

機関番号：32622

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500489

研究課題名(和文) 電力供給を伴わない福祉機器用水素吸蔵合金アクチュエータの研究開発

研究課題名(英文) Research and development of a metal hydride actuator for assistive devices driven without power supply.

研究代表者

佐藤 満 (SATO MITSURU)

昭和大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：10300047

研究成果の概要(和文)：小型で高出力、かつ柔らかい動作が可能なることから福祉機器用の動力源として開発された水素吸蔵合金アクチュエータは熱駆動である点が特徴であり、この点を生かして環境内にある余熱・廃熱や太陽光の熱で駆動が可能であること、および自然冷却による水素吸収が可能なることを実験的に確認した。さらに、この原理を利用した空気圧コンプレッサを構築することで電力や燃料供給なしで駆動する空気圧源が実現することを実験的に示した。

研究成果の概要(英文)：A metal hydride (MH) actuator provides mechanical work by applying the hydrogen pressure transition that originates from the reversible reaction of the MH alloy as it absorbs and desorbs hydrogen gas. A certain composition of a LaNi₅-based MH alloy can provide a large amount of hydrogen desorption using solar heat or surplus heated water and a large amount of hydrogen absorption by natural air cooling in an adequate reaction time. To improve the moving speed and to control the performance, a reciprocating air compressor that applies this solar or surplus heat-driven MH actuator is proposed. These findings support the efficacy of an MH actuator operating without electric or fossil fuel energy consumption.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：福祉工学

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：福祉用具・支援機器、健康・福祉工学、アクチュエータ、水素吸蔵材料、省エネルギー技術、エネルギー有効利用技術、自然エネルギーの利用

1. 研究開始当初の背景

水素吸蔵合金 (MH) は大量の水素を吸収する能力を有する特殊な合金である。合金体積の 1000 倍以上の水素を吸収し、その吸収密度は液体水素よりも高い。この膨大な量の水素を放出させたときの圧力を動力源として利用するのが MH アクチュエータである。MH アクチュエータは小さな装置で大きな出力が得られ、無騒音・無振動、動作に柔らかなクッション性を兼ね備えるなどの特徴をもつ動力源で、福祉機器に適しており、移乗介助機器、車椅子の起立動作支援機器、身体装着型の関節リハビリ機器等への応用が図られている。

MH アクチュエータが他の動力源と決定的に異なる特徴は熱で動作する点である。周囲に適当な熱源があれば、それを供給して水素放出させ、自然冷却で水素吸収をさせると、電力供給が不要の動力源となる。しかし現在までこうした方向性の応用例はなかった。

2. 研究の目的

MH アクチュエータを日常的な生活環境等に存在する余熱や廃熱を利用して、積極的なエネルギー供給なしで駆動させるエネルギーレスアクチュエータの開発が目的である。MH の特性として熱の供給による水素放出は極めて急峻であるが、熱供給を遮断したときの水素再吸収に多大な時間を要するという問題があり、これが余熱・廃熱駆動を困難にしていた。MH の合金組成の改良によってこの問題を克服し、その特性をさらに向上させることで、電力供給を必要としない特殊な動力源を構築することができる。

3. 研究の方法

(1) 当該目的に適した水素吸脱特性を示す MH を特定するため、数ある MH の基本組成のうち、常温近傍で水素を吸収し、そこから 50°C 前後の温度上昇で水素を放出し、水素吸蔵量が多く、吸収/放出の反応の温度の差違 (ヒステリシス) が小さい種類の組成として、LaNi₅系を選択した。水素吸収特性を向上させるために、ベースとなる組成に添加する Al、Co 等の元素量を微調整した数種類の組成を製作し、それらを収納した密閉容器の外部から異なる温度の温水を供給する実験装置を構築して、その水素吸脱特性を計測・比較した。特に余熱や廃熱のような比較的低温の熱源でも十分な水素放出が可能か、またエネルギー消費を伴わない冷却手段 (自然空冷) による水素吸収が所定の時間で完了するかについて比較検討した。

(2) 余熱・廃熱のような低品質熱源とエネルギー供給なしの自然空冷だけで MH の水素吸脱反応をさせる場合、動力源として急峻な応答性を得ることは事実上困難である。この点に対処する手段として、MH アクチュエータの水素圧を空気圧に変換して、容器に空気を蓄積する空気圧コンプレッサとしての利用を検討し、そのために必要な水素吸放出量と速度を同定した。この方法によると、急速な応答性への要求も満たすことができる。

(3) 本課題の最終目的は太陽熱の供給のみによるアクチュエータ駆動の可能性を検証することである。太陽の放射熱を熱源として駆動させるための基礎的な特性を実測する実験装置を構築し、先に製作した複数の MH 組成の挙動を実測し、水素吸放出特性が良好な組成を特定した。さらに、太陽光への暴露と遮光により駆動する太陽光駆動 MH アクチュエータのプロトタイプを製作し、晴天の屋外にて、その動作特性の実測を行った。

4. 研究成果

(1) 室温環境における自然冷却での水素吸収能力は、福祉機器への応用に用いられていた従来型の組成 (LaNi_{4.45}Co_{0.5}Mn_{0.05}) と比べて、今回新たに製作した組成の 1 つである MH₂ (LaNi_{4.3}Co_{0.5}Mn_{0.2}) は 2 倍以上、同じく新規に製作した MH₃ (LaNi_{4.1}Co_{0.5}Al_{0.2}Mn_{0.2}) は 5 倍以上と大幅に改善した。温水を熱源とした水素放出実験では、MH₂ は 40°C 以上という比較的低温での放出が確認され、MH₃ は 80°C 以上の温水を必要とした。結果として、MH₂ と MH₃ の両組成で、環境熱源による水素の放出と自然冷却による吸収が確認され、廃熱で駆動する動力源としての要求を満たすことが明らかとなった。

(2) すでに原理的な検証が済んでいる水素圧-空気圧変換機構を用いた場合の空気蓄積サイクルをもたらすために十分な MH からの水素吸放出量を、余熱・廃熱による水素放出反応と自然冷却による水素吸収反応にだけ確保できることを確認した。積極的なエネルギー供給なしでの駆動となるため、空気蓄積に要する時間は長くなるものの、急峻な応答性が要求される用途にも利用可能であることが確認できた。

(3) 太陽光への暴露と遮光により駆動する太陽光駆動 MH アクチュエータのプロトタイプを製作した。晴天の屋外で太陽光に暴露

した場合の到達温度を実測したところ、55〜60℃であったことから、太陽光駆動に適したMH組成はMH₂であり、MH₃は十分な水素放出が得られない可能性が高いことを確認した。MH₂の組成を用いた太陽光駆動MHアクチュエータのプロトタイプの実動作特性を実際の晴天屋外で実測したところ、20分程度の太陽光への暴露で有効水素移動量の約25%を放出し、さらにその後太陽光を遮断して20分程度で放出した水素をすべてMHに吸収できることを確認した。最も重要な課題であった自然冷却での水素吸収反応が放出反応とほぼ同程度の時間で実現可能なことが確認されたほか、太陽光への暴露と遮断の操作のみで所定の水素放出と吸収反応が連続して達成されることも明らかとなり、水素圧を空気圧縮機構に導入することで空気コンプレッサとしての利用が可能であることが示された。

以上の成果より、本課題の目的である電力・燃料供給不要の動力源がMHを利用して実現可能であることを確認するに至った。さらにMH組成の最適化とMH容器とMH自体への熱伝導特性の最適化によって動作速度のさらなる改善が見込まれる。

5. 主な発表論文等

(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9件)

- (1) M. Sato, M. Hosono, K. Yamashita, S. Nakajima, S. Ino: Solar or surplus heat driven actuators using metal hydride alloys, Sensors and Actuators B: Chemical, 査読有, 2011, 156(1), p113-118.
- (2) M. Sato, M. Hosono, K. Yamashita, S. Nakajima, S. Ino: Development of a Metal Hydride Actuator Driven Only by Solar Heat, Proceedings of 1st International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES 2011), 2011, 査読有, p222-227.
- (3) 佐藤満, 井野秀一: 水素吸蔵合金アクチュエータと応用, 油空圧技術, 査読無, 49(13), 2010, p28-32.
- (4) S. Ino, M. Hosono, M. Sato, S. Nakajima, K. Yamashita and T. Izumi: Preliminary Design of a Simple Passive Toe Exercise Apparatus with a Flexible Metal Hydride Actuator for Pressure Ulcer Prevention, Proceedings of the 32nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 査読有, 2010, p479-482.
- (5) S. Ino, M. Hosono, M. Sato, S. Nakajima, K. Yamashita and T. Izumi: A Preliminary Study of a Power Assist System for Toe

Exercise using a Metal Hydride Actuator, IFMBE Proceedings World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 査読有, 2009, 25(12), p1138-43.

(6) M. Sato, M. Hosono, S. Nakajima, K. Yamashita, T. Izumi and S. Ino: Surplus Heat Drive Actuators using MH Alloys for Assistive Devices, Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology, 2009, 査読あり, p1138-43.

(7) S. Ino, M. Hosono, M. Sato, S. Nakajima, K. Yamashita and T. Izumi: A Soft Metal Hydride Actuator Using LaNi₅ Alloy and a Laminate Film Bellows, Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology 2009, 査読有, p1138-43.

(8) 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, 査読有, 2009, 136, p86-91.

(9) S. Ino, M. Sato, M. Hosono, S. Nakajima, K. Yamashita, T. Tanaka and T. Izumi: Prototype Design of a Wearable Metal Hydride Actuator Using Soft Bellows for Motor Rehabilitation, Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 査読有, 2008, p3451-54.

[学会発表] (計11件)

- (1) M. Sato, M. Hosono, K. Yamashita, S. Nakajima, S. Ino: Development of a Metal Hydride Actuator Driven Only by Solar Heat, The 1st International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES 2011), Jan 5 2011, Chennai, India.
- (2) S. Ino, M. Hosono, M. Sato, S. Nakajima, K. Yamashita and T. Izumi: Preliminary Design of a Simple Passive Toe Exercise Apparatus with a Flexible Metal Hydride Actuator for Pressure Ulcer Prevention, The 32nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Sep 1 2010, Buenos Aires, Argentina.
- (3) 井野秀一, 佐藤満, 細野美奈子, 山下和彦, 中島佐和子, 泉隆: Potential Applications of a Novel Actuator Using a Metal Hydride Alloy in Healthcare and Welfare Services, 第49回日本生体医工学会大会, 2010.6.25, 大阪国際交流センター(大阪).
- (4) 佐藤満, 細野美奈子, 中島佐和子, 山下和彦, 井野秀一: リハビリ支援・動作支援のための水素吸蔵合金アクチュエータ, 平成22年春季フルードパワーシステム講演会, 2010.5.27, 機械振興会館(東京).

- (5) 佐藤満: 水素吸蔵合金アクチュエータとその応用 - 身体にやさしく接するために -, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009, 2009. 9. 1 お茶の水女子大(東京).
- (6) S. Ino, M. Hosono, M. Sato, S. Nakajima, K. Yamashita and T. Izumi: A Preliminary Study of a Power Assist System for Toe Exercise using a Metal Hydride Actuator, IFMBE World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Sep 9 2009, Munich, Germany.
- (7) 井野秀一, 佐藤満, 細野美奈子, 山下和彦, 中島佐和子, 泉隆: 運動リハビリテーションを支援する柔らかい構造の水素吸蔵合金アクチュエータの開発, 第9回日本VR医学会学術大会, 2009. 8. 29 国立がんセンター(東京).
- (8) 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, 2009. 4. 25 タワーホール船越(東京).
- (9) M. Sato, M. Hosono, S. Nakajima, K. Yamashita, T. Izumi and S. Ino: Surplus Heat Drive Actuators using MH Alloys for Assistive Devices, IEEE International Conference on Industrial Technology, Feb 12 2009, Victoria, Australia.
- (10) S. Ino, M. Hosono, M. Sato, S. Nakajima, K. Yamashita and T. Izumi: A Soft Metal Hydride Actuator Using LaNi5 Alloy and a Laminate Film Bellows, IEEE International Conference on Industrial Technology, Feb 12 2009, Victoria, Australia.
- (11) S. Ino, M. Sato, M. Hosono, S. Nakajima, K. Yamashita, T. Tanaka and T. Izumi: Prototype Design of a Wearable Metal Hydride Actuator Using Soft Bellows for Motor Rehabilitation, The 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, August 20 2008, Vancouver, Canada.

[図書] (計2件)

- (1) S. Ino, M. Sato: Human-centered metal hydride actuator systems for rehabilitation and assistive technology: In J. Pereira (Ed.) Handbook of Research on Personal Autonomy Technologies and Disability Informatics, IGI Global, Hershey, USA, 2011.
- (2) S. Ino, M. Sato: A novel soft actuator using metal hydride materials and its applications in quality-of-life technology: In D. Campolo (editor) New Developments in Biomedical Engineering, In-Tech Publishing, Vukovar, Croatia, 2010.

[産業財産権]
○出願状況 (計1件)

名称: 水素吸蔵合金を利用した動力発生装置
発明者: 井野秀一、佐藤満
権利者: 独立行政法人産業技術総合研究所
種類: 特許
番号: 特願 2010-110047
出願年月日: 2010年5月12日
国内外の別: 国内

[その他]
ホームページ等
<http://www.nr.showa-u.ac.jp/pt/cn28/msato.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 満 (SATO MITSURU)
昭和大学・保健医療学部・准教授
研究者番号: 10300047

(2) 研究分担者

井野 秀一 (INO SHUICHI)
(独)産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・グループ長
研究者番号: 70250511

(3) 連携研究者

()

研究者番号: