

## 920 MHz 帯 RFID 検知範囲の実験的検討

加藤 駿<sup>†</sup> 目黒 巧巳<sup>†</sup> 陳 強<sup>†</sup> 澤谷 邦男<sup>†</sup> 根岸 毅人<sup>‡</sup> 平野 義明<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 東北大学工学研究科 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

<sup>‡</sup> 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: <sup>†</sup> kato-s@ecei.tohoku.ac.jp

あらまし 920 MHz 帯における RFID 検知範囲限定手法の実験的検討について報告する. アンテナを 1 つ用いた場合と 2 素子アレーアンテナでモノパルス方式を用いた場合の RFID 通過検知実験結果を比較し, モノパルス方式の有効性を示している. また, 素子間隔を変更したときの検知範囲を実験的に評価し, 素子間隔を狭くすることによりサイドローブを低減することができ, 検知範囲の精度が向上することを示している.

キーワード RFID, モノパルス

## Experimental Examination of The 920 MHz Band RFID Detection Range

Shun KATO<sup>†</sup>, Takumi MEGURO<sup>†</sup>, Qiang CHEN<sup>†</sup>, Kunio SAWAYA<sup>†</sup>, Tsuyoto NEGISHI<sup>††</sup>, and Yoshiaki HIRANO<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Department of Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University 6-6-05 Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579 Japan

<sup>‡</sup> TEIJIN LIMITED, Kasumigaseki Common Gate West Tower, 2-1, Kasumigaseki 3-chome, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-8585, Japan

E-mail: <sup>†</sup> kato-s@ecei.tohoku.ac.jp

**Abstract** This paper describes an experimental study on a method for limiting the RFID detection range in the 920 MHz band. The effectiveness of the monopulse scheme is shown by comparing the results of RFID pass detection experiments using a single antenna and the monopulse scheme with a two-element antenna. In addition, we experimentally evaluate the detection range when the element spacing is changed, and show that the side-lobe can be reduced by narrowing the element spacing, and the accuracy of the detection range improves.

**Keywords** RFID, monopulse

### 1. まえがき

近年, 自動認識技術の分野において無線通信を利用した RFID(Radio Frequency Identification)技術が注目されている. この技術は従来のバーコードシステム等の技術と比較し, 扱える情報量が非常に大きく, 情報の書き込みが行えること. 無線通信を利用するため見通し外通信環境下でも読み取り可能であること. 複数の RFID タグを同時に読み取りが行えることなどが利点としてあげられる[1].

RFID システムの応用例として, 近傍界通信による物品の自動管理システムであるスマートシェルフ[2]や, RFID タグの一括同時読取機能を用いた商品の一括会計システムなどが挙げられる. そして, 最近では万引き防止や入退室管理システム等に用いられる検知ゲートなどの通過検知システムの応用, 研究が盛んに行わ

れている[3][4]. しかし, 従来の RFID 検知システムでは検知範囲がアンテナの照射範囲に依存し, RFID タグの所在位置を特定することが困難であるという問題があった. また, 両側にアンテナを設置するゲートシステムや, 吸収体をゲート付近に設置する方式で検知範囲の精度を向上できるが, システム全体が大きくなる問題がある. そのため, 小さいゲートシステムで誤検知を軽減する研究が行われてきた.

2 つのアンテナの受信電力差を用いて移動方向を推定することで所望の場所における通過検知を行う手法が報告されている[5]. しかし, この手法では環境に合わせてプログラムの最適化が必要であるという問題がある.

また, 検知範囲の精度を向上するためにモノパルス方式を用いる研究が報告されている[6]. ある素子間隔

で並べられた2つの同一アンテナを同相給電した場合、その放射パターンは正面にピークを持ち、逆相給電した場合は正面にヌルを持つため、それらのビームの振幅比は正面で最大になる。このことを利用して仮想的に鋭い主ビームを持った放射パターンを実現し、所望の範囲の通過検知を可能にするのが、モノパルス方式を用いた RFID 検知範囲の限定手法である。しかしながら、実際にこの手法を用いた RFID タグの通過検知や、素子間隔変更による検知精度の変化に関する実験的検討は行われていない。

そこで本報告ではモノパルス方式を用いた 920 MHz 帯 RFID リーダアンテナの検知範囲の限定手法について実験的に検討したので報告する。まず、1つのアンテナを用いた場合の RFID 通過検知特性を実験的に評価する。次に、モノパルス方式を用いた RFID リーダアンテナを提案し、素子間隔を最適化することで誤検知を軽減できることを示す。最後に、2つのアンテナを一体化した2素子パッチアレーアンテナを提案しその構造について述べ、その特性を実験的に評価する。

## 2. 従来の RFID 通過検知範囲

本章では一つのパッチアンテナを用いた場合の RFID 通過検知実験について述べる。

### 2.1. 実験環境

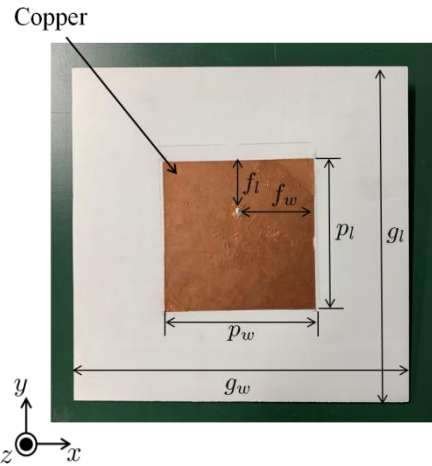
実験に用いた直線偏波パッチアンテナと暗室で入射電力 20 dBm, 周波数 920 MHz で測定した放射パターンをそれぞれ図 1, 2 に示す。パッチアンテナはグラウンド、誘電体、放射素子の3層構造であり、誘電体には発泡シート(誘電率: 1.3 F/m)を用いた。アンテナ利得は 7.8 dBi であった。 $\phi=180^\circ$ ,  $\theta=90^\circ$  方向の歪みがみられるが、これはケーブルからの放射が原因であると考えられる。

### 2.2. RFID タグ通過検知実験

図 3 に実験システムを示す。RFID タグは DogBone を使用し、書籍の表紙裏に張り付け図 4 の様に設置した。

リーダアンテナを  $x=0$  mm,  $y=2000$  mm の位置に設置し、RFID タグを張り付けた書籍を  $y=0$  mm から  $y=4000$  mm まで移動させ受信信号強度(RSSI(Received Signal Strength Indicator))を測定する操作を  $x=100, 700, 1300$  mm において行った。読み取り結果を図 5 に示す。RSSI が  $-50$  dB $\mu$ V 以上の位置を赤、 $-55$  dB $\mu$ V 以上  $-50$  dB $\mu$ V 未満を橙色、 $-60$  dB $\mu$ V 以上  $-55$  dB $\mu$ V 未満を黄色、 $-60$  dB $\mu$ V 未満を灰色で示している。

$x=100$  mm において RSSI が  $-50$  dB $\mu$ V 以上の範囲は多くのタグで 500 mm であることが分かる。また、リーダ



$g_w = 300$  mm,  $g_l = 300$  mm,  $p_w = 140$  mm,  $p_l = 140$  mm,  $f_w = 70$  mm,  $f_l = 50$  mm

図 1: パッチアンテナ

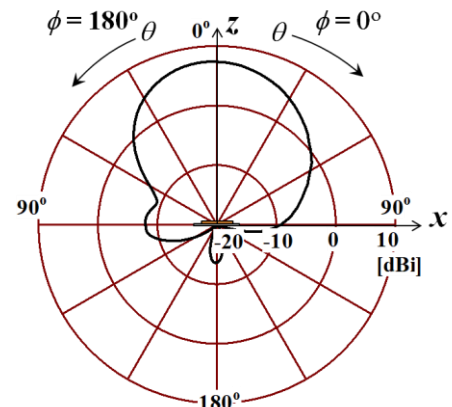


図 2: 放射パターン(H面  $E_\phi$  成分, 入射電力 20 dBm, 周波数 920 MHz)

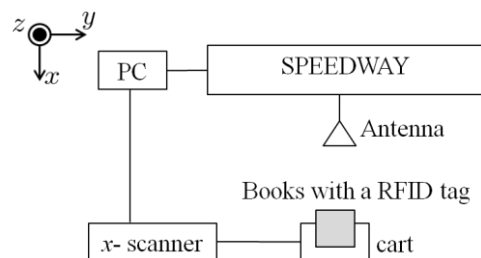


図 3: 実験システム



図 4: 検知対象

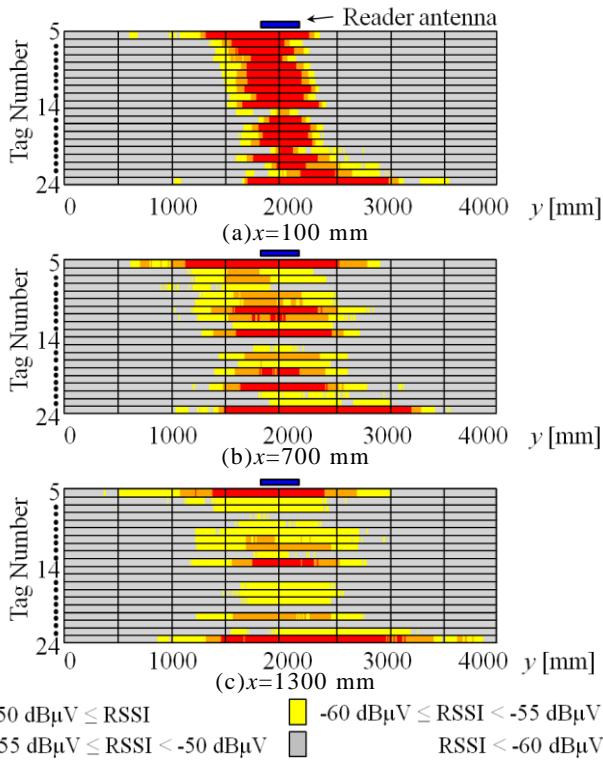


図 5 : RFID 通過検知実験結果

アンテナからの距離が離れるほど各タグからの RSSI が小さくなり、 $x=1300$  mm ではほとんどが  $-50$  dB $\mu$ V 未満であった。

### 3. モノパルス方式を用いた RFID 通過検知範囲

本章では、モノパルス方式を用いたリーダアンテナによる RFID 通過検知の高精度化の実験的検討について述べる。

まず、前述のパッチアンテナを 2 つ並べてアレーアンテナを構成する。次に、そのアレーアンテナに同相給電した時の放射パターン( $\Sigma$ パターン)と逆相給電した時の放射パターン( $\Delta$ パターン)を測定し、その結果を示す。そして、アレーアンテナを用いた RFID 通過検知実験の結果について述べる。続いて、素子間隔に対する放射パターンの変化を示し、RFID の誤検知を軽減するためには、素子間隔の短縮によるサイドローブの低減が有効であることを明らかにする。

#### 3.1. $\Sigma$ , $\Delta$ パターン

暗室において測定した  $\Sigma$ ,  $\Delta$  パターンを図 6 に示す。正面方向において  $\Sigma$  パターンはピークが、 $\Delta$  パターンはヌルがそれぞれ得られていることを確認した。

#### 3.2. RFID 通過検知実験

実験システムを図 7 に示す。前述と同様の手順を用いて同相給電、逆相給電のそれぞれで RFID 通過検知実験を行った。読み取り結果を図 8 に示す。

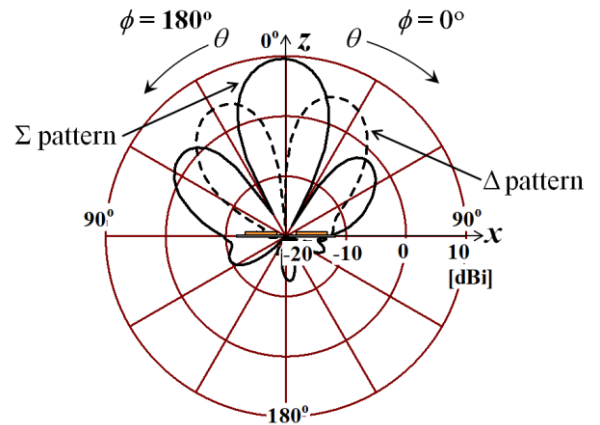


図 6 :  $\Sigma$ ,  $\Delta$  パターン(H 面  $E_\phi$  成分, 入射電力 20 dBm, 周波数 920 MHz)

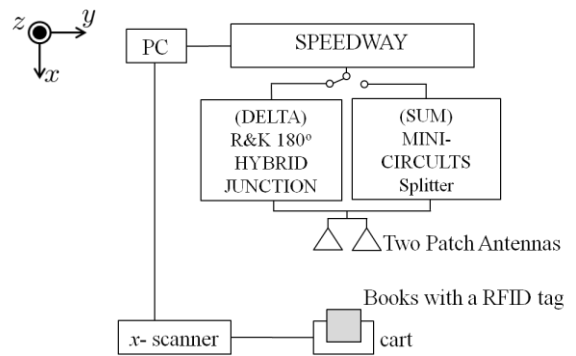


図 7 : 実験システム

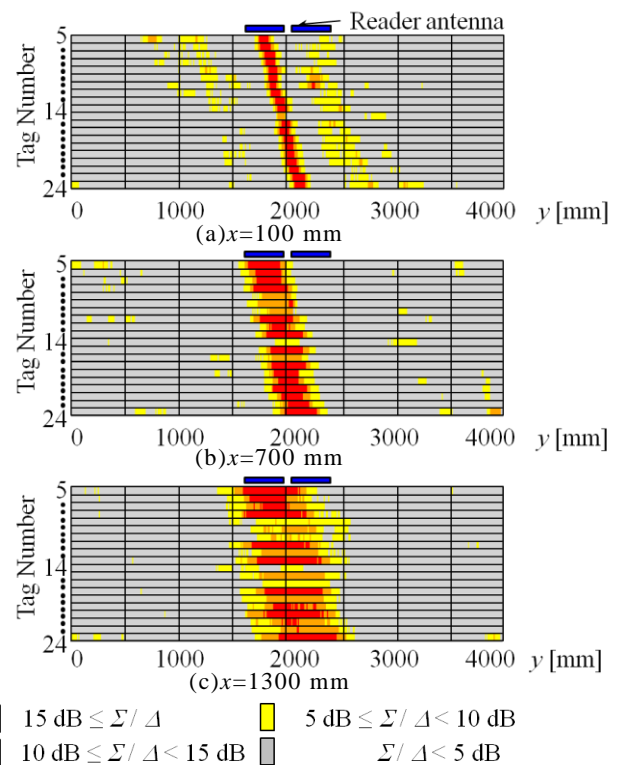


図 8 : RFID 通過検知実験結果

同相給電時と逆相給電時の RSSI の比を  $\Sigma/\Delta$  とした時、 $\Sigma/\Delta$  が 15 dB 以上の範囲を赤色、10 dB 以上 15 dB 未満を橙色、5 dB 以上 10 dB 未満を黄色、5 dB 未満を灰色で表している。

$\Sigma/\Delta$  が 5 dB 以上の範囲を検知範囲と考えると、 $x=100$  mm において検知範囲は 200 mm 以内、 $x=1300$  mm では約 700 mm 以内であった。単一のアンテナの場合と比較し、検知範囲が狭いことからモノパルス方式により検知範囲を限定できていると言える。リーダアンテナからの距離  $x$  が大きいほど読み取り範囲が広くなり検知できないタグが増えていることが確認された。また、リーダアンテナからの距離が近いほど、所望の範囲以外での誤検知(ノイズ)が多いという結果が得られた。

ノイズの原因として、マルチパスの影響や  $\Sigma$  パターンのサイドローブによる影響が考えられる。

### 3.3. 素子間隔に対する $\Sigma$ , $\Delta$ パターンの変化

ノイズの一因と考えられる  $\Sigma$  パターンのサイドローブを軽減することを目的に、素子間隔を短縮した時の  $\Sigma$ ,  $\Delta$  パターンを測定した。周波数 920 MHz における自由空間波長を  $\lambda$  とし、変更前の素子間隔  $L=0.92\lambda$  から  $0.06\lambda$  ステップで  $L=0.68\lambda$  まで変化させたときの測定結果を図 9 に示す。

$\Sigma$  パターンは素子間隔を小さくすることによりサイドローブが小さくなり、 $L=0.68\lambda$  において -6 dBm 未満まで抑制されていることを確認した。また、同時にメインビーム幅は大きくなっていった。このことより、素子間隔短縮によりノイズの軽減と検知範囲がトレードオフの関係になる可能性が考えられる。

一方、 $\Delta$  パターンは放射の大きさの変化が小さく、素子間隔が小さいほど  $\theta=90^\circ$  方向に放射パターンが広がっていることが分かる。

### 3.4. 素子間隔短縮時の RFID 通過検知実験

図 7 の実験システムを用い、 $\Sigma$  パターンのサイドローブが最も小さい  $L=0.68\lambda$  で前述と同様の RFID 通過検知を行った。読み取り結果を図 10 に示す。

素子間隔  $L=0.92\lambda$  の結果である図 8 と比較し、ノイズが低減されていることが確認された。よって、ノイズの一因は  $\Sigma$  パターンのであり、サイドローブの抑制によりノイズを軽減できると言える。

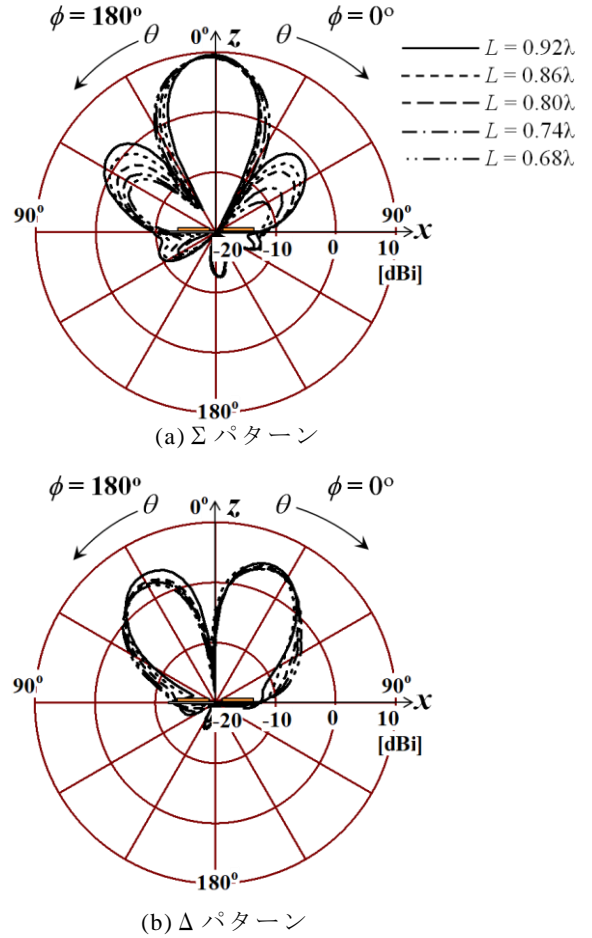


図 9 : 素子間隔変更時の放射パターン(H 面  $E_0$  成分, 入射電力 20 dBm, 周波数 920 MHz)

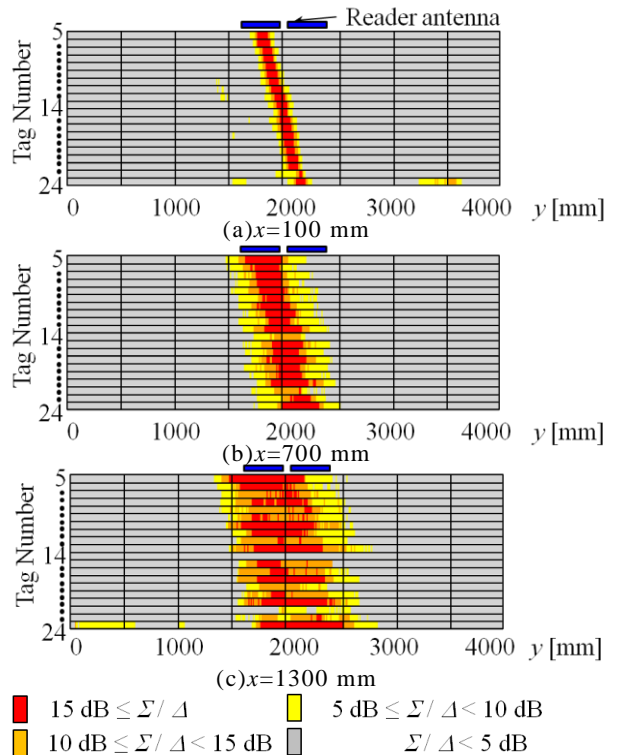
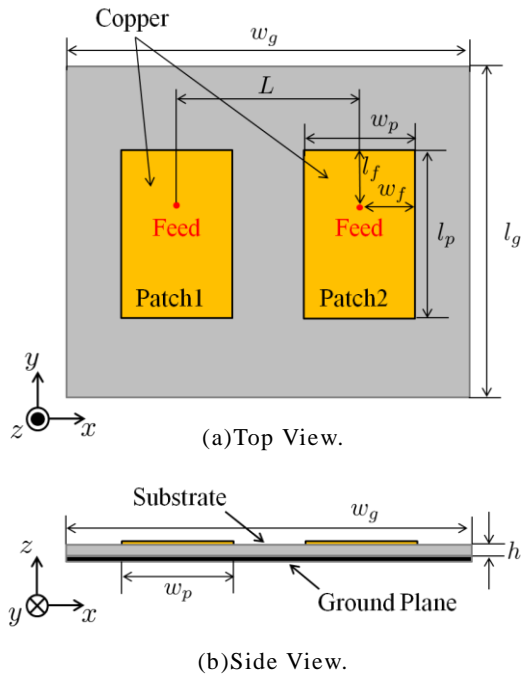


図 10 : RFID 通過検知実験結果 (素子間隔  $L=0.68\lambda$ )



$w_g = 351 \text{ mm}$ ,  $l_g = 285 \text{ mm}$ ,  $w_p = 96.5 \text{ mm}$ ,  $l_p = 145 \text{ mm}$ ,  $l_f = 48.6 \text{ mm}$ ,  $w_f = 48.25 \text{ mm}$ ,  $L = 160 \text{ mm}$ ,  $h = 2 \text{ mm}$

図 11: 一体化した 2 素子パッチアレーアンテナの構造

#### 4. 一体化した 2 素子パッチアレーアンテナによる RFID 通過検知範囲

前章では、アレーアンテナの素子間隔を短くするとサイドローブが低減され、検知範囲の精度が向上することが明らかになった。

本章では 2 つのパッチアンテナを一体化し、素子間隔を更に短く、放射素子を小さくすることで小形化する。

このようなアレーアンテナでは、サイドローブが更に低減され、ノイズを更に減らせると期待できる。まず、アンテナの構造について述べ、続いてその放射パターン、RFID 通過検知実験の結果について述べる。

##### 4.1. 提案アンテナの構造

提案アンテナの構造を図 11 に、試作した小形パッチアンテナを図 12 に示す。アンテナの材料は図 2 のパッチアンテナと同様である。素子間隔は  $0.5\lambda$  であり、前章で最も短い素子間隔であった  $L=0.68\lambda$  よりも短く、ノイズの低減が期待できる。

##### 4.2. 放射パターン

暗室において測定したアレー素子パターンを図 13 に、アレーアンテナの  $\Sigma$ ,  $\Delta$  パターンを図 14 にそれぞれ示す。

図 13 より、各素子のアンテナ利得は約 4.2 dBi であった。図 2 同様、 $\Phi=180^\circ$ ,  $\theta=90^\circ$  方向にケーブル

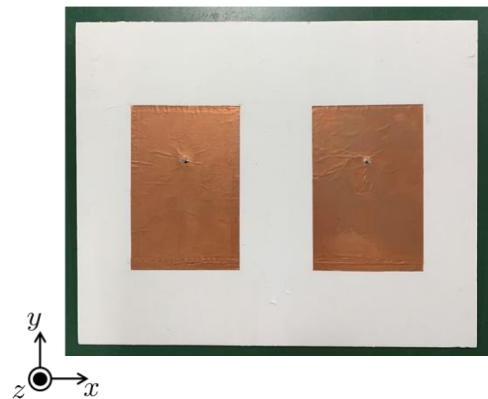


図 12: 一体化した 2 素子パッチアレーアンテナの試作モデル

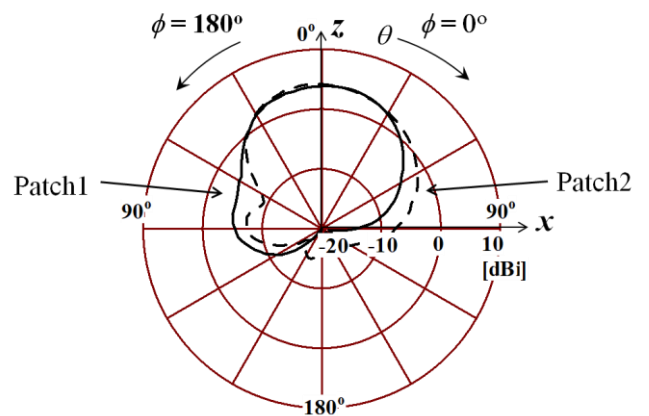


図 13: アレー素子パターン(H 面  $E_0$  成分, 入射電力 20 dBm, 周波数 920 MHz)

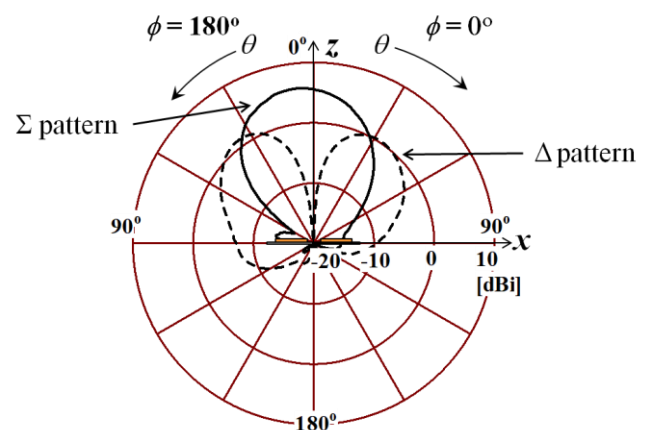


図 14:  $\Sigma$ ,  $\Delta$  パターン(H 面  $E_0$  成分, 入射電力 20 dBm, 周波数 920 MHz)

からの放射による影響がみられる。

図 14 より、素子間隔を短縮したことでサイドローブを -14 dB 以下まで軽減できていることが分かる。

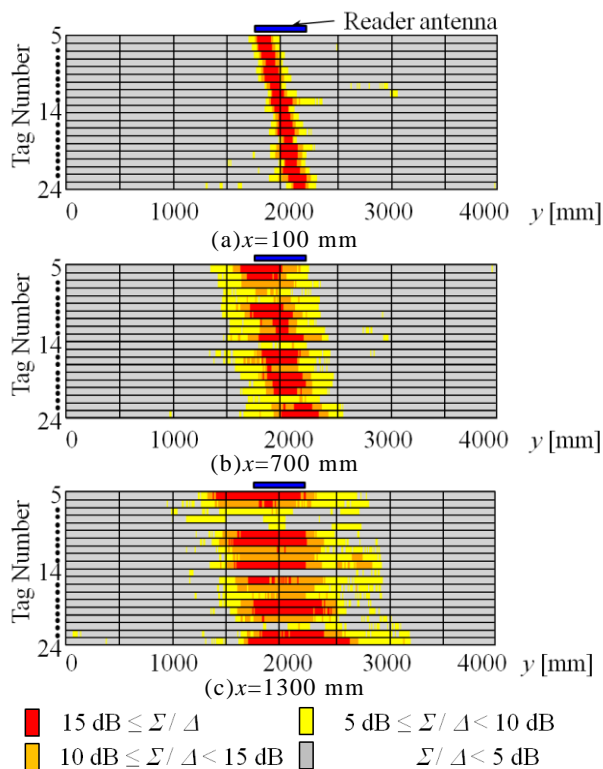


図 15 : RFID 通過検知実験結果

### 4.3. RFID 通過検知実験

これまでと同様の方法で RFID 通過検知実験を行った。読み取り結果を図 15 に示す。

一部のタグにおいてノイズがみられた。これは、マルチパスによる影響が一因であると考えられる。

また、図 10 と比較し検知範囲が広がり、遠距離において検知精度が悪化していることが確認された。検知範囲の拡大は、 $\Sigma$  パターンのメインローブの半値幅が図 9(a) $L=0.68\lambda$  の放射パターンに比べ大きいためであると考えられる。検知精度の悪化は、各素子の利得が図 1 のアンテナに比べ小さいことが原因であると考えられる。

### 5. まとめ

本稿では、920 MHz 帯における RFID 検知範囲の限定手法についてモノパルス方式を用いた RFID 通過検知と素子間隔変更時の影響について実験的検討を行った。モノパルス方式を用いることで、近距離から遠距離まで検知範囲を限定することが可能であることを示した。

また、素子間隔を短縮することで所望の範囲以外での検知を低減できることを示した。

### 文 献

[1] K.Finkenzel, RFID HANDBOOK, USA,Wiley

[2] 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.

[3] S. Kawdungta, C. Phongcharoenpanich and D. Torrungrueng, "Design of flat spiral rectangular loop gate antenna for HF-RFID systems," 2008 Asia-Pacific Microwave Conference, Macau, 2008, pp. 1-4.

[4] G. Benelli, S. Parrino and A. Pozzebon, "Possible configurations and geometries of long range HF RFID antenna gates," 2009 6th International Symposium on Wireless Communication Systems, Tuscany, 2009, pp. 46-50. "Possible configurations and geometries of long range HF RFID antenna gates, "

[5] Y. Oikawa, "Tag movement direction estimation methods in an RFID gate system," 2009 6th International Symposium on Wireless Communication Systems, Tuscany, 2009, pp. 41-45.

[6] K. Aoki, T. Sakogawa and F. Kuroki, "An antenna having wide radiation pattern but narrow beam in operation based on monopulse system for security gate applications at UHF band," 2017 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), Phoenix, AZ, 2017, pp. 132-134.