

論文の内容の要旨

論文題目 Power and Signal Transmission Using Two-Dimensional Waveguide
(2次元伝送路による電力・信号伝送とその応用)

氏名 増田 祐一

1. はじめに

近年、電気自動車や工場内運搬ロボットなどの、電動機を用いる移動体の高機能化が求められている。移動可能距離（電池容量を使い切るまでの移動距離）の延長や、車体重量の軽量化、充電時間の短縮などが例として挙げられる。これらを実現するためには、移動体の改善に加え、移動体が走行中であっても充電が可能な給電環境が求められる。

上記課題の解決のために、本論文では、シート状の二次元導波路を用いた方式に着目した[1][2]。これは、導波路内に電磁波を伝搬させた際に導波路上に形成される近接場を利用する無線電力伝送方式である。外部への電磁波の放射がないため電磁両立性が高く、安全性の高い無線電力伝送を可能にする。しかし、現状では机程度の大きさでしか実現されておらず、移動体への無線電力伝送技術としては制限がある。

本論文では、このシート状導波路を用いた方式を移動体への無線電力伝送技術として確立することを目的とし、給電可能範囲を最大化する導波路と受電コイルの設計手法を提案する。

上記提案に加えて、室内空間の高機能化を目的とした、省電力・高速無線通信技術を提案する。シート状導波路の高い対干渉性を活用することで、送信出力が非常に弱く制限されている微弱無線局でも安定した超広帯域無線通信を可能にする。また、布状の二次元導波路を用いたウェアラブルネットワークについても提案を行う。

2. 給電効率と給電可能範囲

これまでのシート状導波路を用いた無線電力伝送技術ではラップトップなどの机上の電子機器への給電を想定しており、受電端末の面的な位置自由度が求められた。これと異なり、予め移動経路が定められている移動体への走行中無線電力伝送では、面ではなく線での位置自由度が求められるため、線路状の導波路でよい。本章では、実用的な給電効率を保ちつつ、どこまで導波線路を伸ばすことが出来るのかを明らかにする。

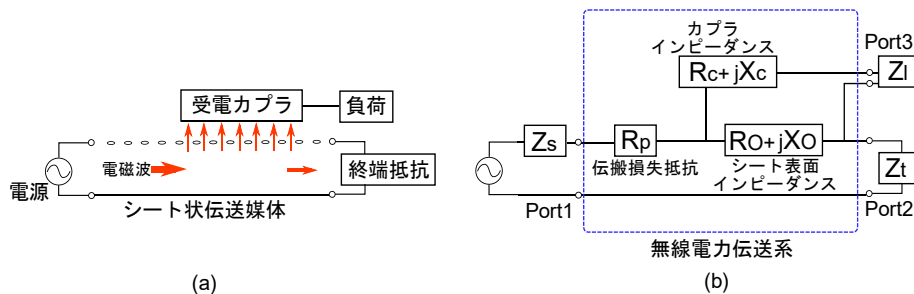


図1 (a)給電システム. (b)給電システムの等価回路モデル. Z_s, Z_t, Z_l はそれぞれ電源, 終端抵抗, 負荷のインピーダンスを表す.

2-1 給電システムの等価回路モデル

導波線路の長さ等の給電システムの諸元から給電効率を導出するために, 給電システムを等価回路で表す. 給電システムは, 電源, シート状伝送線路, 受電カプラ, 負荷で構成される (図1(a)). 図1(b)に給電システムの等価回路モデルを示す. 図1(b)において, 伝搬損失抵抗, カプラインピーダンス, シート表面インピーダンスで構成される3ポート回路を無線電力伝送系として定義する. この伝送系において, Port1~3で電磁波が反射なく入出力されると仮定すると, 給電効率は無線電力伝送系を構成する回路パラメータのみで求まる.

給電効率は, Port1とPort2での入出力電力の差と, Port3での出力電力の比で定義される. この効率を最大化するためには, 伝送系内の損失を最小化することが求められる. 図1において, R_p, R_o, R_c での損失はそれぞれ, シート内伝搬損失, メッシュ状導体での熱損失, 受電カプラ内での熱損失を表す. 各損失要素は, 電磁波の周波数とシート表面リアクタンス X_o (伝送線路の特性を表すパラメータ) にてトレードオフ関係を持つ.

このトレードオフ関係より, 導波線路の各長さにおける給電効率の最大値を求めた. 導波線路を伸ばすと給電効率の最大値は低下する. 実用的な給電効率の値を任意に設定し, 最大給電効率がこの値を下回る際の導波線路の長さを給電可能距離として求めた.

電気自動車や運搬ロボットなど想定される給電対象によって, 受電カプラの大きさなどの許容される給電システムの諸元は異なる. いくつかの給電対象において, 給電可能距離を求めた.

2-2. 実現可能性の検証

本システムにおいて高効率な給電が可能である事を検証するための1例として, 電気自動車の1/5程度のスケールの給電システムの試作・評価を行った. 評価は, 幅50 cm, 長さ400 cmのシートで, シート上4 cmの位置に固定されたカプラとシート端の入力端子間の透過係数をネットワークアナライザで測定した.

シート上4 cmでのX-Y平面において, 5 cm毎にカプラを移動させ各点で測定を行った. 測定結果から, 入出力でインピーダンス整合が取れていると仮定した場合の給電効率を求めたところ, 最も効率が低い位置で87%の給電効率を確認した.

3. 超広帯域微弱無線信号を用いた省電力・高速無線通信

近年, IoT (Internet of Things)を活用した室内空間の高機能化が求められている. IoTを構成する多数の無線端末には, 端末の電池寿命が長く, また, 電池を使い切るまでにより多くの情報を伝送することが求められる.

上記課題の解決のために, 微弱電波を二次元通信で活用する方式に着目した. 外部への電磁波の放射がない二次元通信環境では, 対干渉性が高く, 送信出力が非常に弱く制限された微弱無線局[3]であっても安定した通信を可能にする. 本章では, この二次元通信環境の特性を活かし, 1ビットあたりの情報送信に必要な電力を最小化する物理層プロトコルを設計し, 超広帯域微弱無線信号を用いた省電力・高速無線通信の実現可能性を検証した.

通信速度と, 通信に必要な消費電力のトレードオフ関係を明らかにし, 最適な物理層パラメータを求めた結果, Wi-Fiと同程度の通信速度で, 1ビットあたりの情報送信に必要な電力を100分の1以下に抑えられる事が実験的に示された.

4. ウェアラブル二次元通信技術を用いたBody Sensor Networks

ウェアラブルネットワークを形成する伝送媒体として, 両面導電布が提案されている[4]. これは, 布状絶縁体の両面に導電糸を縫い付けた2次元的な広がりをもつ伝送路である. タック型コネクタにより, 伝送路の任意の位置で端末の固定と接触導通を可能とする.

本章では, この両面導電布を用いたアプリケーションの1例として, ポケット内に収納されたスマートフォンを電源として, 服上に多数配置されたセンサー端末を駆動させ, 情報を取得するシステムを提案する.

5. まとめ

本論文では, シート状導波路を用いた無線給電を移動体への給電技術として確立するために, 給電システムの諸元から給電効率を求める理論式を導出した. また, 給電効率を求める理論式をもとに, 実用的な給電効率を保ちつつ, どこまで導波線路を伸ばすことが出来るのかを明らかにした.

無線給電に加えて, 超広帯域微弱無線信号を用いた省電力・高速無線通信についての提案も行った. 実験的な検証から, 二次元通信環境ではWi-Fiと同程度の通信速度で, 1ビットあたりの情報送信に必要な電力を100分の1以下に抑えられる事が分かった.

最後に, 両面導電布を用いたアプリケーションの1例として, ポケット内に収納されたスマートフォンを電源として, 服上に多数配置されたセンサー端末を駆動させ, 情報を取得するシステムを提案した.

参考文献

- [1] H. Shinoda, Y. Makino, N. Yamahira, and H. Itai, "Surface sensor network using inductive signal transmission layer," in Proc. 4th International Conference on Networked Sensing Systems (INSS'07), pp. 201–206, 2007.
- [2] A. Noda and H. Shinoda, "Waveguide-Ring Resonator Coupler with Class-F Rectifier for 2-D Waveguide Power Transmission", in Proc. 2012 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission, pp. 259-262, 2012.
- [3] [Online] <http://www.tele.soumu.go.jp/j/ref/material/rule/>
- [4] A. Noda and H. Shinoda, "Frequency-Division-Multiplexed Signal and Power Transfer for Wearable Devices Networked via Conductive Embroideries on a Cloth," in Proc. 2017 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, pp. 1–4, 2017.