

金属に囲まれた空間内における共鳴エネルギー伝送

水野嘉祐[†] 小泉正剛[†] 小紫公也[†] 荒川義博[‡]

[†]東京大学新領域創成科学研究科 〒277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

[‡]東京大学工学系研究科 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

E-mail: [†]komurasaki@al.t.u-tokyo.ac.jp

あらまし

磁気共鳴を利用した無線給電技術は、自動車・飛行機内部のワイヤ・ハーネスの置き換えとしても期待されているが、金属壁に囲まれた閉空間であるため、電力伝送効率への周辺環境の影響を考慮する必要がある。本研究では、金属円管に囲まれた空間内でエネルギー伝送実験を行い、伝送効率を評価するとともに、その現象を説明する為に数値シミュレーションを合わせて行った。その結果、金属管に囲まれることによって伝送距離は著しく短くなったが、軸方向スリットを設けると、伝送距離が大きく伸びた。計算シミュレーションによると、送信側と受信側のそれぞれのコイルの周辺の管表面を流れる円電流がスリットを通してつながって流れ、結合係数を高める効果がみられた。

キーワード 無線給電, 磁気共鳴, 伝送効率

Magnetic Resonance Power Transmission in a Space Closed by a Metal

Yoshihiro MIZUNO[†] Masayoshi KOIZUMI[†] Kimiya KOMURASAKI[†] and Yoshihiro ARAKAWA[‡]

[†]Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-0882

[‡]Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo, Tokyo 113-8656

E-mail: [†]komurasaki@al.t.u-tokyo.ac.jp

Abstract

The wireless power transmission using the magnetic resonance is expected for wire-harness reduction in airplanes and cars. However, the effect of metal circumstances on transmission efficiency is unknown. In this paper, power transmission efficiency was measured in a metal tube. As a result, effective transmission distance was drastically decreased with the metal tube, though it was remarkably increased when the tube has a slit in the transmission direction. The numerical simulation suggested that the induction current induced around the transmitter coil on the tube flew through the slit to the region around the receiver coil.

Keyword Wireless Power Transmission, Magnetic Resonance, Transmission Efficiency

1. はじめに

無線給電に対して社会的需要が高まりつつある。MIT の Karalis らは、電磁誘導を近傍電界における共鳴現象として捉え、その原理を利用した無線エネルギー伝送技術を実証した^[1]。最大のメリットは従来の電磁誘導やマイクロ波によるエネルギー伝送では不可能であった中距離 (m オーダー) における高効率の伝送を可能にしたことである^[2,3]。また小丸らは、伝送効率を結合係数 k 、送受電アンテナの Q 値、送受電回路のインピーダンス比などをパラメータとして表し、理論的な最適条件を明らかにした^[4,5]。

この無線給電技術は、自動車・飛行機の内部のワイヤ・ハーネスの置き換えとしても注目されている。航空機内部のハーネスの総延長は数マイルにも及ぶとさ

れ、今後予想される航空機電化率の上昇は、さらに複雑で多量のハーネスを必要とする。一方で、機体の安全性の向上のため、機体各部の健康状態をリアルタイムでモニターするために、ワイヤレスセンサー群を配置するアイデアがあり、(図 1) その電力源として、熱電発電や震動発電などと共に共鳴エネルギー伝送が考えられる。

自動車や航空機は金属壁に囲まれた閉空間であるため、磁気共鳴の電力伝送効率への周辺環境の影響を考慮する必要がある。図 2 に示すように伝送方向に対して並行に金属壁を配置して、伝送効率を測定すると、伝送効率は多少上下するものの、伝送距離はそれほど変化しない。そこで本研究では、金属円管に囲まれた空間内でエネルギー伝送実験を行い、伝送効率を評価

するとともに、その現象を説明する為に数値シミュレーションを合わせて行った。

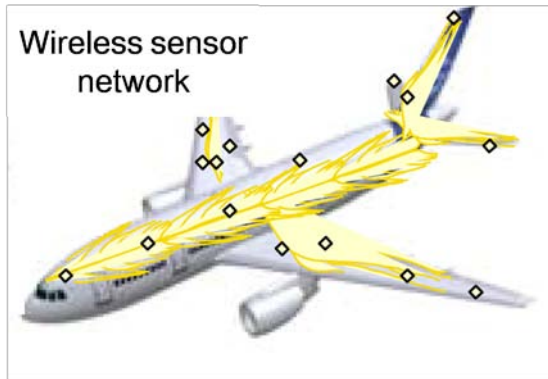


図 1 航空機内のワイヤレスセンサーネットワークの提案



ステンレス管 銅管 鉄管

図 4 金属管

表 1 共振器の諸元

Slide length : l	105 [mm]
Wire radius : a	1.5 [mm]
Capacitance : C	470 [pF]
Resonant frequency	13.1 [MHz]

表 2 共振器の Q 値

Quality factor (receiving side, measured)	273
Quality factor (transmitting side, measured)	267
Quality factor (theoretical)	281



図 2 金属壁面の磁気共鳴伝送効率への影響

電力伝送は図 5 に示すように送受信共振器，励起コイル，ピックアップコイルによって構成されており，送受信共振器とピックアップコイル・励起コイルの相対位置関係や実験条件を変える度にインピーダンス整合を行った，

2. 金属管内の伝送実験

2.1. 実験概要

周辺に金属が存在する環境が伝送効率にどのような影響を与えるのかを検証するために，図 3 に示すように金属管内部に一对の共振器を入れた状態で電力伝送実験をおこなった。

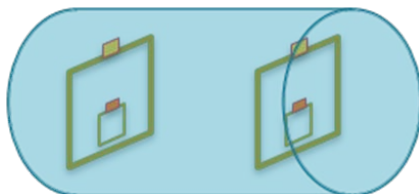


図 3 金属管内の伝送実験概念図

また，管材料の透磁率の影響も調べるため，図 4 に示す様にステンレス，銅（非磁性体），鉄（強磁性体）の管を用意して実験を行った。

共振器は 1 巻きの方形ループ型であり，マイコンデンサでキャパシタを与え，共振周波数を 13.1MHz としている。表 1, 2 にその諸元を示す。

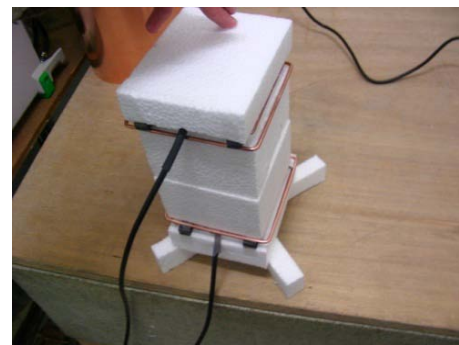


図 5 送受信共振回路

さらに金属管内を流れる誘導電流分布が伝送効率に与える影響を現象的に考察するために，それぞれ完全な円管と軸方向・周方向にスリットを入れた円管をそれぞれ用意した。スリットの入れ方を図 6 に示す。

トラッキングジェネレータつきスペクトルアナライザを用い，S パラメータ S_{21} を測定して伝送効率を見積もった。

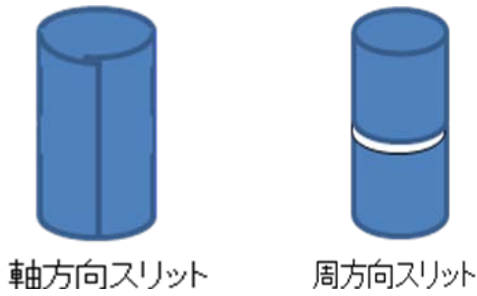


図 6 金属管スリットの入れ方

2.2. 実験結果

図 7 にステンレス金属管を用いた時の伝送距離に対する効率を示す。このとき金属管径は一様に 250[mm]である。

金属管のない場合の伝送効率を基準に比較すると、スリットがない金属管と周方向にスリットを設けた金属管内での伝送距離は著しく低下した。

一方で、軸方向にスリットを設けた場合は伝送距離が伸びても比較的高い効率を維持でき、60%を下回らない事が分かった。また、周波数特性を計測すると、測定された周波数分裂の大きさから結合係数が高く維持されているのと同等の効果があったと考えられる。

また金属の材質を変更した場合も同様の傾向が計測され、材料の違いによる影響は、スリットの影響に比較すると少なかった。

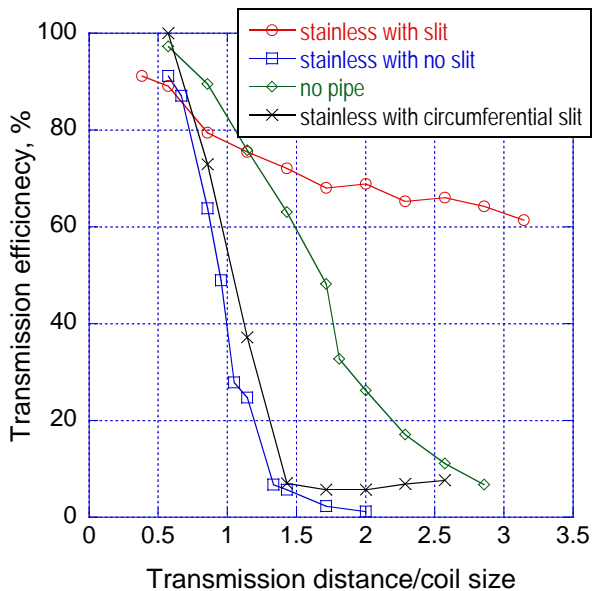


図 7 伝送効率と伝送距離の関係

3. 計算シミュレーション

実験より金属管を考察する為に数値シミュレーションを用いて金属管がどのような影響を与えているの

かを調べた。数値シミュレーションには有限要素法を用い金属管と共振器のモデルを作製した(図 8)。この時、スリットのない金属管モデルと軸方向にスリットを設けた金属管モデルで解析を行い誘導電流密度分布を観察した。

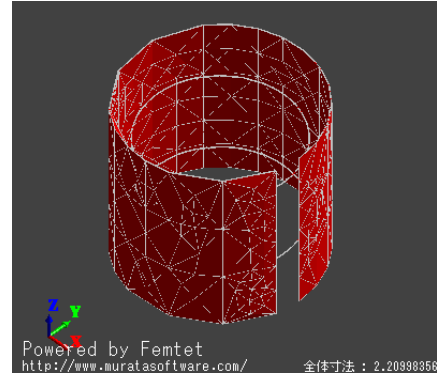


図 8 有限要素法計算メッシュ

図 9, 10 にその結果を示す。スリットがない金属管を用いた場合(図 9)は送信共振器の周辺で、金属管にコイル電流と逆方向に誘導電流が誘起され、この結果自己減磁力が生じてしまっている。図 9 は、送電側、受電側のそれぞれのコイルに高周波電流を流した場合の電流密度分布を描いたものであり、送受電双方でほとんど干渉を起こさない。

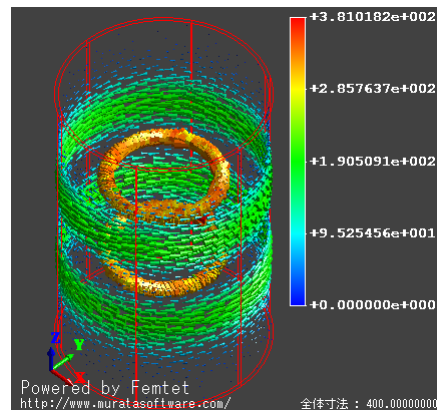


図 9 スリットがない場合の円管表面での電流密度分布。コイルに逆位相電流を流した時の例。

一方でスリットがある金属管を用いた時は、送信側共振器の影響で金属管に流れる電流と、受信側共振器の影響で金属管に流れる電流がスリット部位を通して一つのループを構成している事が確認できた。このことによりスリットがある場合は送信側共振器を流れる電流が金属管を通じて受信側共振器へと繋がっている事が分かる。このことよりスリットありの金属管が中継器の役割を果たし結合係数が高まる効果があったと

考えられる。

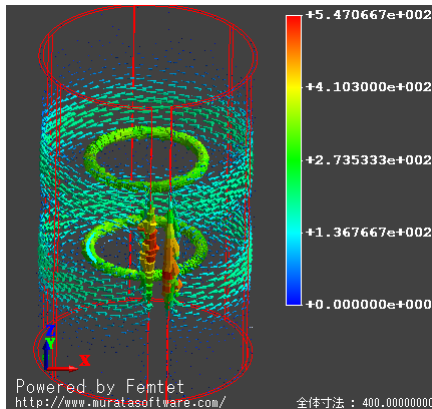


図 10 スリットがある場合の円管表面での電流密度分布。コイルに逆位相電流を流した時。

4. 金属管の内外での共鳴伝送

4.1. 実験

同様に金属管外部に設置した送信側共振器から内部にある受信側共振器に伝送する実験を試みた。図 11 に本実験のモデルを示す。金属管はステンレス管を使用し、それぞれ軸方向にスリットがあるときとないときで比較を行った。

次にそれぞれの場合における伝送効率を表 3 に記した。これよりスリットがない金属管を用いた場合は著しく効率が低下しほぼ伝送できていない事が分かった。

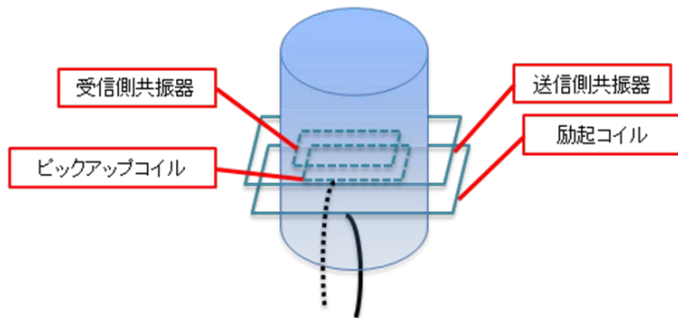


図 11 金属管内外の伝送実験概念図

表 3 測定された円管内外での伝送効率

	伝送効率(%)
no pipe	82.2
軸方向スリットあり	75.0
軸方向スリットなし	1.41

4.2 計算シミュレーション

円管内での電力伝送の際の数値解析と同様に、金属管内外からの伝送実験も有限要素法を用いて解析を行った。図 12 にこの時の電流密度分布を示す。これより

軸方向にスリットがある場合はスリット付近をつうじて送受信器が構成する金属管上での電流が繋がっている。すなわち金属管が中継器の役割を果たしていると考えられる。

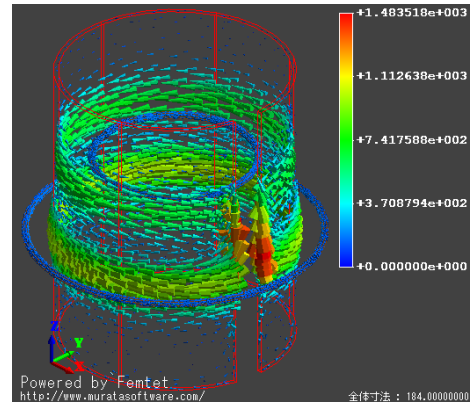


図 12 スリットがある場合の円管表面での電流密度分布。コイルに逆位相電流を流した時。

5. まとめ

1. 金属管に囲まれると、伝送効率は落ち、伝送距離が半分ほどになる。その原因は金属管にコイル電流と逆方向に誘導電流が誘起され、自己減磁力が生じてしまっているからである。
2. 金属管に軸方向スリットがある場合、伝送距離が大きく伸びる。その原因は送信側と受信側のそれぞれのコイルの周辺の管表面を流れる円電流が、スリットを通してつながって流れるからである。その結果金属管が中継器の役割を果たし結合係数を高める効果がみられた。
3. 円管の内外の給電に関しても、同様なスリットの影響が観測された。

文 献

- [1] Kurs, A. *et al.* : “Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances”, Science Magazine, Vol.317, No.5834 pp.83-86 (2007)
- [2] Karalis, A. *et al.* : “Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer”, Annals of physics, Vol.323, Issue 1, pp.34-48 (2008)
- [3] 「ついに電源もワイヤレス」, NIKKEI ELECTRONICS, 2007.3.26, pp.95-113
- [4] 小丸堯他 : “高 Q 値アンテナによる強結合共鳴を用いた無線電力伝送”平成 21 年度電気学会産業応用部, No.2-30 (2010).
- [5] Komaru, T. *et al.* : “ Parametric Evaluation of Mid-range Wireless Power Transmission with Magnetic Resonance, Proceedings of the IEEE-ICIT 2010 International Conference on Industrial Technology, pp.789-792, 14-17 March 2010.