

# 家庭用コンテナケース内物品認識用 RFID アンテナの試作

学 福井 類 (東京大学) 学 勝代 雅行 (東京大学)  
 正 森 武俊 (東京大学) 正 佐藤 知正 (東京大学)

## Development of RFID Antennas to Recognize Home-use Containers' Contents

Rui Fukui, \*Masayuki Shodai, Taketoshi Mori, Tomomasa Sato (Univ. of Tokyo)

**Abstract**— This paper describes development of RFID antennas for home logistical use to realize sophisticated arrangement of daily commodities by utilizing RFID tags and intelligent containers. Two operation types, (TYPE A) intelligent container implemented with RFID antenna, (TYPE B) intelligent container without RFID antenna and external long range antenna, are discussed and prototype antennas are developed. By experiments, it became clear that layout design of multiple axis antennas should be executed to realize TYPE A operation, and mechanical-driven-antenna method and passing-through-antennas method can be candidates to realize TYPE B operation.

**Key Words:** RFID, Logistical System, Service Robot

### 1. 緒論

本研究室では生活環境におけるロボットによるさりげない物理支援の実現を目指し家庭内物流支援システムを構築している。このシステムでは Fig.1 に示すように、家庭内物流に規格化されたコンテナケースを用いることで、ロボットによるハンドリングを容易にし、また物品にとりつけられたタグ情報を利用して高度な物品管理を実現することを目指している。

このシステムの実現に向けて本研究室ではこれまでに Fig.2 に示すような、規格化された構造や高度な情報機能を有する知能化コンテナケース，“インテリジェントコンテナ” (以下 i コンテナ) のプロトタイプを開発を行った。

この i コンテナプロトタイプの底面は RFID アンテナで敷き詰められた構造となっており、このアンテナ

で物品に貼付けられた RFID の物品プロパティ情報を液晶表示デバイスに表示し、ユーザに情報支援を行うという支援デモが可能である。本論文では、このコンテナ内の物品に張り付けられた RFID タグをより確実に読み取るというモチベーションの下、RFID アンテナの設置・運用方法の検討を行い、試作アンテナを用いた簡易実験により、性能把握を行った。

### 2. 物品貼付け用 RFID と家庭用コンテナケース

本章では、まず各物品に貼付けるために RFID タグを現状市販されているものの中から選定する。続いて家庭用の知能化コンテナケースである i コンテナが、実際に家庭で使用されることを想定し i コンテナの機能バリエーションの検討を行う。

#### 2.1 物品貼り付け用 RFID の選定

RFID にはパッシブ型とアクティブ型があるが、すべての物品にアクティブ型のタグを取り付けることは、コストの面より現実的でない。そこで本研究ではパッシブ型の RFID より選定を行う。現在、日本で使用することのできる RFID の周波数帯とそれを用いた RFID の特徴を以下の Table 1 に示す。どの周波数帯も一長一短ではあるが、本研究では大きな弱点のない 13.56MHz の RFID を採用することとした。

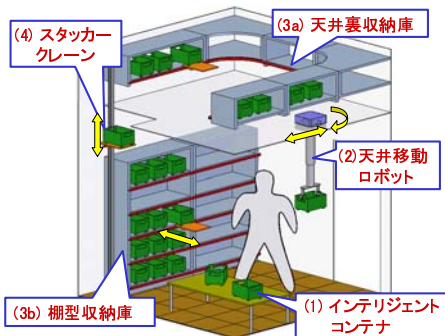


Fig.1 家庭内物流支援ロボットシステムの概念スケッチ

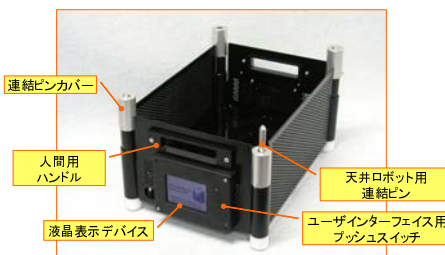


Fig.2 i コンテナプロトタイプの概要


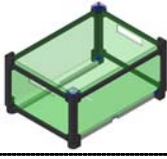
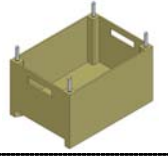
Table 1 日本国内で使用できるパッシブ型 RFID

	135kHz	13.56MHz	2.45GHz	UHF
方式	電磁誘導方式	電磁誘導方式	マイクロ波方式	UHF帯方式
通信距離	60cm程度	70cm程度	1.5m程度	数m
水の透過性	◎	○	×	×
金属による反射の小ささ	◎	○	×	×
同一周波数のノイズの少なさ	×	○	◎	◎
タグの薄さ	厚い	薄い	薄い	薄い

## 2.2 i コンテナバリエーションの検討

物品の収納・保管時間とそのコストに注目すると i コンテナは Table 2 に示す 3 種類が必要であると考えられる。Fig.2 に示したプロトタイプは表中では”CLASS S” に該当する。

Table 2 i コンテナバリエーション一覧

CLASS S 日用品収納用	CLASS A 定期使用品収納用	CLASS E 長期保管物収納用
アンテナ搭載型	アンテナ非搭載型	
		
i コンテナの機能をフルに搭載したクラス。常に机の上に設置し、人間と物流管理システムとのインターフェイスとしての役割を担う。	CLASS SのLCD表示デバイスをLEDアレーで簡略化し、構造体を非金属材料で構成したコンテナ。主として自動での片付け(整理整頓)用に用いる。	主に長期間収納するものを保管するための木製簡易コンテナ。衣替え等天井裏収納品を一括して取り出すのに有用である。

本研究における RFID のコンテナケースに対する応用という観点でいうと、これらの i コンテナはアンテナ (RFID リーダー) 搭載型と非搭載型の 2 種類に分けられ、またそれによって応用の仕方が異なってくる。そこで以降では、それぞれの場合の運用方法の検討を行い、試作アンテナを用いた実験によって性能を把握する。

## 3. アンテナ搭載型コンテナにおける物品情報読み取り

本章ではアンテナ搭載型の i コンテナにおける物品情報の読取方式の検討及びその実現性を確認するための、試作アンテナによる性能把握実験について述べる。

### 3.1 読み取り方式の検討

まずアンテナ搭載型の i コンテナでは次の 2 つの運用方式が考えられる。

- 積載物一括読取方式：コンテナ内全体をタグ読み取り可能領域とすることで、コンテナ内の物品を一括で読み取る方式。ユーザはコンテナに投入する際に、RFID の読み取りを意識する必要がないため、利便性が高い。
- 収納・取り出し時読取方式：コンテナの物品投入口等にアンテナを設置し、物品が出し入れされた際に認識を行う方式。ユーザーに出し入れを行ったという情報が正しいかどうかの確認を促すなどの工夫を行うことで、読み取り性能を補完出来るという利点がある。

コンテナにアンテナを搭載する場合、電力容量や基板レイアウトから大きな出力の RFID リーダを用いることは出来ないという制限があり、その制約条件の中での検討が必要である。上記の方式の実現性を調査するために、アンテナの試作を行い実験を実施した。

### 3.2 読取性能把握基礎試験

まずコンテナ底面にアンテナを設置した状態での読み取り性能を把握する実験を行った。RFID リーダとしては、出力が小さく組み込み用のデバイスも販売され

ているタカヤ (株) 製 RFID タグリーダー/ライタ”TR3-C201” を利用した。このデバイスの出力は 100[mW] であり、最大読取距離は約 150[mm] のショートレンジタイプと呼ばれる製品である。読み取り対象のテストピースとして Fig.3 に示すような 3 次元 RFID タグマトリクスを用いた。これは X,Y,Z の 3 軸方向にマトリクス状に RFID タグを敷き詰めたもので、45[mm]×45[mm] 角の RFID が合計 98 枚貼り付けられている。

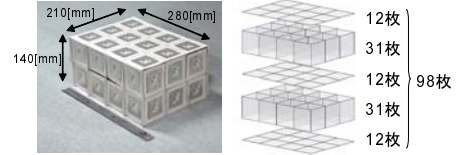


Fig.3 3次元 RFID タグマトリクスの概要

まず Fig.4 に示すような i コンテナプロトタイプと同じ形状をしたアンテナの上に、このテストピースを設置し読み取り可能なタグの個数をカウントした。

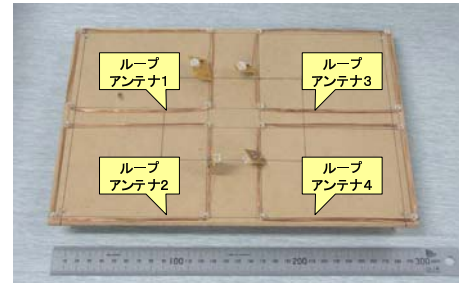


Fig.4 コンテナ底面設置型のアンテナ (タイプ 1)

実験の結果を Fig.5 に示す。実験の結果より、このアンテナは通信距離が足りず、また指向性が強いためアンテナ面とタグ面が直交しているときに読み取りが行えないことが確認された。これは電磁誘導の原理から考えると予想の範囲内であった。

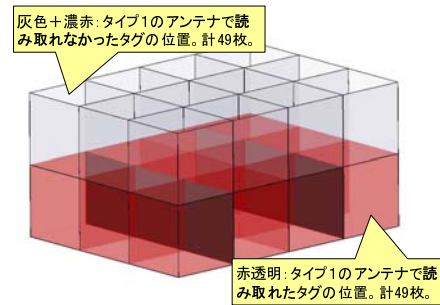


Fig.5 コンテナ底面設置型のアンテナ (タイプ 1) の性能実験結果

続いて Fig.6 に示すようにアンテナ底面の中心にアンテナを重ねて設置することで、指向性が緩和されるかを確認した。実験の結果を Fig.7 に示す。実験の結果より、指向性は緩和されたものの読み取り可能範囲はコンテナ容積を網羅可能なものではないことが確認された。

上記の結果より、積載物一括読取方式の実現にはコンテナの前面や側面にも読み取りアンテナを設置するなどの対応が必要であり、多軸のアンテナ設計が今後の検討課題であることが分かった。

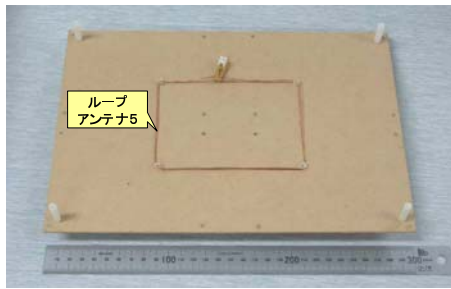


Fig.6 コンテナ底面設置型のアンテナ (タイプ 2)

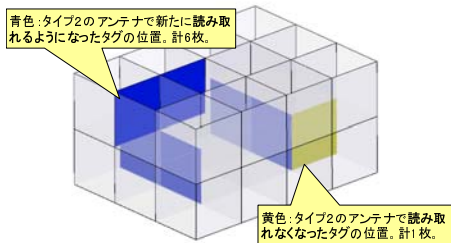


Fig.7 コンテナ底面設置型のアンテナ (タイプ 2) の性能実験結果

現状のアンテナ性能を考えると、アンテナ搭載型の *i* コンテナでは収納・取り出し時読み取り方式を採用するほうが、確実な物品情報の取得が可能であると言える。

#### 4. アンテナ非搭載型コンテナにおける物品情報読み取り

本章ではアンテナ非搭載型の *i* コンテナにおける物品情報の読取方式の検討及びその実現性を確認するための、試作アンテナによる性能把握実験について述べる。

##### 4.1 アンテナ非搭載型コンテナ内のタグを読み取るための方式の検討

アンテナ非搭載型の *i* コンテナの場合は外部に設置されたアンテナにより *i* コンテナ内部の物品情報を読み取らなければならない。そのため *i* コンテナの大きさ (250[mm] × 350[mm] × 190[mm]) をカバーする読み取り範囲が必要となり、またタグの方向に依存しないロバストな読み取り方式が求められる。

読み取り範囲を広くかつ読み取り角を大きくしたい場合、(1) 大きなアンテナを用いる、(2) 複数のアンテナを切り替えて使用するなどの方法が考えられるが、(3) アンテナとコンテナを相対的に動かして見かけ上の読み取り領域を広くするという方法も有望である。上記の項目を考慮して、外部アンテナ方式として Fig.8 に示す 4 方式を検討した。なお図中の丸番号は外部アンテナ方式性能把握実験の方向番号と対応する。これらの方式はアンテナ非搭載型コンテナを Fig.1 に示したような各収納庫に収納する際に、外部アンテナ装置を通過させることを想定した方式となっている。

- 【案 1】アンテナ駆動方式：*i* コンテナを覆える大きさのアンテナを用意し、1 軸は上下に通過し、残りは直交する二つの軸を中心に各々 *i* コンテナのまわりを回転することにより *i* コンテナ内の物品を

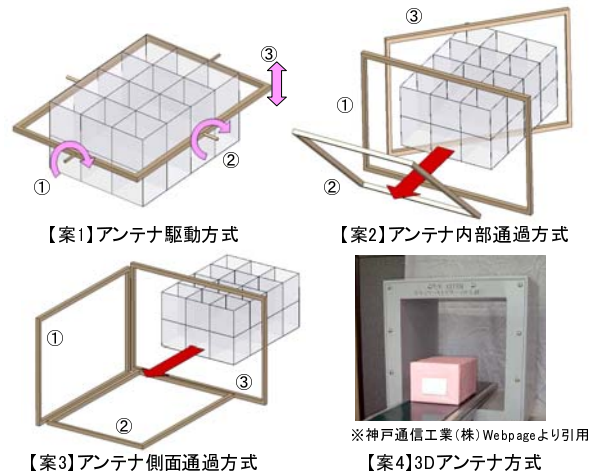


Fig.8 外部アンテナ方式の概要

##### 読み取る方式

- 【案 2】アンテナ内部通過方式：ループアンテナの輪の中を *i* コンテナが通過し、*i* コンテナ内部のものを読み取る。このとき、アンテナは 3 組で各方向に 45[deg] ずつ傾けて配置してあり、様々なタグの向きに対応できるようにする。
- 【案 3】アンテナ側面通過方式：1 軸は内部通過アンテナを用い、残りの 2 軸はアンテナの側面をコンテナが通過する際に、タグ情報を読み取れるようにする。
- 【案 4】3D アンテナ方式：アンテナコイルを 3 次元的な形状にすることにより、アンテナ単体で様々な位置・姿勢のタグを読み取り可能な方式 [2]。

##### 4.2 外部アンテナ方式性能把握実験

前節であげた各方式 (3D アンテナ方式は除く) の性能を把握するために実験を行った。読み取り対象は 3・2 節で使用したテストピースと同様のものを使用した。

また広い範囲の読み取りが可能ないように高出力タイプのリーダを用いた。今回使用したリーダはタカヤ (株) 製 RFID タグリーダ/ライタ "TR3-LD003C-S" で、アンテナは同社製のアンテナ "TR3-LA201" の形状をテストピースに併せて変更したものを使用した。このリーダの出力は約 1[W] である。

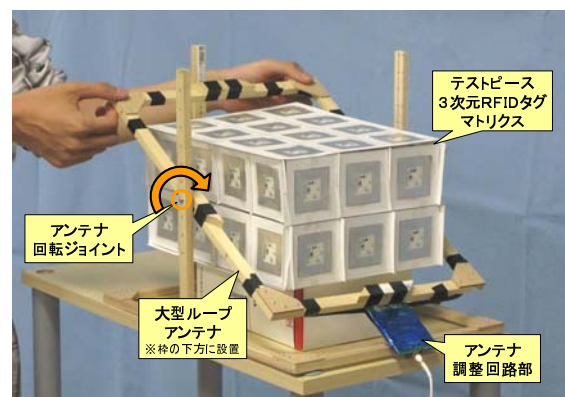


Fig.9 外部アンテナ方式性能把握実験の様子

試験の様子を Fig.9 に示す。今回の試験ではアンテナが 1 つしか用意出来なかったため、案 2, 案 3 に関し



では3軸独立に計測した結果を結合するかたちで結果を得た。今回各試験の試行数は3と設定したため、各方式の読み取り逃しの可能性があるRFIDタグ(N)は次のように表される。

$$N = (N_{1-1} \text{ or } N_{1-2} \text{ or } N_{1-3}) \text{ and } (N_{2-1} \text{ or } N_{2-2} \text{ or } N_{2-3}) \text{ and } (N_{3-1} \text{ or } N_{3-2} \text{ or } N_{3-3})$$

ここで  $N_{a-b}$  とは方向 a の試行数 b 番目の試験で読み込めなかったRFIDタグの集合である。本試験の結果をTable 3に示す。

Table 3 外部アンテナ方式性能把握実験の結果

アンテナ駆動方式		アンテナ内部通過方式		対向アンテナ間通過方式	
読取方向- 試行回数	読み取れなかったタグの個数	読取方向- 試行回数	読み取れなかったタグの個数	読取方向- 試行回数	読み取れなかったタグの個数
1-1	12	1-1	31	1-1	31
1-2	4	1-2	17	1-2	17
1-3	4	1-3	25	1-3	25
1 or 結果	12	1 or 結果	47	1 or 結果	47
2-1	10	2-1	2	2-1	17
2-2	9	2-2	4	2-2	21
2-3	9	2-3	4	2-3	18
2 or 結果	10	2 or 結果	8	2 or 結果	21
3-1	19	3-1	1	3-1	7
3-2	24	3-2	2	3-2	6
3-3	24	3-3	4	3-3	7
3 or 結果	35	3 or 結果	4	3 or 結果	10
and 結果	0	and 結果	0	and 結果	1

単位:個

表中には各試行において読み取ることのできなかったタグの枚数を示した。表中の or 結果は各方式の各読み取り方向を3回ずつ繰り返して論理輪をとることで、その読み取り方向で読み飛ばす可能性のあるタグの個数を表している。また表中の and 結果は各方式において3方向の読み取りを行った結果を結合し、3方向からの読み取りを行っても読み飛ばす可能性のあるタグの枚数を表している。

試験結果よりアンテナの読み取り性能としてはアンテナ駆動方式、アンテナ内部通過方式の2つとも確実な読み取り性能を満たしていると言える。両者をトレ

ド検討する際には、(1) 外部アンテナを配置する空間サイズ・形状、(2) アンテナを駆動させる機構部のコストと3つのアンテナを切り替える高周波回路のコストの比較が検討項目として挙げられる。これはユースケースによるため逐次検討が必要と言える。

## 5. 結論

本論文では家庭用の知能化されたコンテナ、iコンテナとRFIDタグを用いて、家庭内での物品情報を取得するために、RFIDアンテナの設置・運用方法について検討を行い、試作アンテナを用いた実験により、性能把握を行った。

実験の結果、アンテナ搭載型 i コンテナでは積載物一括読取方式を実現するためには、多軸アンテナの搭載を検討することが必要となることが分かり、収納・取り出し時読取方式の方が現状の技術としては実現が容易であろうということが確認された。

またアンテナ非搭載型 i コンテナでは、外部アンテナ方式として3種のアンテナ方式の性能を把握し、アンテナ駆動方式及びアンテナ内部通過方式が読み取り性能が高いことが確認された。アンテナ非搭載型では今後の課題として3Dアンテナ方式の性能確認と、今回性能が認められた2方式の実際の読み取り環境における性能調整が挙げられる。

## 謝辞

この研究の一部は文部科学省・科学技術振興調整費「少子高齢化社会と人を支えるIRT基盤の創出」により行われたものです。

- [1] 福井類, 勝代雅行ら, “家庭内物流支援用インテリジェントコンテナプロトタイプの開発”, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007, 2P1-O02, 2007.
- [2] 神戸通信工業(株)Webpage, “<http://www.kobecomm.co.jp/>”