T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題	日常生活支援のための実用的ロボティックフォロワの研究-第5報：ユーザビリティを考慮した菱形４輪車両の改良-
Title	Study on a Practical Robotic Follower to Support Daily Life -Part5: Improvement of rhomboid layout four-wheel vehicle with considering the usability-
著者	鵜飼伸雄, 遠藤玄, 福島E.文彦, 広瀬茂男, 入部正継, 田窪敏夫
Author	Nobuo UKAI, Gen ENDO, Edwardo F. Fukushima, Shigeo HIROSE, Masatsugu IRIBE, Toshio TAKUBO
掲載誌/書名	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス 講演会2012 講演論文集, , , 2A2-V09
Journal/Book name	2012 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, , , 2A2-V09
発行日 / Issue date	2012, 5
URL	http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本機械学会に帰属します。
Note	このファイルは著者（最終）版です。 This file is author (final) version.

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

日常生活支援のための実用的ロボティックフォロワの研究

—第 5 報：ユーザビリティを考慮した菱形 4 輪車両の改良—

Study on a Practical Robotic Follower to Support Daily Life

-Part5: Improvement of rhomboid layout four-wheel vehicle with considering the usability-

○　鵜飼伸雄（東工大）正　遠藤玄（東工大）福島 E. 文彦（東工大）
広瀬茂男（東工大）入部正継（大阪電気通信大）田窪敏夫（東京女子医科大）

Nobuo UKAI, Tokyo Tech, Gen ENDO, Tokyo Tech,
Edward F. Fukushima, Tokyo Tech, Shigeo HIROSE, Tokyo Tech,
Masatsugu IRIBE, Osaka Electro-Communication Univ , Toshio TAKUBO, Tokyo Women's Medical Univ

Home oxygen therapy (HOT) is a medical treatment for patients suffering from severe lung diseases. Although walking outdoors is recommended for patients to maintain physical strength, patients always have to carry a portable oxygen supplier which is not sufficiently light weight for this purpose. Our ultimate goal is to develop a mobile robot to carry an oxygen tank and follow a patient in an urban outdoor environment. We have proposed a mobile robot with a tether interface to detect the relative position of the foregoing patient. In this paper, we improve mobile platform mechanisms with considering the usability. The leader following control algorithm is also improved and its effectiveness is demonstrated in an outdoor and indoor experiment.

***Key Words*:** Robot, Robotic Follower, Support Daily Life, Home Oxygen Therapy (HOT),

1.　緒言

本研究は屋外環境で人に追従し荷物を搬送することのできる実用的な移動体を開発することを目的とする．アプリケーションの一例として外出時に酸素ボンベを携帯しなければならない在宅酸素療法患者の支援を想定し，より具体的なユースケースとして「近所のコンビニエンスストアまで買い物に行く」こと（図1）を考え，車道-歩道間の段差を踏破できる小型低コストの追従型搬送移動体の開発を目指し検討してきた．現在までに，切り下げのない場合の一段の段差80[mm] の踏破やテザーを用いた大学構内での長距離追従走行試験を行ってきた[1]．しかし，開発した追従型菱形4輪搬送車両の第四次試作機（図2）は荷物の積載性や追従制御の操作性などのユーザビリティを考慮して設計しておらず，また制御の信頼性が低かった．本報告では追従型搬送菱形4輪車両のユーザビリティを考慮した機構の改良を行う．また，電装系及び制御アルゴリズムを改良し信頼性を向上させ，さらに追従型搬送車両のユーザビリティを評価する．

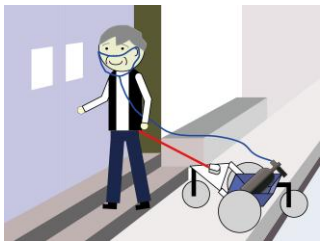

Fig. 1 Basic concept of the robotic follower

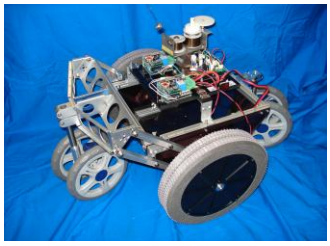

Fig. 2 4th-Prototype model

2. 機構・制御系の改良

第四次試作機での問題点を改良し第五次試作機（図 3）を製作した．ユーザビリティとして荷物の積載を容易にすることを目標とした．その諸言を表 1 に示す．

第五次試作機の改良点を以下にまとめる．

(1) 車体幅を小さくした(460[mm]→330[mm])．
(2) 制御回路をケースに収納し車体中央から前方へ移動した．
(3) 軽量小型なテザーウィンチ機構を製作した．
(4) モータードライバを変更しエンコーダを新たに搭載した．
(5) タイヤを硬質スポンジから軟質スポンジへと変更した．

車止めの間など狭い場所を通行可能になるように，またコンパクトカーのトランクに収まるように(1)，積載性の向上のために(2)(3)，制御の信頼性の向上のために(4)(5)の改良を行った．これらの改善により，従来では踏破できなかった90 [mm] (角R=3[mm])の段差を踏破することができた（図4）．

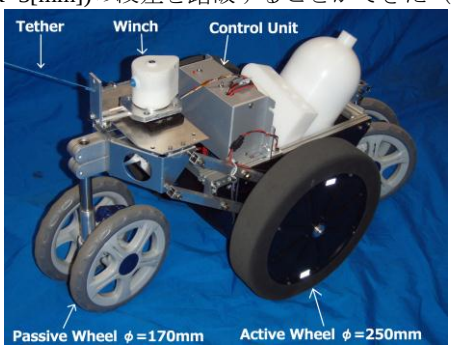

Fig. 3 5th-Prototype model

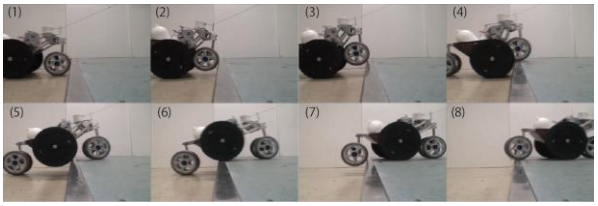

Fig. 4 Negotiating the 90[mm] step

Table.1 Specification of prototype model

	4th-prototype	5th-prototype
Size W x H x D [mm]	460x420x670	330x350x670
Weight[kg] (Include bomb & battery)	8.8	7.5

3. 制御則の改良

テザーの長さと向きを計測することで先導者の相対位置を計測することができる．開発した追従型搬送車両には現在の先導者位置を目標点とする疑似ジョイスティック操舵法（図5）と，先導者の移動軌跡を記録しその軌跡上で先導者との距離が一定となる点を目標点とする定距離追尾操舵法（図6）の2種類の操舵法を提案し実装している．赤線矢印が目標速度ベクトルである．

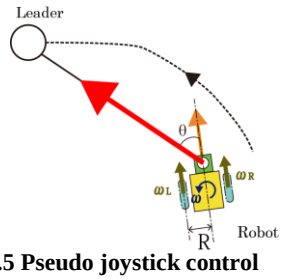

Fig.5 Pseudo joystick control

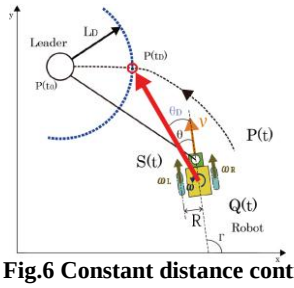

Fig.6 Constant distance control

疑似ジョイスティック操舵法の速度指令 v，角速度指令 ω は次式で生成される．

$$v = \alpha dL \quad (1)$$

$$\omega = \beta\theta \quad (2)$$

定距離追尾操舵法の場合は次式である．

$$v = \alpha dL(\pi - \beta\theta_D)/\pi \quad (3)$$

$$\omega = \gamma\theta_D \quad (4)$$

それぞれ dL はテザー伸び，θ はテザー角度，θ_Dは目標方向角度，α，β，γ はゲインである．これらの制御則を実装すると実機では先導者が直進していたとしても蛇行する様子が確かめられた．そこで微小時間内である直線に沿いながらその直線に対する角度を 0 に近づけることを考えることにより蛇行をなくすことができる [2]．k_θ，k_vはゲインである．

$$\omega = -k_\theta\theta + k_v v\sin\theta/((x/dt) - v\cos\theta) \quad (5)$$

ここで制御則の確認及び疑似ジョイスティック操舵法と定距離追尾操舵法の追従性の比較のため赤外線位置計測システム(Hagisonic:StarGazer)を用いた実験を行った．実験はテザー端部を手に持ち一定速度(0.8m/s)でコの字型の経路上を移動させた時の移動体の走行軌跡を記録するものである．各 4 回計測を行った結果を，疑似ジョイスティック操舵法図 7，定距離追尾操舵法図 8 に各々示す．それぞれ赤線矢印がテザー端部の移動経路，実線が車両中心の走行軌跡である．

疑似ジョイスティック操舵法では，走行軌跡はテザー端移動経路から大きく内側に入り込むように走行していることがわかる．テザー端移動経路と走行軌跡との差は最大で 0.8m程となった．それに対し定距離追尾操舵法では内側に入り込む量は少なくなっており，外側に回り込んでいることがわかる．テザー端移動経路と走行軌跡との差は概ね疑似ジョイスティック操舵法よりも小さく，最大でも 0.5m程であった．

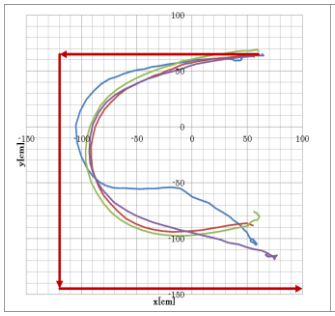

Fig.7 Following path of pseudo joystick control

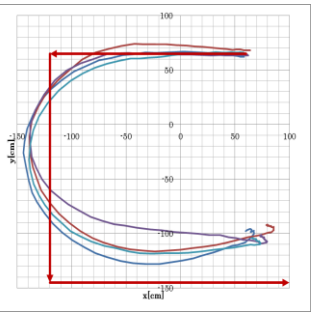

Fig.8 Following path of constant distance control

よって，定距離追尾操舵法は疑似ジョイスティック操舵法よりも追従性が高く，障害物を回り込むように移動した時でも車両もその軌跡を追従し障害物をよけて走行すると考えられる．

4. 追従操作性評価実験

第五次試作機の追従・操作性を評価するために実験を行う．本来は患者に使ってもらうことが望ましいが，まずは健常な協力者での評価を行う．テザー端部を手に持ち屋外の車止めが設置された指定の経路(図9)を歩行し，その時の車両通過の成功率を測定する．2種類の操舵法について，後ろから追従する車両を見ずに歩行する追従実験と，後方の車両を見て操作しながら歩行する操作実験を行った．その結果を図10に示す．

追従実験では疑似ジョイスティック操舵法の成功率は15%，定距離追尾操舵法は60%となり，定距離追尾操舵法の追従性の安定した追従性が確認できた．操作実験では疑似ジョイスティック操舵法は62%，定距離追尾操舵法は80%となり，操作を行うことにより疑似ジョイスティック操舵法の成功率が大きく向上している．また，実験協力者からは定距離追尾操舵法に対して「よく追従している」「思い通りには操作できない」，疑似ジョイスティック操舵法に対して「直感的に操作しやすい」などの感想を得た．

よって，第五次試作機では定距離追尾操舵法は追従性が高く，追従車両を使ったことのない人においても特別の訓練を必要せず意識することもなく追従できることが確認できた．また，追従性は低い疑似ジョイスティック操舵法ではあるが，定距離追尾操舵法に比べて直観的な操作が容易であることが確認できた．

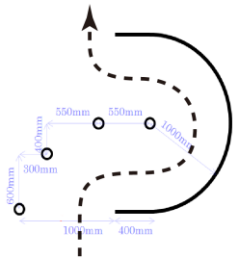

Fig.9 Leader's path

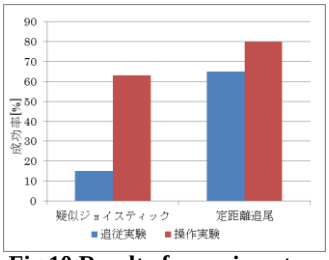

Fig.10 Result of experiment

5. まとめ

本報では追従型搬送車両の機構の改良を行い，従来では踏破できなかった 90mm の段差を踏破した．また制御則の改良をし信頼性を向上させ，2 つの操舵法について追従性の実験を行うことにより定距離追尾操舵法の高い追従性が確認した．さらにユーザビリティ評価のための実験を行い，疑似ジョイスティック操舵法は直感的な操作が容易であり，定距離追尾操舵法は直感的な操作は容易ではないものの一般環境での高い追従性が確認できた．

今後は実際に想定されるユーザーからフィードバックを得てより実用的な機体へと改善させてゆく．

（注:なお本実験は「理工学研究科疫学研究計画 H23-1」の規定に基づき実施されました.）

文　献

[1] 遠藤玄，谷篤，広瀬茂男，福島 E.文彦，入部正継，田窪敏夫"日常生活支援のための実用的ロボティックフォロワの研究（第4報，菱形4輪車両用懸架機構の提案と最適化）"，第29回日本ロボット学会学術講演会 RSJ2011AC1H2-5.（2011）

[2] 米田完，坪内孝司，大隈久，“はじめてのロボット創造設計”，講談社(2005)