

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25242057

研究課題名(和文) ホームケアをサポートする人間生活調和型コンパクトアクチュエータの総合的研究

研究課題名(英文) Multidisciplinary study of novel human-friendly compact actuators for home care systems

研究代表者

井野 秀一 (Shuichi, Ino)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・総括研究主幹

研究者番号：70250511

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電源フリーでハイパワーかつコンパクトな人間生活調和型のソフトアクチュエータの新技術開発を、高齢者や障害をもつ人たちのホームケアおよび防災救助を支える福祉技術の基盤拡充に向けて、機能材料の開発や人間の動作計測などを含め、学際連携(分野横断)で展開した。具体的には、コンパクトな圧力発生ユニットとしての水素吸蔵合金やその周辺技術に係わる材料科学研究とホームケアおよび家庭用防災のサポート技術のための人間工学研究を並行して進め、これらの異分野間の知見を統合して、水素吸蔵合金を用いた人間生活調和型コンパクトアクチュエータのプロトタイプを開発し、現場ニーズの視点に基づいて機能評価を行った。

研究成果の概要(英文)：We investigated the novel technological development of human-friendly compact actuators with several unique properties, including a high power-to-weight ratio, softness, noiselessness, and no requirement of an electric power supply, which strengthen the technologies for enhanced quality-of-life for home care support or disaster prevention of vulnerable elderly people or people with physical disabilities. Our integrated and multidisciplinary study of the human-friendly actuators was also conducted in parallel with the development of new functional materials, specifically, metal hydride materials, for use in a small pressure generator unit and its peripheral technology, and measurements of human movement and performance, which constitute the ergonomic analysis for human-centered design of home care equipment or portable rescue tools. Finally, we developed a prototype human-friendly compact soft actuator system by using the metal hydride materials.

研究分野：福祉工学

キーワード：人間生活環境 医療・福祉 防災 水素吸蔵合金 アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

生き甲斐のある長寿社会と質の高い生活環境(QOL 社会の早期実現)の基盤づくりは、高齢者のみならず、子供たちや若者たちを含めて世代間を超えて重要である。そこでは、高齢になっても、心身に何かの障害があっても、活動的な人生を全うできるように、個人のもつポテンシャルや残存機能を大切に考えたホームケアや在宅リハなどの生活充実・健康寿命延伸の技術開発が、次世代の安心・安全のテクノロジーに求められている。また、安心・安全のテクノロジーの研究開発は、東日本大震災等での未曾有の大規模災害を経験した今、社会と個人が共に協力し、事前の備えによって災害被害を最小化する身近な防災レスキュー技術への対策も同じく希求されている。

将来の安心・安全の科学技術を、身近な生活者の視点で考えると、例えば、ホームケアや在宅介護(福祉分野)では、下肢機能が弱くなった高齢者や障害のある人をサポートする移乗や起立の動作支援であり、また、大規模災害時(防災分野)では、建物の倒壊や家具転倒により脱出困難になった被災者の迅速な救済・救助活動が挙げられる。どちらも、普段の日常生活で要する人力に比べて、何倍もの大きな力を必要とする作業である。そして、介護や看護では、それらは、腰痛などの労災に発展する二次的被害の危険性を含み、災害救出では、ライフラインや交通路が途絶した過酷な状況下での迅速救助のための身体的負荷の極めて大きな腕力が否応なく求められる。しかし、それらの介護・看護・救助などに必要な「力」の支援を目的とする(いわゆる工業用途と異なる発想の)人間生活調和型パワーツール(アクチュエータ)は残念ながら多くはない。

このような背景の下で、研究代表者らが、長年の研究開発を通じて、技術的ノウハウを蓄積してきた機能材料である「水素吸蔵合金」を利用した「アクチュエータ」を、新たな視点で見直し、身近なホームケアと防災支援のためのコンパクトでパワフルな人間生活調和型パワーツール(動力源)として新規開発する着想に至った。

2. 研究の目的

世界に先駆けて本格的な高齢社会を迎えた日本では、人々の多様なライフスタイルをサポートする福祉機器の開発とその充実が求められている。また、世界各地で頻発する甚大な自然災害や人口密集地区での都市災害ではインフラ(電源設備)に依存しない高出力で機動性に優れた防災救助ツールの登場が期待されている。そのどちら(福祉・防災)にも共通したニーズは、小型・軽量であり、安全かつ確実(簡便)に駆動するシンプルなメカニズムの動力源である。これまでに産業用(工場や建築現場など)では、電気モータや油空圧アクチュエータが人力を超え

て活躍しているが、福祉や防災などの生活環境での用途には必ずしも適していない。

そこで、本研究課題では、電源フリーでハイパワーかつコンパクトな人間生活調和型のソフトアクチュエータの新技术を、マテリアルサイエンスや人間計測などを通じて、高齢者や障害のある人たちのホームケアや防災救助向けの用途を基軸に置いて、異分野連携の学際研究体制による「マテリアルサイエンス×人間計測×福祉工学」で総合研究することを試みる。

3. 研究の方法

人間生活調和型アクチュエータ技術に適した水素吸蔵合金とその周辺技術の新規開発(マテリアルサイエンス)を行う。水素吸蔵合金は、加熱・冷却により水素を放出・吸収するという性質を持ち、さらに水素貯蔵密度は液化水素を凌ぐ高密度である。この水素吸蔵合金を、熱制御素子と共に密閉した空間に封入し、その空間内部で生じる水素圧の変化を伸縮運動等に変換することで、水素吸蔵合金アクチュエータは機械的な動力を発生することができる(図1)。この動作原理を活用して、静音性、柔軟性、小型・高出力などの人間生活調和型コンパクトアクチュエータの開発を、福祉と防災のホームケア支援の技術開発と共に目指す。

具体的には、ホームケア支援の介護現場や当事者(高齢者や下肢機能に障害のある人)からのニーズの高い起立・移乗動作、防災支援での家庭やコミュニティでのレスキュー活動における基本的なジャッキ操作に関する身体的作業負担の生理・心理学的評価実験(人間計測)を進め、これらの研究成果を統合しながら、人間生活調和型の水素吸蔵合金アクチュエータを試作し、トイレや椅子からの起立・移乗支援および家庭用の防災・救助支援のためのコンパクトなパワーツール等の福祉技術を出口とする研究開発を分野横断的に展開する。

(1) 水素吸蔵合金の設計

アクチュエータ向けの水素吸蔵合金に求められる特性には、用途に応じた水素吸蔵・放出の平衡圧力、繰り返しの耐久性、PCT(圧

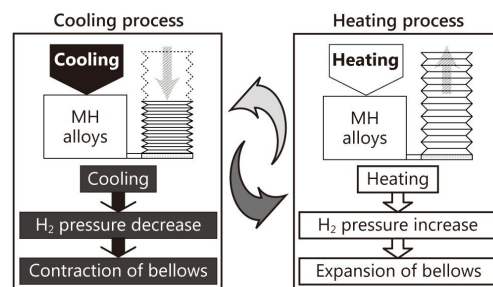


図1 水素吸蔵合金を利用したアクチュエータの基本構造と動作原理

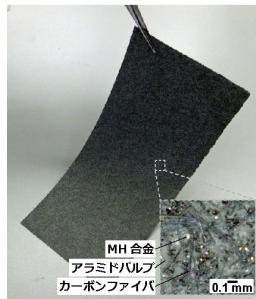


図2 水素吸蔵合金シートと表面構造

力 - 水素濃度 - 温度) 曲線におけるプラトー圧の平坦性, 小さなヒステリシス (吸蔵圧力と放出圧力の差), 初期活性化の容易性などが挙げられる. これらの機能性の観点から, 従来の水素吸蔵合金アクチュエータでは, これらに優れる LaNi_5 系の水素吸蔵合金 (AB_5 合金) を利用してきた. しかし, LaNi_5 系合金は希土類元素 (レアアース) を含むことから, 経済性 (コスト) についての課題が指摘されることがある.

そこで, この AB_5 合金に代わるアクチュエータ向けの新規の希土類元素フリーの水素吸蔵合金を開発することにした. ここでは, $\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{Mn}_2$ 系の AB_2 合金に着目した. 上記の機能性に加えて, 反応速度, 水素吸蔵合金アクチュエータの動作確認試験などを実施し, アクチュエータに適した合金開発を行った.

(2) 水素吸蔵合金のシート化

水素吸蔵合金の初期形状はインゴット (鋳塊) であるが, 活性化処理後の形状は, 粉末である. 合金を粉末状で使用する場合, 飛散による取り扱いの難さのみならず, 合金全体に対する加熱・冷却の温度コントロールも困難を伴う. そこで, 本研究では, 製紙技術に着目した水素吸蔵合金シートを製作し, その水素吸蔵特性等を実験的に調べた.

試作した水素吸蔵合金シートは, 水素吸蔵合金パウダー (LaNi_5 系), アラミドパルプ, カーボンファイバにより構成されている. 走査型電子顕微鏡 (SEM) によって, 合金シートの微細構造を観察した. アクチュエータのコンパクト圧力源としての特性評価のために, 粉末状合金とシート状合金 (図2) の2種類の形態に対して, PCT 曲線 (静的特性) と加熱・冷却操作に対する水素放出・吸蔵の応答特性 (動的特性) を測定し, 各々の比較・検討を行った.

(3) 福祉応用のための人間計測

本研究では, 加齢に伴う筋力低下によりベッドやトイレなどでの立ち上がりや移乗で不自由を抱えている人たちの動作機能のサポートを行うためにコンパクトで静かな小型動作支援デバイスの開発を進めている. 便座からの起立動作を支援するデバイス開発の設計指針を得るためには, 便座を上昇させ

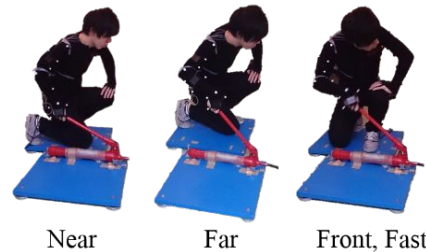


図3 防災用ジャッキのハンドル操作と姿勢

た場合のヒトの身体的負担についての基礎データが不可欠である. そこで, 便座の傾斜角度をパラメータとした場合の起立動作におけるヒトの動作計測を多角的に行い, その計測結果をもとに便座に傾斜角を与えた場合の起立動作時の体幹等の動きおよび身体的負担について考察した.

本実験の協力者は, 起立動作に際し影響となる既往歴がない20-50代の健康な成人5名とした. 身体動作計測には, 3次元動作解析装置, 表面筋電計, 重心動揺計等を用いた. 「起立動作のしやすさ」等の主観評価は, 5段階のリッカート尺度を用いて行った. 本実験は, 産業技術総合研究所人間工学実験委員会にて承認されている.

(4) 防災応用のための人間計測

地震などで被災者が倒壊物に挟まれた場合は, 油圧ジャッキにスプレッダー等を装着し救出活動を行うが, 油圧ジャッキを使用する消防士からは身体負担が大きいという指摘がなされていた (本研究での現場ヒアリング調査より). また, 近年, 防災用具として学校や職場への設置も検討されており, 子供から高齢者まで幅広い年代の人の利用が想定されることから, 使用時の身体負担の軽減と操作性の向上が求められている. そこで, 本研究では, 身体負担を軽減するジャッキの開発のため, レバー油圧ジャッキのハンドル操作において作業者の立ち位置や操作速度等の操作方法が操作姿勢に与える影響を運動学的に分析し, 主観的な負担感との関係を明らかにすることで, 適切なハンドル操作姿勢に関する人間工学的な基礎知見を得ることを目的とした計測を行った.

本実験では, ジャッキの側で片膝立ち姿勢のまま片手でハンドルを上下に操作させた (図3). 上肢の作業姿勢計測では, 表面筋電計および3次元動作解析装置を用いて, バイオメカニクスの視点を含む定量的評価を行った. また, 心理的主観評価として, 1試行終了ごとに「作業の負担感」の評価は5段階のリッカート尺度を用いて行った. 実験協力者は, 20代の男性9名 (右利き) とした. 本実験は, 独立行政法人国立特別支援教育総合研究所の倫理要項に基づいて実施した.

(5) コンパクトアクチュエータの開発

水素吸蔵合金を密閉容器に封入し, 合金の

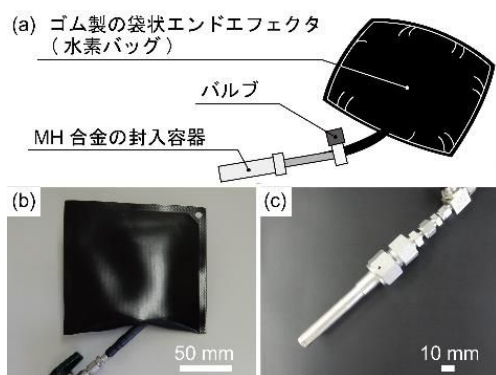


図 4 水素吸蔵合金とソフトジャッキ袋を用いたコンパクトアクチュエータ (a)全体構成 (b)ソフトジャッキ袋 (c)合金の封入容器

加熱・冷却に伴う水素の放出・吸蔵反応を利用すれば、振動や騒音の発生しない圧力源を得ることができる。さらに、ベローズや袋状の伸縮可能な構造をエンドエフェクタ（効果器）として合金封入容器と接続することで、加熱・冷却により合金から放出・吸蔵される水素ガスによる内圧変化を、エンドエフェクタの伸長・収縮動作（アクチュエーション）に変換することが可能になる。

また、本研究で開発対象とするコンパクトアクチュエータは、在宅ケアや家庭防災での応用を考えたものであることから、最大 100 kg 程度の重量（被介護者および転倒家具など）リフト（ジャッキアップ）を出力の目標値とした。また、日常生活の環境での利用を想定しているため、エンドエフェクタはソフトであることを条件（身体接触時の安全性確保）とした。そのような設計指針に基づき、可撓性と耐久性に富む合成樹脂ファイバークロス補強ゴム製のソフトジャッキ袋（以下、水素バッグ）を、本研究ではエンドエフェクタとして採用した。水素バッグの寸法は 150×160 mm であり、厚みは 1.5 mm であった。エンドエフェクタでの最大出力 100 kgf と水素バッグ等の容積を考慮して、アクチュエータの圧力源には LaNi₅ 系合金 16 g を用いた。エンドエフェクタや合金容器を含む総重量は 500 g 程度であった（図 4）。

試作したコンパクトアクチュエータの駆動評価の実験では、電力不要の熱源として、家庭内環境にありふれた浴槽やポットの残り湯、キャンプで使用する生石灰（酸化カルシウム）を用いた発熱剤等の使用を想定し、40–80 程度の加熱温度によるコントロールを試験条件とした。これは、災害時の過酷なインフラ被害（電力供給途絶）を仮定した実験環境である。

4. 研究成果

(1) 水素吸蔵合金の設計

AB₂ 合金として採用した Zr_{1-x}Ti_x(V, Mn, Ni)₂ は、室温で H/M=1.0 まで水素を吸蔵し、x の増加に伴い平衡水素圧力が 0.01 Pa から 1.0

MPa まで変化した。PCT 曲線のグラフでは、比較的平坦なプラトーを示した。さらに、Al, Fe, Cu, Sn の置換が PCT 特性のヒステリシスに及ぼす影響を調べたところ、Al がヒステリシスを最も減少させる効果を有することを確認した。一方で Al を置換すると平衡水素圧力が減少してしまった。

そこで、改めて AB₂ 合金の組成の再調整を行い、Ti_{0.5}Zr_{0.5}Mn_{0.8}V_{0.2}Ni_{0.9}Al_{0.1} を試作した。この AB₂ 合金に対して、一定温度での耐久性評価および加熱・冷却による繰り返しサイクルによる水素吸蔵・放出特性を調べる実験を行い、定量的に水素吸蔵特性を評価した。その結果、試作合金の最大水素吸蔵量は 1.6wt% であり、LaNi₅ 系合金の 1.5wt% に比べて若干向上し、PCT 特性におけるヒステリシスは半分以下に減少した。また、1000 サイクル後の水素吸蔵量の劣化は 2% 以下に収まり、良好な耐久性を示した。80% 以上の水素放出に要する時間は LaNi₅ 系合金と比べて同程度であった。また、水素吸蔵合金アクチュエータの圧力源に実装した場合の駆動テストも良好であった。以上より、本研究で開発した AB₂ 合金は、レアアースフリーを実現し、従来の AB₅ 合金に比べて、伸縮動作などの繰り返しの動作が要求されるアクチュエータ向けの観点からみても、高性能であることがわかった。

(2) 水素吸蔵合金のシート化

走査型電子顕微鏡による画像データから、シート化された合金粉末は、アラミドパルプとカーボンファイバに万遍なく接触し、保持されていることが観察された。また、水素吸蔵に関する静的特性を示した PCT 曲線は、合金粉末および合金シートの両者で比較したところ、各々に顕著な差異はなかった。その一方で、合金粉末と合金シートをステップ的に加熱・冷却し、動的特性を調べたところ、水素放出・吸蔵の応答特性は、合金粉末に比べて合金シートで顕著に高まることが確認できた。以上より、製紙技術を応用した合金のシート化によって、合金形態の新しい選択肢が増え、同時に水素吸蔵合金アクチュエータの動作速度（圧力応答）の改善策も得ることができた。

(3) 福祉応用のための人間計測

在宅・施設介護で課題の多いトイレ等での起立・移乗介助の技術サポートの基礎データを得るために横断的に行った人間計測の一例を示す。下肢と体幹の表面筋電図の測定結果（図 5）から、便座の前傾角度が高くなるにつれて、脊柱起立筋と前脛骨筋における筋活動は、減少傾向を示し、大腿直筋の筋活動は、実験協力者によって、減少あるいは増大の異なる傾向を示すことがわかった。また、起立動作時の足圧中心（COP）の前後方向の移動量は、便座の前傾角の増加に伴い減少する傾向を示した。さらに、起立動作のしやす

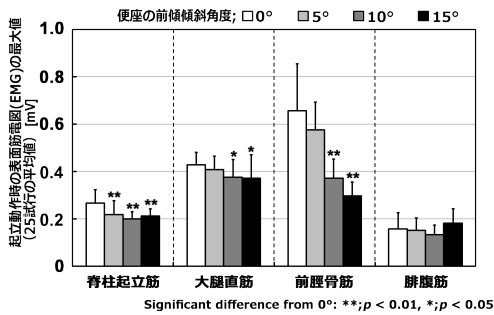


図 5 トイレの前傾角度を変化させた場合の下肢および体幹の筋活動量の比較（起立動作時）

さ、着座時の身体的負荷等の主観評価では、前傾角が 0°（水平）よりも 5–15°の場合において、起立動作が容易になり、前傾角が 10°の場合にスコアが最も高いことがわかった。

(4) 防災応用のための人間計測

防災用ジャッキの作業姿勢とレバー操作速度を変化させた場合（図 3）における、体幹前傾角および主観的負担感を測定した結果、体幹の前傾角は Front および Fast 条件（30 秒間で可能な限り速く操作）で他条件より増大することがわかった。主観的な負担感として、Fast 条件では最大速度で操作しているため、負担感が他の条件より顕著に高くなることがわかった。また、ジャッキ（レバー）に対する操作の構え方（姿勢）が異なる条件についても有意差が見られ、特に、Front 条件で高く、Near 条件で低いことがわかった。これは体幹の前傾やひねりの姿勢保持に伴う腰部負担の増大が関係していると推察される。以上より、防災用ジャッキの操作時には、レバーと平行かつレバーに近づいて構え、体幹を捻らずに可動部を視認できる姿勢を保つことが重要であることが明らかになった。

(5) コンパクトアクチュエータの開発

人間生活調和型のコンパクトアクチュエータの新技术開発を目指し、水素吸蔵合金を応用したコンパクトアクチュエータの試作器の駆動実験を行った。無電力下での使用を想定し、発熱剤と水の化学反応を用いて合金を加熱した。具体的には、発熱剤（生石灰）45 g を入れた加熱袋に 130 ml の水を注入した。注入後 30 秒で蒸気により加熱袋内の温度は 80 から 100 近くに達し、80 以上で 10 分間保持できた。そこで、この加熱袋の底面に合金容器を設置し、試作したコンパクトアクチュエータを用いて垂 100 kg を 5 cm 以上（転倒家具等からの救助隙間の確保、トイレの前傾リフトを想定）の高さまでジャッキアップすることを試みた。その結果、100 kg の垂を目標とする 5 cm を超え 5.5 cm まで持ち上げることに成功した（図 6）。また、加熱開始からジャッキアップの高さが 5 cm に達するまでの時間は約 2 分であった。また、その持ち上げによる隙間は、1 時間後も維持され、24

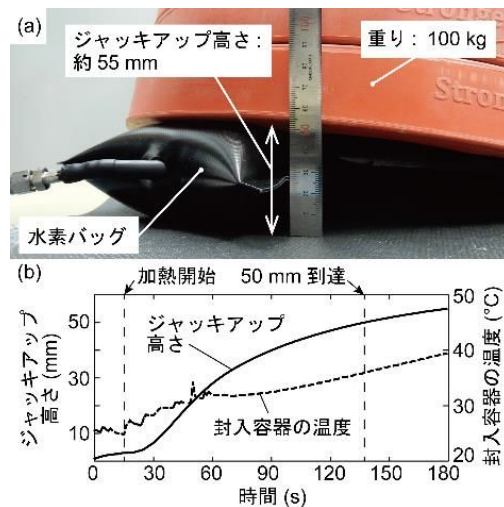


図 6 水素吸蔵合金コンパクトアクチュエータの生石灰を加熱剤に利用した動作試験 (a) 動作試験の様子 (b) ジャッキアップの高さと合金封入容器の温度の時間経過

時間後でも若干の減少（数 mm）に止まっていることを確認した。

以上より、ホームケア支援のための防災機器や福祉機器に利用可能な新しい人間生活調和型コンパクトアクチュエータのプロトタイプを開発することができた。

(6) 今後の展望

本研究では、電源フリーでハイパワーかつコンパクトな人間生活調和型のソフトアクチュエータの新技术開発を、高齢者や障害をもつ人たちのホームケアおよび防災レスキューの応用に軸足を置き、機能材料開発や人間計測などを含め、学際的な視座から実施した。また、将来の社会実装に向けて地域中核病院の医師・看護師等や自治体の消防レスキュー隊等との連携の基盤づくりを展開した。

今後は、人間生活調和型コンパクトアクチュエータの実用化を目指し、福祉や防災の現場連携での課題抽出と性能改善を継続して行い、ホームケア支援に資する福祉機器や防災機器のためのニューアクチュエータ技術に発展させていきたいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 33 件)

井野秀一, 細野美奈子, 近井学: 水素吸蔵合金を利用した人間生活調和型アクチュエータの開発. 水素エネルギーシステム, 査読無, 2018. (依頼 / 印刷中)

A. Sugama, K. Doi, S. Shimada, M. Chikai, S. Ino et al.: Research on physical load caused by operation of hydraulic jack handle, *Medical & Biological Engineering & Computing*, 査読有, 2018. (in print)

C. Wada, S. Ino: Study of the relationship between sit-to-stand activity and seat orientation, *Journal of Advanced*

Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有, **21**, 337-341, 2017.
DOI: 10.20965/jaciii.2017.p0337
K. Yamashita, E. Anzai, T. Yamashita, Y. Ohta, M. Sato, S. Ino et al.: Reduction in fall risk and medical cost with foot care in the elderly, *Advanced Biomedical Engineering*, 査読有, **21**, 337-341, 2017.
DOI: 10.14326/abe.6.83
S. Ino, K. Sakaki, M. Hosono, K. Doi, S. Shimada, M. Chikai: Application of metal hydride paper to simple pressure generator for use in soft actuator systems, *Proc. IEEE EMBC 2015*, 査読有, 4789-4792, 2015.
DOI: 10.1109/EMBC.2015.7319465
K. Sakaki, H. Kim, H. Enoki, S. Yoshimura, S. Ino, Y. Nakamura: Development of Ti-Zr-Mn based hydrogen storage alloys for a soft actuator, *Materials Transactions*, 査読有, **55**, 1168-1174, 2014.
DOI: 10.2320/matertrans.MG201410
井野秀一: 水素吸蔵合金のアクチュエータ技術への応用, *日本ロボット学会誌*, **31**, 477-480, 査読有, 2013. (依頼)
DOI: 10.7210/jrsj.31.477

〔学会発表〕(計 78 件)

S. Ino et al.: Characterization of the standing-up motion from forward-sloping toilet seats in assisted bathrooms, *8th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, 2017.
M. Hosono et al.: Development of a hand-size soft actuator utilizing hydrogen storage alloy, *14th International Symposium on Metal-Hydrogen Systems*, 2014.

〔図書〕(計 5 件)

井野秀一ほか: 福祉技術ハンドブック, 朝倉書店, 506 (369-375), 2013.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 4 件)

名称: ヒステリシスが小さく耐久性に優れた新規水素吸蔵合金
発明者: 榊浩司, 井野秀一, 中村優美子ほか
権利者: 産業技術総合研究所
種類: 特許 番号: 特願 2014-134383
出願年月日: 2014/06/30 国内外の別: 国内

取得状況 (計 1 件)

名称: アクチュエータ, および点字表示装置
発明者: 井野秀一, 榊浩司, 吉村眞一ほか
権利者: 産業技術総合研究所ほか
種類: 特許 番号: 特許 6198300
取得年月日: 2017/09/01 国内外の別: 国内

〔その他〕

研究代表者ホームページ
<https://unit.aist.go.jp/hiri/hi-fitness/index.html>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
井野 秀一 (INO, Shuichi)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・総括研究主幹
研究者番号: 70250511
- (2) 研究分担者
榊 浩司 (SAKAKI, Kouji)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・グループ長
研究者番号: 20392615
近井 学 (CHIKAI, Manabu)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員
研究者番号: 60758431
土井 幸輝 (DOI, Kouki)
独立行政法人国立特別支援教育総合研究所・情報・支援部・主任研究員
研究者番号: 10409667
山下 和彦 (YAMASHITA, Kazuhiko)
大阪大学・医学系研究科・特任教授
研究者番号: 00370198
和田 親宗 (WADA, Chikamune)
九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授
研究者番号: 50281837
細野 美奈子 (HOSONO, Minako)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員
研究者番号: 70647974
佐藤 満 (SATO, Mitsuru)
昭和大学・保健医療学部・教授
研究者番号: 10300047
- (3) 連携研究者
中村 優美子 (NAKAMURA, Yumiko)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・副部門長
研究者番号: 50357670
浅野 耕太 (ASANO, Kohta)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員
研究者番号: 30415640
島田 茂伸 (SHIMADA, Shigenobu)
地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・開発本部・主任研究員
研究者番号: 80377027
- (4) 研究協力者
吉村 眞一 (YOSHIMURA, Shinichi)
小澤 恵美 (OZAWA, Emi)