

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12076

研究課題名（和文）災害時の自助・共助を支援するレスキューツール開発に向けた多分野連携研究

研究課題名（英文）Research and development of rescue tool for supporting self-help and mutual aid in disaster

研究代表者

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・主任研究員

研究者番号：70647974

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は水素吸蔵合金（MH合金）を圧力源としたアクチュエータ（MHアクチュエータ）を用いて、電力供給や人力による反復動作がなくとも駆動可能な災害時レスキュー用のジャッキアップツールの開発を目的とした。MHアクチュエータは加熱するだけで圧力変化を生み出すことができるため、ライフラインが寸断され電力供給のない状況下においても、50度から80度程度の熱源を利用して100 kg程度の出力を生み出すレスキューツールが構築可能となる。本研究の結果、MH合金使用量が15 g、ジャッキアップツール全体が1 kg未満の重さで持ち運び可能かつ80度加熱時に1分以内にジャッキアップ可能なツールを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国内外を問わず、災害救助を支援するデバイスやシステムに関する関心は高いが、多くは電力供給を必要とするロボットシステムの開発を対象とする。一方で、どれだけ制度や技術が発展しても、災害発生時の超初期・初期対応は被災者自身を含む地域コミュニティ、すなわち一般市民の手に委ねられる状況は今後も変わらないと推測される。そのため、本研究の成果をもとに、高齢者などの要配慮者をはじめとする災害弱者となりやすい世帯や、集合住宅や学校など繰り返し使用が予想される環境下でも身体への負担が軽く扱える無電力駆動型のレスキュー用ジャッキアップツールを提案することができたことは、学術的意義や社会的意義が高いと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The research aims to develop a jack-up tool for disaster rescue that can be driven without electric power supply or repetitive movements by human power, by applying an actuator (MH actuator) that uses a hydrogen storage alloy (MH alloy) as a pressure source. Even in situations where lifelines are disrupted and there is no power supply, MH actuators can perform with a heat source of 50-80 °C. In this research, we constructed a tool that uses 15 g of MH alloy, weighs less than 1 kg for the entire jack-up tool, and can be jacked up 100 kg weight within 1 minute when heated to 80 °C.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：災害救助支援 水素吸蔵合金 ジャッキアップツール ソフトアクチュエータ

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

災害時のレスキューデバイスやレスキューロボットの研究は国内外で盛んに行われている[1-3]が、その多くはレスキュー隊など専門機関をユーザーとして想定しているため、開発システムは大がかりで重く、電力や高圧空気の供給を使用時に必要とする。その上、道路の倒壊などライフラインが寸断されているケースでは専門機関による救助活動が開始されるまでに時間がかかり[4, 5]、命に係わることもある[6]。実際に、阪神淡路大震災での生き埋め・閉じ込めからの生存救出件数のうち約 97%はレスキュー隊ではなく家庭や隣人などの被災地域住民によるものであった[7]。このように、災害時には被災者自身を含む地域コミュニティによる「自助・共助」による迅速な救助活動が欠かせないため[8, 9]、これをサポートする簡便なレスキューツールが望まれる。特に、高齢者などの要配慮者をはじめとする災害弱者となりやすい世帯や、集合住宅や学校など繰り返し使用が予想される環境下でも身体への負担が軽く扱える無電力駆動型のレスキューツールが開発されれば、災害時の自助・共助による救助活動支援に有効に働くと考えられる。

2. 研究の目的

転倒家具や倒壊物により脱出困難となった場合の救出や救助空間の確保作業に有効なツールとしてはジャッキやバールがあり、電力確保が困難な状況下であっても使用可能であるよう手動加圧による空圧、油圧型ジャッキアップツールも普及している。しかし、既存の道具や機器は多くが金属製のため重く、出力が大きいほどサイズも大きくなる上、使用時に操作者の力もしくはポンピングの反復作業を必要とするため身体的な負担がかかるという問題点がある。以上のような背景から、本研究は水素吸蔵合金（以下、MH 合金）を圧力源としたアクチュエータ（以下、MH アクチュエータ）を用いて、電力供給や人力による反復動作がなくとも駆動可能な災害時レスキュー用のジャッキアップツールの開発を目的とする。MH アクチュエータは加熱するだけで圧力変化を生み出すことができるため、ライフラインが寸断され電力供給のない状況下においても、お風呂や電気ポットの残り湯、使い捨てカイロなどの熱源を利用して 100 kg 程度の出力を生み出すレスキューツールが構築可能となる。加えて、本研究では MH アクチュエータのエンドエフェクタとして袋状の柔軟材料を用いることで、コンパクトかつ薄く柔軟で、片手で持ち運べる程度に軽量の災害時レスキュー用ジャッキアップツールを構築する。

3. 研究の方法

(1) 本研究では災害時の自助・共助を支援するため、高齢者などの要配慮者をはじめとする災害弱者となりやすい世帯や、集合住宅や学校など繰り返し使用が予想される環境下でも使えるように、ジャッキアップツールはノンプロフェッショナルでも取り扱いやすい大きさ、重さ、サイズとすることが要求される。この設計指針をもとに、ジャッキアップツールのエンドエフェクタの開発に取り掛かった。先に挙げた仕様に加えて、MH アクチュエータのエンドエフェクタには水素ガスに対する高いバリア性が必要とされる。そのため、アルミラミネートフィルムなど、高いガスバリア性がある複数の高分子材料に対し、引張強度試験や、水素ガスを封入して 100 kg の負荷をかけた際のリークチェックなどを実施した。

(2) エンドエフェクタの設計に続いて、ジャッキアップツールに使用する MH アクチュエータの圧力源である MH 合金の使用量について実験的に検討を行った。MH 合金は体積比にしておよそ 1000 倍もの水素ガスを吸蔵することができるため、出力重量比に優れたアクチュエータを構築可能であることがメリットの一つである。設計・構築したジャッキアップツールのエンドエフェクタの内容積をもとに、ジャッキアップツールの駆動に必要な MH 合金量を算出したところ約 6 g となった。配管などの容積を含めると 6 g 以上の合金量が必要になると考えられたため、本研究では MH 合金 $\text{LaNi}_{4.45}\text{Co}_{0.5}\text{Mn}_{0.05}$ を 7.5 g または 12 g を封入したジャッキアップツールを試作し、50 度に加熱したときのジャッキアップツールの駆動実験を実施した。

(3) ジャッキアップツールの熱特性が応答に与える影響を明らかにするため、MH 合金 $\text{LaNi}_{4.45}\text{Co}_{0.5}\text{Mn}_{0.05}$ を 15 g 封入したジャッキアップツールを構築し、100 kg の重りを 50 mm までジャッキアップする際に加熱温度を 50 度と 80 度の 2 種類に変化させた。また、得られた結果をもとに熱解析ソフトウェアを用いて伝熱性の観点から合金封入容器を再設計した。

4. 研究成果

(1) アルミラミネートフィルムなどガスバリア性の高い高分子材料の引張強度試験の結果、プラスチックファイバークロス補強ゴム材料が最も高い引張強度を持つことが分かった。また、こ

の材料は水素ガスを封入した上で 100 kg の重りを載せても 24 時間以上高さを保持できるほど、十分なガスバリア性を持つことが確認できた。

(2) MH 合金 7.5 g、12 g を封入したジャッキアップツールを用いて、100 kg の重りを 50 mm までジャッキアップする実験を実施した。図 1 に実験セットアップ、図 2 にジャッキアップツールのジャッキアップ高さとおよび水素バグの内圧、MH 合金温度の時間応答の計測結果を示す。実験の結果、ツールは 50 度の加熱で 100 kg のジャッキアップが可能であることを確認した。また、MH 合金使用量 7.5 g のツールではジャッキアップに約 20 分、12 g では約 9 分の時間がかかった。よって、加熱温度が 50 度の場合には、ツールに使用する合金量は理論値 (6 g) の倍以上が望ましいことが示唆された。

(3) 実験の結果、15 g の MH 合金を封入したジャッキアップツールでは、50 度加熱時におよそ 7 分、80 度加熱時におよそ 1 分でジャッキアップ高さが 50 mm まで到達することができた (図 3)。そのため、7.5 g や 12 g 封入時と比較して実用に耐えうる応答速度のジャッキアップツールを試作することができた。また、封入容器 (外径 12.7 mm (ϕ 1/2 inch)、肉厚 1.24 mm、長さ 100 mm の薄肉管) の基本モデルを用いて熱解析シミュレーションを実施した結果、応答速度に容器材料が与える影響は小さいが、封入容器と熱源との接触面積を増やすことで従来よりも 7 倍程度の速度で容器内部の MH 合金を加熱できる見込みが得られた。得られた結果をもとに、昨年度まで使用した封入容器に対して、外径を半分 (ϕ 1/4 inch)、長さを倍 (200 mm) とすることで加熱面積を増やした封入容器を設計および試作し、ジャッキアップツールを構築した。

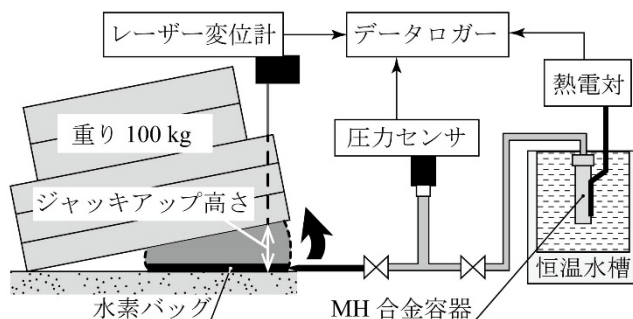


図1 ジャッキアップツールの駆動実験用セットアップの概要

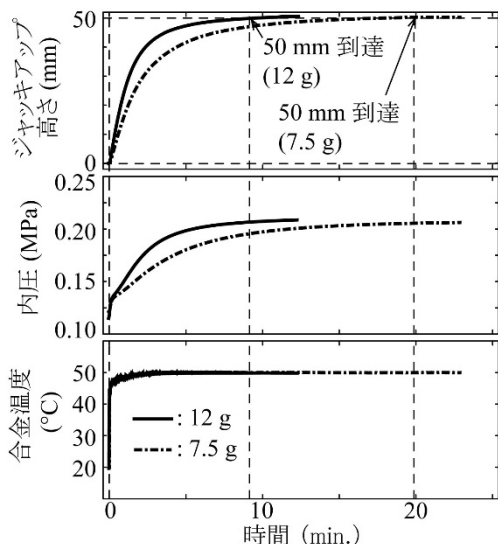


図2 質量別の実験結果

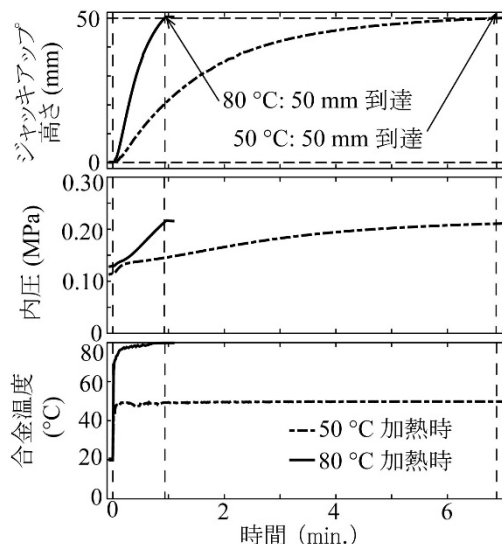


図2 加熱温度別の実験結果

<引用文献>

1. S. Tadokoro, Rescue Robotics, Springer, 2009.
2. X. Zang, et al., J Adv Mech Des Syst, No. 16-00176, 2016.
3. H. Tsukagoshi, et al., ICRA2005: 1276-1283, 2005.
4. J. G. Blicht, Expert Syst Appl., 11(2): 109-124, 1996.
5. R. Vanholder et al., Kidney Int, 71(1): 17-23, 2007.
6. C. Bartal et al., Arch Intern Med, 171(7): 694-696, 2011.
7. 日本火災学会：兵庫県南部地震における火災に関する報告書，1996.
8. M. Statheropoulos, et al., Natural Hazards, 75(1): 57-69, 2015.
9. 原岡他：保健医療科学, 58(3): 277-282, 2009.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hosono Minako, Sakaki Kouji, Shimada Shigenobu, Nakamura Yumiko, Ino Shuichi	4. 巻 24
2. 論文標題 Soft Metal Hydride Actuator as a Rescue Jack Using Accessible Heat Sources	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Precision Engineering and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 585 ~ 594
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12541-023-00768-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 細野美奈子
2. 発表標題 MHアクチュエータ向け合金封入容器の設計パラメータの検討
3. 学会等名 水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 細野美奈子
2. 発表標題 ソフトMHアクチュエータの熱応答特性の評価
3. 学会等名 水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会第6回研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	井野 秀一 (INO Shuichi) (70250511)	大阪大学・工学研究科 機械工学専攻・教授 (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中村 優美子 (NAKAMURA Yumiko) (50357670)	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・副研究部門長 (82626)	
研究分担者	榎 浩司 (SAKAKI Kouji) (20392615)	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・研究グループ長 (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関