

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 14 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560435

研究課題名(和文) 単一伝送路を適用したRFIDによる低コスト・スマートシェルフの実現

研究課題名(英文) The smart shelf using RFID systems applying a single wire transmission line

研究代表者

武田 茂樹 (Takeda, Shigeki)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：50323209

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,400,000円、(間接経費) 1,320,000円

研究成果の概要(和文)：RFIDタグは、開発当初、様々な分野への応用が検討された。物の追跡、棚卸、在庫管理、また自動決済などが応用分野として検討された。しかし、タグの価格やサイズの問題で、初期に利用分野として想定されていた分野のすべてにおいて有効に活用できるわけではないということが明らかになってきている。その中で、図書館等での書籍の管理や、企業における重要書類管理は、RFIDの特性が生かせる分野である。上記の分野では、書籍や書類は持ち出されるが、その後また返却される。従って初期投資が有効に長期間活用できる。本課題では単一伝送路を利用し、本に貼り付けられたタグを読み取る本管理システムを提案した。

研究成果の概要(英文)：When an RFID system was developed, it is thought that this technology could be introduced to various kind of industrial and commercial applications. The discussed fields include traceability, inventory management, and automatic Payment System. However due to problems of price and size of RFID tags, it becomes clear that RFID tags cannot be introduced to all the fields that was discussed in the beginning. Among the discussed fields, the management of books in libraries and documents in companies is suitable for RFID to apply. In this application, although books and documents are taken out, they are probably returned. Therefore, initial investment can be exploited for relatively long term. In this research, the books management system using RFID systems applying a single wire transmission line has been proposed.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：アンテナ RFID

1. 研究開始当初の背景

RFID (Radio Frequency Identification) タグは、開発当初、様々な分野への応用が検討された。物の追跡、棚卸、在庫管理、また自動決済などが応用分野として検討された。しかし、タグの価格やサイズの問題で、初期に利用分野として想定されていた分野のすべてにおいて有効に活用できるわけでは無いということが明らかになってきている。その中で、図書館等での書籍の管理や、企業における重要書類管理は、RFID の特性が生かせる分野である。上記の分野では、書籍や書類は持ち出されるが、その後また返却される。従って初期投資が有効に長期間活用できる。

RFID を用いて書籍や書類の管理を行うために、国内外において、いくつかの研究が行われている。

しかし、13.56MHz 帯の RFID システムを用いたスマートシェルフでは、各棚に多数のループアンテナを設置する必要があるため、製造コストが増加する欠点がある。また UHF (Ultra High Frequency) 帯 RFID と、リーダアンテナとしてグラウンド板を有するマイクロストリップラインを用いたものも提案されているが、材料や製作コストが増加する問題がある。

2. 研究の目的

本研究課題では、RFID タグを用いた図書館における本の自動認識技術の低コスト化を目指す。このシステムを低コストスマートシェルフと呼ぶ。ここでは、これまでに研究代表者らが蓄積してきた RFID や新しい簡易な電磁波伝送技術である単一伝送路を用いて、先に挙げた問題点を解決することを目的とする。

3. 研究の方法

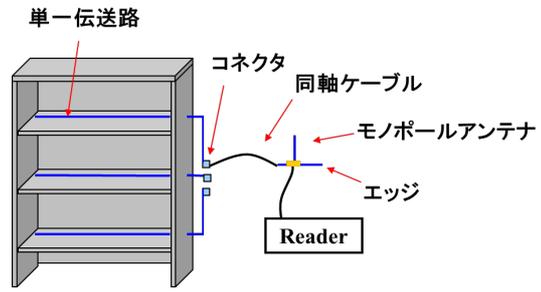
ここでは、以下の3つの課題を解決するために、電磁界解析によるシステム設計と、UHF 帯 RFID タグを用いた実験的評価を行った。

- 課題(1) デッドスポットの回避技術の開発
- 課題(2) 多数のタグが存在する同時読み取り特性の評価
- 課題(3) 単一伝送路に折り曲げ構造を適用した場合の特性解析

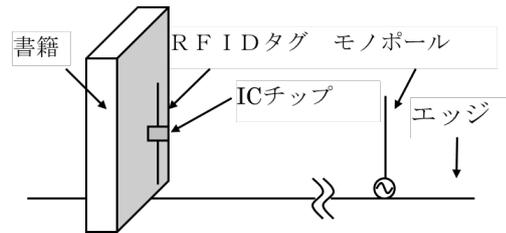
4. 研究成果

(1) 提案する読み取りシステム

本研究で提案する書籍管理システム及び単一伝送路を図1に示す。単一伝送路は、モノポール長とエッジ長を調整することにより整合をとり、伝送路近傍に置かれた RFID タグの読み取りを可能としている。複数段の読み取りも可能であるが、位置の特定も考慮に入れ、図1に示すように単一伝送路にコネクタを接続し1段ごとの読み取りを想定する。



(a) 単一伝送路の適用イメージ



(b) 単一伝送路の概略図

図1 書籍管理システム

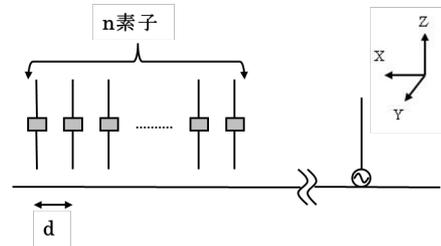


図2 同時読み取りイメージ

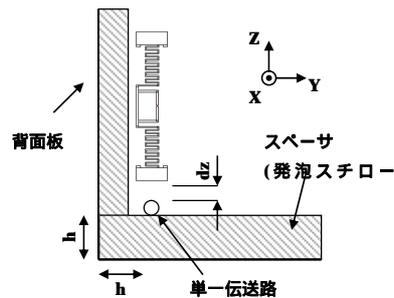


図3 タグと金属棚及び伝送路の位置関係

同時読み取りのイメージ図を図2に示す。RFID タグを素子間隔  $d$  で  $n$  個並べる。図3に RFID タグと金属棚、単一伝送路の位置関係を示す。図1に示すように、RFID タグを本に対して縦になるように貼り付けることを想定する。

(2) 解析

解析モデル

タグモデルを図4に示し、そのタグの諸特性を表1に示す。解析モデルを図5及び図6に示す。リーダライタと単一伝送路を実際に接続する際のことを考慮し、本棚端で単一伝送路を手前へ折り返す構造としている。図6に示すように、伝送路が金属棚を通過する箇所には  $10[\text{mm}]$  の正方形の穴を開けた。本解析

の諸特性を表 2 に示す。金属棚は一段の横幅 858[mm]、高さ 327[mm]、奥行 238[mm]の本棚を想定した。単一伝送路についてはモノポール長 73.7[mm]、エッジ長 81[mm]、読取ワイヤ長 878[mm]であり、導線半径は 0.6[mm]とした。単一伝送路と金属棚の間隔は y 軸 z 軸共に  $h=20$ [mm]とした。また、図 4 に示したように使用するタグは 953[MHz]の UHF 帯 RFID タグとし、タグを 80[mm]間隔で 10 個設置し、タグの受信電力及び電界強度  $E_z$  の解析を行った。単一伝送路と RFID タグの間隔は 5 [mm]とした。また、本を置くために、本棚の底と背面にスペーサの設置を想定した。入力電圧 14[V](電源インピーダンス 50[ $\Omega$ ])、送信電力は 30[dBm]とした。

表 1 RFID タグ

周波数 [MHz]	953
インピーダンス [ohm]	46.35+j102.24

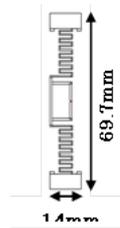


図 4 タグモデル

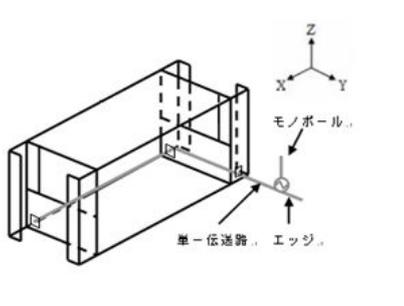
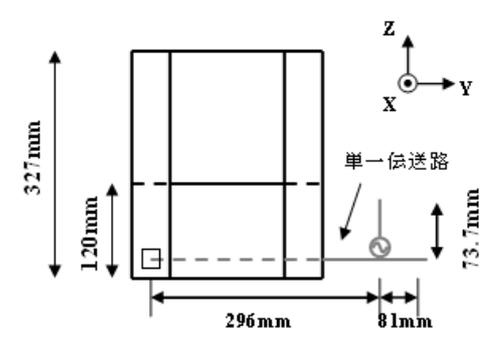
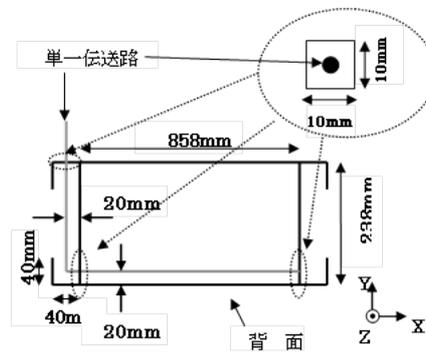


図 5 解析モデル



(a) yz 面



(b) xy 面

図 6 解析モデル

表 2 解析モデルの諸特性

周波数 [MHz]	953
n	10
d [mm]	80
h [mm]	20
dz [mm]	5

### 解析結果

本棚が金属製でない場合や、本棚の背面板がない場合も想定し、金属棚の場合、背面板がない金属棚の場合及び金属棚がない自由空間の場合について解析を行った。自由空間の場合の VSWR は 1.15、金属棚がある場合の VSWR は 1.568、背面板がない場合の VSWR は 1.595 で整合が取れていることを確認した。単一伝送路の折り返し点を原点( $x=y=z=0$ )とする。x 軸と平行な伝送路について  $z=5$ [mm] 平行移動したラインに電界強度  $E_z$  の観測線をひいたグラフを図 7 に示す。また、 $x=348$ [mm]における z 軸方向の電界強度  $E_z$  のグラフを図 8 に示す。図 7、8 から、自由空間における電界強度  $E_z$  が最も大きいことがわかる。

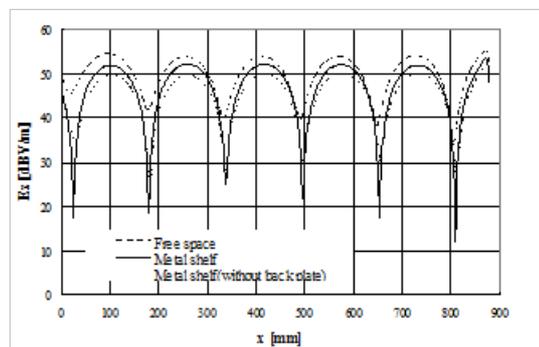


図 7 電界強度  $E_z$

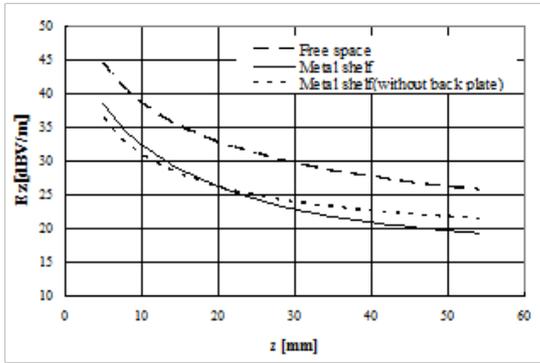


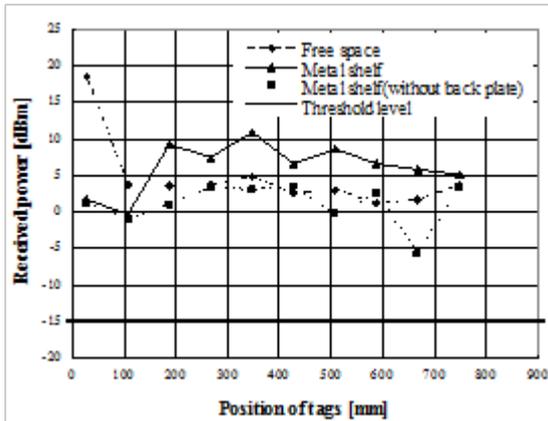
図8 電界強度 Ez

表3 タグの受信電力

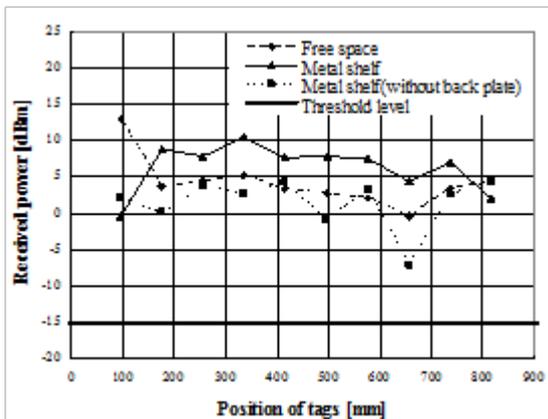
	受信電力 [dBm]
伝送路のみ	12.83
金属棚	8.21
金属板(背面板なし)	7.16

#### タグ1個の受信電力

タグを 348[mm]の位置に置いた場合の受信電力を表3に示す。タグを1個おいた場合、自由空間の受信電力が最も大きく、金属棚あり、背面板なしと比べ 4.62~5.67[dBm]高い。自由空間の受信電力が大きいことは電界強度 Ez と対応している。



(a) タグの先頭 28 [mm]



(b) タグの先頭 96 [mm]

図9 タグ10個の受信電力

#### タグ10個の受信電力

タグを10個同時においた場合の受信電力を図9に示す。縦軸は受信電力を示し、横軸は単一伝送路の折り返し点を  $x=0$  [mm]としたタグの位置を示す。また、タグが読み取れる受信電力しきい値は -15 [dBm]である。タグの先頭を 28[mm]及び 96[mm]においた場合について解析を行った。

図9の受信電力の結果から、10個全てのタグにおいて十分にしきい値を上回り、読み取れることがわかる。また、自由空間にタグを並べた場合、モノポールに最も近い先頭のタグの受信電力が大きくなるが、それ以降のタグは小さいことがわかる。このことはタグの先頭の位置をずらしても変わらない。金属棚の場合、逆に先頭のタグが低くそれ以降のタグは高くなっていることがわかる。背面板のない場合については全てのタグにおいてほぼ一定の受信電力を保っていることがわかる。また、自由空間と金属棚を比較すると、金属棚の方が一部タグを除き 4~5[dBm]程度受信電力が高い傾向にあることがわかった。しかし、背面板がない場合においては自由空間の場合よりも 2~3[dBm]程度受信電力が低下してしまう。

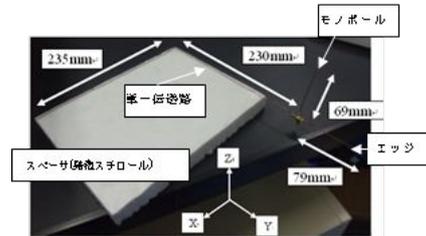


図10 作成した単一伝送路

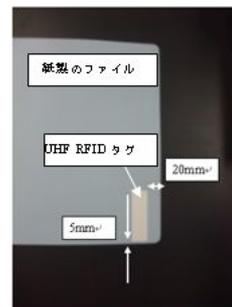


図11 タグ貼り付け位置

### (3) 実験

#### 実験モデル

使用する周波数は 952~954 [MHz]であり、パッシブタグである。本実験は電波暗室内で行った。

本実験で実際に作成した単一伝送路を図10に示す。タグを読み取るワイヤ長を 235 [mm]の点で手前へ折り返し、単一伝送路の奥行きを 230 [mm]とした。モノポール長は 69[mm]、エッジ長は 79[mm]とした。実験に使用したファイルの寸法は 305[mm](縦) × 230[mm](横) × 18[mm](厚さ)であり、タグをファイルに対して縦になるように、ファイル

の角に貼り付けた。タグの貼り付け位置を図 11 に示す。また、タグ読み取りの実験モデルを図 12 に示す。図 12 の実験モデルの右端のファイルを 1 番目のファイルとし、左へ順に 13 番目のファイルとする。本実験では図 12 に示すように 13 個の RFID タグを素子間隔 18[mm] (ファイルの厚さ) で配置し、13 個同時読み取りを 100 回行い、何回読み取れたかで読み取り率を評価した。また、送信電力を 18dBm、24dBm、30dBm にして実験を行った。

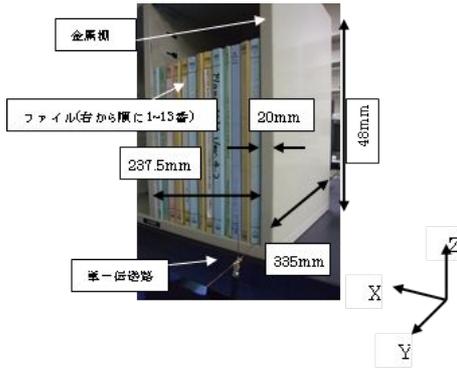


図 12 実験モデル

#### 実験結果

実験は金属棚ありの場合、金属棚がない自由空間の場合について行った。金属棚の場合の実験結果を図 13 に示し、金属棚でない場合の実験結果を図 14 に示す。また、金属棚ありの場合の VSWR は 1.240、金属棚なしの場合の VSWR は 1.285 と整合が取れていることを確認した。

実験結果から金属棚ありの場合、単一伝送路の終端に最も近い 13 番目のタグを除き、全てのタグが十分に読み取れていることが確認できた。13 番目のタグが読み取れない事については、金属棚とタグの間隔が極めて狭く平行であるため、金属表面では電界の接線成分が 0 であるため、十分にタグが電力を受信できていないことが原因だと考えられる。また、金属棚なしの場合、8 番目のタグが全く読み取れず、送信電力を下げると 4 番目のタグも全く読み取れなくなることが確認できた。これは単一伝送路上の定在波の影響である。金属棚ありの場合、読み取り率が良くなる結果は解析結果とも一致する。

#### (4) まとめ

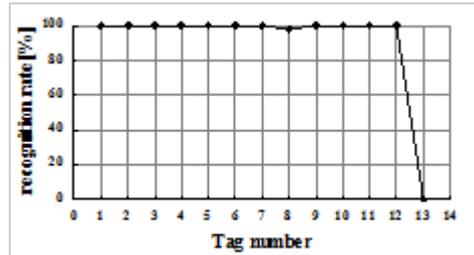
図書館等の書籍管理システムとして、UHF 帯 RFID タグ及び簡易構造を有する単一伝送路を利用し、本棚を一段ずつ管理することを想定し、本に貼り付けられたタグを読み取る本管理システムを提案した。

解析においては、提案した本棚構造で十分にタグの読み取りしきい値を超えることが確認できた。また、金属製の本棚では、そうでない場合に比べ受信電力が増加することが確認できた。

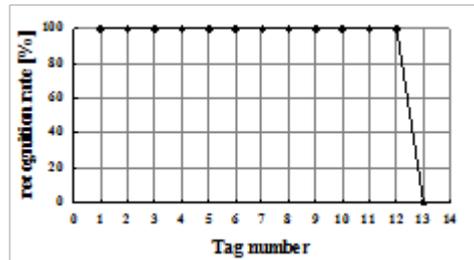
実験においては、金属棚なしの場合、全く

読み取れないタグがあることを確認した。金属棚ありの場合、単一伝送路終端のタグが全く読み取れなくなってしまうが、終端を除く全てのタグで読み取り率が高くなっていることを明らかにした。

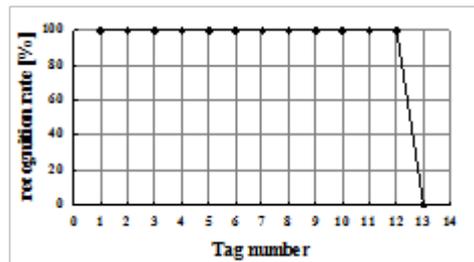
ここでは、単一伝送路の研究結果を中心に述べた。しかしタグ側の特性評価も全体システムを考える場合には重要である。これについても、検討を行った。



(a)

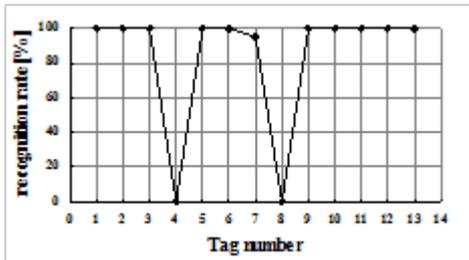


(b)

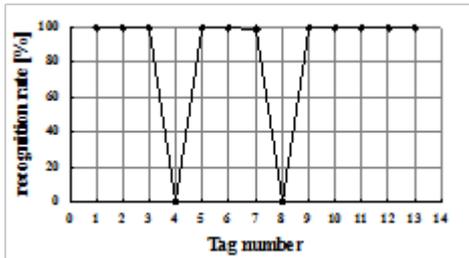


(c)

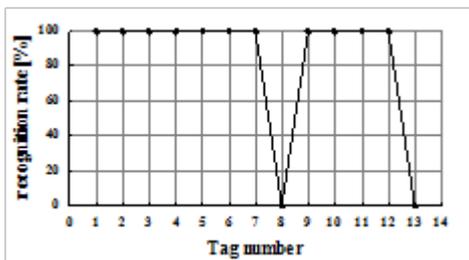
図 13 金属棚を使用したタグの読み取り率 (送信電力 (a)18dBm、(b)24dBm、(c)30dBm)



(a)



(b)



(c)

図 14 金属棚を使用しないタグの読み取り率 (送信電力 (a)18dBm、(b)24dBm、(c)30dBm)

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

内田涼仁, 増田大輝, 武田茂樹, 鹿子嶋憲一, 梅比良正弘, "書籍に埋め込まれた 2.45GHz 帯 RFID タグの放射特性に関する検討," 信学論 B, vol.J96-B, no.11, pp.1272-1283, Nov. 2013. 査読有

内田涼仁, 武田茂樹, 鹿子嶋憲一, "書籍に貼り付けた 2.45GHz 帯 RFID タグの同時読み取り時に発生するデッドスポットに関する評価," 信学論 B, vol.J95-B, no.3, pp.483-487, March 2012. 査読有

〔学会発表〕(計 1 件)

島崎拓也, 武田茂樹, 鹿子嶋憲一, 梅比良正弘, "単一伝送路を利用した RFID タグによるスマートシェルフに関する研究," 信学技報, AP2012-25, pp.7-12, June 2012.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年月日：  
 国内外の別：

取得状況 (計 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 取得年月日：  
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://info.ibaraki.ac.jp/Profiles/5/0000471/profile.html>

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

武田 茂樹 (Shigeki Takeda)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：5 0 3 2 3 2 0 9