

# 二次元通信における高効率電力伝送用カプラ

野田聡人 篠田裕之

東京大学大学院情報理工学系研究科

## Efficient Power Transmission Coupler for Two-Dimensional Communication

Akihito Noda and Hiroyuki Shinoda

Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

Abstract: In this paper, we propose a method to compose a high efficiency coupler for Two-Dimensional-Communication (2DC) Sheet. Our goal is supplying 1 [W/cm] power and satisfying two criteria as follows. First, the coupler size should be less than 100 [mm]. Second, the leakage of electric field from the sheet must be kept less than 60 [V/m]. To achieve the goal, we propose the coupler which has a capacitive impedance layer. We confirm it is possible to realize the specification of the coupler by analysis and numerical simulations.

### 1. はじめに

我々の研究室では、通信に用いる新たな物理層として二次元通信方式の一手法を提案している[1]。これは、電磁波の導波路となるシート状の媒体を用い、シート表面に接触しているノードがシートを通して電磁波の送受信を行うというものである。1枚のシートで情報通信と同時に電力の伝送も可能である。

本研究はこの二次元通信の伝送電力の向上を目的としている。具体的には 1 [W/cm]の伝送を目標とする。ただしここで二つの前提条件がある。一つはシート外への電磁波の漏出が安全基準を満たすことであり、電界強度で 61.4 [V/m]以下とする。もう一つは電力の取得に用いるカプラが実用的なサイズで構成可能なことであり、サイズの目標値は 100 [mm]とする。

本稿ではこれらの目標達成のために、カプラに容量性のインピーダンス層を持たせることを提案し、数値計算によりその有効性を示す。まず第 2 章で安全基準を満たす通信シートの設計を行う。第 3 章で単純な導体平板カプラではサイズに関する課題が生じることを説明する。第 4 章ではその課題の解決策として容量性インピーダンス層を持つカプラが有効であることを示し、第 5 章でまとめと今後の課題を述べる。

### 2. 安全基準を満たすシートの設計

本方式はシート内に電磁波を伝搬させるが、一部はシート外に漏出する。電磁波利用上の安全基準である電波防護指針[2]に基づき、通信シート外への漏出電界強度を 61.4 [V/m]以下にすることを目標とする。

シート表面は Fig. 1 に示すようなメッシュ構造となっているが、このピッチを変更することで漏出電磁界の強度が変化する。ここでは数パターンのメッシュの

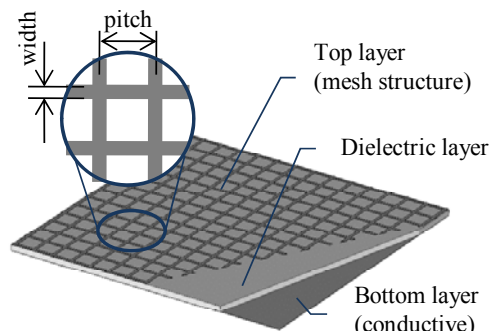


Fig. 1 Two-dimensional-communication sheet

ピッチについてシート内外の電磁界をシミュレーションすることにより、基準値を満たすメッシュピッチを求めた。シミュレーションには CST 社製電磁界シミュレーションソフトウェア MW-STUDIO を用いた。

詳細は割愛するが、シミュレーションの結果より、メッシュピッチ 4 [mm]の場合に基準値を下回ることが分かった。またこの外部の電界の減衰定数から、有限なインピーダンスを持った一般的な材質とみなした場合のインピーダンスが求められる。この 4 [mm]メッシュの場合は誘導性のリアクタンスで 4 [ $\Omega$ ]と求められた。次章からの議論は、メッシュ層をこのようなインピーダンスを持つ一般的な材質の層と近似して扱うことを前提とする。

### 3. 平板導体カプラによる電力取得

Fig. 2 は単純な導体板を使用したカプラを、通信シートの表面に近接させた所をモデル化したものである。シート内(第 1 層)とカプラ側(第 2 層)の 2 層の誘電体層がインピーダンスを持った層により仕切られている。このモデル中を  $x$  方向に伝搬する電磁波について、マクスウェルの方程式を解くと 2 つのモードが得られる。これらの 2 つのモードの干渉により、電磁界の強

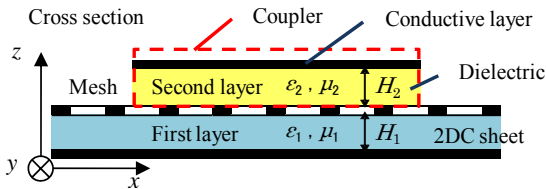


Fig. 2 Two-layer model of the sheet and the coupler

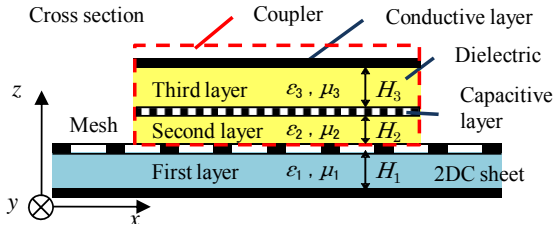


Fig. 3 Three-layer model of the sheet and the coupler

弱が伝搬方向に沿って第1層と第2層とで交互に現れる。この周期を $2L$ とすると、2つのモードの波数 ${}^i k, {}^{ii} k$ を用いて $L = \pi / |{}^i k - {}^{ii} k|$ となる。

この $L$ は、シート中に局在している電磁波のエネルギーが、カプラ側に局在するようになるまでに必要な伝搬距離である。したがって近接カプラによりシートから効率的に電力を取り出すためには、この $L$ 程度のサイズが必要となる。

解析的に電磁界を求めることにより、 $L$ とシート表面のインピーダンスの関係も知ることができる。詳細は割愛するが、インピーダンスが大きいほど小さな $L$ を実現できる。ここで前節の結果を用いて $X_1 = 4 [\Omega]$ とし、 $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 1.5\epsilon_0$ 、 $\mu_1 = \mu_2 = \mu_0$ 、 $H_1 = H_2 = 2 [\text{mm}]$ と仮定すると $L \approx 500 [\text{mm}]$ となって、目標とする $100 [\text{mm}]$ 程度のサイズは実現できないことが分かる。

#### 4. 容量性インピーダンス層を持つカプラ

前節で述べた単純な導体板カプラのサイズに関する問題点を解決するため、容量性インピーダンス層を持つカプラを使用することを考える。シート表面が誘導性のリアクタンスであるので、そこに容量性のリアクタンスを近接させることでLC並列共振回路を形成して合成インピーダンスが増加すると推測できる。それによって前節の $L$ を短縮することが狙いである。

シートとこのカプラを近接させた部分を前節と同様にFig. 3のように3層の誘電体から成る導波路としてモデル化して解析する。結果的にFig. 4のように3つのモードが干渉して3層間でエネルギーが移動することが分かる。

Fig. 5に数値シミュレーション結果の一例を挙げる。これは $x = 0$ において第1層の電力流 $P_1 = 1 [\text{W}]$ として入力したとき、 $x$ 方向に伝搬していくにつれ各層を流れる電力流が変化していく様子を示したものである。

これは各層の誘電率を $(\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3) = (1.5, 1.5, 1.5) \cdot \epsilon_0$ 、

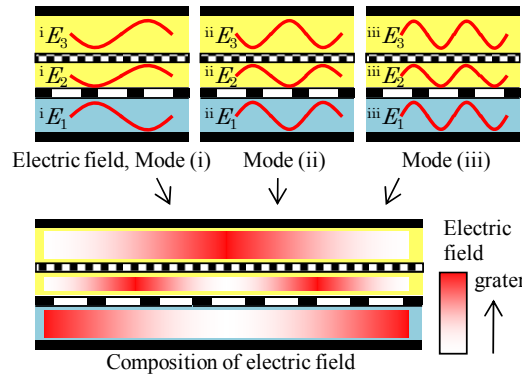


Fig. 5 Electric field in the three-layer model

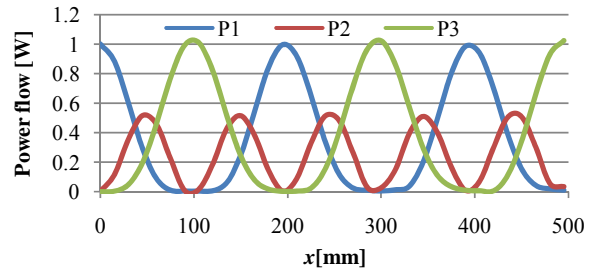


Fig. 4 Power exchange among the three layers

透磁率を $(\mu_1, \mu_2, \mu_3) = (1.0, 1.0, 1.0) \cdot \mu_0$ 、層の厚さを $(H_1, H_2, H_3) = (2.0, 0.04, 2.0) [\text{mm}]$ 、導体層のインピーダンスを $(Z_1, Z_2) = (j4, -j3.6) [\Omega]$ とした場合で、第1層と第3層の間で約 $100 [\text{mm}]$ 周期でほぼ100%のエネルギー交換が行われている。

このように、容量性インピーダンス層を用い、適切なパラメータに設定したカプラを構成することで、 $100 [\text{mm}]$ 程度のサイズでカプラが構成できる可能性が示された。

#### 5. まとめ

本稿では誘電体を導体層で挟んだ構造の二次元通信シートを用いて $1 [\text{W/cm}]$ の電力を伝搬しながら、電波防護指針の基準値を満足し、 $100 [\text{mm}]$ 程度のカプラサイズを実現する方法を検討した。そしてカプラに容量性インピーダンス層を持たせることが有効であることを数値計算により示した。

今後の課題として、計算により求められた容量性リアクタンスを持つ構造を設計して実際に作成し、実験によりその有効性を確認することが挙げられる。

#### 参考文献

- [1] H. Shinoda, Y. Makino, N. Yamahira, and H. Itai: "Surface Sensor Network Using Inductive Signal Transmission Layer," Proc. INSS 2007, pp. 201-206, 2007.
- [2] 総務省, "電波利用における人体の防護の在り方," 電気通信技術審議会答申, 諮問第89号, 1997. <http://www.tele.soumu.go.jp/j/material/dwn/guide89.pdf>