

水素吸蔵合金 (MH) アクチュエータを利用した 福祉機器の開発

脇坂 裕一*1・室 正彦*1・伊福部 達*2

*1 日本製鋼所 室蘭研究所 〒051 室蘭市茶津町 4

*2 北海道大学 電子科学研究所 〒060 札幌市北区北 1 2 条西 6 丁目

Development of Rehabilitation Equipment Using Metal Hydride (MH) actuators

Yuichi WAKISAKA*1, Masahiko MURO*1, and Tohru IFUKUBE*2

*1 Muroran Research Laboratory, Japan Steel Works, Ltd.

4 Chatsu-machi, Muroran, Hokkaido 051

*2 Research Institute for Electronic Science, Hokkaido University

Kita 12-jou Nishi 6-chome, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060

We have developed a metal hydride (MH) actuator that uses the reversible reaction between the heat energy and mechanical energy of a hydrogen absorbing alloy. The MH actuator has a large output per weight unit and is noiseless and smooth-acting. Therefore, the MH actuator is suitable for use in medical and rehabilitation applications.

In this paper, the features of the MH actuator and the applications to a wheelchair with lifter, a toilet lifter and a toilet seat lifter are introduced.

Key words : Metal hydride (MH) actuator, Wheelchair with lifter, Toilet lifter, Toilet seat lifter.

1. 結 言

“水素”は地球環境問題から次世代のクリーンなエネルギーとして注目されており、1993年から始められたナショナルプロジェクトの“ニューサンシャイン計画”「広域エネルギー利用ネットワークシステム技術（エコ・エネルギー都市システム）」および「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）」で、その実用化のための研究開発が加速させられている。

こうした水素エネルギーに深い係わりをもつ水素吸蔵合金は、1970年頃にアメリカのブルックヘブン国立研究所で Mg_2Ni が、またオランダのフィリップス社で $LaNi_5$ の合金が開発され、その後、現在までに100種類以上の合金が開発され実用に供されている[6]。

水素吸蔵合金は自分の体積の1,000倍以上の水素ガスを吸蔵するものが多数あって、こうした水素を貯蔵する機能に加えて、合金と水素との水素化反応を利用した種々のエネルギー変換機能があることからこれまでにNi-水素二次電池など多岐にわたる利用技術の開発が行われている。本報告ではその中の水素吸蔵合金(MH)アクチュエータの開発とそれを利用した福祉機器の開発について述べる。

2. 水素吸蔵合金(MH)アクチュエータ

水素吸蔵合金は水素との水素化反応を利用したエネルギー変換機能をもつ。水素吸蔵合金の各種エネルギー変換機能の相関を図1に示す。

水素化反応は、(1)反応の可逆性に優れている、(2)反応速度が大きい、(3)反応熱が大きい、などの特徴が

あり種々のエネルギーシステムの中でこれらの機能の応用が図られている。MHアクチュエータは水素吸蔵合金の熱エネルギー↔機械エネルギーの変換機

能を利用したもので、水素化反応熱の熱エネルギーと水素圧の機械エネルギー間のエネルギー変換機構の模式図を図2に示す。

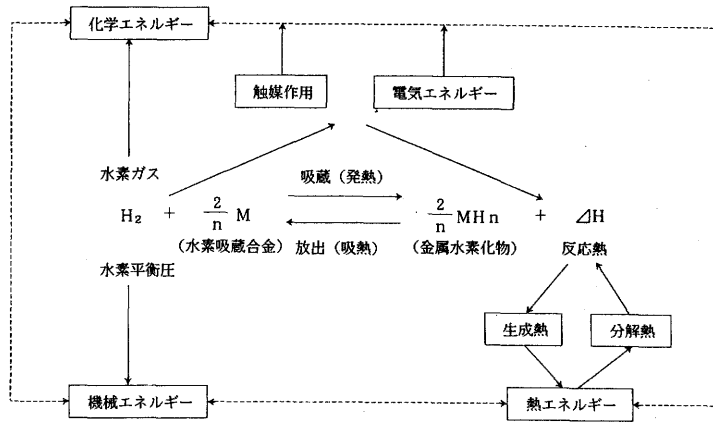
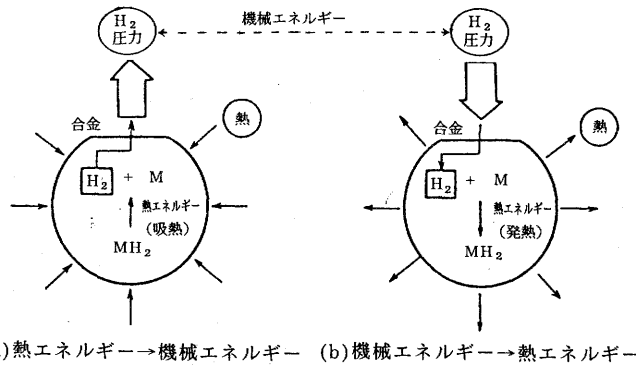


図1 水素吸蔵合金のエネルギー変換機能



(a)熱エネルギー→機械エネルギー (b)機械エネルギー→熱エネルギー

図2 水素吸蔵合金を利用した熱エネルギー↔機械エネルギー変換機構の模式図

合金に熱を加えると水素が放出され、水素圧の機械エネルギーとして取り出せる。熱を奪うと水素が合金に吸蔵され逆の動きとなる。図3にこの変換機能を利用したMHアクチュエータの典型的な作動原理を示す。図は駆動源の熱原に熱電変換素子のペルチェ素子を用いた例で、作用部は水素漏れのない金属ベローズ(外圧タイプ)を用いている。図4に図3の作動原理に基づいたMHアクチュエータのデモ機を示す。使用している合金量はCaNiMmAl合金12gで、この合金量で50kgの重錘を持ち上げる。

水素吸蔵合金の熱-機械エネルギー変換機能を利用した新しいコンセプトのMHアクチュエータは既

存の油圧、空気圧アクチュエータおよび電動モータに比べ次の特徴がある。

- (1)水素吸蔵合金は吸蔵する水素の密度が大きいことから、大きな機械的エネルギーを得ることが出来、アクチュエータの小型・軽量化が図れる。図4のMHアクチュエータデモ機の合金重量当りの出力は40.8N/gである。
- (2)装置重量当りの出力が大きい。油圧ユニットやコンプレッサーをもつ油圧、空気圧アクチュエータと歯車などの減速機構部をもつ電動モータに比べて、合金自体がコンプレッサー機能をもつMHアクチュエータは装置そのものがコンパクトになる。例えば、

可搬式のアクチュエータ装置で、負荷が980Nのシリンダータイプの各種アクチュエータの比較において、油圧式出力/装置重量比を1.0とした場合、空気式では1.4、MHアクチュエータでは2.4と試算される。

- (3)熱による駆動なので騒音や不必要な振動を発生せず動作が滑らかで静かである。
- (4)合金の水素吸収、放出圧を利用したアクチュエータの動作には緩衝作用があって、急激な力変化や衝撃を与えない。

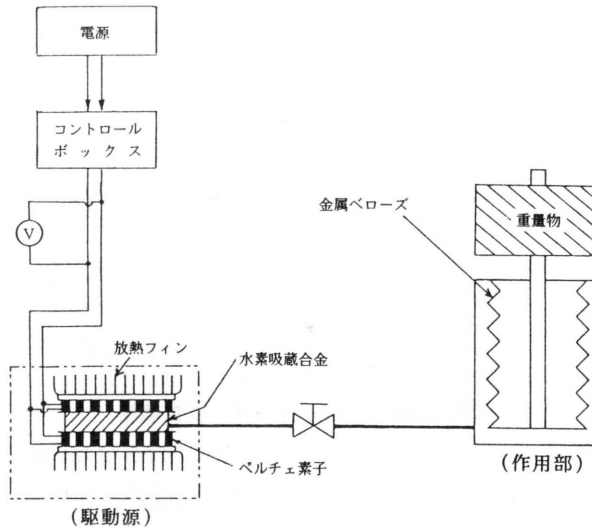
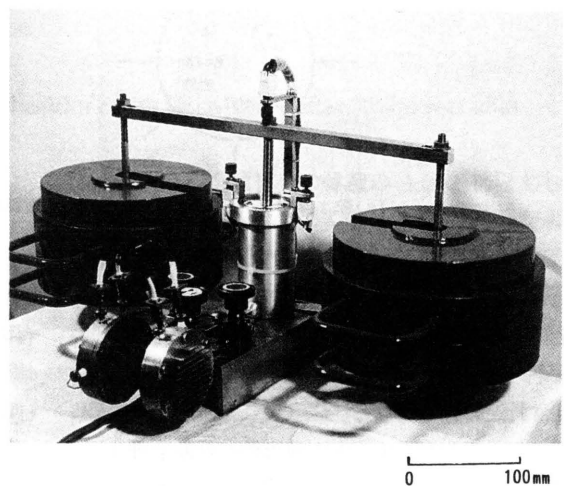


図3 MHアクチュエータの作動原理

図4 MHアクチュエータデモ機 (金属ベローズ外圧タイプ)

使用合金量：CaNiMmAl 合金 12g
 負 荷：490N
 金属ベローズ：外形51mm、
 内径36mm、バネ定数
 $2.06 \times 10^8 \text{N/m}$
 最大変位：50mm



MHアクチュエータは熱エネルギーを媒体としていることからアクチュエータ効率($\eta = \text{仕事率} / \text{消費電力}$)そのものは、電気エネルギーを直接使う電動式のものに比べると、その値は数%と小さい。しかしながら実際の使用においては移動を伴うアクチュエータでは重量そのものがアクチュエータの効率以上に大きく関係してくることからMHアクチュエータの

利用は出力/装置重量比、あるいはコンパクト化に重き置かれる分野、移動を伴う機器への応用等に適用していると言える。

上で述べたMHアクチュエータの特徴の中で特に人とのインターフェイスについてみると、MHアクチュエータは水素吸蔵合金を用いた熱による駆動なので耳障りな騒音がなく、また不快な振動を発生し

ないという環境への優しさと、適当な緩衝作用を持つところの人の動きに対する優しさを合わせもつことから、MHアクチュエータはヒューマンサイズの人に優しいアクチュエータとして福祉機器への利用に適している。以下にMHアクチュエータのこれらの特徴を生かした利用技術の開発と、車椅子座席昇降装置等の具体的な福祉機器への応用事例について紹介する。

3. MHアクチュエータを利用した福祉機器の開発

3.1 車椅子座席昇降装置の開発

北海道大学電子科学研究所および国立リハビリセンターと共同でMHアクチュエータを利用した座席昇降機能付車椅子を試作した。座席昇降高さ400mmを得るため、アクチュエータは内径50mmのピストン式移動型シリンダ2個を直列につなぐ構造とした。負荷は785Nで、CaNiMmAl合金40gを使用した。図5にピストン式シリンダを作用部としたアクチュエータの構造を示す。MH容器からの水素圧をシリコンオイルの油圧に変換し、直列のシリンダを同時に作動させることでストロークを拡大させている。図6に試作した座席昇降機能付車椅子の概観を示す。車椅子は手動式の座席昇降装置車椅子を改造し、座席部分(鉄製で重量が約10kg)にMHアクチュエータのピストン型シリンダをボールジョイントで固定し

た構造とした。座席昇降高さは水素ガス圧によるシリンダの伸長で座席部分がmax. 400mmまで伸長する。昇降装置の部分の重量は約5kgで電動モータを用いた昇降装置の場合の重量の1/5となっている。熱源のペルチェ素子の電源にはバッテリーを用いており、Ni-Cd電池(1.2V、400mAh)を12個直列(70mm x 70mm x 200mm)に接続して14.4Vで使用している。バッテリー重量は合計で1.5kg。1回の充電で785Nの負荷の場合で15回の繰り返し使用が出来る。上昇中にバッテリーが切れた場合、ペルチェ素子による合金の加熱がストップして水素ガスは合金に吸蔵され、座席は安全に元の位置に下がる。図7は負荷588Nのときの座席作動の特性線図で、特にMHアクチュエータの作動水素ガスの初期充填圧が座席作動に及ぼす影響について示す。

圧力媒体の水素ガスの初期充填圧力は、ストロークの動作の立ち上がりまでに要する時間ならびにストローク作動時間と密接な関係があって、初期充填圧力が高いほどストロークの立ち上がりまでに要する時間は短くなるが、一方で下降に要する作動時間は長くなる。図6の実機の初期充填圧は上昇と下降のトータルの時間が短くなるころの0.4MPaで設定した。座席の昇降速度は20mm/sで試乗した体感からの評価では、福祉機器の昇降装置としては適当な範囲内のものと判断される。MHアクチュエータを利用した

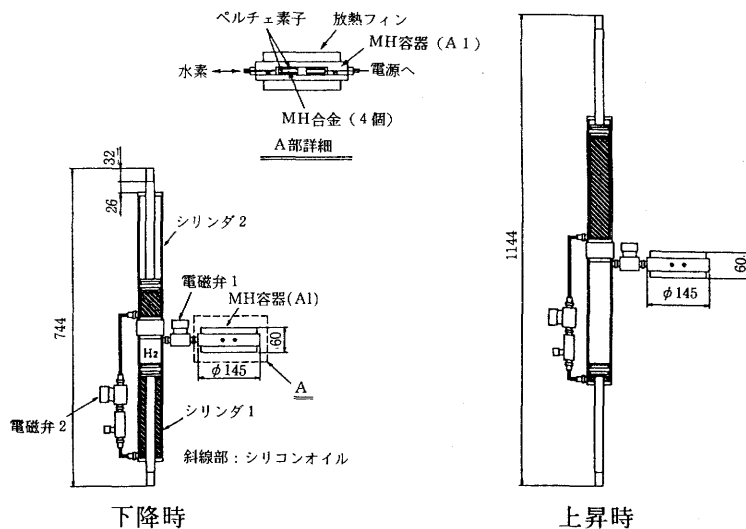
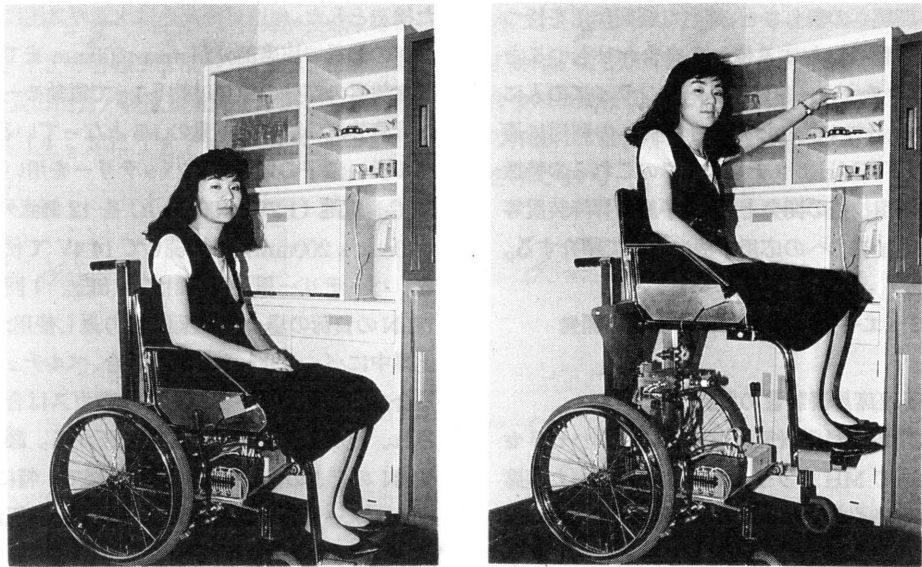


図5 水素圧-油圧変換/直列ピストン式アクチュエータの構造



- 仕様
- MH 容器……1 個(合金量:40g)
 - シリンダ…ピストン式シリンダ
2 個直列つなぎ
水素圧-油圧変換方式
単動型
 - 座席昇降高さ…max. 400mm
 - 負荷……max. 785 N
 - 昇降速度……20mm/s
 - 電源……ニッカド電池
14.4V, 4,000mA・h

図6 MHアクチュエータを利用した座席昇降機能付車椅子

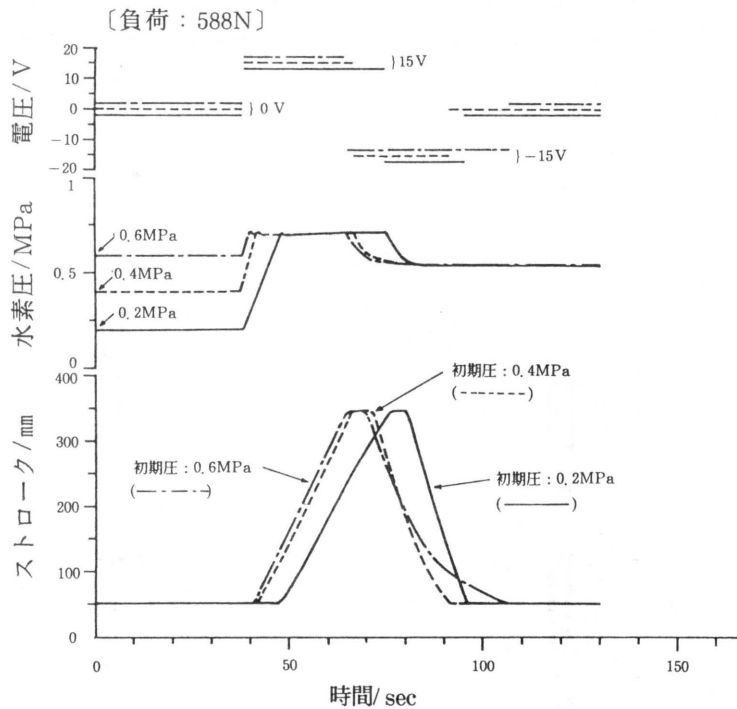


図7 MHアクチュエータを利用した座席昇降機能付車椅子の作動特性線図
(MHアクチュエータ作動水素ガスの初期充填圧の影響)

座席昇降装置はコンパクトで軽量なことから段差の乗り越え時などで車椅子の走行に影響を与えることはない。車椅子に座席昇降機能があると障害者が内で家事を行う場合、高い戸棚に手が届き、また、外出した際に自動販売機の取り扱いが容易に出来るなど自力の行動範囲が広がる。昇降装置の多様化技術の1つとして、上述の油圧変換して直列の油圧シリンダを使う構造のもの他に、直に水素ガス圧を利用する構造のものが考えられ、その場合には長尺の金属ベローズが作用部に直接取り付けられる。

3.2 洋式トイレ移乗補助リフトの開発

障害児が一般家庭の洋式トイレを共用して利用できるMHアクチュエータ利用移乗補助リフトを開発した。機構図を図8に示す。

MHユニット(合金量:24g)を2個使い、作用部は複動型シリンダを用いて複動の動きとし、上昇時および下降時ともにMHユニットの放出側と吸収側とが組み合わさって作動する構造とした。洋式トイレの便座高さ500mmのストロークを稼ぐため、図8の様にシリンダのピストンの先に歯車を取り付け、チェーンを介してリフターの台座と結んで動滑車を利用してストロークを倍にしている。図9に、一般家庭のトイレに取り付けた洋式トイレ移乗補助リフトの下降時と上昇時の写真を示す。

本装置は実際に千歳に住む障害児の方に自宅モニターとして使用していただいております、すでに4年が経過している。障害児が家族とトイレを共用し自力で排泄を行うことの心理面からの自立支援に役立てられている。

3.3 洋式トイレ支援便座昇降装置の開発

MHアクチュエータを利用した洋式トイレの便座昇降装置を開発した。合金の加熱・冷却で吸・放出する水素ガスの圧力を利用して洋式トイレの便座を昇降させ、これにより使用者の着座および立ち上がりを支援する。

装置の主な仕様は、使用合金量100g×2(複動用)、熱源はペルチェ素子を使用し、便座昇降高さ350mm、負荷981Nの仕様で、便座には着座および立ち上がりしやすい様に傾斜をつけ、さらに安全のために可動式取っ手を両側に設けた。装置は既設の洋式トイレに設

置できる構造とした。図10に外観を示す。

作用部の機構は、3.2項の洋式トイレ移乗補助リフトと同様に複動型のピストンシリンダを用い、2個のMH容器の“吸収”と“放出”を組み合わせる方式をとった。図11にその作動特性線図を示す。複動にしていることから上昇速度、下降速度はバランスの取れた動きとなっており、昇降のストロークを約65秒で往復する。容器の合金温度をみると上昇用のA容器は負荷を押し上げる分、負担が大きく、上昇時の合金温度はB容器に比べて高いところにある。また、加熱、冷却でペルチェ素子による冷却が室温付近で十分な効果が出ていないのは、合金層の伝熱性を改善するため熱源のペルチェ素子を合金層に直接取り付けMH容器に内蔵させたことによる素子高温側の蓄熱によるもので高温側の放熱により改善される。

平成7年に発足したところの先端在宅介護機器システムの研究を目的とした“北海道ウェルフェアテクノハウス研究会”(会長 北海道大学電子科学研究所伊福部教授)は、ウェルフェアテクノハウス札幌を使っている住環境研究、生体情報研究および介護機器研究において、本項の洋式トイレ支援便座昇降装置も研究対象の1つに取り上げており、本装置の適応性、操作性、利便性、安全性および保守性について検討が加えられる。

上の3.1～3.3項で紹介したMHアクチュエータ利用リフター類の福祉機器開発でこれらの装置仕様を総合して適応性をみてみると、MH駆動合金重量当りの出力では4.90N/g～19.6N/gにあり、またアクチュエータの昇降速度は15mm/sec～40mm/secの範囲にある。このことからMHアクチュエータの利用は、“高出力/低速”の仕様に適していると判断される。

4. 結 言

MHアクチュエータを利用した福祉機器として、車椅子座席昇降装置、洋式トイレ移乗補助リフトおよび洋式トイレ支援便座昇降装置を開発して実用に供した。MHアクチュエータはコンパクト化が図られ、人に優しい動きを現出させることが出来ることから、ロボットを含め種々の分野への利用の拡大が期待される。今後の課題としては伝熱が律則となる熱駆動アク

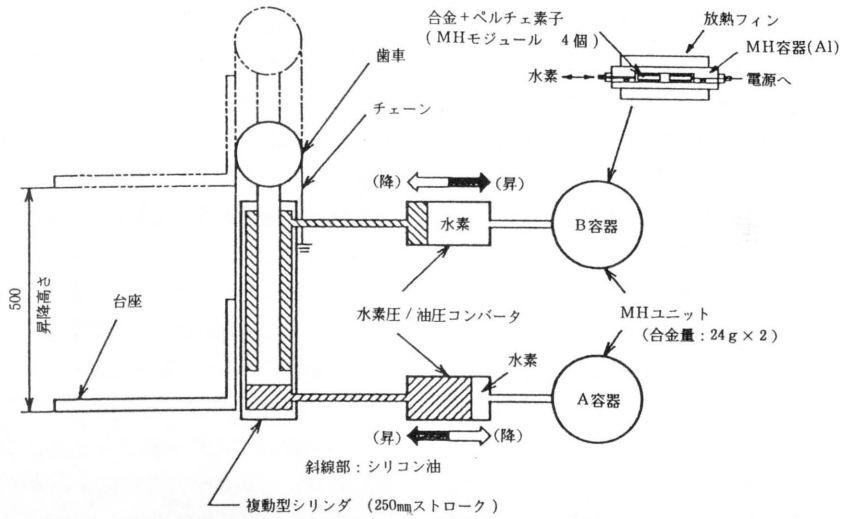
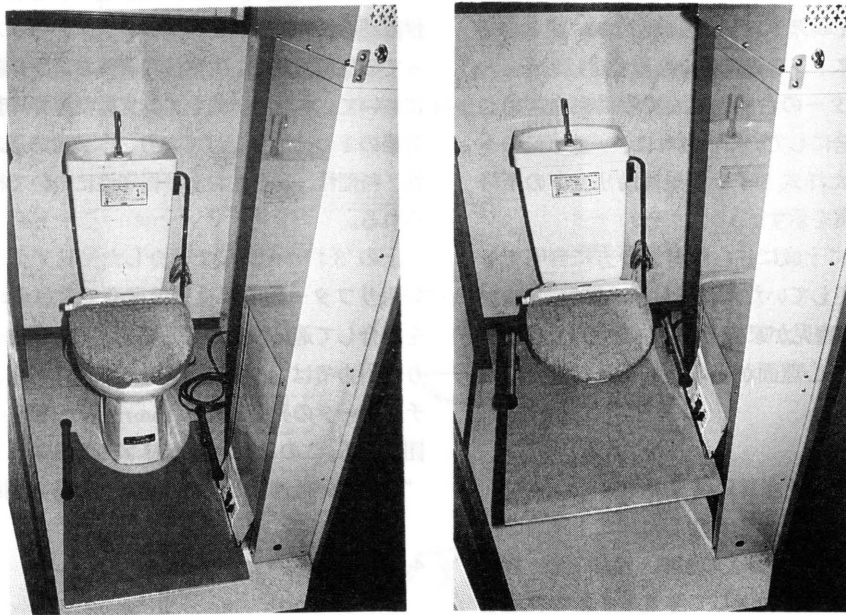
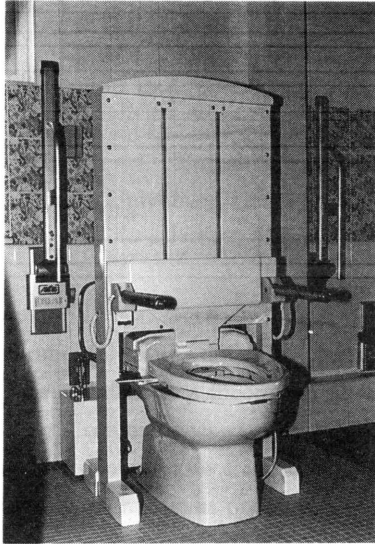


図8 洋式トイレ移乗補助リフトの機構図



- | | | | |
|----|-------|-------------------------|-----------------------------------|
| | (下降時) | | (上昇時) |
| 仕様 | { | • MH 容器……2 個(合金量:24g×2) | • 座席昇降高さ…max. 500mm |
| | | • シリンダ…ピストンシリンダ1 個 | • 負荷……max. 441 N |
| | | 水素圧- 油圧変式 | • 昇降速度……max. 40 mm/sec |
| | | 複動方式 | • 電源……AC/DC 変換 (AC 100V/DC 600VA) |

図9 MH アクチュエータを利用した洋式トイレ移乗補助リフト



(下降時)

(上昇時)

- 仕様
- ・MH 容器……2 個(合金量:100g ×2)
 - ・シリンダ…ピストンシリンダ 1 個
- 水素圧-油圧変換方式
複動方式

- ・座席昇降高さ…max. 350mm
- ・便座角度……約 10°
- ・負荷……max. 981 N
- ・昇降速度……max. 13 mm/sec
- ・電源……AC 100V, 12A
- ・装置重量……約 70kg

(含、制御部 15kg)

図 10 MH アクチュエータを利用した洋式トイレ支援便座昇降装置

チュエータの効率の改善、作用部動作の制御技術の開発、圧力媒体の水素ガスの漏洩に対する安全性の確立および駆動源に使用する種々温度-圧力範囲の高吸蔵、長寿命合金の開発がある。

各種技術における欧米との比較で、日本は家電製品は進んでいるが、福祉機器は大きく遅れていると言われ、高齢社会において福祉機器の開発はますます重要

となる。時代は物質的な豊かさから精神的な豊かさが求められ、物の時代から人の時代、心の時代へ移ってきており、MH アクチュエータを利用した福祉機器の普及にはハード、ソフトの両面からの使用環境とのマッチングが必要で、身体的な適用性、心理的な適応性および快適性をさらに追求していかなければならない。

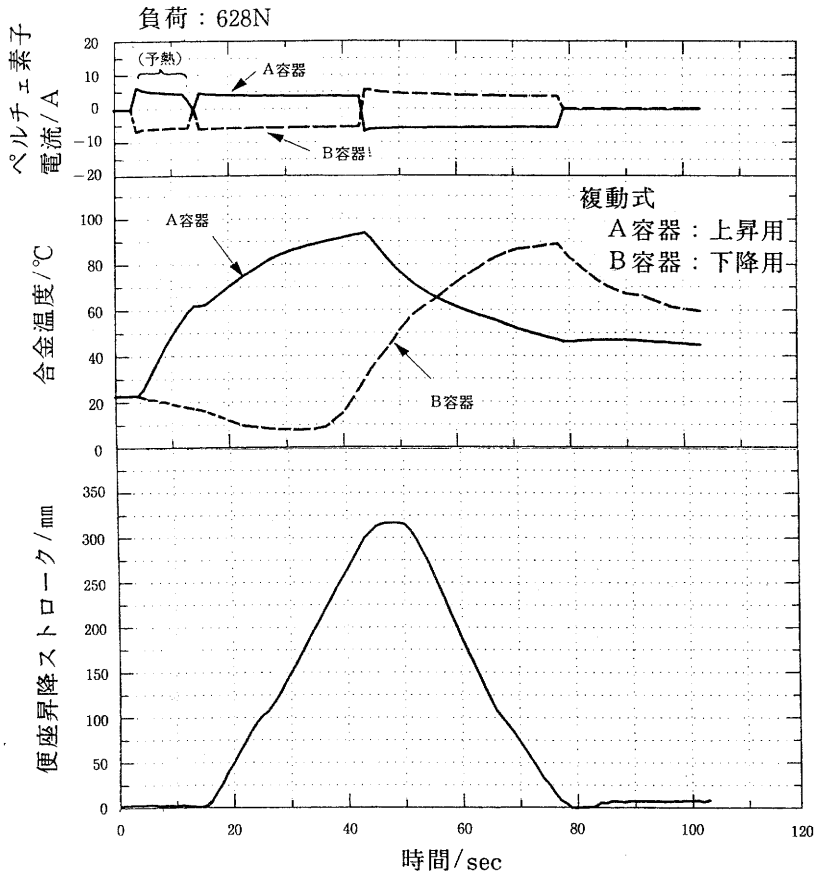


図 11 洋式トイレ支援便座昇降装置の作動特性線図

参考文献

- 1) 佐々木忠之、川嶋稔夫、青山秀樹、伊福部達、小川孝寿：
“水素吸蔵合金を利用したアクチュエータの開発”、日本ロボット学会誌、Vol.4、No.2、pp.45-48 (1986)
- 2) 脇坂裕一、竹田晴信、室正彦、大西敬三：“水素吸蔵合金を用いたアクチュエータの開発”、日本製鋼所技報 No.46、pp.71-76 (1992)
- 3) 大西敬三：“水素吸蔵合金のおはなし”、日本規格協会、(1993)
- 4) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：“新機能水素吸蔵合金の産業機器への高次元適用に関わる動向調査”、平成5年度調査報告書、NEDO-IT-9306 (1993)
- 5) 脇坂裕一、伊福部達：“水素吸蔵合金の医療介護機器への応用”、新素材11月号、第5巻第11号、日本工業出版(株)、pp.68-73 (1994)
- 6) 大西敬三監修：“水素吸蔵合金の最新応用技術”、シーエムシー、(1994)
- 7) 通商産業省工業技術院：“ウェルフェアテクノハウス”、(平成7年1月)、(1995)