

沿岸域における波浪エネルギー利用計画試論

室蘭工業大学土木工学科 正会員 近 藤 愼 郎
室蘭工業大学第二部機械工学科 渡 部 富 治
室蘭工業大学土木工学科 正会員 谷 野 賢 二

1. ま え が き

波浪エネルギー利用技術のうち変換装置についての研究は、第一次石油バウンス以後、イギリスを中心にアメリカ、日本、ノルウェーなどの諸国で精力的に行なわれ、今日迄の12年間に目覚ましい進歩を遂げた。表-1¹⁾は現在迄に公表されている主な波浪エネルギー変換装置を分類したものであるが、それらの多く、なかでも共鳴型に属する装置の殆どはこの期間に開発されている。波浪エネルギー変換装置は同表に示すように設置方法からは浮遊式と固定式に、また力学的特性からは特定の周波数の波浪に対して高効率を与える共鳴型とそのような性質をもたない受動型に大別される。1970年代には容易に共鳴型にできる浮遊式が関心を集め、我国の場合も海洋科学技術センターが中心となって益田ブイの大型装置に相当する波力発電船「海明」による実海域試験もなされた。しかし、1980年代に入って浮遊式の場合は、繋留や取得したエネルギーの輸送に難点があって、一般的にエネルギー価格が高くなることが推測されたので、それに代って固定式について研究がなされるようになった。固定式に関する研究は、海岸の波浪を対象にして海底に固定した装置によって波浪エネルギーを吸収しようとするものが主で、その歴史は浮遊式よりも一般に古いものが多い。我国でも幾つかの固定式装置が発明されており、中でも広井 勇博士²⁾は大正7年頃に一種の空気タービン式と振り子式に属する装置をそれぞれ考案し、大東岬で現地試験まで実施していた。しかしながら従来の固定式はいずれも受動型に属するものである。

筆者らは沿岸に設置される防波施設と兼用できる波浪エネルギー吸収装置に関する共同研究を1978年から開始し、固定式で共鳴型に属する水車式、振り子式などの変換装置を開発してその性能に関する実験的ならびに理論的研究を進め、さらにテストプラントを設置して実海域試験をも実施して多くの知見を得た^{3)~7)}。

このように沿岸での波浪エネルギー変換装置の研究開発は進展したが、それが実用化されるには利用計画についての検討も必要不可欠である。本論文は、沿岸域における波浪エネルギーの変換や供給は、何処で、何の目的で誰が実施するのかを主題にして、利用計画を議論するものである。

2. 利 用 シ ス テ ム の 構 成

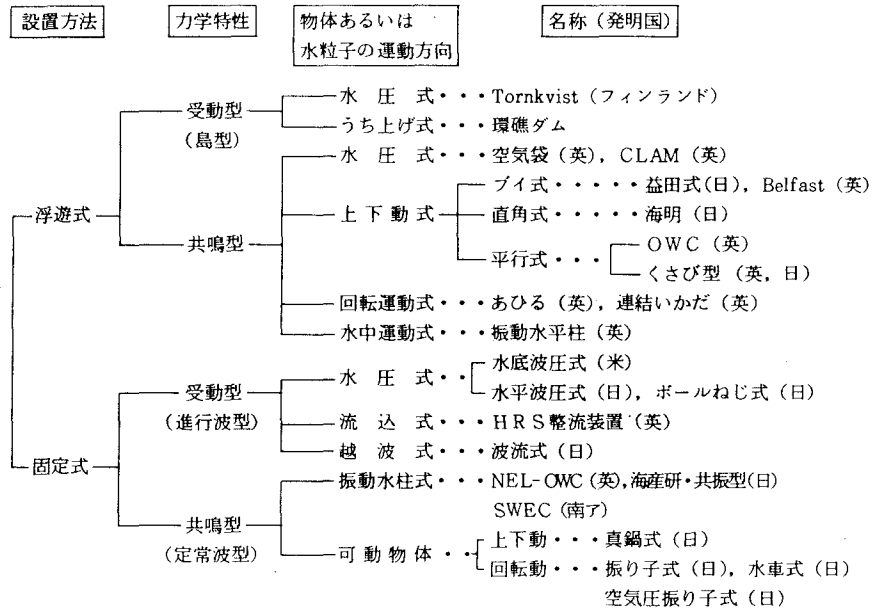
一般的な波浪エネルギー利用のシステムは図-1のようなものと考えられる。そしてその実用的計画は、何処を対象に、何の目的で、誰が主体で実施するかという三つの視点から立案されなければならない。その理由は、エネルギー問題に対する地域的な要因の影響がきわめて大きく、そのことを深く配慮する必要があり、その上で目的を明確にし、そして最適の実施主体を見出すことが大切と考えられるからである。表-2は1980年頃の世界、日本、北海道、十勝地方、室蘭市、ならびに焼尻・天売島についての1次エネルギーの構成を示したものである。また、表-3はエネルギーの用途別比率を、同じ地域ごとに掲げている。北海道は日本の中では積雪寒冷地域として知られており、十勝地域は北海道内陸の畑作農業地帯、室蘭市は太平洋岸で製鉄所をもつ臨海工業都市そして焼尻・天売島は日本海の小規模な離島である。表-2,3にはそれら地域の気象、社会ならびに経済上の特性の影響が明瞭に表われている。日本は化石燃料に強く依存していることは良く知られているとおりであるが、さらに天然ガスや原子力が使われていない北海道ではその分だけ石油と石炭の比率が高く現われている。北海道の中でも、工業用に用いられる石炭が多い室蘭は例外的であって、農漁村地帯では石油の比率が高い。さらに、水力発電所がない離島に相当する焼尻・天売島では全エネルギーの99%を石油に頼っている現状にある。このような単一の輸入エネルギーへの依存は、例え離島であるにしても、エネルギーに対する安全保障の観点からして決して好ましいことではない。

3. 利 用 計 画

(1) 計画対象地域

波浪エネルギーの地域別利用計画を考える際の基準は、対象としている地域で、波浪エネルギーが他種のエネルギーに比べどの程度優位性があるか、ということになる。そしてその優位性の判定は、結局エネルギーの価格の比較になると考えられる。ここでは、大局的に考え地域別に波浪エネルギー利用の優位性を比較すれば、表-4

表-1 波浪エネルギー変換システムの分類 (近藤¹⁾, 1985)



のように結局、本土(北海道、本州、九州、四国ならびにその地続きとみなされる地域)と離島に分けるのが妥当である。離島における波浪エネルギー利用が、その他の沿岸域に比して有利である点を挙げると、次のようになる⁹⁾。

- 1) 離島は小規模な孤立型社会であるから、火力発電や原子力発電のような大容量に適するものによるエネルギー供給はコストが極めて割高になる。また本土で得られたエネルギーを輸送しても一般にかなりコストが高くなる。したがって波浪のように島において得られる自然エネルギーを利用することが有利となる場合が多い。
- 2) 島であるから波浪の来襲方向の範囲が広いので、一般に波浪エネルギー量がその他の沿岸域に比べ大きく、かつ季節によるエネルギーの増減が比較的小さい。太陽や風力の利用も考えられるが、それらが島の方が大きいとする理由は乏しい。
- 3) 小規模な島では、環境上の理由から化石燃料の過度の使用は好ましくない。

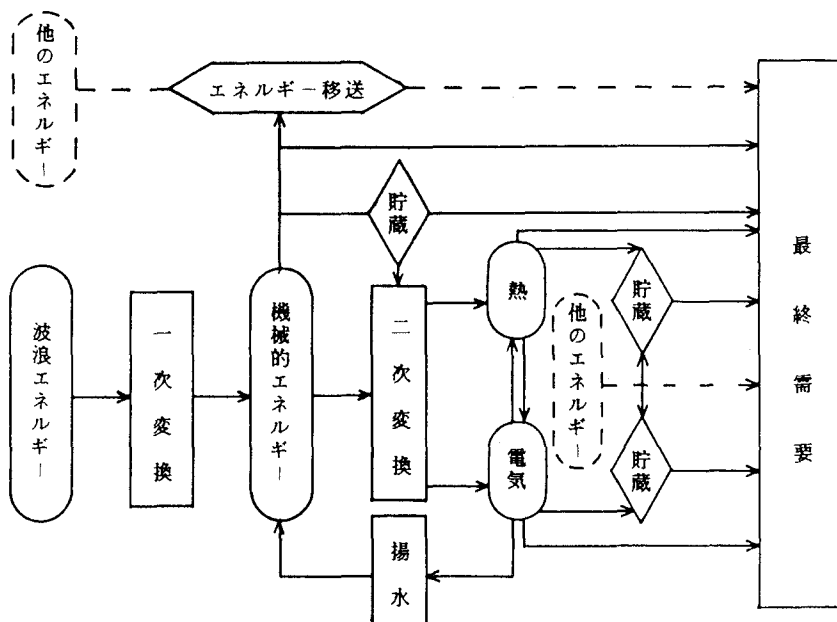


図-1 波浪エネルギー利用系統図⁹⁾

次に表-4に示す、(a) 近海離島、(b) 沖合離島、(c) 人工島について比較する。

(a)と(b) ではエネルギー輸送の観点からすると (a)の方が容易である。したがって(b)の方が上出の1)と2)の見地からね波浪エネルギー利用上は優っている。次に(c)の人工島であるが、その利用目的は様々であるが、いずれにしても人工的な構造物であるから、その側壁をエネルギー変換に好都合なような構造とすること

とは容易にできるはずである。次に本土については同様にエネルギー賦存量ならびに輸送の面から判断すると半島や岬が島について波浪エネルギー利用の面で有利である。ただその場合、火力、原子力の大容量発電所の近傍であるなら、有利とならない。したがってその場合は電力としての利用よりは、むしろ熱として利用できることが望ましい。岬や半島以外の沿岸域では、原子力や火力発電と同条件で競合することになるので、その際には入力としての波浪エネルギーが大きいところ以外では実現は困難になる。

(2) 用途別利用計画

波浪エネルギーを熱あるいは電力として変換したとき、そのエネルギーをどのような目的で使用するのかを示したものが表-5である。表-3の用途からみると日本は世界の中では産業用が多く交通用の占める割合が低い。また日本の中では、北海道が交通用の比率が高く、産業用が低い。そして離島では暖房や炊事・温水などのエネルギー効率が低いことから、どうしても民生用の割合が高い。したがって波浪エネルギーを熱に直接変換するだけでも、かなりの部分のエネルギーをまかなうことが可能である。熱エネルギーへの変換には油圧利用法と海水を熱源としたヒートポンプを利用する方法¹⁰⁾の二つあるが、交通用を含めた用途を考えるとすると離島の場合は海水を低熱源として使える後者のほうが有利である。

(3) 事業主体

前節迄の検討をさらに進めて波浪エネルギーの取得、変換、供給などの事業は誰が行なうべきかを考える必要がある。用途との関係を示したものが表-6である。なお、電力については電力会社だけが販売できるという制約がある。エネルギー事業は対象地域が広くてユーザーが多い場合は用途や形態が単種でも採算が合う。しかし、小面積で使用量が少ない場合はエネルギー価格は高くなる。エネルギー価格の上昇を招かないためにも、離島のような小地域を対象とする場合には、凡ての用途に対する凡ての種類のエネルギーを対象に供給するのが合理的でかつ経済的になるはずである。その意味で波浪エネルギーを熱や電力に変換し、不特定多数のユーザーの様々な用途に対して供給できるような事業主体であるのが望ましい。

4. 定 常 化 と 貯 蔵 の 方 法

波浪エネルギーはスペクトル構造を有し、風力ほどではないにしても非定常が大きいものである。それを定常波動的な最終エネルギー需要に対応させるには、定常化が必要である。

表-2 地域別一次エネルギー構成(%)⁹⁾

地域 \ エネルギーの種類	石 油	石 炭	天 然 ガ ス	水 力	原子力	薪 ほか	計
世 界	40	28	12	2	1	6	100
日 本	66	17	6	6	5	0	100
北海道	72	21	0	7	0	0	100
十勝地方	88	2	0	10	0	0	100
室蘭市	47	53	0	0	0	0	100
焼尻島・天売島	99	1	0	0	0	0	100

註 対象年は十勝地方(1978年度)、焼尻島・天売島(1983年)以外は1980年

表-3 地域別エネルギー用途(%)⁹⁾

地 域 \ 用 途	産 業	交 通 ・ 運 輸	民 生	計
世 界	48	24	28	100
日 本	59	16	25	100
北海道	45	18	37	100
十勝地方	26	28	46	100
室蘭市	91	5	4	100
焼尻島・天売島	34	22	44	100

表-4 対象地域の分類

┌── (a) 近海離島
┌── 離 島 ──┐ (b) 沖合離島
┌── (c) 人工島
┌── (d) 岬、半島地域
└── 本 土 ──┐
└── (e) その他の沿岸域

図-1の系統図から推察すると、波浪エネルギーの定常化の方法は下の3方法に大別される。

- (1) 他の大容量エネルギー源への組み入れ
- (2) 他のエネルギー源との複合による定常化
- (3) 貯蔵による定常化

(1) については将来に沿岸域で波浪発電が広く普及すると、この方法がとられる。我国では浮体式の「海明」による波力発電を、陸上送電し東北電力の系統に組み入れる試験が実施済みである¹¹⁾。

(2)と(3)の場合はエネルギーの主力が波浪であるときに用いられる方法である。(2)は他のエネルギーは負荷と波浪エネルギーとの差を埋めるために用いられるため、その種類は限定される。現段階で考えられるものは、電力の場合は水力発電とバイオマスを用いた燃料電池がある¹²⁾。

波浪エネルギー単独で電気、熱などのエネルギーの凡てを負担するには、(3)のエネルギーを貯蔵することによる定常化がとられることになる。その貯蔵の方法については表-7のようなものがある。これらの貯蔵法の適用性については、対象とするエネルギーの種類と量によって様々であるが、現時点では揚水発電と蓄電池以外は実用化に至っていない。

(2)と(3)の場合、波浪のエネルギー変換そのものと共に、他のエネルギーの変換や貯蔵の費用が加わるので、コストダウンを図るための技術開発が進められなくてはならない。

5. 今後の展望

1970年代のイギリスを中心とした浮遊式システムに関する画期的な研究の進展に係わらず、航路標識用ブイの灯源として用いられている益田式ブイを除いては波浪発電の実用化はなされて

いない。これには1980年以降の石油価格の低落傾向によって、自然エネルギーの利用が相対的に高価となったことが大きく影響している。このためいわゆる先進国では波浪エネルギー利用計画が定まっていない現状にある。しかしながら次に示すような南ア連邦のように大規模な開発計画を有している国もあることは注目されるべきである。

同国ではケープタウン北の大西洋岸の沖合1.5km、水深14mに没水固定式のOWCシステムにより出力77万kWの波力発電所を建設しようとしている(Retief, et.al, 1982¹³⁾, 1984¹⁴⁾)。そのような大規模な計画は以下のような条件が基礎となっている。

- 1) 対象海岸の波エネルギー賦存量が大きく、単位峰幅当りの平均工率は30kW/mにもなる。
- 2) 同国の電力源は今後とも石炭火発に強く依存し、そのほとんどが東北部の炭田近くにあるので、ケープタウンまでの輸送距離が長い。
- 3) 国全体の電力供給システムが一元化していて、非定常な波浪発電電力を系統に組入れることが容易である。
- 4) 予想発電価格は2.6~3.4(南ア・セント)/kWhで石炭火力や原子力よりも安い。

このような波浪利用に有利な条件の国は決して多くはないと思われるが、このプロジェクトが成功するならば、非産油国の中から後を追う国が続出することが推察される。

日本の場合は波エネルギー賦存量は大きくなく、全国の平均工率は約6kW/mで、北陸沿岸の10kW/mが地域的に

表-5 取得エネルギーの利用目的

「-- 熱 -- 暖房、炊事
「-- 民生用 --」
「-- 電気 -- 照明、電気器具
「-- 熱 -- 融雪、暖房
「-- 交通・運輸用 --」
「-- 電気 -- 動力、照明
「-- 機械力 -- 栽培漁業用動力
「-- 産業用 --」
「-- 熱 -- 同上 熱、
レクリエーション用熱
「-- 電気 -- 産業機械用動力

表-6 事業主体と用途

事業主体	用途	利用形態
個人	民生用	熱、電気
私企業	産業用	電気、熱
自治体	民生用、交通用	熱、電気
公営企業	上出の全用途	電気、熱、ガス

表-7 エネルギー貯蔵方法

機械的エネルギー	「-- 位置エネルギー方式
としての貯蔵法	「-- 歪みエネルギー方式
	「-- 運動エネルギー方式
熱エネルギー	「-- 水 蒸 気
としての貯蔵法	「-- 高 温 液 体
化学的エネルギー	「-- 鉛 蓄 電 池
としての貯蔵法	「-- 水 素
電磁エネルギー貯蔵	「-- 超電導電磁石

は最大と報じられている¹⁵⁾。入射波の平均工率を約10kW/mとしたときの防波堤兼用の沿岸固定型振り子式システムの発電単価は41円/kWhであり¹⁶⁾、石油火力や原子力に比べてかなり高くなる。振り子式は高い効率を有しているので、労賃や物価の違いはあるとしても、やはり入力の大きさとシステムの規模が発電単価に大きく影響している。したがって海底地形による波の屈折によって平均の波高が大きくなる地点を選んで、変換システムを設置することによって取得エネルギーを多くし、発電単価を低くすることが、日本の場合は必要とされる。

さらに加えて離島以外では3)のように一般の商用電力系統に組入れるようになることも、波浪エネルギーの利用を促進する上に大切な要素である。

6. む す び

沿岸域において波浪エネルギーを実用的エネルギーに変換して実用に供するための一連の計画のあり方について考察した。内容的に不十分な点が多く、試論の域を出ないことは筆者らの認めるところでもあり、多くの方々からご批判、ご討議をいただいて今後さらに研究を進展させたいと願っている。

波浪を始めとする自然エネルギーの開発が国内的には、国土の均衡ある発展にとって不可欠な地域産業振興の軸になることは論をまたない。一方、グローバルを見地からは、今日の化石エネルギー多消費型社会の中で苦悶している非産油途上国にとって、自然エネルギーの利用は国の命運をトするものとなっている。今や最多化石エネルギー輸入国である日本は、その技術開発の推進に真摯に取り組むべきであると考えらる。

本研究は昭和58・59年度文部省科学研究費（試験研究）による「沿岸固定方式による波浪エネルギー利用に関する研究」（研究代表者 近藤徹郎¹⁷⁾の一部であることを記す。

参 考 文 献

- 1) 近藤徹郎：海洋流体発電の将来，技術予測シリーズ第2巻（エネルギー編），日本ビジネスリポート社，1985。
- 2) Hiroi, I.: An experimental determination and utilization of wave power, 東京帝国大学工学部紀要，第十冊，第一号，1919。
- 3) 近藤徹郎（研究代表者）：防波施設と併用する固定式波力発電装置の研究，文部省科学研究費（試験研究）報告書，1980。
- 4) 近藤徹郎・谷野賢二・高橋幹夫・渡部富治・奥田教海：防波施設に併設する波浪エネルギー吸収装置の研究—波力水車方式—，土木学会第28回海岸工学講演会論文集，pp.381~385，1981。
- 5) 渡部富治・近藤徹郎・谷野賢二・竹田英章・黒井昌明：同 上 —振り子式—，土木学会第29回海岸工学講演会論文集，pp.486~490，1982。
- 6) 近藤徹郎・渡部富治・高木又男：波力発電の新しい波，OCEAN AGE，MAY，pp.30~36，1982。
- 7) 谷野賢二・近藤徹郎・渡部富治：防波施設に併設する波浪エネルギー吸収装置の研究(3) —実海域性能試験—，第31回海岸工学講演会論文集，pp.581~585，1984。
- 8) 近藤徹郎・渡部富治・奥田教海・松田敏彦：離島に対する沿岸型波浪エネルギー利用システムの適用性，第1回波浪エネルギー利用シンポジウム，海洋科学技術センター，pp.339~349，1984。
- 9) 近藤徹郎（研究代表者）：沿岸固定方式による波浪エネルギー利用に関する研究，文部省科学研究費報告書（試験研究），1985。
- 10) 市川 晃・平井哲夫・関屋 慎・武藤 浄：ヒートポンプによる波力エネルギー利用熱回収システム，第1回波浪エネルギーシンポジウム，海洋科学技術センター，pp.377~386，1984。
- 11) 海洋科学技術センター：波力発電装置「海明」の研究に関する総合報告，1981。
- 12) Sprensen, Bent.: Energy Storage, Annual Review of Energy, 1984.9, Annual Review Inc., pp.1~29, 1984.
- 13) Retief, G de F., Prestedge, G.K. and Muller, F.P.J.: A proposal for wave energy conversion near Cape Town, Proc. of 18th Coastal Engrg. Conf., Vol.1, pp.245~260, 1982.
- 14) Retief, G de F., Muller, F.P.J., Prestedge, G.K., Geustyn, L.C. and Swart, D.H.: Detailed design of a wave energy conversion plant, Proc. of 19th Coastal Engrg. Conf. held at Houston, USA, Sept. 1984., ASCE (to be published).
- 15) 田端竹千穂・柳生忠彦・福田 功：日本沿岸における波のエネルギー，港湾技研資料，No.364，1980。