

給電困難な機器への給電を実現するワイヤレス電力伝送用 送受電素子の基礎開発

Development of feeding and receiving probes in wireless power transfer for difficult-to-feed equipment

2161011



研究代表者 豊橋技術科学大学 工学研究科 准教授 田村 昌也

[研究の目的]

医療設備や輸送用機器、工場インフラといった人間の生活を支える機械には安全・安心な運用の観点から多数の高性能センサが配置されている。これらは給電配線の設計制限や断線など重要な課題を有する。バッテリー給電とした場合は充電・交換作業の煩雑性や設置場所へ立ち入る危険が生じることから、解決策としてワイヤレス電力伝送が注目されている。しかしながら、従来技術では設備内・機器内の見通し狭窄から十分な電力が送電できない。

そこで、我々は導波管モードを利用した新しい方式を提案し、設備内・機器内でのワイヤレス電力伝送を実現すること目標に研究開発を進めている。提案方式は、複雑な構造を構成する金属筐体や外壁を外導体、内部に存在する金属棒などの散乱体、絶縁物や液体などの誘電体をリアクタンス成分とみなしてリッジ導波管として扱うことを特徴とする。特に閉ざされた系ではキャビティ共振モードが発生する。リッジ導波管キャビティ共振の場合、内部の散乱体を含めて生じるため、見通し内・見通し外という概念が無い。つまり、いわゆる見通し外の領域にも必ず電界あるいは磁界が分布するため、受電器の設置場所に応じて電界、磁界、あるいは両方の界から電力を取り出すことができる。

これまでに提案方法の原理検証を行うべく、

電磁界シミュレータを用いて図1に示すように複数の金属散乱体を有した全面金属壁で覆われた閉空間（工場設備を縮小模擬した簡易モデル：496×477×291 mm）を作製し、まず見通し内に配置した送受電器の理論最大電力伝送効率を算出した。結果、キャビティ共振モードの基本モードを送電周波数に設定することで見通し内において理論上传送効率 70% 以上で送電できることが確認されている。しかしながら、本提案手法の有効性を実証するためには、

- ① 見通し外での受電効率
- ② 共振モードが情報通信へ与える影響を明確化する必要がある。そこで、本研究では①を明らかにするため、送受電方法の指針を構築する。現在の試作モデル内の見通し外2か所に受電点を新たに追加し、最大電力伝送効率を

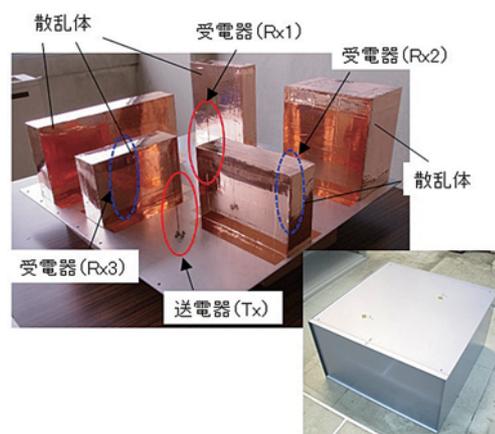


図1 複数の金属散乱体を有する遮蔽閉空間

算出した。続いて、②を明らかにするため、前述の見通し内1か所、見通し外2か所にワイヤレスセンサモジュールを配置して実際にワイヤレス電力情報伝送を行い、通信品質の評価を行った。

[研究の内容, 成果]

1. 見通し外での受電効率

まず、電磁界シミュレーションにより試作モデル内に励振される共振モードにおける電磁界分布を明らかにし、見通し外に分布する電場を調べた。モデル内に配置される散乱体はリアクタンスとして動作する。そのため、共振モードの周波数は、散乱体の無いキャビティ共振器の共振周波数よりも低周波化する。共振周波数だけならば、固有値解析で求められるが、実際は送電器から励振される電磁界の向き、すなわち、送電器の配置と形状で励振されるモードが決まるため、見通し内外の受電器が受電できる共振モードを選択する必要がある。そこで、送受電器（送電器 Tx, 受電器 Rx1, Rx2, Rx3）を配置した図1に示すモデルでシミュレーションと測定を行い、Sパラメータの透過量から共振周波数の特定を行った。送受電器はモノポール型プローブとヘリカル型プローブの2種類作製してそれぞれ測定を行った。プローブ長はともに約10 cmとした。結果を図2に示す。結果より、いずれのプローブでも357 MHz, 456 MHzで見通し内外とも高い透過量が確認された。特にヘリカル型プローブでは357 MHzにおいて最も高い透過特性を示した。図3に示す両周波数での電界分布を比較すると357 MHzでは強度は低いながらも電界が分布しているのに対し、456 MHzではRx2, 3付近からTx側へのみ電界が分布していることが分かる。これより、全体に電界が分布している357 MHzを送電周波数に適している判断した。

ここまでは、金属で完全に遮蔽された空間での実証について論じてきた。しかしながら、医

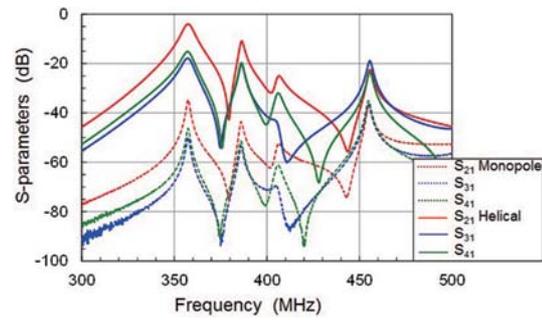
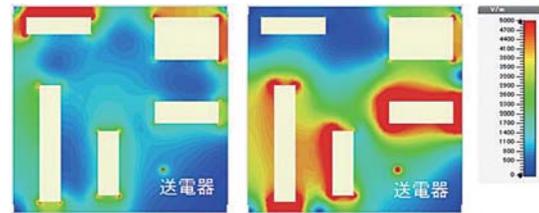


図2 送電器と受電器の配置



(赤：強度が強い, 青：強度が弱い)

図3 電界分布：357 MHz (左), 456 MHz (右)

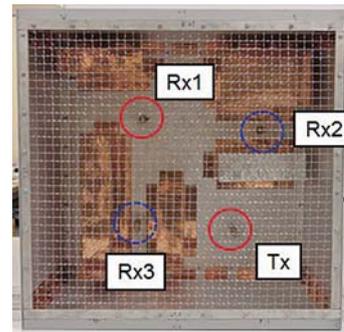


図4 金属網に置き換えた試作モデル

療設備や輸送用機器、工場インフラといった機器の内部空間は、必ずしも完全遮蔽となっていない、あるいは完全に金属で覆うことは難しい。そこで、金属網で区切ることに注目した。金属網は網目サイズに対して波長が長い場合は電気壁として動作し、網目サイズに対して波長が短い場合はその存在を無視することができ、電波は透過する。つまり、電力を送電する電波は内部に閉じ込めるため、提案方式を用いて電力を送電できるだけでなく、情報を伝送する電波は透過して外部で送受信できる特徴も新たに与えられる。これを実証するため、図4に示すように作製モデルの一面をアルミニウム板から金属

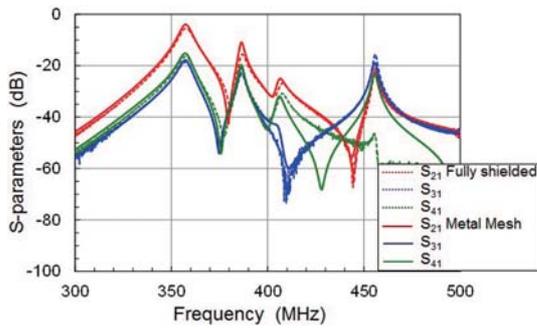


図5 完全遮蔽と金属網を使った場合のSパラメータの測定結果

表1 理論最大電力伝送効率 η_{max} の比較

	Tx-Rx1	Tx-Rx2	Tx-Rx3
全面金属 η_{max}	71.6%	33.1%	41.7%
金属網を使用 η_{max}	70.2%	32.4%	40.7%

網に置き換え、送受電器間 (Tx-Rx1, Tx-Rx2, Tx-Rx3) のSパラメータを測定した。図5に示す結果から、金属網に置き換える前後でSパラメータはほぼ一致する結果になることが確認された。さらに理論最大電力伝送効率 η_{max} も同様に表1に示すとおりほぼ一致する結果となり、見通し外でも約30%以上の効率を実現できることが明らかとなった。

2. 共振モードが情報通信へ与える影響

続いて、Rx1, Rx2, Rx3それぞれに受電回路を搭載したワイヤレスセンサモジュールを配置し、送電器1:受電器1とした場合でキャビティ共振モードワイヤレス電力情報伝送の実験を行った。実験モデルは図6に示すように試作モデル内の送電器から電力を送電し、ワイヤレスセンサモジュールに搭載した受電器と受電回路より駆動電力を取り出す。これによりセンサモジュールを駆動させ、データをモデル外に設置したラップトップに接続された受信機で受信する。送電周波数は1.で決定した357 MHzを用いた。情報通信はIEEE802.15.4を準拠する2.4 GHz帯ワイヤレスセンサモジュール (TWE-LITE from Mono Wireless Inc.)を用いた。このモジュールは温度センサを搭載しており、試作モデル内の温度情報をセンシングして

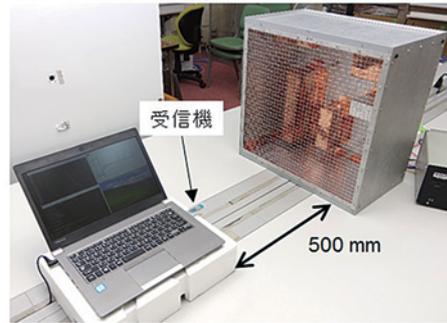
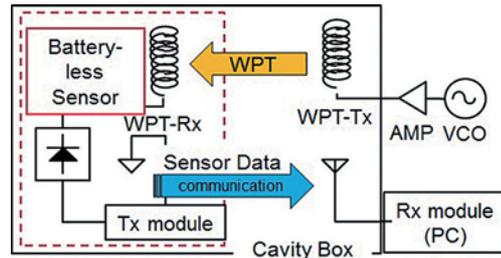


図6 センサ駆動実験のモデル (上図) と測定風景

表2 PERの比較

	Rx1	Rx2	Rx3
金属網無しでのPER	3.4%	4.8%	3.4%
金属網ありでのPER	5.2%	5.5%	6.8%

受信機へ送信する。

駆動実験の結果、見通し内外に設置したワイヤレスセンサモジュールに対し、1対1の条件で送電電力40 mWを入力した場合にモジュールの駆動を実現できた。また、実験モデルの外側に設置したパソコンでセンサモジュールと情報通信を実現できた。続いて、共振モードが情報通信へ与える影響を調べるため、上記の実験においてPER (Packet Error Rate)を測定し、金属網を取り外して直接センサへ給電して駆動し、ラップトップの受信機で受信した場合のPERと比較した結果を表2に示す。

表2から分かるとおり、少なくとも温度情報は正確に送受信できており、電力伝送に使用する共振モードが情報通信に大きな影響を与えてはいないことが確認できる。以上の成果から、ワイヤレス電力伝送に使用する周波数は実験モデル内に閉じ込めることができ、情報通信に使用する周波数は実験モデルと透過して外部で送受信できることを明らかにした。

[今後の研究の方向, 課題]

電回路の開発を行う予定である。

本研究結果より,

[成果の発表, 論文等]

- ① 見通し外での受電効率
 - ② 共振モードが情報通信へ与える影響
- が明確化され, 提案手法の有効性が明らかとなった。しかも, 完全に遮蔽する必要はなく, 金属網を用いることで, 見通し外でも十分に電力が供給できるという効果だけでなく, 電力を送電する電波は内部に閉じ込め, 情報を伝送する電波は透過して外部で送受信できるという新しい発見があった。実用化を進める上で, この発見は非常に有益であり, さらなる研究の展開が期待できる。

今後は医療設備や輸送用機器, 工場インフラへの実用化に向けて, 任意の位置にセンサを配置できるようにするべく, 受電器の差動化, 任意位置でのセンサモジュールの駆動が可能な受

- [1] I. Takano, D. Furusu, Y. Watanabe, and M. Tamura, "Cavity Resonator Wireless Power Transfer in an Enclosed Space with Scatterers utilizing Metal Mesh," IEICE Trans. Electron, vol. E100-C, no. 10, 2017. (to be published.)
- [2] I. Takano, D. Furusu, Y. Watanabe, and M. Tamura, "Study on Cavity Resonator Wireless Power Transfer to Sensors in an Enclosed Space with Scatterers," in Proc. of IEEE MTT-S Int. Conf. on Microwaves for Intelligent Mobility 2017, Nagoya, Japan, Mar. 2017, pp. 1-4.
- [3] 高野一平, 古巣大吾, 渡邊耀介, 田村昌也 "閉鎖空間内におけるキャビティ共振を用いた無線電力伝送方法に関する研究," 信学技報, WPT-62, vol. 116, no. 452, pp. 27-30, Feb. 2017.
- [4] 高野一平, 渡邊耀介, 田村昌也, "閉鎖空間内における複数位置への無線電力伝送方法の検討," 2016 信学ソ大, no. B-21-27, p. 485, Sep. 2016.