

家庭内物流支援ロボットシステムの構築 (家庭用自動収納庫の基本設計とコンテナ収納ロボットの開発)

福井類, 森下広, 森武俊, 佐藤知正 (東京大学)

Construction of a Logistical Support Robot System in living space - Design of a Home-use Auto Rack and Development of a Container Stack Robot -

*Rui FUKUI, Hiroshi MORISHITA, Taketoshi MORI, Tomomasa SATO(Univ. of Tokyo)

Abstract— This paper describes basic design of home-use auto rack system and development of a container stacking robot, sub-systems of a logistical support robot system. The rack system and robot have two features. (1) Elevator type stocking method enables not only auto stocking motion, but also human access to containers as if the auto rack is a general shelf. (2) A separated motion layout enables us to utilize upper ceiling space as a stock space, and decreases possibility of accidental stuck by reducing robot's motion area.

Key Words: Automatic Warehouse, Intelligent Environment, 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。そこで本研究では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”の実現を目標とする。システムは次の4要素より構成される。

- (1) 物品を収納する”インテリジェントコンテナ”[2]
(以降ではiコンテナと表記する。)
 - (2) コンテナの運搬を担う”天井移動ロボット”
 - (3) コンテナを収納する”棚型(天井裏)収納庫”
 - (4) コンテナの収納作業を行う”コンテナ収納ロボット”
- 本論文では”棚型(天井裏)収納庫”と”コンテナ収納ロボット”の統合によって実現されるiコンテナ用自動収納庫の基本設計を行い、続いてコンテナ収納ロボットの開発について述べる。

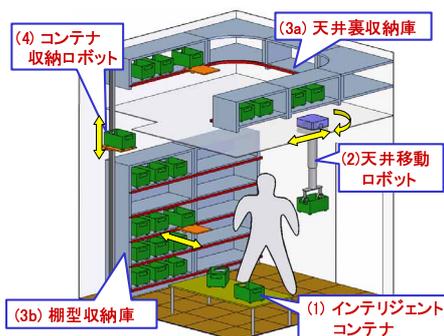


Fig.1 家庭内物流支援ロボットシステムのコンセプトスケッチ

2. iコンテナ用自動収納庫の基本設計

本節では、まずiコンテナ用自動収納庫の性能について整理し、各性能の必要機能を列挙する。

1. 収納性能: iコンテナを棚もしくは天井裏に収容し、必要に応じて取り出しが行える環境を実現する。

2. 自動移載性能: 天井移動ロボットと連動し、コンテナの受け渡しを含めて自動的に移載を行う。
3. 情報管理性能: iコンテナ及びその搭載物の使用履歴等の情報を取得、管理する。

2-1 収納性能に関する必要機能の検討

収納性能の実現に必要な機能は次の3つである。

- 人間生活適応収納機能
人間による保管にも適応した収納能力を有する。
- 天井裏空間利用機能
従来の家庭用収納設備と比べて空間利用効率が高くなるよう天井裏空間も収納空間として活用する。
- コンテナ収納位置誘導機能
人間がコンテナを収納するときに、ロボットの移載作業が容易な状態になる様に誘導する。

2-2 自動移載性能に関する必要機能の検討

iコンテナの積載重量はシステム設計により5[kg]と設定している。iコンテナの自重が最大で3[kg]と規定しているため、移動移載性能では合計8[kg]の荷重を移載可能でなければならない。この自動移載性能は次の3つの機能により実現される。

- 人間低干渉移載機能
生活空間内で移載を実施するため、人間との干渉が小さい方法で移載を行う。
- コンテナ位置誤差適応機能
コンテナが詳細に位置合わせされていなくても、移載機構を流用して収納位置修正を行う。
- 移載可否認識・表示機能
人間がコンテナを棚に収納するときに、そのコンテナが移載可能な状態で収納されたかを認識し、人間に伝達する。

2-3 情報管理性能に関する必要機能の検討

情報管理性能の実現に必要な機能は次の2つである。

- iコンテナプロパティ認識機能
収納、取り出しを行うiコンテナの情報(コンテ

ナ ID, 収容物等) を取得する。

- i コンテナ保管情報管理機能
コンテナの出納データの蓄積, 管理を行う。

3. コンテナ収納ロボットの開発

本節では, 前節の検討が必要とされた機能のうち, コンテナ収納ロボットによって実現する機能の実装方法について検討を述べ, 開発したプロトタイプについて示す。まず試作したコンテナ収納ロボットの概要を Fig.2 に示す。以降では各機能の実装詳細について述べる。

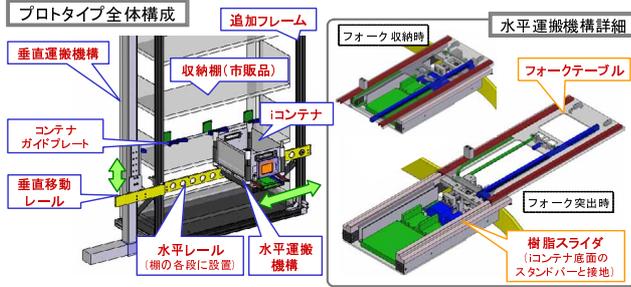


Fig.2 コンテナ収納ロボットプロトタイプの概要

3.1 人間生活適応収納機能, 人間低干渉移載機能, コンテナ位置誤差適応機能の実装

本節ではコンテナの収納・移載機能を実現するために収納庫基本構造, 自由度レイアウト, 移載方式について検討を行う。

3.1.1 収納庫基本構造の検討

コンテナ収納庫を自動化する方法としては Fig.3 に示すようなエレベータ方式, 循環方式の2種類の方法がある。両方式の概要と特長は次の通りである。

※方式名及び図は「社団法人 立体駐車場工業会」のWeb Pageより引用

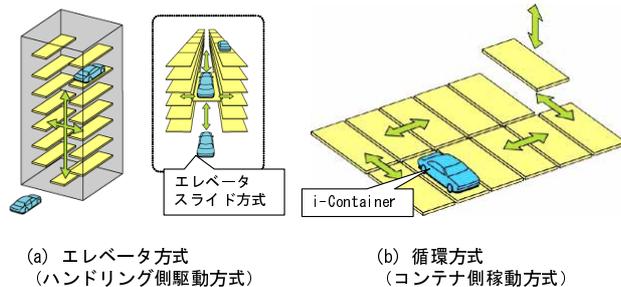


Fig.3 自動収納庫の基本構造候補

- エレベータ方式
棚とスタッククレーンの2つの構造からなり, 格段にて移載を行う方式。従来の収納棚と同様の方法で収納を行うことが可能であり, また駆動部位が小さいので動力源を小さくすることが出来る。
- 循環方式
棚自体が循環駆動され, 特定の箇所での移載を行う方式。動作する全ての空間を収納空間として利用出来るため, 空間利用効率が高い。

一般の収納棚と同様の収納方法が可能という点ではエレベータ方式が有利なため, 本方式を採用する。

3.1.2 自由度レイアウトの検討

エレベータ方式の収納庫の場合, スタッククレーンには垂直方向と水平方向の2つの自由度の動作が必要となる。この自由度のレイアウトには Fig.4 に示すようなレイアウトが考えられる。各々の概要と特長は次の通りである。

- 自由度一体型レイアウト
工業用のスタッククレーンで一般的な, 垂直・水平自由度を同一の台車の上に設置する方式。垂直と水平の同時駆動により作業の高速化が可能。
- 自由度分離型レイアウト
垂直自由度担当の直動機構と水平自由度担当の台車を分離する方式。水平移動部が台車のみと小型で, 挟まれが発生する箇所が少ない。

生活環境中では工場よりも更に高い安全性が求められ, また空間の取り合いが大きな問題となるため, 自由度分離型レイアウトを採用することとする。

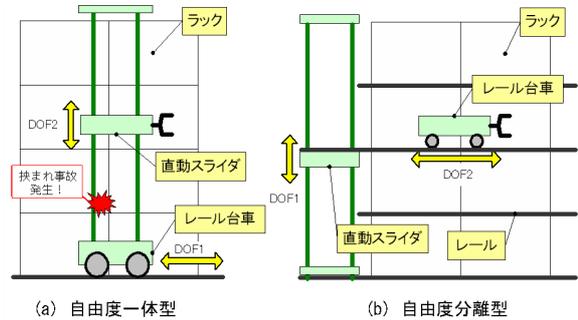


Fig.4 自由度レイアウトの比較

3.1.3 移載方式の検討

本節では棚上のコンテナを取り出す, または棚にコンテナを設置する移載方式について検討を行う。移載方式としては Fig.5 に示すようなフォーク方式と把持方式が一般的である。両方式の概要と特長を次に示す。

- フォーク方式 (非固定方式)
工場でのスタッククレーンで一般的に用いられている方式である。フォークリフトのようなフォーク構造物を対象の底部に挿入して移載を行う方式。フォークを差し込むというシンプルな動作のため, 詳細な位置合わせが不要である。一方で対象物を引き出す際には接地面より持ち上げるための大作用力, 小ストロークの駆動源が必要となる。
- 把持方式 (固定方式)
ロボットハンド, 連結ピン等で対象を把持・ロックし, 押し込み, 引き出しを行う方式。ロックをした状態で移載を行うので, 高速な移載でもコン

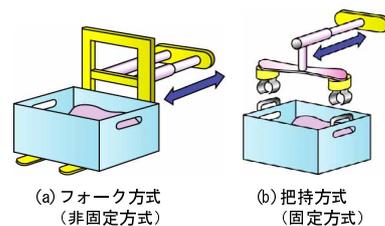


Fig.5 棚型自動収納庫の移載方式比較

テナのすべりが発生せず、またコンテナの底面の摩擦が小さければ、引きずった状態で牽引出来るため持ち上げ動作が不要である。

本研究ではフォーク方式の挿入動作と把持方式の引き出し動作の両者の利点を生かしたハイブリッド方式となる”フォーク+簡易把持方式”を採用する。Fig.6に本方式のコンテナ引き出し動作の模式図を示す。なお

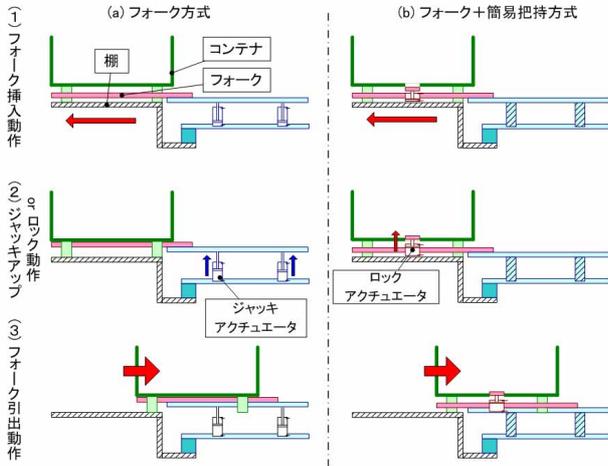


Fig.6 コンテナ引き出し動作の比較

フォークプレートの駆動にはラックギアによる送り機構を採用し、簡易把持方式としてはフォークプレートよりロックプレートが突き出る構造 (Fig.7) を採用した。

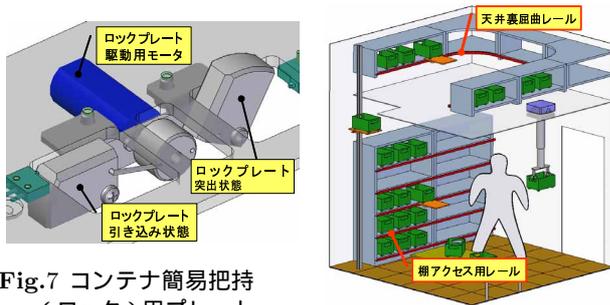


Fig.7 コンテナ簡易把持(ロック)用プレート

Fig.8 レールレイアウト

フォーク+簡易把持方式による移載作業を実施するためにはコンテナがフォークの挿入可能範囲に設置されている必要がある。しかし人がコンテナを収納する際に細かな位置を規定するのは不可能である。そこで人がラフにコンテナを設置した状態でもフォークプレート挿入動作が実現できるように、ガイドを用意することとした。Fig.9に示すようにガイドの窪みの部分にコンテナのボール部が押し込まれることによって、受動的にコンテナの位置が規定されるような構造とした。

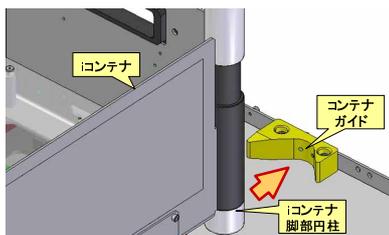


Fig.9 ガイドプレートとコンテナ角のボール構造部

3.2 天井裏空間利用機能の実装

本節ではコンテナ収納ロボットを用いて天井裏空間を収納に活用する方法を検討する。自由度分離型レイアウトでは、垂直自由度を天井裏まで延長することで容易に天井裏にアクセス可能である。そこでまず垂直自由度の実装について検討を行い、続いて天井裏空間をより効果的に利用可能な水平自由度の検討を行う。

3.2.1 垂直自由度実装方法の検討

垂直自由度の実現には大ストロークの直動機構が必要となる。本研究ではコントローラを機構に内蔵したメカインダストリー社製のタイミングベルト式直動機構”HBL40A-2000-C-CMG23L25”を採用した。

3.2.2 水平移動方法の検討

空間上を水平移動する一般的な方法は天井自動搬送システムで採用されているモノレール方式である。この方式は構造を剛にすることで、大重量を運搬することが出来、また軌道経路の設計自由度が高いという利点がある。本システムではこのモノレールを天井裏にFig.8のように巡らせることによって、天井裏を収納空間として利用可能とすることを狙う。また、通常の棚にも同様のモノレールを配置することで、各棚段にスタックレールがアクセス可能なようにする。このモノレール方式では、コンテナ収納ロボットは片持ち構造となるため、ローラ配置の設計に工夫が必要となる。

3.2.3 ローラ配置の検討

本節では水平運搬機構荷台を支持するローラの配置について検討する。ローラ配置の検討では、垂直荷重とモーメントを支持するための垂直面のローラ配置の検討と屈曲レールに沿って運搬を行うための水平面のローラ配置の検討が必要となる。なお駆動ローラの配置は水平、垂直の両者と深く関わってくるため後半の水平面の検討において行う。

垂直面ローラ配置検討

前述した様に、水平運搬機構は片持ち状態となるため大きなモーメントを支持出来る必要がある。Fig.10左に垂直面ローラレイアウトのモデルを示す。図中の記

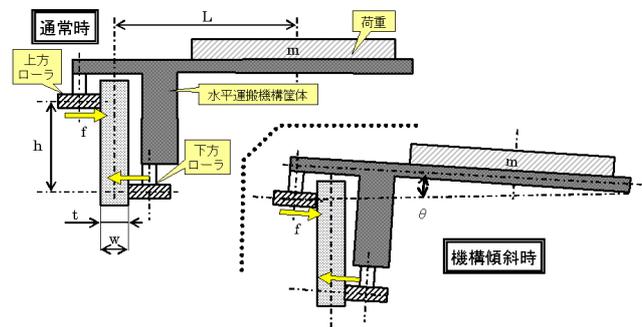


Fig.10 垂直面ローラレイアウトのモデル

号の定義は次の通りである。

m:荷重 (自重含む), L:レールから荷重重心までの距離, t:レール厚さ, w:上方ローラ, 下方ローラ間水平距離, h:上方ローラ, 下方ローラ間垂直距離, f:ローラ発生力, θ :筐体傾き角
モーメントのつりあいより各ローラは式(1)のような

力を支持することになる。

$$f = m \times L/h \quad (1)$$

ローラ発生力 (f) が過大な場合、ローラ内の軸受けに負荷がかかり寿命が低下するという問題が発生するだけでなく、ローラ表面のウレタンやローラを支持するシャフトの撓みを発生することになる。その結果、上方ローラ、下方ローラ間水平距離 (w) が広がりレール厚さ t との差が大きくなるため、Fig.10 右図に示すように機構が傾いてしまうことになる。このとき筐体の傾き角 (θ) は式 (2) のようになり、ここでも h が大きいほうが傾きが小さくなること分かる。

$$\theta = \arctan\left(\frac{w-t}{h}\right) \quad (2)$$

そこでローラ発生力 (f) を適切な値の範囲に収めることが必要となり、そのためにはローラ間垂直距離 (h) を大きくとることが求められる。

一方でローラ間垂直距離はレール高さを規定するため、これが過大な場合棚の前面が塞がれてしまう。コンテナ高さは 170[mm][2] であり、市販棚の棚段の高さは約 300[mm] ほどに設定されている。ここに人間によるコンテナ把持余裕 50[mm] を加味すると、ローラ間垂直距離の最大距離は約 80[mm] となる。またローラ垂直距離が長くなるとレールを捻る力が大きくなり必然的にレールの変形が大きくなり、結果として棚に対して水平運搬機構が傾いてしまうため、これを防ぐためにレールの厚さ (t) が大きくなる。

上記を整理すると、ローラ配置の検討では以下の 3 条件を踏まえた検討が必要となる。

1. 回転モーメントを支持し、ローラ発生力を過大にしないローラ間垂直距離があること。
2. ローラ間垂直距離に規定されるレール高さがコンテナの取り出しを阻害しないこと。
3. ローラがレールを捻る力がレールのねじり剛性の許容範囲であること。

レール素材の寸法規格を含めた検討の結果ローラ間垂直距離は 55[mm](レール高さ 65[mm]) とし、またレール厚さは FEM による検討により、ねじりに対して必要な剛性を確保可能な 9[mm] とした。

水平面ローラ配置、駆動ローラ配置の検討

水平面ローラの配置検討においては、屈曲レールに対応するように水平運搬機構を回転させるよう考慮する必要がある。そのためレールに沿って筐体を回転させる回転ガイドローラを設置する必要がある。また駆動ローラは Fig.11 に示すように、回転中心ローラと駆動ローラを一体にする (a) ローラ対向型と、支持ローラと駆動ローラを別々に配置する (b) 支持ローラ、駆動ローラ分離型の二つの方法が考えられる。今回は片持ち構造となるため中央の支持ローラには大きな荷重が掛かることになる。この荷重を支持し、かつ水平駆動を行うためにはモータの出力が過大となるため、部品数は増えるがモータの負荷が小さい支持ローラ、駆動ローラ分離型を採用することとした。

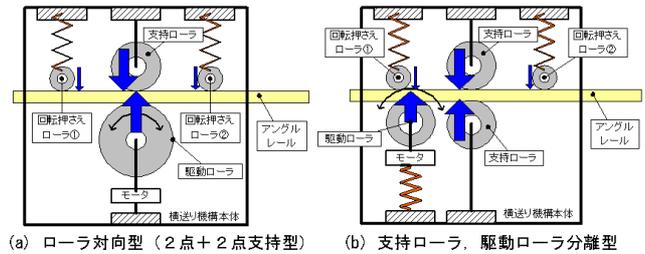


Fig.11 水平面ローラレイアウトの候補

4. 性能確認試験

コンテナ水平運搬及び移載作業性能の確認試験を実施した。Fig.12 にコンテナ移載作業時の様子を示す。試験によりコンテナ収納ロボットが、5[kg] の荷重を積載したコンテナの水平運搬及び移載作業を実施可能なことを確認した。

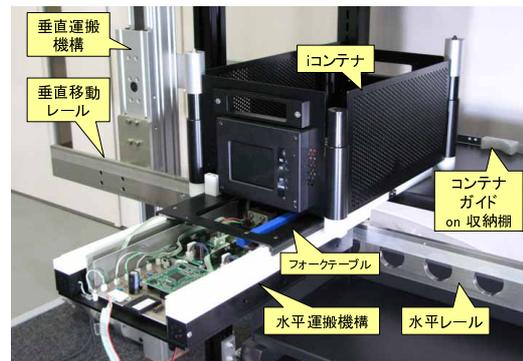


Fig.12 コンテナ移載作業性能確認試験の様子

5. 結論

本論文では i コンテナ用自動収納庫の基本設計及びコンテナ収納ロボットの開発し、試験により基本性能を確認した。その特長は次の 2 点である。(1) エレベータ収納方式の採用により人による通常の棚への収納行為を維持したまま、コンテナの収納自動化が可能である。(2) 垂直・水平自由度分離型のレイアウトを採用したことにより、収納棚と天井裏収納空間をシームレスな収納空間として利用可能とし、また収納ロボットの占有空間を小さくし、挟まれなどが発生する可能性を少なくすることが可能である。将来課題としては、開発した収納ロボットの詳細な性能把握及び水平屈曲レールでの収納ロボットの動作を確認することが挙げられる。

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, 森下広ら, "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.
- [2] 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.