

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

Development of the intelligent Container Prototype for the Logistical Support Robot System in Living Space.

福井 類 (東京大学) 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)

Rui FUKUI. The Univ. of Tokyo. Masayuki SHODAI. The Univ. of Tokyo.
Taketoshi MORI. The Univ. of Tokyo. Tomomasa SATO. The Univ. of Tokyo.

This paper reports the development of the intelligent container, a unit of the logistical support robot system in living space. The intelligent container plays a role of contact point for human and robots in the system. The container is implemented a grasping navigation mechanism for robot handling, RFID reader for the recognition of contents, and LCD device to display supporting information to human and robot.

Key Words : Intelligent Environment, Human Symbiosis System, Logistical System

1 緒論

少子高齢化の流れに伴い、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。これに対して東京大学佐藤・森研究室ではFig.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”¹⁾の開発を行っている。このシステムは人が物品を収納するインテリジェントコンテナ, そのコンテナの運搬を担う天井移動ロボット²⁾, コンテナを収納する棚型(天井裏)収納庫, そして収納庫においてコンテナの出し入れを行うスタッカークレーン等から構成される。この家庭内物流支援ロボットシステムにおいて「インテリジェントコンテナ(iコンテナ)」は人がロボットに望む支援, そしてロボットが人間に与えられる支援の間を埋める”接点”として重要な役割を担う。

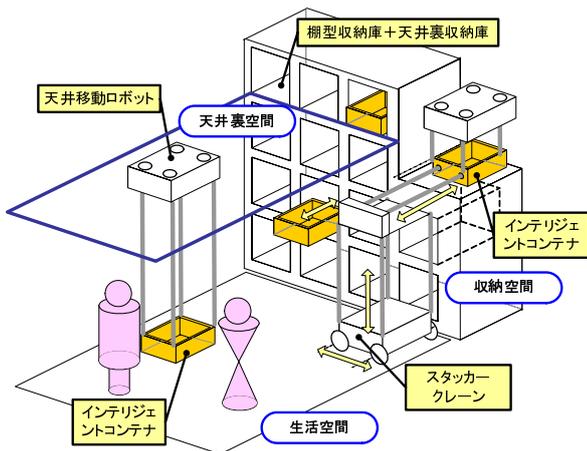


Fig. 1: 家庭内物流支援ロボットシステムのプロトタイプスケッチ

2 インテリジェントコンテナの必要機能の整理

iコンテナの仕様については文献³⁾で述べられているが、ここで改めて実装を踏まえて整理する。まずiコンテナの主な役割は次の4つに整理される。

1. 複数の物品を積載し、またコンテナ積載内容の認識による物品の使用情報, 収納情報を取得すること。
2. 人, ロボットによるコンテナ運搬時の支援を行うこと。

3. ユーザーインターフェイスとして人間からシステムへの指令を受け付けること。

4. ホストPCと通信を行い積載物情報, ユーザー指令情報などを伝達すること。

これらの役割において要求される仕様を以降で整理する。

2.1 物品積載に関する仕様の検討 iコンテナによる物品積載に関しては次の3つの機能が必要である。

- 物品積載機能
複数の物品を効率よく積載出来るものとする。なお最大積載荷重は5[kg]と設定する。
- 積載物タグ情報認識機能
RFIDタグの付いた積載物の認識が出来るものとする。
- 積載重量認識機能
荷重センサにより積載物の重量を計測可能とし, ロボット運搬の際のオーバーロードを予防する。

2.2 人, ロボットによる運搬に関する仕様の検討 人やロボットによる運搬のために, iコンテナに要求される機能は次の6つである。

- 人間による把持の支援機能
人間にとって把持・運搬しやすい構造であること。
- 運搬感知機能
システム側がコンテナの移動を逐次的に感知するため, 人間による運搬を認識できるものとする。
- コンテナ多段設置機能
一般のコンテナケース同様に, 複数のコンテナを重ねて設置可能なこと。
- コンテナ位置認識支援機能
運搬準備として行われるロボットによるコンテナ位置計測の精度向上に寄与すること。
- 天井ロボット把持支援機能
天井移動ロボットによる把持を支援する構造を有する。
- コンテナ設置面状態認識機能
天井移動ロボットがコンテナを操作する際にコンテナが平面に置かれていることが重要であるため, コンテナが設置されている面の状態を認識可能とする。
- スタッカークレーン移載支援機能
スタッカークレーンによる収納庫との移載を支援する構造を有する。

2.3 ユーザーインターフェイスに関する仕様の検討 ユーザーインターフェイスとしてiコンテナに求められる機能は次の2つである。

- ユーザコマンド入力機能
専用のデバイスではなく、身近な情報端末装置として簡単なコマンドなどの入力を受け付け可能なこと。
- サービス情報提示機能
積載物認識結果、積載重量等の情報をユーザに提示可能なこと。

2.4 ホストPCとの通信に関する仕様の検討 ホストとの通信について求められる機能は次の2つである。

- HOST 状態通知要求回答機能
ホストが定期的に行う、コンテナ内部状態の変化通知要求に回答する。
- ユーザコマンド伝達機能
ユーザインターフェイスを用いたユーザからシステムへの指令を即座にホストに伝達する。

3 インテリジェントコンテナの実装

本章ではこれまでの検討で i コンテナに必要とされた各機能の実装方法について述べ、採用した実装方法を検証するために試作したプロトタイプについて示す。まず試作した i コンテナプロトタイプの概要を Fig.2 に、システムブロック図を Fig.3 に示す。以降では各機能の実装詳細について述べる。なお実装方法が相互に影響するものは、検討の順番を前節の機能の列挙から適宜変更している。

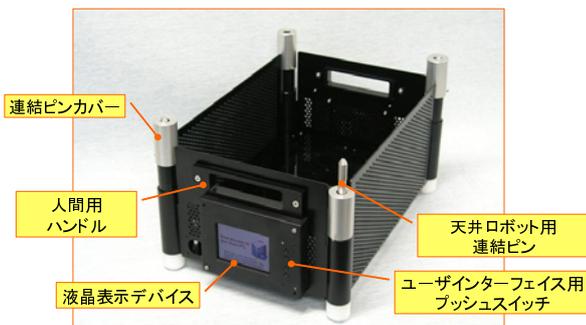


Fig. 2: i コンテナプロトタイプの概要

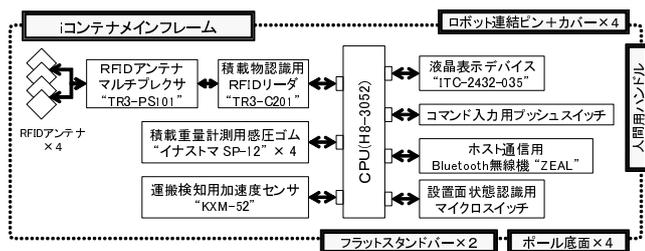


Fig. 3: i コンテナのシステムブロック図

3.1 物品積載機能の実装 まず物品を積載する容量の検討を行った。現在市販されているコンテナケースの大きさを見ると A4 サイズより少し大きい程度のものが多い。そこで i コンテナもこれらの製品を参考とし W:250, D:350, H:170[mm] と大きさを規定した (Fig.4)。続いて基本構造であるが、大量生産のコンテナケースの場合、プラスチック材料の射出成型品であることが多い。これはリブ構造を容易に実現でき、軽量かつ剛性の高い構造体を実現可能であるからだが、少数の試作を行うには不向きな製造法であるため、今回は Fig.5 に示すような板金部品をメインフレームとし、部品の四つ角を樹脂性のボールにより固定することで構造体を構成することとした。また、後の検討で RFID アンテナをコンテナの底に設置することとなったため、底面

を打ち抜き、樹脂プレートを貼り付ける構造としており、可能な限り電波の減衰が少なくなるように配慮している。実際に試作した部品は軽量化のために底面を除く4面にパンチングメタル加工が施してある。

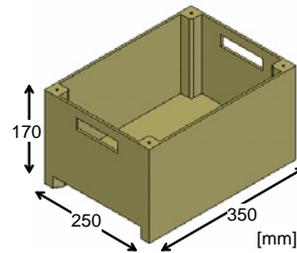


Fig. 4: i コンテナサイズの概要

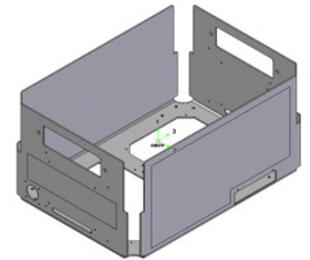


Fig. 5: メインフレーム構造概要

3.2 積載物タグ情報認識機能、積載重量認識機能の実装 まず積載物に貼り付けられた RFID タグを読み取るために、RFID タグリーダとアンテナをコンテナに搭載する必要がある。今回は RFID リーダに関しては Fig.6 に示すような市販の組み込み用リーダ (タカヤ (株) 製 RFID タグリーダ/ライタ TR3-C201) を利用することで、その開発コストを抑えた。一方で RFID アンテナはそのレイアウトから検討の対象となるため自作することとした。

まずアンテナのレイアウトはコンテナ積載物に付けられたタグを出来るだけエラーなく読み取れることが求められる。そこで今回はタグ通信距離が 180[mm] の市販アンテナ (タカヤ株式会社製 TR-A101 アンテナ) を参考としてアンテナを設計し、コンテナ底面に配置することとした。次に積載物重量認識のためには荷重センサをコンテナ底面に設置する。そこでコンテナ底面を二重構造とし、天板の下に荷重センサを埋め込むこととした。なおコンテナ底面同様に天板は RFID アンテナの読み取り距離を確保するために樹脂材料で構築し、裏側に4つのアンテナ用のコイルを形成する構造とした (Fig.7 参照)。荷重センサとして一般的には歪みゲージを利用したロードセルが使用されるが、微小の抵抗変化を読み取るため、アンプ回路が必要となる。今回の荷重センサは過積載を認識出来れば良く、広いレンジでの高精度な計測は不要なためイナバゴムの感圧ゴム「イナストマ SP-12」を採用することとした。このイナストマを Fig.8 に示すように、コンテナ底面の隅に設置し、その先端で天板を支持することで荷重を計測する構造とした。

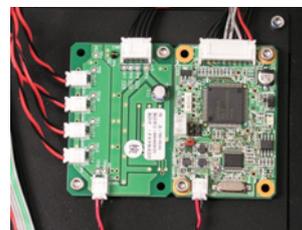


Fig. 6: タカヤ (株) RFID タグリーダ/ライタ TR3-C201



Fig. 7: コンテナ天板の様子

3.3 運搬感知機能の実装 人間による i コンテナの運搬を検知するためには主に次の3つの方法が考えられる。(1) コンテナの位置を計測する方法、(2) コンテナの傾斜を計測する方法、(3) コンテナの振動を計測する方法。上記の3つのうち最も簡便に計測出来るのは(3)の振動を計測する方法である。これは昨今の MEMS 技術の向上により比較的安価に加速度センサ (振動センサ) が入手できるように

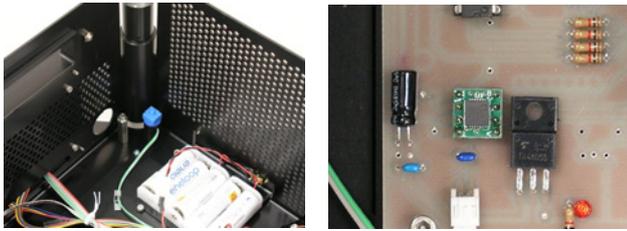


Fig. 8: コンテナ隅に設置された感圧ゴム (青色) Fig. 9: コンテナ底面の加速度センサ

なったためである。よって本研究では3軸の加速度センサ (KXM-52) を Fig.9 に示すようにコンテナ底面の基板に設置し加速度計測を行い、定常状態からの変化量が閾値を超えたときにコンテナが運搬されたと認識することとした。なお、一般的には重力方向の加速度として常時 1[G] が計測されていることになり、運搬時はコンテナの傾斜によりこの値が変化するため、間接的にコンテナの傾斜を計測していることにもなるという副次的な利点がある。

3.4 ロボット把持支援機能の実装 豊富な知識データを元に視覚情報より複雑な3次元情報を取得可能な人間と異なり、ロボットの立体計測・認識能力は未だその実用において様々な課題が残っている。そこでロボットが簡単かつ確実にコンテナを把持するために、ロボットにとって把持を行いやすい構造をコンテナに付与することを考える。ロボットが簡単に把持を行う構造としては、磁石吸着方式、フォーク挿入方式などがあるが、今回は確実性を重視し、Fig.10 に示すようなピン連結方式を採用することとした。このためコンテナ側に把持用のピンを設置し、安全のため保護カバーで覆う方式を採用した。Fig.11 にプロトタイプに搭載したロボット把持用ピン部の様子を示す。

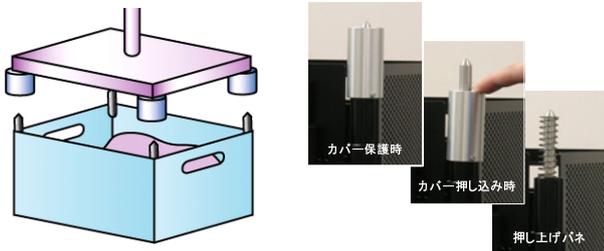


Fig. 10: ピン連結方式の概要 Fig. 11: 連結ピンとカバー

3.5 コンテナ位置認識支援機能, サービス情報提示機能, ユーザコマンド入力機能の実装 文献³⁾で詳細な検討を行っているが、i コンテナではシステムによる位置認識支援と人間への情報提示を同一のデバイスで行うことを狙い、液晶表示デバイスを採用した。今回、i コンテナに実装するにあたり、コンテナへの組み込みが容易な市販の小型液晶表示デバイスを調査し、インテグラル電子製のLCD表示デバイス”ITC-2432-035”を選定した。このデバイスは3.5inch TFT液晶で320×240pixelの解像度を有する。その特長は文字のフォントをデバイスに内蔵していること、そしてコンパクトフラッシュ上の画像データを表示出来ることである。このためメモリサイズの小さなマイコンでも、高度な文字、画像描画が可能である。次にユーザコマンド入力機能の実現のため、液晶表示デバイスの脇に操作用のプッシュスイッチを配置し、液晶画面と連動することでコマンド選択式のインターフェイスを構築することとした。なおプッシュスイッチはOK,NG,Up,Downの4種に絞りこみ、簡便に操作を行えるような工夫をしてある。上記を踏まえて液晶表示デバイスには、タグ情報認識結果を出力する画面と、位置認識

用として色相に特長を持つマーカ画像のほか Fig.12 に示すようにユーザインタフェース用途に数種の画面を用意した。Fig.13 に i コンテナに搭載した液晶表示デバイスの様子を示す。



Fig. 12: 液晶表示デバイス表示内容の概要



Fig. 13: 液晶表示デバイスとUI用スイッチ

3.6 人間による把持の支援機能, コンテナ多段設置機能の実装 人間による把持の支援機能は一般的なコンテナケースと同様に取っ手を用意することで実現可能である。なおコンテナフレームを板金部品としたために、人間が把持するためには厚さが足りない。そこで Fig.14 に示すように別途樹脂部品で取っ手を用意し、板金部品に固定する方法とした。次にコンテナ多段設置機能の実装としては、ロボット把持用の連結ピンを上下にコンテナを積み重ねるときの固定用に活用することとした。このため、Fig.15 に示すように、4つ角の樹脂ポール部の底面に連結ピンが挿入可能な穴を設置した。

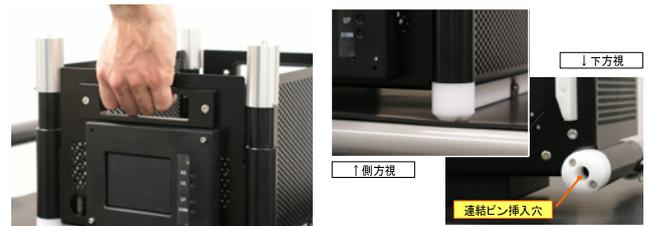


Fig. 14: 人間把持用ハンドル Fig. 15: ポール底面の様子

3.7 スタッカークレーン移載支援機能, コンテナ設置面状態認識機能の実装 スタッカークレーンはフォークリフトのようにコンテナを底面より支持し、収納庫への移載を行う。そのためコンテナはフォーク挿入分、床面より底上げされていなければならない。そこで Fig.16 に示すようにコンテナフレームの下に高さ 20mm ほどの樹脂製のフラットスタンドバーを2本設置した。このバーは比較的摩擦係数の小さい素材で製作し、両端はテーパ加工を施している、これによりフォーク作業時にスムーズにコンテナを引き出すことが可能となることが期待される。またコンテナ設置面の状態を認識可能なように、バーの中央に Fig.17 に示すようにマイクロスイッチを設置している。このスイッチがONになっているときに、コンテナの設置面が平坦であり、かつ

コンテナを安定して支持するだけの剛性を備えていることが保証されることになる。

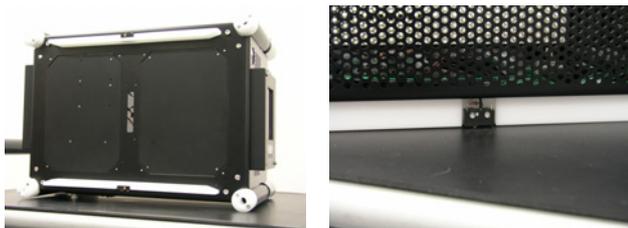


Fig. 16: コンテナ底面のスタ Fig. 17: 樹脂パー中央のマイククロスリッチ

3.8 HOST 状態通知要求回答機能及びユーザコマンド伝達機能の実装 まずホストとの通信方法であるが、i コンテナとホストは無線で1対多の通信を行う必要がある。そして通信電力も比較的小さいものが好ましい。上記の条件を満たすため、本研究ではBluetooth無線通信を採用することとした。また開発コスト低減のため市販のBluetooth通信モジュール(ADテクノロジー(株)製, "ZEAL")を利用することとした。

3.9 コントロール回路の実装 本節までに取り上げた各種センサやデバイスを統合的に制御するCPUとして(株)ルネサステクノロジー製"H8-3052F"を採用し, Fig.18に示すような制御基板を実装した。

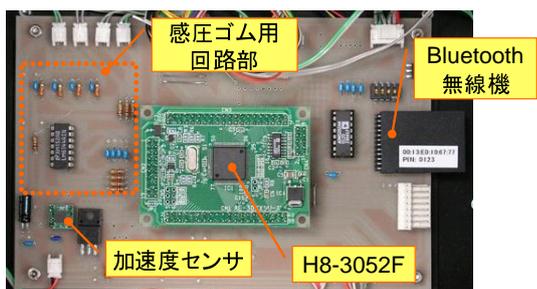


Fig. 18: i コンテナ用コントロール回路

4 主要機能の性能検証試験

本節では特にコンテナ単体の性能として検証が必要であると思われる積載物タグ情報認識機能, 運搬感知機能について検証を行った。

4.1 積載物タグ情報認識機能の性能検証 本検証ではRFIDタグの読み取り距離の性能確認を行う。RFIDの読み取り距離はタグの角度やアンテナ設置場所の条件によって異なるため一概にその性能を述べることは出来ない。そこで本試験では最大交信距離を確認し, 実装結果について議論することとする。今回読み取り試験用に使用したタグはシートタイプのタグであり, 45[mm]角と比較的小型であるため多くのものに貼り付けられると考えられる。試験ではコンテナ天板上の複数計測点においてタグを垂直に下降させていき, リーダが反応した時点でのタグとアンテナの距離を計測した。Fig.19に計測位置と各点での最大交信距離を示す。本試験の結果, 性能が良い部分ではコンテナ深さ(150[mm])をある程度網羅できる交信距離が実現出来ているものの, アンテナが隣り合う計測点での交信距離は著しく短くなっており, これはアンテナの相互干渉の影響と考えられる。アンテナ特性の設定については, 今後改良の必要がある。

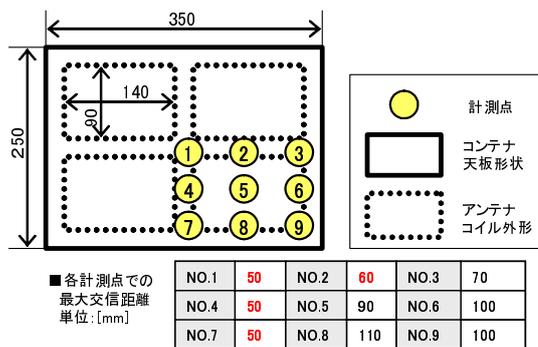


Fig. 19: RFID 交信距離の計測位置と各点での最大交信距離



Fig. 20: コンテナを運搬する際に発生する上下加速度

4.2 運搬感知機能の性能検証 人間による運搬を感知する検証試験を行った。試験は被験者3人(20代男性)にコンテナを机上より持ち上げ, 再び机上に設置するという作業を4回ずつ試行してもらい, その際にコンテナに発生する振動を加速度センサにより計測した。Fig.20にコンテナを持ち上げて, 下ろすという試験で取得されるデータの例を示す。一般にコンテナを持ち上げるよりも, 設置する際に大きな加速度が検出されることが確認された。また, 今回の試験においてコンテナ設置の際に最も発生加速度が小さかった試行(最も静かにコンテナを置いた状況)で被験者Aは0.3[G], 被験者Bは0.2[G], 被験者Cは0.7[G]の上下加速度が検出された。これはコンテナを研究環境中に1時間程度放置した際に検出された最大上下加速度0.06[G]と比較しても十分に大きな値であり, コンテナに発生する加速度を閾値処理することで, 人間によるコンテナ運搬を検出可能なことが確認された。

5 結論

本論文では家庭内物流支援ロボットシステムにおいて人がロボットに望む支援, そしてロボットが人間に与えられる支援の間を埋める"接点"の役割を担う, インテリジェントコンテナを提案し, 必要機能の検討を踏まえてプロトタイプ的设计・製作を行った。主要機能の検証試験においては, 加速度センサを用いた運搬感知機能が有効に働くことを確認し, 積載物タグ情報認識機能においてはアンテナの相互干渉を踏まえた詳細な設計が課題であることを示した。

参考文献

- 1) 福井他, "家庭内物流支援ロボットシステムの構築(第1報: 物流支援ロボットシステムのシステム全体設計)", 第24回日本ロボット学会講演会予稿集, 2M14, 2006.
- 2) 福井他, "磁石誘導型天井移動ロボットプラットフォーム~天井吸着用磁石モジュールと複数ロボットの位置計測方法~, ロボティクスシンポジウム, pp.146-153, 2004.
- 3) 福井他, "家庭内物流支援ロボットシステムの構築(第2報: i コンテナ情報支援部のシステム設計とコンテナ位置認識機能プロトタイプ的设计)", 第24回日本ロボット学会講演会予稿集, 2M15, 2006.