

# 磁界共鳴方式を利用した無線電力伝送システムにおけるばく露評価

朴 庠昱 和氣 加奈子 渡辺 総一

(独) 情報通信研究機構 電磁波計測研究センター EMCグループ

〒184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1

E-mail: swpark@nict.go.jp

**あらまし** 本報告では共鳴方式の無線電力伝送システムにおけるばく露評価について基礎的検討を行った。本研究で想定したシステム近傍の電磁界分布を有限要素法に基づく電磁界シミュレーションツール (HFSS) を利用して解析した。さらに、HFSS で求めた磁界分布に曝された場合に人体頭部内に誘導される電流密度、電界強度をインピーダンス法を用いて計算した。

**キーワード** 無線電力伝送、ばく露評価、インピーダンス法

## Dosimetry for Wireless Power Transfer System via Strongly Magnetic Resonances

SangWook Park, Kanako Wake, and Soichi Watanabe

National Institute of Information and Communications Technology

Research Department 3, Applied Electromagnetic Research Center

Electromagnetic Compatibility Group

Nukuikitamachi 4-2-1, Koganei, Tokyo 184-8795, Japan

E-mail: swpark@nict.go.jp

**Abstract** In this paper, we have conducted the dosimetry for wireless power transmission system using near-field magnetic resonance. The near-field electromagnetic fields around the wireless power transfer system that we designed were analyzed by electromagnetic simulation solver (HFSS). Induced current density, internal electric field in a head of TARO model exposed to magnetic field generated by the system were calculated using the impedance method.

**Keyword** Wireless Power Transfer System, dosimetry, impedance method.

### 1. 研究背景

20 世紀後半から無線通信技術は急速に発達している。しかし、無線通信技術の核心である携帯情報機器も電力供給は有線で充電した電池を利用している。2007 年 MIT (Massachusetts Institute of Technology) の物理学教授研究グループは共振現象を利用して数 m の距離を効率良くエネルギーを送ることに成功した [1]。この技術は様々な企業や研究所から注目を集め、実用化に向けて積極的に研究が進められている。電波を安全に使う観点から、このようなシステムにおけるばく露評価を行う必要がある。

電磁波より人体への影響は低周波には刺激作用、高周波には熱作用が支配的である。100kHz から約 10MHz までの周波数範囲においては、ばく露条件によって、高周波の熱作用と低周波の刺激作用両者を考慮して防護を考える必要がある。国際非電離放射防護委員会

(ICNIRP) は、2010 年に低周波数電磁界に関するガイドラインを改訂した [2]。このガイドラインは 1998 年版ガイドライン [3] 中の低周波部分に置き換わるものであり、1Hz から 100kHz までの範囲を目的としているが、指針の一部は 10MHz まで範囲を広げ、この周波数領域での神経系への影響をカバーしている。

共振現象を利用している無線電力伝送システムは目的によって様々な周波数範囲で使えるが導体の損失による伝送効率や数センチメートル及び数メートルの距離で使うことを考えると約 10MHz の周波数帯になる。本論文で解析している共鳴方式の無線電力伝送システムも約 10MHz を利用しているため、10MHz に対して両方のガイドラインを参考しながらばく露評価を検討した。

## 2. 磁界共鳴方式の無線電力伝送システム

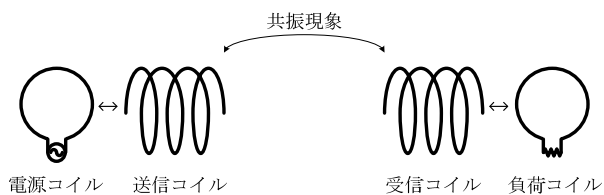


図 1. 磁界共振方式の無線電力伝送システムの概略図

図 1 は磁界共振を利用した無線電力伝送システムの概略図である。高周波電源が接続されているループコイルから発生した高周波電磁界のエネルギーは隣の送信コイルに磁界結合で伝わる。送信コイルが作る非放射電磁界の中に送信コイルと同じ共振周波数を持つ受信コイルがあれば共振現象で効率良くエネルギーが伝達される。この時、送信コイルのQ値を高めると高い伝送効率を得られる。また、最大の効率を得るためにはマッチングが必要であり、これはバンドパスフィルタ理論で求められる[4]。

## 3. 計算方法

本論文では、主に参考文献[1]に基づいて各種パラメータを決定したが、明示されていないパラメータについては任意に決め、共振方式の無線電力伝送システムを設計し、有限要素法に基づく電磁界解析ツール (HFSS) を用いてシステム周辺の電磁界分布を計算した。

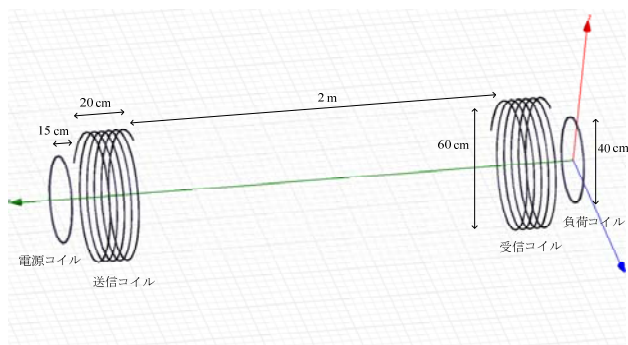
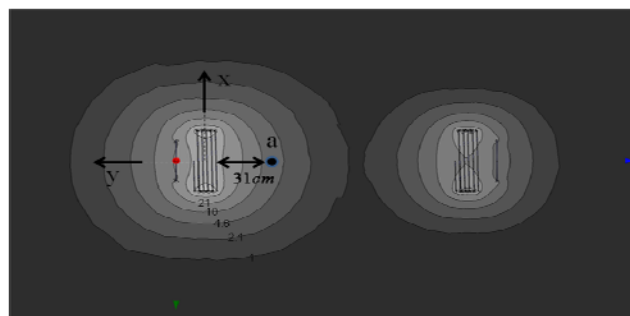


図 2. 設計した無線電力伝送システム

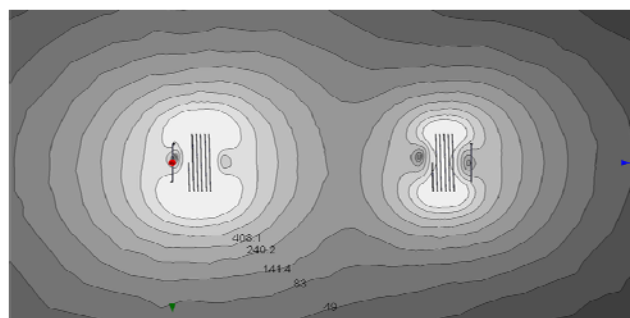
図 2 は設計したシステムを表している。すべてのワイヤの直径は 6mm である。設計したシステムは送信系と受信系は対称であり、電源と負荷コイルの直径は 40cm、送信と受信コイルの直径は 60cm、電源コイルと送信コイル、負荷コイルと受信コイルの間の距離は 15cm、送信コイルと受信コイルの間の距離は 2m である。送信コイルと受信コイルの巻き数は 5.25 である。この場合、共振周波数は 10.53MHz で電源コイルから負荷コイルへの伝送効率は約 32% が得られた。

システム近傍の磁界分布に人体が曝された場合の誘導電流密度及び誘導電界強度をインピーダンス法 [5] を用いて解析した。数値人体モデルには日本人成人男性モデル TARO[6] の頭部を用いた。インピーダンス法は誘電率を考慮すれば 10MHz 程度でも精度良く計算できることが示されている[7]。計算では、Gabriel らのパラメトリックモデルから 10MHz における各組織の導電率と誘電率を使用している。

## 4. システム近傍の電磁界分布



(a)



(b)

図 3. HFSS で計算した電磁界分布: (a)磁界分布 (b)電界分布。

	電界強度 E (V/m)	磁界強度 H (A/m)
ICNIRP 2010	83	21
1998	28	0.073

表 1. 時間変化する電界及び磁界への公衆ばく露に対する参考レベル (実効値)。

図 3 に電源コイルの電力 100W とした場合のシステム近傍の磁界及び電界分布を示す。磁界及び電界ともコイル近傍で強く距離が離れるに従い弱くなる様子がわかる。表 1 に ICNIRP ガイドラインの 10MHz の公衆に対する参考レベルをまとめる。ICNIRP2010 は熱作用を考慮していないこともあり、ICNIRP1998 と比べて特に磁界は大きな値となっている。図 3 の結果と ICNIRP2010 の参考レベル (磁界強度 21A/m、電界強度 83V/m) を比較すると、磁界が参考レベルを超えるの

は比較的コイル近傍のみであるのに対し、電界はより広い領域で参考レベルを超えている。このように本システムでは、磁界より電界の方が参考レベルを超える領域が大きいことがわかった。電界を減らすためには、参考文献[1]にも言及しているように共振コイルに誘電体を入れて電界エネルギーが誘電体の中 (Capacitance) に集中させる方法があるが、その代わりに磁界分布が広がる。

電源	10W	100W	1000W
<b>H</b>			
x 方向	2	9	22
y 方向	-	11	34
<b>E</b>			
x 方向	58	93	157
y 方向	84	134	213

表 2. 電源コイルの外形から ICNIRP2010 ガイドラインの参考レベルまでの距離。単位は cm である。

表 2 に電源コイルの外形から図 3 の(a)に示しているような x 方向と y 方向に電源コイルの電力による ICNIRP2010 ガイドラインの参考レベルまでの距離を示す。表より、磁界及び電界とも x 方向より y 方向のほうが長い。この結果より、図 3 のように電磁界分布は共振コイルの軸方向に比較的強く分布していることが確認できる。

### 5. システム近傍磁界による体内誘導量

図 3 の(a)で示している点 a に頭部の中心が位置することを想定し、磁界入射による体内誘導電流および電界を解析した。点 a を中心にして頭部が占める空間 (320×320×272 mm<sup>3</sup>) の磁界を表 4 に、ヒストグラムを図 4 に示す。想定した空間の磁界の最大値は 21.05 A/m であり、ICNIRP2010 ガイドラインの磁界参考レベルと同程度の値となっている。

最大値 (A/m)	平均値 (A/m)	最小値 (A/m)	標準偏差
21.05	10.12	3.97	4.53

表 4. 点 a を中心とした頭部が占める 320×320×272 mm<sup>3</sup> の空間の磁界強度の最大値、最小値、平均値、標準偏差。全ての磁界強度は実効値。

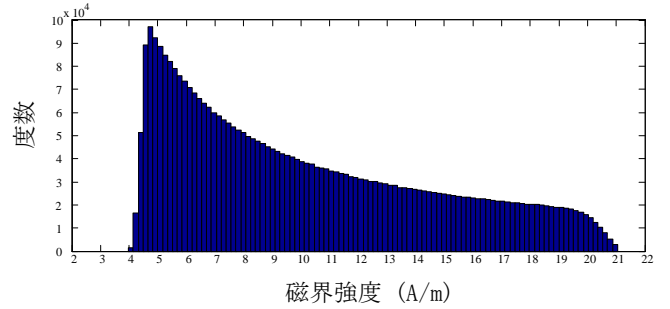
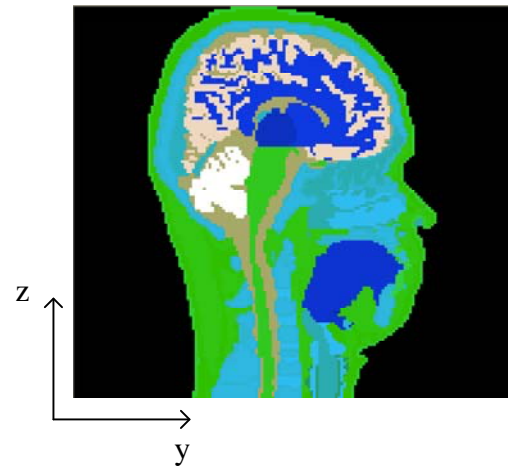
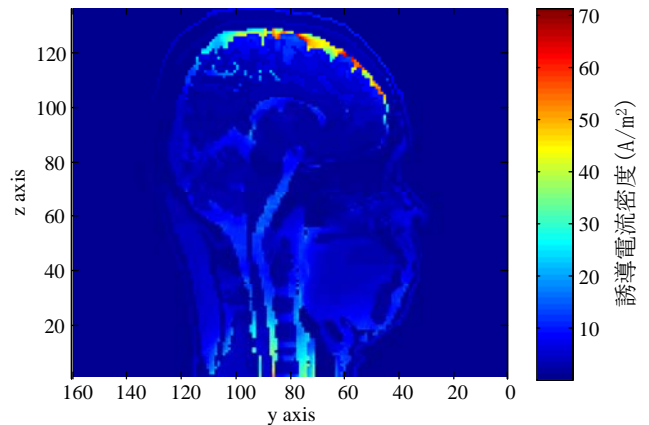


図 4. 点 a を中心にして頭部が占める空間の磁界強度のヒストグラム。

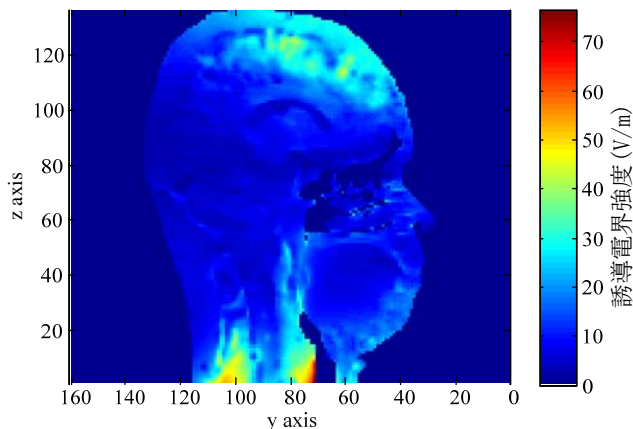
点 a を中心とした空間に頭部を配置した場合に、インピーダンス法で求めた誘導電流密度と誘導電界強度の分布を図 5 に示す。電流密度分布は頭部内の各組織の導電率に比例するため、頭部内の構造を反映して複雑な分布になっており、導電率の大きな脳脊髄液等で比較的強い値となっている。一方、電界強度分布は電流密度分布と比べて滑らかな分布となっていることがわかる。



(a)



(b)



(c)

図5. (a)TARO モデルの頭部座標系。(b)誘導電流密度の分布。(c)誘導電界強度の分布。

電流密度最大値(A/m <sup>2</sup> )		組織名
全組織	64.10	脳脊髄液
CNS 組織のみ	27.80	灰白質
電界強度 99 パーセンタイル(V/m)		
全組織	84.36	気管
CNS 組織のみ	42.71	脳脊髄液

表5. 点 a に頭部の中心が位置した時、頭部内に誘導される電流密度、電界強度とその組織。

表5に誘導電流密度、誘導電界強度の結果を示す。ICNIRP ガイドラインに従って、電流密度は電流方向に対して垂直な 1cm<sup>2</sup>面積の平均値であり、電界強度は切れ目なく連続する小さな 2×2×2 mm<sup>3</sup>の体積組織における電界のベクトル平均としてある特定の全身組織での誘導電界の 99 パーセンタイル値とした。本検討ではシステム近傍の磁界分布のみを考慮した生体内誘導量を求めた。実際にはコイル近傍には無視できないレベルの電界が存在するため、実際の体内誘導量は更が大きくなると思われる。

## 6. むすび

本研究では基礎的検討として MIT 型の共鳴方式の無線電力伝送システムにおけるばく露評価を行った。文献[1]を基に設計した無線電力伝送システムについて、電磁界シミュレーションツール (HFSS) によりシステム周辺の電磁界分布を解析した。共振現象を利用しているため、電磁界は送信コイルの周辺だけではなく送信コイルの周辺でも強く分布していることが確認できた。さらに、HFSS による解析から得られた、システムから発生した磁界分布に曝された人体頭部の誘導電流密度、誘導電界強度を、インピーダンス法を用いて計算した。

今後の課題として、システム近傍の電界による影響、

人体とシステムの相互作用を考慮した評価が挙げられる。

## 文献

- [1] A. Kurs et al., “Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances”, Science, Vol.317, No.5834, pp.84-86, 6 July, 2007.
- [2] ICNIRP: “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)”, Health Physics, Vol. 99, pp.818-836 (2010).
- [3] ICNIRP: “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz)”, Health Physics, Vol. 74, pp. 494-522 (1998).
- [4] 栗井郁雄, “MIT 型ワイヤレス給電システムの精密な設計法,” 2010 電子情報通信学会総合大会, no.S-26,pp.BS-9-6,Mar.2010.
- [5] J. DeFord, O. P. Gandhi. An impedance method to calculate currents induced in biological bodies exposed to quasi-static electromagnetic fields. IEEE trans. Electromagn. Compat., vol EMC-27(no 3):168-173, Aug. 1985.
- [6] T. Nagaoka, S. Watanabe, K. Sakurai, E. Kunieda, S. Watanabe, M. Taki, and Y. Yamanaka. Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic field dosimetry. Physics in Medicine and Biology, vol 49:1-15, 2004.
- [7] 成田高央, 鈴木敬久, 和氣加奈子, 多気昌生, “1MHz~100MHz における電磁界ドシメトリの数値解析法に関する検討”, MAG-02-46.