

結合共振型無線電力伝送における 負荷の状態による電磁界の変化に関する検討

矢満田 博之[†] 平山 裕[†] 菊間 信良[†] 榊原久二男[†]

[†]名古屋工業大学大学院 工学研究科 情報工学専攻 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町
E-mail: [†]hirayama_hiroshi@m.ieice.org

あらまし 近年、携帯電話、ノートパソコンや電気自動車への充電のために、無線電力伝送技術が注目を集めている。実用化のためには、漏洩電磁界が生体にもたらす影響の定量的評価が必要となる。この際、負荷インピーダンスの変化や、受電アンテナの有無が電磁界にどのような影響を及ぼすかを明らかにする必要がある。本報告ではキャパシタ装荷短絡型ヘリカルアンテナを用いた場合の、受電アンテナの有無および結合時の使用周波数の変化によるこれらの問題について検討を行う。まず、共振周波数における短絡型ヘリカルアンテナ単体時と結合時の電磁界の変化について着目した。その結果、単体時の方が、結合時に比べて入力インピーダンスが低くなるため、電磁界強度は強くなることが分かった。次に、結合時における低周波モードと高周波モードの比較を行い、送電側と受電側の電流位相がそれぞれ同位相、逆位相になることからコイル上面において磁界の分布に違いがあることを明らかにした。以上のことから、生体影響を評価する際は、電源・送受電アンテナ・負荷全体を考慮する必要があることを明らかにした。

キーワード 無線電力伝送, 結合共振, 電磁界

Consideration of Effect of Load Impedance on Electromagnetic Field for Coupled-resonant Wireless Power Transfer

Hiroyuki YAMADA[†] Hiroshi HIRAYAMA[†] Nobuyoshi KIKUMA[†] and Kunio SAKAKIBARA[†]

[†]Nagoya Institute of Technology Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya, 466-8555 Japan
E-mail: [†]hirayama_hiroshi@m.ieice.org

Abstract Recently, coupled-resonant wireless power transfer (WPT) technology is getting large interests for charge of cellular phones, notebooks and electrical vehicles. In order to put this technology into practical use, assessment of electro-magnetic field on human body is necessary. For quantitative evaluation, effect of load impedance or presence of receiving antenna on electro-magnetic field should be clarified. In this report, we investigated electro-magnetic field distribution according to the load impedance. We have elucidated that it is necessary to consider not only transmitting and receiving antenna but also load and source impedance for evaluation of human effect.

Keyword Wireless power transfer, Coupled resonance, Electro-magnetic field

1. まえがき

近年、携帯電話、ノートパソコンや電気自動車の充電を目的として、結合共振型無線電力伝送技術が注目を集めている[1]。電気自動車の場合は送電電力が kW オーダーとなるため、漏洩電磁界が生体にもたらす影響を定量的に評価することが必要となる。このため、SAR による評価[2]や、生体組織を用いた実験による評価[3]が行われている。

結合共振型無線電力伝送は近傍界領域で用いられるため、電界と磁界の影響をそれぞれ考慮する必要が

ある。また、負荷インピーダンスの変化や、受電アンテナの有無が近傍電磁界にどのような影響を及ぼすかを明らかにする必要がある。

本研究ではキャパシタ装荷短絡型ヘリカルアンテナを用いた場合の、受電アンテナの有無及び結合時における使用周波数の変化による近傍電磁界分布の違いを、強度だけでなく位相まで含めて検討を行った。第2章では、解析モデルと共振周波数を示す。第3章・4章では、それぞれ縦・横の断面における電磁界分布の違いを比較する。

2. 解析モデル

本研究で用いたキャパシタ装荷短絡型ヘリカルアンテナを図1に示す。図1(a)は、送電アンテナのみのモデルであり、図1(b)は、送電アンテナと受電アンテナの両方が存在するモデルである。このモデルは、文献[4]で検討されているものと同一である。ヘリカルアンテナは半径 300mm、高さ 200mm である。導線には、導電率 $\sigma = 5.8 \times 10^7 \text{ S/m}$ の銅を用いた。

まず、共振用キャパシタの値を決定するために、図1(a)に示す短絡型ヘリカルアンテナ単体の入力インピーダンスを求めた。結果を図2に示す。短絡型ヘリカルアンテナは反共振周波数を境に低周波側でインダクタとして、高周波側でキャパシタとして動作することがわかる。本報告では短絡型ヘリカルアンテナをインダクタとして動作させるために、リアクタンスが正である $f_0 = 8\text{MHz}$ で共振させることとする。短絡型ヘリカルアンテナが 8MHz で共振する 7.174pF のキャパシタを給電点に直列に接続した。

次に、結合時の共振周波数を求めるために、図1(b)に示すモデルを解析した。送電アンテナの port1 に出力 0Ω を持つ波高値 1V の電圧源および共振用キャパシタ、受電アンテナの port2 に負荷 50Ω および共振用キャパシタを繋ぐ。また、送受電コイル間の距離は 300mm である。

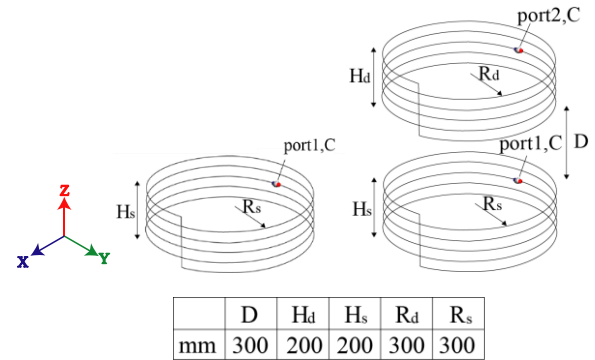
結合時の S パラメータ、および不要放射電力の周波数特性を図3に示す。ここで P_{rad} , P_{inc} はそれぞれ放射電力および port1 における進行波電力である。これよりキャパシタ装荷短絡型ヘリカルアンテナの低周波モードの共振周波数 $f_L = 7.721\text{MHz}$ 、高周波モードの共振周波数 $f_H = 8.311\text{MHz}$ であることがわかる。

3. 断面における電磁界分布

3.1 単体時の共振周波数における電磁界分布

本項では、キャパシタ装荷短絡型ヘリカルアンテナの共振周波数 $f_0 = 8\text{MHz}$ における単体時および結合時の電磁界分布について比較検討を行う。単体時および結合時の yz 平面における電磁界分布をそれぞれ図4、図5に示す。各図において、(a),(c)は電界 E_y 、(b),(d)は磁界 H_y 、(e),(g)は電界 E_z 、(f),(h)は磁界 H_z の大きさを示している。また、これらの図において、port1 における電圧を位相の基準としたときの実部・虚部を示しており、これらと比較することにより、電界と磁界の位相差を調べることができる。

図4(b), (c), (f), (g)及び図5(a), (d), (e), (h)から単体時と結合時ともに、磁界と電界が 90 度位相差の関係を保っているのがわかる。このことから、結合によって、電界と磁界の位相関係は変わらないことがわかる。また図4と図5を比較すると、電界・磁界ともに、単体



(a)単体時 (b)結合時
図1. 解析モデル

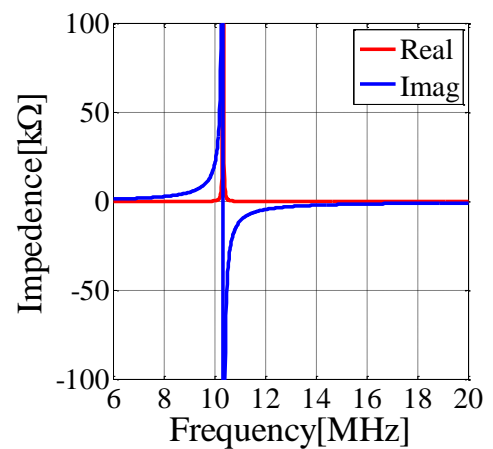


図2. 単体時における入力インピーダンス

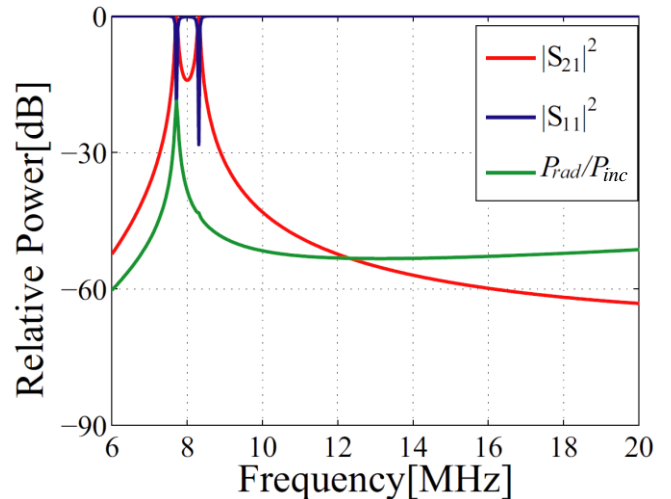
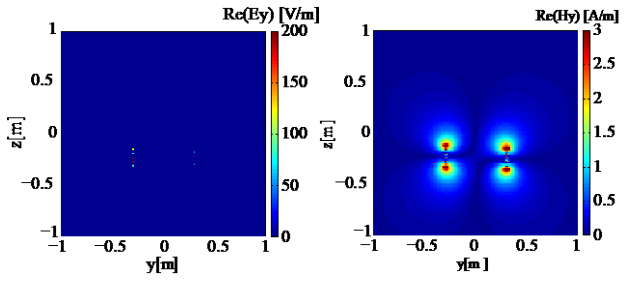


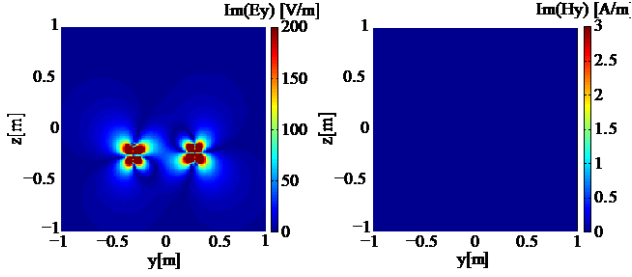
図3. 結合時における S パラメータと放射電力

時の方が振幅が大きくなっていることがわかる。これは、単体時では負荷が接続されていないため入力インピーダンスが小さく、電流が大きくなったためである。一方、結合時では負荷側に 50Ω が接続されているため、電流は単体時と比べて小さくなり磁界強度が小さくなっていることがわかる。



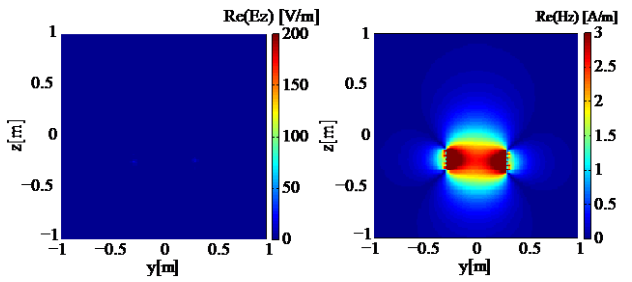
(a)Ey 実部

(b)Hy 実部



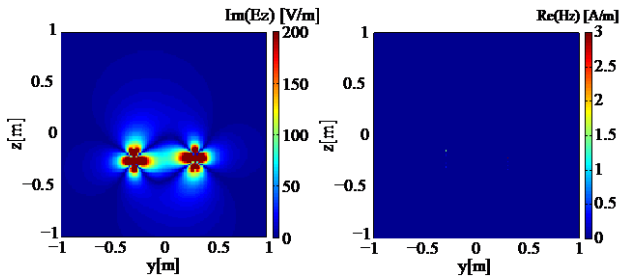
(c)Ey 虚部

(d)Hy 虚部



(e)Ez 実部

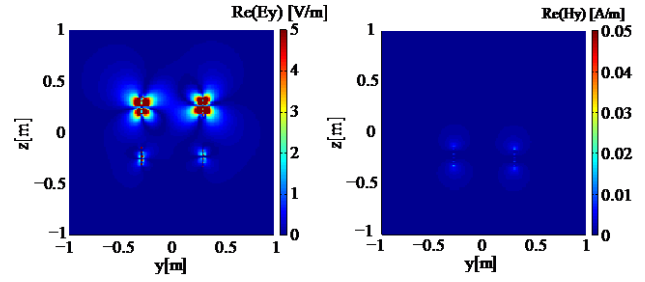
(f)Hz 実部



(g)Ez 虚部

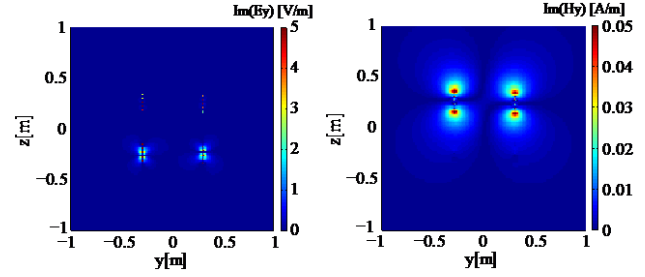
(h)Hz 虚部

図 4. 単体時の電磁界分布
単体時の共振周波数 $f_0=8\text{MHz}$



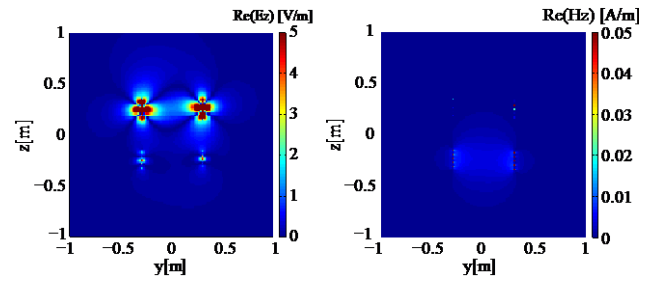
(a)Ey 実部

(b)Hy 実部



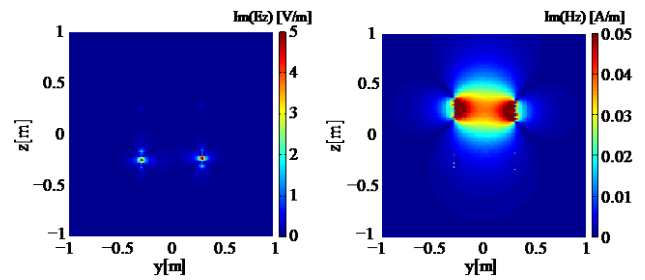
(c)Ey 虚部

(d)Hy 虚部



(e)Ez 実部

(f)Hz 実部



(g)Ez 虚部

(h)Hz 虚部

図 5. 結合時の電磁界分布
単体時の共振周波数 $f_0=8\text{MHz}$

3.2 低周波モード，高周波モードにおける電磁界分布

本項では，結合時における低周波モード $f_L=7.721\text{MHz}$ および高周波モード $f_H=8.311\text{MHz}$ における電磁界分布について比較検討を行う．低周波モードおよび高周波モードの電磁界分布を先ほどと同様にそれぞれ図 6, 図 7 に示す．こちらにおいても図 6(b), (c), (f), (g) 及び図 7(b), (c), (f), (g) から電界と磁界が 90 度位相の関係を保っているのがわかる．どちらのモードにおいても，送電側と受電側の近傍の電磁界強度は同程

度であるが，低周波モードでは送受で電流が同位相であり，高周波モードでは電流が逆位相であるために，図 6(f) および図 7(f) から z 方向成分の磁界が低周波モードでは磁界が強めあい，高周波モードでは打ち消しあっていることがわかる．

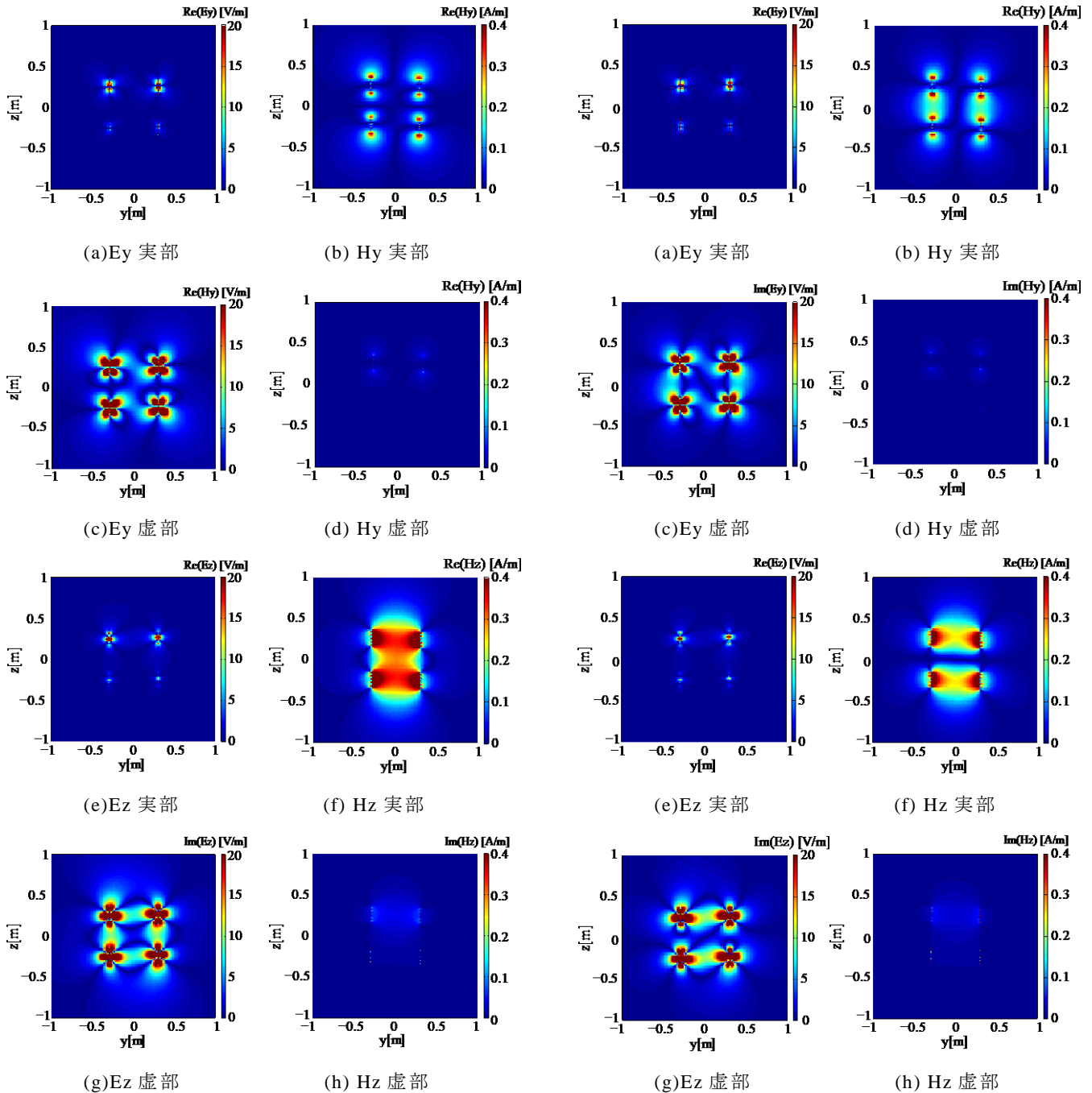


図 6. 結合時の電磁界分布
 低域共振周波数 $f_L=7.721\text{MHz}$

図 7. 結合時の電磁界分布
 高域共振周波数 $f_H=8.311\text{MHz}$

4. コイル上面の電磁界分布

図 8 に示すようなカット平面での電磁界分布を求めたコイル間の電磁界分布について検討する。図 9(a) に単体時における電磁界分布を、図 9(b),(c),(d) にそれぞれ結合時における共振周波数 $f_0=8\text{MHz}$ 、低周波モード $f_L=7.721\text{MHz}$ 、高周波モード $f_H=8.311\text{MHz}$ の電磁界分布を示す。これらの図においては、電界・磁界ベクトルの振幅を示している。

これらの結果から、受電アンテナの有無、および使

用周波数によって、電磁界の強度だけでなく分布も変化するため、生体影響を数値解析や実験で評価する場合は、電源と負荷を含めたシステム全体を考慮する必要があることが分かる。

5. まとめ

キャパシタ装荷短絡型ヘリカルアンテナを用いて単体および結合時の各モードにおける電磁界の違いを説明した。今回はキャパシタ装荷短絡型ヘリカルアン

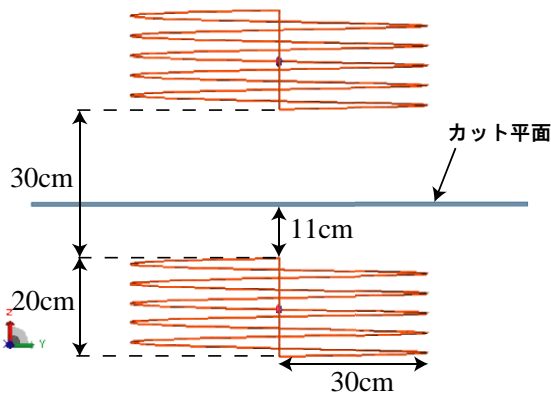
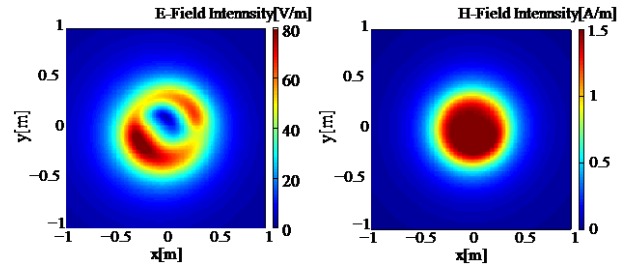


図 8. カット平面

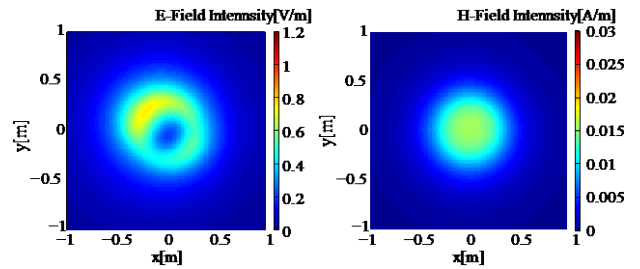
テナに的を絞って考察したが、今後はオープン型ヘリカルアンテナやソレノイド型モデル等の様々なモデルについて検討を進めていく予定である。

文 献

- [1] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. Joannopoulos, P. Fisher, M. Soljacic, "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances," Science Magazine, Vol.317, No.5834, pp.83-86, 2007.
- [2] I. Laakso, S. Tsuchida, A. Hirata, Y. Kamimura, "Evaluation of SAR in a human body model due to wireless power transmission in the 10 MHz band," Phys. Med. Biol. No. 57, pp. 4991-5002, 2012.
- [3] K. Mizuno, J. Miyakoshi, N. Shinohara, "Coil design and manufacture of in vitro exposure system for wireless power transfer using resonant coupling phenomenon," Proc. of APEMC 2013, May. 2013.
- [4] H. Hirayama, T. Amano, N. Kikuma, K. Sakakibara, "An Investigation on Self-Resonant and Capacitor-Loaded Helical Antennas for Coupled-Resonant Wireless Power Transfer," IEICE Trans. Commun., Vol.E96-B No.10 pp.2431-2439, Oct. 2013.

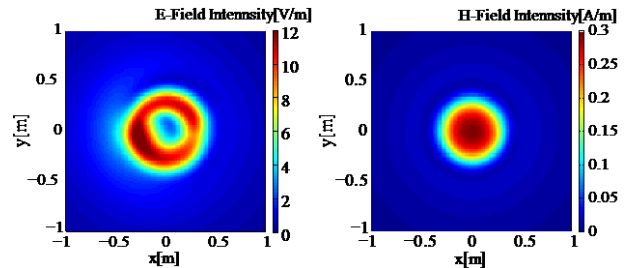


(a) 単体時における電磁界分布 $f_0=8\text{MHz}$



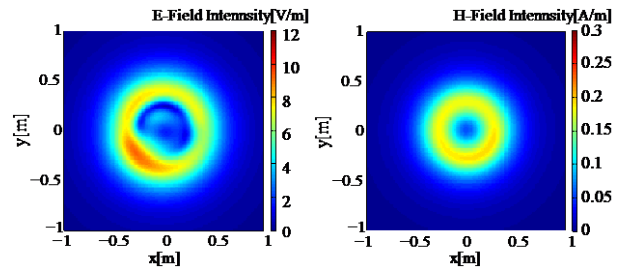
(b) 結合時における電磁界分布

単体時の共振周波数 $f_0=8\text{MHz}$



(c) 結合時における電磁界分布

低域共振周波数 $f_L=7.721\text{MHz}$



(d) 結合時における電磁界分布

高域共振周波数 $f_H=8.311\text{MHz}$

図 9. コイル上面における電磁界分布