

浮体式波力発電機の後曲げダクトブイ方式による改良について

益田善雄

Improvement of floating-type wave power generator by backward bent duct buoy (BBDB)

Yoshio MASUDA

4-18-2Shonantakatori, Yokosuka-city, Kanagawa pref 237-0066 Japan

Floating type Wave power generator is easy to construct in ship yard and install on sea compared to The Other wave power system including shore fixed system.,

The Kaimei project was carried out during 1979~1982 in Japan as part of IEA Investigation. There were No problem except for little corrosion ,but conversion efficiency from wave to air output must be improved/

The Backward Bent Duct Buoy (BBDB) has been developed as a continuation of the Kaimei test and Early work on light buoys, The basic principle of the oscillating water column has been maintained. But the oscillating mass o f the water has been increased by use of a duct bent under the hull,

Compared air output between .Kaimei and BBDB., BBDB's air ouput for the same air chamber is 13 times Largere than Kaimei.and the BBDB can decrease buoy length to 1/3~1/4//

The BBDB was tested not only in Japan, but also in Ireland (Dr Lewis) and China (Mr Liang) and Denmark (Mr Morgensen. And India (Dr Jalihal),

In BBDB buoy system, two different buoy shape were developed, Cubic front Cylinder back was developed For 5KW class mainly By Chinese Group(Mr Liang) , Cylinder float BBDB is under development by Japanese Group ,Saga University Ocean Energy Research Institutute (Dr Nagata) is working to This direction,

Including small Light buoy,large output 1000 Kw class will be introduced/

1 初めに。

波力発電の最初の実用は1965年に始められた。方式は図1に示した中央パイプブイであり、この40年に2,400個製作された。中央パイプブイは安定性の良い実用的なブイであるが、流れの強い海面では、ブイの傾斜が大きくなる。また、波による空気室圧力は比圧力 $(P/H) = 0.3$ (空気室圧力 P /波高 H) 位であり。出力改善の余地がある。

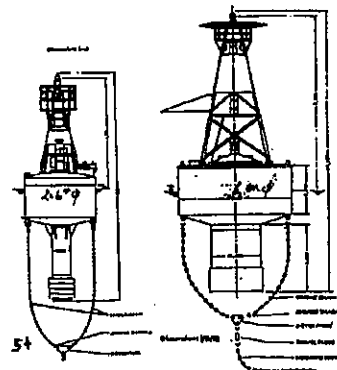


図1 航路標識用波力ブイ (中央パイプブイ)

ブイの実例として、図1に2.6m径の60wattと6m径の500wattの設計例をしめす。このような航路標識を目標としたブイでも、灯光だけでなくラヂオビーコンや、海象観測のテレメーターを増設する必要がある例が多くなり、シリンダー浮体、後曲げダクトブイが研究された。

大出力の波力発電を目標にして。図2海明（長さ80m、幅12m）はIEAプロジェクトとしてJAMSTECにより1979年より1984年までテストされた、またその改良型として図4マイティ・ホエールが海洋科学技術センターにより実験開発された。

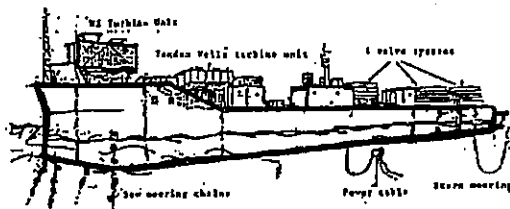


図2 船型 海明ブイ

これらの海上での実用とテストの結果、タービン、発電機は良く作動し、船体、ケーブルそれに係留の安全は確認されたが、波力より空気出力への変換効率の向上が必要と認められた。

その為、海明の次のマイティ・ホエールでは、波の取り入れ口は前方とした。

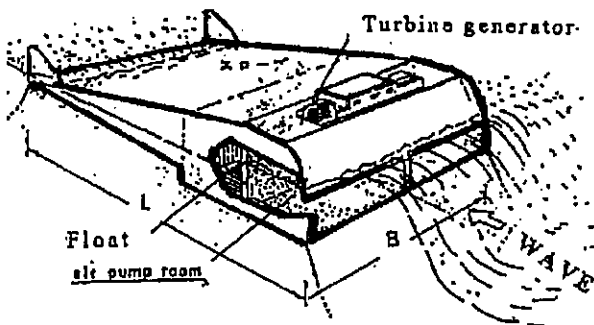


図3. Mighty whale マイティ・ホエール

海明ブイ（図2）、中央パイプブイ（図1）、ともに、空気室は下向きに開いている。しかし得られる比圧力 P/H （空気圧力/波高）は、中央パイプで0.3、海明で0.22と低く、改善の必要が認められた。発電効率を向上するために、ダクトを前向きに曲げた図3 マイティ・ホエールと、ダクトを後ろ向きに曲げた図4の後曲げダクトブイが研究された。

2. 後曲げダクトブイ [Backward Bent Duct Buoy BBDB]

発電出力を向上させるために、空気室をブイ先端につ

け、垂直にのびた空気室は後ろ向きに90度まげられ、ブイ後端から後ろ向きにひらいた図4の後曲げダクトブイBBDBの採用が提案された。此の改良により、比圧力はマイティ・ホエール0.42、後曲げダクト0.6と大幅な比圧力の向上を得られた。

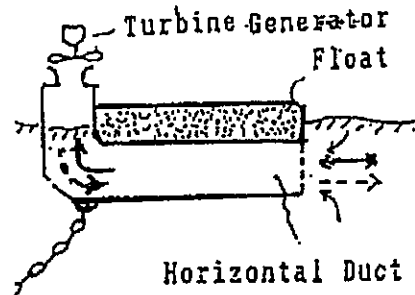


図4 後曲げダクトブイ (BBDB)

BBDBの設計の例として図5のモデルAと図6のモデルBが選ばれた。

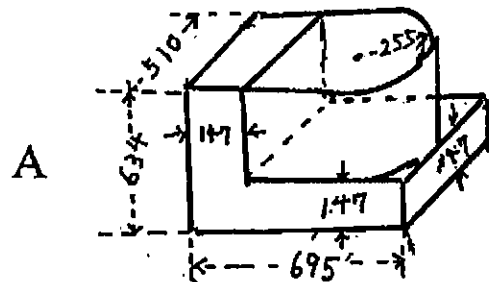


図5 BBDBモデルA.

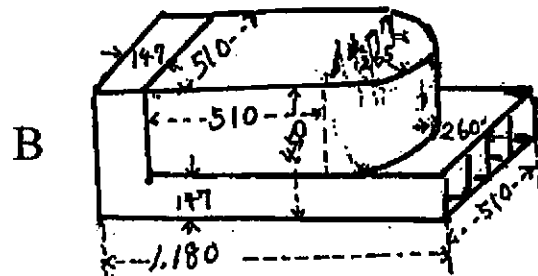


図6 BBDBモデルB

これらのブイの出力をブイ幅当たりの吸収幅で示すと、モデルAは、2.5秒で1.35、モデルBは2.25秒で2.25と高い吸収幅を出す改善である事を示している。

3. 前方推進力の発生と安全な係留。

安全係留は浮体式波力発電でもつとも必要とされる特性である。

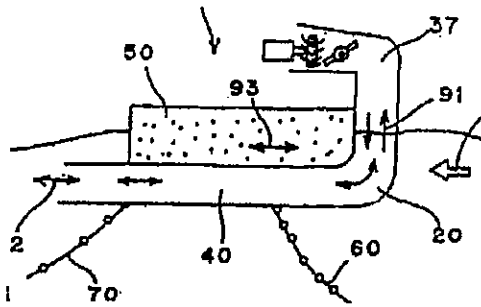


図7 BBDBの前方推進力の発生

図に示すように空気室垂直ダクト中の水の上下運動は曲げダクトで水平方向の運動に変換され、後ろ向きの排出口より後ろ向きに排出され、反動として前方への、推進力を生む。図8はBBDBの係留方向の差による必要係留力の差を示す。後曲げは前曲げに比較して係留力は1/6に減少する・これは大型ブイの安全な係留に大きく貢献出来る。今日迄の海明テストでは最大係留力は日本海で120屯、太平洋ではマイティ・ホエール(50m x 30m)、前方開口が台風の大波で500屯もの係留力が推定されており、この減少が必要である。此の減少策として、後曲げダクトの採用がもつとも有効な方法であろう。

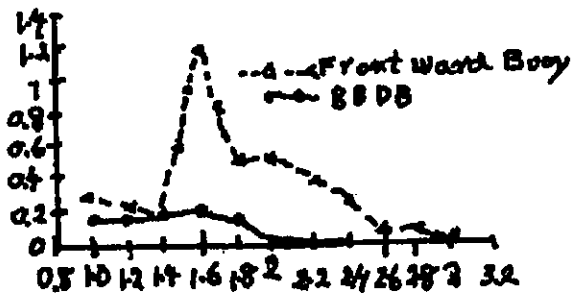


図8 BBDBの方向による係留力の差

図9に示すのは6個のBBDBを横に並べたターミネーターであり、大出力の波力発電や浮き防波堤に、このような、後曲方式はもつとも効果的な方法であろう

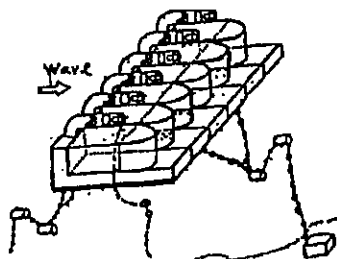


図9 6個の後曲げ浮体を並べたターミネーター(幅132m、長さ30m。の大きさが可能である。)

4. 浮体形状による空気出力の差。

今日までの 後曲げダクトBBDBの研究では、主に、図5、図6に示した前方方形、後方半円筒のブイで進められた。小型モデルは、長さ750mm、巾310mmであり、浮体形状の比較に用いられた。この後、より大きいブイモデルがテストされた。

最初に採用されたBBDBモデルは箱形浮体形状(図10)のBBDBである。これは中央パイプブイ(図1)に比較して2倍出力を向上出来るが、出力が高いのは短い周期であり、長い周期の波では出力が少ない。

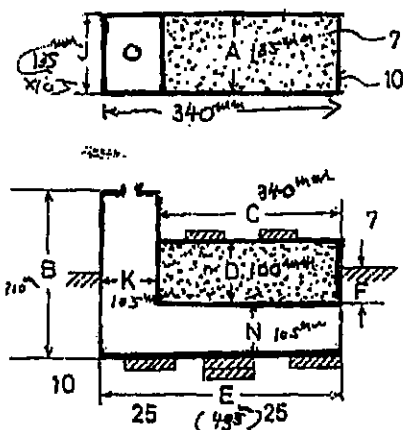


図10 箱形浮体BBDB.

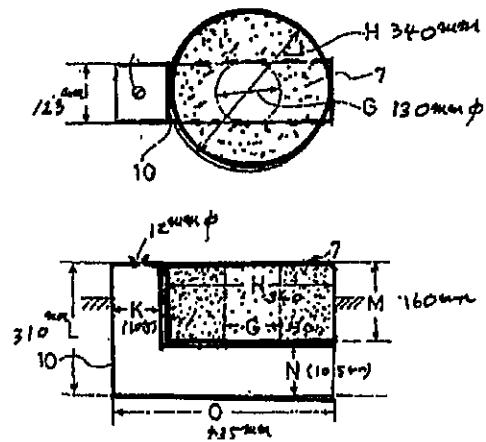


図11 シリンダー浮体BBDB

図14の実線に示すのは、箱形浮体BBDBの周期対空気圧力比、 P/H 、である。

圧力比は0.9秒と短い波周期では、0.4と高いが、1.3秒-1.6秒と長い波周期では、0.13~0.12と低い。

点線で示すのは、シリンダー浮体BBDBを用いる時の空気圧力比をしめす。これには2つのピークがあり、0.9秒から1.4秒の広い波周期中で高い空気出力

を維持できる。

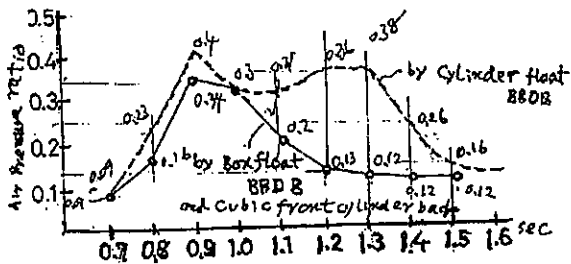


図12 箱形BBDBとシリンダー浮体BBDBとの周期対比空気圧力の比較。

シリンダー浮体BBDBの別の長所はすべてのBBDBの中で一番短い浮体長で高い空気出力が得られる点である。

ブイ長=A, 波長=Lとすると、最大の空気出力が得られる浮体長は

箱形浮体BBDBでは、 $A/L=0.316$ 。

シリンダー浮体BBDBでは、 $A/L=0.156$ 。

浮体長は海明では $AL=1$ 。マイティ・ホエールでは $AL=0.6$ と長い浮体長が必要である。

5. 水槽モデル試験

前方方形 後方半円筒BBDBのモデルでは、延長ダクト付きBBDBモデル (図13) で、延長ダクトの効果を、0.13mと0.26mで調査。その効果を図14にしめす。

最適浮体としては、図15に示す様に、やや長いブイ形状が提案されている。

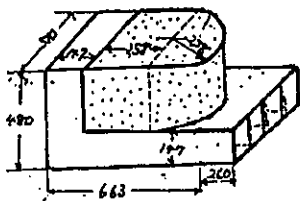


図13 延長ダクト付きBBDBモデル。

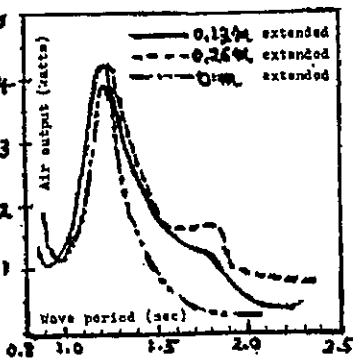


図14 延長ダクトの効果。

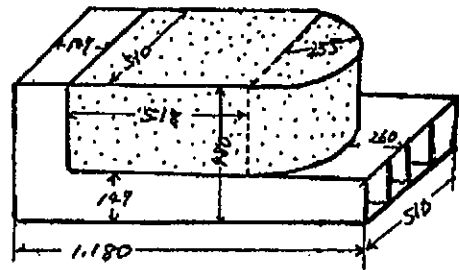


図15 最適形状のBBDBモデル。

日本、中国、アイルランドにおいて3種類のシリンダー浮体BBDBのモデルが波高10cmでテストされた。これらは図16に示す様に、前方方形、後方半円筒のAブイ、シリンダー (B、C) ブイなどで、東海大学での水槽テストでは、図16に示したように、B、Cのシリンダー浮体の方が有利とのデータを得た。しかし、中国の研究者は此の結論に反対であり、再試験が必要と思われる。

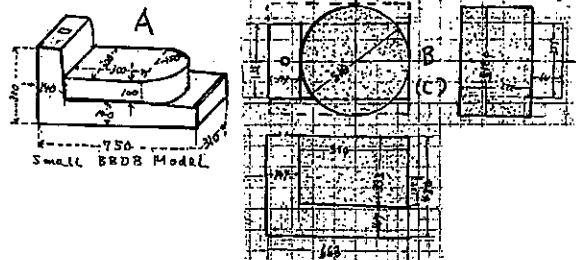
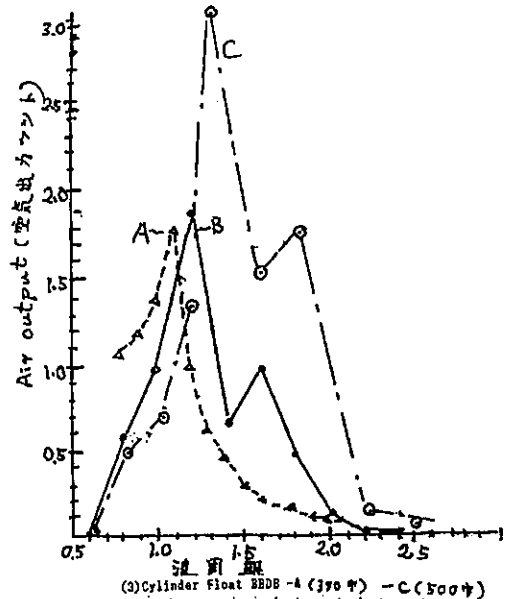


図16 波高10cmの波による、3つの小型BBDBの周期対空気出力。

6. 実海波でのシリンダー浮体BBDB。

近海の航路標識ブイや遠洋の海洋観測ブイとして、

小型ブイの6.8倍のブイを考えてみる。
 ブイ長5100mm。ブイ幅2380mm。空気室幅2380mm空気出力は6.8倍に拡大されたブイで、68cmの波高のとき6.8倍の3.5乗は820倍の出力増加である。これは、周期で2.3-3.1秒、出力で980wattと推定される。(波高68cmの波で)タービンとして図17に示した瀬戸ロータービンを採用することにより;変換効率は30%と低いが、弁の運動部分を無くし、ウェールズタービンのあまりにも高速なタービン回転を押さえ、実用に適した設計とすることが可能となる。

出力として、1浮体BBDBは1620wattから810wattの空気出力が得られる。
 発電出力への効率を30%とすると、500watt~250wattの発電が得られる。
 実用ブイの設計には、大波による転覆を防止することが必要であり、図18はスカートキールブイに後曲げダクトを取り付けたブイの設計の例をしめす。

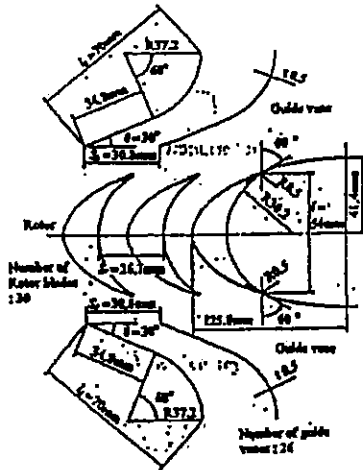


図17 瀬戸ロータービン

更にシリンダー直径を大きくしたBBDBの6倍18m直径の大型のDISCUSSブイを考えると。更に6倍の波、波高4m、波周期6.8秒の大洋海岸で普通に存在する波で1,000KW-500KWの発電が可能と推定される。図18については右上参照。

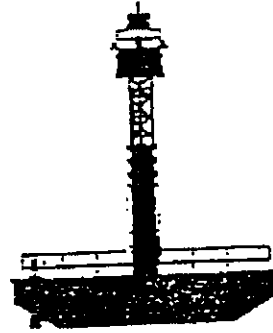


図18 18m大型シリンダーBBDB.

6. 設計の参考となるブイの例・

6-1 深海係留ロボットブイ

世界の海には、各種の深海係留のロボットブイが使用されている。日本のJAMSTECで多数実用されたトライトンブイを図19に示す。これは直径2.4mの円筒型ブイで安定のための下部重量を持ち、バッテリーを電源として長期の観測に成功している。しかし、より長期の運転のためには、波力発電の採用が望ましい。

6-2 大型シリンダー浮体BBDB

直計18mを越すシリンダーブイはどんな大波にも転覆の心配がないブイとして知られている。

図19の3mブイの6倍として、500-1800KWの出力が予想される。

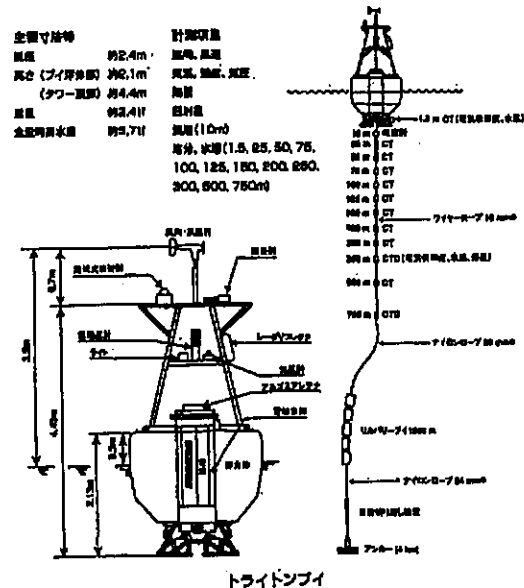


図19 トライトンブイでの海洋ロボットブイ観測。

波力発電研究の目的として、海明、マイティ・ホエールと開発が続けられた大型波力の改良として図21の大型シリンダー浮体が研究の次の目標となろう。

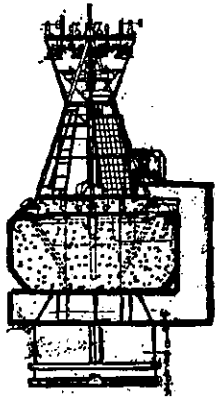


図20 L型ダクトスカートキールブイ

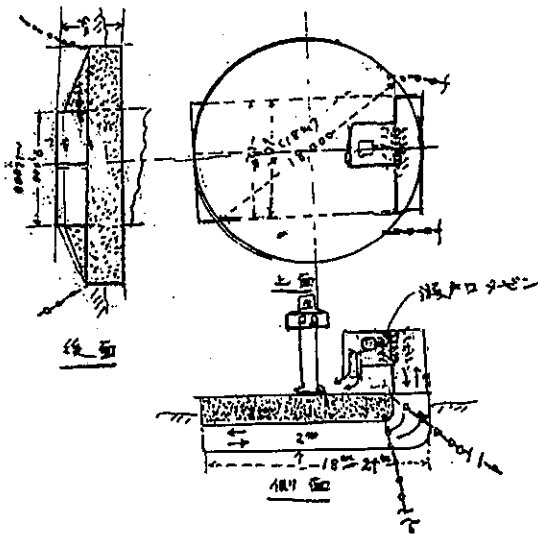


図21 大型シリンダー浮体BBDB.

7. 波力と風力の比較

波は海上を吹く風により起こされる。また、うねりとして遠くから伝わってくる。

表1に示すのは、波力と風力とのエネルギー比較である。

風速15 m/s の場合、幅1 mを通る波力は、500平方メートルの太陽光と50平方メートルの風力に相当する。風力は風速の3乗に比例するのに対し、波力は風速の5乗に比例し、風力は波力に劇的に集中されており、その利用は太陽エネルギーの効率良い変換法として、波力が注目される理由である。

風速 U m/s	波高 有義波高Hs m	周期 To sec	風力 kW/m ²	波力 kW/m
5.1	0.55	3.3	0.08	5
10.3	2~3	6.6	0.67	16
15.4	5.0	9.9	2.3	120.2
20.6	9.0	13.2	5.4	520
25.7	14	16.5	10	1600

表1 波力と風力の風速によるエネルギー比較

8. 波力の世界の海における分布。

図22に世界の海における波力の分布をしめす。60 KW/mの高い波力がアイルランドなどで報告されている。しかし、10 KW/mの低い波力が日本などで分布している。また中間の波力、20 KW/mがハワイを含む多くの島国がある。

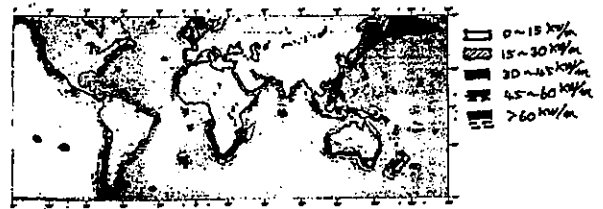


図22 世界の海における波力分布 (USA National Climate Center 資料)。

9. タービン、弁箱。発電器。

海明や航路標識ブイには、弁箱をもった図23の衝動タービンが使用され、8台のタービンが、7年間以上安全に運転された。タービンは直径1.4 m、耐腐食性アルミ合金で比較的高い効率(60%)をもっていた。

マイティ・ホエールには、弁箱の使用をさけてウェールズタービンが使用された次の設計には、佐賀大やリマリツク大で開発された瀬戸口タービンの使用を考えている。それはCresent型のローターと左右においた2つの案内弁をもっている(図24)。

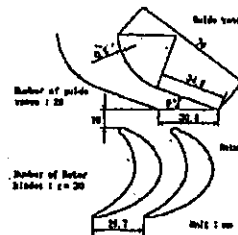


図23 衝動タービン

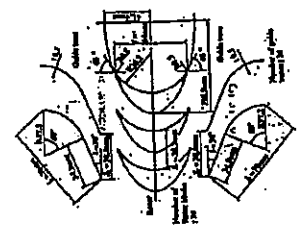


図24 瀬戸口タービン

使用する発電機としては、Wound type Induction Generator の使用が考えられている。そのコントロール法を図25に示す。それを抵抗で制御するときには60%の効率である。抵抗とCAPACITORで制御すると、効率は75%得られる。

抵抗, CAPACITOR Reactorで制御すると、効率は90%得られる。

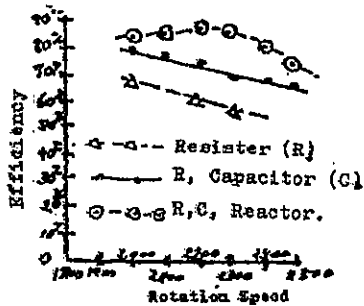


図25 誘導発電機の効率

10. 結論

海洋は地球表面の2/3を占め、波は海洋における、一番多く分布するエネルギーであり、波力発電の改善研究は、後曲げダクト方式の採用により飛躍的前進が見られた。

後曲げ方式で最初に注目されたのは、前方方形後方半円筒の浮体形状をもったブイである。最近より高い効率と小型の浮体形状をもった、シリンダー浮体のブイ

が注目されており、近く佐賀大学 海洋エネルギー研究センターで再試験を計画中である。

これらを、小型のブイとして、航路標識や、海洋観測などに実用するのが、実用への第1歩であり、インドの国立海洋研究所と協力中である。

大型波力発電の研究は、海明、マイティ・ホエールと続いてきたが、現在は中止中である。しかし、波へのエネルギーの集中度が風などに比べ勝る点が多く、波による係留力が後曲げダクトの効果により1/6に減少するなど、改善或いは向上が期待される点が多い。

また、海明、マイティ・ホエールの7年と2年計9年の海上テストで船体、タービン発電機、係留装置、ケーブル等の長期寿命が確認済みであるので、出来るだけ早期に実用化に踏み切るべきである。

