

## 半波長以上の幅を有する二次元電波伝送路の伝搬特性の改善

小澤 佑介, 陳 冠華, 陳 強 (東北大学大学院工学研究科),  
澤谷 邦男 (東北大学イノベーション戦略推進本部)  
大内田 真智子, 平野 義明 (帝人株式会社)

概要: UHF 帯 RFID 技術の応用システムとして, 二次元通信を利用したスマートシェルフが提案された. タグを読み取るリーダアンテナとして使用する 2 次元電波伝送路の問題点は, 端部での反射により伝送路内を伝搬する電磁波が定在波を形成することである. 定在波の節となる位置では IC タグの受信電力が低下するため, 伝送路上にタグが検出できない領域 (ヌル点) が生じてしまう. そこで本報告では, 半波長以上の幅を有する 2 次元電波伝送路上に発生するヌル点の改善方法について検討したので報告する. 具体的には, 伝送路に対してスリットを装荷することで, 伝送路内の電磁波の伝搬方向を制御し, 幅方向のヌル点が解消されることを示す. 更に, 先行研究で提案された終端状態スイッチングダイバーシティ方式と組み合わせることで, 2 次元電波伝送路上のヌル点の発生を抑制できることを明らかにした.

キーワード: RFID, スマートシェルフシステム, 二次元通信

### 1. まえがき

RFID(Radio Frequency IDentification) システムは, ID 情報が書き込まれた IC タグとリーダアンテナ間で無線通信を行うことで, 情報収集の自動化を実現する技術であり, トレーサビリティや物品管理, 人流把握など様々な分野で応用されている. 通信方式は電磁誘導方式と電波方式の 2 つに大別されるが, 中でも電波方式に分類される UHF 帯の RFID 技術は通信距離が長く, 複数のタグを一括して読み取ることができる等の特徴を有しており, 大きな注目を集めている. UHF 帯 RFID 技術の応用例の一つとしてスマートシェルフが挙げられる. これは, 棚に置かれた書籍, 電子機器などの物品を効率的に管理するシステムであり, 物品に貼り付けた IC タグをリーダアンテナで読み取ることで棚の物品を検出する. しかし, 周辺物の影響により電磁波が反射を起こすため, 干渉により目的のタグが読み取れない場合や, 反対に想定外の位置にあるタグを読み取ってしまうという問題が存在する. この問題を解決する為に近傍電磁界を利用するリーダアンテナが提案され, 種々の研究が行われている [1]. こうした背景を受け, 二次元通信を利用した RFID スマートシェルフシステムが提案された. リーダアンテナとして図 1 に示すような 2 次元電波伝送路 (以下, 2 次元シート) を使用している. これは平行平板伝送路の一方の導体面にメッシュ構造を持たせたもので, 導体板間を伝搬する電磁波の一部がメッシュの開口よりシート外部へ漏れ出している. 漏出した電磁波は距離に対して指数関数的に減衰するエバネッセント波を形成するため [2], 通信可能範囲をシート近傍に限定することができる.

しかし, このシートには終端のインピーダンス不整合によりシート内部を伝搬する電磁波が反射を起こし, 定在波を形成するという問題点が存在する. 波の節となる位

置では, 電界強度が非常に低く, タグが読み取れない領域 (ヌル点) が生じてしまう.

この問題に対し文献 [3] では, 給電位置によってシート上のヌル点位置が変化する点に着目し, 複数の給電点を設けて, 給電位置を時間的に切り替える入力点選択型給電方式を提案している. しかしこの方式では, 入力点の選択順序や各入力点での給電時間など, 入力点系列の最適化が重要になるため, 電源回路が複雑かつ高価となる.

そこで筆者らは, 単一給電の状態シート終端を open / short と切り替えることで, シート上のヌル点位置が変化する点に着目し, 終端 open / short 選択ダイバーシティ方式を提案した [4]. この方式では終端状態の切り替えが, ダイオード等の電氣的スイッチにより制御可能であり, 制御系は極めて単純かつ低コストで済む. しかし, シート幅が半波長よりも大きくなった場合, 高次モードの発生に伴い幅方向に対しても定在波が発生してしまう. 本方式では, シートの長手方向に生じるヌル点位置を切り替えることが可能だが, 幅方向の切り替えができない. シート側面に対しても同様なスイッチング機構を設けることで改善できる可能性はあるが, コストの面から実用的ではない. こうした理由から半波長以上の幅を有する 2 次元シートに対しては, 本方式を適用することが難しいという問題があった.

そこで本報告では, 幅が半波長よりも大きい 2 次元シートに対してスリットを設けることで, 幅方向に生じるヌル点が改善されることを数値解析及び実験により明らかにしたので報告する.

本報告の構成を以下に示す. 第 2 章では, 2 次元シートに対してスリットを設けた際の影響について数値解析および実測を通して検討した. 第 3 章では, スリットを装荷したシートに対して終端スイッチングダイバーシティを適用した際の, ヌル点改善効果について実測評価に基づいて検討し, 第 4 章にてまとめる.

### 2. スリットによる幅方向の定在波の抑圧

本章では, スリットを装荷することにより 2 次元シート上の電界分布がどのように変化するのかを数値シミュレーション及び実験により評価を行う.

#### 2.1 数値シミュレーション

##### 2.1.1 解析モデル

本研究において, 2 次元シートは帝人株式会社より提供して頂いた [5]. 2 次元シートは主に導電性メッシュ層, 誘電体層, グランド層の 3 層構造となっており, 平行平板

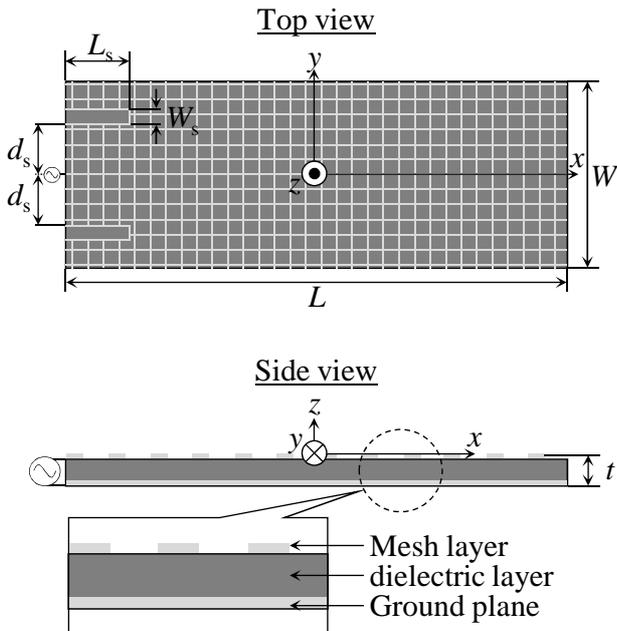


図 1: 2次元電波伝送路の構造

伝送路と同様に電磁波は誘電体層内を伝搬する。しかし、メッシュ層に設けられた開口より電磁波の一部が2次元シート上に漏れ出し、距離に対し指数関数的に減衰するエバネッセント波を形成する[4]。実機を基に構成した数値解析モデルを図1に示す。サイズは長さ  $L = 800$  mm, 幅  $W = 300$  mm, 厚さ  $t = 2$  mm とした。メッシュ形状は正方形型とし、サイズを  $7$  mm  $\times$   $7$  mm, マイクロストリップライン幅を  $1$  mm に設定した。実際の誘電体層の比誘電率は  $\epsilon_r = 1.3$  と極めて小さい値であることから、数値解析においては真空 ( $\epsilon_r = 1$ ) として近似し、解析時間の短縮の為に誘電体層は除外した。スリットは給電点に対して対称に2か所設けており、その長さは波長の4分の1である。本節では、スリットの装荷によって2次元シート上の電界分布がどのように変化するかを数値解析により調査した。解析周波数は  $920$  MHz であり、入力点での反射の影響を除く為、入力電力は  $30$  dBm で一定とした。尚、解析はモーメント法で行った。

### 2.1.2 数値解析結果

スリット装荷位置を変化させた場合の2次元シート上の電界分布を図2に示す。観測面は、シートから高さ  $30$  mm の位置に設定した。尚、メッシュ開口からは  $z$  方向成分の電界が漏出するため、 $x$  方向、 $y$  方向の成分は省略した。(a)はスリット装荷前の分布を示している。端部での反射により、定在波が生じていることが確認できる。通常、幅が波長に対して十分小さい平行平板伝送路では、伝送路の幅方向に対して電界は一様な分布となる。しかし、今回の解析モデルでは幅が波長に対して無視できないサイズである為、幅方向に対しても定在波が発生していることが分かる。一方、(b)はスリットを設け場合の結果を示

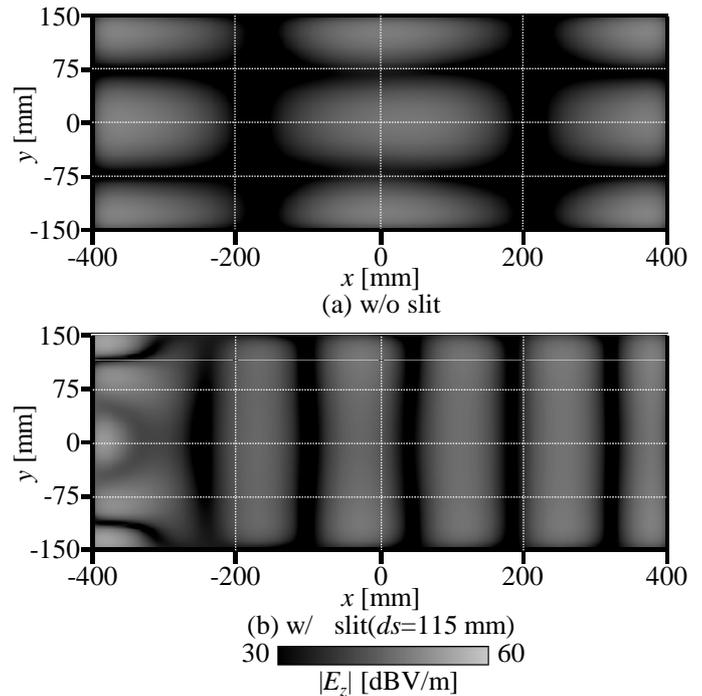


図 2: スリット位置による電界分布の変化

している。スリットの装荷位置は給電点から  $115$  mm とした。スリットを設けたことで、2次元シートの幅方向に発生していた定在波が抑圧され、幅方向のヌル点が消失していることが確認できる。これは、2次元シート内の電磁波の伝搬方向がスリットにより変化していることを意味する。

### 2.2 実測評価

本節では、実機を用いた評価実験結果を示す。今回は一般に市販されるRFIDタグアンテナを用いて、2次元シート上におけるタグの受信信号強度(RSSI:Received Signal Strength Indicator)を測定し、評価を行った。実験環境を図3に示す。実機においてはメッシュ形状が正三角形型であり、ストリップライン幅は約  $0.5$  mm となっている。スリットは図4に示すように給電点から約  $90$  mm の位置に装荷し、長さは実行波長の約  $4$  分の1とした。また、測定で使用したRFIDタグアンテナの構造を図5に示す。タグアンテナのサイズは  $73$  mm  $\times$   $7$  mm となっており、分布測定の際はタグをシートに対して垂直に配置し、タグと2次元シートの間隔は約  $5$  mm とした。測定条件は表1に示している。

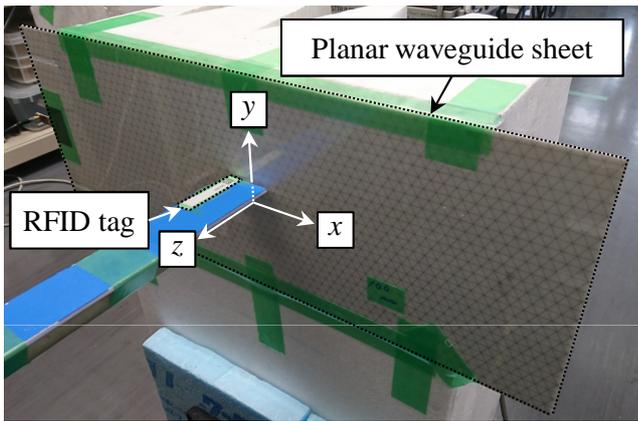


図 3: 二次元電波伝送路と RFID タグ

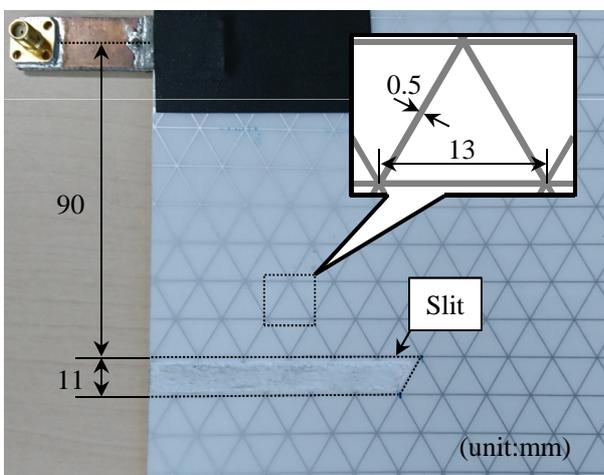


図 4: スリット構造



図 5: 測定で使用した RFID タグの構造

表 1: 測定システムのパラメータ

RFID tag	UL-21 <sup>1</sup>
R/W	Speedway Revolution R420 <sup>2</sup>
Center frequency	920.4 MHz
Incident power	30 dBm
Receiver sensitivity	-70 dBm

1:大日本印刷, 2:Impinj

測定した RSSI 分布を図 6 に示す。(a) はスリット装荷前の分布を示しており、2 次元シートの幅方向に対して

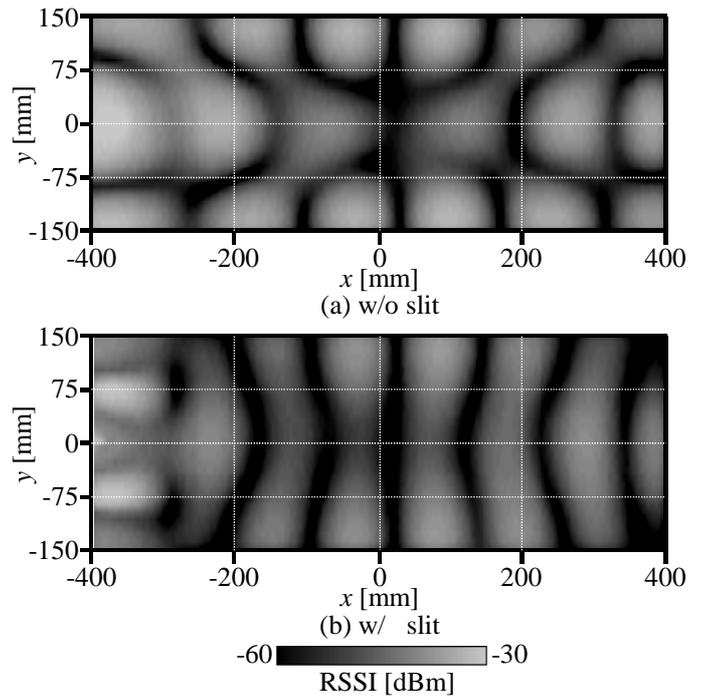


図 6: スリットの有無による RSSI 分布の変化

も定在波が発生していることが分かる。一方 (b) はスリット装荷後の分布を示している。スリットを設けたことで幅方向の定在波が抑圧されており、(a) と比較すると幅方向に生じるヌル点が概ね解消されていることが分かる。

### 3. 幅の広い 2 次元電波伝送路での終端スイッチングダイバーシティ

前節では、幅が半波長よりも大きい 2 次元シートに対してスリットを装荷することで幅方向の定在波が抑圧可能であることを数値解析及び実験により明らかにした。次に、スリットを装荷した 2 次元シートに対して、先行研究で提案された終端スイッチングダイバーシティ方式を適応し、シート長手方向に生じるヌル点の解消を検討した。本節では、実機を用いた評価結果を示す。本方式では図 7 の様に、2 次元シート終端の境界条件を開放・短絡と切り替え、各終端状態での受信電力を比較し、大きい方を選択することでヌル点の改善を図っている。今回は初期検討として、銅箔テープの有無により 2 次元シートの終端状態を開放・短絡と切り替えを行った。実験環境及び測定条件は前章同様である。

図 8 に終端状態を切り替えた際の RSSI 分布の変化を示す。終端の境界条件の変化に伴い、ヌル点位置が変化していることが確認できる。この結果より、ダイバーシティを行うことでシート長手方向に生じるヌル点を解消可能であることが分かる。終端スイッチングダイバーシティを行った場合における RSSI の累積確率分布 (CDF) を計算した結果を図 9 に示す。尚、2 次元シート終端の銅箔テープ近傍では分布が不安定となるため、終端から 50mm の領域は CDF 解析から除外した。CDF の傾きを

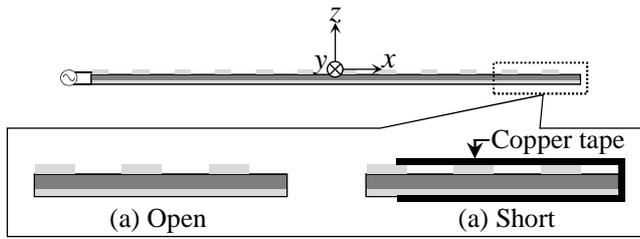


図 7: 二次元電波伝送路の終端構造

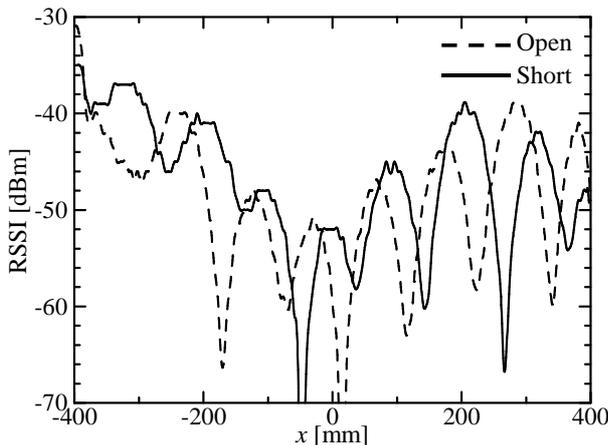


図 8: 終端状態を切り替えた際の RSSI 分布の変化 (@ $y=0$  mm)

比較すると、スリットを装荷したことで、より急峻な変化をしていることが分かる。これは、スリットにより幅方向に生じていたヌル点が解消されたことで、2次元シート上での RSSI 値が一様分布に近づいたことを意味している。

#### 4. むすび

本報告では、半波長以上の幅を有する2次元電波伝送路におけるヌル点の改善方法に関して研究を行った。数値シミュレーション及び実測評価により、2次元電波伝送路に対してスリットを装荷することで、内部の電磁波の伝搬方向を制御し、幅方向の定在波を抑圧することが可能であることを示した。更に、先行研究で提案された終端スイッチングダイバーシティ方式と組み合わせることで、幅の広い2次元電波伝送路上のヌル点の発生を抑制できることを明らかにした。

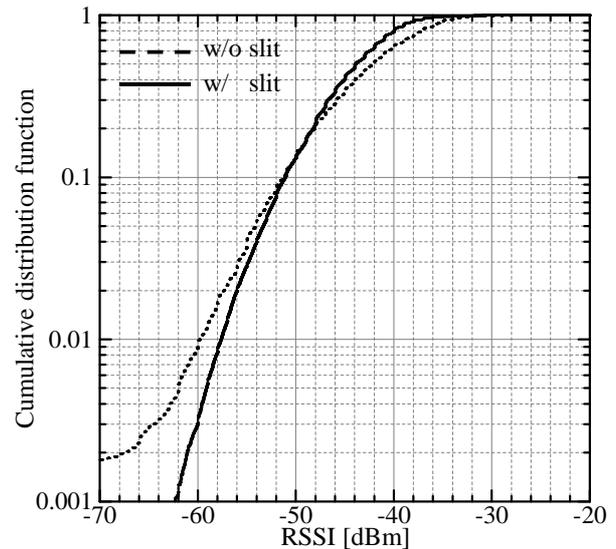


図 9: RSSI の累積分布関数

#### 参考文献

- [1] A. Michel, A. Buffi, P. Caso, G. Isola and H. T. Chou, “Design and Performance Analysis of a Planar Antenna for Near-Field UHF-RFID Desktop Readers,” in *Proc. Asia Pacific Microw. Conf. (APMC)*, Dec. 2012, pp. 1019-1021.
- [2] H. Shinoda, Y. Makino, N. Yamahira and H. Itai, “Surface Sensor Network Using Inductive Signal Transmission Layer,” in *Proc. INSS2007*, 2007, pp. 201-206.
- [3] 手嶋 宏介, 松田 隆志, 張 兵, 稲元 勉, 高木 由美, 太田 能, 玉置 久, “二次元通信システムにおける定在波を考慮した入力点選択給電方式に関する研究,” 電子情報通信学会論文誌 B, vol. J96-B, No. 12, pp. 1342-1354, 2013年12月.
- [4] K. H. Chen, Q. Chen, K. Sawaya, M. Oouchida and Y. Hirano, “Diversity Reception of 920MHz RFID Reader Antenna in Smart-Shelf System,” in *Proc. Int. Symp. Antennas Propag. (ISAP)*, Nov. 2015, pp. 851-853.
- [5] “CELL FORM” 帝人株式会社  
<https://www.teijin.co.jp/focus/recopick/info/>,  
 (参照 2017-9-20)