

# 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

谷屋 明彦 小林 茂 堀内 雅城 横井 行雄

長野日本無線(株) 〒381-2288 長野市稲里町 1163 番地  
E-mail: taniya@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。シミュレーションの有効性を検証するとともに、ICNIRP のガイドラインとの比較評価を行った。評価したデモシステムは 13.56MHz の ISM バンドを用い、その周波数で効率よく伝送する送電、受電コプラを開発し、30W にて評価検証を行った。  
**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 Magnetic Resonant Wireless Power Transmission Demo System

Akihiko TANIYA Shigeru KOBAYASHI Masaki HORIUCHI and Yukio YOKOI

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

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

**Abstract** To improve near by magnetic field emitted from magnetic resonant wireless power transmission system, we have modeled our Demo System and simulated it by electro-magnetic filed simulation under FEM method. We have measured actual magnetic field strength using NARDA system. The two data has compared x-z cross-section and also equivalent distance method. The guideline showed by ICNIRP is considered. The simulated magnetic filed is quite same as measured.

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

### 1. まえがき

車両メーカーの量産型 EV が発売され始め、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済む圧倒的な利便性が評価され、研究が活発化している。筆者らも、磁界共鳴方式によるワイヤレス電力伝送インフラの実用化を目指し、まず、伝送電力 30W クラスの原理デモシステムを製作した。

ワイヤレス電力伝送、とりわけ磁界共鳴方式 [1] 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ため、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 [2] ないし、国際的には ICNIRP のガイドライン [3] に

どの程度収まっているのかという評価が欠かせない。

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 のガイドラインのレベル以下に抑えるか、またはレベルを超過する範囲を如何に限定し、人体に暴露しないよう制御対策を施すかが重要になってくる。そのためには装置のモデル化とそれに基づいた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。ここで実測値との比較検証を報告する。比較結果として良好な結果が得られ、開発設計のフロントローディング化の可能性を得た。また、ICNIRP ガイドラインの参考レベル限界も確認できた。

### 2. デモシステムの構成

製作したデモシステムの構成を図 1 に示す。

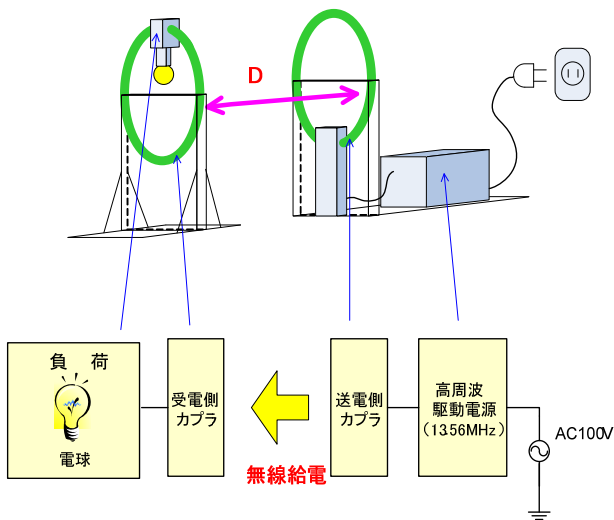


図 1 ; デモシステムの構成

磁界共鳴による電力伝送は、送電コイルから受電コイルに向けて行われる。

送電コイル；直径 40cm，太さ 2cm

受電コイル；直径 40cm，太さ 2cm

コイル間隔および角度；40cm または 20cm，正対  
負荷：白熱電球（24V，20W 用）

伝送周波数：13.56MHz

送電コイル給電電力：30W

なお、このデモシステムでは、送電コイルと受電コイルの間隔(D)，角度等の相対位置が変わっても、自動的に整合を行い常に最適の効率での電力伝送が可能であるが、この報告では、上記状態に限定して行った。

### 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・テクノロジー社製の 3 次元電磁界シミュレーター EMPro2010 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コイル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。高周波駆動電源部、およびコイルを支持している土台部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 2)。

解析に際して、原点の設定は、郵政省の告示 300 号 [4] では送信アンテナ端を想定しているが、磁界共鳴方式では、送電、受電コイル間で共鳴状態となるので、送電コイル・受電コイルの中央を原点として測定した。x，z 軸は下記および図 3 参照

x 軸；送電，受電コイルの中央を通り，コイル面に平行な軸

z 軸；円形の送電，受電コイルの中心を結ぶ軸

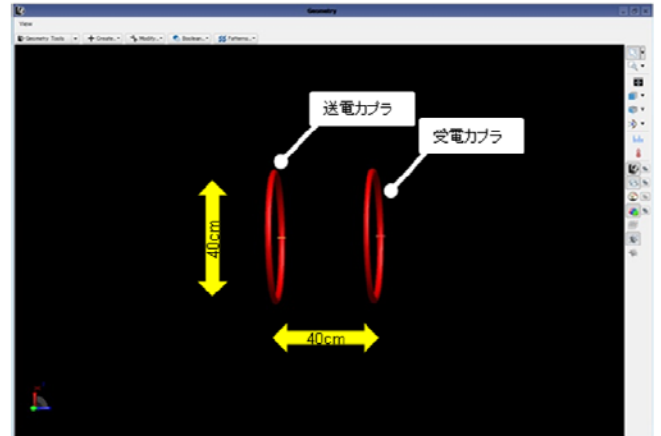


図 2 ; 送電・受電コイルの位置関係モデル（40cm）

### 4. 電磁界シミュレーションの結果

図 3 に送受電コイル間隔 40cm の場合の電磁界シミュレーションの結果を x-z 平面の磁界強度分布として二次元的に示す。x 軸，z 軸も記載した。磁界強度に相当するスケールが上部に表示されている。

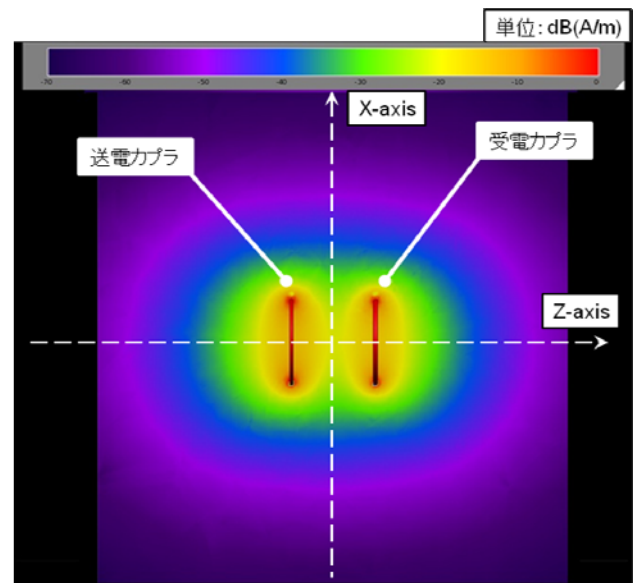


図 3 ; 電磁界シミュレーション結果（2次元）

### 5. 近傍の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 高周波電磁界測定器に磁界プローブ HF3061 を装着して測定を行った。距離の基準をプローブのほぼ中心のあたりとして以下の測定を行った。

デモシステムでの測定の様子を図 4 に示す。

#### 5.1 x 軸 z 軸解析

送受電コイルの間隔が 40cm の場合について図 4 に x 軸，図 5 に z 軸上での結果を示す。実線がシミュレーションの値であり、●が実測値である。



図4 ;磁界プローブ HF3061 による測定の様子

実測値が若干シミュレーション結果に対して低い傾向があるが、ほぼ一致していると考えられる。X 軸は、送受電カプラに対して対称のため、原点が最高レベルになるものの、近傍では単調に減少している(図4)。一方z 軸は、±20cm の点で送電(-20)、受電(+20)カプラを横断するので、その点に極大点が認められる。

なお、図中の破線は ICNIRP の公衆の暴露の参考レベルである。職業的暴露の参考レベルはこれよりも緩和されている。

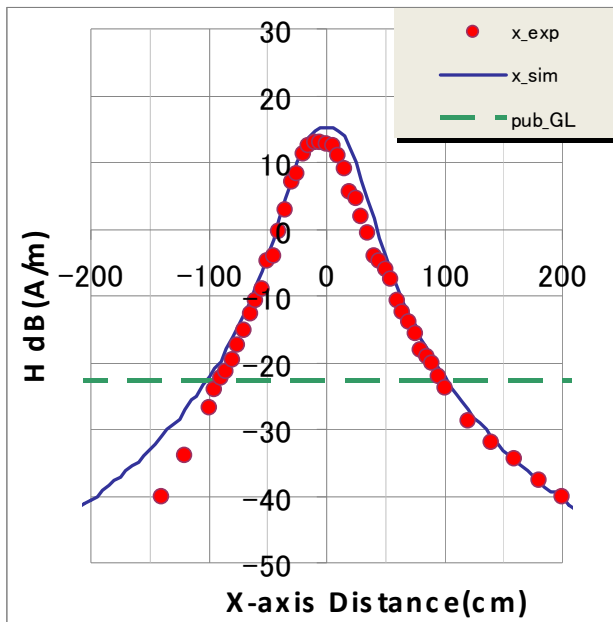


図4 ;X 軸の磁界強度分布 (カプラ間隔 40cm)

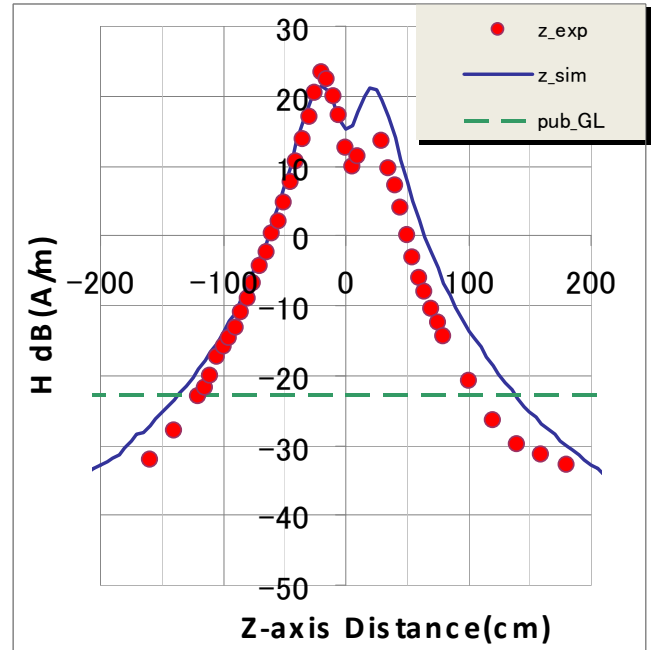


図5 ; Z 軸の磁界強度分布 (カプラ間隔 40cm)

この結果からリング構造をした、13.56MHz、30W クラスのカプラの場合には、x 軸では、約 100cm 即ちカプラの外縁から外側 80cm が、また z 軸では送電カプラの外側に約 100cm、受電カプラの外側に約 80cm が公衆の暴露の参考レベル限界といえる。

z 軸で送電カプラ側のレベルが受電カプラ側に較べて高いのは、高周波駆動電源部のケースが隣接して配置されており、磁界の反射等の影響があると考えられる。

## 5.2 原点からの等方向・距離レベル解析

総務省の「電波防護のための基準への適合確認の手引き」[5] の算出地点の考え方に相当する解析を行うために、原点(図3の x 軸、z 軸の交点)から等方向に外側に向かって距離をパラメータにした解析を行った。θ = 0 度は原点から x 軸の外側に向かった方向であり、そこを基準として 30 度毎に 12 方向のデータを各方向、40cm から 100cm まで 4 段階で測定した。図6 は総受電カプラの間隔が 40cm の場合である。図中の破線は同様公衆の暴露の参考レベルである。職業的暴露の参考レベルはこれよりも緩和されているのでより外側に来る。

この結果からリング構造をした、13.56MHz、30W クラスで送受電カプラを 40cm で正対させた場合は、原点から 80cm 程度では公衆の暴露の参考レベルを概ね超え、一部の方向で超えない場所があることが判明した。

次に、間隔を 20cm に縮め送電，受電のカプラ間隔の影響を評価した。この場合の実測結果を図 7 に示す。この場合も、原点から 80cm 程度以上では公衆の暴露の参考レベル以下に概ね収まっているが、一部の方向で超える場所があるといえる。

このことから、送受電カプラ間隔 20cm の場合は 40cm に比して、近傍磁界レベルが相対的に抑圧されており実質的な効率が改善していることが伺われる。

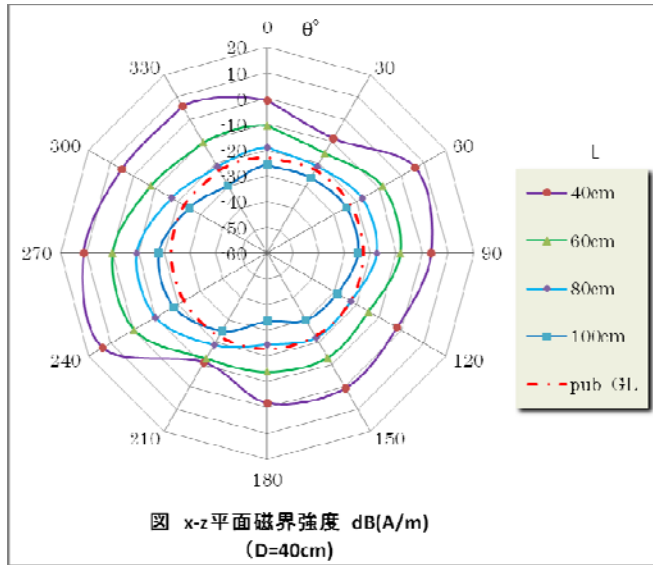


図 6 ; 原点から角度 30 度毎の磁界強度分布 (カプラ間隔 40cm)

さらに、磁界分布をより狭い範囲に限定する方策を設計段階からシミュレーションで検討し、その結果を実機に反映させ、より安全で利便性の高い、磁界共鳴方式の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。

なお本測定の一部は、TELEC 殿の松戸試験所殿のご協力を得て実施しました。ここに謝意を表します。

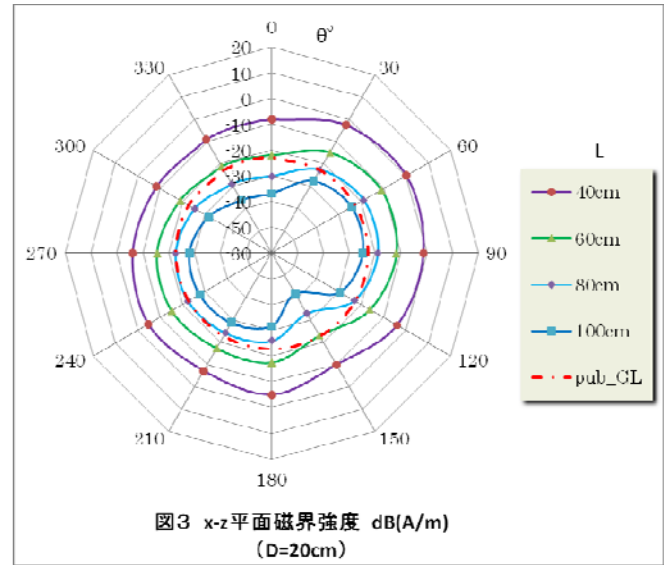


図 7 ; 原点から角度 30 度毎の磁界強度分布 (カプラ間隔 20cm)

## 6. まとめ

磁界共鳴方式の電力伝送において、有限要素法 (FEM) を用いるモデル化と解析手法が、実測結果と良い一致を示し、有効であることが明らかとなった。また、30W クラスの電力伝送でも、送受電カプラの外側に数 10cm 程度以内の範囲は、ICNIRP の公衆の暴露参考レベルを超える状態にあることが明らかになった。

一方で、受電 (送電) カプラの周囲に配置された金属物体が、この磁界分布形成に影響を与える可能性があることが伺われるデータが得られた。

## 7. 今後の展開

今回は 30W クラスの磁界共鳴方式電力伝送システムでのシミュレーションと測定値の比較評価を行った。今後、更に下記のような展開を図る予定である。

- 1) 数 kW クラスの場合に拡張して、シミュレーションと実測比較を行うこと
- 2) 各種形状の送受電カプラ，周辺物の影響の考慮、電磁遮蔽の対策検討を含め評価を行うこと

## 文 献

- [1] 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, vol13, No.6, pp.422-426, Jun 2010.
- [2] 総務省 “電波防護指針”Jun.1991 および April,1997.
- [3] 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曝露制限のためのガイドライン (300GHz まで)”, Nov 1999.
- [4] 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 項)”, Apr,1999
- [5] 総務省総合通信基盤局電波部電波環境課, “電波防護のための基準への適合確認の手引き”, Apr, 2001