

磁気共鳴型ワイヤレス電力伝送コイルの面方向への アレー化に関する一検討

西村 太[†] 安倍 秀明[†]

[†] パナソニック電工株式会社 先行技術開発研究所 〒571-8686 大阪府門真市大字門真 1048

E-mail: [†] {fnishi, [abe.hideaki](mailto:abe.hideaki@panasonic-denko.co.jp)}@panasonic-denko.co.jp

あらまし 昨今、磁気共鳴型のワイヤレス電力伝送技術が注目を浴びている。磁気共鳴型のワイヤレス電力伝送技術については、主としてヘリカルコイルを対向に配置したモデルを基に電力伝送効率改善等の検討がなされているが、最近では第3のコイルを設けることで電力伝送効率の改善を図る報告も見うけられる。本稿は、給電エリアの拡大及び電力伝送効率の改善を目的として、1次側送電コイルとして複数の磁気共鳴コイルをマトリクス状に配置した伝送方式を提案する。送受電コイル間の伝送効率の周波数特性についてモーメント法による電磁界シミュレーションを用いて、その伝送効率特性を確認した。

キーワード ワイヤレス電力伝送, ヘリカルコイル, 伝送効率, 磁気共鳴

A Study of Array Coil for Wireless Power Transfer using Magnetic Resonance

Futoshi NISHIMURA[†] and Hideaki ABE[†]

[†] Advanced Technologies Development Laboratory, Panasonic Electric Works Co.,Ltd

1048 Kadoma, Kadoma-Shi, Osaka, 571-8686 Japan

E-mail: [†] {fnishi, [abe.hideaki](mailto:abe.hideaki@panasonic-denko.co.jp)}@panasonic-denko.co.jp

Abstract Recently, the technology of wireless power transmission using magnetic resonance is discussed actively. In this technology, mainly, it is necessary to improved efficiency of transmitting power using two helical coils, and then, the study about the efficiency improvement of magnetic resonance for wireless power transfer using third coil is reported. In this report, for the purpose of the efficiency improvement of transmission power and the extension of wireless power transmission area, we propose the wireless power transmission model using multi magnetic resonance coils. The frequency characteristics of the transmission efficiency between two magnetic resonance coils are analyzed by using electromagnetic numerical analysis software, and the characteristics of the transmission efficiency are confirmed.

Keyword Wireless Power Transmission, Helical Coil, Transmission Efficiency, Magnetic Resonance

1. まえがき

MITによる磁気共鳴型のワイヤレス電力伝送技術の発表を契機として、近年では電磁誘導方式も含めてワイヤレス電力伝送技術の研究開発が盛んに行われており、大きな注目を集めている^{[1]-[5]}。

このワイヤレス電力伝送技術は、携帯電話やノートパソコンなどのモバイル機器、テレビなどの家電製品、さらには電気自動車のバッテリー充電技術としても期待がもたれている。なかでも、磁気共鳴型のワイヤレス電力伝送技術は、電磁誘導方式と比較して遠距離伝送が可能で、送受電コイルの位置ずれにも強いという特徴を有していることなどから注目度が高い^[6]。

これまでのワイヤレス給電は、給電（充電）装置と機器が1対1で対応するものであり、水まわりで扱う機器の感電不安の払拭や機器の置き場を兼ねる頻繁な着脱を伴う充電の高信頼化を狙いとした。しかし、今

後このワイヤレス電力伝送技術に期待されるのは、ある程度の距離を離して大きな電力をどこからでも伝送できることや、異機種・複数機器への給電・充電ができることである。電源コードから開放される利便性や快適性はもちろんであるが、各機器の電源コードを省けることによる省資源化や、全く新しいライフスタイルの提案が可能になる技術としても期待されている。

我々は、このような機能・特徴を有するワイヤレス電力伝送技術を活かしたアプリケーションの一つとして、機器の設置場所を限定させないレイアウトフリーな給電システムを構想している。これまでの、給電装置と機器とが1対1の点給電システムではなく、広い給電可能エリアを有するとともに、1つの1次コイルの概念から脱却し複数の磁気共鳴コイルが並んだ1次コイル群からなり、かつ電源回路からの電力供給はそ

の中の1個の磁気共鳴コイルだけという構成システムを想定している。

磁気共鳴型のワイヤレス給電技術については、主としてヘリカルコイルを対向に配置したモデルを基に電力伝送効率改善等の検討がなされているが、最近では第3のコイルを設けることで電力伝送効率の距離特性改善を図る報告等も見うけられる^{[7]-[8]}。本稿は、図1に示すような、1次側送電コイルとして複数の磁気共鳴コイルをマトリクス状に配置した磁気共鳴型ワイヤレス伝送方式において、電力が効率よく伝送できるかどうかの可能性についての基本的検証を目的として、複数の共鳴コイルを直線状に配置したモデル（1次元伝送モデル）及び、マトリクス状に配置したモデル（2次元伝送モデル）について、モーメント法による電磁界シミュレーションを用いて、電力伝送効率の周波数特性に着目して検討を行った。

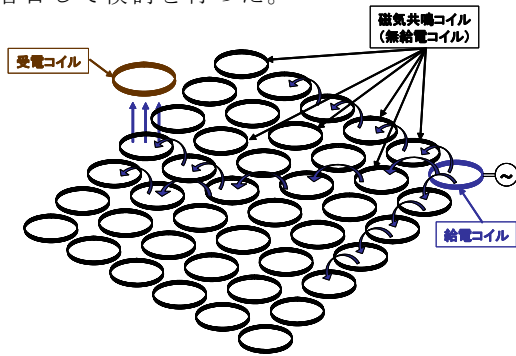


図1. 磁気共鳴方式による電力伝送の構成例

2. 磁気共鳴コイルの1対1対向モデル

2.1. シミュレーションモデル

図1に、磁気共鳴用のヘリカルコイルを1対1で対向に配置させたワイヤレス電力伝送システムのシミュレーションモデルを示す。シミュレーションモデルの送電コイルと受電コイルは同一の形状である。送受電用のヘリカルコイルは半径 $r=190\text{mm}$ 、コイルピッチ $p=5\text{mm}$ 、巻数 $n=5$ 回である。銅線の直径 $d=1\text{mm}$ なので、銅線間のすき間 4mm となる。2個のヘリカルコイルを対向して配置した場合、この送受電コイル間のギャップは 200mm 、 300mm 、 400mm に変化させた。このコイル仕様での共振周波数は 13.2MHz である。

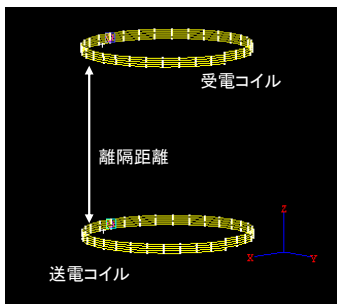


図2. 1対1の対向配置モデル

2.2. 電力伝送特性の挙動

図3に、ヘリカルコイル型の磁気共鳴コイルを1対1に対向配置した伝送モデルにおいて、送受電コイル間の離隔距離を変化させた場合の伝送効率の周波数特性を示す。磁気共鳴コイル間の離隔距離が 200m のように、離隔距離が小さく磁気共鳴コイル間の結合度が大きくなると伝送効率のピークが2つの周波数に現れているが、磁気共鳴コイル間の離隔距離が大きくなるにつれて2つのピーク周波数が徐々に近づき、やがて一つのピークになることが分っている。さらに磁気共鳴コイル間の離隔距離が大きくなると、伝送効率が低下していく傾向が確認できる。

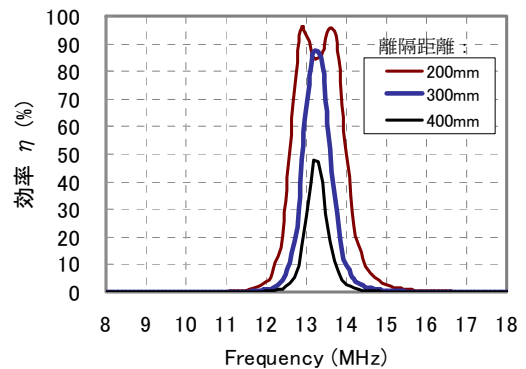
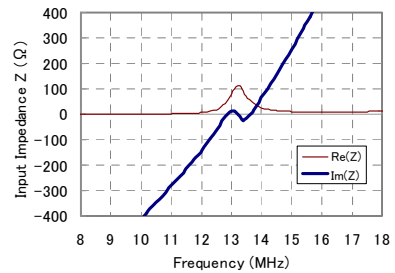
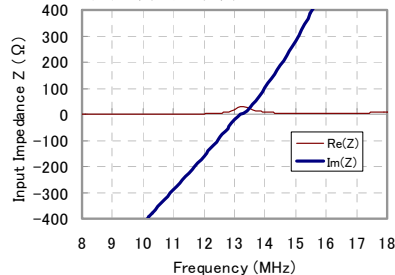


図3. 伝送効率の周波数特性（1対1対向モデル）

また、伝送効率と同様に、入力インピーダンスの周波数特性も磁気共鳴コイル間の離隔距離に応じて変化する。図4に、対向する送受電コイル間の離隔距離を 200mm 、 300mm 、 400mm に変化させた場合における入力インピーダンスの周波数特性を示す。磁気共鳴コイル間の離隔距離の増大につれてリアクタンス成分が変化し、共振周波数が1つになることが確認できる。

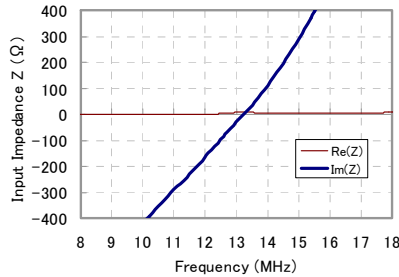


(a) 離隔距離：200mm



(b) 離隔距離：300mm

図3. 入力インピーダンスの周波数特性



(c) 離隔距離：400mm

図3. 入力インピーダンスの周波数特性

3. 平面アレー化1次元伝送モデル

3.1. 送受電コイルを同一面に配置

本節では、磁気共鳴ヘリカルコイルを、送電用及び受電用のコイルとして同一平面上に配置したモデルについて、磁気共鳴コイル間の離隔距離を変化させた場合の伝送効率の周波数特性について検証する。

3.1.1. 磁気共鳴コイル2個の伝送モデル

図4に、送受電用の磁気共鳴コイルを同一平面上に配置した伝送モデルを示す。この場合の磁気共鳴コイルもの仕様も、前節と同じように、送受電コイルは半径 $r=190\text{mm}$ 、コイルピッチ $p=5\text{mm}$ 、巻数 $n=5$ 回、銅線直径 $d=1\text{mm}$ であり、このコイル仕様での共振周波数は 13.2MHz である。

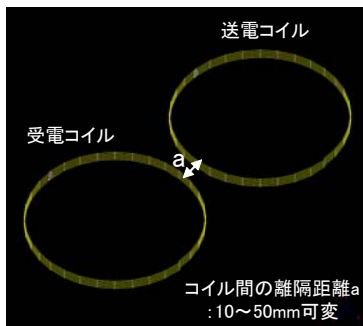


図4. 磁気共鳴コイル2個の伝送モデル

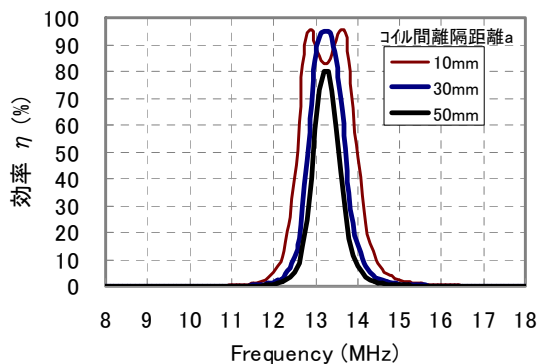
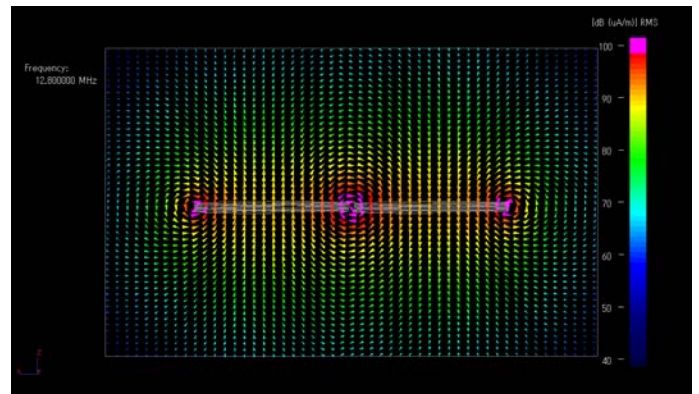


図5. 伝送効率の周波数特性 (モデル図4)

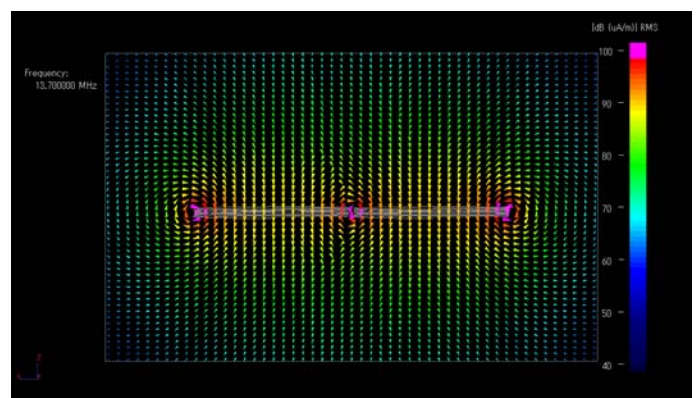
次に、送受電コイル間の離隔距離を 10mm 、 30mm 、及び 50mm の3通り変化させた場合の伝送効率の周波数特性を図5に示す。送受電コイル間の離隔距離 a が

$a=10\text{mm}$ の場合では、磁気共鳴コイル間結合度の影響により伝送効率のピークが2つの周波数に現れていることが確認できる。しかし、送受電コイル間の離隔距離を $a=30\text{mm}$ と大きくし、磁気共鳴コイル間の結合度を小さくする事により伝送効率がピークとなる周波数は1つになる。また、送受電コイル間離隔距離 $a=50\text{mm}$ の伝送モデルのように離隔距離を更に大きくすると、磁気共鳴コイル間の結合度は更に弱まり伝送効率が低下する事も確認できる。このような伝送効率特性の変化は、2個の磁気共鳴コイルを1対1で対向して配置させた伝送モデルにおいて、磁気共鳴コイル間の離隔距離を変化させた場合と同様の挙動を示す。

次に、磁気共鳴コイル間の離隔距離が $a=10\text{mm}$ の伝送モデルにおいて、磁気共鳴コイル近傍領域における2つの共振周波数の磁界ベクトル分布を図6に示す。送電コイルと受電コイルとの間の磁界分布は、低域側の共振周波数では対称面内に垂直に磁界が分布する様子が見られ、高域側の共振周波数では対称面内に概ね水平に磁界が分布する様子が見受けられる。



(a) 低域側の共振周波数における磁界ベクトル



(b) 高域側の共振周波数における磁界ベクトル

図6. 磁気共鳴コイル近傍の磁界ベクトル分布

3.1.2. 磁気共鳴コイル3個の伝送モデル

図7に、送電コイルと受電コイルの間に、更に磁気共鳴コイルを介在させた伝送モデルの構成を示す。また、図8には図7に示す伝送モデルにおいて、磁気共

鳴コイル間の離隔距離を 10mm、30mm、及び 50mm の 3 通り変化させた場合の伝送効率の周波数特性を示す。

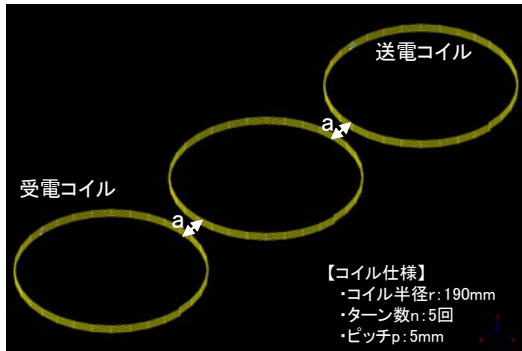


図 7. 磁気共鳴コイル 3 個の伝送モデル

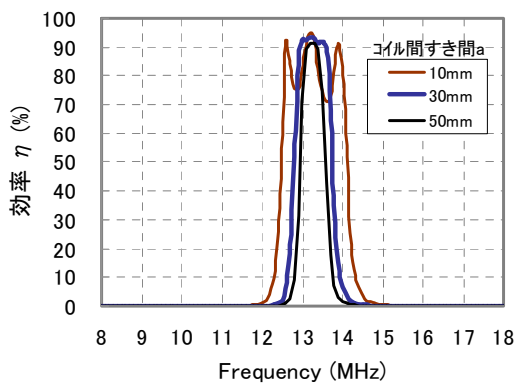


図 8. 伝送効率の周波数特性 (モデル図 7)

図 8 に示すように、隣接するコイル間の離隔距離が小さくて結合度が大きくなった場合には (磁気共鳴コイル間の離隔距離 $a=10\text{mm}$) には、効率がピークとなる周波数が 3 つ存在することが分かる。この状態から更に磁気共鳴コイル間の離隔距離を大きくして磁気共鳴コイル間の結合度を小さくすることにより (磁気共鳴コイル間の離隔距離 $a=30\text{mm}$)、伝送効率がピークとなる 3 つの周波数が徐々に近づき、やがて効率ピークの山が 1 つになる事 (磁気共鳴コイル間の離隔距離 $a=50\text{mm}$) が確認できる。

ここで、インダクタンス L により連鎖状に結合された N 個の閉回路において、結合回路の初段に起電力を印加した場合の等価回路モデルを図 9 に示す。先に示したような、2 個の磁気共鳴コイルを 1 対 1 で対向して配置させた伝送モデル、或いは同一平面上に磁気共鳴コイルを 2 個並べて配置した伝送モデルにおける伝送効率の挙動について述べたように、結合回路が 2 個の場合は共振周波数が 2 個 (伝送効率がピークとなる周波数が 2 個) 現れ、結合回路が 3 個の場合は共振周波数が 3 個現れることが確認できた。即ち、結合回路が N 個存在する場合には、 N 個の共振周波数が現れるという挙動・現象が確認できた。

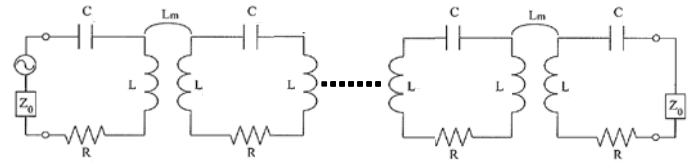


図 9. 連鎖状に結合された誘導結合回路

3.2. 受電コイルを送電コイルと異なる面に配置

図 10 には、送電用の磁気共鳴コイルを同一平面上に 3 個並べ、遠端部の磁気共鳴コイルの上方 300mm の位置に受電コイルを配置した伝送モデルを示す。

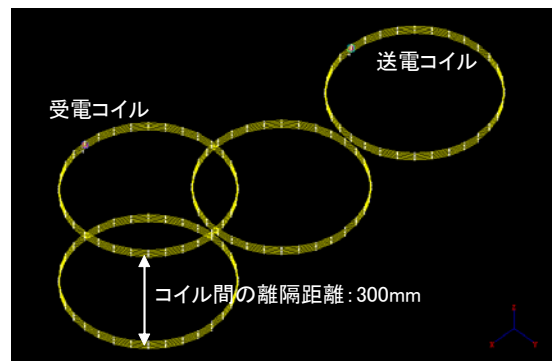


図 10. 送電用コイルの 3×1 列配置モデル

図 11 の伝送効率特性に示すように、隣接する送電用の磁気共鳴コイル間の離隔距離が 40mm の場合には、送受電コイル間において約 80% の伝送効率で電力伝送が可能である事が確認できる。また、伝送効率のピークは 3 つほど確認でき、ピーク周波数前後のリップルが大きく、効率で 10% 程度の差がみられる。

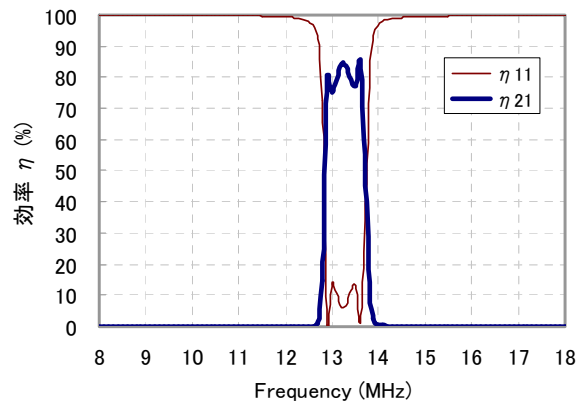


図 11. コイル間離隔距離 40mm 時の伝送効率

次に、図 10 の伝送モデルにて、送電用の磁気共鳴コイル間の離隔距離を 50mm に設定した場合における伝送効率の周波数特性を図 12 に示す。この伝送モデルでは、図 11 の特性を有する伝送モデルより磁気共鳴コイル間の離隔距離を 10mm 大きくし、磁気共鳴コイル間の結合度を幾分小さくしている。この伝送モデルでも、送受電コイル間において約 80% の伝送効率で

電力伝送が可能である事が確認できる。また、伝送効率がピークを示す周波数前後のリップルが小さくなっており、共振周波数付近でのインピーダンス整合が向上している事が推察できる。

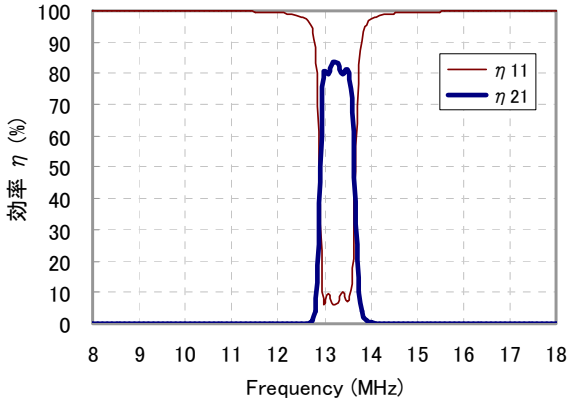


図 1.2. コイル間離隔距離 50mm 時の伝送効率

4. 平面アレー化 2 次元伝送モデル

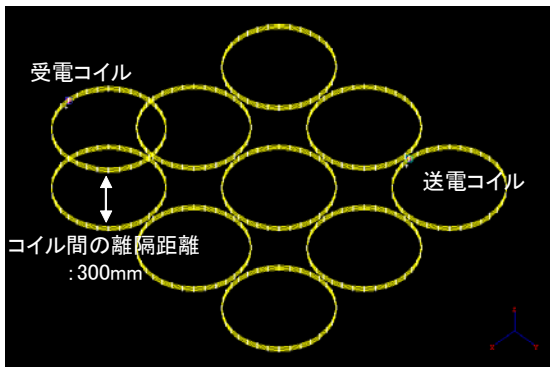


図 1.3. 送電用コイルの 3×3 列配置モデル

図 1.3 に、送電用の磁気共鳴コイルを同一平面上にマトリクス状に配置した伝送モデルを示す。ここでは、3×3 列に配置した送電用の磁気共鳴コイル群の遠端部に位置する磁気共鳴コイルの上方 300mm の位置に受電コイルを配置している。また、送電用の磁気共鳴コイル間の離隔距離は 50mm とした。

図 1.4 には、図 1.3 の伝送モデルにおける伝送効率の周波数特性を示す。このグラフから判る様に、磁気共鳴コイル固有の共振周波数 13.2MHz 付近では、複数のリップルが現れていることが分かるが、送電用の磁気共鳴コイルを同一平面上にマトリクス状に配置した伝送モデルでも、送受電コイル間において約 80% の効率で電力伝送が可能である事が確認できる。

5. まとめ

1 次側送電コイルとして、同一平面上に複数の磁気共鳴コイルをマトリクス状に配置した電力伝送モデルにおいて、送受電コイル間の伝送効率の周波数特性

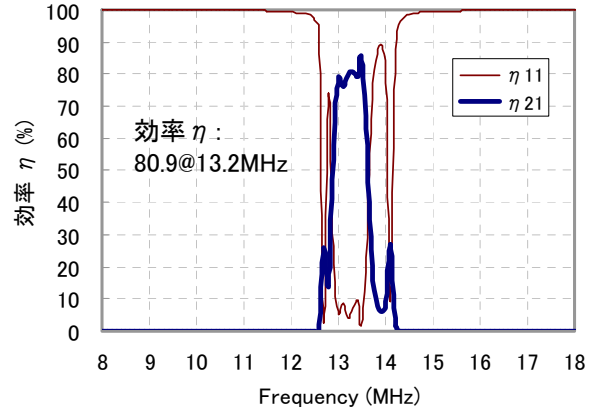


図 1.4. 伝送効率の周波数特性 (モデル図 1.3)

についてモーメント法による電磁界シミュレーションを用いて検討した。

その結果、送受電用の磁気共鳴コイル (各 1 個) を対向配置した場合と同様に、磁気共鳴コイルを同一平面上に並べて配置した場合も、コイル間の近接距離の程度に応じて効率のピークが 2 つの周波数に分離して現れる事象が確認できた。また、送受電コイルの間に複数の磁気共鳴コイル (無給電コイル) を介在させた場合も、磁気共鳴コイルの数と同じ数だけの効率ピークが出現することも確認できた。また、送電用の磁気共鳴コイルを同一平面上にマトリクス状 (3×3 配列) に配置した伝送モデルにおいて (但し、電源からの給電コイルは端部の 1ヶ所のみ)、磁気共鳴コイル固有の共振周波数 13.2MHz において伝送効率が約 80% 程度という結果を得られた。

以上のことより、磁気共鳴型のワイヤレス電力伝送方式において、同一平面上に複数の共鳴コイルをマトリクス状に配置した 3×3 配列の伝送モデルにおいても、高効率な電力伝送実現の可能性を確認できた。

文 献

- [1] A. Kurs et al., “Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances”, Science Magazine, Vol.317, No.5834, pp.83-86, 2007
- [2] 居村岳広 他, “近傍界磁界アンテナの共振を利用した高効率電力伝送の解析と実験—基本特性と位置ずれ特性—”, 平 20 電学産業応用部門大会公演論文集 II, 2-62, pp.539-542, 2008.8
- [3] 田中雅人 他, “誘導磁界を用いた新しい無線接続方式”, 信学技報, A・P2008-184, pp.197-202, 2009
- [4] 居村岳広 他, “電磁界共振結合による伝送技術”, 電気学会誌, 129 巻 7 号, pp.414-417, 2009
- [5] 居村岳広 他, “非接触電力伝送における電磁誘導と電磁界結合の統一的解釈”, 電気学会自動車研究会資料, VT-09, no.1-9, pp.35-40, Jan.2009
- [6] 居村岳広 他, “共振時の電磁界結合を利用した位置ずれに強いワイヤレス電力伝送”, 電学論 D, Vol.130, No.1, pp.76-83, 2010
- [7] 柏木一平 他, “第 3 のコイルを用いた磁気共鳴型無線電力伝送の効率改善”, 信学会総合大会, B-1-31(2010)
- [8] 樋口宣明 他, “磁界共鳴型ワイヤレス給電用中継デバイスの開発”, 信学会総合大会, B-1-25(2010)