

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：32622

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23510222

研究課題名(和文) 孤立した大地震被災地の初動救命活動を支援する可搬動力システムの開発

研究課題名(英文) Research and development of a portable power unit to support the initial rescue work in an isolated large earthquake disaster area

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：大地震等で孤立した被災地に容易に携帯搬送でき、電力や燃料を使わずに閉鎖空間からの初期救助活動に利用できる携帯瓦礫昇揚装置の開発を行った。1t以上の瓦礫を1分以内に50mm昇揚できる仕様の外径347mm高さ90mmの昇揚機構を試作した。動力源には加熱することで大量の水素を放出する水素吸蔵合金を利用し、その熱源には酸化カルシウムと水の反応熱を利用した。試作した昇揚機構は0.2MPaという比較的低い水素内圧で1.19tの出力を発揮し、昇揚動作中に堅牢な水素気密性が保たれることを確認した。さらに140gの酸化カルシウムの反応熱によって上記の出力が達成できることを実験的に示した。

研究成果の概要(英文)：We have developed a portable power unit (jack) to support the initial rescue work in an isolated large earthquake disaster area. The portable motive power unit employs a hydrogen pressure from metal hydride and can lift heavy rubble 50 mm within one minute without electric power or fuels. A prototype jack which measures 357 mm diameter by 90 mm height provides output over 10000 N at an internal hydrogen pressure of 0.2 MPa while maintaining no hydrogen leakage. A calcium oxide / water reaction has been adopted as a heat source of the metal hydride. The portable power unit can be easily transported on foot in disaster sites where traffic and lifeline has been cut off and be available for the rescue of victims trapped in a closed space.

研究分野：自然災害科学

キーワード：地震災害 救命活動 救命機材 水素吸蔵合金 シール技術

## 1. 研究開始当初の背景

建物の倒壊や地形の崩落により下敷き・生き埋めとなった被災者の初期救命活動は災害発生時から救出し医療を施すまでの時間が生存率を左右する。災害発生後 24 時間以内での救出者の生存率は 90%、48 時間以内では 50%と言われ、臨機応変の初期対応の正否が生死を分ける。大地震等による激甚災害で、被災地との交通が寸断された場合、特殊災害対応車両や重機などの救命資機材の投入が大幅に遅れ、徒歩移動で投入された救助人員が、もっとも有効な救出の担い手となる。電力供給が遮断され、動力リソースに乏しい孤立した被災地であっても有効に機能する瓦礫等の昇揚・除去作業支援用動力源は、人力による救助作業を効率化するために大きな助けとなる。

研究代表者らは、液体水素よりも高い密度で大量の水素を吸収する能力を有する水素吸蔵合金 (MH) を動力源として利用する MH アクチュエータの開発を行ってきた。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。さらに 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・燃料供給が不要の動力源となる。

## 2. 研究の目的

研究代表者らは、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を行っており (科学研究費・基盤研究 (C)、課題番号: 20500489) 廃熱や太陽光といった低品質熱源で駆動する MH アクチュエータが実現できることを実験的に示した。

本研究課題は、動力源が調達できない孤立した被災地に容易に徒歩携帯搬送が可能で、電力・燃料・高圧ポンプ等を用いずに倒壊家屋の閉鎖空間から被災者を救助するための新しい瓦礫昇揚装置を、MH アクチュエータを応用して開発することを目的としている。この昇揚装置は堅牢な気密空間内にある MH を外部から加熱した際に発生する水素による圧力を重量物の昇揚の力源とし、気密構造のテレスコピック型ジャッキ内に水素を導入することで垂直方向の運動をもたらす。被災地での使用に適した簡易熱源として、酸化カルシウムと水の反応熱を利用する。この原理で 10000N (1t) の昇揚出力を目標とする。

## 3. 研究の方法

(1) 激甚災害が生じた際に真っ先に派遣され初期救命活動の主力を担う職種の代表は全国の政令指定都市と東京都を所管する消防局に設置が義務づけられている災害救助を専門とする特別高度救助隊 (スーパーレスキュー隊) である。本課題の救命用可搬動力システムの設計指針を得るために、特別高度救助隊員を対象に調査を実施し、配備されている災害救命用動力ユニットの現状や、救命装置に求められる仕様や操作性に関する指導を受ける。その内容に従って、本課題の動力システムの設計を行う。

(2) 上記の調査から得た初期救命活動従事者が要求する事項を反映させて、可搬性を重視した動力システムの設計と試作を実施する。特にシンプルな機構の機器が災害現場では望ましいとの指摘から、閉鎖空間拡大用のテレスコピック型瓦礫昇揚装置の開発を目指す。本課題の機器は、動力源として MH からの水素圧を利用するため、堅牢な水素気密性が要求される。機器の昇揚機構部の水素気密性の確保は、二重の運動リングを基本として、不足が見込まれる場合には、さらに昇揚機構内部に水素封入機構を検討する。装置の試作後に昇揚能力の特性試験とともに水素シール性のレベルを確認する。

(3) 本課題の可搬動力システムは、堅牢な気密空間内にある MH を外部から加熱した際に発生する水素による圧力を重量物の昇揚の力源とするが、電力や燃料が調達できない孤立した被災地での使用に適した簡易熱源として、酸化カルシウムと水の反応熱を利用する。この低品質な熱源でも所定の昇揚出力を短時間で得ることが可能な MH 組成の選定を行う。さらに酸化カルシウムと水の適正量を実験的に確認する。以上の結果から、昇揚機構部と MH 容器と加熱ユニットからなる瓦礫昇揚装置のシステムを構築する。

## 4. 研究成果

(1) 京都市消防活動センターの特別高度救助隊 (スーパーレスキュー) を訪問し、同隊員よりヒアリングを実施した。現状で配備されている救命機器は、油圧もしくは空気圧駆動であり、これらはいずれも特殊消防車を圧力源とするか、小型油圧ユニット、高圧ポンプ、手動ポンプ等から油圧や空気圧が供給される形式となっており、徒歩で機材を運搬する場合には重量が過大であった。新たな可搬動力源の開発に対しては、昇揚ジャッキの場合、大きな昇揚ストロークで一気に瓦礫等を挙上することは希で、5~10cm の高さを昇揚して部材を挿入固定し、その作業を繰り返すため、小さなストロークのほうが扱いやすいこと、災害現場では最もシンプルな機構の機

器が適していること、手荒な取扱いでも確実に作動する機器でなければ実用性がないこと等の要求事項を聴取した。

(2) 上記の要求事項を反映させた瓦礫昇揚装置の仕様は、昇揚出力 10000N (1t) 以上、昇揚ストローク 50mm とした。より簡素な構造としてテレスコピック型昇揚装置の本体部分は 1 段の伸縮機構とした。昇揚機構内の水素圧が低いほど水素気密性は高まるため、上記の昇揚能力を 0.2MPa 以内の水素内圧で実現する設計とした。その結果、昇揚機構部は底面外径 347mm、昇揚面(上面) 外径 304mm、高さ 90mm の形状とした。試作した昇揚機構部を図 1 に示す。その出力特性を実測したところ、内圧 0.2MPa で、11894N(1.19t) の昇揚力が得られた。最大昇揚高さで 0.2MPa の内圧を得るために必要な MH からの水素放出量は大気圧換算で 17430 cm<sup>3</sup> であった。試作した昇揚機構部の水素気密性を与えている二重 O リングのシール性を評価するため、昇揚動作での水素リークの有無を確認したところ、50 回の連続昇揚の前後において 0.2MPa の内圧に低下はまったく認められなかった。運動リングは高い気密性を求めるほど摺動抵抗が増大して出力の損失が大きくなるが、本昇揚装置のように出力が 1t を超える場合は、摺動抵抗の増大による損失は相対的に小さくなる。そのため、図 1 に示す試作機では O リングのつぶし代を極大にしており、シール性を極大になるに設計している。以上の結果から、試作した昇揚機構部は O リングだけで堅牢な動的水素気密性を有することが確認された。

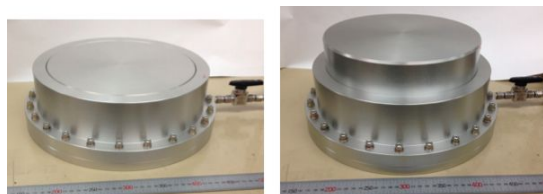


図 1 瓦礫昇揚装置の外観

(3) 加熱ユニットに使用する酸化カルシウムと水の反応熱により、1 分以内に 10000N の昇揚力に到達することを可能とする MH 組成として LaNi<sub>5</sub> 系に Co と Mn 混入した組成を選定した。アルミ製の気密容器内に封入した MH に対して容器の底面(厚さ 7mm) に酸化カルシウムと水(重量比 2 : 1) で混合した反応熱を伝導させ、その反応特性を確認するために、本装置で設計した MH 容器の 25% の熱容量をもつ試験用 MH 容器を用いて実験を実施した。40g の酸化カルシウムを用いて MH 容器底面を加熱した時の加熱時間に対する MH 1g 当たりの水素放出量(大気圧換算)、酸化カルシウム温度、MH 温度の関係を図 2 に示す。水との混合後 52.8 秒で所定の放出量である MH 1g あたり 100ml の水素放出を確認した。そのまま加熱を続けた場合、MH 1

g 当たりの水素放出量は 150ml を超えることも確認した。30g、35g、45g の酸化カルシウムでの同様の実験での 100ml 放出時間は、70.4 秒、58.3 秒、49.9 秒であった。以上の結果から、本昇揚装置に必要な MH の量は 1g あたり 100ml の水素放出を見込むと 175g、1g あたり 120ml だと 145g であることが明らかとなった。これを収容する MH 容器と MH を含めた熱容量は、実験に使用した試験用容器と MH の熱容量の約 4 倍であることから、1 分以内に 10000N の重量物を 1 分以内に 50mm 昇揚するために必要な酸化カルシウムの量は 140g 程度であることも明らかとなった。

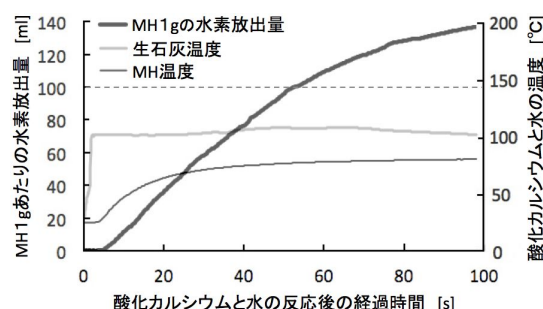


図 2 酸化カルシウム 40g の水素放出特性

以上の成果より、本課題の目的であるエネルギーが調達できない孤立した被災での初期救命活動に資する瓦礫昇揚装置は、堅牢な水素気密性を有した昇揚機構の試作が達成でき、酸化カルシウムによる熱源のみで 1 分以内に 1t 超の瓦礫を称揚できる性能を達成可能であることを確認するに至った。今後は昇揚装置に内包される MH 容器と加熱ユニットの試作が課題である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

- (1) S. Ino, M. Sato, M. Hosono, C. Wada, Y. Yoshimura, K. Yamashita and T. Izumi: Designing a Metal Hydride Actuator with Human-Compatible Softness and High Power-to-Weight Ratio for Future Quality-of-Life Technologies, Lecture Notes in Computer Science, 8024, pp.111-120, 査読あり, 2013.
- (2) M. Hosono, S. Ino, M. Sato, K. Yamashita and T. Izumi: A system utilizing metal hydride actuators to achieve passive motion of toe joints for prevention of pressure ulcers: a pilot study, Rehabilitation Research and Practice, Volume 2012, Article ID 541383, 査読あり, 2012.

[学会発表](計 1 件)

- (1) T. Hayashi, S. Ino, K. Sakaki, Y. Nakamura, M. Sato, S. Yoshimura: A

Preliminary Study of a Metal Hydride Actuator to Support Rescue Operations, International Symposium on Metal-Hydrogen Systems 2012, October 24, Kyoto, Japan, 2012.

(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

〔図書〕(計3件)

- (1) 佐藤満、井野秀一 (分担執筆): 福祉技術ハンドブック, 産業技術研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門 (編), 朝倉書店, 東京, 2013.
- (2) M. Sato and S. Ino: Human-Friendly Actuator Using Metal Hydride for Rehabilitation and Assistive Technology Systems, in W. Yue et al. (Ed.), Advances in Therapeutic Engineering, CRC Press, Boca Raton, USA, 2012
- (3) S. Ino and M. Sato: Soft and Noiseless Actuator Technology Using Metal Hydride Alloys to Support Personal Physical Activity, in F.A. Cheein (ed.), Assistive Technologies, In-Tech Publishing, Rijeka, Croatia, 2012

(3)連携研究者  
なし

〔産業財産権〕

出願状況 (計2件)

- (1) 名称: 災害救助用ジャッキ  
発明者: 井野秀一、佐藤満、吉村眞一  
権利者: 飛鳥電気製作所、産業技術総合研究所  
種類: 特許  
番号: 米国特許出願 No.14/009,700  
出願年月日: 2013年10月3日  
国内外の別: 国外
- (2) 名称: 災害救助用ジャッキ  
発明者: 井野秀一、佐藤満、吉村眞一  
権利者: 産業技術総合研究所、飛鳥電気製作所、井野秀一、佐藤満、吉村眞一  
種類: 特許  
番号: PCT/JP2011/002008  
出願年月日: 2011年04月11日  
国内外の別: 国外

取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.nr.showa-u.ac.jp/about\\_us/disclosure/faculty/S/frdi8b000000cel4.html](http://www.nr.showa-u.ac.jp/about_us/disclosure/faculty/S/frdi8b000000cel4.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