

II-48

自然エネルギーを用いた深層取水システム

北海道大学大学院工学研究科	○正会員	吉田静男
日本データサービス株式会社		三船修司
(社)北海道栽培漁業振興公社		今井 肇
(財)テクノポリス函館技術振興協会		松村一弘
(株)日本製鋼所室蘭研究所		室 正彦

1. 序文

今日、水産資源の増強の有力な手法として富栄養、清浄、無菌の深層水の利用が試みられている。たとえば、カリブ海での870m層水利用によるカキ・アサリ稚貝の育成、ハワイ島での600m層水利用によるキングサーモン、大西洋サケ、アワビ、ウニ、カキ、ロブスター、ヒラメの種苗から成魚までの育成、ノルウェーでの50~60m層水(フィヨルド)利用のマダラ、ロブスターの種苗生産、仔稚魚期の餌料生産と養殖試験、ならびに、プランクトン・フィーダーのホタテ貝などの貝類の餌の生産研究等が挙げられる。また、国内では高知県室戸市で320m層水利用による、ヒラメ、トラフグ、メダイ等水産物の増養殖、藻類の大量培養技術開発、富山湾での300m層水利用のサクラマス養殖、トヤマエビ・ベニズワイガニの種苗生産、ホタルイカ・ホッコクアカエビの生態研究等がある。一方、北海道では、いまだ、事業としての開始はないが、深層水の利用によって磯焼け現象の抑制、種苗生産時の魚病抑制、稚魚の餌であるアルテミアとワムシを育てるとともに、アワビ・ウニなどの餌料となる藻類の大量生産、冷水性のニシン・マッコワ・オヒョウ・キチジメメケ類の生産向上、など、魚類の増集、産卵、稚仔の保育、育成が可能になると考える。

しかし、深層水の利用は漁業に限定されるものではなく他にもある。たとえば、身近な問題として深層水が冷熱であることを利用したクーラーの冷温媒体や地球温暖化防止を目的とする表面海水の冷却(その結果としての生物生産向上による副次的なCO<sub>2</sub>の抑制)、また、逆の発想で、海水凍結温度より高温を有すること(温熱性)を利用した凍結港湾の通年開港等が考えられる。ただ、深層水の効果が明らかであるとしても、現在の取水法では電力を必要とするポンプに頼っているため、コストに少なからぬ問題がある。特に、その利用がもたらす経済効果は即効性に乏しいことを考えると、特に、低開発国への普及には、ほとんど、期待できないと思われる。

本研究は、以上の観点を踏まえて、エネルギー供給の時間的な変動はあるものの、年間の積分量は比較的安定な自然エネルギーを利用し、しかも、電力には頼らないシステムの可能性を検討したものである。

2. 深層取水の原理

深層水の取水は原理的には極めて容易にできると思われる。たとえば、図1に示すように深層に届く長いパイプを、目的とする海域の深部に導き、大気に接する上端に低圧部を作るためのピストンを使用すれば目的が達せられるであろう。しかし、深層水を揚水するには必ずしも低圧部を作り出すためのポンプは必要なく、すでにパイプを通して表面近くに達している深層水を単に容器で汲み出すことによっても遂行できる。問題は如何にしてその作業を遂行する推力を得るかである。すぐに思いつくことは、風力や波力の直接利用

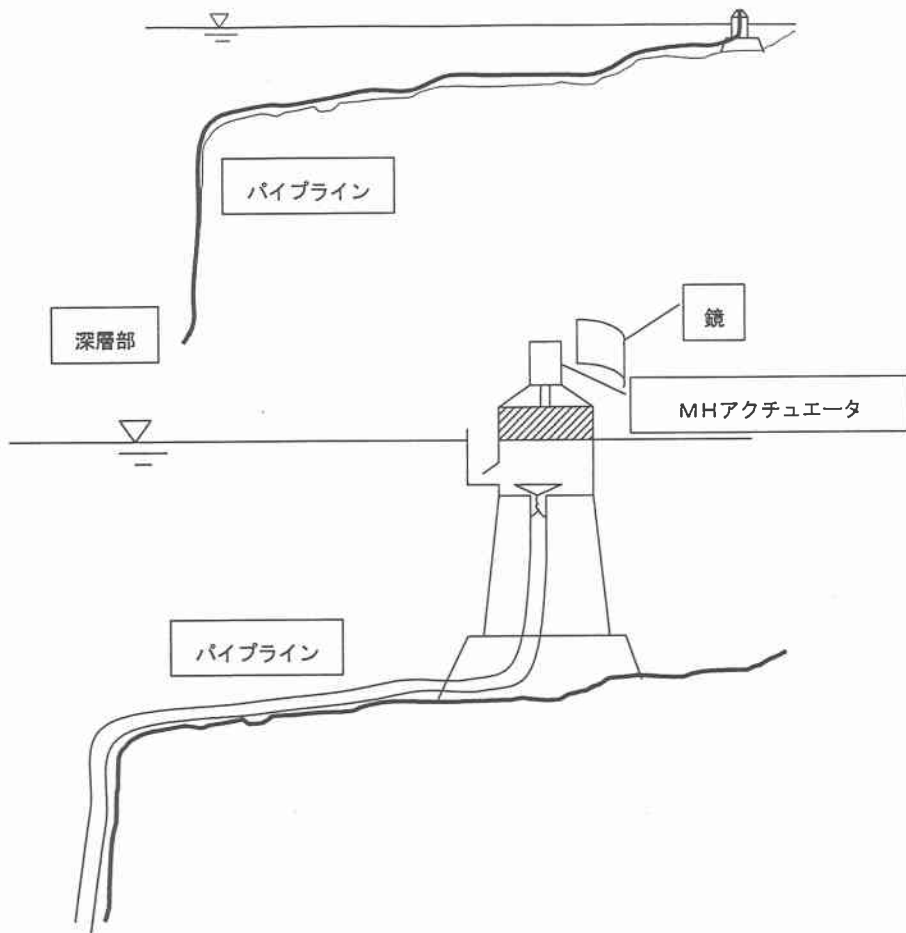


図1 深層水取水システムの全景

である。これらの力学的エネルギーを電気エネルギーに変換することなく直接ピストンを動かす往復運動に変換する事は比較的容易と思われる。もちろん、何らかの理由で風力、波力エネルギーを電気的に変換し、その後、水流ポンプを駆動させることも考えられるが、効率の点からみると前者の方が有利なはずである。自然エネルギーとしては、このほか太陽エネルギーがある。このエネルギーを電気エネルギーに変換するには太陽電池（光発電）の利用や熱発電があるが、ここでは可能な限り発電に頼らない手法としてMH（水素化合物、水素吸蔵合金）を用いた流体アクチュエータを提案する。MHは低温高圧のもとで膨大な量の水素を原子状態で吸収し、その状態で加熱されると莫大な水素を放出するという特性を有しており、大きな推力を見込める。また、このアクチュエータ内の水素は完全に閉じた系内でMHから放出されたり吸収されたりするから水素が大気に漏れることはない。ただ、アクチュエータの構造によっては長時間かけて漸減する事もあるが大気汚染の危惧は現時点では考えられない。

深層水を取り出す方法としては上記の直接取水法のほかにブリュームの連行作用を応用した手法も考えられる。これを実現するには深層部に周囲水より密度の小さい、たとえば、河川水などをパイプを通して導けば良い。この場合は純粋な深層水を取り出せないという欠点はあるが、漁業の見地に立てば、海域のある

地域の水質が変化すれば十分であり、取水後、再び海域に拡散させる手間を考えると、むしろ、有利な手法とさえいえる。もちろん、深層水量を正確には見積もれないという問題点もあるが、これも、ブリューム、フォーストブリューム、等水理学の知見や手法を利用すれば解決すると思われる<sup>1)</sup>。また、たとえ、取水後に特定地域あるいは特定水深に拡散させる場合であっても、やはり、水理学おける成層密度流の知見を駆使すれば遂行可能と考える。

## 2. 取水システムの構成

ここではシステムとして、深層水の直接取水方式と淡水や淡水と表面海水との混合水を深層に導く深層導水方式を提案する。前者は図2に示されるように 1-1) 深層水を海水面まで導くためのパイプ、1-2) 深層水を海水面より高く汲み上げるためのピストン、1-3) このピストンを駆動する動力機構からなる。ただ、1-2) のピストンについては単純な容器を用いた汲み上げ方式とすることも考えられる。後者の方式は図3に示される様に 2-1) 淡水、または、淡水と塩水の混合水をためる貯留タンク、2-2) 上記2-1) に貯留された水塊をパイプに送るためのピストン、2-3) ピストンから送られてくる水塊を深層に導くためのパイプ、2-4) 上記ピストンを駆動するための動力機構からなる。

## 3. 各部の詳細

### 3. 1 直接取水方式

#### 3. 1. 1 取水パイプ

必要水深まで導くパイプとしてはフレキシブルで耐海水材質であればよく、従来、実施されている硬質

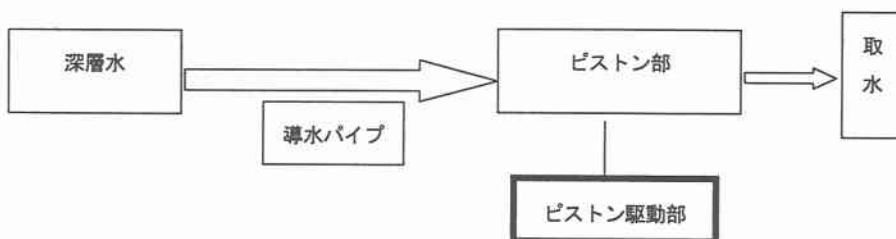


図2 深層取水方式のブロック図

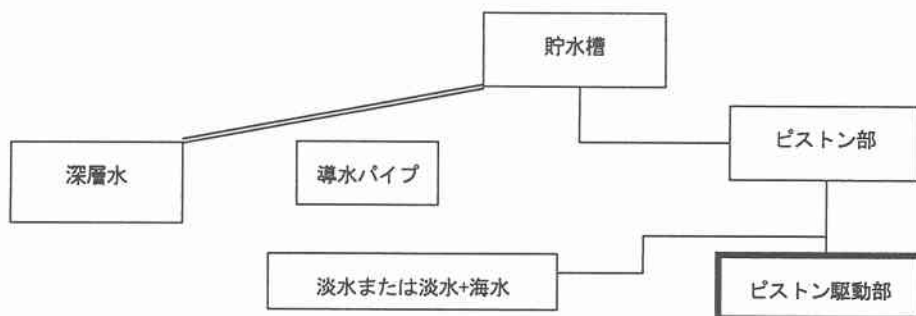


図3 深層導水方式のブロック図

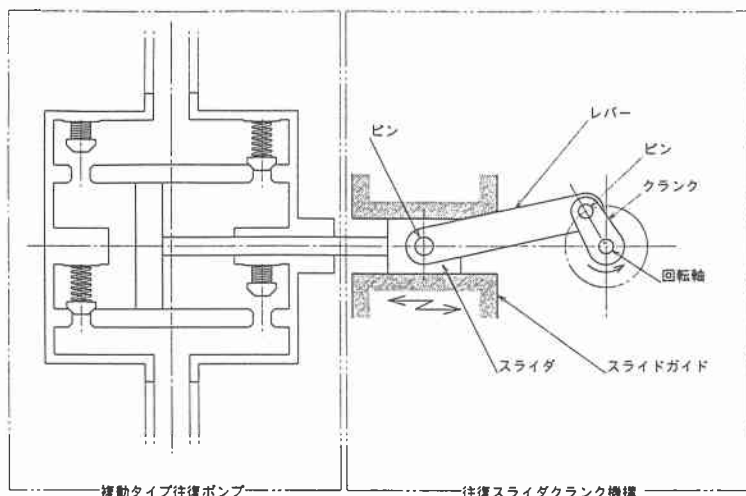


図4 ピストン部の一例

ポリエチレン等が候補になろう。施工法についても従来の敷設工法を取り入れるのが良いであろう<sup>1)</sup>。

### 3. 1. 2 ピストン部

ピストンの一例を図4に示す。図には風力を利用することも考慮してクランクを付帯させたが、波力やMHアクチュエータを使用するときは取り除かれるものである。この部分の製作に関しても、今日では、技術的に困難な部分はないと考える。なお、この方式ではピストンを使う以外に、すでに、海水面近傍に達している深層水を、単純に、水桶で汲み上げる方法も考えられる。

## 3. 2 深層導水方式

### 3. 2. 1 導水パイプ

海中部分については前項と全く同様で良いと思われる。ただ、地上に近い部分、および、露出する部分はシステムの選択により強度や形状が水中のものとは異なってくる。たとえば、海水と導水の密度の差異と導水水深によっては貯水槽の位置が20m程度になることもあり、部分的に耐圧構造とする必要がある。しかし、その様な問題に対する技術的な困難は全く無いであろう。

### 3. 2. 2 ピストン及び貯水槽

ピストン部は前方式と全く同じで良いであろう。また、貯水槽に関しては、海水の表面と目的とする水深での密度差に抗して淡水、または、淡水と海水の混合水を導水するための水頭が必要であることから、相当、高所に設置しなくてはならないので、相応の施設が必要になる。

## 3. 3 ピストンの駆動方式

ピストンの駆動には風力、波力といった力学的な駆動推力が利用できる。もちろん、地域によっては潮流も利用可能であろう。しかし、これらの力学的エネルギーをピストンのロッドに伝える原理については触れるまでもないと思われるので、ここでは、特に、太陽エネルギーや自然熱源を利用する試作MHアクチュエータの詳細についてのみ述べる。

### 3. 3. 1 試作MHアクチュエータの構造と動特性

MHとは金属水素化物 (Metal Hydride) のことで、一般には水素吸蔵合金 (hydrogen absorbing alloys)

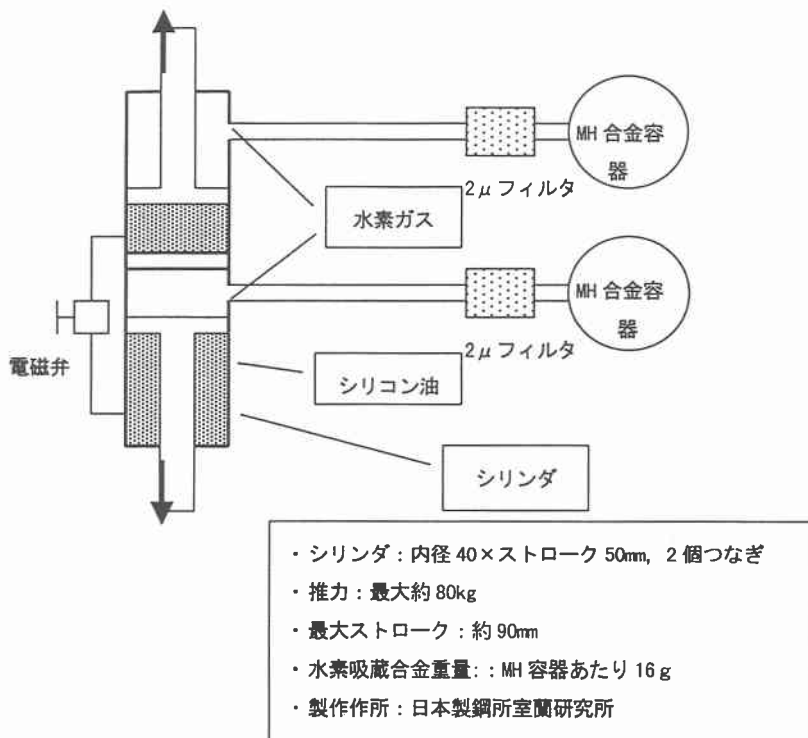


図5 MHアクチュエータの構造

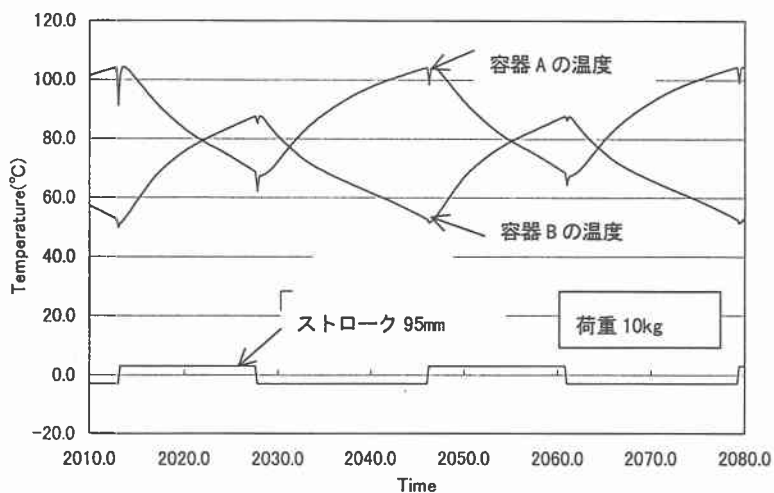


図6 駆動装置の昇降とMH容器内の温度との関係

と呼ばれる合金であって、加熱すると水素を放出し、冷却すると吸収する性質がある。今回、試験的に使用されたMHはLaNi<sub>5</sub>系であり、グラムあたり150ml（重量比で1.3%）程度の水素を原子状態で貯えられる。しかも、1℃の温度上昇あたりの水素放出量は莫大で、それに伴い大きな圧力を発生することも出来るため、アクチュエータの駆動力として、大いに、期待できる。ただ、熱伝導率の関係で合金自体に瞬時に熱が吸収されるわけではないから、本研究が目指す様な自然エネルギーの年間積分量に期待するものと異なり、機敏な動きを必要とするアクチュエータには不向きである<sup>3)</sup>。以下、試作アクチュエータの動特性を示し、MHアクチュエータの取水性能について検討してみる。

試作MHアクチュエータの構造を図5に示す。各MH容器には16gずつMHが封入されていて加熱冷却のためのペルチエ素子を内蔵している。アクチュエータのロッドを往復させるには一方の容器を適当な周期で加熱-冷却し、同周期で、他方の容器を逆に冷却-加熱するという操作を繰り返せば良い。なお、ペルチエ素子はあくまでも性能試験のために使用するもので、実際には熱源として太陽光線や自然界の熱水を、冷却源としては海水等の環境水や氷雪等を選ぶことになる。

試作MHアクチュエータの性能を示すため、その動特性を図6に示す。同図から容器Aを70℃から105℃の間で、容器Bを87℃から52℃の間で変化させると、およそ、周期33秒で10kgの荷重が鉛直方向に9.5cm昇降することが読み取れる。問題は周期であるが、MH合金に熱を伝える技術の向上次第で、さらに、短くできると思われる。なお、このアクチュエータでの最大推力は80kg程度（この場合周期は少し長くなる）である。また、上記のピストン駆動装置をユニットと考えると、目的とする出力の駆動装置を、概略、設計することができる。以下、実際にピストンとの連結による摩擦を無視して、今回試作した駆動装置によってどの程度の取水が可能か概略の検討をしてみよう。

計算条件として荷重10kgを海拔5mの位置まで運ぶことを想定してみる。必要な仕事量は490Jで上昇速度は0.58cm/secだから駆動装置は0.59Wの工率である。また、取水量は平均すると毎秒12gとなる。試作機は最大で80kgの荷重まで、およそ、直線性を有していると予想されるので、取水の上限を予測すると（上昇速度の減少を見込んで）8倍、すなわ、ち96g/secの取水が可能と思われる。言い方を換えると、16×2=32グラムの水素吸蔵合金を使用することによって少なくとも96g/secの取水ができるということであり、合金の量を増やせば、ほぼ、それに比例して取水量も増やすことができる。

#### 4 結語

本研究においては深層水取水の必要性と、取水手法、そして、その実行にあたり、電力に依存しない自然エネルギーの利用の可能性について述べた。また、自然エネルギーの利用において、特に、問題となる太陽エネルギーや種々の熱源の直接力学エネルギー変換にはMHを用いたピストン駆動装置の利用が現実的なものであることを、試作機の動特性試験の結果を用いて定量的に示し得た。近い将来、試験施設を用いて、実用化のためのデータを収集したい。一方、導水方式に関しては提言のみで定量評価ができていない。今後の課題としたい。

謝辞：MHアクチュエータの動特性実験は、本論文第一著者の指導のもとで北海道大学大学院工学研究科修士の岡崎真之君に遂行して頂いた。記して感謝申し上げます。

#### 文献

- 1) 玉井信行：密度流の水利，新体系土木工学，技報堂，1980.
- 2) 田村英雄：水素吸蔵合金，pp. 741，1998.
- 3) 小野介嗣：沿岸の環境圏，フジ・テクノシステム，pp. 1569，1998.