

2次元漏れ波伝送路給電パッチアンテナアレーに関する研究

目黒 巧巳, 陳 強, 澤谷 邦男 (東北大学大学院工学研究科)
根岸 毅人, 平野 義明 (帝人株式会社)

概要: 本稿では, 2次元漏れ波伝送路 (以下, 2次元シート) 給電 4素子パッチアンテナアレーを提案する. 2次元シートの特性について説明した後, 2次元シート給電単素子パッチアンテナ及び4素子パッチアンテナアレーの構造について述べ, 反射係数及び動作利得パターンを, それぞれ実験的に明らかにする. 4素子パッチアンテナアレーについては, 素子間隔を変更したときの主ビーム方向の変化を評価し, 41 deg.の制御を実現した.

キーワード: 2次元漏れ波伝送路, RFID, パッチアンテナアレー

1. まえがき

近年, 自動識別技術の分野において無線通信を利用した RFID (Radio Frequency Identification) が注目されている. RFID は, 扱える情報量が非常に大きい・情報の読み書きができる・見通し外通信が可能・複数のタグを同時に一括で読取可能などの利点がある[1]. これまで RFID タグは高価であったため, 導入のためにはコスト面で障壁があった. しかし, 大量生産の本格化により, RFID タグの価格が下がり, その問題が解決されつつある.

これらの背景から, RFID は様々な場面での応用が検討されている. 例えば, 図書館や工場, 病院などでは, 物品の自動管理の目的で, RFID を用いたアプリケーションが提案・開発されている.

一方で, 導入される環境が多岐にわたるため, リーダーアンテナには鋭い指向性やビーム方向制御などの様々な性能が求められる. 複数の放射素子を持つマイクロストリップアンテナアレーは, 給電素子に移相器を挿入し, 各素子に励振される位相を調整することで, ビームを任意の方向に制御することができる [2].

しかし, 移相器を挿入することで, 高コスト化や構造の複雑化が問題となる. この問題に対して, 簡便な方法で実現可能な手法として, アンテナの構造を機械的に変える研究が行われている. これらの研究は, 用いられるアンテナの種類により大別できる.

一つは, 導波管スロットアンテナである. 導波管スロットアンテナは導波管内の進行波の位相定数を可変とすることでビーム制御が可能である. 誘電体を挿入し, 誘電体の位置を変えることで位相定数を変える手法や, 導波管内に突起を持つ円柱を挿入し, 円柱を回転させることで位相定数を可変とする手法などが報告されている[3,4].

もう一つは, 平行2本線路により給電されるダイ

ポールアンテナアレーである. 平行2本線路と直交するようにダイポールアンテナを複数配置し, 平行2本線路に進行波を励振し, 並んだダイポールアンテナの間隔を変えることで, 励振される位相を調整し, ビーム方向を制御する手法である[5].

これらの手法に対して, 著者らは新たな手法として, 2次元シート給電パッチアンテナを提案してきた[6]. 提案アンテナは, エバネッセント波により給電される点で前述のアンテナと大きく異なる.

エバネッセント波は2次元シート全体に形成されるため, 素子をいずれの位置に配置しても給電することができる[7]. したがって, 素子位置を調整することで, 簡単にビーム方向を制御することができる. 加えて, 2次元シートの寸法は自由に設定できるため, 放射素子数を用途に合わせて変え, 動作利得の調整をすることができる.

本報告では, 2次元シート給電単素子パッチアンテナの動作原理について述べ, その特性を実験的に評価する. さらに, 2次元シートを拡張した4素子パッチアンテナアレーの特性を実験的に評価し, 素子間隔を変えることによるビーム制御が可能であることを示し, 提案アンテナの有効性を明らかにする.

2. 2次元シート給電単素子パッチアンテナの設計

2-1. 2次元シートの構造

提案アンテナに用いる2次元シート[8]の構造を図1に示す. 2次元シートは3層構造で, 導体板・誘電体層・メッシュ層から構成される. 専用コネクタから給電され, 2次元シートの長手方向に電磁波が伝搬される. 2次元シートの表面にはエバネッセント波が形成され, 受信端子をいずれの位置に配置しても, 電力を受信することができる.

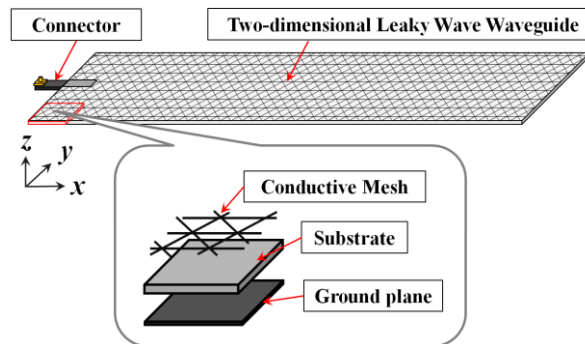


図1: 2次元シートの構造.

2次元シート上の電界強度は以下の式で表される[9].

$$E(x, z) = AC_0 \exp\left(j\frac{2\pi}{\lambda_d}x\right) \exp\left(-2\pi\sqrt{\frac{1}{\lambda_d^2} - \frac{1}{\lambda^2}}z\right) + A \sum_{n \neq 1} C_n \exp\left(j\frac{2\pi n}{d}x\right) \exp\left(-\frac{2\pi n}{d}z\right) \quad (1)$$

ここで、 A と C_n は定数、 λ は自由空間波長、 λ_d は実効波長、 d はメッシュサイズである。

電界強度は、2次元シート表面からの距離 z に対して指数関数的に減少するため、電磁波を2次元シート近傍に限定することができる。この特性を活かして、スマートシェルフという物品自動管理棚が検討されている[10]。

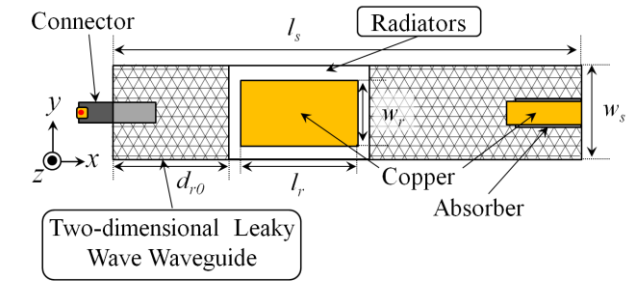
2次元シートの寸法は電界分布に関係する。2次元シートの幅方向の長さは、半波長と比べて長くなると、幅方向の定在波が形成されるため、一般に半波長より小さい寸法に設計される。幅方向の定在波については、給電コネクタを挟む形で1対のスリットを装荷することで、低減できることが報告されている[11]。

同様に、シート先端の条件も2次元シート上の電界分布に関係する。終端条件を解放・短絡とすると、長さ方向に定在波が形成される[10]。一方、終端に適切な負荷を接続することで、進行波が励振され、均一な電界分布が得ることができる。

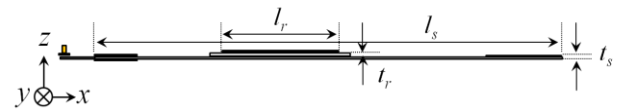
2-2. アンテナの構造

次に2次元シートが形成するエバネッセント波により給電される単素子パッチアンテナについて述べる。使用用途はUHF帯のRFIDシステムであるため、メッシュサイズは920 MHzで最適な特性を示すよう設計された2次元シートを用いている。幅方向に生じる定在波を低減するため、幅方向の長さは波長より短い寸法とした。2次元シート先端は、定在波が生じないように吸収体と導体膜により終端し、進行波を励振するよう設計した。2次元シート給電単素子パッチアンテナの構造を図2に、試作モデルを図3にそれぞれ示す。

放射素子は、通常のパッチアンテナの設計指針と同様に、放射素子の長さ方向が動作周波数920 MHzにおいて、半波長となるよう設計した。放射素子の幅方向は、後方への放射を低減するために、2次元シートより小さい寸法に設定した。また、放射素子と2次元シートの間には、発砲樹脂シートを挟んでいる。



(a)Top View.



(b)Side View.

The parameters of the antenna are $l_s = 500$ mm, $w_s = 100$ mm, $l_r = 125$ mm, $w_r = 70$ mm, $d_{r0} = 0 \sim 240$ mm, $t_s = 2$ mm and $t_r = 6$ mm.

図2: 2次元シート給電単素子パッチアンテナの構造。



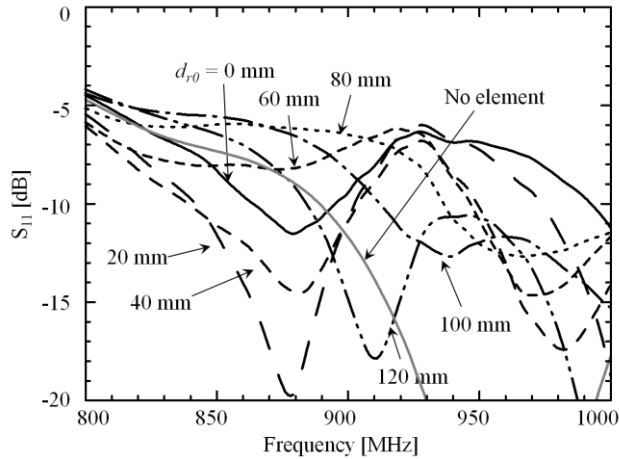
図3: 2次元シート給電単素子パッチアンテナの試作モデル。

2-3. アンテナの実験的特性

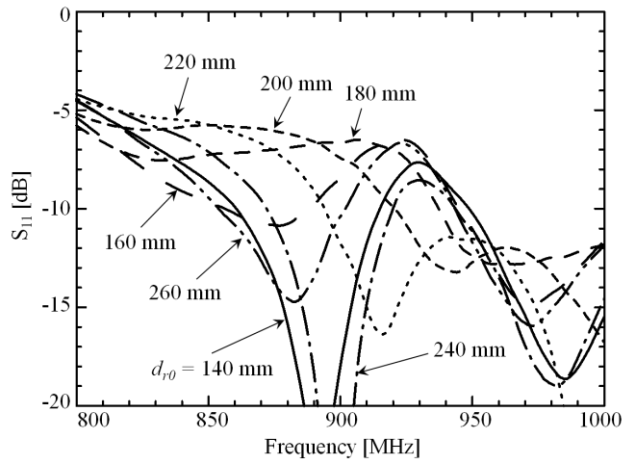
アンテナ試作モデルの反射係数と動作利得パターンの測定結果を図4, 5にそれぞれ示す。反射係数測定においては、素子位置 d_{r0} を0 mmから240 mmまで変化させて、それぞれの場合で測定を行った。動作利得パターンは、良い反射係数が得られた $d_{r0} = 120$ mmの場合と、放射素子を配置しない場合を示している。

反射係数は、素子位置 d_{r0} を変えることで大きく変化していることが分かる。動作周波数920 MHzにおいては、いずれの素子位置でも反射係数-6 dBを下回っている。 $d_{r0} = 120$ mmにおいて、-14.8 dBが得られた。

動作利得パターンについては、放射素子を配置しない場合は、大きな放射が見られないが、放射素子を配置することで、 z 方向にブロードな放射が見られた。最大放射方向における利得は、1.94 dBiであった。



(a) $d_{r0} = 0 \sim 120$ mm in 20 mm step, and No element.



(b) $d_{r0} = 140 \sim 260$ mm in 20 mm step.

図4：放射素子位置に対する反射係数の周波数特性。

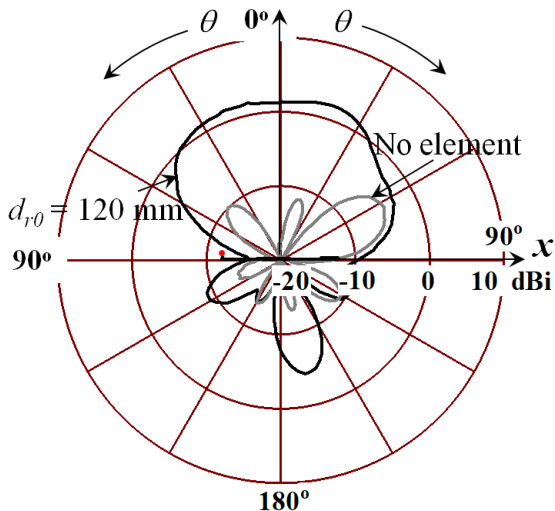
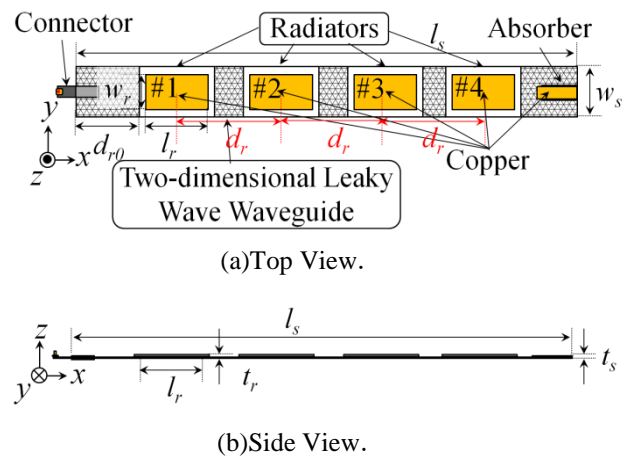


図5：2次元シート給電単素子パッチアンテナの動作利得パターン。

3. 2次元シート給電4素子パッチアンテナアレーの実験的特性

本章では、2章で設計したアンテナを4素子パッチアレーに拡張した場合について得られる動作利得及び主ビーム方向について述べていく。

2次元シート給電4素子パッチアンテナアレーの構造と試作モデルを図6, 7にそれぞれ示す。アレー化のために2次元シートの寸法を、500 mmから1000 mmへと2倍に拡張した。この寸法において、4素子の放射素子を配置した。



The parameters of the antenna are $l_s = 1000$ mm, $w_s = 100$ mm, $l_r = 125$ mm, $w_r = 70$ mm, $d_{r0} = 125$ mm, $d_r = 0.5\lambda_g \sim 0.8\lambda_g$ mm, $t_s = 2$ mm and $t_r = 6$ mm.

図6：2次元シート給電4素子パッチアンテナアレーの構造。



図7：2次元シート給電4素子パッチアンテナアレーの試作モデル。

アンテナアレーの反射係数及び動作利得パターンを実験的に明らかにした。反射係数及び動作利得パターンの測定結果を図9, 10にそれぞれ示す。素子間隔 d_r を $0.5\lambda_g$ から $0.8\lambda_g$ まで $0.1\lambda_g$ ステップで変えて、特性の変化を見た。

反射係数は素子間隔により変化しているが、動作周波数 920 MHz においては -8.4 dB を下回っている。

最大放射方向における利得は、 $d_r = 0.5\lambda_g \sim 0.8\lambda_g$ でそれぞれ 7.60 dBi, 7.90 dBi, 7.57 dBi, 7.90 dBi であった。主ビーム方向はそれぞれ、37 deg. ($\phi = 180$

deg.), 25 deg. ($\phi = 180$ deg.), 18 deg. ($\phi = 180$ deg.), 4 deg. ($\phi = 0$ deg.)であり、41 deg.の制御が可能であることを確認した。

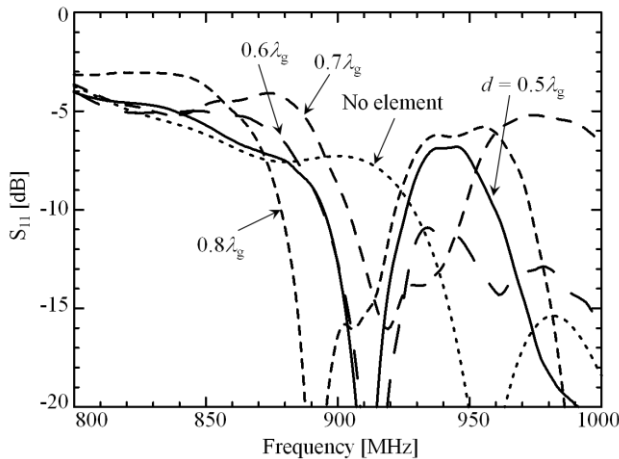


図 8：放射素子間隔に対する反射係数の周波数特性。

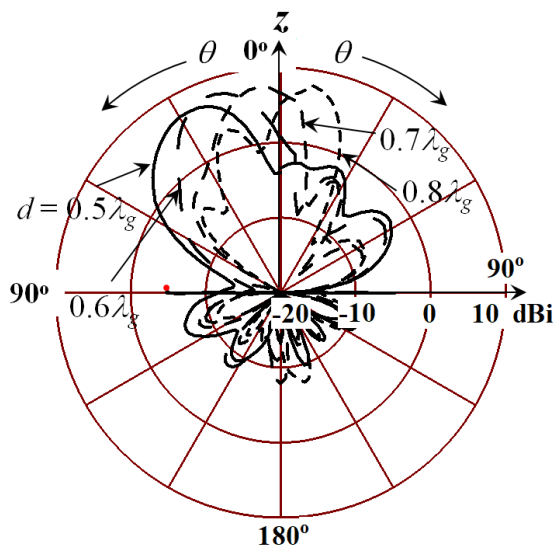


図 9：2次元シート給電4素子パッチアンテナレーの素子間隔に対する動作利得パターン。

4. まとめ

本稿では、UHF帯RFID向けの2次元シート給電4素子パッチアンテナレーを提案した。2次元シート給電単素子パッチアンテナの反射係数及び動作利得パターンの実験的評価から、2次元シートがパッチ素子を配置することで、放射することを確認した。また、4素子アレー化した場合に、動作利得7.6 – 7.9 dBiを達成し、主ビーム方向は素子間隔を $0.5\lambda_g$ – $0.8\lambda_g$ に変えることで、41 deg.の制御が可能であることを示した。

参考文献

- [1] K.Finkenzel, RFID HANDBOOK, USA, Wiley.
- [2] R.A. Pandhare, P.L.Zade, and M.P. Abegaonkar, “Beam-steering in microstrip patch antenna array using DGS based phase shifters at 5.2 GHz,” *2015 International Conference on Information Processing(ICIP) Vishwakarma Institute of Technology*. Dec 16-19, 2015.
- [3] Nicholas K, Chi-Chih Chen, and Felix, “Ku-Band Traveling Wave Slot Array Scanned Via Positioning a Dielectric Plunger,” *IEEE TRANSACTION ANTENNAS AND PROPAGATION. VOL.63, NO.12, DECEMBER 2015*.
- [4] Klaus Solbach, and Demirel, “Electro-Mechanical Beam Scanning Antenna Using Rotating Ridge Inside Waveguide Slot Array,” *2007 2nd International ITG Conference on Antennas*, 28-30 March 2007.
- [5] Keisuke Konno, Kenta Takeda, and Qiang Chen, “Beam scanning capability and suppression of endfire radiation of dipole array antennas coupled to two-wire parallel transmission line,” *IEICE Communications Express*, Vol.4, No.12, 358-362.
- [6] 目黒 巧巳, 陳 強, 澤谷 邦男, 根岸 毅人, 平野 義明, “2次元漏れ波伝送路給電によるパッチアレーアンテナの指向性制御の検討,” 信学ソ体, B-1-105, p.105, 2018年9月.
- [7] Naoshi Yamahira, Yasutoshi Makino, Hitoro Itai, and Hiroyuki Shinoda, “Proximity Connection in Two-Dimensional Signal Transmission,” *SICE-ICASE International Joint Conference 2006*, Oct.18-21, 2006.
- [8] “CELL FORM®”, 帝人株式会社, <https://www.teijin.co.jp/focus/recopick/info/>, (参照 2019-4-19)
- [9] Yasutoshi Makino, Naoshi Yamahira, and Hiroyuki Shinoda, “Proximity Connector for Two-Dimensional Electromagnetic Wave Communication,” *PROCEEDINGS OF THE 23RD SENSOR SYMPOSIUM*, 2006.pp.397~402.
- [10] Kuan-hua Chen, Qiang Chen, Kunio Sawaya, Machiko Oouchida, and Yoshiaki Hirano, “Diversity Reception of 920 MHz RFID Reader Antenna in Smart-Shelf System,” *2015 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, 9-12 Nov. 2015.
- [11] 小澤 佑介, 陳 冠華, 陳 強, 澤谷 邦男, 大内田 真智子, 平野 義明, “幅の広い2次元電波伝送路の伝搬特性の改善,” 信学ソ体, B-1-95, p.95, 2016年9月.