

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フの研究-第1報：ハイパー・テザーを用いた在宅酸素療法用ポンベ運搬移動体の提案-                                                    |
| Title             |                                                                                                                   |
| 著者                | 遠藤玄, 田窪 敏夫, 福島E. 文彦, 入部 正継, 広瀬茂男                                                                                  |
| Author            | Gen Endo, Toshio Takubo, EDUARDO FUMIHIKO FUKUSHIMA, Masatsugu Iribe, SHIGEO HIROSE                               |
| 掲載誌/書名            | ロボティクスメカトロニクス講演会講演予稿集2008, Vol. , No. , 2P2-F08                                                                   |
| Journal/Book name | , Vol. , No. , 2P2-F08                                                                                            |
| 発行日 / Issue date  | 2008, 6                                                                                                           |
| URL               | <a href="http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html">http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html</a> |
| 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。<br>This file is author (final) version.                                                         |

# 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 1 報：ハイパー・テザーを用いた在宅酸素療法用ボンベ運搬移動体の提案—

### Study on a Practical Robotic Follower to Support Daily Life

#### Part 1: Proposal of a Mobile Robot with the "Hyper-Tether" to Carry an Oxygen Tank

○ 遠藤 玄（東工大院）      田窪 敏夫（女子医大）      福島 E. 文彦（東工大院）  
正 入部 正継（大阪電通大）      正 広瀬 茂男（東工大院）

Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology, gendo@sms.titech.ac.jp

Toshio TAKUBO, Tokyo Women's Medical University, ttakubo@chi.twmu.ac.jp

Edwardo F. FUKUSHIMA, Tokyo Institute of Technology, fukusima@mes.titech.ac.jp

Masatsugu IRIBE, Osaka Electro-Communication University, iribe@isc.osakac.ac.jp

Shigeo HIROSE, Tokyo Institute of Technology, hirose@mes.titech.ac.jp

We propose a practical robotic follower to support daily life. The robot carries a burden and follows a person with a certain distance like a porter. Our ultimate goal is to develop and commercialize a practical robotic tool as a consumer product which can be used in outdoor environment. In this paper, we focus on the "Hyper-Tether" concept for robust sensing for the foregoing person and discuss its application to carry an oxygen tank for a patient with home oxygen therapy.

**Key words:** Robotic Follower, Hyper-Tether, Home Oxygen Therapy, Oxygen Tank

## 1 はじめに

- 人に追従し、荷物を搬送してくれるロボット

一見単純で誰もが容易に考え付くロボットアプリケーションであるが、現在までに**屋外環境で使用可能で、かつ民生品レベルにまで低価格な実用的ロボット**は筆者らの知る限り存在しない。もしこのようなロボットが開発できれば、日常生活での買い物や、旅行カバン・ゴルフバックの搬送など実に多くのサービスアプリケーションが考えられる(図 1)。実際、ホテルロビーや空港内で旅客荷物を搬送するロボットが提案され、実証実験も行われている[1][2]。また文献[3][4]も人に追従あるいは先導し荷物を運ぶ機能を有するロボットを提案している。

これら先行研究では人との距離を一定に保つために、画像認識・超音波センサ・ビーコン・レーザレンジファインダなど無線による多種多様なセンサを組み合わせで計測している。実環境においては例えばロボットと追従すべき人との間に障害物が存在したり、他の人が割り込んだりするなど、実に様々な状況が考えられるうえ、計測時の外乱も大きい。したがって単一のセンサのみでは環境を把握しきえず、その結果としていわば対処療法的に複数のセンサを導入し、組み合わせることになる。

しかしながらただでさえ高価になりがちな各種センサ類を複数用いれば当然全体のコストは上昇し、一般に普及するまでの低価格化・実用化は難しくなる。また例え多くのセンサを組み合わせたとしても屋外において使用可能なほど精度を高めることは現在の技術環境では困難であるように思える<sup>\*1</sup>。

また移動機能においても従来研究のほとんどは整地された屋内環境のみを対象として扱ってきたが、実際のアプリケーションを考えると人が長距離移動するのは圧倒的に屋外が多く、屋外での使用はよりニーズが高いと思われる。

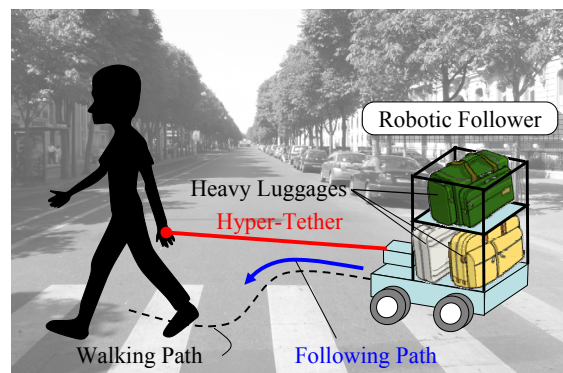


Fig. 1 Concept image of a practical robotic follower with hyper-tether

以上の背景から、本研究では屋外環境で使用可能で、かつ民生品レベルにまで低価格な実用的ロボットの実現を最終的な目標とする。その第一歩として本報ではロボットの人への追従制御にハイパー・テザーの概念を用い、具体的アプリケーションとして在宅酸素療法患者のための外出用酸素ボンベ搬送を取り上げ議論する。

## 2 ロボティックフォロワ

大須賀らは「人間の何等かの運動情報に追従するもの」としてロボティックフォロワという概念を提案している[5]。特に人間の運動学的情報(角度、位置など)に追従する場合を人間-ロボティックフォロワ系におけるFollowing Modeと名づけ、ロボティックフォロワは操作者の行動を見て(知って)同様の行動を行う一方、操作者はロボティックフォロワの存在を意識しない、と述べている。

本研究で対象とする搬送用ロボットは上述の定義に該当するが簡単のため以後、単にロボティックフォロワと呼ぶときはFollowing Modeを指すものとする。なお先述の通り本研究では民生品レベルにまで低価格化・実用化することを最終目的としているため、開発するロボットを敢えて「実用的」ロボティックフォロワと呼ぶことにする。

<sup>\*1</sup> この問題を解決するため環境側にセンサを取り付け予めインフラとして情報を整備する環境情報構造化プロジェクト [14] があるが、現時点では限られた実証地域にのみ限定されている。

### 3 ハイパー・テザー

人との相対位置を無線で計測するセンサは前述のように様々な種類が考えられるが、最も確実に安価な方法として有線の紐状インタフェースにより物理的に連結する手法が挙げられる。一端を人に、他端をロボットに取り付け、紐の向きや長さ、あるいは張力ベクトルを測定することで相対運動を計測する手法である[6]。

筆者らは取り付ける紐を単なるインタフェースとして捉えるだけではなく、電氣的・機械的なエネルギーの伝送や情報伝達、自動操舵指令生成など、より多くの機能を付加した上位概念として「ハイパー・テザー」を提案している(図2)[7]。特に自動操舵指令生成については、テザーの角度と長さを計測することで先導する人や車両を追尾する制御法を提案し実機検証を行ってきた(図3)[8][9]。

ハイパー・テザーによる計測の利点は安価で確実な計測を行える点である一方、常にテザーを身に付けていなければならない有線システムであるから、人の自由な運動を阻害する可能性もある。この問題を解決するため、筆者らは小さな一定張力でテザー長を調節できる機構を提案している[9]。また敢えて目視しやすい有線システムを用いることで、先導する人とロボットの間を他の人が通過するといった不測の状況を逆に抑制できることが期待でき、十分有効な計測手法であると考えられる。

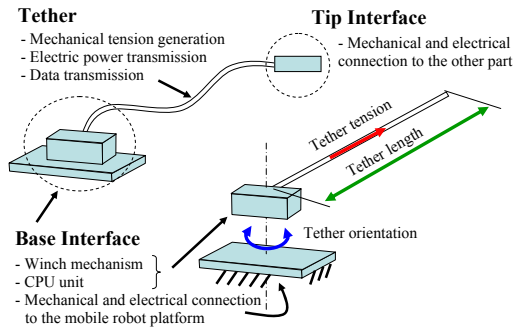


Fig. 2 Hyper-Tether Concept



Fig. 3 Leader following experiment with hardware

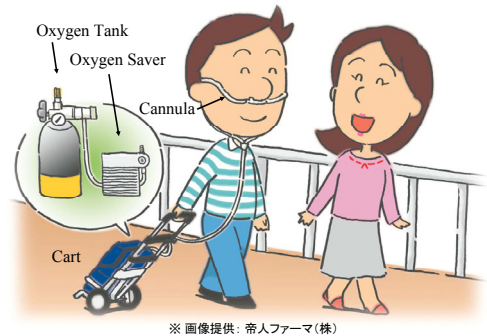
## 4 酸素ボンベ運搬移動体の提案

本報では実用的ロボティックフォロワの具体的なアプリケーションとして、在宅酸素療法患者の外出を支援するための、酸素ボンベ運搬移動体を提案する。

### 4.1 在宅酸素療法とは

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。特に自宅に酸素濃縮器を設置したり、外出時に酸素ポンペを携帯したりすることで、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出来る。機器のメンテナンス・レンタルを行う業者・保険などの枠組みも既に整っており、現在日本で10万人以上の患者が加療中であると言われている。

COPDの治療には体力の維持を目的として適度な運動が有効であり、散歩などが推奨されている。図4に現在外出時に広く用いられている酸素ボンベ及びカートを示す。しかしながら現行の酸素ポンペは必ずしも軽量ではなく、搬送用カートと合わせるとおよそ4kgの質量となる(図5)\*2。カートの運搬は坂道などでは肺機能に負担をかけるだけでなく[10]、「常にポンペを運搬していなければならない」という心理的負担もあり、その結果、家に引きこもりがちになる患者も少なくない。



※ 画像提供: 帝人ファーマ(株)

Fig. 4 Portable oxygen supplier



Fig. 5 An oxygen tank and a cart

### 4.2 酸素犬

そこで携帯用酸素ポンペを運ぶ介助犬「酸素犬」を育成しようという試みがある[11](図6)。酸素犬とは、人に対して服従・適応する、人の歩行速度に合わせて歩む、カートの車輪音に対し平気でいられるなどの特別な訓練を行った介助犬である。ところが犬の訓練に時間がかかる、実績が一頭のみと少ないことから保険適用外となりその育成費用150万円が全額自己負担となる、などの課題がある。また

\*2 ポンペそのものの軽量化が本質的解決策の一つであることは明らかである。実際ウルトレッサと呼ばれるアルミ合金とカーボン FRP による超軽量複合高圧ボンペが開発されその質量はスチール製の 1/3 である。しかしながら今なお付属品も含め 2kg 以上の質量がある。



犬には寿命があり、治療が長期になりがちなCOPD患者にとっては、さらなる費用負担が生じうるとい問題がある。

もちろん多くの人がペットとして犬を飼うのと同様、犬との生活は介助以外の様々な面で心の安らぎをもたらすため、今後も酸素犬の育成と社会制度的支援が大いに望まれる一方で、酸素ポンプ搬送という機能のみに着目すれば移動ロボットによる工学的解決策も模索しうるのではないかと筆者らは考えている。

#### 4.3 酸素ポンプ搬送移動体の意義

もしポンプを搬送する移動体が安価に実現できれば在宅酸素療法の患者の外出を支援することができ、QOL向上に大いに役立つものと考えられる。特に患者自らがカートを引くのではなく、カートが自律的に追従する機能があれば、あたかもポンプなしで移動しているかのように自由な移動が可能であり、「何かに繋がれている」という心理的負担を大きく軽減することが可能であると考えられる。在宅酸素療法の患者の多くは治療を続けたとしても肺機能を回復することが難しく、一生酸素チューブに繋がれていなければならない。したがって自由に移動できる、という感覚は健常者が想像する以上に価値ある感覚であると推察される。

#### 4.4 ハイパー・テザーの有用性

人との相対位置計測に対するハイパー・テザーの有効性を先述したが、さらに本アプリケーションにおける有用性を述べる。

まず第一に酸素ポンプと人はチューブにより繋がっていることから、もともと有線のシステムであり、無線化する必要は無い。次にもし将来的に距離計測と酸素供給を一つのチューブで兼ねることが出来れば、チューブ長さを気にすることなくより自由な移動を実現できる。さらに血中酸素量をモニタリングするパルスオキシメータを患者に取り付け、常時その情報をハイパー・テザーで移動体に伝送すれば、適度な運動強度を患者にフィードバックしたり、外出先での急な体調変化を自宅にいる家族に連絡するなど、様々なアプリケーションが考えられる。

#### 4.5 移動機構

移動機構には様々な種類が考えられるが、屋外環境での移動を目的としているため最低でも5cm程度の段差踏破能力および1.0m/s程度の移動速度は必要であると思われる。また人の移動を妨げないためにも床投影面積が小さいものが好ましいと思われる。筆者らが提案しているRaccoon(図7(a))[12]なども候補として考えられるが、まず第一段階として普及への親和性を考慮して、図7(b)[13]に例示する現行機器をパワーアシストすることから検討を開始する予定である。

## 5 まとめ

本報では、人に追従し荷物を搬送してくれるロボット、特に屋外環境で使用可能で低価格な実用的ロボットについて述べた。特に人とロボットの相対位置検出にハイパー・テザーの概念が有効であること、アプリケーションとしてHOT加療者の外出用酸素ポンプ搬送移動体を提案した。今後は目標仕様を設定し、実験機を構築してゆく。

## 参考文献

[1] <http://robot.watch.impress.co.jp/cda/news/2008/02/28/923.html>



※ 写真提供: NPO 日本呼吸器障害者情報センター

Fig. 6 Oxydog, a trained dog to carry an oxygen tank.

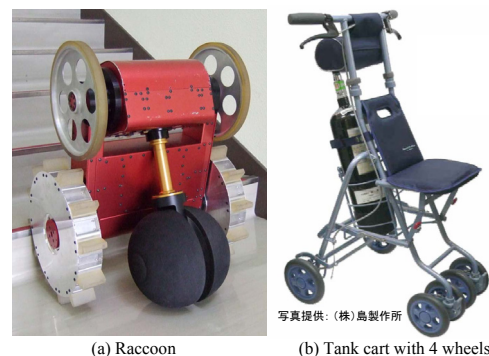


Fig. 7 Candidates for a mobile platform

- [2] [http://robotics.ksrp.or.jp/robotforum/topics/pdf/2008-02-18RoboPorter\\_v1.pdf](http://robotics.ksrp.or.jp/robotforum/topics/pdf/2008-02-18RoboPorter_v1.pdf)
- [3] 松日楽信人, 小川秀樹, 吉見卓: “人と共存する生活支援ロボット”, 東芝レビュー, Vol.60, No.7, pp.112-115, 2005.
- [4] <http://robot.watch.impress.co.jp/cda/news/2007/12/10/789.html>
- [5] 大須賀公一, 小野敏郎: “ロボティックフォロワ-第一報ある種の統一概念としてのロボティックフォロワの提案”, 第15回日本ロボット学会学術講演会, pp.735-736, 1997.
- [6] 安藤毅, 梶沢光隆, 近野敦, 稲葉雅幸, 井上博允: “引き綱型インタフェースによる自立型4脚移動ロボットの誘導”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'97 講演論文集, Vol.A, pp.283-286, 1997.
- [7] 福島 E. 文彦, 広瀬茂男: “ハイパー・テザーの提案”, 第15回日本ロボット学会学術講演会, pp.453-454, 1997.
- [8] 福島 E. 文彦, 広瀬茂男, 亀川哲志: “ハイパー・テザーの研究その2 テザーで連結される複数ロボットの先導体追尾制御”, 第16回日本ロボット学会学術講演会, pp.109-110, 1998.
- [9] 福島 E. 文彦, 広瀬茂男, 亀川哲志: “ハイパー・テザーの研究その4 直列連結した複数ロボットの協調操舵制御”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'99 講演論文集, 2P1-56-083, 1999.
- [10] 玉木彰, 大島洋平, 長谷川聡, 藤岡昌之, 越久仁敬, 岡田泰昌: “在宅酸素療法患者のための坂道歩行時に有用な電動カートの試作”, 内部障害系理学療法 6, 第42回日本理学療法学会大会, P.108, 2007.
- [11] <http://www.j-breath.jp/>
- [12] 田中淳也, 広瀬茂男: “球車輪フリッパーアームを有する移動ロボット Raccoon の研究 [第四報] 車体特性についての検討”, 第8回システムインテグレーション部門講演会, 3H2-1(pp.1103-1104), 2007
- [13] (株) 森製作所: “サニー酸素ポンペカー”, <http://www.shima-seisakusyo.com/push/index.html?lid=503#new2>
- [14] <http://robot.watch.impress.co.jp/cda/news/2008/01/24/874.html>