

幅の広い2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: 2次元通信 (two-dimensional communications : 2DC) を利用したセンサネットワークシステムの1つとして, RFID Smart-Shelf System がある. 本システムの問題点は電界が2次元電波伝送路上で定在波分布し, 電界強度の低い領域 (ヌル点) が生じることである. 先行研究では, 電波伝送路幅が半波長よりも小さい場合において終端状態を open / short で切り替え, その際に生じる位相差を利用して受信電界を改善する, 選択ダイバーシティが提案されている [1]. 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, 幅方向にもヌル点が生じるという問題点がある.

本報告では, 幅が半波長よりも大きい2次元電波伝送路に対しスリットを装荷することで, 幅方向の定在波を抑制可能であることを明らかにしたので報告する.

キーワード: 2次元通信, RFID, Smart-Shelf System

1. まえがき

近年, IoTの普及に伴いRFID(Radio Frequency Identification) 技術が注目されるようになり, 物流や製造, 交通等の様々な分野で現在導入が進んでいる. このRFIDシステムは主にRFIDタグアンテナとリーダーアンテナから構成されており, ものや人に貼り付けたRFIDタグとリーダーアンテナ間で無線通信を行うことで, 対象の情報を収集し自動で識別を行う.

RFID技術の応用例の一つにSmart-Shelf Systemがある. このシステムは小売店や図書館などで導入が進んでおり, 棚に収められた商品の情報を自動で収集し, 管理することができる [1]. 商品にはRFIDタグが貼り付けてあり, タグには対象の情報が書き込まれたICチップが埋め込まれている. リーダーアンテナとしては, 2次元電波伝送路 (Two-Dimensional Communications Sheet : 以下シートという) が使用されている [2]. シートに入射した電磁波はシート内を伝搬する際に, 表面上に漏洩電磁界を形成しており, シートとRFIDタグは近傍電界の結合によって通信を行う. また, 漏洩電磁界はシートの表面近傍のみに形成されるため, 他システムへの干渉が小さい. さらにRFIDタグはシート表面に接する様に配置されるため, 雑音の影響を受けにくく, 情報漏洩の危険性も低い [3]. この2次元シートはセンサネットワーク [4]-[6] や位置推定 [7], 電力伝送 [8][9] といった様々な分野で応用されている.

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電界が定在波分布し, 電界強度の低い領域 (ヌル点) が複数生じるという問題点が存在する. 電界強度の低い領域ではRFIDタグの受信電力が著しく低下し, タグに埋め込まれたICチップが駆動せず, 対象物の情報を読み取ることができなくなる.

この問題に対し文献 [10] では, 入力点位置によってシート上のヌル点位置も変化する点に着目し, 複数の給電点を

切り替える入力点選択型給電方式が提案されている. 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.

また [11] では, 単一給電のままシート終端を open / short と切り替えることで, シート上の電界に位相差が生じて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が提案された. この方式ではシートの終端状態をPINダイオードのON/OFFによって切り替えるため, 制御回路は極めて単純で済む. しかしながら, シート幅が半波長よりも大きくなると, 高次モードの発生に伴って幅方向に対しても電界が定在波分布する. この方式では, 長さ方向に生じるヌル点位置を切り替えることが可能だが, 幅方向には切り替えることができない.

そこで本論文では, 幅が半波長よりも大きいシートに対するヌル点の新たな改善方法を提案したので報告する. まずシートに対してスリットを装荷することで幅方向に生じる定在波を抑え, 幅方向のヌル点が除去可能であることを示す. 次に, スリットを装荷した幅広シートに対して, 終端状態を切り替えることによる選択ダイバーシティ方式を適応し, 長さ方向に生じたヌル点が抑制されることを明らかにする.

本報告の構成を以下に示す. 第2節では本報告で提案するスリット装荷型シートの構造について述べる. 第3節では数値シミュレーションによってスリットの装荷及び, 選択ダイバーシティによる改善効果を明らかにした後, 第4節にてまとめる.

2. 2次元電波伝送路の構造

図1に本研究で使用する2次元電波伝送路の構造を示す. シートは導電性メッシュ層, 誘電体層, グランド板の3層構造となっている. 寸法は長さ $L = 800$ mm, 幅 $W = 400$ mm, 厚さ $t = 2$ mm である. 動作周波数が 920MHz であるため, シート幅は半波長 (=163 mm) 以上となっている. メッシュ形状は正方形型でサイズは 49 mm², 線幅は 1 mm である. 誘電体層の比誘電率は $\epsilon_r = 1.3$ である.

幅方向の定在波を抑制するため, 図1に示す様にシートのメッシュ層にスリットを装荷した. スリット長は $L_s = 81$ mm, 幅は $W_s = 7$ mm であり, スリット長 L_s が $\lambda/4$ に相当する. シート中心からスリットまでの距離を d_s とし, スリットの装荷位置と電界分布の変化を数値シミュレーションにより調査した. 数値シミュレーションはモーメント法により行った. 誘電体層の比誘電率が $\epsilon_r = 1.3$ と非常に小さい値であるため, 解析時間を短縮するために誘電体層は真空 ($\epsilon_r = 1$) として扱っている. また, 入力電力は 1W とした.

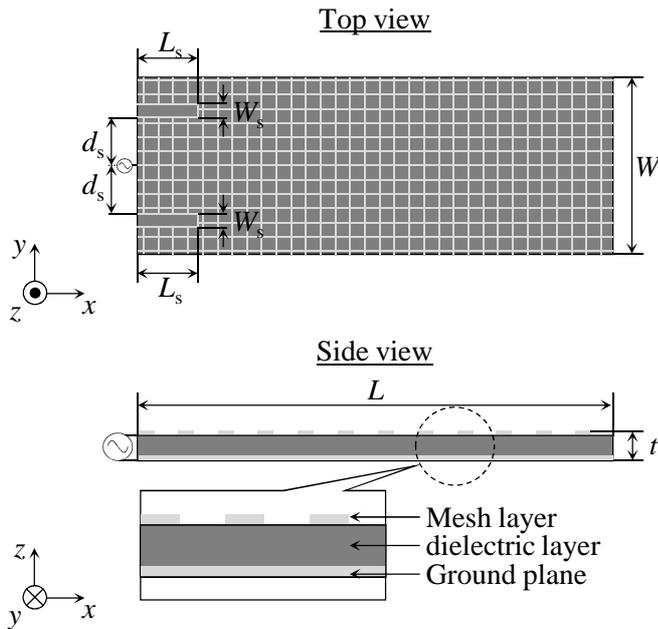


図 1: 2次元電波伝送路の構造

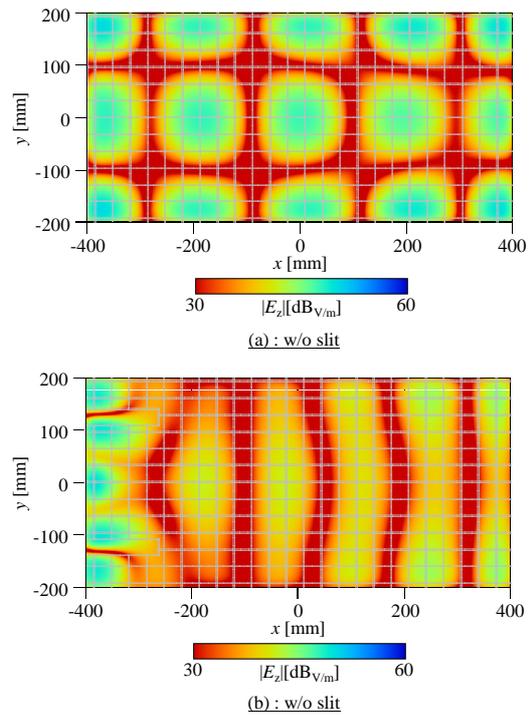


図 2: 電界強度分布

3. 数値シミュレーション

3.1 スリットの装荷による幅方向の定在波抑制

図 2 にスリット装荷位置 $d_s = 125$ mm の場合の、 $z = 30$ mm の位置における電界分布 (z 方向成分) の解析結果を示す。比較のため、スリットを装荷していない場合の解析結果も同様に示している。 z 方向成分のみを評価した理由は、RFID タグはシートに対して垂直に配置され、電界の z 方向成分を受信するためである。

スリットを装荷していない場合、幅方向の定在波によりヌル点が発生していることが分かる。一方スリットを装荷した場合、幅方向の定在波が抑制され、ヌル点が改善可能であることを確認できた。

またこのときの電流分布を図 3 に示す。図 3(a) がスリット装荷前、(b) がスリット装荷後の解析結果である。図より、スリットを装荷したことで、電流の y 方向成分が抑制され、一方 x 方向成分は幅方向に対して一様な分布になっていることが確認できる。この結果から、スリットにより y 方向に広がる電流を抑制し、 x 方向のみに伝搬させることで、幅方向 (y 方向) に生じる定在波が抑圧されたと考えられる。

3.2 選択ダイバーシティによる長さ方向のヌル点の改善

前節では、シートに対してスリットを装荷することで幅方向に対する定在波を抑制し、幅方向に生じたヌル点が改善可能であることを示したが、長さ方向に生じるヌル点がまだ改善されていない。そこで本節では、先行研究で提案された終端状態選択ダイバーシティ方式を適用し、長さ方向に生じるヌル点の改善を検討する。原理としては、図 4 の様にシート終端状態を開放及び短絡と切り替

え、各観測点において次式で表されるような比較を行う。終端開放、短絡した場合の電界強度をそれぞれ $E_z^o(x, y)$ 、 $E_z^s(x, y)$ とし、ダイバーシティを行った場合の電界強度は $E_z^{div}(x, y)$ としている。

$$|E_z^{div}(x, y)| = \max(|E_z^o(x, y)|, |E_z^s(x, y)|) \quad (1)$$

図 5 に終端状態を変化させた場合、及び選択ダイバーシティを行った場合の電界強度分布を示す。観測位置はシート中央 ($y = 0$ mm)、高さ $z = 30$ mm に設定している。終端を開放、短絡と変化させることで、シート上の電界に位相差が生じるため、長さ方向のヌル点位置が変化していることが分かる。この性質を利用して選択ダイバーシティを行うことで、長さ方向に生じるヌル点が改善されていることが確認できる。

図 6 に電界強度の累積分布関数を示す。CDF=1% において、15.6 dB のダイバーシティゲインが得られた。また、図 7 は選択ダイバーシティを行った場合の電界強度の累積分布関数について、スリットの有無によって比較した結果を示している。幅広シートにスリットを装荷することで、CDF=1% において、ダイバーシティゲインが約 5.9 dB 改善されていることが確認できる。これは、スリットによって幅方向の定在波が抑圧され、ヌル点が改善されたためである。

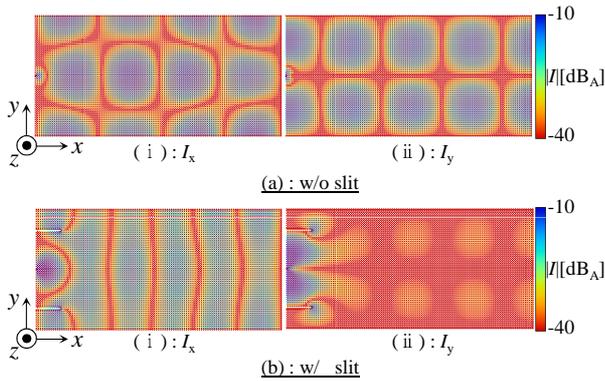


図 3: 電流分布

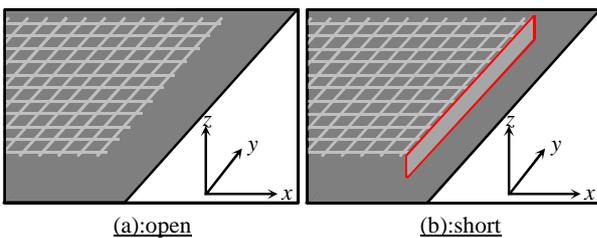


図 4: 終端状態

4. むすび

本報告では、RFID Smart-Shelf System 用 2 次元電波伝送路において、幅が半波長よりも大きい場合の電界分布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により、シート入力端側にスリットを装荷することで定在波が抑圧され、幅方向に生じるヌル点が改善されることを示した。また、スリットを装荷したシートにおいて終端状態を開放及び短絡と切り替えることで、電界分布に位相差が生じ、長さ方向のヌル点位置が変化することを明らかにした。この特徴を利用して、終端状態の選択ダイバーシティを適応することで、長さ方向に生じるヌル点も改善できることを示した。

今回は、数値シミュレーションによって提案手法の有効性を示したが、今後、実機を使用した実証実験を行う必要がある。また異なるシート幅に対するスリットの効果についても、検討を行う予定である。

参考文献

[1] C. R. Medeiros, J. R. Costa, and C. A. Fernandes, "RFID Smart Shelf With Confined Detection Volume at UHF," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 7, pp. 773-776, 2008.

[2] H. Sinoda, "Sensor Networking based on Two-dimensional Signal Transmission Technology," in *Proc. SICE-ICASE International Joint Conference 2006*, pp.4867-4869, Oct 2006.

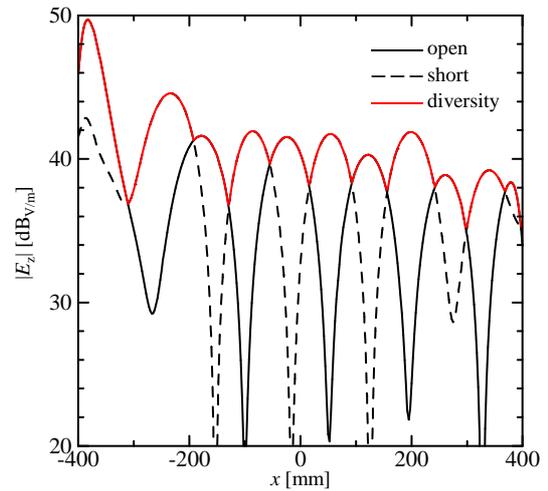


図 5: 終端状態を変化させた場合の電界強度分布 ($y = 0$ mm)

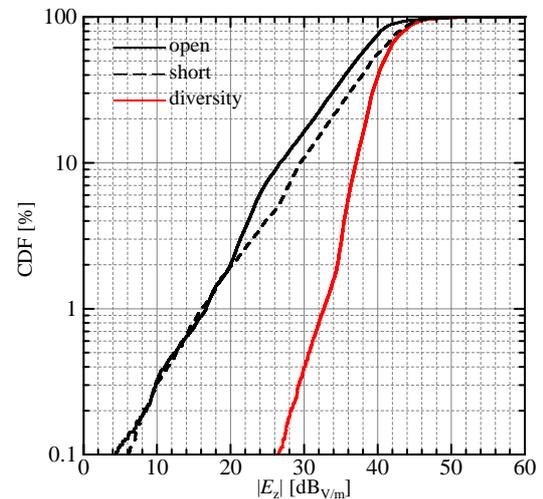


図 6: 電界強度の累積分布関数

[3] N. Yamahira, Y. Makino, H. Itai and H. Shinoda, "Proximity Connection in Two-dimensional Signal Transmission," in *Proc. SICE-ICASE International Joint Conference 2006*, pp. 2735-2740, Oct. 2006.

[4] T. Oota, A. -O. Lim, K. Hattori, Y. Kado and Bing Zhang, "2D Communication Sensor Networks Using Single Frequency for Concurrent Power Supply and Data," *Sensors*, 2010 IEEE, pp. 2016-2021, Nov. 2010.

[5] H. Shinoda, Y. Makino, N. Yamahira and H. Itai, "Surface Sensor Network Using Inductive Signal Transmission Layer," in *Proc. INSS2007, 2007*, pp. 201-206.

[6] K. Nakatsuma, Y. Makino, H. Shinoda, "Node localization in the "Two-dimensional Communication

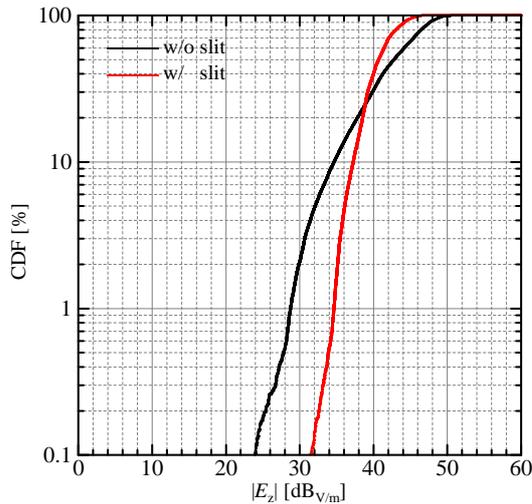


図 7: 選択ダイバーシティを行った場合における電界強度の累積分布関数

” Networks based on electric field pattern measurement,” SICE Annual Conference, 2008, pp. 3380-3385, Aug. 2008.

- [7] K. Minamizawa, Y. Makino, H. Shinoda, “Two-Dimensional Signal Transmission for Networked Sensing,” in it Proc. SICE Annual Conference, 2005, pp.3816-3819, 2005
- [8] N. Yoneyama and H. Arai, “A Power Collecting Circuit for WPT System using Sheet-like Waveguide,” Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission Technologies, Systems, and Applications (IMWS), 2012 IEEE MTT-S International, pp. 119-122, May, 2012.
- [9] C. R. Medeiros, J. R. Costa and C. A. Fernandes, “RFID Reader Antennas for Tag Detection in Self-Confined Volume at UHF,” IEEE Antennas Propag. Mag., vol. 53, no. 2, pp. 39-50, Apr, 2011.
- [10] 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.
- [11] 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. 2015 International Symposium on Antennas and Propagation, pp.1-3, Nov. 2015.