

琉球大学学術リポジトリ

[総説]波力エネルギー-変換システムについて

メタデータ	言語: 出版者: 南方資源利用技術研究会 公開日: 2014-10-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 羽田野, 袈裟義, HADANO, Kesayoshi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002016576

総説

波力エネルギー変換システムについて

羽田野 袈裟義

(山口大学工学部*)

On the Wave Energy Conversion System

Kesayoshi HADANO

Faculty of Engineering, Yamaguchi University

1. はじめに

人類の生活レベルが向上するにつれて資源やエネルギーの使用量は増大の一途をたどっている。それにともない化石燃料の枯渇問題、火力発電所から出る排出ガスの大気環境問題、原子力発電所の安全性問題など現行のエネルギー供給施設に対する問題点が指摘されている^{1) 2) 3)}。このような状況においてクリーンエネルギーの開発と省エネルギー社会システムの構築が強く求められる。

波力は、クリーンエネルギーの中で、水力や風力ほどには実用化が進んでいない。しかしながら、エネルギーの密度や安定性の面で風力に比べて明らかに有利である。海の波は太陽放射がもたらす風により発生し、風のない海域まで伝播するとともにエネルギーを輸送するが、そのエネルギーは水表面近くに集中している。したがって、エネルギー変換装置を遠浅でない海岸近くの海に線状に配置すれば良く、太陽光の直接利用と比べても有利である。また、海域に立地することから、海水淡水化のエネルギー源としても大いに期待できる。

本稿では従来提案されている波力エネルギー変換方式を紹介し、それらの特徴を述べる。

2. 波力エネルギーについて

波力エネルギーの性質⁴⁾を述べる。水面に波立ちが起こると、その水域は静止状態に比べて余剰のエネルギーをもつようになる。波高をH、水の単位体積重量をwとすると、1周期・1波長で平均された単位底面積あたりのエネルギーEは次式

$$E = w H^2 / 8 \quad (1)$$

で与えられる。これは[力×長さ/(長さ)²]の次元をもち、エネルギーの大きさを表すが、たとえば波力発電をする場合には、Eとは別に継続的に取り出せるエネルギーが必要となる。これがエネルギーフラックスである。エネルギーフラックスは、海岸に向かって次々に寄せてくる波が沖合いから継続的に持ち込むエネルギーの大きさを示す。わかりやすく言えば、エネルギーEは預金残高、エネルギーフラックスは定期収入に相当する。エネルギーフラックスの定義としては、波が輸送するエネルギーの量を単位時間・波峰線の単位長さについて示すもので、「仕事率/長さ」の次元をもち、次式で与えられる。

$$P = C_g E \quad (2)$$

ここで、 C_g は波の群速度で、共存する複数の波の群において波立ちの高い部分が進行する速度である。Pは、波高・水深・波の周期により決まるが、水深がある程度大きくなると、水深の影響は小さく事実上波高と周期により決定す

*山口県宇部市常盤台2557

る。図1は、実海域で想定されるPの大きさを示す。図より、波高1mではエネルギーフラックスPは1KW/mをかるく超え、波高2mでは周期3秒以上で10KW/mを超える。ちなみに重さ75kgの物体を鉛直上向きに1m/sの速度で引き上げる仕事率（能力）が1馬力で、1KWは1.36馬力である。こうみると、波力エネルギーは決して小さいものではない。高橋⁵⁾は、日本の海岸線全長で年平均するとPは7.5KW/mで、これを総計すると日本の総発電量の1/3程度と述べている。

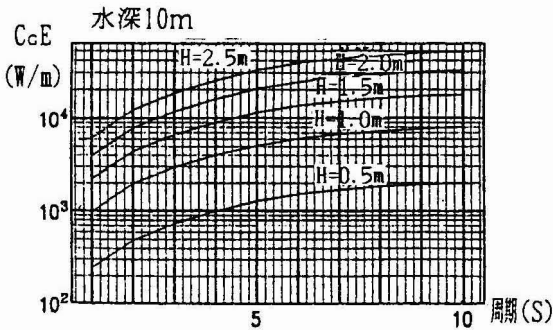


図1 エネルギーフラックス

3. 波浪エネルギー変換システムの概要

波浪エネルギーはそのままでは利用しにくく、これを利用可能な形にするにはいくつかの手順を踏まなければならない。まず、水面変動のエネルギー（位置エネルギーの変化）を機械的なエネルギーや流体運動のエネルギーに変換する。これを一次変換と呼ぶ。一次変換により得られたエネルギーを、さらに利用しやすい形に変換する。これを二次変換と呼んでいる。二次変換には、整流、変速、発電、貯留の要素が含まれる。

4. 一次変換装置^{5) 6) 7)}

すでに述べたように、波浪エネルギー一次変換装置は、波浪エネルギーを他の力学的エネルギーに変換するものである。従来の一次変換の方式を、エネルギーの取り込み方法により分類すると、セットアップ型、越波型、受圧面型、

振動水柱型、可動物体型に大別される。この分類を図2に示す。波浪エネルギー吸収特性の点ではこれらの方式の間で大きな差異はないが、可動物体型ではエネルギー効率の高い装置を理論計算により設計することができるのに対してその他の方式ではこれが現時点で不可能である。これは、可動物体型では水面波による物体の運動を動力とするのに対し、その他の方式は水面波にともなう流体運動を介していることによると考えてよい。以下、図を交えてこれらを説明する。

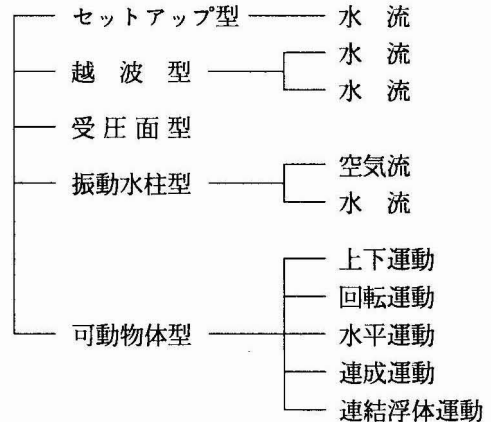
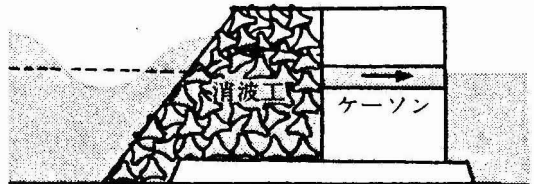


図2 波力エネルギー変換法の分類

4.1 セットアップ型

これは次に説明する越波型とならんで波の変形を利用する。防波堤前面に消波工を施し波の運動エネルギーを位置エネルギーに変換し水位上昇をはかりこれを利用して水流を作る方式で

平均の水位の上昇



- 運動エネルギーを消費してセットアップを作る
- 水位差を利用して海水の流れを作る

図3 セットアップ型（文献⁸⁾）

ある。その図3に概念図を示す。この方式は波の変形を利用しており、波エネルギーの間接利用型といえる。これは一見波の進行方向の影響が大きいが、防波堤は卓越波を考慮して配置されるので解決される。

4.2 越波型

越波型は、集波堤により波を収束させながら、すなわち波高を増大させながら海岸部に導き、越波した水を貯水槽にためて貯水槽水面高をエネルギー源とするものである。この一例を図4に示す。この方式は、セットアップ型と同様、波の変形を利用している。また、波の進行方向に左右されるし、潮位変動への対策が必要である。

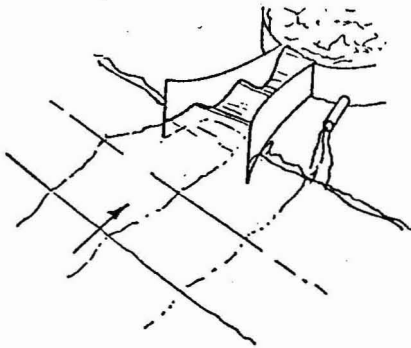


図4 超波型 (文献⁸⁾)

4.3 受圧面型

受圧面型は、水中に没した容器の一部の受圧面が水面変動のため動くことを利用して圧力と流量の形でエネルギーを取り込むものである。流体力学のエネルギー方程式で圧力のなす仕事

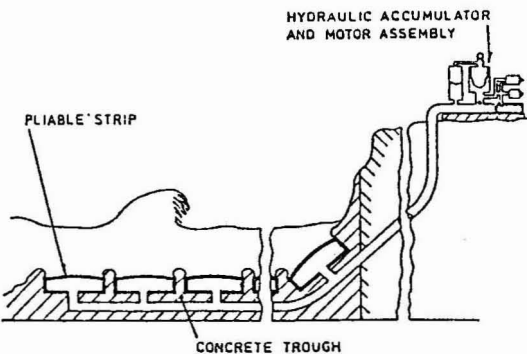


図5 受圧面型 (文献⁸⁾)

率という項が出てくるが、この方式はこの項を思い起こさせる。この一例を図5に示す。この方式は装置が水没しているため、異常な海象時の対策は容易であるが、防水機構を必要とし、保守管理が難しい。また、没水深度が大きくなる程エネルギー吸収効率が低下する。大規模発電には不向きで、可動物体型や水柱振動型に比べて開発が遅れている。

4.4 振動水柱型

振動水柱型は、容器状のものを伏せたようにして水面近くに設置しておき、波浪により生じる容器内外の空気圧・水圧の差から空気流や水流を作り出して回転運動に変換する。これには往復空気流を利用する方式と往復水流を利用する方式があるが、エネルギー吸収効率や波浪エネルギー二次変換装置との整合性の面では前者の方が優れている。図6(a)に単一構造の航路標識ブイ、図6(b)に大規模発電用に複数空気室を設けた「海明」の原理を示す。複数空気室をもつものにはこの他に固定式の防波堤設置型がある。振動水柱型は、構造体としての可動部をもたないので構造強度上有利であり、日本では最も注目されている。反面、気密・水密の空気室・水室を複数つくるには多量の材料と労力が必要である。特に、防波堤設置型では、気密・水密の空気室・水室が潮位変動の範囲をカバーしなければならず、材料の無駄は免れない。

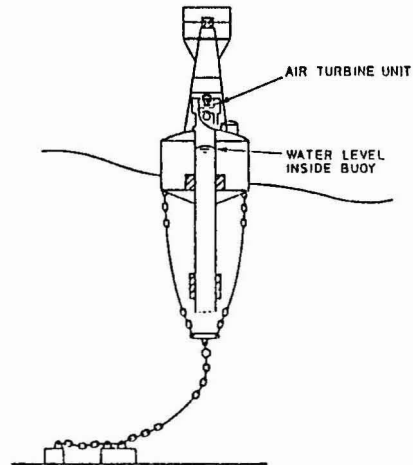


図6(a) 波力発電用航路標識ブイ (文献⁸⁾)

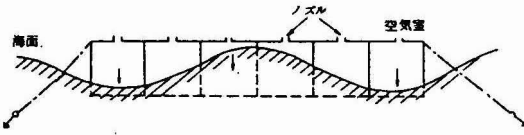


図6 (b) 「海明」の概念図 (文献⁷⁾)

4.5 可動物体型

可動物体型は、水面変動をまず物体（浮体）の運動として取り出して回転運動に変換するものである。これには物体の上下運動を利用するもの、回転運動を利用するもの、水平運動を利用するもの、上下・水平の連成運動を利用するもの、連結された浮体の運動を利用するものがある。典型的なものを図7に示す。

この方式では物体の運動が予測可能なため、どのような運動モードに対してもエネルギー吸収効率の高い装置を設計することができる。なお、広範囲の周波数領域でエネルギー吸収効率を高くするには、それぞれの運動モードに応じた対策が必要である。また、波浪エネルギー二次変換装置との整合性がよい。油圧装置を介して、低速大出力の動力が高速小出力に変換され、発電機を効率のよい状態で使用することができる。この方式の欠点として、異常な海象時には可動物体が大振幅で運動するため、構造強度上の設計条件が厳しくなる。特に、ある軸のまわりの物体の回転運動自体を動力として取り込む方式のものは、動力伝達部に有害な拘束力を発生させる。その主要なものは、①物体の喫水状態が自由な喫水状態状態から上下方向に変位していることによる鉛直力、②拘束された物体とその周囲の水の水面波による運動との相対速度による相互作用力、以上2者による動力伝達軸への曲げ荷重、そして③波が可動物体に対して斜めに入射することによる捻れ力であろう。以下、図2中の方式の典型的なものをいくつか示し、その問題点を指摘する。

上下運動型の一例を図7 (a) に示す。これは、

浮力の異なる浮体を引張部材で連結し、引張部材を水中のプーリにかけて回転運動に変換するものである。上記①～③の問題はないものの、機械部分が水中にあるため保守管理に難がある。また、複数の要素の連結は不可能であろう。次に回転運動を利用するものとしてソルターダック (Salter duck) を図7 (b) に示す。この方式は、水面変動により、非円柱の柱体 (duck) が反転を繰り返す回転運動をし、整流機構を用いてこれを定方向の回転運動に変換する。この方式は、それぞれのダックが波に応じて自由に回転運動をしながら動力を取り込むものであり、可動物体型では最もシステムチックな構成で大規模発電が期待できる。この問題点は、上記①～③、そして基礎地盤の反力の変動である。水

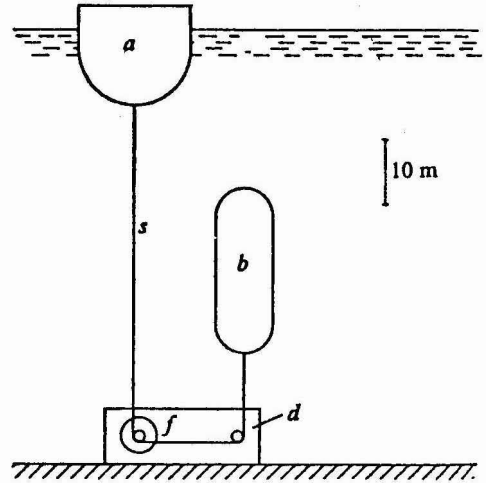


図7 (a) 上下運動利用 (文献⁸⁾)

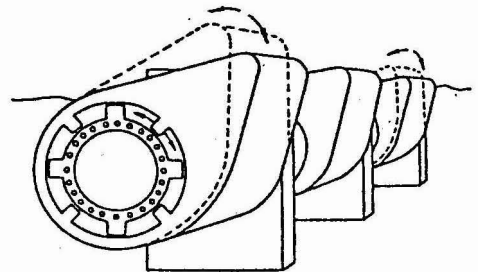


図7 (b) 回転運動利用 (文献⁹⁾)

平運動型の例として、振り子式と呼ばれるものを図7(c)に示す。この方式は、水面変動による平板の水平方向の運動を油圧回路を経て回転運動に変換するものである。問題点は、上記①、②、③であろう。連成運動型の一例を図7(d)に示す。これは、2つの運動モードを同時に用いるもので、それぞれの運動モードの固有周期を合わせることでエネルギー吸収効率を高くすることができる。ただし、そのような周波数領域は狭い。連結浮体型の例を図7(e)に示す。この方式は他の運動モードの可動物体型装置に比べて喫水が浅く、係留力が小さいという特徴をもつ。

4.6 新しい提案

ここで新しい提案を示す。これは、上記の分類では可動物体型に属するが、ソルターダックあるいはその類似型のネックである、動力伝達部での有害な拘束力の発生を回避している。そ

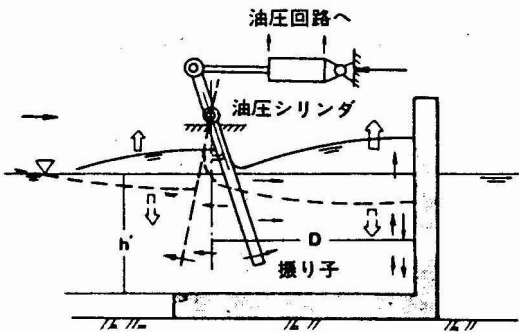


図7(c) 水平運動利用 (文献⁹⁾)

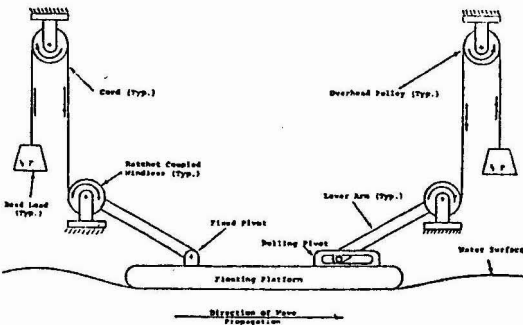


図7(d) 連成運動利用 (文献⁹⁾)

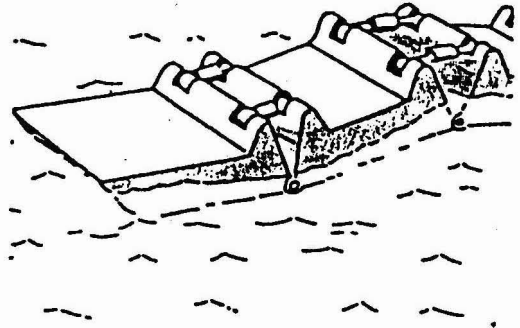


図7(e) 連結浮体 (文献⁹⁾)

の鳥観図を図8に示す。浮体と釣合錘をワイヤの両端に取り付けておき、ワイヤをプーリに巻きかけて吊り下げると、水面の昇降によりプーリは反転を繰り返す回転運動をする。ラチェット機構を用いてこの運動を互いに逆向きの1対の定方向回転運動に変換する。これを一つの交換要素として複数要素を組み合わせる。そしてすべての要素からの回転エネルギーを総和して一つの向きの回転運動にまとめた上で変速機により増速して発電機を回す。個々の交換要素が波により自由に運動することはソルターダックと同様である。この方式は、機械部分が水面より上方にあり、しかも大重量の浮体とトルク伝達要素が力学的に分割できるため保守が比較的容易である。筆者らはこのシステムの模型を製作し基礎的な実験を開始している¹⁰⁾。

5. 省エネルギー社会の構想 (夢想?)

冒頭で省エネルギー社会システムを構築する必要性を述べた。国内には電力需要を排気ガスのでない原子力発電でまかなえばよいという意見が一部にある。しかしながら、これには、新しい発電所の立地問題以外に大きな障害がある。それは使用済み核燃料の保管場所が確保されていないことである。このことは前々から、「トイレなきマンション」と批判されていると

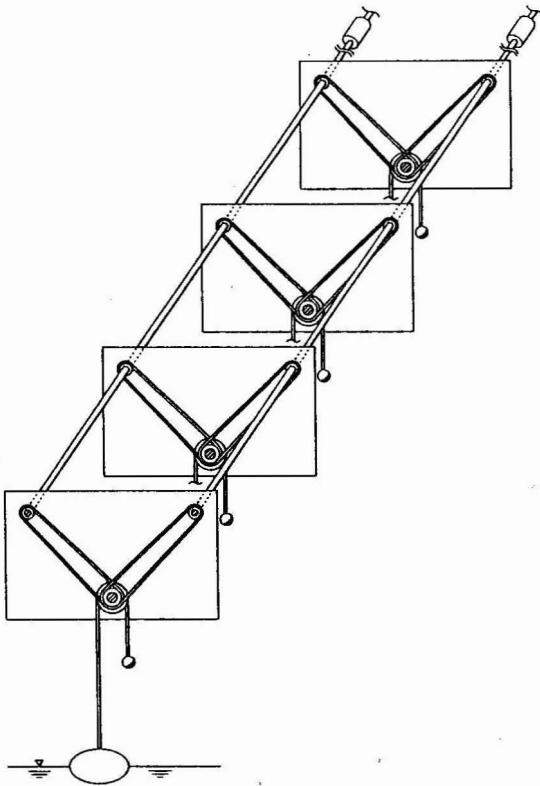


図8 複数浮体型(文献¹⁰⁾)

のことである。

ここで、総需要を抑制する社会システムを模索しよう。電力需要は夏場のクーラー使用により激増するようである。資源エネルギー庁は、夏期の電力需要が逼迫している現状を本当に深刻に受けとめているならば、天気予報と同様、前日の電力消費料をたとえば2時間単位で新聞に示す、など具体的に示すべきである。こうすることにより、各人がことの重要さを知り、電気を節約する気が出てくる。話をもとに戻そう。九州電力は季節別特別料金を設定し、夏期の夜間に割安、昼間に割高にしている。この時期にクーラーの使用を抑えたとすれば、たとえば7月から9月中旬までの日で午前10時の気温が28度を越えたらその日は半ドンにし、この日にプールや海に行った者は勤務したとみなす方法が考えられる。そして意義の薄い祝日と、無意味で学校にとっては有害な振替休日制度を廃

止する。これにより、将来急増と思われる成人病患者と医療費を大幅に抑えることができるし、家族の絆を強くすることができる。また、この時期にいやいやながらする仕事をやめた分はもっと快適な時期の意義の薄い祝日と振替休日の廃止により消化できる。南方に限らず日本では昔から暑い日の日中はダラリとして朝夕に仕事をした。このスタイルは極めて合理的で科学的でさえある。文明が発達するにつれて人間が次第にバカになっている、と鳥は思っているのではないだろうか。

また、化石燃料の消費を抑えるため、公共交通機関の運賃をタダにしてはどうであろうか。私は年間どれだけの税金を払っているかについてあまり注意を払っていないが、出張を除けば公共交通機関にタダ乗りできるくらいの金額は払っているのではないだろうか。これは、省資源以外に多くの意義をもつ。まず、交通渋滞の緩和、緊急自動車の迅速な対応、公共マナーのアップと社会性の向上、税金のより有効な利用が可能、などなどである。体力のある人をマナーアップ要員として雇用できよう。

肥料も化学肥料を使うのではなく、リサイクルの一貫として将来的には有機肥料を主体に利用するように国家として方向を打ち出すべきであろう。最近ゴミ発電が技術的に可能となっている。大変好ましい状況である。しかしながら、現行の法令ではゴミ発電の売電料金が、自然エネルギーとは異なりふつうの火力発電等と競合させられているとこのことを北九州市長が最近の論壇(朝日新聞)で述べている。環境庁の無力の結果か、それとも怠慢の結果であろうか。

結語 自由人となって酒を飲みながら色々夢想することは重要なことである。もっともこの原稿は素面で書いてることをおことわりしておく。最後に発言の場を与えて頂いた南方資源利用技術研究会の方々に感謝すると共に、会と会員諸氏のますますのご発展をお祈りする次第である。

参考文献

- 1) 小西誠一：「地球の破産」、講談社、pp164-206、1994.
- 2) 小林圭二：高速増殖炉「もんじゅ」はいつ壊れるか、別冊宝島「『技術立国・日本』があぶない」、宝島社、pp235-248、1994.
- 3) 広瀬隆：「棺の列島」、光文社、1995.
- 4) たとえば、合田・佐藤：「海岸・港湾」新訂版、彰国社、1994.
- 5) 高橋重雄：波エネルギー変換装置の現状について、1993年度(第29回)水工学に関する夏期研修会、Bコーステキスト、pp.B-1-1~B-1-19、1993.
- 6) 前田・山下：波浪エネルギー—次変換装置、「海洋エネルギー利用」特集、日本造船学会誌第637号、pp306-326、1982.
- 7) 日本造船学会海洋工学委員会性能分科会編：波浪エネルギー利用の文献概要集、1982.
- 8) 近藤叔郎編：海洋エネルギー利用技術、森北出版、1996.
- 9) 近藤叔郎：文部省科学研究費(58850116)研究報告書、1985.
- 10) 羽田野ら：波力発電システム、テクノ・オーシャン'96国際シンポジウム論文集、1996(印刷中)
- 11) 朝日新聞：9月8日朝刊、主張・解説、1996.