

論文

運搬ロボットの安全性強化と開発

益田 俊樹^{*1)} 佐々木 智典^{*1)} 森田 裕介^{*1)} 村上 真之^{*1)} 坂下 和広^{*1)}

Development and safety enhancement of a carrier robot

Toshiki Masuda^{*1)}, Akinori Sasaki^{*1)}, Yusuke Morita^{*1)}, Masayuki Murakami^{*1)}, Kazuhiro Sakashita^{*1)}

Japan has problems with a declining birthrate and aging population and demand for life support robots has increased. We have been conducting research and development on a “carrier robot” using a human tracking function and we have managed to develop a carrier robot capable of carrying a 100kg load and overcoming steps with a height of 50 millimeters and slopes with an inclination of 10 degrees. In this study, we will demonstrate the safety enhancement of the carrier robot through experiments to reduce the impact of collisions using a bumper sensor and control the deceleration using a laser range finder.

キーワード：運搬, ロボット, 安全性, LRF

Keywords : Carrier, Robot, Safety, Laser Range Finder

1. はじめに

産業には、農業、林業、水産業等の第一次産業、製造業、建設業、工業生産等の第二次産業、運輸業やサービス業などの第三次産業まで様々な産業が存在する。日本の問題として、介護福祉も同様であるが、これらの産業の中で「運搬」という作業が共通している。農業であれば、農作物の運搬、林業であれば、木々の運搬、水産業であれば、海産物の運搬、製造業や建設業も資材や製品の運搬、サービス業である介護福祉であっても人の移乗や物資の運搬等が考えられる。しかしながら、運搬を支援するロボットは少ない。実際、屋内の病院で薬品を運ぶ自律型のロボットは、開発中を含め存在している⁽¹⁾が、屋外となるとまったく存在しない。この背景には、ロボットの安全性不足や道路交通法等の規制が考えられる。2014 年 2 月に安全規格「ISO:13482：ロボットおよび、ロボティックデバイス - 生活支援ロボットの安全要求事項」が発行されたが、すべてのロボットに当てはまる訳ではない。

これまで、本研究では、100 kg の運搬や 50 mm, 10 度の不整地踏破が可能な運搬ロボットを開発してきた。また、人追従制御を搭載し、施設において実験を行ってきた⁽²⁾。しかしながら、実際に施設に導入するには、ロボットの基本的な仕様、安全性において性能は満たされていない。

そこで、本研究の最終目的は、様々な産業において共通で必要な「運搬」という作業をあまり開発されていない「屋外」対応で、導入しやすいように「半自律的」な「運搬支援ロボット」を実現することである。本研究では、まず、前回開発した運搬ロボットの施設実験から必要な安全

性を述べる。また、その安全性における衝突リスクを軽減させるために、バンパーセンサを搭載し、衝突したら停止する機能や距離センサを搭載し、対象物の距離による減速停止機能を追加する。また、施設内のドアを通過可能なサイズまでロボットの小型化を図る。

2. 運搬ロボットに必要な安全性

図 1 に前回開発した運搬ロボットを用いて、施設実験を行った様子を示す。①駐車場、②廊下、③ドア、④エレベーター付近の実験の様子を示し、各実験により得られた結果を表 1 に示す。表 1 から対処法をまとめると、

1. ロボットの小型化
2. 衝撃の軽減化
3. センサによる検知
4. 衝撃の回避手法の必要性
5. 手動制御
6. 非常停止による電源停止

が挙げられている。1 については、ドアや人との衝突を考えると、前回のロボットのサイズ 1000×1000 mm では、サイズが大きくなり、ドアを両開きにしないと通過できない。また、小型化することによって軽量化され、衝突力も小さくなることから、有効だと考えた。今回は、機構部品として、バイクの部品を使用することで、運搬の機能を満たす最小のサイズとした。これらについては、3. 1 節で述べる。また 2 の衝撃の軽減化については、家電ロボットや産業機械を例とすると、家庭用掃除機の iRobot 社の Roomba⁽³⁾は、障害物感知用の距離センサとして赤外線センサと衝撃緩和用のバンパーセンサ、業務用掃除機の FIGLA のエフロボ⁽⁴⁾は超音波センサとバンパーセンサ、明電舎の無人搬送車⁽⁵⁾は、レーザーレンジファインダー (LRF) とバンパーセンサを搭載し

事業名 平成 26 年度 基盤研究

^{*1)} ロボット事業推進部 ロボット開発センター



図1. 前回の施設実験の様子

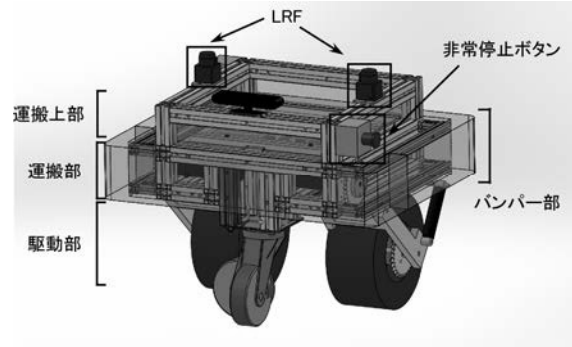


図2. 運搬ロボット(CAD)

表1. 施設実験による懸念事項，影響，対処法について

実験場所	懸念事項	影響	対処法
駐車場	段差	段差の踏破 人認識可否	問題なし 問題なし
	ドア	衝突	小型化 衝突回避
	壁	擦る	センサ検知
	人	衝突	衝撃軽減化 センサ検知 衝突回避
廊下	壁	擦る	センサ検知
	人	衝突	衝撃軽減化 センサ検知 衝突回避
ドア	ドア	衝突	小型化 衝突回避
	人	衝突	センサ検知 衝撃軽減化 衝突回避
エレベータ	エレベータドア	衝突	小型化 衝突回避
	エレベータ内	暴走 人認識解除	非常停止 手動制御
	人	衝突	センサ検知 衝撃軽減化 衝突回避
全体	夜	センサ認識	問題なし

ている。これらの実用例から、衝撃の軽減化について、バンパーセンサを用いることが最低限必要である。また、3についても上記と同様で、何かしらの距離センサが有効だと考えられる。4については、産業用機械では、迂回するなどの回避ではなく停止によって回避している。また、人追従をする上で人の後を付いていきながら、迂回によって回避してしまうと人を見失う可能性があるため、今回は、避けるなどの回避行動ではなく、停止することによって衝突を回避することとした。これらについては、3.2節で述べる。

3. 運搬ロボットの開発と実験

3.1 運搬ロボットの小型化軽量化 図2に本研究で再設計した運搬ロボットの全体図を示す。アクチュエータやプーリー、チェーン、アルミフレームで構成されている駆動部、制御用PCやモータドライバー等の回路、フレーム等で構成されている運搬部、運搬物や緊急停止ボタン、距離センサ、フレーム等で構成されている運搬上部、バンパーセンサやフレームで構成されているバンパー部と分けて設計を行った。それぞれのパートについて、説明する。

駆動部について、従来の運搬ロボットから小型化、軽量化をするために、まず、タイヤのサイズを従来の8インチから6インチに変更した。また、駆動用モータは、Maxon社製のRE50のギア比を21:1に小さく変更したことによって、モータ全体の長さが短くなり、横幅が縮まった。サスペンションについては、バイク用から自転車用のものを流用することによって、長さが短くなった。また、従来のロボットは、モータとタイヤにあるスプロケットが水平に搭載されていたが、今回は、小型化するために、斜めに取り付けた。また、リアフォークについては、前回は、左右対称のものがなく、モータのエンコーダ部分が剥き出しであり、衝突時に危険であったが、左右対称のリアフォークを製作したため、エンコーダ部分が接触して故障する可能性が低くなった。

運搬部については、駆動部のサイズが小さくなったことによって、運搬物を載せられるスペースは、500mm²となった。また、制御端末をIntel社製のNUC(515RYK)にしたことによって、アルミフレームの厚み40mm内に納まり、その他の制御回路、モータドライバー、電源ボードが中央の亚克力板内に納まった。キャスターや駆動部の取り付けのために、10本の支柱によって支えるような設計にした。

運搬上部については、人追従用のHokuyo社製のLRFの型番URG-04LX-UG01を2つ搭載した。また、安全面を考慮して非常停止ボタンを正面、背面に立って常に右手で押せるように側面に搭載した。

バンパー部は、次節で述べるが、実験では、エッジスイッチを使用した。結果的に衝撃を緩和させるためにクッション性があるバンパーセンサを使用した。このクッショ

ンの内部にテープスイッチが入っており, ある程度の力で押すと停止の信号が伝達される仕組みである。このセンサが運搬部や駆動部に取り付け可能なようにユキ技研製の 25 タイプのアルミフレームを使用した。

これらの設計を基に組み立てた実機を図 3 に示す。全体としては, これらに加えて, シシク社製キャスターが搭載されており, 今回は, スペースの問題があったため, キャスターを 1 つとした。バンパー無しの全体のサイズとしては, 横幅 500 mm, 奥行き 500 mm, 高さ 554 mm, 重量 50 kg となり, 前回の運搬ロボットは, 横幅 780 mm, 奥行き 860 mm, 高さ 890 mm, 重量 104 kg であったので, サイズも重量に関しては, 半分以下程度となり, 小型化, 軽量化が十分に図れた。

3.2 安全性の強化 2章で述べたように, 衝撃の軽減化として, バンパーセンサを用いることが多い。バンパーとしては, iRobot 社のルンバやソフトバンク社の Pepper のようなプラスチック製の外殻が押されるとスイッチが作動し, 停止するようなものもあるが, 今回は, 東京センサ社製のエッジスイッチによるバンパーセンサを採用した。制御用のプログラムが起動し, ある程度の力が加わってバンパーが作動すると, プログラムが停止する。そして, ソフトウェア上で解除し, プログラムを再スタートすると正常に戻るといった流れである。対物実験として, 顕著に反応しやすい壁の角を選び実験を行った。その実験模様を図 4 に示す。一定の速度で前進し, 壁に衝突する様子がわかる。図 5 にバンパーセンサのアナログ値の出力値を示す。バンパーが壁に接触し, アナログ値が 100 以上の値を出力すると, 停止するようにプログラムを組んでいる。また, 今回は, ソフトウェアによって停止, 解除を行う流れであるが, 今後は, バンパーセンサが作動したら, 駆動源を遮断する流れとする方が, 安全性が高まる。

次に, LRF を用いた減速停止制御について述べる。LRF は, Hokuyo 社製の URG-04LX-UG01 を使用した。主な仕様としては, 測距距離は, 0.02~5.60 m であり, 角度範囲は, 240 度, 測距精度は 0.06~1 m では, ± 30 mm, 1~4 m では, 距離の 3% である。この LRF を運搬ロボットの前方に 2 つ搭載した。減速停止制御の流れは, 手動制御のコントローラや人追従等で通常走行中に, 障害物を検出した場合に, 減速を 2 段階とし, 500 mm になると減速 1, 300 mm になると減速 2, 100 mm で停止である。LabVIEW の LRF 入出力プログラムからシェア変数と呼ばれる変数を用いて, 制御プログラムに LRF の数値データを読み込み, その値がある閾値以上であれば, 減速する。今回は, 左右の値のどちらかが閾値以上であれば, 減速するようにした。

次に, LRF を用いた減速停止制御による実験を壁に対して行った。一定速度でロボットが壁に前進していき, LRF の距離に応じて 2 段階で速度が減速し, 最終的には, 停止するようなプログラムを組んだ。壁に接近するとロボットが減速し, 停止する様子が見られた。その模様を図 6, ロボ

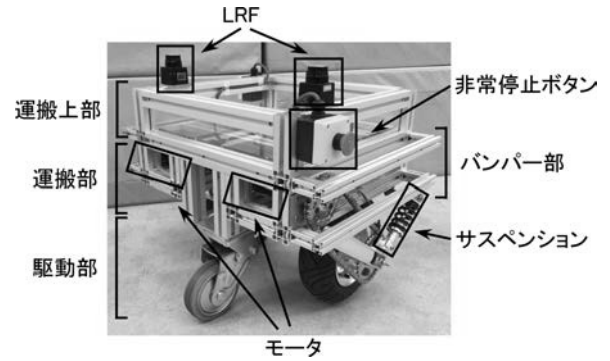


図 3. 運搬ロボット (実機)

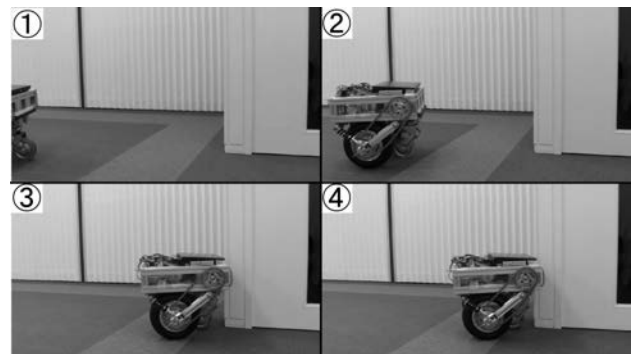


図 4. バンパーセンサによる衝突停止実験

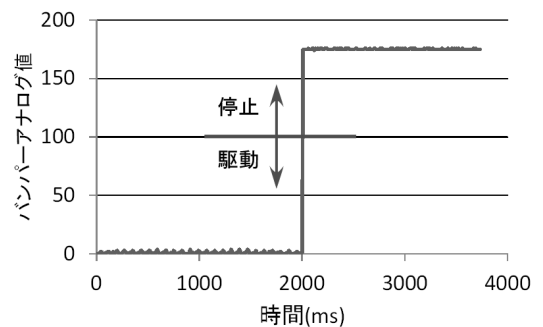


図 5. バンパーセンサの出力値

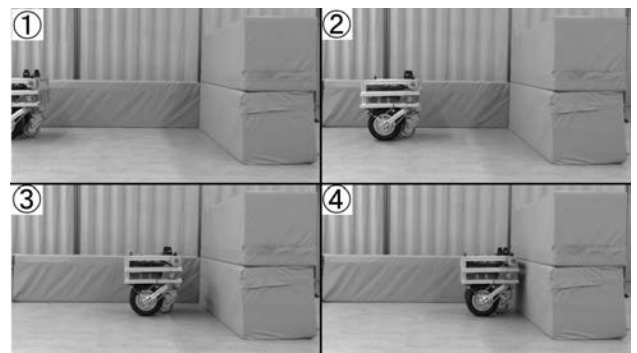


図 6. LRF による減速停止制御実験

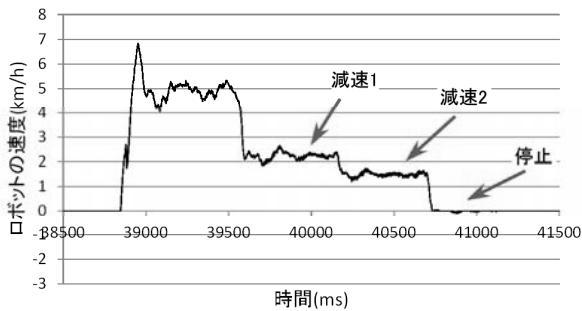


図 7. LRF 減速停止制御の速度出力結果

ットの速度の出力値結果を図 7 に示す。この図から、一定速度 5 km/h (1.38 m/s) で前進し、LRF の距離の値が 700 mm になると速度が 2.4 km/h (0.66 m/s)、300 mm 以内になると 1.6 km/h (0.44 m/s) となり、停止する結果が示されている。この結果をみると、初速がオーバーシュートしているため、ゲイン値を調整する必要があることもわかった。最後に、クラッシュパッドや椅子を使用して施設を模擬した実験を行った様子を図 8 に示す。図 8 の左側は、ロボットの右側に搭載された LRF が感知した点群データの表示であり、右側が実験の様子である。①や②をみると、ロボットの右側にある壁の角を検知していることがわかる。また、⑦でも壁が検知されているが、撮影用カメラ付近にある壁を検知している様子が見られた。これらの実験により設定した距離であれば、適切に減速を行うことがわかった。

4. まとめ

1 章では、産業から運搬ロボットの必要性や背景を述べ、これまでの開発や目的について述べた。2 章では、施設実験により運搬ロボットに必要な安全性について、1. ロボットの小型化、2. 衝撃の軽減化、3. センサによる検知、4. 衝撃の回避手法の必要性、5. 手動制御、6. 非常停止による電源停止が必要であることを述べた。また、家庭用掃除機や業務用掃除機、無人搬送車の例からセンサの 2 重化についての例を述べ、バンパーセンサと距離センサが必要であることを述べた。3 章の 3.1 では、運搬ロボットの小型化軽量化について述べた。その中で全体の設計図から 4 つの部に分けてそれぞれの機能や役割について述べた。また、小型化、軽量化のために、モータ、サスペンション、タイヤなどを選定することによって、サイズも重量も半分程度になり、小型化、軽量化が図れた。3 章の 3.2 では、安全性の強化として、バンパーセンサや LRF を搭載し実機による実験を行った。バンパーセンサ搭載実験では、壁に衝突すると、ロボットが正常に停止することがわかった。また、LRF の搭載実験では、減速停止制御を実装し、3 段階に分けて、減速から停止するようにした。壁や椅子、施設を模擬したいくつかの実験により減速停止制御の有効性を示した。

今後は、クッションバンパーの実験や、施設実験等を行

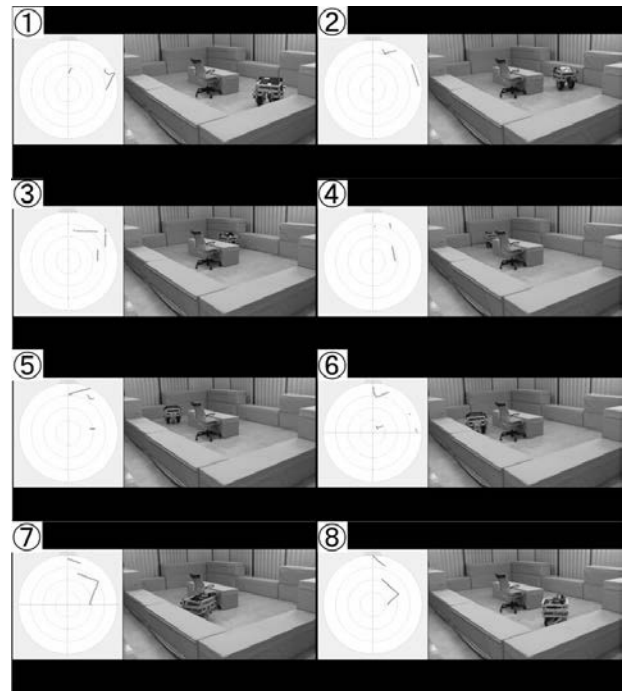


図 8. 施設を模擬した実機実験

い、都産技研での試験運用をしていきたい。次段階として屋外用の運搬ロボットを開発していく予定である。今回、安全性の評価として、バンパーセンサを用いたが、実際に人に衝突させることは、倫理的にも難しい上に、特に人の痛覚を評価するのは難しい。今後は、ロボットの安全性の研究⁽⁶⁾ や評価のための研究^{(7),(8)} を参考にし、荷重センサが組み込まれているダミー人形を用いて評価するなど、ロボットの安全性評価を行っていきたい。

(平成 28 年 7 月 4 日受付, 平成 28 年 7 月 29 日再受付)

文 献

- (1) Panasonic, “病院内自律搬送ロボット HOSPI®の販売を開始”, <http://news.panasonic.com/press/news/official.data/data.dir/2013/10/jn131024-1/jn131024-1.html>(2013), (参照日2016年6月24日)
- (2) 益田俊樹, 佐々木智典, 森田裕介, 村上真之, 坂下和広, “人追従機能を用いた運搬ロボットの研究開発”, ロボティクスメカトロニクス講演会 2015 in Kyoto, No.15-2, p.98(2015)
- (3) アイロボット・コーポレーション, “最新モデル発売”, <https://www.irobot-jp.com/>(参照日 2016 年 6 月 24 日)
- (4) フィグラ株式会社, “ロボット部” <http://www.figla.co.jp/ft/robot/> (参照日 2016 年 6 月 24 日)
- (5) 株式会社明電舎, “AGV ナビ”, <http://agv.meidensha.co.jp/top/index.html>(参照日 2016 年 6 月 24 日)
- (6) DAIFUKU, “「エリア管理システム」を開発し、ISO 認証を取得”, http://www.daifuku.co.jp/dbps_data/_material/_DFK_Japan/ir/library/_res/pdf/20140217.pdf (参照日 2016 年 6 月 24 日)
- (7) 山田陽滋, 吹田和嗣, 今井孝二, 池田博康, 杉本旭, “痛覚耐性値に基づく安全な人間の接触検出および停止機能を有するロボットシステム”, 日本機械学会論文集(C 編), 63 巻, 614 号, pp.232-237(1997-10)
- (8) 齋藤剛, 池田博康, “人間協調型ロボットの機械的刺激に対する人体痛覚耐性限界の測定” 産業安全研究所特別研究報告, NIIS-SRR-NO.33(2005)