

家庭用コンテナケース内物品認識用可動式 RFID アンテナの開発 (コンテナケース収納物品姿勢によらない ロバストなタグ読み取りを可能にする可動アンテナの試作)*

福井 類^{*1}, 勝代雅行^{*1}, 森 武俊^{*1}, 佐藤知正^{*1}

Development of a movable RFID antenna for recognizing contents of containers in living space (A prototype of the movable antenna realizing robust RFID tag reading regardless of container contents' postures)

Rui FUKUI^{*1}, Masayuki SHODAI^{*1}, Taketoshi MORI^{*1}, Tomomasa SATO^{*1}

^{*1} Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo. 7-3-1 Hongo Bunkyo Tokyo.

This paper describes development of a movable RFID antenna for reading RFID tags which are attached to contents of containers in living space. Regardless of container contents postures, the equipment realizes robust RFID tags' reading by utilizing its swiveling and vertical motions of RFID antenna. The motions are actualized by two rotating mechanisms and one translating mechanism. By experiments, it is confirmed that the method to read RFID tags with movable RFID antenna is applicable to robust reading. The antenna moving speed and hold time has much relation to recognition performance. It's also showed that small quantities of metal material can make the body structure simple with no effect for reading performance.

Key Words : RFID, Movable antenna, Logistical system, Intelligent Space, Home Robot

1. 緒 論

少子高齢化による労働力人口低下の流れに伴い、ロボット研究に対する要求の1つとして『生活環境中におけるロボットによるさりげない(人と低干渉な)物理支援の実現』が求められている。本研究では図1に示すような、生活の大きな部分を占めるモノへのアクセスを支援する環境型ロボットとして”家庭内物流支援ロボットシステム”の実現を目標として開発を行っている。このシステムでは、家庭内での物品収納および搬送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、また物品に取り付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筆者らはこれまでに図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智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)のプロトタイプの開発を行っ

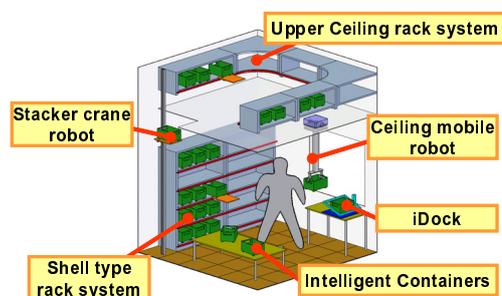


Fig. 1 Conceptual sketch of logistical support robot system in living space

てきた⁽¹⁾。

図2に示したiコンテナは底面にRFIDアンテナを敷き詰めた構造となっており、物品に貼り付けられたRFIDの物品プロパティ情報を液晶表示デバイスに表示し、ユーザに対して情報支援を行うことが可能である。また探している物品がどのiコンテナ内に収納されているか検索をかけるといった使用法が実現できる。

しかしRFIDアンテナや液晶デバイスを搭載したiコンテナは単価が高い。また頻繁に用いる日用品でなけ

* 原稿受付 2007年1月17日

^{*1} 東京大学大学院 情報理工学系研究科

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

Email: shodai@ics.t.u-tokyo.ac.jp

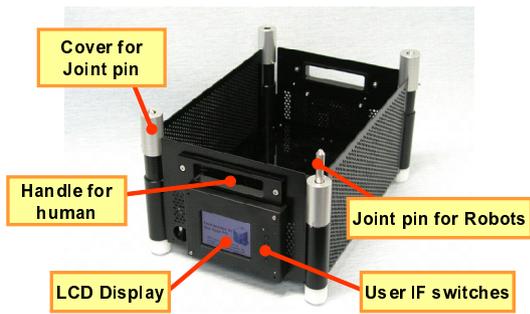


Fig. 2 Overview of the iContainer Prototype

れば、逐次的な認識は必要ない。そこで RFID アンテナを搭載していない簡易版 i コンテナの製作を検討した。この簡易版 i コンテナを用いた場合、物品情報を読み取るには i コンテナ外部からの読み取りが可能な RFID アンテナ装置が必要となる。RFID アンテナ装置の運用法として以下の 2 つを考えた。

- 【運用法 1】RFID アンテナ装置搭載の専用の i コンテナ収納棚 (図 3【method1】参照) を設け、収納を行う。保管時にオフラインでコンテナ内の情報を読み取り可能である。
- 【運用法 2】机上などに設置可能な大きさの専用の読取装置を一つ用意し、物品を出入させる際に読取装置で i コンテナと i コンテナ内の物品との対応付けを行うことで、i コンテナを任意の場所に収納可能にする方式 (図 3【method2】参照)。

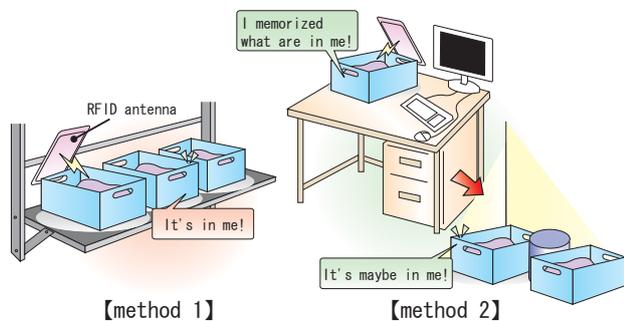


Fig. 3 Manner of operation

いずれの方式も実現可能であり並存も可能であるが、本論文では任意の場所に収納可能である点に着目し、運用法 2 を実現するために机上等で運用可能な RFID アンテナ装置を試作することとした。このアンテナ非搭載型 i コンテナ内物品認識用外置き型 RFID アンテナ装置 (iDock) のコンセプトスケッチを図 4 に示す。

本論文では、iDock 実現の要素技術開発としてアンテナ非搭載型 i コンテナ内の RFID タグ読取方式の検討試験結果⁽²⁾をもとに、読取性能が優れていると判断された”アンテナ駆動方式”を採用した RFID タグ読取装置の試作・評価を行った。

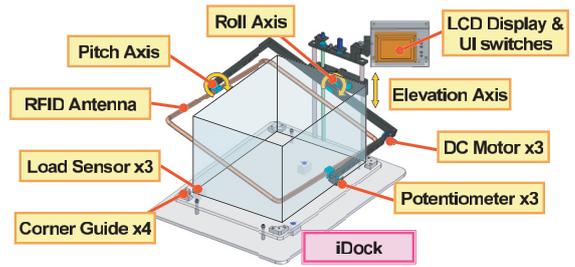


Fig. 4 Conceptual sketch of iDock

本論文の構成は次の通りである。2 章では RFID とロボット技術に関する関連研究を整理し、また”家庭内物流支援ロボットシステム”における本研究の位置づけを示す。また i コンテナ内 RFID タグを読み取る手法の検討を行う。3 章では設計条件について整理し、各機構の方式・配置・構造について述べる。4 章では開発した試作機の性能評価のための実験について説明する。5 章は結論である。

2. i コンテナ内物品認識用 RFID

2.1 RFID とロボットに関する研究 近年、ロボットが一般の社会環境の中に進出するための足がかりとして ID 技術への期待が高まっている⁽³⁾。とくに RFID 技術は、その他のバーコードや QR コードといった技術と比べ遮蔽などの影響を受け難いことから注目を集めている。ロボットに RFID 技術を応用し、位置認識を行ったり、物体認識精度を向上させる研究が盛んに行われている。食器にタグを貼り付け、食器の認識に利用するといった研究が行われており⁽⁴⁾、またタグから作業情報を取得するといった研究もなされている⁽⁵⁾。本研究でもロボットに家庭内における物流支援を担わせるために RFID 技術を導入する。

2.2 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、本研究では多くの物品に低コストで取り付け可能なパッシブ型の RFID より選定を行う。現在、日本で使用することのできる RFID の周波数帯と各々の特徴を表 1 に示す。どの周波数帯も長所及び短所を抱えているが、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。

2.3 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 コンテナは表 2 に示す 3 種類が必要であると考えられる。図 2 に示したプロトタイプは表中では”CLASS S”に該当する。

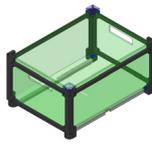
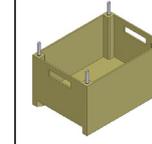
本論文で対象とするアンテナ非搭載型は表 2 中の”CLASS A”と”CLASS E”に該当する。

2.4 アンテナ非搭載型 i コンテナでの物品情報読取 アンテナ非搭載型の i コンテナの場合は外部に設置さ

Table 1 Comparison table of passive RFID

	135[kHz]	13.56[MHz]	2.45[GHz]	UHF
method	Electromagnetic induction	Electromagnetic induction	Microwave	UHF
Communication distance	About 60[cm]	About 70[cm]	About 1.5[m]	Several [m]
Transmission properties in water	◎	○	×	×
Reflection on the metal surface	◎	○	×	×
Noise performance	×	○	◎	◎
Thickness of tags	thick	thin	thin	thin

Table 2 iContainer Variation

Class name	CLASS_S	CLASS_A	CLASS_E
RFID antenna	with RFID antenna	without RFID antenna	
Pictures			
Usage	For commodities	For goods used regularly	For long-term storage
Functions	<ul style="list-style-type: none"> •LCD display •RFID antenna •Load Measurement 	<ul style="list-style-type: none"> •LED markers •Load Measurement 	No electric devices.

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、またタグの姿勢に依存しないロバストな読み取り方式が求められる。これは、13.56MHz の RFID ループアンテナが指向性を持ち、アンテナの平面とタグの平面が直交した場合に読み取り不可となる問題があるためである。そこで、アンテナの平面と RFID タグの平面が直交しない状況を作り出すことが必要となる。

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 i 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、以下の 4 方式を検討した。

- 【1】アンテナ駆動方式：i コンテナを覆う大きさのアンテナを用意し、1 軸は上下に通過し、他に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させる方式。
- 【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、内部のタグを読み取る。アンテナは 3 組で各方向に 45[deg] ずつ傾けて配置しておく。

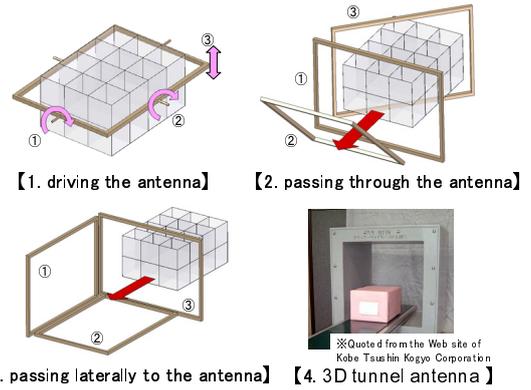


Fig. 5 Contrived reading methods

- 【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 i コンテナが通過する際に、タグ情報を読み取る。
- 【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、1 つのループアンテナで様々な位置・姿勢のタグを読み取らせる方式⁽⁶⁾。

これらの読取性能を評価するために実験を行った。まず読み取り対象のテストピースとして図 6 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。

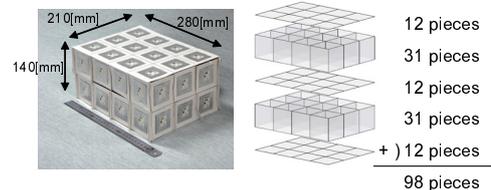


Fig. 6 RFID tag matrix

このテストピースを図 7 に示すような簡易的なテストベンチを用いて各読取方式で読み取り、98 枚中何枚のタグを読み取れるかで性能評価を行った。各読取方式は図 7 中に丸数字で示す各読取動作で構成される。実験では各読取動作を 10[sec] で行った。なお、リーダにはタカヤ (株) 製 RFID タグリーダ/ライタ”TR3-LD003C-S”を、アンテナに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を使用した。このリーダの出力は約 1[W] である。

実験の結果を表 3 に示す。

結果アンテナ駆動方式とアンテナ内部通過方式が確実な読み取りを実現していることが確認された。

両方式とも基本的な性能を満足していると言えるが、更にメリット・デメリットが挙げられる。アンテナ内部通過方式は駆動部分がないため、メンテナンス性がよく、高速な動作が期待できる。一方、本論文におい

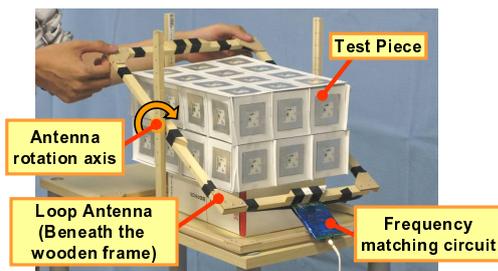


Fig. 7 Performance evaluation test of four methods

Table 3 The number of RFID tags which couldn't be read in four proposed ways

	The number of unreadable RFID tags
1. Driving the antenna	0 / 98
2. Passing through the antenna	0 / 98
3. Passing laterally to the antenna	1 / 98
4. 3D tunnel antenna	5 / 98

て iDock に応用するという点を考慮した際に、アンテナ内部通過方式では、複数のアンテナを設置する必要があることから装置自体が大きくなるという欠点がある。またアンテナ駆動方式のほうが、アンテナ平面とタグを近接させることが可能な点で原理的にタグの傾きに対して頑健であると考えられるため、アンテナ駆動方式を採用することとした。

3. 可動式 RFID アンテナの実装

前章で検討を行った読み取り方式に基づき、それを実現する機構を実装した可動式 RFID アンテナの具体的な設計について述べる。まず図 8 に開発した可動式アンテナ装置の概要を示す。またその機能ブロック図を図 9 に示す。以降で装置に求められる設計条件、ア

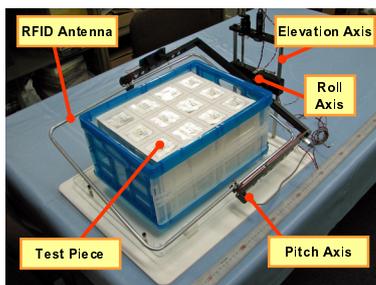


Fig. 8 Overview of movable antenna

ンテナのサイズと可動域の設定、構造設計、及び駆動機構設計の詳細について述べる。

3.1 可動式 RFID アンテナの設計条件 可動式 RFID アンテナに求められる設計条件を以下に挙げる。

- 様々な姿勢の RFID タグを読み取り可能である：可動式アンテナで i コンテナ内の様々な姿勢の RFID

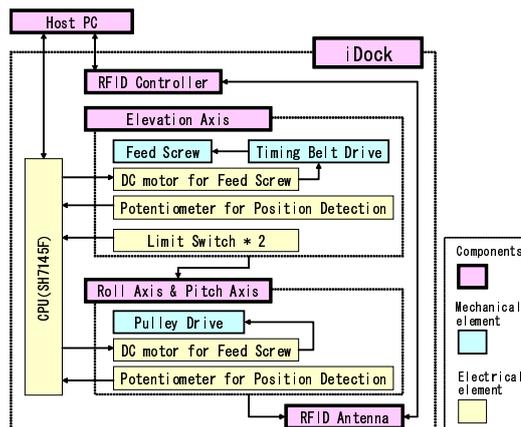


Fig. 9 Block diagram of movable antenna

タグ読み取りを実現するためには十分なアンテナの回転角度や並進距離が必要である。

- アンテナに影響を与える金属部品は使用しない：13.56MHz の RFID は金属の影響を受けやすいため、筐体には金属部品の使用を避けるのが好ましく、またやむを得ず金属を使用する場合は、読み取り性能への影響も評価する必要がある。
- i コンテナを装置に容易に載せられる：ユーザーがアンテナ装置の台座に i コンテナを容易に載せられる構造であること。

3.2 アンテナサイズとアンテナの可動域 アンテナ駆動方式を採用するため、iDock のアンテナは i コンテナを覆うことのできるサイズが必要となる。i コンテナは底面のサイズが 380[mm] × 270[mm]、高さが 188[mm] で設計されているため、その周りで回転させることのできる大きさが必要である。回転の中心位置は図 10 に示すように i コンテナの中心位置と重なるようにした。このときアンテナを i コンテナの高さ分だけ回転させると正面 34.8[deg]、側面 26.3[deg] の傾きが得られる。この角度は水平状態のアンテナでは直交してしまうタグを読み取るには十分な角度である。以上を踏まえ、アンテナのサイズは角に半径 20[mm] 程度の丸みをつけた 450[mm] × 350[mm] の長方形とした。

また今回設計する可動式アンテナにも RFID タグリーダー/ライターに 2-4 節と同様のものを用いる。アンテナ

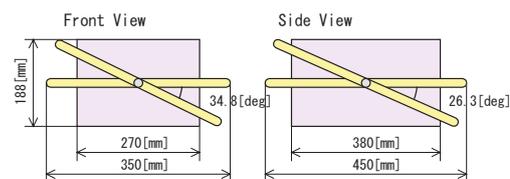


Fig. 10 Design of the antenna size

のサイズは変更するが、2-4 節の実験からアンテナ中心軸上にアンテナの平面と平行に置かれたタグの読み取り性能が 400[mm] 程度と想定し、以降の設計を行った。

3.3 構造設計 本節ではレイアウトの構成及び筐体素材に関して検討する。

3.3.1 レイアウトの構成 図 5 の【1】アンテナ駆動方式を採用する場合 2 軸の旋回機構と 1 軸の並進機構が必要となる。まず i コンテナ設置の容易さに大きく影響する並進機構の配置を検討する。図 11 に示すようにアンテナの支持方法には以下の 2 方式が考えられる。

- 両持ち方式：構造上の安定性が高いのが利点である。ただし、両サイドに並進機構を支える支柱が必要となり、i コンテナを載せる際の方向が制限される。
- 片持ち方式：構造上の安定性は両持ち方式と比べて劣る。一方で、並進機構を支える支柱が 1 箇所だけでよく、i コンテナを載せる作業が容易である。

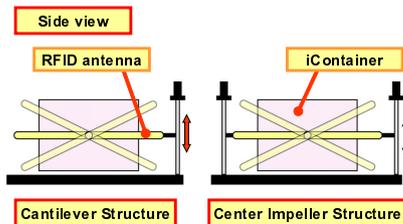


Fig. 11 Layout candidates of the vertical actuator

以上の検討から、本論文ではユーザーの利便性を優先し、片持ち方式を採用することとした。

3.3.2 素材の検討 13.56MHz の RFID は金属の影響を受けやすいため、装置の筐体には可能な限りプラスチック、或いはセラミックス系の材料を選択した。

3.4 アンテナ駆動機構の設計

3.4.1 旋回軸の設計 旋回軸の駆動には、モーメントの点で有利となるアンテナ支持アームの根元の位置にモーターを配置するため丸ベルト駆動方式を採用した。また、重心をロール軸の旋回軸上に近づけられるようにカウンターウェイト取付用の穴を用意し、バランスの調整が可能となるようにした。

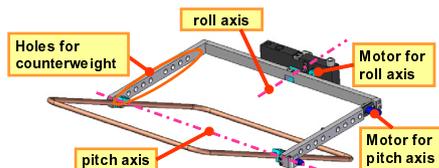


Fig. 12 Design of the antenna rotating mechanism

3.4.2 並進機構の設計 並進機構には送りねじを用いることとした。i コンテナの高さ (250[mm]) 程度の

送り長が必要となる。この長さの上下動機構の強度をプラスチック系の材料で確保することは難しいと判断したため、支柱と送りねじには金属材料を用いた。

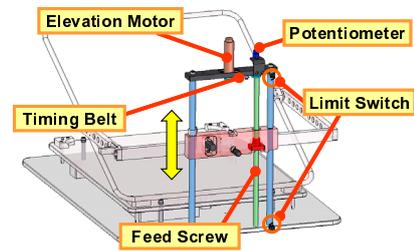


Fig. 13 Design of the elevation axis

4. RFID タグ読取の性能評価実験

製作した可動式アンテナ装置により 2-3 節と同様のテストピースを用いて RFID タグ読み取りの性能評価を行った。

4.1 読み取り動作実験 まず可動式アンテナの読み取り動作順序について述べる。

1. アンテナが底面に置かれた状態からスタートする。
2. i コンテナの半分の高さまでアンテナを持ち上げる。
3. ロール軸で ± 30 度ずつ旋回させる。
4. ピッチ軸で ± 30 度ずつ旋回させる。
5. アンテナを最上部まで持ち上げる。

以上の 2 から 5 までの各動作に必要な時間を (t_2) から (t_5) とする。実際にはこのあとアンテナを初期位置まで戻す動作が加わる。

まず、アンテナ周辺でモーターなどが作動しても読み取りが行えることを確認する実験を行った。各動作ごとに停止し、箇条書きにした動作を一通り終了するのに 32[sec] ($t_2=6[s]$, $t_3=10[s]$, $t_4=10[s]$, $t_5=6[s]$) かかる速度で読み取り性能実験を行った。4 回読み取り実験を行った結果、すべてのタグを認識可能であることが確かめられた。

4.2 旋回後待機時間の影響・評価 次に旋回動作後に待機する時間を変更して、読み取り性能の変化を調べた。この試作機ではアンテナの旋回動作に対し位置制御を行っているため、回転中の速度に関してはどの実験もほぼ違いは無い。読み取り動作時間の変更は前項で箇条書きにした中の動作から動作へ移る待機時間を変更することで行った。

各動作に関する時間の割り当ては表 4 の通りである。図 14 にその結果を示す。

各読み取り動作に関し、4 回ずつ実験を行った。表中の下 2 段は、4 回読み取り動作を行っても認識することのできなかったタグ、および 4 回中 1 度でも認識するこ

Table 4 Motion time table

	t 1	t 2	t 3	t 4	Total time
Exp.1	6	10	10	6	32
Exp.2	6	8	8	6	28
Exp.3	6	6	6	6	24

Unit: [sec]

	Scanning time[sec]		
	32	28	24
1st	0	0	0
2nd	0	0	1
3rd	0	0	1
4th	0	1	1
A	0	0	0
B	0	1	1

A: The number of RFID tags which couldn't be read every time.
 B: The number of RFID tags which couldn't be read more than once.

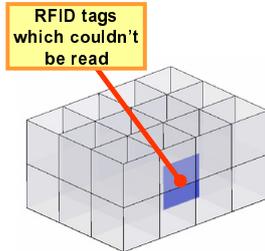


Fig. 14 Relationship between the number of RFID tags which couldn't be read and scanning time

とのできなかったタグの枚数を示している．図 14 より今回の実験では，最も待機時間が少なく，24[sec]で動作が完了する実験 3 で性能の低下が見られることが確認できる．図 14 左に実験 3 で読み取れなかったタグの位置を示す．図 14 に示したタグは水平面に対して垂直な向きに配置されている．そのためアンテナを回転させなければ読み取ることができない配置であると考えられる．その他の実験では，旋回動作の段階でこの場所のタグを認識しており，旋回動作後の待機時間の減少がタグの読み取り結果に影響を与えたと言える．このため，今回の実験では旋回後待機時間として 2[sec]以上を必要とすることが確認された．

また必要待機時間は，想定される i コンテナ内のタグ数，及びタグとの通信速度，アンチコリジョンの方法により異なる．そのため想定されるケースに応じて待機時間を調整することが今後の課題となる．

4.3 構造部材に金属を用いることの影響評価
 アームはアンテナを支持する強度が必要となる部分であり，補強材としてアルミアングルなどを用いることが考えられる．そこで樹脂構造部にアルミのアングル材を付加的に取り付け，読み取り実験を行った．

実験は 4-1 節と同じく一連の読み取り動作を 32[sec]で行った．結果，アルミのアングルがある場合と無い場合では読み取り性能に大きな違いは見られず，すべてのタグを読み取ることができた．ループアンテナに金属が近接している場合，磁気エネルギーが吸収され通信距離が短くなるが，今回はアンテナの出力が十分にあったこととアンテナを駆動しているため通信距離の影響が小さかったことが原因として考えられる．以

上より，この実験からアームの補強材としてアルミの部材を使用可能であることが確認された．

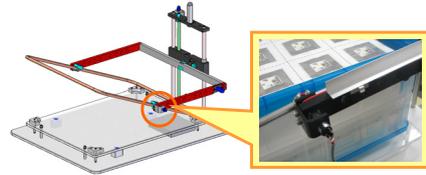


Fig. 15 Attaching metal materials as braces

5. 結 論

本研究では家庭用 i コンテナ内に収められた日用品に貼られた RFID タグを読み取るための可動式 RFID アンテナ装置を開発した．この可動式 RFID アンテナ装置は 2 軸の旋回機構と 1 軸の並進機構を有しており，RFID アンテナを並進・回転させることが可能である．

開発した試作機を用いて性能確認実験を行い，今回の方式が i コンテナ内のタグの姿勢に対してロバストな読み取りを実現可能なことが確認された．またアンテナの上下動送り速度，及び旋回後待機時間の調整が読み取り結果に影響することが確認された．更に金属材料を一部の補強材として用いても読み取り性能に大きな影響を与えないということが確認された．

将来課題として動作パターン及び動作速度の最適化による読み取り性能の向上及び，ユーザーインターフェース等の付加による iDock としての完成が挙げられる．

文 献

- (1) Rui FUKUI, Masayuki SHODAI, Taketoshi MORI, Tomomasa SATO, "Development of an intelligent Container Prototype for a Logistical Support Robot System in Living Space, Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, ThB9.1, San Diego USA, 2007.
- (2) Rui FUKUI, Masayuki SHODAI, Taketoshi MORI, Tomomasa SATO, "Development of RFID Antennas to Recognize Home-use Containers 'Contents'", Proc. of the 25th Annual Conference of the Robotics Society of Japan, 1L23, Chiba, 2007.
- (3) Kazuo TANIE, Nobuto MATSUHIRA, "Establishment of Common Platform Technology for Next Generation Robots", Proc. of the 24th Conference of the Robotics Society of Japan, 2N12, Okayama, 2007.
- (4) Tomomi KURODA, Emi ONARI, Hiroataka KAWANO, Seiji AOYAGI, "Recognition of Tableware utilizing Invisible Mark and RF Tag for Home Robot Application", Proc. of 2006 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 1A1-E30, Tokyo, 2007.
- (5) Kohtaro OHBA, Kenichi OHARA, "Ubiquitous Robotics", Journal of the Robotics Society of Japan, vol.25, No.4, pp.505 ~ 508, 2007.
- (6) Kobe Tsushin Kogyo Corporation Webpage, "http://www.kobecom.co.jp/".