



室蘭工業大学における波浪エネルギー利用研究 (1976—86) の総括

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 近藤, 俣郎, 谷野, 賢二, 渡部, 富治, 奥田, 教海, 松田, 敏彦, 土手, 康彦 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/735

室蘭工業大学における波浪エネルギー利用研究 (1976—1986) の総括

近 藤 俣 郎・谷 野 賢 二*・渡 部 富 治
奥 田 教 海・松 田 敏 彦・土 手 康 彦

SYNTHESIS OF WAVE POWER UTILIZATION STUDY 1976—1986 AT MURORAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Hideo KONDO, Kenji YANO, Tomiji WATABE
Kyōkai OKUDA, Toshihiko MATSUDA and Yasuhiko DOTE

Abstract

A series of study on wave power utilization conducted during the period of 1976—1986 by the group of staffs of the institute is summarized. Three kinds of power extractor belonging to the so-called coastal fixed type were invented and studied in laboratory. Among them the water turbine and the pendular systems were subsequently studied at the field test plant constructed at Port Muroran, which shows the latter has an excellent power conversion efficiency. An approach for predicting the power extracted by the fixed type extractors has been proposed employing analyses of wave spectral transformation and of three dimensional kinematics of extractors. Simulations for maximizing the power charged into lead battery and for the optimal load condition of power generation have been performed. A case study on practical application of the wave power utilization has been done for Yagishiri Island, one of remote islands far from main lands which are the most prospective locations to realize the wave power utilization in the near future.

1. ま え が き

自然エネルギーの利用は古くて新しい研究テーマである。火の利用に始まった人間のエネルギー利用は、やがて水や風の流れから機械的エネルギーを取り出して生活を豊かにした。そして18世紀に到って石炭や石油などの化石燃料の利用に及び、今日の工業化社会をもたらした。

しかし工業化社会の血液とも言うべき石油は、その産地が偏在していることから、一度供給が不安定になると非産油国はパニックに陥いることは、1973年に始まる二度の石油危機で証明された。このことは20世紀後半に実用化したウランを燃料とする核分裂原子力発電についても当てはまるはずである。

現代社会においてエネルギーは生物にとっての水や空気と同じで、必要なだけの量を何時でも

*北海道開発局土木試験所（前土木工学科）

何処でも使えることが望まれる。したがって常に安定な供給がなされるためには、エネルギー源がなるべく消費地点の近くにあることが必要である。いま一つの問題は、発電所の事故などで高密度のエネルギーが放出された場合に人間を始めとする生物環境に及ぼす被害であり、日本のように国土が狭く人口稠密な国では、その影響を重視せざるを得ない。本来、太陽がある限りにおいて地球上のいたるところで盡きるところなく再生され、しかしながら低密度である各種の自然エネルギー利用の意義はそこにある。

本報は1976年以来、本学の多くの教官、院生ならびに学生が参加して行なわれてきている波浪エネルギー利用の研究成果を取りまとめ、さらに今後の研究の方向を展望するものである。

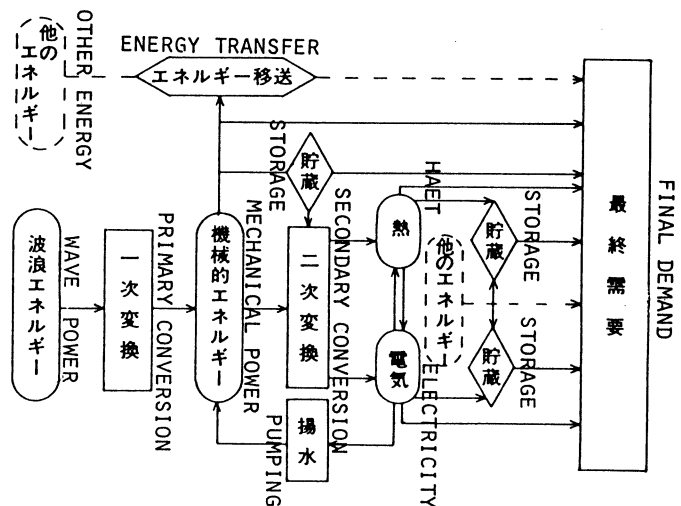
2. 波浪エネルギー利用の概念と開発の歴史

海の波からエネルギーを取り出し、それを実用に供するまでの一連の流れは凡そ図—1に示されるようなものである。すなわち、非定常で不規則な海の波の入力エネルギーを機械的エネルギーに変え（一次変換）、さらに機械的エネルギーから電気や熱などの実用的エネルギーに変えて（二次変換）最終的な需要に応じて消費される。その際に非定常なまま直接消費される場合と、一旦蓄積し、需要に応じて平滑化された状態で利用される場合がある。その例としては、バッテリー蓄積や揚水発電などがある。二次変換以降のプロセスは各種の自然エネルギーで共通するので、波浪エネルギー利用の特有の問題は主として入力エネルギーと一次変換にあるといえる。

海の波はスペクトル構造を有しており、その特性の解明は最近20年間に急速な進歩を遂げたが、非線形性が強くなる浅海域で

の波の変形などについては今後の研究に俟つところが大きい。したがって波浪の入力エネルギー量の推定についても、現段階では線形理論の域を出ていない。

一次変換装置の開発は、既に1799年に Gerard（フランス）が特許を申請していたことから知られるようにその歴史は古く、以後数多くのアイデアが出されたが、一般的な意味での実用化に到ったものは無い。我が国でも記録に



図—1 波浪エネルギー利用の概念図（近藤，1985）

あるものでは、明治時代の中頃から提案があり、その後もいくつかの提案がなされた。中でも港湾工学の泰斗であった広井 勇²⁾は、日本の将来のエネルギー源の不足を憂慮し、波浪エネルギーの利用に取組んだ。そして東京帝国大学工学部教授として在職中の大正7～8年に大東岬で現地実験をしていた。

今日、波浪エネルギー利用装置として実用化しているものは、航路標識用ブイの灯源として1965年以来用いられている益田式ブイのみである³⁾。用途が一般的とは言えないので、通常の意味での波浪エネルギーの利用は未だ実現していないのが現状である。

3. 室蘭工業大学における研究の沿革

1976年1月に当時の学長竹内 栄博士の提唱で60年度の学内予算でプロジェクト研究が行なわれた。そのうちの 하나가18名の教官が参加した「クリーンエネルギーの製造と貯蔵」に関する研究であった。この研究は51年度には特定研究経費で継続して実施された。筆者の一人、近藤は電気工学科大窪 協教授と共同で海の波のエネルギーを吸収し、実用的なエネルギーに変換する装置の開発を分担することになった。それが、現在まで学内共同研究として続いている波浪エネルギー利用研究の発端である。その年代的な歩みは文末の付表に掲げてあるが、総括的な経過は次のとおりである。

(1)第Ⅰ期（1976～77）：土木工学科河海工学研究室において波によって回転する水車に関する基礎実験と波浪の入力エネルギー量の推定についての研究が行なわれた。

(2)第Ⅱ期（1978～80）：文部省科学研究費による土木、機械、電気、第2部機械の教官8名による共同研究として研究が進められた。室内実験により水室内の定常波動を利用した波力水車式、空気タービン型振り子式ならびに振り子式の三種類の一次変換装置が開発された。また室蘭港外に現地実験用プラントが設置され、波力水車式の現地実験が行なわれた。

(3)第Ⅲ期（1981～83）：実験プラントにおいて水車式の実験が継続された。振り子式の室内実験と理論解析がなされた。北海道沿岸の波浪の入力エネルギー量の推定を行なった。また増毛町の実用化プラントの計画・設計に協力した。

(4)第Ⅳ期（1984～86）：振り子式の現地試験を室蘭港プラントで開始し、データを取得した。斜め入射波についての振り子式の性能に関する理論解析を進め、それを応用して沿岸固定方式装置による取得エネルギー量の推定手法を考案した。利用計画について研究し、離島における波浪エネルギー利用法などを提案した。そして焼尻島についてシステムの設計を行なった。

4. 研 究 成 果

4.1 波浪の入力エネルギー量の推定

不規則な水波の単位峰幅当りの平均パワー $\overline{W}$ (kW/m) は次のように推定される。不規則波を

表—1 各種スペクトルの単位峰幅当りの平均パワー $\bar{W}$ (近藤, 1985)

スペクトルの名称	A	B	r	$\bar{W}$ (kw/m)
Pierson - Moskowitz	$\frac{1}{4\pi} H_{1/3}^2 \bar{T}_2^{-4}$	$\frac{1}{\pi} \bar{T}_2^{-4}$	1	$0.59 H_{1/3}^2 \bar{T}_2$
ISSC (国際船体構造会議)	$0.111 H_{1/3}^2 \bar{T}_1^{-4}$	$0.44 \bar{T}_1^{-4}$	1	$0.545 H_{1/3}^2 \bar{T}_1$
Bretschneider - 光易	$0.257 H_{1/3}^2 \bar{T}_1^{-4}$	$1.03 T_{1/3}^{-4}$	1	$0.441 H_{1/3}^2 T_{1/3}$
JONSWAP	$0.072 H_{1/3}^2 \bar{T}_1^{-4}$	$\frac{5}{4} T_p^{-4}$	3.3	$0.458 H_{1/3}^2 T_{1/3}$

註: $\bar{T}_1 = \int_0^\infty S(f) df / \int_0^\infty f S(f) df$, $\bar{T}_2 = \sqrt{\int_0^\infty S(f) df / \int_0^\infty f^2 S(f) df}$

周波数と進行方向が異なる無数の波の重ね合せとして表現すると、特定の周波数帯 ($f, f+d\theta$) と波向帯 ($\theta, \theta+d\theta$) の平均パワー $d\bar{W}$ は、その帯域の単位面積当りの全エネルギー $w_0 S(f, \theta) \cdot df \cdot d\theta$ に群速度 C_g を乗じたものである。ここで、 $w_0 (= \rho g)$ は水の単位容積重量で $S(f, \theta)$ は方向スペクトルである。これからは $\bar{W}$ は下式のように表現できる。

$$\bar{W} = w_0 \int_0^\infty \int_0^{2\pi} dW = w_0 \int_0^\infty \int_0^{2\pi} S(f, \theta) C_g df d\theta = w_0 \int_0^\infty S(f) C_g df \quad (1)$$

ここで $S(f) = \int_0^{2\pi} S(f, \theta) d\theta$ は周波数スペクトルである。

$S(f)$ はこれまで多くの提案がなされているが、それらを統一した表現は下のようになる。

$$S(f) = A f^{-5} \{ \exp(-B f^{-4}) \} \gamma^{\exp[-\frac{(f/f_p-1)^2}{2\sigma^2}]} \quad (2)$$

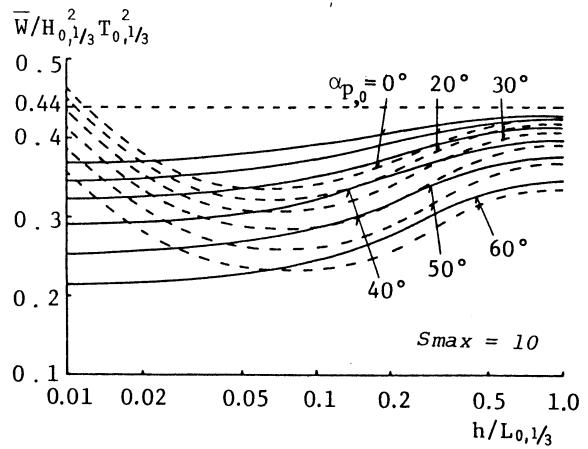
ここで A, B および γ は係数でそれらは提案されたスペクトルの種類によって異なり表—1 のような値をとる。また f_p は $S(f)$ を最大とする周波数で、 σ は通常下の値をとる。

$$\sigma = 0.07, f \leq f_p, \text{ および } 0.09, f > f_p \quad (3)$$

水深 h が波長 L の $1/2$ よりも大きい深水波の場合の群速度は $C_{g,0} = g/4\pi f$ で与えられる。近藤¹⁾ は深水波の $\bar{W}$ を計算し表—1 の結果を得た。ただし、 $w_0 = 1025 \text{ (kgf/m}^3\text{)} = 10.1 \text{ (kN/m}^3\text{)}$ としている。また同表中の $H_{1/3}$ と $T_{1/3}$ は、それぞれ有義波の波高と周期である。

浅水域に波が進んでくると、深水での方向スペクトル $S_0(f, \theta_0)$ は屈折や浅水変形をして変化する。水深 h での周波数スペクトルを $S(f, h)$ とすると、その地点での平均パワー $\bar{W}(h)$ は、

図一 2 平行等深海岸（実線）と円形島（破線）の単位峰幅当りのパワー $\bar{W}$ (kW/m) [$\alpha_{p,0}$ は深水波の主方向が等深線への垂線となす角を表わすものとし、平行等深海岸と円形島の垂線の方法は同じとする] (近藤ほか, 1985)



表一 2 波浪エネルギー一次変換装置の分類 (近藤, 1985)

設置方法	力学特性	物体あるいは 水粒子の運動方向	名称 (発明国)	
浮遊式	受動型 (島型)	水 圧 式	・ ・ ・ Tornkvist (フィンランド)	
		うち上げ式	・ ・ ・ 環礁ダム	
	共鳴型	水 圧 式	・ ・ ・ 空気袋 (英), CLAM (英)	
		上 下 動 式	ブイ式	・ ・ ・ ・ ・ 益田式 (日), Belfast (英)
			直角式	・ ・ ・ ・ ・ 海明 (日)
			平行式	・ ・ ・ OWC (英) くさび型 (英, 日)
		回転運動式	・ ・ ・ あひる (英), 連結いかだ (英)	
	水中運動式	・ ・ ・ 振動水平柱 (英)		
固定式	受動型 (進行波型)	水 圧 式	・ 水底波圧式 (米) 水平波圧式 (日), ボールねじ式 (日)	
		流 込 式	・ ・ ・ HRS 整流装置 (英)	
		越 波 式	・ ・ ・ 波流式 (日)	
	共鳴型 (定常波型)	振動水柱式	・ ・ ・ NEL-OWC (英), 海産研・共振型 (日)	
			SWEC (南ア)	
		可 動 物 体	上下動 回転動 ・ ・ ・ 真鍋式 (日) ・ ・ ・ 振り子式 (日), 水車式 (日)	
	<u>空気圧振り子式 (日)</u>			

$$\begin{aligned}\bar{W} &= w \int_0^\infty S(f, h) \cdot C_g(f, h) df \\ &= w \int_0^\infty C_{g,0}(f) \int_0^{2\pi} K_r^2(f, h, \theta_0) \cdot S_0(f, \theta) d\theta df\end{aligned}\quad (4)$$

$S_0(f, \theta_0)$ として、表—1に示すブレットシュナイダー・光易型の周波数スペクトルに光易型の方向分布関数を乗じたものを用いることとし、直線平行等深線海岸（実線）と Pocinki⁵⁾の円形島（破線）について近藤ら^{1), 6)}が数値計算した結果を図—2に示す。同図より、直線等深海岸の $\bar{W}$ は h/L_0 の減少と共に減少する傾向があり、 $h/L_0=0.1$ では深水波の値 ($\bar{W}=0.441H_{1/3}^2 T_{1/3}$) より11%ほど減少する。これに対して円形島では、 $\bar{W}$ は $h/L_0=0.05\sim 0.1$ で最小値をとり、それより小さくなると再び $\bar{W}$ は増加する。このため長周期のうねりが多い海域の小規模な離島では、水深が浅い沿岸域に変換装置を設ける方が入力エネルギーが大きくなるので有利となる。

このほか、近藤ら^{7), 8)}は表—1の $\bar{W}$ の式に従って北海道沿岸や港湾について年間平均のパワーを推定した。

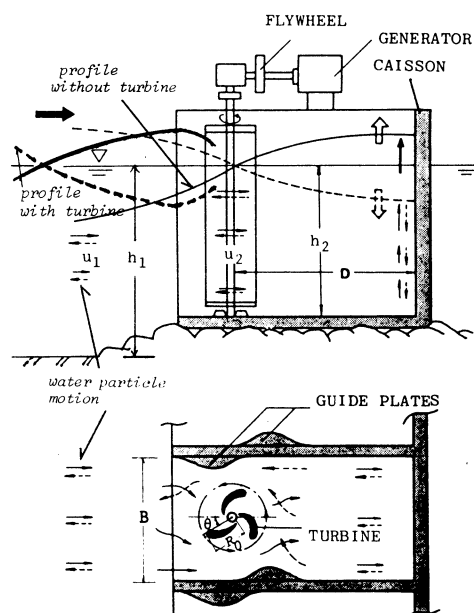
4.2 一次変換装置

(1) 一次変換装置の種類と本学での対象型式

第1章で述べたように波浪エネルギーを機械的エネルギーに変換する一次変換装置は古くから考案されてきたが、第一次石油パニックのあった1973年以降に研究が加速され、数多くの装置の提案がなされた。

一次変換装置は設置方法から、浮遊式と固定式に、また装置と波との相互作用特性から受働型に分類できる。表—2はそのような見地から近年、論文として実験結果が公表されているものを対象にした分類である。これらのほとんどは1973年以後に開発されたものである。

本学で研究対象としたものは防波堤など沿岸域の防波施設と併用できる固定式で、堤体内の水室の定常波動を利用して物体を回転あるいは揺動させる方法でエネルギーを吸収する型式である。それらは表—2中の左下端で下付線をしてある三型式である。固定式共鳴型で防波施設併用可能なこれらの装置を取上げた理由は、設置地点の波浪の周波数特性に



図—3 水車式の断面図と平面図

応じて高効率を得るように設計できる，取得エネルギーの輸送および利用に便利，多目的利用により建設費を低くできることなどから，結果としてエネルギー価格を安価にできるからである。

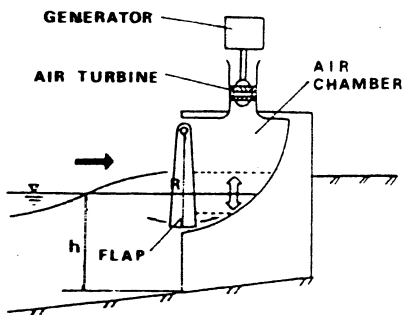
(2) 水車式

水車式は図一3に示すような鉛直軸をもつサボニウス型水車が，水室内の定常波の水平水粒子速度による抗力を受けて一方向回転する形式である。羽根車の枚数や形状については奥田ら^{10),11)}が定常流実験を行なって定め，また規則波による二次元造波水路（幅0.6，高さ1，長さ24m）で，近藤ら^{10),12),13)}は図一3で $h_1=35\text{cm}$ の模型について効率や波力などを調べた。入射波のパワーのうちで水車への入力となるパワーに対する水車の回転パワーへの変換効率は，平均で12%最大で20%であった。そして効率が最大となる条件は，水車軸とケーソン後壁との距離 D が波長 L の約 $1/4$ のとき，すなわち図一3に示すように水室内の定常波動の節の位置に水車軸がある場合である。このことは多孔壁ケーソン堤で，多孔壁を通過する水平水粒子速度が最大となる条件¹⁴⁾と同じ性質をこのシステムも有していることを意味する。また装置全体に作用する波力は直立堤に作用する波力の $1/2$ 以下に減少し，反射率も消波ブロック被覆堤と同程度の平均だった。その後(5)で述べる室蘭港の実験プラントにおいて行なった現地試験での変換効率は室内実験の半分以下に留まった¹⁰⁾。その原因は不規則波であることと最適負荷の状態でなかったことなどが考えられる。

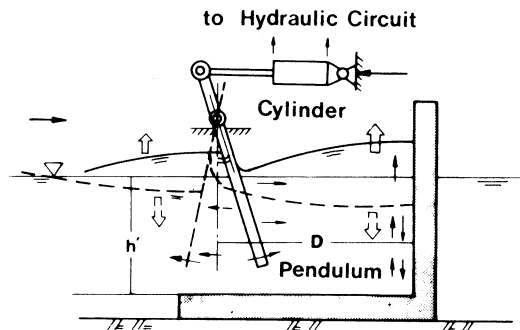
結局，水車式は低い効率に留まったが，その理由は，水車の回転運動によって発生する渦によるエネルギー損失が大きいことによると，判断された。

(3) 空気圧振り子式

図一4に示すように海岸堤防のような防波施設の前面に，上端をヒンジとする振り子板状の受波板を吊し下げ，その間に水室兼空気室を形成する。波の作用による振り子の揺動を介して空気室内の空気にエネルギーが吸収され，その後空気室の上部に設けられたノズルを通過する空気流を発生させてタービンを回転させる機構である。規則波の二次元造波水路において近藤ら^{15),10)}



図一4 空気圧振り子式装置の断面略図



図一5 振り子式装置の断面略図

は、図—4で $h=R=21\text{cm}$ の模型を対象にした実験を行ない、空気圧への変換効率を調べた結果、効率はノズル比と波の周期によって支配されるが、平均35、最大で50%程度であった。しかし、空気圧からペルトン型タービンへの変換効率はきわめて低く、結局、波エネルギーからタービン回転エネルギーへの変換効率は、前出の水車式よりも低くなった。

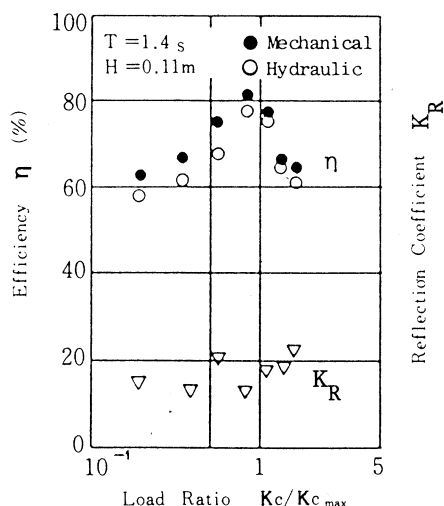
(4) 振り子式

振り子式は水車式と同様に水室内の定常波動を利用し、かつ可動物体としては空気圧振り子式と同種の振り子板を用いるが、振り子の揺動エネルギーを往復シリンダーを介して油圧のエネルギーに変換し、その後二次変換を行なって電気や熱とするものである(図—5)。

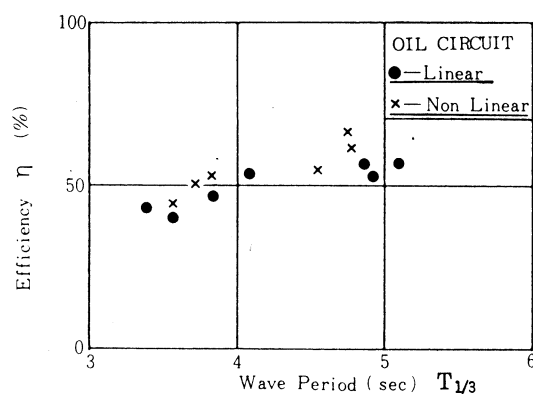
波力を直接に振り子板に受け、かつ振り子板の揺動による水流の乱れが少なく、しかも二次変換に好都合な油圧システムを介するのでエネルギー損失が全体として少なく高効率を得られる。振り子板揺動の回転軸を水底ではなく空中におくことによって、運転と維持管理上の便宜を図った。

室内実験は二種類の規則波二次元造波水路 ($0.4\times 1.0\times 18.5\text{m}$ および $0.6\times 1.0\times 24\text{m}$) を用いて渡部ら^{10),16),17),18)}が行なった。図—5は $h=0.5\text{m}$ (図—4中に示してあるケーソンの水深)の実験結果の一部で、油圧シリンダーへの入力についての変換効率は平均70、最大82%が得られている。油圧エネルギーへの変換効率は若干の損失があるので、それよりも少し小さくなる。

図—7は(5)で述べる現地実験プラントで得られた波の入力エネルギーから取得された油圧エネルギーへの変換効率を示したもので、平均50%程度となっている。この値はこれ迄に報告されている各種の装置の実海域試験のデータのうちに最高値であり、振り子式装置の高性能が実証された。



図—6 振り子式の変換効率と反射率の例(渡部ほか, 1986)



図—7 実験プラントでの変換効率(渡部ほか, 1986)

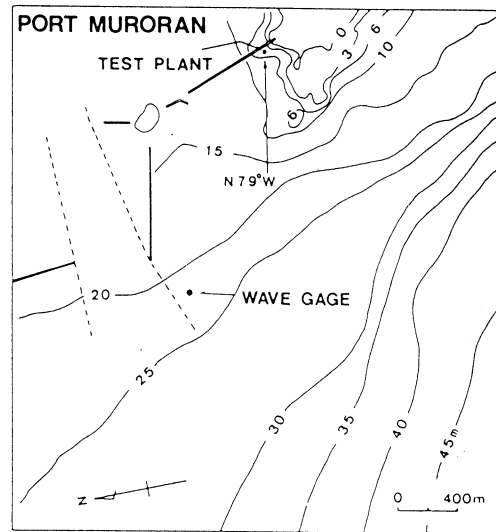
振り子式のエネルギー変換に関する理論解析は二次元問題（波が装置に直角入射する場合）について浅野¹⁹⁾が小振幅の規則波を対象に最初に行っており、入射波のパワーが低い場合は良く適合しているが高くなると摩擦損失等の影響のため理論値は実験値よりも大きくなる¹⁶⁾。その後谷野ら^{20), 21), 1)}は、それを斜め入射波が作用する場合に拡張した三次元理論を得た。

振り子式装置に作用する波力については、変換効率の実験に用いたものと同模型について二次元造波水路（24m）で調べた。その結果、振り子板、ケーソン後壁、同底板に作用する平均波圧強度は無負荷時を除くと、通常の直立ケーソンの値以下であること、堤体全体の安定に関しては負荷時、振り子固定時、無負荷時の順に悪く、無負荷時では冲向きに堤体が滑動し易いことが知れた¹⁾。

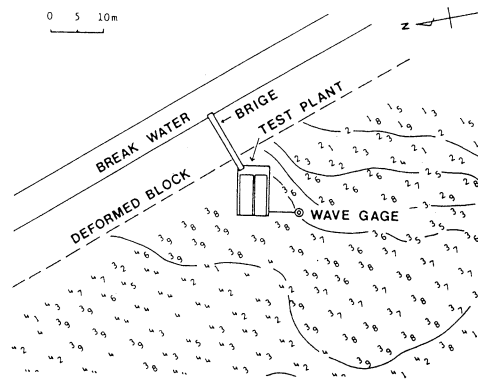
(5) 実海域実験プラントの設置

この種の波浪エネルギー変換用装置が実用に供される際には、不規則な波浪を始めとして厳しい海象条件のもとで稼動しなくてはならないから、それに対応する装置のエネルギー変換や耐久性を調べておくことが大切である。それには室内実験と実用機との中間的規模の実海域試験が行なえるプラントが不可欠である。そこで波浪規模の小さい噴火湾に面する室蘭港南外波堤の沖側に小規模な実験プラント用ケーソンを1980年3月に設置した。図—8、9はその位置を示す^{10), 13)}。

ケーソンは(3)で述べた安定実験と室蘭港の波浪特性を考慮して、プラント位置での入射波高3m、周期7sec.の波を設計波とした。その構造は図—8に示すように、二室からなる海側の側壁が無いRCケーソン状のものである。水車式装置はケーソン設置と同時に片側の水室に設けられた¹⁰⁾が、振り子式は1983年3月に設置された^{22), 23)}。ケーソンは現在迄の7年間に、有義波高 $H_{1/3}$ が上出の設計波高を上回る大時化を幾度か経験したが、安定



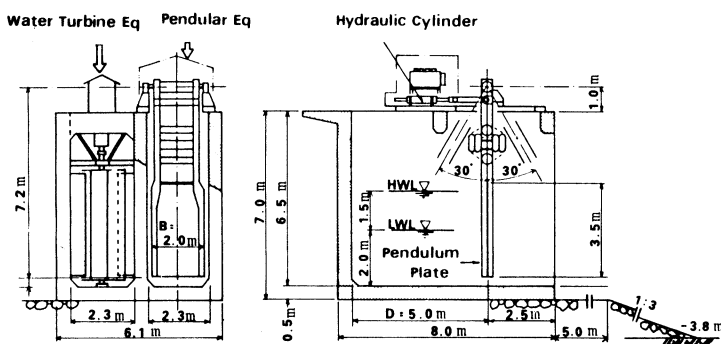
図—8 室蘭工大実験プラントの位置図



図—9 実験プラント付近の深浅図

を保っている。銅製の水車や振り子などの可動部については設計荷重を上回るような場合には被害を受けた。変換効率の実験結果については既に(3), (4)で述べたように振り子式については好結果が得られている。

(6) 取得エネルギー量の推定
前出の(2)の不規則波の浅水変



図—10 実験プラントの断面図と平面図

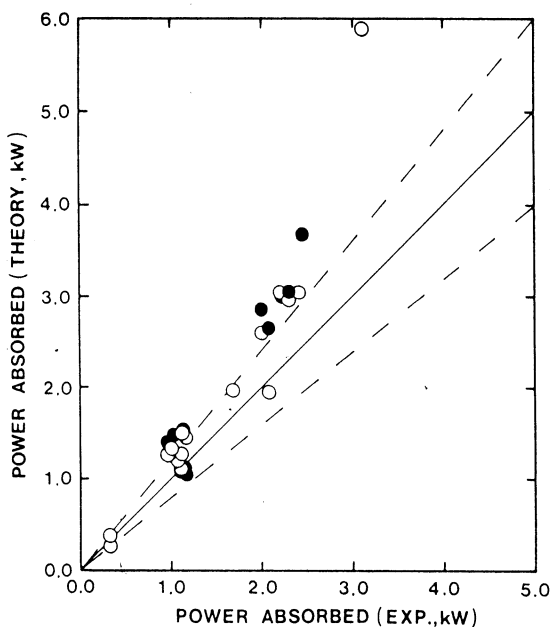
形考え方と(4)の三次元理論を応用して、近藤ら⁶⁾と谷野ら²⁴⁾は沿岸固定方式の変換装置の取得エネルギーを、深水波の波浪スペクトルと装置の特性から推定する方法を提案した。いま周波数 f , 装置に対する入射角 β の単調和波に対して、長さ B の装置が吸収するパワーを $\bar{P}_a$ とするとき、装置の単位長さ当りの吸収係数を次のようにおく。

$$k(f, \beta) = \bar{P}_a(B \cdot \bar{W}) \quad (5)$$

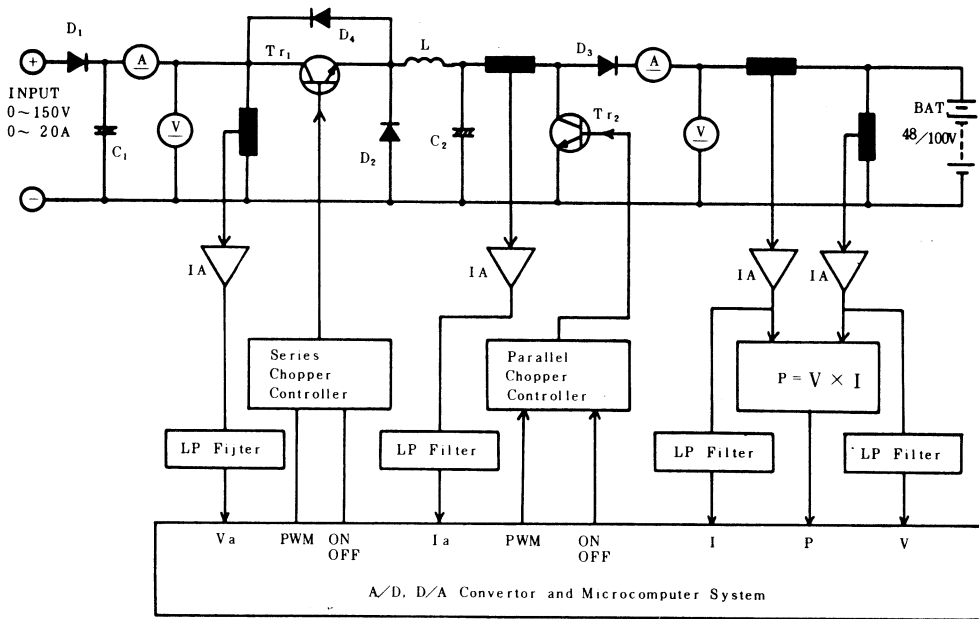
ここで $\bar{W}$ は単調和波の単位峰幅当りの平均パワーである。これより方向スペクトルを有する不規則波について、長さ B の装置の平均吸収パワー $\bar{P}_a$ は下のようにおける。ただし、深水波としての入射角を β_0 としている。

$$\bar{P}_a = B \bar{W} k(f, \beta) = W_0 B \int_0^\infty C_{g,0} \int_0^{2\pi} K_r^2(f, h, \beta_0) \times S_0(f, \beta_0) k(f, \beta(f, \beta_0)) d\beta \cdot df \quad (6)$$

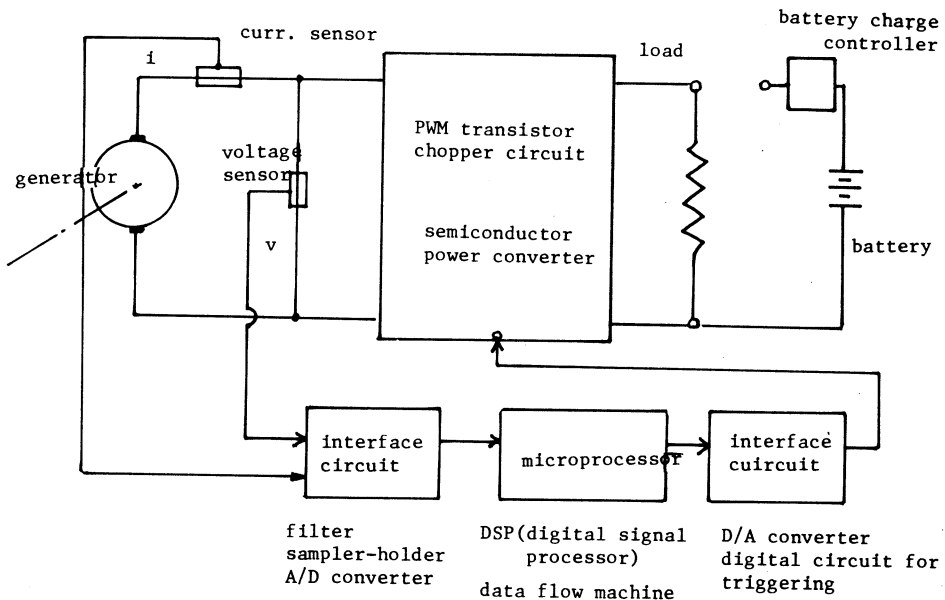
谷野ら²⁴⁾は振り子運動のスペクトルと線形化された負荷係数を用いて吸収パワーの推定を行ない、プラントでの現地実験値と比較して図—11のような結果を得た。図中の白丸はプラント地点での波高計(図—9 参照)から求めたスペクトルによる入射パワーについての推定値に関するものであり、黒丸は沖合(図—8



図—11 吸収パワーの推定値と実測値の比較(谷野ほか, 1986)



図—12 直・並列チョッパ装置回路図（松田，1985）



図—13 最適負荷制御システム（土手，1985）

参照)で観測された深水波のスペクトルから上式で求めた推定値に関するものである。図中の破線は推定値と観測値の関係が $\pm 20\%$ であることを示している。理論値が過大な値を与えているデータは振り子の共振状態での値であり、それを除くと推定値は実験値に比べて平均10%程度大きいようである。線形理論に基づく推定法としては予想できる結果であり、推定法として十分に応用性がある。

4.3 その他の成果

(1) 機械—電気変換と蓄積：松田ら^{1),25)}は沿岸固定式波浪発電を対象とし、発電々力を最大取得率で蓄電池に充電定常化するための半導体チョッパによる充電々力最大化制御を検討した。その内容は、発電機を波力水車模擬装置によって駆動し、発電機と蓄電池との間に直・並列(降・昇圧)チョッパを設け、充電々力最大値を追跡制御することである。図—12は実験に用いたチョッパの回路図である。実験結果は、一定波高の場合は制御効果がかかなり認められたが、波高が連続的に変化する場合は制御効果は少ないことが知れた。織笠¹⁰⁾も発電・充電の制御法を研究した。

(2) 最適負荷制御：土手ら^{26),1)}は振り子式装置の吸収パワーに対する入力パワーと負荷の効果を調べた。そして最大電力伝達を行なうため、パワーエレクトロニクス・マイクロエレクトロニクスを応用した最適負荷制御法を提案した。図—12は全体の制御システムのブロック図である。まず、マイクロプロセッサ出力の指令により、半導体電力変換装置の電力用半導体スイッチング素子のトリガ信号を変化させ、負荷を変化させてマイクロプロセッサ内のソフトウェアで最適負荷探索プログラムにより最適負荷を決定し、それに相当したトリガ信号を発生させて最適負荷制御を行なうものである。

(3) 取得エネルギーの利用計画：波浪エネルギーを変換して得られたエネルギー利用の問題は、何処で、誰が、いずれの用途に、どの形態のエネルギーのどれだけの量を供給するか、ということである。その需要の状況に応じて利用計画がたてられる。近藤ら^{1),27)}はそのような視点から、波浪エネルギーの利用については、(i)我が国の場合は地域的には小面積の離島が最もその利用に適していること、(ii)形態としては電気に限らず熱、動力などの形で利用も行なうこと、(iii)不特定多数の多種の需要に対応できる事業主体とすること、などを提案している。また具体的な計画対象地域として、水力発電所がない焼尻島、天売島を対象にして研究している^{28),29)}。

5. 今後の研究課題

以上のような研究成果が得られ、沿岸固定式による波浪エネルギー利用の実用化を進展させることができたが、今後はさらに次のような課題を解決して取得エネルギーのコストダウンを図り、既存のエネルギーに対抗して波浪エネルギーの実用化できる適地の拡大に努める必要がある。

(1) 入力エネルギー関連：海底地形による入力エネルギーの変化とそれを考慮に入れた装置の経済的最適設置水深の選定基準を考案する。

(2) 一次変換：振り子式装置の異常海象時の耐波安定性と安全運転の対策方法を確立する。防波施設内に装置を平面的に最適配置することによる経済性を図る。信頼性のある防蝕、防水対策を開発する。

(3) その他：他の自然エネルギーあるいはヒートポンプなどの他のシステムとの複合化による取得エネルギーの合理的利用を図る。取得エネルギーの平滑化と貯蔵法の低コスト化を図る。離島、半島などの僻地沿岸域での波浪エネルギーを中核とするエネルギー自給総合システムを計画する。

6. む す び

いまから100年前の1887年に札幌農学校に工学科が設置されると同時に、滞米中の札幌農学校二期生の広井 勇は助教に任じられ直ちにドイツに留学することになった。広井は土木工学とくに港湾工学の分野で業績を挙げ国際的な権威として知られている。1899年に東京帝国大学工学部教授となった後、第2章で記したように波浪エネルギー利用の研究に取り組んでいた。筆者の一人³⁰⁾が同博士の波浪エネルギー利用に関する論文²⁾の存在を知り、それを本学図書館で見出したのは、本研究を開始後かなり経った1980年であった。60年を隔て共に沿岸固定式による波浪エネルギー利用に取り組んだ事実を想うと感慨深いものがある。

波浪に限らず自然エネルギーの利用は難題であることは否定できないが、その実現が人類の究極の福祉をもたらすことを念頭におくならば、研究者としては挑戦すべきテーマである。21世紀をまたず、化石燃料小国である我が国はもとより世界の多くの沿岸国での実用化を目指して、一層深くかつ広い研究を推進する所存である。

謝 辞

振り子式装置について1980—83の期間、共同して研究をされた日立造船㈱の高木又男博士、安藤 見博士、黒井昌明氏、故浅野誠一氏に感謝いたします。増毛町の実用化プラントを始めとする実用化問題について計画する機会を与えられた増毛町、羽幌町、総合エネルギー道民会議ならびに北海道港湾・海岸研究会にお礼を申し上げます。また室蘭港の実験プラントの建設に際してご協力頂いた北海道開発局室蘭開発建設部および室蘭市の関係各位と、ケーソン施工に盡力された北興工業㈱の熊野孝司氏に感謝いたします。

本研究の大部分は文部省科学研究費補助金（エネルギー特別研究、一般研究、試験研究）によって行なわれ、その他に文部省特定研究経費ならびに岩谷財団研究助成金などの支援を受けた。

本学においては、本研究の端緒を与えられた竹内（元）学長、その後もご支援を惜しまなかった吉田（前）学長ならびに小林（現）学長を始めとし、事務局の関係各位に感謝いたします。

終りに、共同研究者であった織笠桂太郎教授、大窪 協教授、尾崎 訓教授、藤間 聡助教授、御協力頂いた教室の教職員各位ならびに卒業論文や修士論文研究として本研究に参加された数多

近 藤 俣 郎・谷 野 賢 二・渡 部 富 治・奥 田 教 海・松 田 敏 彦・土 手 康 彦

くの卒業生諸氏に深い感謝の意を表します。

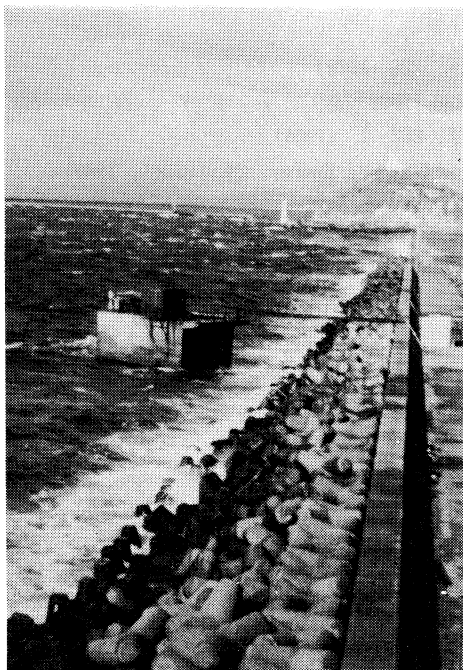
年	室蘭工大関係	国内, 国外関係
1973		第1次石油パニック
1974		ソルター, ダックを発明 (英)
1976	学内プロジェクト研究「クリーンエネルギーの製造と貯蔵」開始	
1977	同上学内研究発表会	
1978	文・科研費「防波施設と併用する固定式波力発電装置の研究」開始	総合エネルギー道民会議発足 「海明」第一期実海域実験
1979	大学公開講座「エネルギー」開催	
1980	室蘭港実験プラント設置, 水車式の実験開始	
1981	土木学会海岸工学講演会論文集に波浪エネルギー利用について始めて発表	増毛町波力発電実用化プラント(振り子式)を完成
1982		日本造船学会誌「海洋エネルギー利用」特集刊行
1983		北海道港湾・海岸研究会「海洋エネルギー利用技術」刊行
	実験プラントに振り子式装置取付, 実験開始	新技術開発事業団鶴岡市三瀬で固定型空気タービン式波力発電の現地試験を実施
1984	第19回国際海岸工学会議(ヒューストン)で発表	海洋科学技術センター第1回波浪エネルギー利用シンポジウム開催(東京)
1985	文・科研費報告「沿岸固定方式による波浪エネルギー利用に関する研究」刊行	「海明」第二期実海域実験 沿岸開発技術研究センター「波浪エネルギーの利用に関する総合調査委員会」発足
1986	第3回波浪などのエネルギー国際シンポジウム(ブライトン)で発表 海洋エネルギー講演会開催(山東海洋学院温保華教授ほか) 第20回国際海岸工学会議(台北)にて発表	クバーナー社(ノルウェイ)多重共鳴型波力発電装置完成

参考文献

- 1) 近藤・奥田・渡部・松田・土手・谷野: 沿岸固定方式による波浪エネルギー利用に関する研究 (文部省科研報告), p.85 (室蘭工大, 1985)
- 2) Hiroi, I: 東京帝大工学部紀要, 十〜一 (1919)
- 3) 矢作・梶原・山崎: 第1回波浪エネルギーシンポジ論, 351 (1954)
- 4) 近藤・竹田: 消波構造物, p.275 (森北出版, 1983)
- 5) Pocinki, L. S.: Trans. AGU, 31-6, 856 (1950)
- 6) 近藤・谷野・渡部・倉内・松岡: 海岸工学論, 32, 697 (1985)
- 8) 近藤俣郎 (編): 海岸エネルギー利用技術, p.120 (北海道港湾・海岸研究会, 1983)
- 9) 近藤俣郎: 技術予測シリーズ, 2-165 (日本ビジネスリポート社, 1985)
- 10) 近藤・奥田・織笠・渡部・尾崎・藤間・谷野: 防波施設と併用する固定式波力発電装置の研究 (文部省科研報告), p.44 (室蘭工大, 1980)
- 11) 奥田・渡部・谷野: 室工大研報 (理工), 10-3, 39 (1981)
- 12) 近藤・谷野・高橋・渡部・奥田: 海岸工学論, 28, 381 (1981)

室蘭工業大学における波浪エネルギー利用研究（1976—1986）の総括

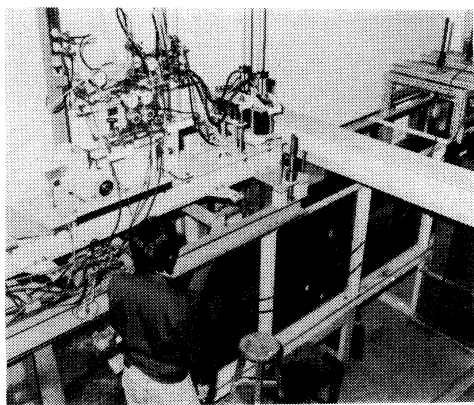
- 13) Kondo, H., T. Watabe and K. Yano : Proc. 19th ICCE, III, 2875 (ASCE, 1984)
- 14) Kondo, H. : Coastal Structures 79, II, 962 (ASCE, 1979)
- 15) 近藤・谷野・渥美・山田 : 土木学会北海道支部論, 36, 226 (1979)
- 16) 渡部・近藤・谷野・竹田・黒井 : 海岸工学論, 29, 486 (1982)
- 17) 渡部・高橋・田中・森 : 日機北海道支部27総会講論集, 862-1, (1986)
- 18) Watabe, T., H. Kondo and K. Yano : Proc. 3rd Symp. on Wave etc. Energy, 281 (BHRA, 1986)
- 19) 浅野誠一 : 造船学会水槽委 2, SK60-14, (1980)
- 20) 谷野・近藤・渡部 : 海岸工学論, 31, 581 (1984)
- 21) Yano, K., H. Kondo and T. Watabe : Coastal Eng. in Japan, 28, 243 (1985)
- 22) 渡部・近藤・谷野 : 日機論, 51-466, 1883 (1985)
- 23) 渡部・近藤・谷野 : 日機論, 52-477, 2267 (1986)
- 24) Yano, K., H. Kondo and T. Watabe : Proc. 20th ICCE, III, 2392 (ASCE, 1986)
- 25) 松田・辻村・鈴木・近藤 : 電気関係学会北海道連論 (60), 85 (1985)
- 26) 土手・谷野 : 第1回波浪エネルギー利用シンポ論, 397 (1984)
- 27) 近藤・渡部・谷野 : 第10回海洋開発論, 78 (1985)
- 28) 近藤・渡部・奥田・松田 : 第1回波浪エネルギー利用シンポ論, 369 (1984)
- 29) 渡部・近藤・谷野・奥田・松田・土手 : 61年度エネルギー特研報告会報告, (1987)
- 30) 近藤俣郎 : 研究会だより, 北海道港湾・海岸研究会, 14, (1981).



写真—1 実験プラント遠景



写真—2 設置前のケーソンと波力水車



写真—3 振り子式の室内実験状況



写真—4 振り子板の取付作業状況