

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K14155

研究課題名(和文)シート状伝送媒体を用いた長距離無線電力伝送

研究課題名(英文)Long-range wireless power transfer with a sheet-like transmission medium

研究代表者

増田 祐一(Masuda, Yuichi)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・特任研究員

研究者番号：20856231

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電磁波をシート状の伝送媒体に局在させ電力/信号伝送する2次元通信の技術を基礎とし、従来研究よりも広範囲に渡る給電と、簡易な敷設を可能にする新構造の伝送媒体を開発した。従来研究では、長さ10 m程度の給電シート上のどこでも、実用的な給電効率と安全性を両立した無線電力伝送を実験的に確認できていたが、受電端末が1×0.5 mと大型になること、電界を主とした結合であるため、水の影響を受けやすく屋外利用に不向きであった。そこで給電シートの構造を見直すことで、給電性能を保ちつつ受電端末を手のひらサイズまで小型化し、かつ水の影響を受けにくい磁場を介した電力伝送に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、シート状の伝送媒体に電磁波を局在させ、安全で広範囲な無線電力伝送を実現する、既存のワイヤレス充電と比較し得意な電力伝送方式である点で学術的意義を持つ。シートの薄さを活かして机や床面などに無理なく組み込める高い敷設性を実現しつつ、シート内部にほとんどの電磁エネルギーを閉じ込めることで、給電範囲と安全性を両立させることができる。受電端末の位置決め不要な本技術は、脱炭素や労働力不足解消のために普及が望まれる電動マイクロモビリティやサービスロボットの普及を加速させる電力インフラとして期待できる点が社会的意義である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a new structure of transmission medium that enables a wider range of wireless power transfer and simpler installation than in previous one. This technology is based on the two-dimensional communication in which electromagnetic waves are localized on a sheet-like transmission medium for power/signal transmission. In our previous study, the practical power transfer efficiency and safety was confirmed by using a sheet-like transmission medium of approximately 10 m in length. On the other hands, (1) the power receiving terminal was large (1 x 0.5 m) and (2) the coupling was mainly based on electric fields, making it susceptible to water and unsuitable for outdoor use. By reviewing the structure of the power-feeding sheet, we succeeded in reducing the size of the power-receiving terminal to the palm of the hand while maintaining the power-feeding performance, and in transmitting power via a magnetic field, which is less susceptible to water.

研究分野：無線電力伝送

キーワード：二次元電力伝送 磁場結合方式

### 1. 研究開始当初の背景

2-D Waveguide Power Transfer (2DWPT)とは、シート状の伝送媒体に電磁波を伝搬させた際にシート表面に漏れ出る電磁場と、近接する特殊カプラとが電磁氣的に結合する電力伝送技術である。ミアンダ状の波長短縮パターンにより使用周波数を従来の2.4 GHzから6.78 MHzまで低め、10 m 範囲の長距離 2DWPT が可能となる。一方で、以下の2点の課題があった。

(1) シート・カプラ共に 50 cm 程の幅を必要とし、給電シートを敷設可能な場所、または受電端末を組み込める対象機器に限られる。強力な波長短縮ができれば、十分な給電効率を保ちつつ、受電端末を小型化できることがこれまでの理論検討により明らかになっている。

(2) 電界結合方式を前提とした場合、受電端末を小型化するほどシート-受電端末間のキャパシタンスが低下し、その分、共振コイルを大型にせざるを得ない。受電端末をシートに密着させれば解決可能であるが、そうした制約はロボットなどの移動体への応用可能性を損なう。

### 2. 研究の目的

#### (1) 新たな波長短縮構造の開発

従来のミアンダ状のパターン構造よりも強力な波長短縮構造によって、実用十分な給電効率を維持しつつ、受電端末を小型化可能であることを検証することを目的に、新たな波長短縮構造を提案し評価する。

#### (2) 磁場結合可能なシート構造の開発

受電端末を磁場結合に対応させ、小型であっても十分な実用性を実現することを目的に、強力な波長短縮構造に加えて、磁場を主とした結合が見込めるシート構造を提案し給電性能を評価する。

#### (3) 薄く柔軟な給電シートの開発

簡単な敷設のためには、実用的な給電性能を保ちつつ、薄く柔軟な給電シートであることが重要となる。誘電体層に薄く柔軟なプラスチックを用いたシートを試作し、給電性能を評価する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 新たな波長短縮構造の開発

図1に示すソレノイド状の波長短縮構造を提案し、電磁界シミュレーターを用いて給電性能を評価する。ここでは、波長短縮性能が十分であれば小型受電端末であっても実用的な給電効率を実現可能であることを検証するため、従来と同じく電界結合方式の受電端末で、かつ損失のない理想コイルを共振コイルとして電磁界シミュレーターにより給電効率を求める。

#### (2) 磁場結合可能なシート構造の開発

シート周囲に十分な磁場を伴いつつ電

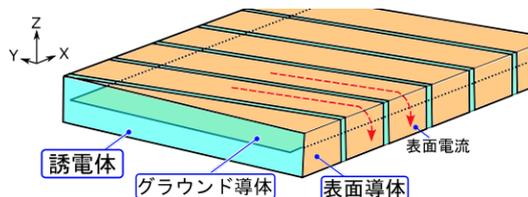


図1 ソレノイド状の波長短縮パターン。誘電体とその内部のグラウンド導体、外部のコイル状表面導体で構成され、伝搬方向(X方向)に対し螺旋状に表面電流が流れる。

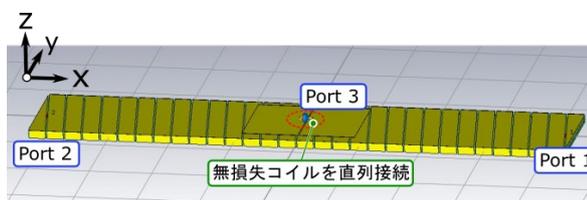


図2 ソレノイド型の波長短縮シートと電界結合式の受電端末のシミュレーションモデル。2枚の電極は導線を介して端末出力部(Port3)に接続される。6.78 MHzで共振する無損失コイルがPort3に直列で接続されている。

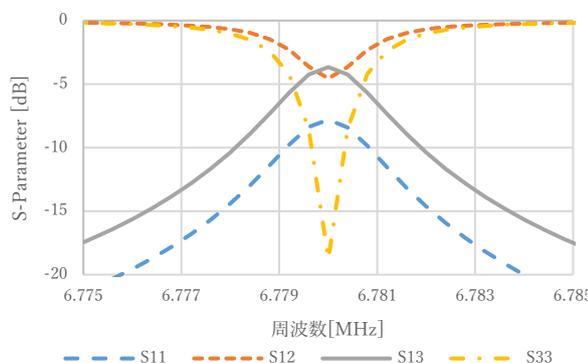


図3 図2に示すモデルの共振周波数付近でのシミュレーション結果。シート入力部(Port1)から、受電端末(Port3)、シート終端(Port2)までのSパラメータを示す。

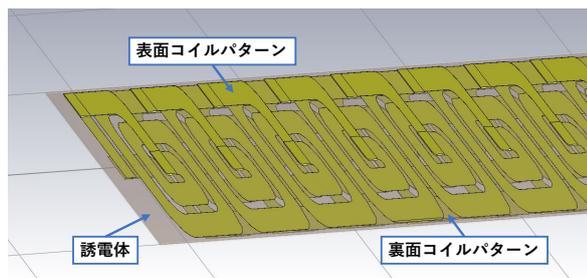


図4 平面コイル状の波長短縮パターン。直列に導通した平面コイルパターンにより、誘電体をサンドイッチする構造で、シート直上方向に対し磁場結合に十分な磁場を伴いつつ電磁波が伝搬する。

磁波を伝搬させる構造として、平面コイル状の波長短縮構造を新規に提案し評価する。ここでは、ソレノイド型の波長短縮構造と同程度の波長短縮性能を実現しつつ、シート表面に磁場結合に十分な磁場を形成できるかを検証するため、電磁界シミュレーションにより、磁場分布を求めた。

### (3) 薄く柔軟な給電シートの開発

シミュレーションをもとに設計した給電シートと受電端末を試作し、実際に実現可能な給電効率を実験的に評価する。

## 4. 研究成果

### (1) 新たな波長短縮構造の開発

図2に、ソレノイド型の波長短縮シートと電界結合式の受電端末のシミュレーションモデルを、図3にシミュレーション結果を示す。90×50 mm の受電端末を用いて、以下の式をもとに給電効率を求めた。

$$\eta_{CP} = 10 \log_{10} \left( \frac{|S_{31}|^2}{1 - |S_{11}|^2} \right),$$

$\eta_{CP}$  は -2.868 dB となり、51.7% のシート内電力を吸い出している。シート内波長は 60 cm 程度であり、十分な波長短縮性能があれば、小型受電端末であっても実用的な給電効率が見込めることが示された。注意点として共振コイルの損失を考慮していないため、これは図6に示すモデルで実現可能な給電効率の上限を意味している。

### (2) 磁場結合可能なシート構造の開発

図4に平面コイル状の波長短縮構造を、図5にシミュレーションにより得られた、シート内に電磁波が伝搬する際にシート周囲に形成される、シート直上方向の磁場を示す。この結果から、提案の平面コイル構造では、60 cm 程度までシート内波長を短縮しつつ、磁場結合に十分な磁場を形成可能であることが示された。

### (3) 磁場結合可能なシート構造の開発

図6に試作した平面コイルシートを、図7に受電端末を含めた測定環境を、図8に測定結果を示す。

試作した給電シートは十分に薄く、敷設性に優れるだけでなく、磁場結合での給電が可能である。また、シート終端を適切に制御できれば、シート上のどの位置であっても S21 は -3 dB 以上、50% 以上の給電効率が達成可能である。

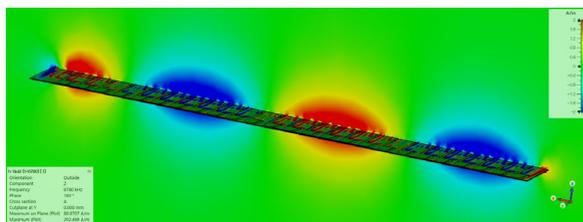


図5 図4に示す平面コイル型の波長短縮シートが形成する、シート直上方向の磁場をカラーマップで出力したシミュレーション結果。

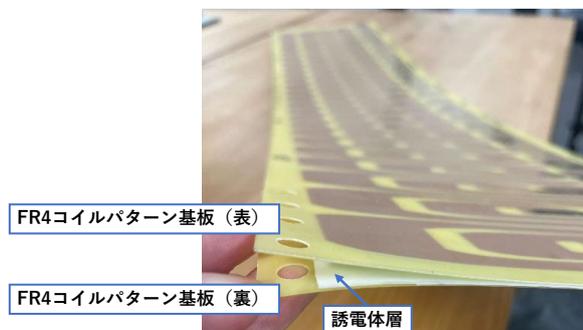


図6 試作した平面コイル型の波長短縮シート。FR4基板により平面コイルパターンを試作し、2枚のコイルパターン基板で誘電体をサンドイッチする構造。シート全体の厚みは 2mm 程度。

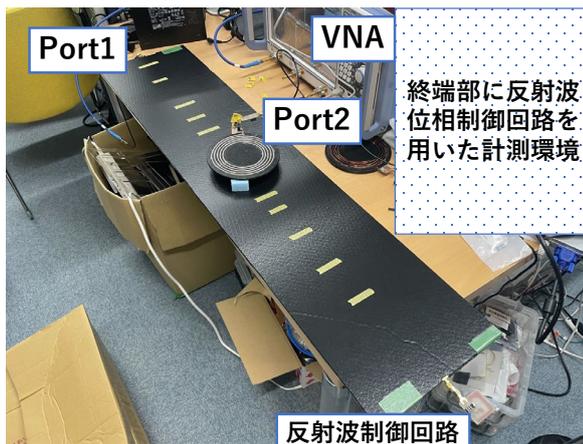


図7 試作した平面コイル型の波長短縮シートと、磁場結合型の受電端末を用いた実験環境。シート終端には反射波位相を制御可能な回路を取り付け、シート内に定在波が形成される前提で、シート入力部 (Port1) から受電端末 (Port2) までの S パラメータをネットワーク・アナライザで測定する。

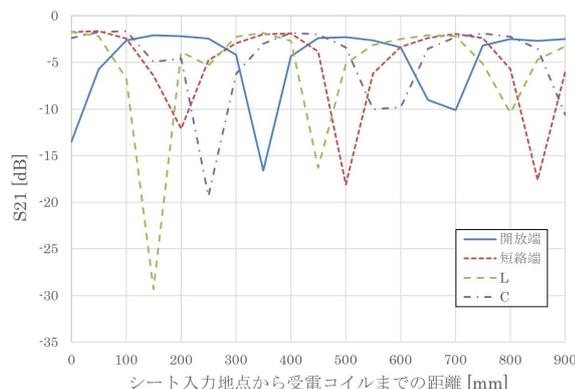


図8 図7の実験環境における実験結果。各終端状態でシート入力部 (Port1) から受電端末 (Port2) までの距離と S パラメータ (S21) を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 増田祐一, 平野義明, 根岸毅人, 篠田裕之
2. 発表標題 ミアングシートを用いた 2次元導波路電力伝送
3. 学会等名 電子情報通信学会 短距離無線研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増田祐一, 篠田裕之
2. 発表標題 ソレノイド状の波長短縮構造を用いた導波路電力伝送
3. 学会等名 電子情報通信学会 短距離無線研究会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------