近いところで測定したため, 反射により強められた可能性がある。

・z軸方向について

z軸はシールドによりカプラ背面から数10cmの範囲において磁界強度を一桁(20dB)以上抑えている。

実測値との比較ではz軸マイナス側はほぼシミュレーションに一致しているが, プラス側で実測値のほうがかなり低くなっている。これは小型EV車のボディのフレームが影響していると思われる。

原点付近は磁界プローブの測定限界を超えるため測定できなかった。

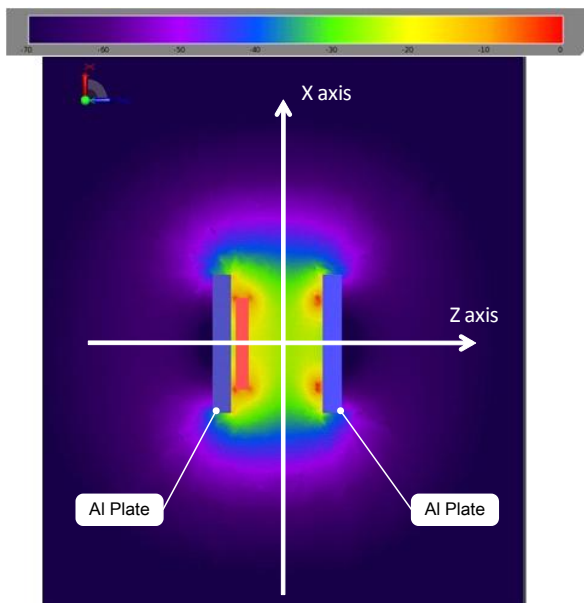


図6 電磁界シミュレーション結果(x-z平面)
アルミ製シールドケースありの場合

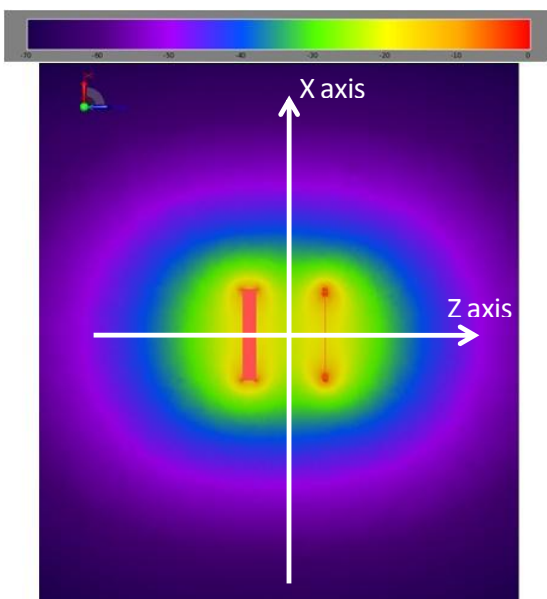


図7 電磁界シミュレーション結果(x-z平面)
コイルのみの場合

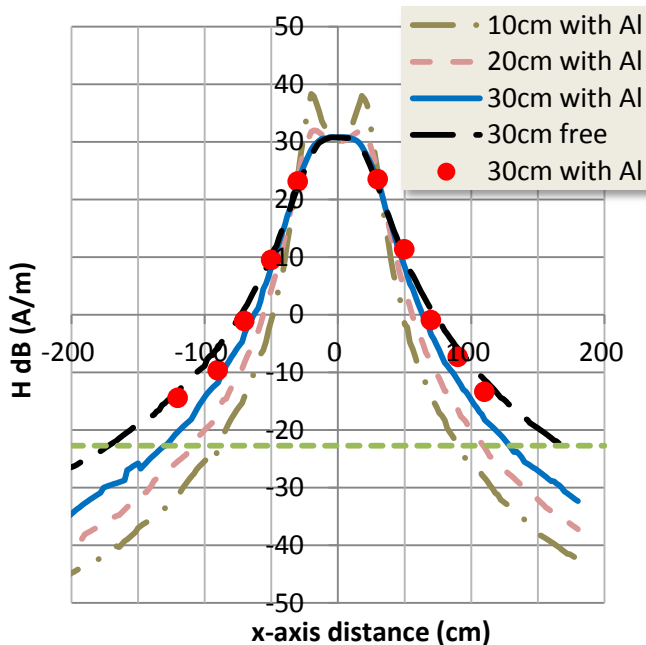


図8 x軸上の磁界強度

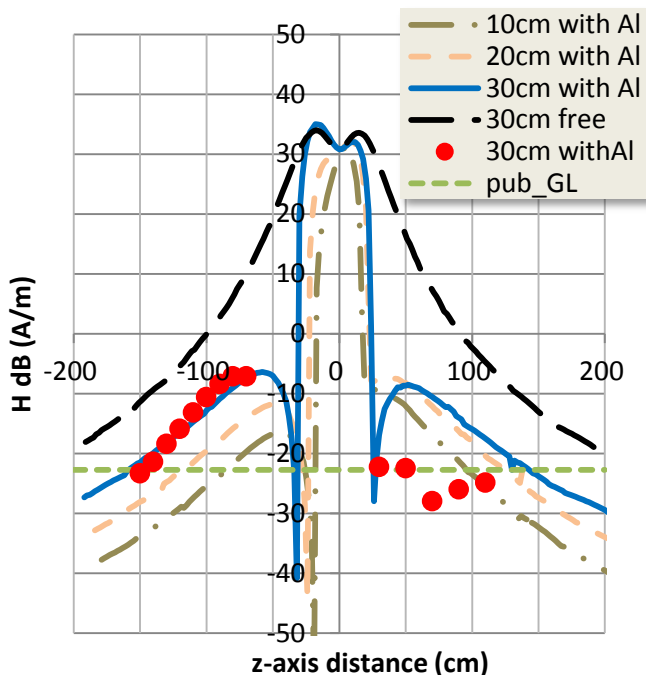


図9 z軸上の磁界強度

本条件においては図より、x軸、z軸方向ともに原点より150cm程度、カプラ端より120cm程度離れたところが公衆の暴露のガイドライン値となる。

また、カプラ間距離を30cmから10cmに縮めた場合には、裾野での磁界強度が低減し、ガイドライン参考値を超える範囲が約50cm狭まっている。

本測定時の効率(RF電源の出力端からEVの電池までのカプラ間と整流・平滑化回路を含めた効率)は88%

が得られている。

ここで示す効率は下式による。

カプラ間～整流・平滑化回路の効率

$$= \frac{\text{電池充電電力 (W)}}{\text{RF電源出力電力 (W)}}$$

6. まとめ

磁界共鳴方式の電力伝送において、小型EV(72V鉛電池)に10~30cmの距離において1kWの充電が可能なデモシステムを開発した。

シールドケースの配置により背面方向の磁界が弱められることがシミュレーション、実測において確認できた。

カプラ間が30cmの距離で1kW充電中ではカプラ端から120cm程度のところが、ICNIRPの公衆の暴露の参考値となった。

7. 今後の展開

今回、カプラ背面にシールドケースを配することで、送電方向以外の磁界を弱めることが確認できたが、さらに磁界分布を狭い範囲に限定する方策を検討し、より安全で利便性の高い、ワイヤレス電力伝送装置の実用化を目指した開発に注力していきたい。

文 献

- [1] "ワイヤレス給電するのは誰か," 日経エレクトロニクス, 第1070号, pp.27-53, Nov.2011
- [2] 長野日本無線,"無線給電システムの開発に成功", 長野日本無線プレスリリース, Aug. 2009
- [3] 谷屋, 小林, 堀内, 横井, "磁界共鳴ワイヤレス電力伝送における電磁界シミュレーションと磁界分布計測の対比評価", 信学会, WPT2010-14, Jan.2011
- [4] 堀内, 小林, 谷屋, 横井, "磁界共鳴ワイヤレス電力伝送における装置近傍の磁界分布について", 信学会総大, BS-2-14, Mar.2011
- [5] Yokoi,Taniya,Horiuchi and Kobayashi, "Development of kW Class Wireless Power Transmission System for EV Using Magnetic Resonant Method", International EV Technology Conference 2011, 20117267, May 2011
- [6] 長野日本無線,"大電力ワイヤレス充電システムの開発に成功"長野日本無線プレスリリース, Jun. 2011
- [7] 居村岳広,"ワイヤレス給電技術～電磁共鳴の基礎と概説"エレクトロニクス実装学会誌, vol.113, No.6, pp.422-426, Jun 2010
- [8] 総務省"電波防護指針" Jun.1991 および Apr.1997
- [9] 国際非電離放射線防護委員会, 多気昌生監訳"時間変化する電界, 磁界及び電磁界への暴露制限のためのガイドライン(300GHzまで)", Nov.1999
- [10] 郵政省告示第300号,"無線設備から発射される電波の強度の算出方法及び測定方法(施行規則第21条の3第2頁)", Apr.1999