

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2009

課題番号：18300191

研究課題名（和文）

水素吸蔵合金アクチュエータを利用した関節可動域訓練システムに関する生体工学的研究

研究課題名（英文）

Bioengineering study of a motor rehabilitation system using a metal hydride actuator

研究代表者

井野 秀一（INO SHUICHI）

独立行政法人産業技術総合研究所・人間福祉医工学研究部門・主任研究員

研究者番号：70250511

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学，リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：アクチュエータ，水素吸蔵合金，リハビリテーション，生物・生体工学

### 1. 研究計画の概要

高齢者を突然襲う脳血管障害，交通事故等による骨折，健康増進でのスポーツ活動等で関節運動障害を抱えてしまう人たちが増えている現代社会では，いつでもどこでも患者自身が手軽に医師や理学・作業療法士の指導のもとで客観的な EBM（Evidence-Based Medicine）の運動機能治療を行えるポータブルな関節可動域訓練システムに対する期待は大きい。しかし，現状では，単純な機構の可動域訓練装置はいくつか存在するが，ヒトの関節でみられる柔らかな動きや身体への装着性を十分に考慮した生体適合性に優れたデバイスは残念ながらない。

そこで，私たちは生活環境や生体機能との調和を考慮した新しい関節可動域訓練システムを実現するために，ロボット等の機械とは異なるヒト特有の関節運動に伴う冗長性・柔軟性・可塑性などを生体工学や臨床運動学の立場から多角的に調べ，そこで得られた知見に基づき運動リハビリ向けのアクチュエータを水素吸蔵合金などの新素材を利用して設計し，次世代の関節リハビリの在り方について学際的な医工連携の研究体制のなかで探る総合的な生体工学研究を行う。

### 2. 研究の進捗状況

本研究では，水素吸蔵合金（MH 合金）を利用した新しいコンセプトの関節リハビリ機器の設計基盤となる知見とウェアラブルなデバイスを得ることを主目的として，ヒトの関節運動に関する様々な生体機能計測とポータブルな駆動源としての可能性を秘め

る MH 合金とそれを応用したアクチュエータに関する要素技術開発を進めている。

まず，ヒトの関節運動に関する基礎的な研究では，上肢の関節リハビリに要求される動作範囲を数理的に検討した。その結果，関節運動リハビリの対象となるユーザの上肢が取り得る範囲をリーチ可能な手先位置全域にわたって調べた。その結果，肘や肩は手先位置の調整によってリハビリのための関節可動域訓練が可能であるが，手関節などに関しては，冗長性のために何らかの物理的な拘束条件をリハビリ機器に加味する必要があることがわかった。また，下肢の関節運動に関しては褥瘡予防などのベットサイドリハビリのための基礎データを収集した。その結果，足趾関節の単純な他動運動の繰り返しによって，褥瘡好発部位である外果などで血流量の増加することを定量的に確認し，これより褥瘡や関節拘縮の予防効果の可能性が示唆された。一方，新しい関節リハビリ機器のデバイス開発としては，従来の MH 合金に比べて加熱冷却系がシンプルなアクチュエータを構成できる常温負圧型 MH 合金を数種類ほど設計し，その機能の評価テストを行った。その結果，ヒトの筋 - 関節系と同様な柔軟性を備え，無負荷時や自然冷却時においては従来の常温常圧タイプと比べて，駆動媒体の水素ガスの吸収が円滑に進行することがわかった。また，エネルギー効率においても改善効果がみられることを確認した。

### 3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

当初の計画通り、関節運動リハビリに関連する生体計測を通じた基礎研究とそのリハビリを対象としたシステム構築に資する新しいコンセプトの水素吸蔵合金アクチュエータに関する種々の要素技術の開発は、概ね順調に進んでいる。さらに、本研究の数年間の進展に応じ、当初の計画をより一層充実させるアウトリーチも多数見えはじめている。具体的には、ベットサイドでの足趾関節の屈伸運動による褥瘡予防効果の可能性、ウェアラブルな MH アクチュエータの実用化に必要なソフト素材の選択肢の増加、高齢者の QOL 向上のための転倒リスクの定量的評価法の考案などが挙げられる。

#### 4. 今後の研究の推進方策

本課題のように、ヒトの身体と直接的に触れるようなリハビリ機器の研究開発では、生体機能計測等により健康と疾患の狭間にある複雑な人間システムを見つめながら新しい機器をデザインする俯瞰的な医工連携のスタンスが求められる。そこで、今後の研究の推進方策としては、これまでの路線を周到しながら、関節可動域訓練システムに求められる設計仕様（エビデンス）を生体工学の視点で探る基礎研究とリハ医学や福祉工学などの当事者の視点からみた臨床研究及び技術開発研究を実用化を念頭にバランスさせながら統合的に進める。そして、少子高齢社会の QOL を高めるような在宅リハビリを可能とするようなポータブルな関節運動リハビリシステムの開発につなげていきたい。

#### 5. 代表的な研究成果

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 12 件)

S. Ino, M. Sato, M. Hosono and T. Izumi: "Development of a Soft Metal Hydride Actuator Using a Laminate Bellows for Rehabilitation Systems," Sensors and Actuators: B. Chemical, Vol.B-136, No.1, pp.86-91, 2009. (査読有り)

S. Ino, M. Sato, M. Hosono, S. Nakajima, K. Yamashita, T. Izumi: "A Soft Metal Hydride Actuator Using LaNi<sub>5</sub> Alloy and a Laminate Film Bellows," Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Industrial Technology, pp. 1215-1220, 2009. (査読有り)

S. Ino, M. Sato, M. Hosono, S. Nakajima, K. Yamashita, T. Tanaka, T. Izumi: "Prototype Design of a Wearable Metal Hydride Actuator Using a Soft Bellows for Motor Rehabilitation," Proceedings of the

30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.3451-3454, 2008. (査読有り)

山下和彦, 岩上優美, 今泉一哉, 中島佐和子, 井野秀一, 伊福部達, 小山裕徳, 川澄正史: "SDA 法を用いた姿勢制御能の加齢変化の解析", ライフサポート学会誌, Vol.20, No.1, pp.31-37, 2008. (査読有り)

吉田直樹, 白銀暁, 井野秀一, 伊福部達: "手先位置と上肢肢位範囲の関係: 手先位置制御型訓練装置を用いたリハビリテーションへの応用を目指した数理的検討", 日本生体医工学会誌, Vol.45, No.4, pp.242-255, 2007. (査読有り)

〔学会発表〕(計 15 件)

井野秀一, 細野美奈子, 佐藤満, 山下和彦, 中島佐和子, 泉隆: "足趾関節のリハビリ運動支援のためのソフトアクチュエータの基礎的研究", 第 48 回日本生体医工学会大会論文集, p.525, 2009.

細野美奈子, 井野秀一, 佐藤満, 山下和彦, 泉隆, 伊福部達: "ソフト MH アクチュエータを用いた足趾の関節運動リハビリ機器の試作", ヒューマン・インタフェース・シンポジウム 2008 論文集, pp.645-648, 2008.

細野美奈子, 井野秀一, 佐藤満, 山下和彦, 泉隆, 伊福部達: "福祉機器向けアクチュエータのための 常温負圧水素吸蔵合金の試作", ヒューマン・インタフェース・シンポジウム 2007 論文集, pp.905-908, 2007.

白銀暁, 吉田直樹, 井野秀一, 伊福部達: "3次元手先位置制御型上肢リハビリ訓練装置を用いて必要な関節運動を誘導するための数理的検討", 第 7 回日本 VR 医学会学術大会抄録集, p.43, 2007.

〔図書〕(計 2 件)

S. Ino and M. Sato: "A novel soft actuator using metal hydride materials and its applications in quality-of-life technology," In: Recent Advances in Biomedical Engineering, IN-TECH, Vienna, 2009. [in print] (査読有り)

井野秀一, 泉隆: 「運動機能代行のための医工学技術」, "医用機器", pp. 112-124, コナ社, 2006.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

<http://unit.aist.go.jp/humanbiomed/skillres/index.html>