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(和文)	人力ロボティクスの提案
Title(English)	
著者(和文)	菅原雄介
Authors(English)	Yusuke Sugahara
出典(和文)	バイオメカニズム学会誌, Vol. 41, No. 2, pp. 73-78
Citation(English)	Journal of the Society of Biomechanisms Japan, Vol. 41, No. 2, pp. 73-78
発行日 / Pub. date	2017, 5

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

解　説

人力ロボティクスの提案

菅 原 雄 介[1†]
[1] 東京工業大学工学院

要旨：本稿では，著者らの提案する「人力ロボティクス」のコンセプトについて紹介する．これは操作者が加える動力により駆動されながらもシステム内部の動力流れの操作によりその運動を制御することで，自転車や手動ホイストなどのような人力機械の長所とロボットシステムとしての多機能性を兼ね備える知的人力システムを実現しようとするものである．これまでに，一対のパウダクラッチを用いた1自由度関節機構による出力軸のサーボ制御，また開発した人力パーソナルモビリティによる搭乗者のペダリング動力による車輪角度制御，前後進や超信地旋回，倒立振子制御などを実現している．このほか開発中の回生ブレーキと差動歯車を用いたサーボクラッチ機構，およびこれを用いた関節機構についても紹介する．

キーワード：人力ロボティクス，人力機械，パッシブロボティクス，サーボクラッチ，パーソナルモビリティ

1. はじめに

21世紀を間近に控えた1998年に行われた，「過去2000年間の中で最も重要な発明は何か」というアンケートに対し，iRobot社の創設者R. A. Brooksは「電動モータ」と答えている[1)]．たしかに電動モータの発明と技術の進歩は，ロボットに限らず工場，オフィス，家庭において膨大な種類の機械が使われる今日の社会の実現に不可欠であった．

技術史において「近代技術の第一線を形づくるものは、エネルギを生産する機械の発達である」[2)]といわれるように，エネルギを力学的な仕事に変換する原動機は特に産業革命以降の人類の歴史を文字通り駆動してきた．ただし原動機の中でも電動モータが有する重要な特徴は，効率がよく扱いやすいこと，スケーラブルであること，そしてサーボ制御（時々刻々と変化するトルク，角速度，角度などの目標値に追従させること）との相性が良いことである．例えば，産業用ロボットがプログラムされた軌道に従って繰り返し精度よく位置決めを行えるのは，各関節にそれぞれ各種のモータが搭載され別々に制御できるからであり，小型のものから大出力なものまでほぼ同一構造・同一原理で実現できる設計のスケーラビリティ，冷却不要で可動部が少なく配線の接続のみで使用できる扱いやすさ，応答性良く発生トルクを制御できる制御性の良さがこれを可能にしている．今日の家電，OA機器，ロボット，自動車，工場の生産設備などのシステムの多くは，電動モータという制御性の良い原動機を手に入れたことによって自動化・知能化に成功したといってよい．

2. 人力機械と「人力ロボティクス」

一方で，原動機をもたず，操作する人間がその運動によって動力を与えることで動作する機械は，今日においても数多くある．われわれが日常よく目にする一般的なものから産業用・特殊用途用まで視野を広げてみれば，たとえば自転車，手動車いす，台車，歩行器，リヤカー，人力車，手動ホイスト，チェーンブロック[*]，手動リフター[†]，津波避難用手巻き式ゴンドラ[‡]といったものが挙げられる．

これらのうち人力車両は，使用者が外部から押し引きすることで動作するものと，使用者が搭乗するものに分けられ，後者は操作者がペダルやハンドル（車いすの場合はハンドリム）を回転させる動力により駆動される．手動リフトなどの人力運搬機械も同様に操作者によるハンドル操作の動力により駆動されるものが多い．

これらの人力機械がなぜ人力駆動なのか（動力化されないのか），理由はさまざまであるが，その長所はおおよそ以下のように考えられる：

- 低コスト．
- 軽量化が容易．
- 電源不要／充電不要／電源のない環境で使用可能．
- 利用者が運動することに意味がある．
- 無動力であることに法規上のメリットがある．
- 操作が容易で出力が低く，人が操作しなければ動作しえないので，本質的な安全性の実現に有利である．
- 環境親和性がある．

2017年1月21日受付
† 〒152-8552　東京都目黒区大岡山2-12-1（i6-15）
東京工業大学工学院機械系機能システム学分野
菅原 雄介
E-mail: sugahara@mech.titech.ac.jp

[*] 株式会社ニッチ，http://www.nitchi.co.jp/（2016/12/31確認）
[†] 株式会社シロ産業，http://www.webshiro.com/（2016/12/31確認）
[‡] 株式会社高知丸高，http://www.ko-marutaka.co.jp/（2016/12/31確認）

以上のような特性はいずれも，特定のシチュエーションにおいて，例えば電動モータにより動力化された機械に対しても大きな優位性をもつものであり，今後も人力機械の社会的有用性がなくなることはないであろう．

ところでこれら人力機械は，ごく単純なパワーアシストを除き，その自動化・知能化の研究例は従来ほとんどなかった．なぜならこれらは操作者が加える力や動力により直接駆動されるため，電動モータで駆動されるシステムのように原動機をサーボ制御することで運動を制御することが不可能だからである．ここでもし，人力機械の動作・運動を何らかのコントローラにより制御することができれば，先に挙げたような人力で駆動されることの長所をそのままに，ロボット技術の応用によって知能化・多機能化・能動安全化を実現できる可能性があるはずである．

一方，ロボット自体は動力を持たず，操作者がシステムに加える外力すなわち外部から押し引きする力のみにより駆動され，その制動力を制御することで多様な知的運動を実現するパッシブロボティクス[3]というコンセプトが1990年代にGoswami，Peshkinらによって提案されている．詳細は本特集号における平田の解説[4]に譲るが，人力機械のうち先に述べたような，使用者が外部から押し引きすることで動作するものは，このパッシブロボティクスの手法がそのまま応用できるため，この手法による歩行器の転倒防止制御[5]や台車の衝突回避[6]などの知的制御が精力的に研究されている．これらのパッシブロボティクスの研究では，図1(a)に示すような，人がエンドエフェクタに直接力を加えるシステムを前提とし，人の加える力とロボットが発生する制動力の合力で運動が発生するものがほとんどであった．

一方，先に述べた人力機械のうち，操作者がペダルやハンドルを回転させる動力により駆動されるタイプの人力機械は，人がロボットを介して外部の環境と接触したり（図1(b)），人の加える力がロボットを介して外部に出力されるような構造（図1(c)）を持つ．この場合，人が加える力はシステムにとって内力となりエンドエフェクタの運動を直接発生させないため，従来研究されてきたようなパッシブロボティクスの手法をそのまま適用することはできない．

そこで著者らは，新たな人間機械協調システムのフレームワークのコンセプト「人力ロボティクス（Human-Powered Robotics）」を提案している[7-13]．これは，操作者がその運動によりシステムに内力として入力する動力により駆動されながらも，システム内部の動力流れを制御することにより，システムの自在な運動を実現しようとするもので，例えば操作者がハンドルにより入力した動力を用い，特殊な機構と制御系によりシステム内部の伝達トルクを制御することによって，車輪や関節など出力軸のサーボ制御を行うシステムなどがその具体例である．本研究では，こうした人力機械としての長所とロボットシステムとしての多機能性を兼ね備えるシステムの設計論を構築することを目的としている．

本研究は図2に示すように，具体的には以下のような技術的・社会的意義があると考えている：

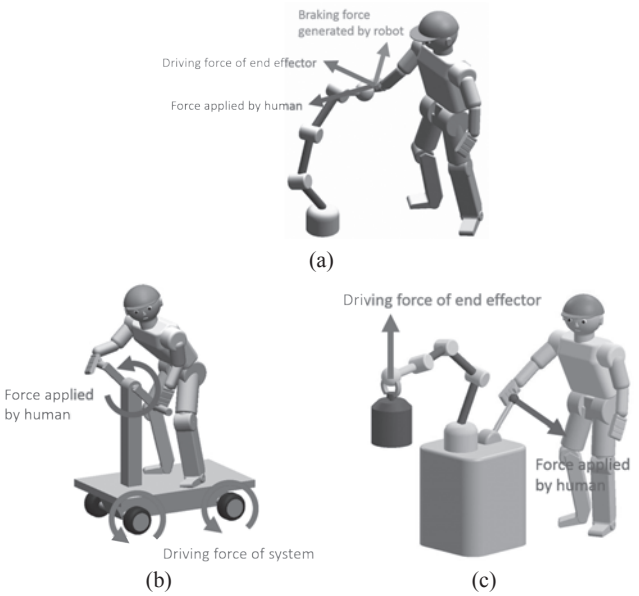


図1　パッシブロボティクスの原理と人力機械の例[7]
(a)：パッシブロボティクスの原理．人がエンドエフェクタに直接力を加えることを前提とし，人の加える力とロボットが発生する制動力の合力で運動が発生する§．(b)：人がロボットを介して外部の環境と接触する人力機械．自転車などが該当する．(c)：人の加える力がロボットを介して外部に出力される人力機械．手動ホイストなどが該当する．

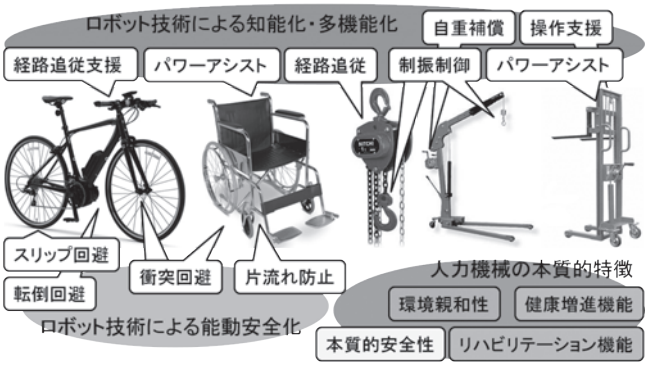


図2　人力ロボティクスが実現するもの

(1) 人力機械のロボット化　自転車や手動車いすなど人力車両への応用により，スリップ回避や衝突回避，片流れ防止などの能動安全機能の実現が可能になる．またチェーンブロックや手動リフターなどの人力運搬機械への応用により，制振制御や自重補償などの操作支援が実現可能になる．

(2) 原動機を有しないロボットシステム　ロボットでありながらも動力を持たず本質的に安全な機械システムが実現できる．また同様に動力を持たないため環境親和性のあるシステムが実現できる．

(3) 人間が動力を負担する知的機械　物理的な仕事をする機

§ ちなみにこの図において，人間が加える操作力と同じ方向に機械がアクティブな力を付加するのが，よく知られるパワーアシストである．

械でありながら，それを利用することによる健康増進機能やリハビリテーション機能が実現できる．

次章より，人力ロボティクスのコンセプトを実現するための基礎技術の開発状況について紹介する．

3. 人力駆動 1 自由度関節機構の開発 [8, 9]

このコンセプトを実現するには，操作者がその運動により入力する動力を用い，伝達トルクを制御することで関節角のサーボ制御を行う手法の開発が課題であった．著者らは，人力ロボティクス提唱の第一段階として，まず人間がハンドルを回すことを動力源として用い，パウダクラッチを用い正転・逆転を含む出力軸のトルクを制御できる 1 自由度の関節機構を試作した．

ロボットの動力源に人間の運動を用いることは，これまでにも武田，樋口らの歩行椅子 [14-16] などにおいて提案されてきたが，人間の加える動力をそのまま出力させる構造を前提としており，関節角のサーボ制御は考えられていなかった．一方，何らかの動力源と伝達トルクの制御が可能なデバイスを併用して出力軸のサーボ制御を行う研究例は複数ある．DC モータの動力の流れをワイヤとクラッチで制御する高瀬らのクラッチサーボ [17]，稲垣らのエンジン駆動脚式ロボット [18]，村上の磁性流体クラッチの評価装置 [19] など，いずれも伝達トルクの制御が可能なデバイスを正転用と逆転用の 2 個備え，伝達トルクをそれぞれ制御することで出力軸の正転・逆転を含むサーボ制御を行っている．本研究とは目的を異にしているが，本研究においてもこの構造を参考に関節駆動機構を試作した．

開発した人力関節駆動装置 KMR72（Kokushikan Man-powered Robot - No. 72）の構造を図 3 に示す．励磁電流を制御することで伝達トルクをほぼ線形に制御可能なパウダクラッチを 2 個備えている．

ハンドルから人間が入力軸に入力した回転は，図中矢印で示すように，平歯車を用いてクラッチ B にはそのまま，クラッチ A には反転して入力される．2 つのクラッチの出力軸はタイミングベルトで接続されており，同方向に回転する．ここで，クラッチ A がトルクを伝達しクラッチ B が開放されていたと

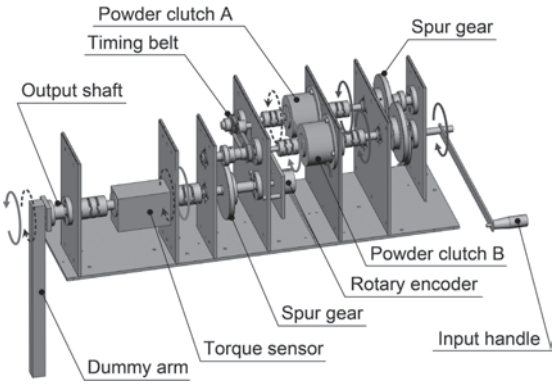


図 3　人力駆動 1 自由度関節機構 KMR72 の構造 [9]

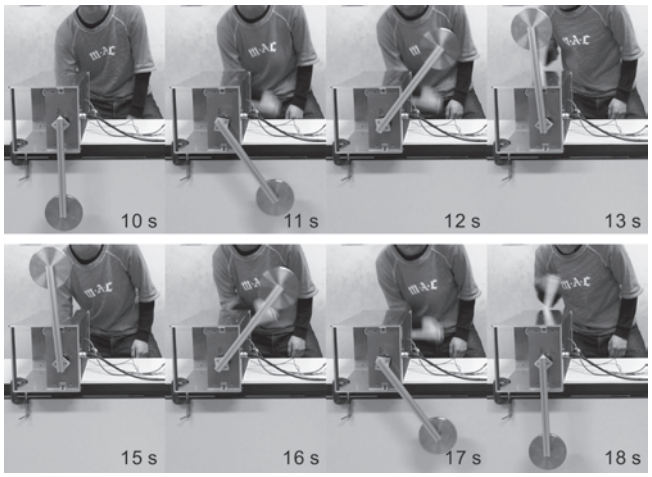


図 4　出力軸角度の制御実験 [9]

すると，クラッチ A のみの動力が出力軸に伝達され，図中の破線矢印の向きに出力軸は回転する．逆にクラッチ A が開放されクラッチ B がトルクを伝達する場合は，図中の実線矢印の方向に回転する．このように，2 つのクラッチの励磁電流を操作することにより，入力軸の回転方向が一定でも出力軸の正逆回転方向へのトルクの出力が可能である．さらに出力軸にはロータリエンコーダを備えており，この出力をフィードバックする位置制御ループを組むことが可能である．

目標軌道を 5 次多項式により与え，計算トルク法を用いた制御実験を行ったところ（図 4），関節角は目標値によく追従し，開発した人力関節駆動機構と制御系により人間が加えた動力による関節角度のサーボ制御が可能であることを確認している．

4. 人力パーソナルモビリティの開発 [10-12]

次に著者らは，人力駆動式のパーソナルモビリティの開発を着想した．Segway** に代表される倒立式パーソナルモビリティは近年多くの開発例 [20], ††, ‡‡があるが，我が国では法的問題により広く利用されるに至っていない．人力ロボティクスのフレームワークを用いれば，自転車のように手軽に利用でき，かつ能動安全化を図ったパーソナルモビリティが実現できる可能性がある．そこで本研究では人間のペダリング動力を用い，前章で述べた関節駆動機構を応用し，正逆転を含む左右車輪角のサーボ制御を可能とするパーソナルモビリティを試作した．

倒立式パーソナルモビリティにおいて動力に人間の運動を用いる研究例はこれまでにもある．鄭らは人間がペダルを

** Segway Inc., http://www.segway.com/（2016/12/31 確認）

†† トヨタ自動車株式会社，http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/personal_mobility（/ 2016/12/31 確認）

‡‡ 本田技研工業株式会社，http://www.honda.co.jp/robotics/u3x/（2016/12/31 確認）

漕ぐ力を動力の一部として使用する構造を提案しており[21]，Nakagawa らも同様の構造を提案している[22]．ただしこれらでは人間の加える動力は併用されるサーボモータの出力軸および駆動輪軸と直結されるため，人間の加える動力により車輪を駆動・制御するものではない．また，足漕ぎ車いす[§]の研究において，人間のペダリング動力をいかに駆動輪に伝達するかに関して様々な提案があるが[23-25]，左右両輪の自在な正逆転は実現されていない．

本研究で開発した人力パーソナルモビリティの試作機 KMM74（Kokushikan Man-powered Mobility - No. 74）の写真と構造を図 5 に示す．構造は対向 2 輪式の移動ロボットであり，左右にそれぞれ駆動輪を備える．機体は着座用のサドルと足漕ぎ用のペダルを備える．

搭乗者のペダリング動力は，チェーンやタイミングベルトを介し中央部の関節駆動機構ユニットに入力される．このユニットは前章で述べた関節駆動機構と同様に正逆転用の 2 つのパウダクラッチを有する構造であり，これが左右両輪それぞれの駆動用として備えられる．計 4 つのクラッチの伝達トルクを操作することにより，ペダルからの入力回転方向が一定でも，左右駆動輪の正逆両方向の自在なトルク出力が可能である．駆動輪はそれぞれロータリエンコーダを備え，これに基づき角度制御を行うことができる．

4. 1　走行実験

走行実験の様子を図 6 に示す．搭乗者はペダルを漕ぎながら手持ちのジョイスティックにより進行方向を指令する．システムはジョイスティックの角度から左右車輪の目標角速度を計算しこれを積分して目標角度を算出し，これに基づき左右駆動輪の角度制御を行っている．なおこの実験においては機体下部に補助輪を取付けており，姿勢制御は行っていない．

この実験では前進・後退・左右旋回・左右超信地旋回を実現した．特に，ペダルを一定方向に漕ぎ続けながらの後退や超信地旋回は，関連研究で提案された手法[21-25]では原理的に不可能であるが，本研究で提案する構造により実現が可能であることを確認した．

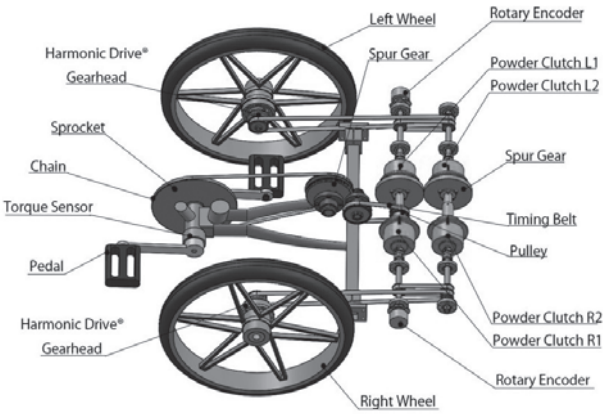
4. 2　倒立振子式姿勢制御実験

次に，倒立振子式の姿勢制御系を開発し実装した．機体は単純な剛体倒立振子としてモデル化し，制御系は LQR を用いて設計した．機体に搭載した姿勢角センサにより機体のピッチ角を計測し，これに基づき左右両輪の目標角度を算出しこれに基づき車輪角の制御を行った．なおこの実験においてはジョイスティックの入力は用いておらず，目標値はその場で倒立状態を維持するように設定した．

実験の様子を図 7 に示す．数秒間と非常に短時間ではあるが，搭乗者のペダリング動力を用いた車輪の駆動による倒立状態の維持に成功している．

[§] 株式会社 TESS，http://cogycogy.com/（2016/12/31 確認）

(a)



(b)

図 5　人力駆動パーソナルモビリティ KMM74
(a)：写真．(b)：駆動系の構造[11]．正逆転用の 2 つのパウダクラッチを有する関節駆動機構ユニットが左右両輪それぞれの駆動用として備えられる．

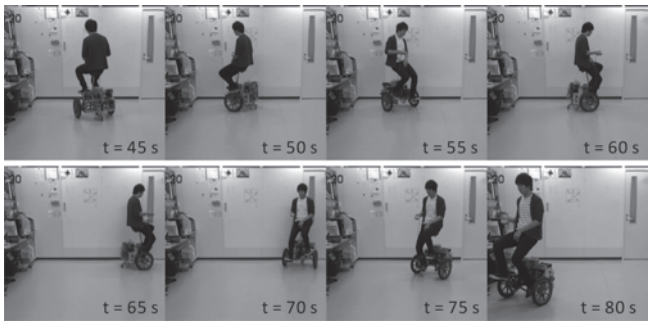


図 6　KMM74 の走行実験

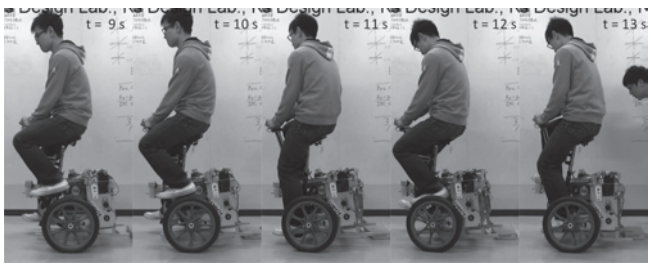


図 7　KMM74 の倒立振子式姿勢制御実験

5. 回生サーボクラッチの開発と応用 [7, 13)]

前章までに示した研究では，伝達トルクの制御のために市販のパウダクラッチを用いてきた. しかしながらパウダクラッチは制御性が悪く，また大きな発熱がありエネルギ効率が悪いという問題点があった.

そこで著者らは，電動モータと同じ程度の良好な応答性が期待でき，またエネルギの回収も可能なモータの回生ブレーキ機能に注目し，これと差動歯車を用いたサーボクラッチ機構の開発と応用に取り組んでいる.

提案する「回生サーボクラッチ」は，差動歯車を利用し，回生ブレーキによる制動トルクの制御によって伝達トルクを制御するクラッチ機構である [7)]. 図 8 に示すように，入力軸は差動歯車のキャリアと接続され，2 本の出力軸のうち一方が出力軸，もう片方は回生ブレーキの軸と接続されている. 入力軸に動力を与えたうえで回生ブレーキを作動させれば，そのブレーキトルクと同じトルクで出力軸が駆動される一種のクラッチ機構となる.

図 9 (a) に示す試作機 KRSC74R（Kokushikan Regenerative Servo Clutch - No. 74 Refined）を用いた評価実験により，パウダクラッチに比べ応答性に優れることが確認できている.

また，3 章で述べたのと同様に，この回生サーボクラッチを正逆転用の 2 セット用いることで，出力軸の角度制御を行う構造が実現できる. 開発した試作機 THR75（Tokyo Tech Human-powered Robot - No. 75）を図 9 (b) に示す [13)]. 回生ブレーキトルクの制御によるトルク出力，および PD 制御による関節角度制御の実験を行ったところ，良好な角度制御性能をもつことを確認している.

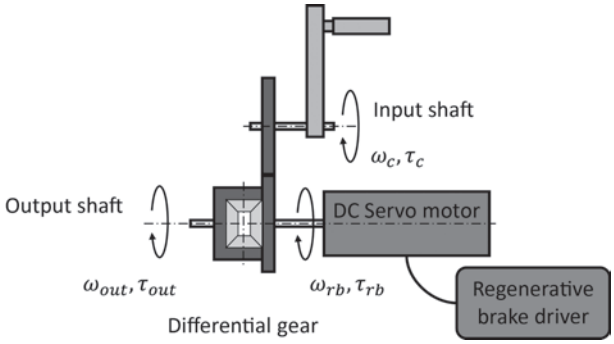
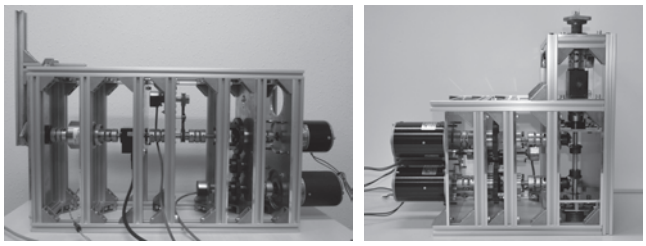


図 8　回生サーボクラッチの構造



(a)　(b)

図 9　回生サーボクラッチとこれを使った関節駆動機構
(a)：回生サーボクラッチ実験装置 KRSC74R[7)]. (b)：回生サーボクラッチを用いた関節駆動機構 THR75[13)].

6. おわりに

荘子に「機械あれば必ず機事あり，機事あれば必ず機心あり」という言葉がある. 林 [26)] によれば「機械によって，効率を重視し（時間の節約），楽をしようとすると（エネルギーの節約），自分が自然にもっていた能力が損なわれてしまうぞ（道の載せざるところなり）」という警句であるという. 機械工学を専門とするものとしては反論の一つもしたくなるが，確かに「人間のエネルギーと目的達成時間」[26)] を最小化することが人類の幸福に必ずしも資するとは限らない. とくにわが国の人々は東日本大震災において，われわれの文明と科学技術がいまだ不完全であることを知った. 人が人らしく良く生きるためには，人間と機械の関係性はどうあるべきか，再考することが必要な時期に来ているのだろう.

本研究は始まったばかりであり，現段階では工業的に有用な技術として完成してはいない. しかしながら本研究の目指す，ロボットシステムとしての多機能性を有しながらも人力機械としての本質的安全性・環境親和性・健康増進性を兼ね備えるシステムが，このような問いに対して何かのヒントを与えられるのではないかと考えている.

なお，より社会的有用性の高いアプリケーションへの展開として，本質的安全性がシビアに求められる手術支援ロボットシステムや，環境親和性と健康増進性を有するモビリティへの応用研究を既に開始している. これらに関しては本特集号において岡本 [27)] と遠藤 [28)] により解説がなされているので，あわせてぜひ参照されたい.

謝　　辞

本稿で紹介した研究の一部は競輪の補助（25-113，26-99，27-123）を受けた. この場を借りて感謝の意を表す.

参 考 文 献

1) Brockman, J.（著），高橋健次（訳）：2000 年間で最大の発明は何か，草思社，(2000).
2) Forbes, R. J.（著），田中実（訳）：技術の歴史，岩波書店，(1956).
3) Goswami, A., Peshkin, M. and Colgate, J. M.: Passive robotics: an exploration of mechanical computation, Proc. of the IEEE Int'l. Conf. on Robotics and Automation, 279-284, (1990).
4) 平田泰久：パッシブロボティクス総論，バイオメカニズム学会誌，41(2)，45-52，(2017).
5) Hirata, Y., Hara, A. and Kosuge, K.: Motion control of passive intelligent walker using servo brakes, IEEE Trans. on Robotics, 23(5), 981-990, (2007).

6) Saida, M., Hirata, Y. and Kosuge, K.: Motion control of caster-type passive mobile robot with servo brakes, Advanced Robotics, 26(11-12), 1271-1290, (2012).
7) 菅原雄介，遠藤央，岡本淳，松浦大輔，武田行生：人力ロボティクスの研究（第 7 報，回生サーボクラッチの動作実験），第 21 回ロボティクスシンポジア，439-444，(2016).
8) 菅原雄介，小林了：人力ロボティクスの研究（第 1 報，1 自由度関節機構の試作），日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013，2A1-E01，(2013).
9) Sugahara, Y.: Human-powered robotics - concept and one-DOF prototype, Proc. of the 21st CISM IFToMM Symp. on Robot Design, Dynamics and Control, 191-198, (2016).
10) 菅原雄介，潘飛：人力ロボティクスの研究（第 2 報，人力パーソナルモビリティの設計），日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014，2A1-R02，(2014).
11) ジェレミージョン，秋山勇人，福山和隆，菅原雄介，本田康裕，遠藤央，岡本淳：人力ロボティクスの研究（第 5 報，人力パーソナルモビリティの改良設計），第 16 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会，289-292，(2015).
12) 秋山勇人，ジェレミージョン，菅原雄介，本田康裕，遠藤央，岡本淳：人力ロボティクスの研究（第 6 報，人力パーソナルモビリティの倒立振子制御），日本機械学会関東支部第 22 期総会・講演会，OS1205，(2016).
13) 菊井健介, 菅原雄介, 松浦大輔, 武田行生, 遠藤央, 岡本淳：人力ロボティクスの研究（第 8 報，回生クラッチを用いた人力関節駆動機構の試作），日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016，2A2-14b1，(2016).
14) 樋口勝，武田行生，舟橋宏明，山田貴詩，松本貴弘：歩行椅子用パワーアシスト駆動系の開発（定常歩行に対するパワーアシスト駆動系の基礎的研究），日本機械学会論文集 C 編，69(683)，1885-1891，(2003).
15) Wu, Y., Higuchi, M., Takeda, Y. and Sugimoto, K.: Development of a power assist system of a walking chair (Proposition of the speed-torque combination power assist system), J. of Robotics and Mechatronics, 17(2), 189-197, (2005).
16) Wu, Y., Nakamura, H., Takeda, Y., Higuchi, M. and Sugimoto, K.: Development of a power assist system of a walking chair based on human arm characteristics, J. of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 1(1), 141-154, (2007).
17) 高瀬国克，井上博允：クラッチサーボを用いたロボットの腕，バイオメカニズム，2，144-153，(1973).
18) Takahama, T. and Inagaki, K.: A design method for practically used walking machine, Proc. of the IEEE/RSJ Int'l. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 414-419, (1997).
19) 村上岩範：磁性流体クラッチシステムを用いたサーボ機構の開発，日本機械学会関東支部ブロック合同講演会講演論文集，49-50，(2000).
20) 佐々木牧子，柳原直人，松本治，小森谷清：重心移動のみで操縦可能な小型・軽量パーソナルビークル，日本ロボット学会誌，24(4)，533-542，(2006).
21) 桝田勇司，山下弘平，松本治，高橋隆行，鄭聖熹：車輪倒立振子型パワーアシストパーソナルモビリティの機構設計，第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会，(2010).
22) Nakagawa, C., Nakano, K., Suda, Y. and Hirayama, Y.: Stability of the two-wheeled inverted pendulum vehicle moved by human pedaling, J. of System Design and Dynamics, 5(3), 389-402, (2011).
23) 吉田義宏，高橋隆行：足漕ぎ車いす Profhand の両輪駆動化と後輪部の固定による段差乗り越え性能の改善，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集，2P1-T08，(2012).
24) Hirata, Y., Kawamata, K., Sasaki, K., Kaisumi, A., Kosuge, K. and Monacelli, E.: Regenerative brake control of cycling wheelchair with passive behavior, Proc. of the IEEE Int'l. Conf. on Robotics and Automation, 3858-3864, (2013).
25) 平田泰久，小菅一弘，Eric Monacelli：ブレーキ制御による足こぎ車椅子の操舵ハンドルアシスト，第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会，739-740，(2013).
26) 林久史：機械を有する者は, 必ず機事有り。機事有る者は, 必ず機心有り。，日本女子大学紀要理学部，23，7-12，(2015).
27) 岡本淳：手術室で使われているパッシブな装置，バイオメカニズム学会誌，41(2)，59-62，(2017).
28) 遠藤央：健康増進機能・環境親和性・先進安全性を併せ持つ脚漕ぎ式搭乗型移動装置「ロハス・モビリティ」の展望，バイオメカニズム学会誌，41(2)，79-84，(2017).

菅原雄介（すがはら ゆうすけ）
2006 年早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了．同大学助手，東北大学助教，国士舘大学講師等を経て 2015 年東京工業大学大学院理工学研究科准教授，2016 年同大学工学院准教授，現在に至る．人間搭乗型 2 足歩行ロボット，階段昇降機構，空力浮上式鉄道など，ロボットと機械システムの設計と制御に関する研究に従事．日本機械学会奨励賞（研究）等受賞．日本ロボット学会, 日本 IFToMM 会議などの会員．博士（工学）．（バイオメカニズム学会正会員）