

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題	HOT患者の外出支援のための酸素ボンベ搬送カート開発 前方支持I/Fによる搬送カートの力制御
Title	Robotic cart development for carrying oxygen cylinder to support HOT patients - Force control of the conveyance cart by front support I/F -
著者	入部正継, 前田直人, 大西幸平, 池田遼太, 遠藤玄, 田窪敏夫, 大平峰子
Author	Masatsugu IRIBE, Naoto MAETA, Kouhei Onishi, Ryota IKEDA, Gen ENDO, Toshio TAKUBO, Mineko OHIRA
掲載誌/書名	, 2A1-C09, ,
Journal/Book name	, 2A1-C09, ,
発行日 / Issue date	2013, 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.

HOT 患者の外出支援のための酸素ボンベ搬送カート開発 —前方支持 I/F による搬送カートの力制御—

Robotic cart development for carrying oxygen cylinder to support HOT patients
- Force control of the conveyance cart by front support I/F -

正 入部 正継, ○学 前田 直人, 学 大西 幸平, 学 池田 僚太 (阪電通大)
正 遠藤 玄 (東工大), 田窪 敏夫 (女子医大), 大平 峰子 (東長野病院)

Masatsugu IRIBE, Naoto MAETA, Kohei ONISHI, Ryota IKEDA, O.E.C.U., iribe@isc.osakac.ac.jp
Gen ENDO, T.I.T., Toshio TAKUBO, T.W.M.U., Mineko OHIRA, Higashinagano hospital

Home Oxygen Therapy (HOT) patients always need to be supplied high concentration oxygen, and they also need to carry portable oxygen cylinders when they go out. However the oxygen cylinders seem to be heavy. So we propose and develop new type of robotic cart for carrying oxygen cylinder to support HOT patients. Our proposed robotic cart applies guide and lead style to carry oxygen cylinder by using the handle of two tight and left type interfaces which has 2 force sensors to generate the robot's moving direction and velocity. In this paper we describe the concept and principle of robotic cart operation, and then we show the effectiveness of our proposed feedback control system of force-velocity impedance control.

Key Words: Home Oxygen Therapy, Robotic cart, Force control, Impedance control

1. 緒言

在宅酸素療法 (Home Oxygen Therapy, HOT) とは、主に慢性閉塞性肺疾患 (Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD) により肺機能が低下した患者に対し、鼻からカニューラと呼ばれるチューブを用いて高濃度の酸素を供給することで血中の酸素不足を補う治療法である。患者は自宅に酸素濃縮器を設置し、外出時には図 1 に示すように携帯用酸素ボンベを携帯することによって入院することなく日常生活の質を保ったまま加療を続けることが可能となる。

しかしながら現行の携帯用酸素ボンベは必ずしも軽量ではなく、代表的な容量の酸素ボンベと搬送用カートと合わせると約 5kg の質量となる。この酸素ボンベとカートの運搬は肺機能が低下している HOT を実施している患者にとって肉体的な負担となるだけでなく、「常にボンベを運搬していなければならない」という心理的負担となり、その結果、家に引きこもりがちになる患者も少なくない[1]。そこで本研究では、HOT 患者の外出時の負担を軽減することが可能となる外出支援時の酸素ボンベ搬送支援用移動ロボットの検討を行う。

ところで著者らは、この目的のためにハイパー・テザー型インターフェイスを採用した人間追従型移動ロボットの研究を進めていたが[2][3]、本研究では後述するアンケート調査結果をもとに従来とは搬送形式が異なる先導型の酸素ボンベ搬送が可能な移動ロボットの開発を試みる。またその際に、制御用インターフェイスに直感的に操作が可能な力センサ入力を使用した制御方法の導入を併せて試みる。

2. HOT 患者へのアンケート調査

日本呼吸器学会肺生理専門委員会在宅呼吸ケア白書ワーキンググループが COPD 患者に実施したアンケート調査によると、HOT 患者が外出しない理由として約 55% (有効回答数: 88 名) の患者が携帯用酸素の問題と回答している[1]。その携帯用酸素の問題に関する調査結果を詳しく調べると、携帯用酸素の重量が問題であるとの回答が 68% (有効回答数: 53 名) と最も多いことがわかった。

また、著者らは 2012 年 6 月 10 日に東京ステーションコンファレンス 5 階にて実施された第 18 回 J-Breath 医療講演会に参加し、携帯用酸素ボンベ搬送用の移動ロボットのコンセプト説明およびデモンストレーションを行った。図 2 にそのデモンストレーションの実施風景の様子とデモンストレーションに使用した移動ロボットを示す。そして、それらに対する患者の感想をアンケート調査により収集した。

そのアンケート調査項目中に、実際に HOT を実施している患者が使用している携帯用酸素ボンベと搬送カート一式が重いと感じているかどうかを調査した結果、重いと感じている患者が 50%、どちらかというと感じている患者が 50% となっており (有効回答数: 12 名)、上述の調査結果と同様に患者が携帯用酸素ボンベ一式を重いと感じている傾向にあることを再確認した。またそれに加えて、そのアンケート調査の一部に図 3 の内容を記載し、どのような搬送方式の移動ロボットが望ましいかを調査した。その結果を図 4(a)に示すが、これからわかるように特定の搬送方式の移動ロボットが望ま



Fig. 1 Home Oxygen Therapy (HOT) and its patient's going out



Fig.2 Demonstration to HOT patients and the demonstrated HT-type mobile robot (Photos are offered by J-Breath, NPO)

れるということはなく、どれも同じ程度で望まれている傾向があることがわかる。

そこで、この項目に関する有効回答数 12 名の中で患者の行動の活発さを詳しく調べてみる。具体的には、回答者の 1 週間あたりの外出時間の平均を搬送方式毎に集計したところ

(有効回答数：12、複数回答：2)、先導搬送方式を希望している患者の外出時間が他の方式を希望している患者の外出時間よりも短い傾向にあり、特に両手持ち先導搬送方式を希望する患者は平均の外出時間が少ないことが確認できる(図 4(b)参照)。すなわち、このアンケート結果より HОT を実施している患者の中でも体力が衰えていると推測される患者に対しては、両手持ち先導搬送方式が有効であることが確認できる。

以上より本研究では、HОT 患者外出時の酸素ボンベ搬送支援用移動ロボットのうち、両手持ち先導搬送方式の移動ロボットの開発を試みる。

3. 移動ロボット概要

前節で述べた内容を反映し、先導搬送方式による移動ロボットの実現を試みる。その際、ユーザ操作のためのインターフェイス機器はユーザの前方に配置されたハンドル状とし、直感的な操作を可能とするためにユーザ歩行時の進行方向の力成分を検知するようにする。そしてその押力の大きさと方向によって移動速度を制御し、ロボットが自在に移動可能となるようにする。

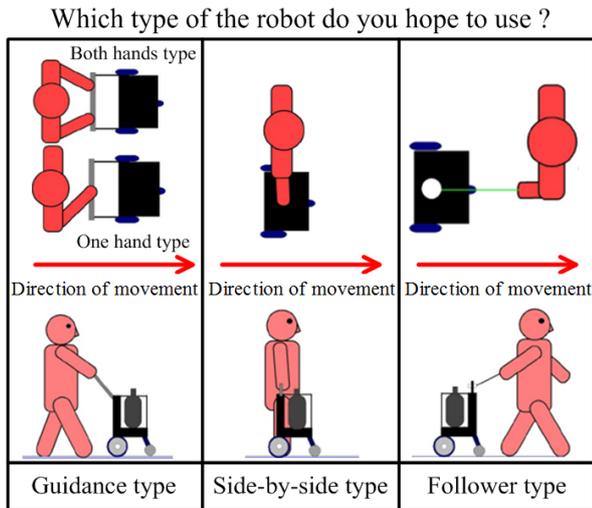
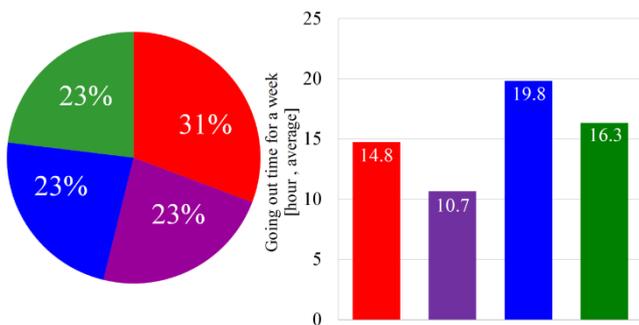


Fig.3 The questionnaire performed to HОT patients

- Guidance type(One hand)
- Guidance type(Both hands)
- Side-by-side travel type
- Flattery type



(a) Reply of the choice (b) HОT patients' activity investigation

Fig.4 Questionnaire results

図 5 に本研究で提案する移動ロボットの動作原理を、図 6 にその制御システムブロック図を示す。この原理によってロボットの挙動を制御するものとする。そして、図 7 に実際に試作した移動ロボットの外観とおよび 3DCAD 図面を、表 1 に主要諸元を示す。

開発する移動ロボットでは、ロボットに取り付けられたハンドル部を把持し、その持ち手部分に設置された圧力センサ

Table 1 Specifications of the developed robot

Dimension[W×D×H]	340×360×765~945[mm]
Weight	7.8kg(with batteries)
Power supply	Nickel metal hybride 12V/4200mAh Series connection
Actuation	DC-motor: TG-85R-SU Drive gear: Spur gear(55:14)
CPU	SH2/7047(CLK/44.2MHz)

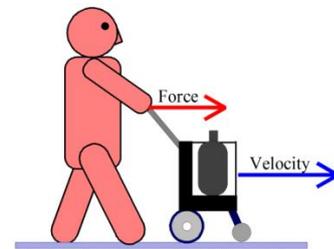
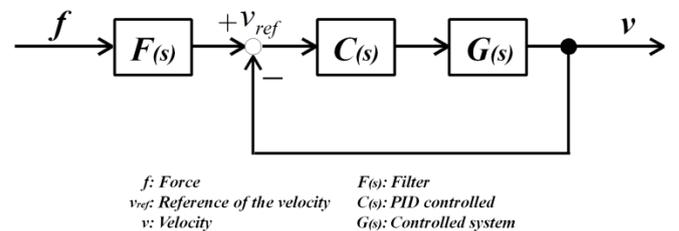


Fig. 5 Principle of our proposed mobile robot's operation



- f : Force
- v_{ref} : Reference of the velocity
- v : Velocity
- $F(s)$: Filter
- $C(s)$: PID controlled
- $G(s)$: Controlled system

Fig.6 Control system block diagram



Fig. 7 Developed prototype mobile robot and its design

(インターリンク社製, FSR402) がユーザ移動時に自然に加えられる押力の大きさを検知する. その押力の値を使用し, 移動ロボットの移動速度と方向を制御する. この制御システムのハードウェアブロックを図 8 に示す.

また, 持ち手部分の高さが 765~945mm の範囲で 30mm ずつ 7 段階の調節が可能となっており, ユーザの身長に合わせて調節が可能である.

4. 各制御系の設計と評価

4.1 速度制御系の設計

開発した移動ロボットは左右のハンドル部に加わる押力を検知し, その値に応じて進行方向と速度の 2 つを制御する. 具体的には, 移動ロボットのハンドル部に加わる押力をハンドル部内部に設置した圧力センサを用いて電圧信号に変換し, その信号を A/D 変換して制御器を実装する SH2 マイコン (HiBot 製, TITechSH2 Tiny Controller) に入力する.

移動ロボットの左右の駆動輪の回転速度は, その駆動輪の軸と減速比 55:14 の平歯車を介して接続したロータリーエンコーダ (多摩川精機株式会社製, 35-2000P4-L6-5V) を使用し, 出力する 2 相パルス信号を押力と同様に SH2 マイコンに入力する. これらの信号に対し図 6 に示す差分演算と C(s) に相当する制御演算を施した後, その結果を PWM 信号に変換してモータドライバ (HiBot 製, 1-Axis DC Power Module) へ出力し, 駆動用 DC モータを動作させる.

駆動輪の回転速度は, ロータリーエンコーダからのパルス信号を単位時間ごとにカウントすることで計測している. 移動ロボットの制御器は, 速度制御型の PID 制御器を導入し, 比例, 積分, 微分の各ゲイン値は実験的に決定した. その制御器による過渡応答実験の結果を図 9 に示す. この実験結果より, 目標値への追従を安定かつ十分な応答速度で実現できていることを確認した.

4.2 カ入力による制御系の設計

前節で設計した速度制御系は, 速度目標値に安定に追従性よく動作することを確認した. ところで, 本研究で開発する移動ロボットはユーザの前方を走行する先導型移動ロボットであるため, 急加速や急減速等の動作はユーザに不安感を与えることが懸念される. そこで, ユーザからの押力の入力信号に対して粘性を持たせる, すなわちソフトウェア的にインピーダンスを与えることで, 移動ロボットの速度入力特性を決定する制御系を付加することを試みる.

具体的には, 図 6 に示す速度制御系の中に伝達関数 $F(s)$ を挿入し, 過渡応答時の時定数の調整を行うようにする. その $F(s)$ を実際に制御系に取り入れて過渡応答特性を測定した結果を図 10 に示す. この結果より, ユーザからの押力値に対してインピーダンスを与える伝達関数 $F(s)$ のパラメータを調節することで時定数の調節が可能となり, ユーザのハンドル部から得る感触に粘性を持たせることが可能となることが確認できた.

5. 結言

本稿では, HOT 患者へ実際にアンケートを行うことで患者の外出支援用移動ロボットの必要性を再確認した. また, そのような移動ロボットの搬送方式についてのニーズ調査と患者の活動の活発さの調査を実施することで, より具体的な支援ロボットの搬送方式を明確化することができた.

その結果にしたがって, 前方指示型の操作インターフェイ

スを取り付けた移動ロボットを提案し, その実現を目的として試作を行った. さらにその試作機を用いて, 制御入力から速度出力までの過渡特性を調整可能な制御系の設計を行い, その機能が有効に働くことを確認した.

今後は, この試作機を使用して HOT 患者に対してユーザテストを実施し, 搬送方式の評価を行う. またそれと同時に, HOT 患者の意見をもとに押力から移動速度までのインピーダンスを決定していく.

文献

- [1] 日本呼吸器学会肺生理専門委員会在宅呼吸ケア白書ワーキンググループ, “在宅呼吸ケア白書 2010”, 社団法人日本呼吸器学会 (2010)
- [2] M.Iribe, H.Matsuda, H.Aizawa, G.Endo, T.Takubo, “Study on a Practical Robotic Follower to Support Daily Life - A mobile robot development for Home Oxygen Therapy patients with the ‘HyperTether’”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.23, No.2, pp.316-323, 2011.
- [3] 遠藤, 谷, 福島, 広瀬, 入部, 田窪, “在宅酸素療法患者の外出を支援する追従型搬送移動体の開発”, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.8, pp.779-787, 2012.

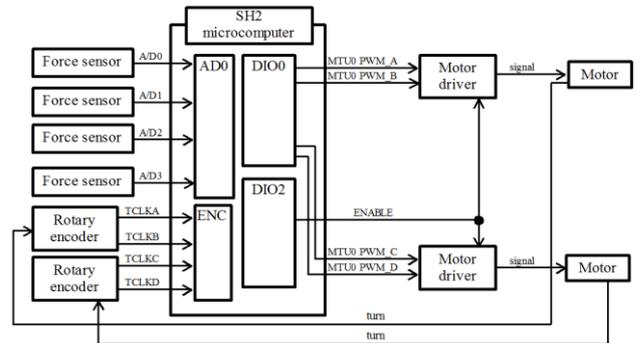


Fig. 8 System block

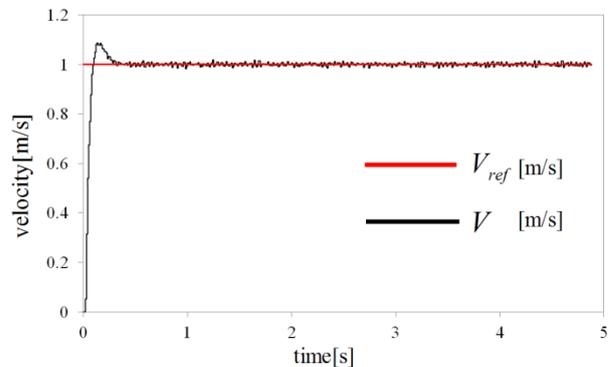


Fig. 9 Result of the velocity control experiment

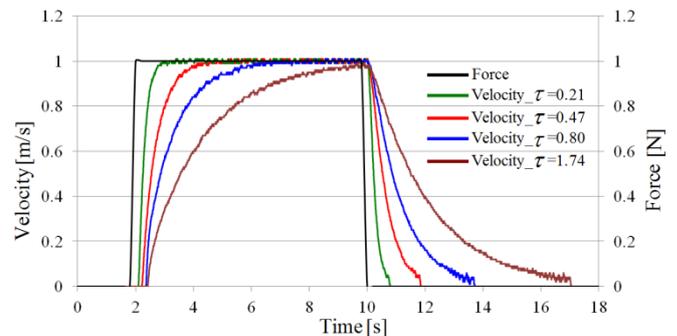


Fig. 10 As a result of viscous experiment