

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	HOT患者の外出支援のための倒立振り子型搬送カート 力制御による酸素機器搬送の検討
Title(English)	Inverted pendulum type cart development to support HOT patient's going out -Study on transporting Oxygen equipment controlled by force control interface-
著者(和文)	入部正継, 見島雄太, 遠藤玄, 田窪敏夫
Authors(English)	Masatsugu Iribe, Yuta Mishima, Gen Endo, Toshio Takubo
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2015講演論文集, , , 2A1-J09
Citation(English)	Proceedings of the 2015 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, , , 2A1-J09
発行日 / Pub. date	2015, 5

# HOT 患者の外出支援のための倒立振り子型搬送カート —力制御による酸素機器搬送の検討—

Inverted pendulum type cart development to support HOT patient's going out  
-Study on transporting Oxygen equipment controlled by force control interface-

正 入部 正継(阪電通大), ○学 見島 雄太(阪電通大),  
正 遠藤 玄(医科歯科大), 非 田窪 敏夫(女子医大),

Masatsugu IRIBE, O.E.C.U.  
Gen ENDO, T.M.D.U.

Yuta MISHIMA, O.E.C.U.  
Toshio TAKUBO, T.W.M.U.

**Abstract:** Home Oxygen Therapy (HOT) patients need portable oxygen equipment at the time of going out. However, the currently-used oxygen equipment is heavy enough to discourage HOT patients from their going out. Therefore we try to develop the power assist robotic cart which supports HOT patients' going out. Especially we try to develop the carry-cart type mobile robot which supports HOT patients by applying inverted pendulum control and force control. In this paper, we try to verify the effectiveness of the hybrid control system via computer simulation by Open Dynamics Engine.

**Key Words:** Home Oxygen Therapy, Support going out, Inverted pendulum control, Force 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)などにより、肺機能が低下した患者に施される対症療法である。しかし患者は図1に示す様に外出時に酸素機器を常に携帯する必要があり、その総質量は4~5[kg]になる。これは体力が低下したHOT患者にとって、肉体的にも精神的にも負担が大きく、家に引きこもりがちになる患者も少なくない[1][2]。この対策として、HOT患者の外出支援を目的とした酸素機器搬送カートを用いることが提案されており、またその有用性が報告されている[2]。

そこで本研究では、HOT患者の外出時の負担軽減を目的として、倒立振り子制御を応用した移動支援用の酸素機器搬送カートの実現を試みる。なお、倒立振り子制御を用いて移動支援が可能なのは、従来研究より明らかである[3][4][5]。しかし、倒立振り子制御の性質上、カートの姿勢角度が平衡点から傾き始めることでアクチュエータ(モータ)を駆動して移動支援を行うが、実際にはユーザが歩行動作を開始した後にカートに角度が発生するために、移動開始するまでに時間遅れが発生する。そのため倒立振り子制御のみを利用した移動支援動作では操作性が良くなかった。そこで、本研究では移動支援動作の実現のために倒立振り子制御に力制御を付加することで操作性の向上を試みる。そして、その効果を動力学シミュレーション上で検証する。



Fig.1 HOT patient's going out

## 2. 動作制御系の設計

### 2.1 倒立振り子の制御系

制御系設計に用いた制御対象の力学モデルを図2に示す。力学モデルから運動方程式を導出し、状態変数 $\mathbf{X}$ を $\mathbf{X} = [x, \dot{x}, \theta, \dot{\theta}]^T$ と定義し、線形化を施した状態方程式を式(1)に、出力方程式を式(2)に示す。また、状態フィードバックを行うため状態フィードバックゲインを $\mathbf{k}$ とする。この倒立振り子制御により搬送カートの姿勢の平衡点を維持しておき、ユーザの移動による牽引開始時には持ち手に加わる力を、力センサを用いて検出し、その力に比例した移動速度を目標速度とする力制御の付加を行う。その制御ブロック図を図5に示す。

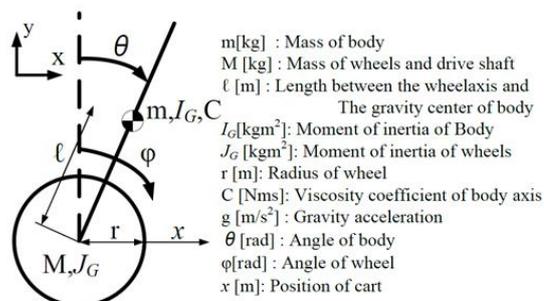


Fig.2 Modeling of the system

$$u = -\mathbf{kX}$$

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{AX} + \mathbf{Bu}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \\ \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{23} & a_{24} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_{21} \\ 0 \\ b_{41} \end{bmatrix} \cdot \frac{T}{r} \quad (1)$$

式(1)の各係数は、付録に示す。

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{X} \quad (2)$$

### 3. 動力学シミュレーション

制御系の確認を行うため、動力学シミュレーションを用いて詳しい動作の確認を行う。シミュレーションには、(Open Dynamics Engine, 以下 ODE)を用いる[6]。また、本研究で用いる倒立振り子モデルには軽量化・部品信頼性の向上・低コスト化を考えモータ 1 ケでの駆動を目指す。モータ 1 ケでは旋回動作が行えないため、駆動部に差動歯車を採用することでその場旋回を可能とする。ODE 上では、円柱型・箱型を組み合わせて差動歯車を構成し再現している。

シミュレーションの条件として、初期状態は倒立状態として、5 秒地点で力センサに力が入力されたことを想定し力入力 3[N]を入力する。10 秒地点で手を放したことを想定し力入力を 0[N]とすることで目標速度が 0[m/s]となり、その場で再び倒立制御を開始し停止する。また、牽引時は位置フィードバックゲインをゼロとすることで、牽引を可能とする。手を放した場合(力入力が 0[N]の場合)は位置フィードバックを戻し、その場を距離 0[m]として位置フィードバックを行う。シミュレーションモデルを図 3 に、シミュレーション結果を図 4 に示す。これにより力制御系の正しい動作を確認した。

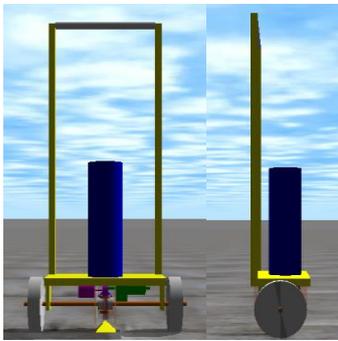


Fig.3 Simulation model

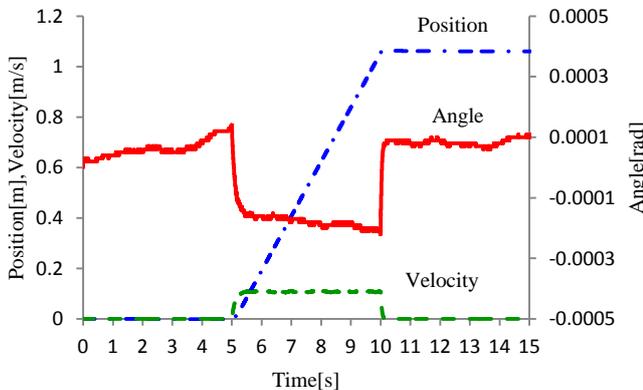


Fig.4 Simulation result

### 4. 緒言

倒立振り子制御に力制御の付加を行い動力学シミュレーション上で制御系の正しい動作を確認した。また、シミュレーションモデルに差動歯車を搭載し倒立動作を確認した。差動歯車をシミュレーションモデルに搭載しても安定に倒立し、追従が行える事を示した。今後の課題は、実機制御を行い検証を試みる。

### 参考文献

- [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, pp.58-89, 2010.
- [2] 入部, 前田, 大西, 池田, 齊藤, 遠藤, 家村, 田窪, 大平, “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 7 報:患者アンケートを反映した操作ユーザインターフェイス開発-”, 日本ロボット学会学術講演会, 3F2-04, 2013.
- [3] 入部, 太才, 衣笠, 遠藤, 田窪, 大須賀, “倒立振り子制御を使用したパワーアシスト型酸素ボンベ搬送カートの開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 1P1-N06, 2012.
- [4] 榊田, 松本, 廣井, 高橋, 積山, 鄭, “脚漕ぎ式車輪倒立型パーソナルモビリティ試作 2 号機の開発 - システム構成及び基礎走行実験 -”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 1P1-F07, 2012.
- [5] 村田製作所, “KeePace” <http://www.murata.com/ja-jp/about/newsroom/techmag/metamorphosis17/appnote/02>, 2012.
- [6] 出村, “簡単! 実践! ロボットシミュレーション”, 森北出版株式会社, 2007.

### 付 録

式(1)の各係数を以下に示す。

$$a_{23} = \frac{m^2 g l^2}{m^2 l^2 - (m l^2 + I_G) \left( m + M + \frac{I_G}{r^2} \right)}$$

$$a_{24} = \frac{-m l C}{m^2 l^2 - (m l^2 + I_G) \left( m + M + \frac{I_G}{r^2} \right)}$$

$$a_{43} = \frac{-m g l \left( m + M + \frac{I_G}{r^2} \right)}{m^2 l^2 - (m l^2 + I_G) \left( m + M + \frac{I_G}{r^2} \right)}$$

$$a_{44} = \frac{C \left( m + M + \frac{I_G}{r^2} \right)}{m^2 l^2 - (m l^2 + I_G) \left( m + M + \frac{I_G}{r^2} \right)}$$

$$b_{21} = \frac{-(m l^2 + I_G)}{m^2 l^2 - (m l^2 + I_G) \left( m + M + \frac{I_G}{r^2} \right)}$$

$$b_{41} = \frac{m l}{m^2 l^2 - (m l^2 + I_G) \left( m + M + \frac{I_G}{r^2} \right)}$$

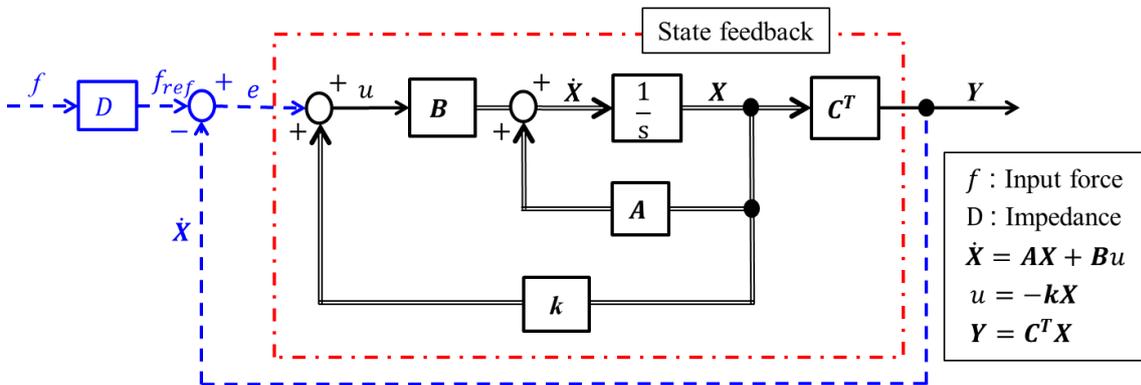


Fig.5 Inverted pendulum control system add force control block diagram