

タンデムウエルズタービンの実機性能試験

Performance Test of Tandem Wells Turbine

益 田 善 雄*

Yoshio Masuda

1. はじめに

海洋科学技術センターでは、波力エネルギーの利用を計るため、この10年、海明の実験を続け、最近無事実験を終了した。

海明は長さ80m、巾12m、高さ5.5mの船型をしたブイであり、船体が波長の1倍以上長い時に、波に対し動かないので、下面を波に対し用いた多くの空気室で波力は往復する空気流に変換され、空気タービン発電機により発電する。

空気タービンとして最初に実用されたのは衝動型タービンである。

ウエルズタービンが海明試験に登場するのは、最終年度の昭和60年の海上実験であり、この時にタンデムウエルズタービンが1台、衝動タービンが3台、それに米国のマコーミックタービン1台が試験されている。

この前に、新技術開発事業団の開発課題として、沿岸固定型の波力発電が試験された、また、別にノルウェーや英国でもウエルズタービンを用いた波力発電は試験されているので、これらを比較しながら、紹介する。

2. 海明実験の概要

海明については、外の先生からも紹介されると思うが、海洋科学技術センターとして一応、その概要をのべる。

図-1に示すのは昭和54年度海上試験中の海明であり、衝動タービン型の8台の波力発電機が搭載されている。

図-2に示すのは、タービン発電機（縦型）であり、125kWの発電容量のものである。

図-3には、弁箱を示す。これを50平方メートルの空気室の

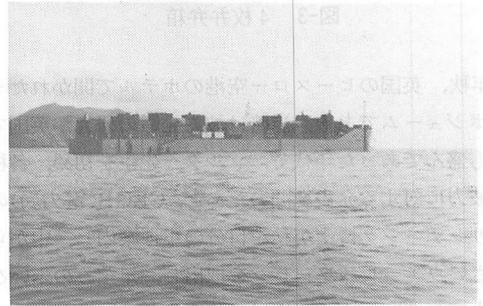


図-1 昭和54年度海明

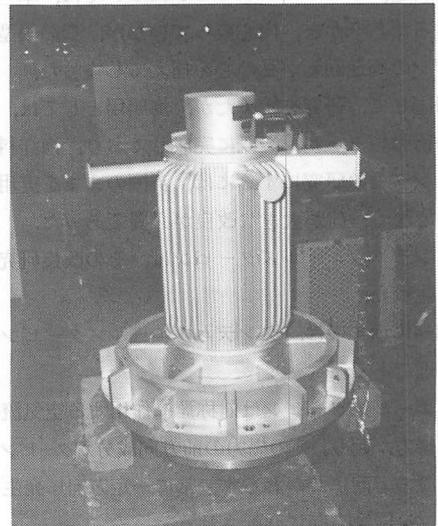


図-2 縦型の125kW発電装置

上におき、空気流を同一方向の流とするもので、中に125kWの発電ユニットが入っている。

この海上試験の時には、8台のうち1台の発電出力はケーブルで3km離れた由良の系統へ供給された。

7台は海明の上で熱として消費され、データはテレメーターで陸上へ送られた、他の7台の出力は海明上で消費され、データがテレメータされた。

3. タンデムウエルズタービン採用の理由

私がウエルズタービンを初めて見たのは、昭和43

* ㈱緑星社技術部顧問

〒166 東京都杉並区成田西3-9-11

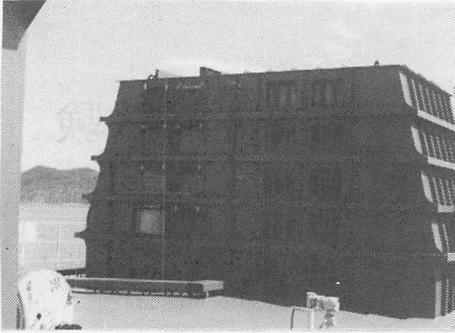


図-3 4枚弁弁箱

年秋、英国のヒースロー空港のホテルで開かれたシンポジウムである。当時は波力発電の研究が英国で最も盛んであった年代で、ソルター先生を初め、各種の波力に対する発表を聞いたあと、CEGB(電力局)のグリーンディング博士が私を自分の車に案内し、中から小さいウエールズタービンを取出し、足踏みのふいごの上で高速回転するのを見せてくれた。

これ迄、ウエールズタービンについては、本当に回転するだろうか、内心凝っていたが、このモデルのタービンの高速回転が私の心を捕えてしまった。

帰国して、研究を始めたが、海明用としては、4枚弁の衝動型タービンを既に完成しており、海洋科学技術センターの研究にするには、英国のままを実用化するのでなく、何か大きな改良が必要であった。

タンデムウエールズタービンは、その改良研究の中から生れた。

図-4に示すのは、タンデムウエールズタービンの作動原理である。

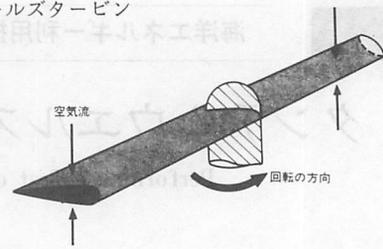
ウエールズタービンは対称翼に作用する空気流によって揚力が起り、その揚力の前方向成分がタービンへの空気流の方向にかかわらず、常に一定方向に発生しタービンを同一方向に回転させる。

この時、タービンを回転させる方向の力の5~6倍もの軸方向の推力が発生し、推力の方向は波の半周期、2~4秒毎に変わる事となる。

タンデムウエールズタービンは、この推力を相互に打消し合うように、2枚のウエールズタービン翼を発電機の両側にタンデムに配したもので、米、英などで特許が確定している。

英国やノルウエーでは、タンデム配置としない縦型の発電機の下に推力軸受で1枚のウエールズタービンを置く方式を採用して実用化の研究を進めているが、タンデム配置にすればスラスト軸受でなく、玉軸受を

ウエールズタービン



原理図

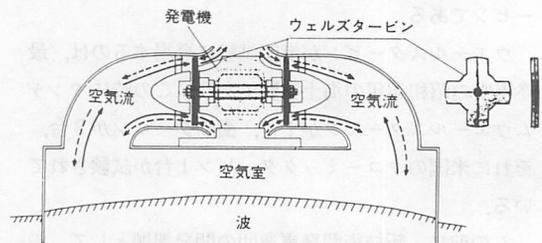
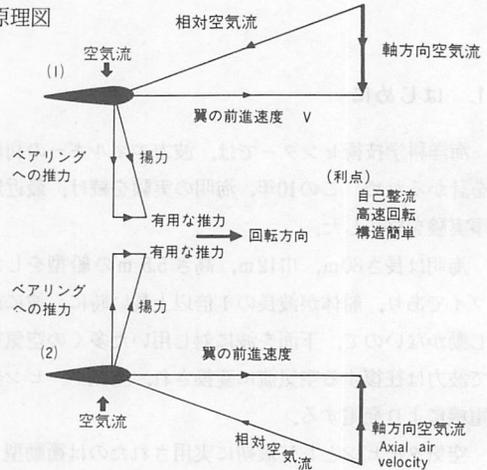


図-4 ウエールズタービンのタンデム配置と軸推力の相殺効果

採用できる。

この玉軸受を採用する設計の方向は、玉軸受がスラスト軸受に比較して回転の摩擦係数が約半分と軽く、ウエールズタービンの初期起動に有利である点と軸受の限界回転数が玉軸受の方がスラスト軸受(1例、自動調心コロ軸受)の2倍と高くとれるので高速で回転するウエールズタービンの軸受として有利と考えるからである。

無論、潤滑を油とすれば、スラスト軸受でもグリース潤滑の玉軸受と同程度の限界回転数は得られるので、ノルウエーのような設計も可能ではあるが、海上における長期の無保守運転を維持するのに、密封されたグリース潤滑を採用して行くのが適当と考えタンデムを採用した。

これは20年を越える小型タービンのグリース潤滑の

使用実績と海明上での油潤滑の故障が多発した経験によるもので、グリース潤滑なら、1年に1回のグリース補給で無人運転出来る。

4. 基礎研究の実施

ウエールズタービンは、英国の北アイルランドのクイーンズ大学の工学部長であるウエールズ博士の発明になるものであるが、最初のブイ上での海上実験がブイの流失事故により失敗して以来、英国の中での開発が余り進んでいなかった。

ウエールズ博士の要望もあり、私等も実用化に協力することとなったが、当時は海明の第2期海上実験の最盛期であり、船首に近い使用してない小空気室の空気出力を利用して直径60cmの4翼ウエールズタービン（緑星社製）を運転してみた。これは実海波でウエールズタービンを運転した世界で最初のものである。緑星社の試作品はローター外径590mm、ボス径300mm、羽根枚数4翼、翼形状NACA0021、翼巾160mm、翼厚さ34mm、材料ヒドロアルミであり、発電機は3.5kW誘導発電機で、発電出力は系統へ送電しながら計測した。

誘導発電機の回転速度は1,500rpmと3,000rpmの2つの条件でテストされたが、ウエールズタービンは動翼のみで案内翼のない簡単な形状のものであった。

実験の結果、最も心配した自己起動できるかの点は海波が1.3m位になると高速回転に自分で入る事、また一度高速に入ると波高が0.6m位に下っても高速を維持することを確認した。

計測された発電出力は1~4kWで、空気より電力への変換効率も50%と満足できるデータであり、この海明上でのウエールズタービンの成功により、海明実験の次の目標として、無弁式タービンの開発が提案された。

昭和55年の夏に、海明は由良沖から兵庫県相生に曳航され、5年間も海明実験は休止の期間を迎えることとなる。

海明を撤去した。山形県由良沖の海面には鎖やケーブルの位置を標示するために、小型の波力発電機をつけた航路標識ブイが現場に係留された。このブイ上で各種の小型タービンシステムがテストされた。その中の主なものが、タンデムウエールズタービンである。

これは、海明の第2期海上実験だけでなく、新技術開発事業団（三井造船KK、富士電機KK受託）で実施した。三瀬の沿岸固定式の設計のため実物の1/10縮尺のものとした。

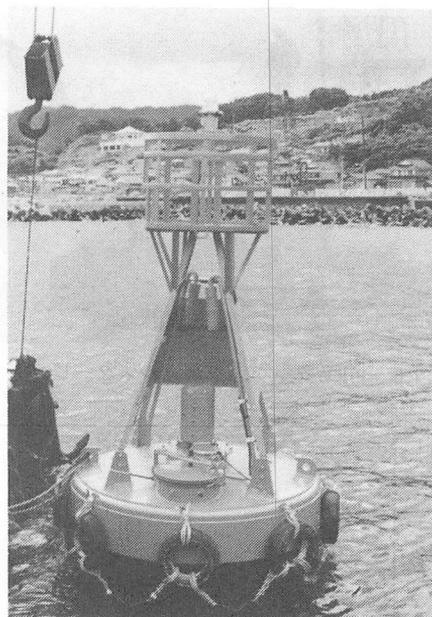


図-5 由良沖でタービンテスト中のブイ

このために、海洋科学技術センターで、小型のウエールズタービンを試作し緑星社で造った高速発電機と組合せて、昭和56年、57年の2年間、ブイの上でテストした。

昭和56年の試験では、約半年後に、発電機の軸が切損し、かつ発電機への水気の侵入が見られた。

昭和57年には、発電機を改良し、軸受部分のラビリンスパッキンを改良して、再度試験した。この時は無故障で1年を経過し、タンデム型ウエールズタービンの実用化のための第一の関門を通過できた。

図-5に、由良沖ブイで試験中の状況を示す。なお、このブイの上では、1枚弁式の衝動タービン(A)、タンデムウエールズタービン(B)、サーボニアスタービン(C)が各々1年づつ実用され、ブイの灯光に電力を供給し、安全な運転が確認出来ている。

この小型のタンデムウエールズタービンは、その後、鶴岡高専の丹先生にお願いして、効率の測定を実施して載いたが、定状空気流で、空気流から発電出力(AC)への変換効率でピーク22%とかなり、良好なデータが得られている。この効率は航路標識用の衝動型の実用タービンと略同程度の効率であり、注目される。

この1/10縮尺テストを踏まえ、40kWが設計された。

5. 40kW性能試験

沿岸固定式の開発については、富士電機KKの平本氏より発表されるので、重複する点は避けて、海洋科学

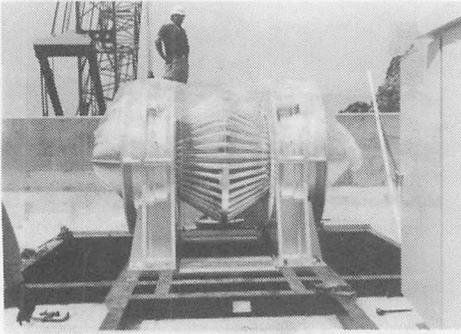


図-6 40kWタンデムウエールズタービン

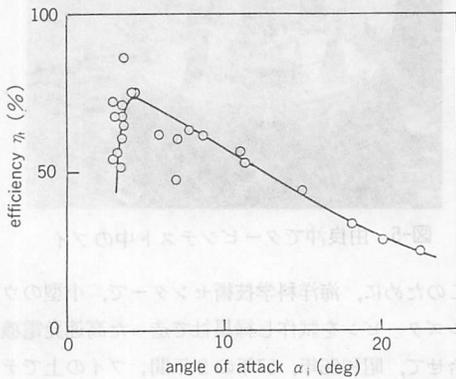


図-7 タービン効率特性

技術センターとして実験した分につき紹介する。

波力発電を行う時、浮体状にするか、沿岸または海底に固定型にするかは一つの問題である。

海明は浮体式の代表的な例である。沿岸固定型は天然地形を利用し、出力が大きい長所があり、山形県鶴岡市三瀬での昭和58年度の試験は、予想通りの40kW発電に成功し、また発電出力平滑化の見通しも得ることが出来た。

図-6に示した40kWタンデムウエールズタービンは50平方メートルの広さを持った沿岸固定空気室の上でテストされたものであるが、空気タービンは外径1,337mの16枚翼のもので、ステンレス鋳鋼でつくられ、定格出力40kW回転数範囲700～2,250rpm、発電機の両側にタンデムに配置してある。

ブローアー試験の結果測定された効率率は、図-7に示すように、最高、75%であるが、風速とタービン回転数により変る迎え角により変化するので、変動する空気流では55～60%程度がタービンの変換効率と推定される。

この外、タービントルク、タービン差圧など18kW位までの発電出力で測定された。

非常に興味ある測定データとして、ローターを通過する時の圧力降下は同じ軸流速度のときに於ても、タービンローターの回転速度により大きく変る現象がある。

いま、軸流速度10m/s一定として、タービン速度が1,500rpmの時、圧力降下は380mm、2,000rpmの時、圧力降下は600mmAqと高くなる。

タービンの回転速度を高くすれば、一つの翼で受持てる空気圧力差をかなり高く取れる事が明らかになった。

現在の日本の設計では最高2,260rpmに回転数を押えているが、これはタービン直径1,337mmであるので、チップ風速158m/sに過ぎない。

音速340m/sまでには2倍の余裕があり、タービン速度を2倍にすれば、出力を400kWと増大する事も可能と考えられ、これは、略同じ寸法を持ち、同じ大きさの空気室(50m³)に取付けてあるノルウェーの発電装置の出力が500kWである事からも理解出来る。

本タンデムウエールズタービンの出力を50kW程度にしたのは、出力を過小に設計していると結論される。

6. 第2期海明実験

海明の実験を再開するには長い年月を要した。5年の休止のあと、米国がマコーミックタービンを提供して参加し、それにアイルランドが加わって昭和60年7月より1年間、再度由良沖で実験が再開された。

図-8に船首より見た第2期海明であり、船首に見えるのは米国が提供したマコーミックタービンの発電室である。

図-9に海明を斜め後から見た第2期海明であり、第1期海明の時に活躍した4枚弁の弁箱に入った衝動型タービン発電機が船尾に2台、船中央に1台取付き、船首に米国のマコーミックタービン、その後、タンデムウエールズタービン発電装置が取付けられている。この外3台の位相制御装置も準備して実験が1年間続けられた。

第2期海明での試験の第一は空気タービンシステムの比較であった。衝動型タービンとタンデムウエールズタービン、それにマコーミックタービンの3種類について比較実験した。

図-10にマコーミックタービンの作動原理を示す。このタービンは2重反転ロータを持った無弁式である。

この3種類の空気タービンはいずれも海上実験で円滑な運転が確認され、その効率も大差なく、いずれの方式も実用できるとの見通しを得た。特長として、衝

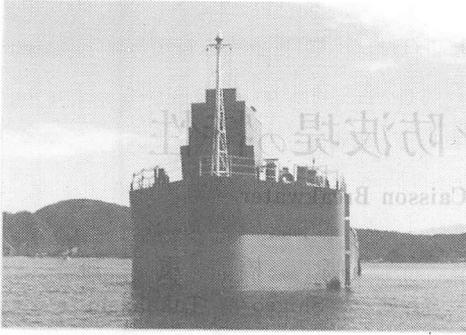


図-8 船首より見た第2期海明

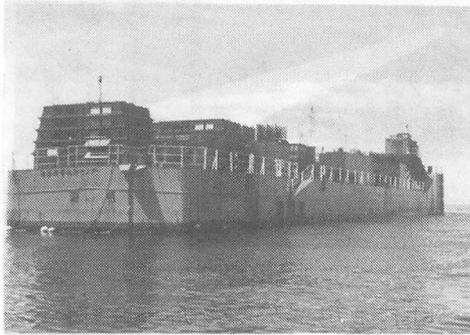


図-9 斜後より見た第2期海明

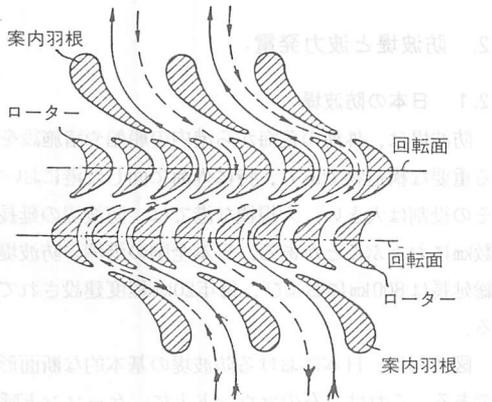


図-10 マコーミックタービンの原理説明

動タービンは弁が必要であるが、効率は良好である。
 タンデムウエールズタービンは高速で小型に製作できる反面、高速回転にともない音の問題を解決することが望ましい。
 マコーミックタービンは無弁式の一種類であり、海明上で最初に海上試験された。これは、低速の空気タービンであり、用途によっては採用できるものである。
 海明の海上実験では、係留の安全、発電装置の長期寿命、(含船体)それに、海中ケーブルの安全性などが確認されている。

但し、波から空気出力への変換効率が予想外に低く、経済的発電には至っていないのが残念である。

7. 将来の見通し

昭和61年6月に米国土木学会主催の波力シンポジウムがサンチェゴ市のスワリップ研究所で開かれた。

発表の中で一番注目されたのは、ノルウェーの沿岸固定式波力発電であり、年間平均200kW、大波の時平均500kWで、ピークでは1,000kWの発電に成功している。

日本の三瀬の出力が40kWである点にくらべて、10倍の改良であった。

日本でも、空気室の設置水深を深くし、同じ出力のものを製作出来る自信は充分ある。

これにより、発電単価もKWH当り20円に低くなり、波力の経済性が得られよう。

海明の延長にある浮体式についても、多くの改良案が提示された。私が発表したのは、後曲げダクト式の波力ブイである。

これは後向きに曲げたダクトを持った浅吃水のブイであり、予想以上に空気出力が大きく、保留力も小さいので、海明の発展として浮体式の波力発電装置のホープとなる可能性を秘めている。現在航路標識用の小型ブイへの実用化研究中であり、流に強く、発電出力の大きなブイへの用途を確立し、そのあと離島用500kW級を目指して双胴型のもをを目指して進む考である。

世界で最初的大型波力装置海明の成果を生かして、今後、沿岸固定、浮体とも経済性ある発電装置を完成することにより、次のエネルギー危機に備え、波力発電の実用化は進むであろう。