

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[†] 根岸 毅人[‡] 平野 義明[‡]

[†] 東北大学大学院工学研究科 通信工学専攻 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

[‡] 帝人株式会社 〒100-8585 東京都千代田区霞が関三丁目 2 番 1 号 霞が関コモンゲート西館

E-mail: [†] meguro-t@ecei.tohoku.ac.jp

あらまし 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している。本アンテナは、放射素子を給電用の2次元シート上に自由に配置できることが特徴である。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実験的に明らかにする。また、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.の可変範囲でビーム方向を制御できることを示している。

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

A Study of Two-dimensional leaky Wave Waveguide-fed Patch Antenna Array

Takumi MEGURO[†] Qiang CHEN[†] Kunio SAWAYA[†] Tsuyoto NEGISHI[‡] and
Yoshiaki HIRANO[‡]

[†] Department of Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University 6-6-05 Aramaki
Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579 Japan

[‡] TEIJIN LIMITED, Kasumigaseki Common Gate West Tower, 2-1, Kasumigaseki 3-chome, Chiyoda-ku, Tokyo,
100-8585, Japan

E-mail: [†] meguro-t@ecei.tohoku.ac.jp

Abstract Four-element patch antenna array fed by two-dimensional leaky wave waveguide is proposed. The radiating element can be placed at an arbitrary position above the feeding two-dimensional leaky wave waveguide. The characteristics of a two-dimensional leaky wave waveguide are presented, and the structures of single patch antenna fed by two-dimensional leaky wave waveguide are described. The reflection coefficient and the actual gain pattern of the antenna are investigated experimentally. Finally, the characteristics of the four-element patch antenna array fed by two-dimensional leaky wave waveguide are experimentally clarified. It is shown that the main beam direction can be controlled by changing the spacing of array elements within a range of 41 degrees.

Keywords two-dimensional leaky wave waveguide, RFID, patch antenna array

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、①扱える情報量が非常に大きい、②情報の読み書きができる、③見通し外通信が可能、④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タグはやや高価であったため、導入のためにはコスト面で障壁があった。しかし、近年の大量生産技術の発達により、RFIDタグの価格が下がり、次第に普及しつつある。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。このように、RFIDが導入される環境は多岐にわたるため、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

読取を安定して行うための様々な性能が求められている。

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、各素子の励振位相を調整することにより、ビームを任意の方向に制御することができるので、ビーム方向性制御可能なリーダーアンテナとして用いることができる[2]。ただし、移相器の挿入損失や、高コスト化、構造の複雑化が問題となる。そのため、アンテナの構造を機械的に変えることによりビーム方向制御を実現する研究が行われている。

導波管スロットアンテナの管内の進行波の位相定数を可変とすることによりビーム制御を可能とする研究が行われている。誘電体を挿入し、誘電体の位置を

変えることにより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].

また、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が研究されている。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機械的に変えることにより、励振される位相を調整し、ビーム方向を制御することができる[5],[6].

これらの手法に対して、著者らは新たな手法として、2次元漏れ波伝送路（以下、2次元シート）にパッチ素子を装荷するアンテナ、すなわち2次元シート給電パッチアンテナを提案してきた[7]。提案アンテナでは、エバネッセント波により放射素子を給電す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、放射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[8]。また、素子位置を調整することにより、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て、放射特性を調整することができる。

本報告では、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。まず、提案アンテナの基本となる単素子パッチアンテナの構造について述べ、その特性を実験的に評価する。次に、2次元シート給電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 2次元シート給電単素子パッチアンテナの設計

本章では、提案アンテナの基本となる、2次元シート給電単素子パッチアンテナについて述べる。まず、提案アンテナに用いる2次元シートの特徴について述べ、続いて2次元シート給電単素子パッチアンテナの構造及び実験的評価を行った結果について述べる。

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[9]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する。電界強度は、2次元シート表面からの距離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。

このシートによって生じる電界分布は、2次元シートの寸法に依存し、その幅が、半波長よりも長くなる

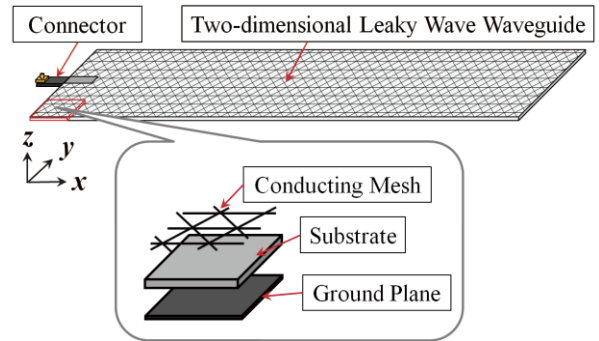


図1：2次元シートの構造。

と幅方向に定在波が形成されるため、通常は半波長以下に設定される。なお、幅を広げた場合に発生する定在波については、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により、低減できることが報告されている[10]。シート先端の条件も2次元シート上の電界分布を変化させる。先端を開放・短絡とすると、長さ方向に定在波が形成される[11]。一方、先端に適切な負荷を接続することにより終端すると、進行波が励振され、均一に近い電界分布を得ることができる。

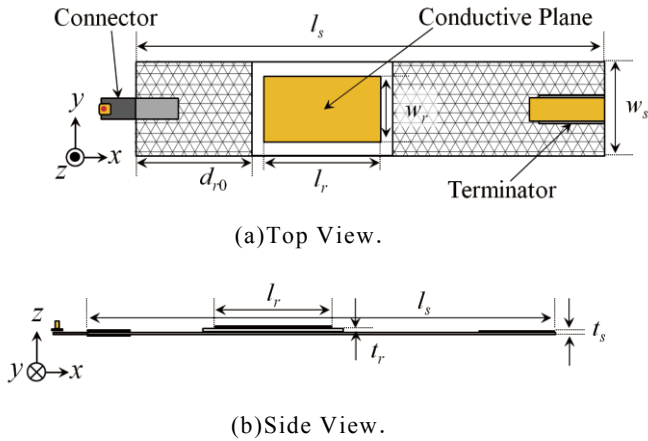
2.2 アンテナの構造

2次元シートが形成するエバネッセント波によって給電される単素子パッチアンテナについて述べる。2次元シートの幅 w_s は、幅方向に生じる定在波を低減するために、半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に設計した。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 l_r が動作周波数 920 MHz において半波長となるよう設定した。放射素子の幅 w_r は、後方への放射を低減するために2次元シート幅 w_s 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厚さ 6 mm の発泡樹脂シートを挟んでいる。

2.3 アンテナの特性の測定

図3に示す2次元シート給電単素子パッチアンテナの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、図5にそれぞれ示す。ここで、反射係数は2次元シートの給電点における反射係数であり、素子位置 d_{r0} を 80 mm から 200 mm まで変化させた場合を示している。動作利得パターンは、920 MHz で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} を変えることにより大きく



$l_s = 500 \text{ mm}$, $w_s = 100 \text{ mm}$, $l_r = 125 \text{ mm}$, $w_r = 70 \text{ mm}$, $d_{r0} = 0 \sim 360 \text{ mm}$, $t_s = 2 \text{ mm}$, $t_r = 6 \text{ mm}$.

図 2: 2次元シート給電単素子パッチアンテナの構造.

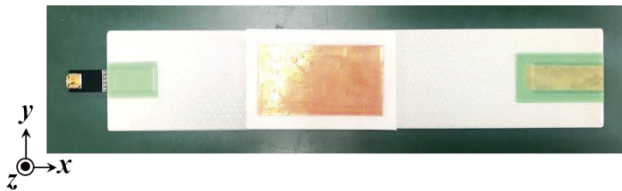


図 3: 2次元シート給電単素子パッチアンテナの試作モデル.

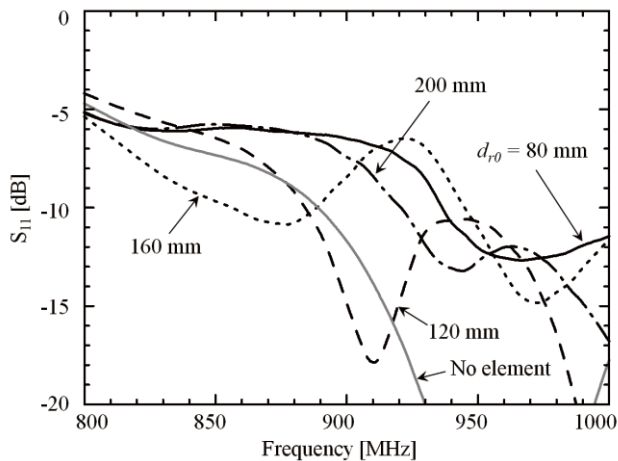


図 4: 放射素子位置に対する反射係数の周波数特性.

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 を下回っており, $d_{r0} = 120 \text{ mm}$ 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により, 最大放射方向が z 方向のブロードな放射が得られた. 最大放射方向における動作利得は, 1.9 dBi であった.

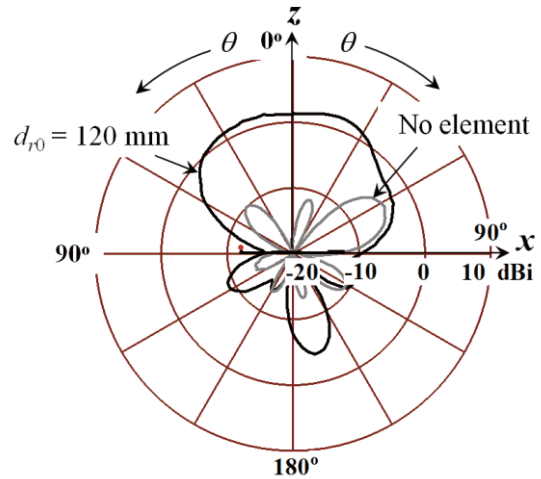
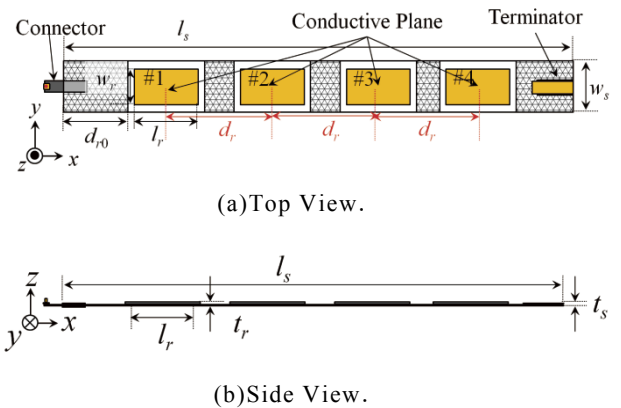


図 5: 2次元シート給電単素子パッチアンテナの E面における E_θ 成分の動作利得パターン.



$l_s = 1000 \text{ mm}$, $w_s = 100 \text{ mm}$, $l_r = 125 \text{ mm}$, $w_r = 70 \text{ mm}$, $d_{r0} = 125 \text{ mm}$, $d_r = 0.5\lambda_g \sim 0.8\lambda_g \text{ mm}$, $t_s = 2 \text{ mm}$, $t_r = 6 \text{ mm}$.

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.

3. 2次元シート給電 4素子パッチアンテナアレーの特性の測定

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る.

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. 2次元シート of の長さを $l_r = 1000 \text{ mm}$ とし, 4つの放射素子を配置した. パッチ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 8, 9にそれぞれ示す. ここで, 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, 特性の変化を測定した. 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



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.

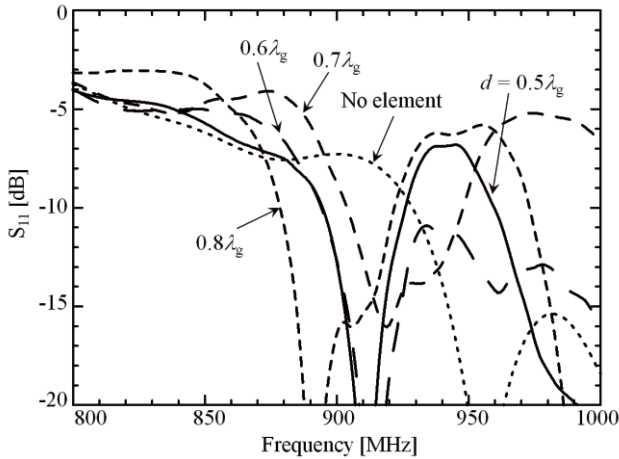


図 8: 放射素子間隔に対する反射係数の周波数特性.

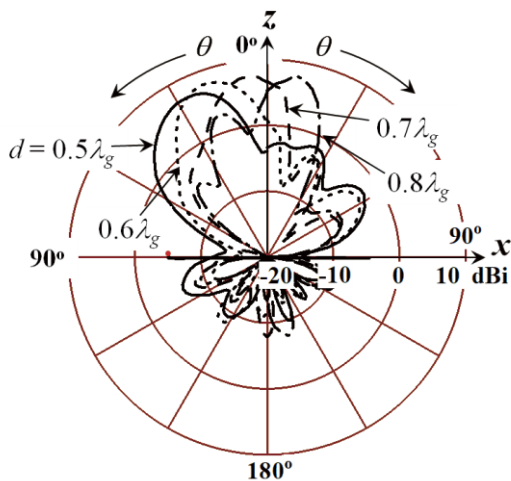


図 9: 2次元シート給電4素子パッチアンテナアレーの素子間隔に対する, E面における E_{θ} 成分の動作利得パターン.

おいては -8.4 dB を下回っている. 最大放射方向における動作利得は, $d_r = 0.5\lambda_g \sim 0.8\lambda_g$ でそれぞれ 7.6 dBi, 7.9 dBi, 7.6 dBi, 7.9 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.

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アレーを提案し, 基本となる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

作利得パターンを実験的に評価して, その特性を明らかにした. また, 2次元シート給電4素子パッチアンテナアレーは, 動作利得 7.6 – 7.9 dBi を達成し, 素子間隔を $0.5\lambda_g \sim 0.8\lambda_g$ に変えることにより, 41 deg. の範囲に亘って主ビーム方向の制御が可能であることを示した.

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] N.K. Host, C. Chen, J.L. Volakis and F. A. Miranda, "Ku-Band Traveling Wave Slot Array Scanned Via Positioning a Dielectric Plunger," IEEE Transaction Antenna and Propagation. Vol.63, No.12, Dec. 2015.
- [4] K. Solbach, and D. 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] K. Konno, K. Takeda, and Q. 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] K. Konno, T. Sekiguchi, H. Sato, and Q. Chen, "Continuous beam scanning performance of dipole array antenna coupled to meander two-wire parallel transmission line," IEICE Communications Express, Vol.6, No.8, 490-495.
- [7] 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.
- [8] Y. Makino, H. Itai, and H. Shinoda, "Proximity Connection in Two-Dimensional Signal Transmission," SICE-ICASE International Joint Conference 2006, Oct.18-21, 2006.
- [9] "CELL FORM®", 帝人株式会社, <https://www.teijin.co.jp/focus/recopick/info/>, (参照 2019-4-19)
- [10] 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.
- [11] K. Chen, Q. Chen, K. Sawaya, M. Oouchida, and Y. 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.