

台風エネルギーを利用する発電船の基礎的研究

寺尾 裕*¹

A feasibility study of typhoon energy utilization using mega yacht system

Yutaka TERAO

Abstract

Typhoon, hurricane or tropical cyclone are characterized and driven by the release of large amounts of latent heat of condensation. It is said that an average typhoon has a huge energy of 10^{18} J, which is enough for annual Japanese electric power. But until now, there are no idea or technical discussions to utilize such strong wind energy sources for human beings. Therefore, if we could develop a system that generates electricity directly from the typhoon, we could obtain clean and abundant energy. In this research, we propose the concept of a floating power plant designed as a mega sailing yacht with some underwater power generators. This power plant operates using typhoon or strong wind energy with its sails and the underwater propeller generators that yield electric power, which will be stored by batteries or H_2 conversion. Our feasibility study shows that using the 1000 mega yacht fleet, the annual electric power in Japan can be easily obtained with no CO_2 emission. We also compare our concept with the mega-float wind power concept proposed in Japan.

Keywords: natural energy, utilization of typhoon energy, mega sailing power plant ship

1. 概 要

人類の経済活動による大量の CO_2 排出により、地球温暖化が引き起こされその結果大きな環境変化が起こる可能性があるということが言われている。そのため、環境に影響をあたえない、優しい自然エネルギーの利用が叫ばれていて、様々な自然エネルギー利用に関する研究が各国で精力的に進められている。ここでは今まで利用されてきた風力発電の可能性に注目して、新たなエネルギー資源として考えることのできる台風エネルギーの利用方法について提案する。

風力エネルギーの発生要因は、太陽エネルギーによる地球規模の大気の熱交換と考えてよい。そのため、地球温暖化が進めば熱エネルギーの蓄積がすすみ、強風の発生までが予想できる。しかし、強風のエネルギー利用はいままで

検討されることが少なかった。多くの研究は風力発電システムに台風の強風に耐える設計を与えるための様々な工夫に関するものが主であり、台風そのものを風力発電そのものに応用するという考えは今まで提案された例を見ない。

台風のもつエネルギーは強大であり、中型台風でも 10^{18} J という大きさを持ち、年30個程度発生する。台風のエネギーの供給源は熱帯地方の温められた海水の熱エネルギーであり、もし地球温暖化により海表面温度の上昇が起こるとなれば、台風に供給される熱エネルギーがより大きくなり、その結果台風の規模そのものが大きくなることが予想される。

事実、発表されている気象庁による海表面の毎年の温度計測データは、毎年上昇傾向にある。この海水面温度上昇が巨大台風の増加と数の増加を引き起こすという気象学者の指摘があるが、そのことは当然台風の災害規模拡大を意味し、特に日本に上陸したときの被害の拡大も予想され

る。

もし、台風のエネギーを少しでも吸収できれば、地球の熱エネギーを吸収することになり、また台風の持つ強大なエネギーそのものを小さく押さえる可能性がある。ここで提案する強風域での発電システムを用いて、今まで用いられてこなかった強風のエネギーを利用し、発電することを考える。発電した電力を利用して、海水の電気分解を行い、水素を発生させその利用を今後進めることになれば、人類はCO₂ Freeの新たな巨大なエネギー資源を手に入れることが可能となる。

Fig. 1 に全世界における消費エネギー動向を示す。この図によれば2060年までに地球上に化石燃料、ウラン等全部の再生不可能なエネギーが消費され、以後地上には自然エネギー以外には使用できるエネギー源が無いことを意味している。そうなる前にCO₂の放出が、今のまま続けば地球上の温暖化が進み、人類はおろか生物そのものが生存できなくなる可能性を示す。このような未来は断じてあってはならない。そのため、自然エネギーの積極的な利用について考えを進める必要がある。ここでは風力エネギーの利用に焦点を絞り問題を考える。

2. 洋上風力発電方式 (2006年第3回洋上風力発電フォーラムより)

2.1 浮体固定式洋上発電プラント

全世界的に見ても自然エネギー利用の面から、水力利用以外には風力エネギー利用はもっとも成功した分野であり、日本でもその利用は年々進んできている。しかし、日本の電力需要をまかなうには、風力発電プラントの適地は、日本の狭い国土においては限られていて、風力利用を推進するには洋上に展開するしかない。しかし、Fig. 2 に示す、ヨーロッパでは成功している浅海域に設置できる固定式は、日本ではそれらの海域が望めないことや複雑な漁業権などにより、すぐに飽和してしまうことが明らかである。そのため日本では近未来に備え浮体式が検討されるに至っている。

Fig. 3 から Fig. 5 に日本における各研究機関の提案する方式を示す。これらも、日本の消費エネギーを考えると十分な数の展開ができないとされている。

2.2 セイリング式 (マリンフロート推進機構「平成17年度外洋利用」 大型浮体システムの開発(調査)報告」より)

この方式は、日本で提案され大変ユニークな概念であり、その概要を以下に示す。

浮体部分はメガフロートを用い、帆走による走行性能を

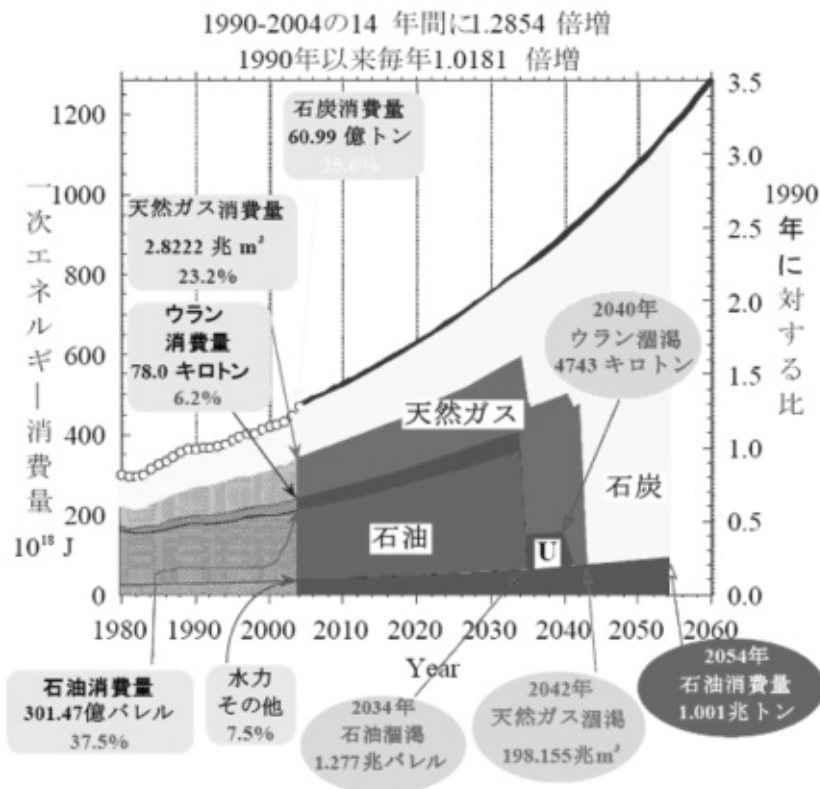


Fig. 1 Annual energy consumption of the world and rested energy resources of the earth
(H19.10.10: 独立行政法人国立環境研究所; セイリング型洋上風力発電研究成果報告会予稿集
「グローバル二酸化炭素リサイクルと海水の直接電解」橋本功二(東北工大)より)



Fig. 2 Fixed type wind power plant (Denmark Wind Farm)



Fig. 3 Spar buoy type wind power plant (TEPCO)



Fig. 4 Floating type wind power plant (Proposed by Tokyo Univ.)

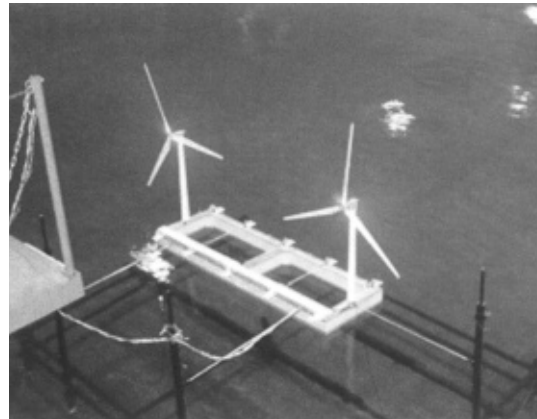


Fig. 5 Floating type power plant (NMRI)

もたせ風域の適地に移動し、浮遊を続けながら発電を行うという構想である。Table 1 にその構想の主要寸法を示す。これらを広大な日本の経済水域に多数の浮体を浮かべ発電を行い、日本の電力エネルギー需要をまかなおうという計画である。これについて、以下検討を行いその構想の詳細と、その次の新システムを提案する。

Table 1 Principal dimension.

Length	2km
Breadth	70m
Steel weight	114,600ton
Displacement	199,000ton
Windmill	11units×5000kW

Fig. 6 から Fig. 9, Table 1, Table 2 に筆者も研究に参加し、2006年にまとめられたマリンフロート研究機構における洋上風力発電浮体に関する研究成果の一部を示す。Fig. 6 に概念図を示す。この浮体は前後に配置した4翼の帆で走行する。走行パターンは Fig. 7 に示すように、横風状態で帆走し、通常のヨットのように帆走による横流れ

を多数配置したストラットの発生する揚力で防止する。そのため、走行はスイッチバックという通常の帆船で用いられるタッキング(上手回し)とは大きく異なる走行パターンをとる。

この浮体の帆走性能を Fig. 8 に示す。大型の浮体は、浮体の排水量に比べて小さな帆走機装しかもてないので、当然風上に切り上がる事は得意でなく、風上に切り上がるには船底に配置したスラスターの力を用いる。走行速度も

Table 2 Estimated performance of the mobile mega float

① Summer season	
Power output	: 4.70E+06[kWh]
Thruster power	: 1.62E+06[kWh]
Operating ratio	: 78.7[%]
Power Plant Operating Ratio	: 12.8[%]
② Winter season	
Power output	: 1.02E+07[kWh]
Thruster power	: 0.00E+03[kWh]
Operating ratio	: 79.1[%]
Power Plant Operating Ratio	: 26.4[%]

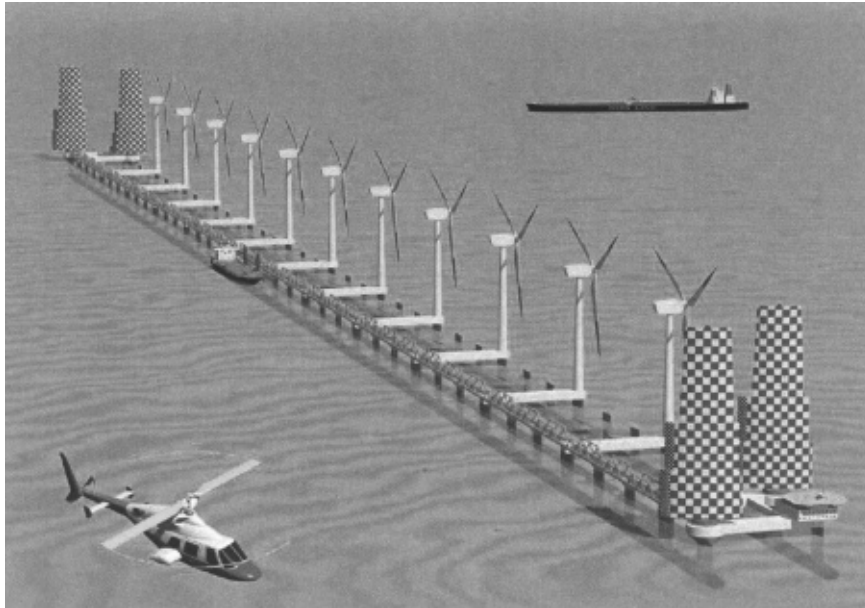


Fig. 6 Perspective view of mobile mega wind platform

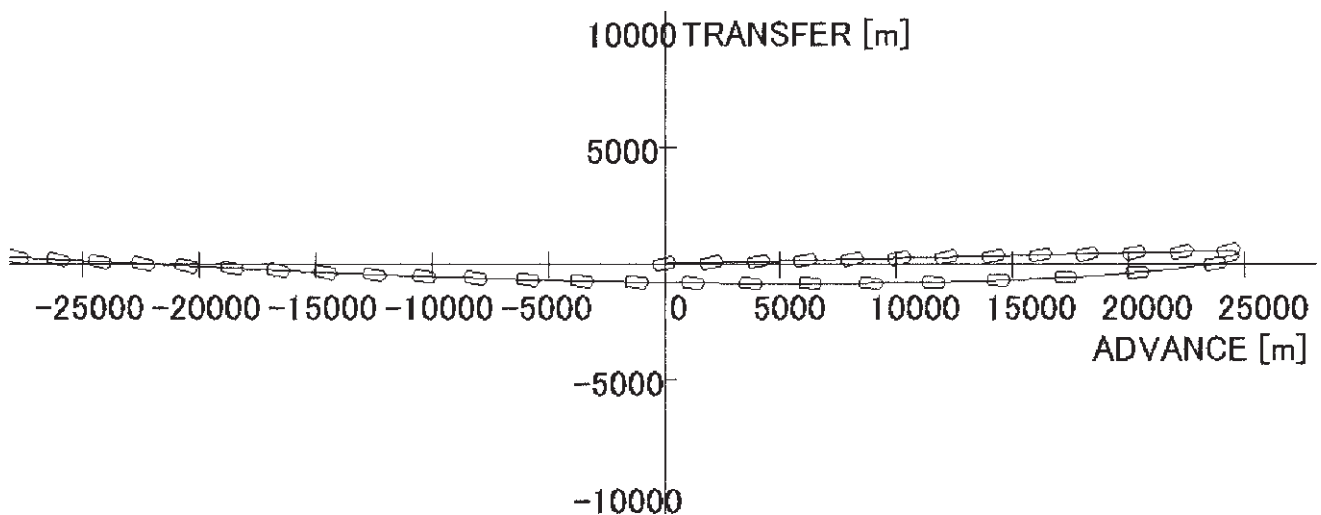


Fig. 7 Mobile mega float transfer trajectory of operating course to stay sea area.
(マリンフロート推進機構「平成17年度外洋利用大型浮体システムの開発（調査）報告」より）

大きく取れず，台風等強風や荒れた海域からの脱出にはスラスタと帆走を併用する．そのために24時間前の気象情報より走行戦略を立て，安全な航路を選択する必要がある．

Fig. 9 に操業海域を示す．当然この海域では台風の発生時期があり，それでも台風の風エネルギー利用を考えるわけであるが，この船体の構造上強風域にはとどまらず避航を行う．このときにはスラスタをほぼ全力で使用するが，そのエネルギーは発電し蓄電したエネルギーを利用する方式であり，せっかく貯蓄したエネルギーの放出となる．

Table 2 にこの形式の稼働率と季節による発電効率，施

設利用率を示す．季節にもよるが稼働効率として考えるとそれほど高いとはいえないであろう．（木下ほか2005，高木ほか2006，田中ほか2006）

3. 洋上浮遊式発電システムからの新たな発想について

洋上浮遊式発電システムの検討委員会での様々な検討を重ねた中で，我々にはいくつかの改良点が考えられる．1つは浮体そのものの小型化に関する事，もう1つは走行速度の向上である．また高速走行を帆走で達成できないかという点についても考えてみる必要がある．

洋上浮遊式発電システムの持つ低い走行能力では、台風襲来に備え逃げて安全な水域に到達するにも、長時間かかる。そのとき、走行性能が十分でなければ安全性能も確保できないばかりでなく、また目的の操業域に到達するにも長時間かかり操業率を低下させる。

この洋上浮遊式発電システムにおける緊急時の帆以外の推力確保にはエネルギーを消費し、せっかく蓄積してきたエネルギーを消費するという根本的な問題点を有する。特に高いエネルギー吸収の可能な台風域の強風域に入ると、危険区域よりの避航となり、装備されている帆走装置だけでは速度が不足し、船体に備えられている推進装置を駆動してようやく避航速度を確保しているにすぎない。これも大型化した船体の影響を大きく受けているといわなければならない。

また、この浮体形式では発電効率を高めるために必然的に大型化する。なぜならエネルギー吸収のための経済性を重視し、高効率の大型の風車を多数配置する必要があるからである。また、風車間の有害な干渉をなくするために、一列に浮体構造の上に風車を並列に配置する必要があり、そのため長大な浮体構造物が必要となるという大型化の設計スパイラルを持つ。

委員会で検討された寸法は、長さ 2Km に達し、そのため船体の縦強度は相対的に柔構造となる。このような構造浮体を洋上で100年使用するというコンセプトを提案しているが、洋上での生物汚損を考えると、船体のメンテナンスをどのようにすればよいかという根本的弱点を抱えることとなり、それについては未だ根本的な解決方法が見つかっていない。

通常の船舶でも、走行には平滑な船体表面が必要であり、表面平滑度が守れないような生物付着の多い船体表面となれば船体の摩擦抵抗が急激に増大する。それはすなわち航行速度の低下を意味し、実用性に問題が生じる。特に推進力が小さなこの洋上浮遊式発電システムの船体では、生物付着による船体抵抗増加は大きな問題となる。一般船舶でも定期的なドックにより船底の清掃は欠かせないことを考えるとドックが使えない寸法の巨大海洋構造物のメンテナンスは技術的にきわめて難しいと判断できる。

これらのことより、浮体の長さを小型化することを考えてみる。着目したのは、空気と水の密度差を発電に利用する方法である。簡単に考えれば空気と水の密度比は800倍であるから、水中ローターで発電をすれば全体システムがどのように変わるかの検討を行う。さらに強風域で発電効率が低いことから、台風強風域での操業までを視野に入れて考える。

また水中での発電には潮汐や海流発電があり、この分野でも近年の自然エネルギー利用の動きにより各国で多くの研究がなされている。潮汐や潮流は海流流速の絶対値が大きくないので、やはり大型のローターを使用することが検討されているが、Table 3 に示すように、風力発電にも劣らないメリットがあることが紹介されている。

しかし、初期設置費用の問題と、海洋生物汚損のメンテナンス、設置場所からのエネルギーの輸送法（電力であれば電力線設置）の問題が未解決である。

以下に示すように、東海大学にも潮流発電構想があり、発電装置本体は海洋博物館前に展示してある (Fig. 10)。この提案例はプロペラの二重反転機構を用いて、潮汐流の変化に対応してプロペラの首を振るシステムとしてあることに特徴がある。発電に用いる部分はエコシップと呼ばれる船舶のポッドプロペラ部分の流用であり、5000tonの船舶の推進装置として試作された物であるが、まだ実海域での実験実施にいたっていない。

潮汐や潮流発電の検討より、水中部でのローターまたはプロペラによる発電は実用的であることが実証されつつあるが、通常の潮流や海流発電方式ではまだいくつかの問題点が残ることもわかった。

そのため、以下ではこれらの問題点を解決する新たな方法を提案する。

4. メガヨットを用いた発電船構想

ここでの新たな提案とは「帆船+発電水車（プロペラ）の組み合わせ」である。これを発電船構想と呼ぶ。これは風力を利用して高い前進力を得る。その前進速度を利用して発電水車により高効率で発電するというシステムである。

Table 3 Energy generation methods

(<http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/marine/marine.asp> より)

	Renewable resource	Low capital cost	Low running cost	Minimal environmental impact	Predictable	Minimal visual impact	Modular
Fossil	×	✓	×	×	✓	×	×
Nuclear	×	✓	×	×	✓	×	×
Wind	✓	×	✓	✓	×	×	✓
Solar	✓	×	✓	✓	×	×	✓
Hydro	✓	✓	✓	×	✓	×	×
Wave	✓	×	✓	✓	×	✓	✓
Marine Current	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓

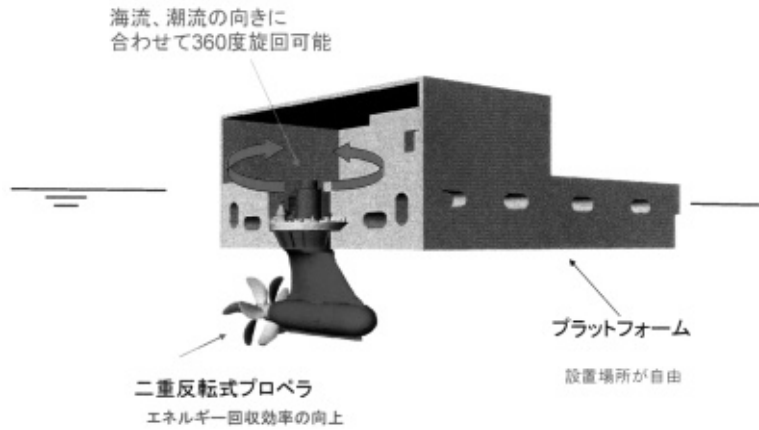


Fig. 10 Proposal of Tokai Univ. current energy plant

る。この方式は強風域までの風エネルギー利用を視野に入れて、以下の利点を有する。

特に強風域の風エネルギー利用について、台風の強風エネルギー利用を含め、考えをすすめておく。台風そのものについては別の章でまとめて議論を進めることとする。

- a) 風力で高い前進力を得ることより
 - －高速帆走性能向上
 - －操船性能向上
 - －強風域にとどまる事が出来、発電効率が向上する
- b) 水面下のタービンで発電することより
 - －低重心化
 - －流体流速の均一化
 - －タービンの小型化
 - －発電機台数減

これらの利点があるなか、

- c) 造船業の常識に反する
 - －船体に抵抗体を取り付ける
 - －船体の大型化に反する
 - －時代遅れの帆船システムは時代遅れではないか
 - －高速帆走によるエネルギー吸収が可能か
- という見方もでき、それらについて考察を進める。

5. 高速帆走性能についてのレビューと考察

一般に、帆船は遅いという観念があるが、以下の概念設計をみればその帆走速度ポテンシャルは通常航行船舶の経済運行速度を遙かに超えることがわかる。

Fig. 11 に示されているアイデアでは帆走速度が 100Kts

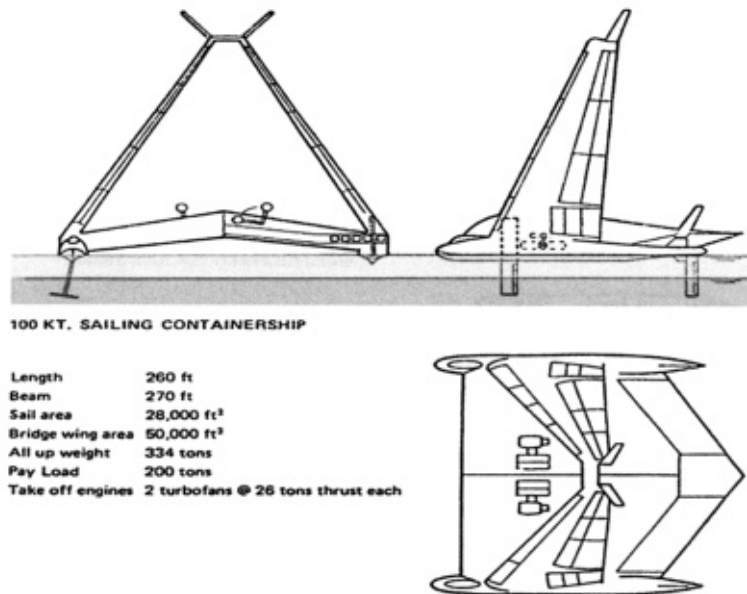


Fig. 11 High Speed Sailing Ship Plan

(2005.10.22：第28回セーリングヨット研究会講演資料

増山：風を使って風よりも速く「高速帆走のメカニズムを考えてみよう」より)

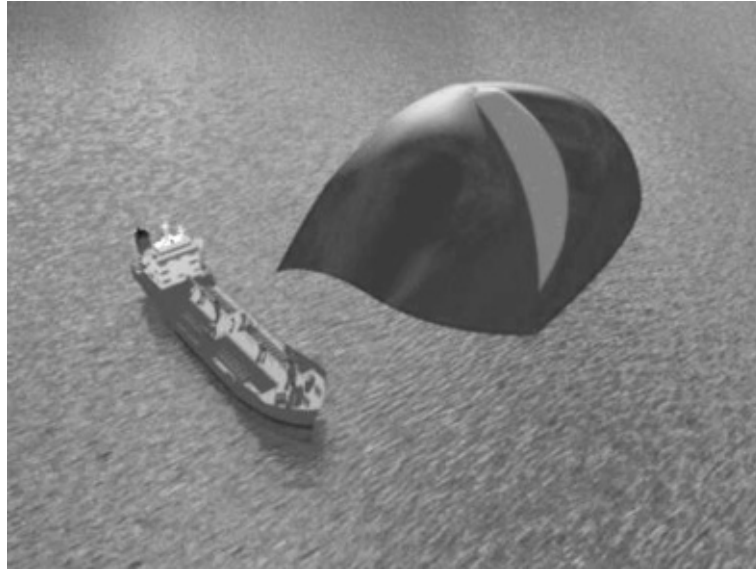


Fig. 12 A schematic view of Kite Ship
(<http://www.kiteship.com/>)

である。高性能の堅帆と、水中翼を取り付けてあり、浮上時に船体に作用する大きな抵抗成分はジェットエンジンの推力を利用し浮上、定常浮上走行に至る。

まだこのプランは実現していないが、帆走について様々な可能性が考えられる。その1つにカイトセールというシステムがある。(Fig. 12, Photo 1)

これは大きな帆を空中に飛ばして、その力を利用して帆走するというアイデアである。高層の大きな風速域に帆を揚げて飛ばしているために比較的小さな面積の帆でも推進力を得ることが出来、またコストもかからない。また船を傾斜させる有害なモーメントを発生させず、デッキ上のレイアウトにも大きな変更を要しないというメリットがある。

しかし、風上航行に難がある。帆を上空で8の字を描くように操作し、横風以上に切り上がり帆走できるとされているが、空中での帆の微妙な操作には何かしらの不安が残るとともに、以下で検討する台風のエネルギー利用までを考えると、風上走行の自由度の低さと通常の薄膜構造の帆では強度的に問題が起りそうであり、やはり不向きであろう。

また帆走性能を大きく高めるために高揚力発生装置について調べておく。Photo 2 に有名なマグナスローター船 Baden-baden を示す。これはマグナス効果を推進に利用する船である。回転する円筒の揚力-抗力発生効果は Fig. 13 に示すように通常の帆の、9倍の揚力を発生する。ローター船と帆船との直接比較は、ローター船では装備したローターの回転エネルギーを投入しなければならないので、揚力発生効果のみを考えて単純に揚力発生ゲインが高いという比較は出来ないが、高揚力装置には、大きな可能性があることが解る。もし揚力係数の $CL=9$ という点を



Photo 1 Kite Sail equipped with sailing yacht
(<http://www.kiteship.com/>)

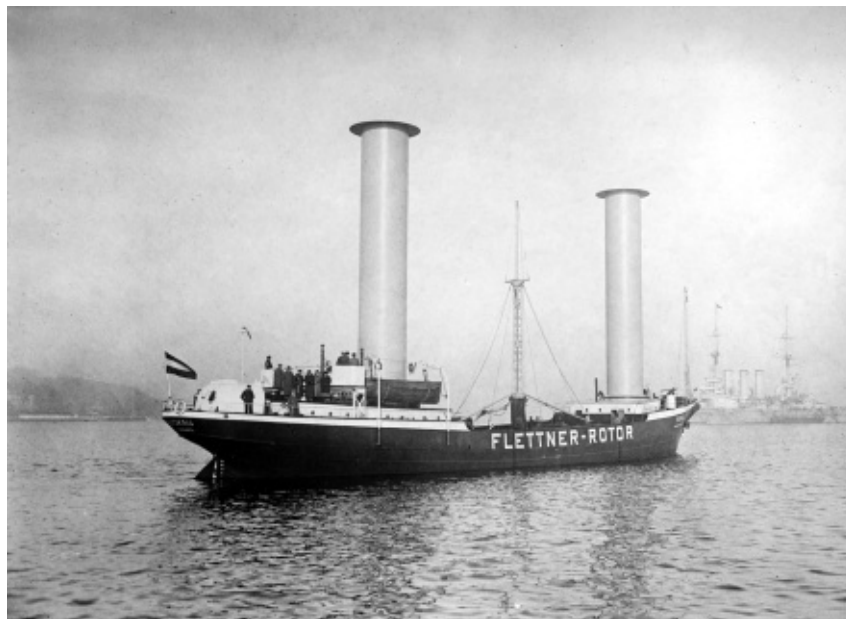


Photo 2 Baden-Baden, famous magunus-roter ship.

Baden-Baden, made a successful voyage across the Atlantic, arriving in New York on May 9, 1926
(http://en.wikipedia.org/wiki/Flettner_ship)

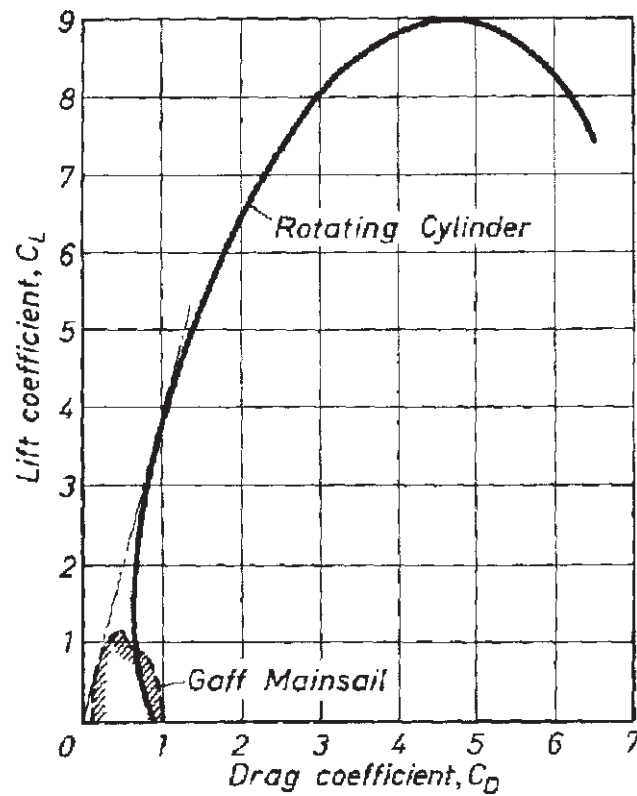


Fig. 14 Lift & drag force acting on the rotating cylinder and Gaff mainsail.
(Aero-hydrodynamics of sailing; C.A.Marchai)

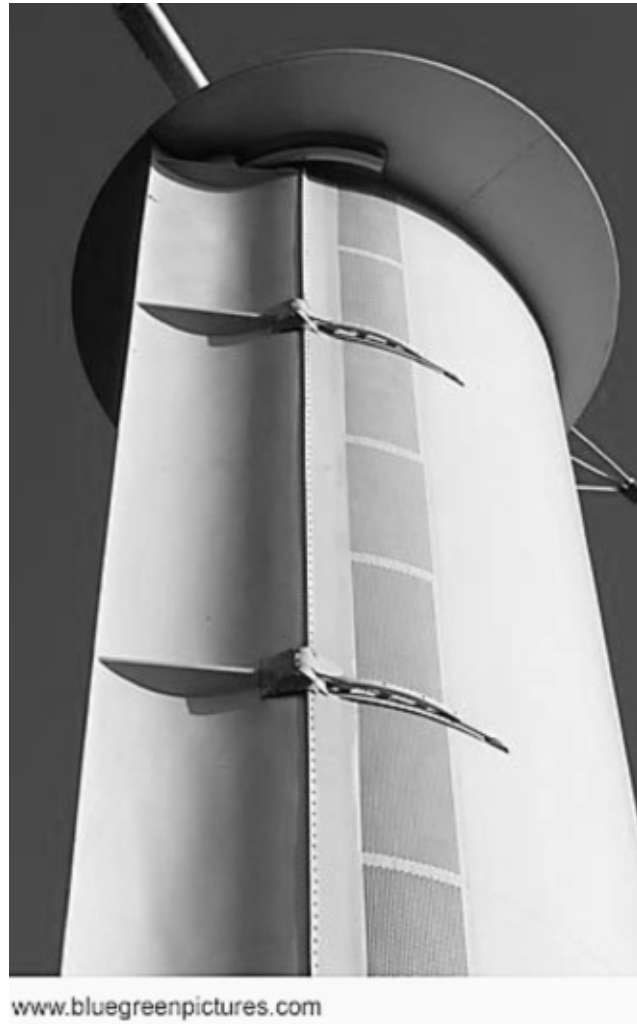


Photo 3 Turbosail 1980s
(<http://bluegreenpictures.com/per1/Cyan.pl?mode=view;inum=125790>)



Alcyone launched in 1983
Photo 4 Alcyone equipped with twin turbo sail system.

用いれば帆走艦装面積が1/9になるとも考えられるからである。

さらに、境界層制御方法による高揚力装置として提案されたターボセールを示し、それを艦装したヨットの例を示す。いずれも実用化されており、自然エネルギーを利用するが高い帆走性能を実証している。

6. 発電船実現化における物理的裏づけと考察

以下簡単な物理的考察を進め、今までのアイデアが現実可能か検討を進める。

$$\text{Wind Energy} = \frac{1}{2} \rho_A A_A \nu_A^3 \quad (1)$$

ここで流体の密度を空気から海水へ変化させると

$$800\rho_A \approx \rho_W \quad (2)$$

同一エネルギー吸収を媒体を空気から海水へ変えて考えれば

$$\frac{1}{2} \rho_A A_A \nu_A^3 = \frac{1}{2} \rho_W A_W \nu_W^3 \quad (3)$$

空気（風）の速度 $\nu_W = 15\text{m/sec}$ 。

海水（自走時）の速度 $\nu_A = 7.5\text{m/sec}$ 。

で考える。このとき流速は1/2としてあるので、

$$\frac{A_A}{A_W} = 100 \equiv A_R \quad (4)$$

としても同じエネルギーの吸収が可能と考えられる。今、風車の台数を11機から1機に変更するとすれば

$$A_R \approx 9 \quad (5)$$

として、ほぼエネルギー吸収量は同じ。

これより水中のロータ部は1機のみでよく、空中のロータと比べて直径はわずか1/3で良いこととなる。

Sailing Mega Float Type (SMFT) の計画では、空中ロータ（風車）直径120mを11機で考えているが、水中では直径40mのロータ1機で出力をまかなう事が可能であることがわかった。

次に風力推進（帆走性能）で考えてみる。

帆船の最大船速を出しやすく、かつ船がHeelしにくい条件での稼働を考えれば、横風で走行している時と想定しておけばよい。

このときの推力は帆の発生する揚力に等しいので

$$L = \frac{1}{2} \rho_A S_S \nu_{AP}^2 C_L \quad (6)$$

最大効率の揚力係数が使えるとすれば

$$C_L = 1 \quad (7)$$

ここでSMFTの帆の C_L 値を使うなら2となる。

また全抵抗（水面下のもの）を

$$R = \frac{1}{2} \rho_W S_P \nu_W^2 C_{DP} + \frac{1}{2} \rho_W S_H \nu_W^2 C_{DH} \quad (8)$$

$$= \frac{1}{2} \rho_W \nu_W^2 (S_P C_{DP} + S_H C_{DH}) \quad (9)$$

$$L = R \quad (10)$$

であるから

$$\frac{L}{R} = \frac{\rho_A}{\rho_W} \frac{\nu_W^2 + \nu_A^2}{\nu_W^2} \frac{S_A C_L}{(S_P C_{DP} + S_H C_{DH})} = 1 \quad (11)$$

ここで

$$C_L = 2 \quad (12)$$

$$C_P = C_D = 0.3 \quad (13)$$

と仮定して、さらに

$$S_H = 10 \times 20 \times 2 = 400 \quad (14)$$

$$S_P = \pi r^2 \approx 1200 \quad (15)$$

これより

$$S_A = 48000(\text{m}^2) \quad (16)$$

のセール面積があればよいことになる。

これは1枚であれば全長300m高さ160mのセールをつければ良いことになる。

しかし、このAspect Ratioでは、効率が悪いし、取り扱いも悪いだろう。船体をカタマランとし、長さ300m、高さ150mのパラソル型の物にすればこの条件には十分である。

これはあくまで、提案されているSMFT式のものの発電量を変えず船体および発電装置を置き換えた提案であり、パラメータは最適化された物ではない。

7. メガヨット式発電船の概要

前述のように、高揚力発生装置が実現していることから、走行性能が高い近代的帆船をタイプシップとして考えることが出来る。帆船でも、いわゆる布でできた柔帆を利用するのではなく堅帆利用を考えることとする。物理的考察の寸法をもとにここで提案する発電船の概略をまとめた物がFig. 16, Fig. 17となる。これらを“Wind hunter”と呼ぶことにする。(Y.terao, K.Watanabe, M.Wakita, 2007)

Fig. 16は互いに支え合う逆V字型の翼を組み合わせた物であり、この形式になると風上航時にもHeelしない特性を持つ。この形式間では大きなセール面積が必要となり、翼の制御が難しくなる可能性もある。Fig. 17には多数翼列を配置し、1つ1つの翼面積と翼の高さを抑えた設計案である。いずれも双胴船型を採用し、高い横安定性を確保するとともに、船底に2つの発電用タービンを装備している。これは緊急時にはフェザリングを行うことで水中

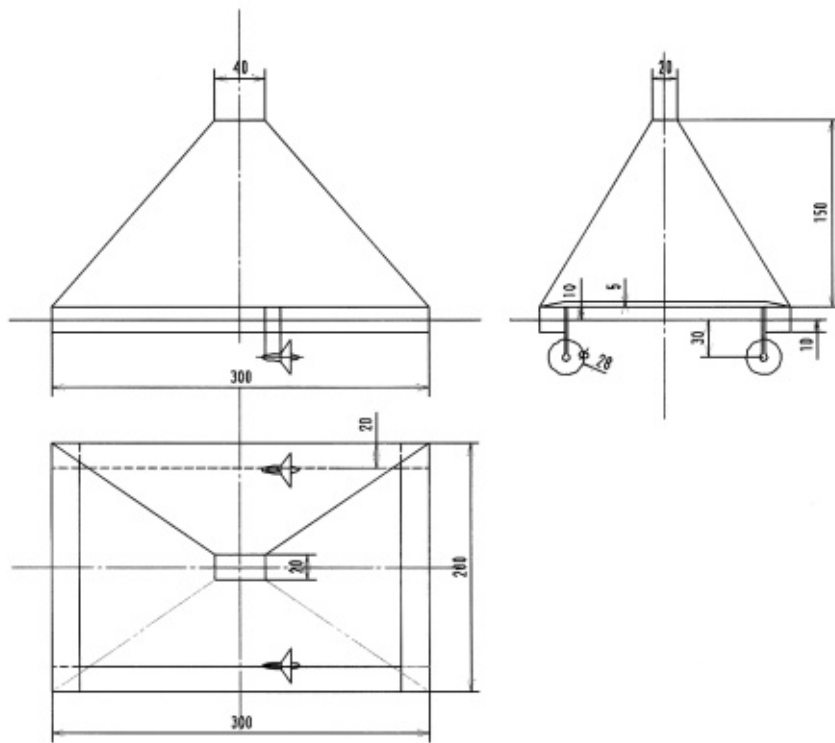


Fig. 16 Wind hunter idea plan No. 1.

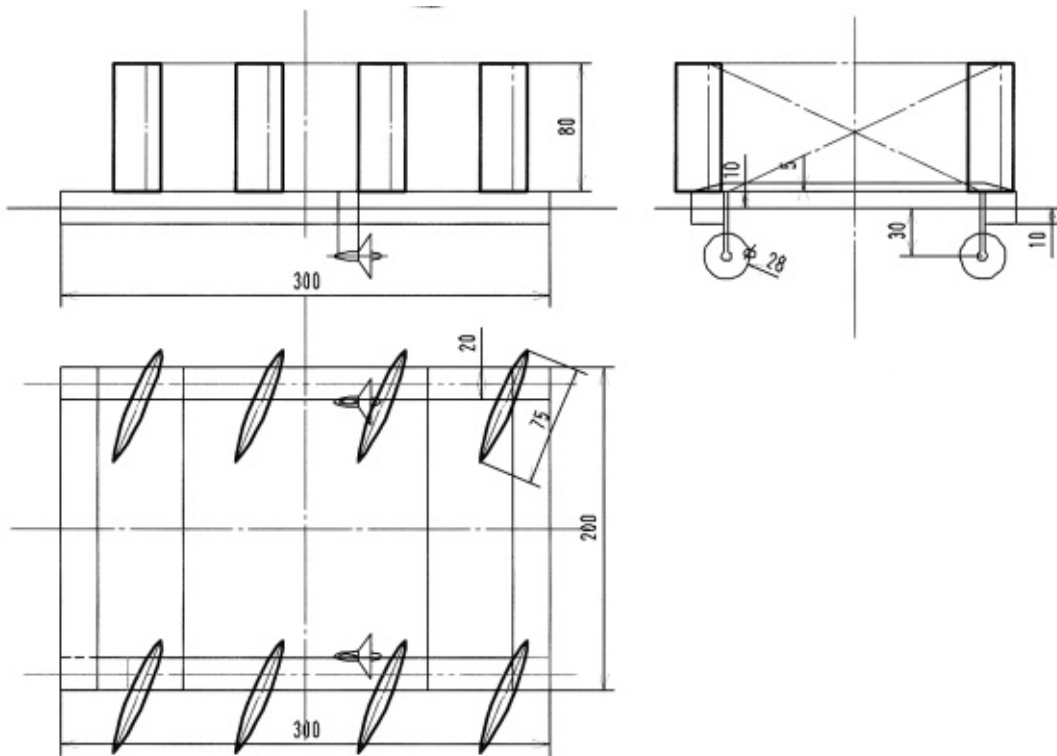


Fig. 17 Wind hunter idea plan No. 2.

抵抗を小さくし、高速帆走を行う事とする。出入港時には発電の逆を行えば推進装置として利用できる。また、水中タービンそのものを船体内側に引き上げ、緊急時のメンテナンスを行いやすくすることも考えている。

次にこの設計についての利点を挙げる。高速帆走性能を高性能の帆走機装と大きな翼面積で確保していることから、

- 最適風域を追跡できる自由度が高い。
 - 高効率で風力エネルギーを吸収できる。
 - 通常帆船のように帆走、限定海域に存在。
 - 船団での衝突回避の可能性が高まる。
 - 風力のみで高速帆走。
 - ー 水中タービンフェザリングで高速性能確保
 - ー タービン部を電動推進装置として使用可能
 - 水素エネルギーの積替えも、自力で出入港が可能。
- また全長を押しえた設計から

- 全長 300m 程度
 - ー 既存の大型船建造ドックが使用可
 - ー メンテナンス時も既存のドック使用可
 - 既存の造船技術を利用可能
 - ー 船体構造、部材とも造船技術を応用
 - ー 既存技術の応用から完成時間短縮
 - ー 部材数少、工数少
 - ー 安価な建造費
 - ー 船団の海域における占有面積小。
 - 船団の海域における占有面積小。
- またコストの面からみても
- 新技術開発費用が少、開発費抑制可。
 - 少数の発電装置台数で費用圧縮、メンテナンスも容易。
 - 船長は SMFT の 1/7 程度であり、建造費低減が可能。

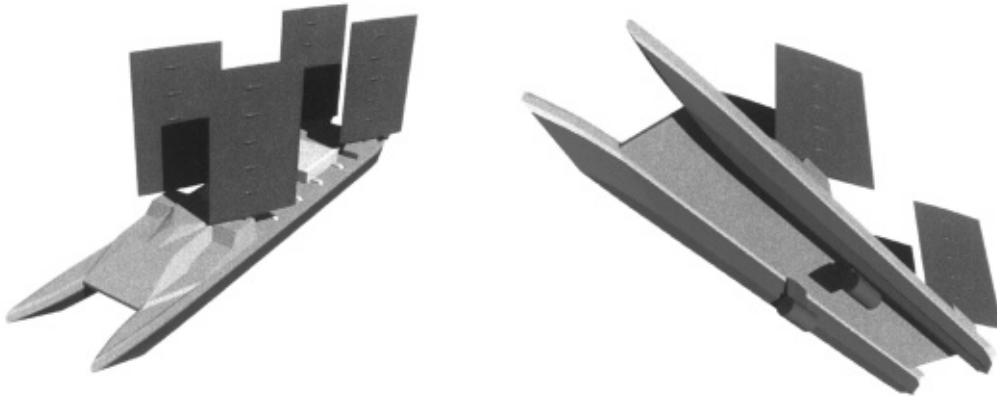


Fig. 18 Wave hunter top view and bottom view

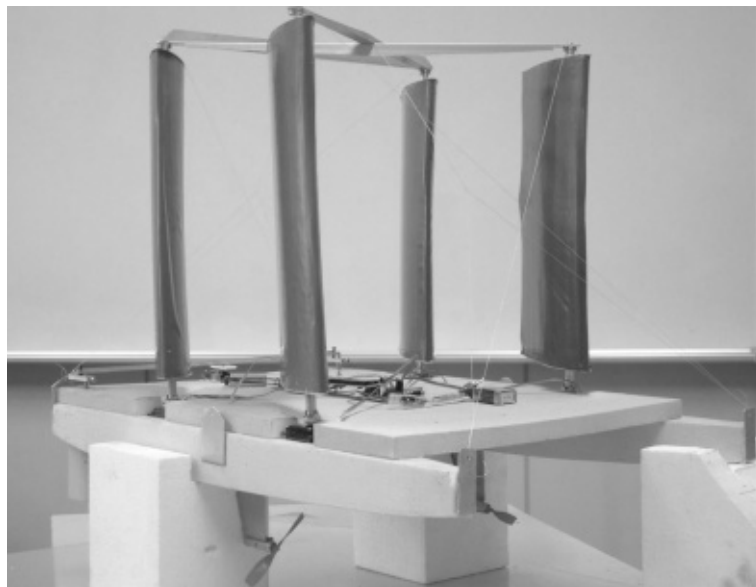


Photo 5 Tank test model to investigate electric power generation in the high wind condition.

- 既存の造船所を利用した建造法が可能。
- メンテナンスも既存の設備を利用。
- 使用鋼材量低減より EPR も大きく改善。
- EPR とはシステム建造，操業までの投入エネルギーと回収エネルギーの比率である。

ということが考えられる。しかし，以下の点が不明である。

- 巨大なセール構造
 - －制御システムが大きくなる可能性がある。
- 翼列の効果が明確でない。
- 最適化手法が未解決。

さらに，建造コストと EPR の詳細計算がまだ終わっていない。

これらのメリットとデメリットを考慮して建造のための研究を進める必要がある。

以下にこの発電船“Wind hunter”の概念図として透視図を示す。

また，これらの構想から現在開発・検討中の本学水槽で用いる試作中の実験用小型模型の写真を Photo 5 に示す。この水槽実験により強風発電の実現性を示すことを目的としている。

船体軽量化のため船体は硬質発泡ウレタン製とし，表面はペイント加工をしてある。船長 700mm，幅 460mm，排水量 20N であり，高さ 360mm 幅 225mm 翼圧 15% の

対称翼 4 枚の発泡スチロール製の堅帆表面をカッティングシートで覆ってカタマラン船体上に配置する。各帆の基部にそれぞれサーボモータを埋め込み，翼角度制御を個々に行えるようにする。翼列の上面の構造は，互いの翼に働く力を前後左右に分散し，船体とデッキにステーで力を伝え，翼を支えるように考えたものである。また操舵用にも 1 つのサーボモータを後部デッキに配し舵を制御する。これらのサーボモータの制御は PIC16F873 という 1 チップマイコンを使用している。模型の制御用の信号は赤外線無線方式で与える。

走行実験は送風装置で風速を模型に与え，水槽内で自走させる。そのとき走行水面下にある直径 100mm の 2 つのプロペラで発電を行い，その結果を PIC16F873 と 1MBit の EEPROM で構成したデータロガーに記録するシステムである。

8. 船速と発電に関する試算

簡単な数値計算を行い，台風を考え風速 14m/sec 時の発電量 55MW を確保して，船速が変化したときのタービンの抵抗と船体の抵抗の関係を調べ Fig. 19 に示す。水面下の全抵抗の最小値が，前進速度が風速の 1/2 に存在する。また帆面積と船速の関係および発電効率について示す。また抵抗を満たす帆の面積を計算した結果が Fig. 20

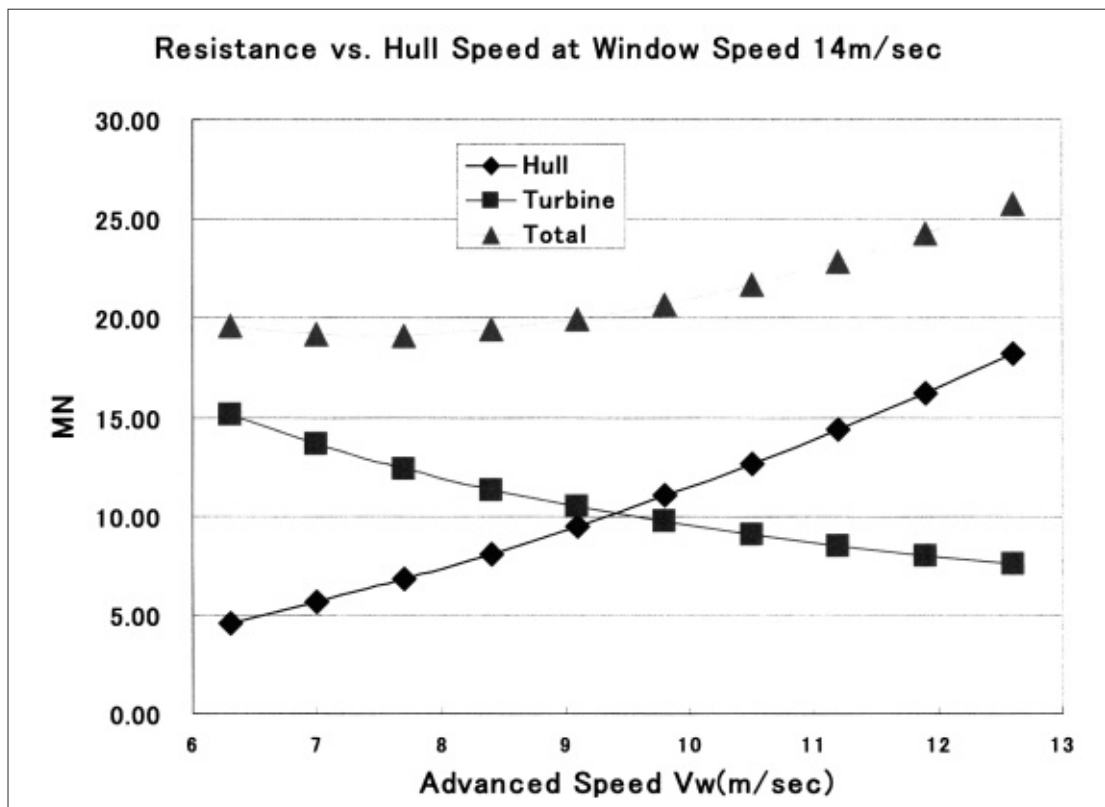


Fig. 19 Resistance vs. hull advanced speed at wind speed 14m/sec and output 55MW.

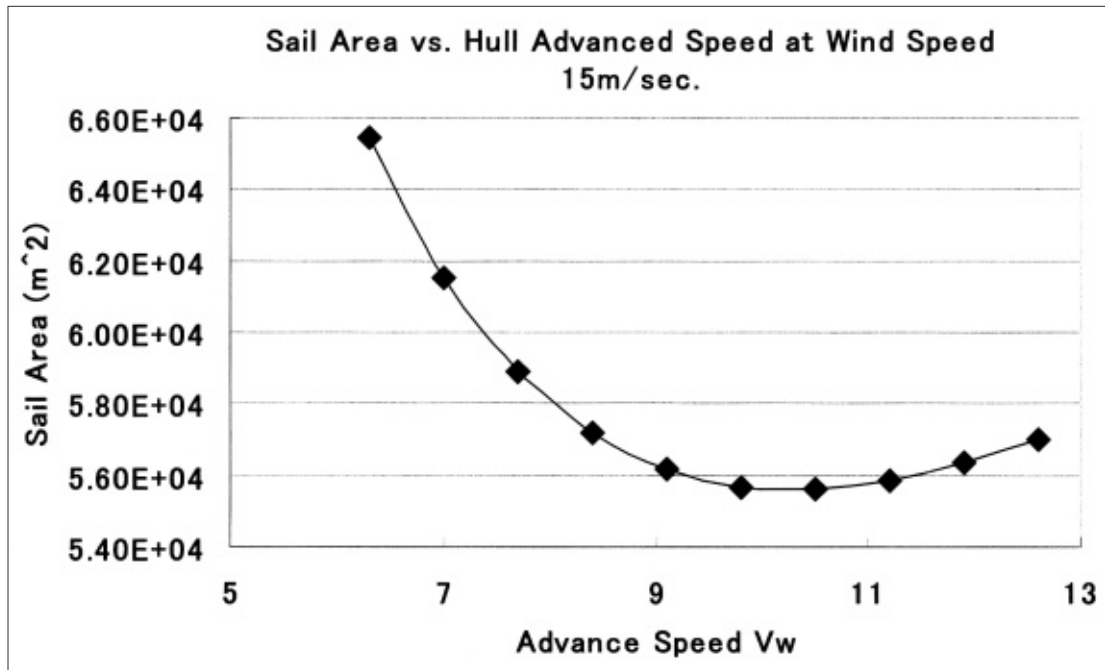


Fig. 20 Hull advance speed vs. sail area at wind speed 14m/sec and output 55MW.

となり、帆の最小面積はもう少し船速が高いところに存在することもわかる。

9. 発電船を用いた台風エネルギーの利用法について

9.1 台風とは

台風とは、年間30個程度発生し、そのうち3-4個日本に上陸する。この寿命は平均5日とされ、台風の定義とは中心風速17.2m以上の物を言う。台風は強大なエネルギーを持ち、平均的台風の持つエネルギーは1.018Jといわれ、長崎型原子爆弾の1万発に相当し、長崎型原子爆弾はTNT 22Ktonに相当する。

少し古いデータではあるが、日本の1次供給エネルギー量(2003年)は545,16510Kcalであり、2.219Jとなる。これは5億Tonの石油に相当し、中型台風の23個分に相当する。全世界では400個以上のエネルギーを消費しているわけであるから、地球温暖化も当然と思われる。また日本の2004年の発電量は1028TWhであり、中型台風の持つエネルギーの21.05%にしか相当しない。つまり、台風1個のエネルギーを吸収し利用できれば日本はほかの発電用エネルギーはいらなくなる。

台風はこのように膨大なエネルギーと破壊的な力を持つが、使いにくいエネルギー源であるともいえる。なぜなら、台風の進路は予知しにくく一定ではなく、エネルギーの多くは潜熱であり、膨大な降水量を同時にもたらす。また台風はよく知られた渦構造を持ち、暴風域と強風域があり、通常は進行方向右側が風の勢力が強いとされる。さら

に台風も大型や超大型になれば中型台風の100倍のエネルギーをもつとされているが、未だこのエネルギー資源を利用しようという研究はなされた例を知らない。

ここで、台風と同じであるが、呼び方の違うハリケーンについて調べてみる。このハリケーン制御に関しては1960年代に盛んに行われたという情報がある。これは軍事利用を考えたものであり、NOAAの関与があったとされる。その制御方法は、現在はより洗練されたカオスコントロールと、数値計算技術による予測方法が進化しより現実化を帯びてきている。(Hoffman, 2006) これまでのハリケーン制御は、沃化銀の粉末を台風のエネルギーセルに投入し、人工降雨を降らせ、その勢力をそぐ方法がとられてきており、現在の計算では海表面温度0.5度を降下させることが有効であるとされる。

9.2 日本の台風制御について

アメリカの研究の例を見ても、ハリケーンが制御できるなら、台風そのものを制御できる可能性も十分ある。ハリケーンも台風もサイクロンも呼び名が異なるだけで、同一の自然現象である。しかし、広大な海表面の温度制御をどのように行うのか、またアメリカの行ったような人工降雨剤による環境汚染は心配ないのであろうか。それ以前に、海はだれのものであり、このような操作を行ったときに環境に対する副作用はどのようになるのだろうか。これらが未知のまま、台風の制御というのはひどく恐ろしいペナルティを人類が受け取る事を意味しているのではないかと不安が残る。これらについても研究者は、真摯に研究を進め問題点を解明する義務があると考えられる。その中で、

以下の発電シナリオを考える。

9.3 発電シナリオ

台風が強風エネルギー利用のために多数の発電船フリートを投入する。それらは、20万トンクラスの船団とし、1000隻程度の規模を考える。これらは台風に従い北上、発電操業しながら発電。電力を水素に変換し日本に搬送し積み卸しする。台風が通過後また、台風の発生場所にもどり追跡を繰り返すという方法をとる。これらの操業は、台風の強風エネルギーを少しずつ取得しながら、操業の安全性確保し、地球環境への大幅なストレスを与えない操業を行うこととする。そのために1つの台風から平均して3%程度の風エネルギーを吸収する。これを台風の発生に合わせて毎回行うこととする。

この規模の船団を全世界に配置し、サイクロン、ハリケーン等の強風エネルギーを吸収し発電、海水電気分解により水素資源の創出を考える。これを全世界に配給し、使用すれば少なくともCO₂ Freeの良質なエネルギー資源の創出となる。

地球温暖化により、海表面温度の上昇が予知され、また事実観測されている現在、この海表面温度上昇分のエネルギーは台風の強大化に拍車をかけるものとなると考えられている。その強大になる台風のエネルギー部分を部分的にも吸収していくことで、地球温暖化の熱エネルギーの一部を吸収すれば地球温暖化を抑える1つの方法となり、また台風等の災害を少しでも押さえることが出来れば将来に対する大きな寄与となる。

このアイデアでは、台風はまだ人類の手の付いていない、風力エネルギー資源と考えることができるが、それは膨大かつ強大であるために、新たな操業方法と技術開発が必要となる。また台風の取得エネルギー量の取得に関しても、必ず制約があることを知らねばならないし、さらに吸収できるエネルギーには期間的特性があることも重要である。これらの操業に関しては、操業に関する環境負荷に対する明確な評価システムを確立し、十分な事前評価を行うことが必要となる。また操業に関しては、台風進路予測技術の高精度化、特に気象予測技術の高精度化が必要となる。

さらにエネルギー取得装置として要求される高速帆走発電システム自身には搬送性能とともに十分な強風耐性を持つシステム、荒天回避能力、エネルギー変換・貯蓄システムが必要になり、高いエネルギー変換効率を要求され、また船体に関しては100年耐性までを要求することとなる。またこれらの船舶の建造には多くの費用と能力を集結する必要があることが予測され、この船舶の建造方法についても新たな造船工学的アプローチが必要となると思われる。しかし、一度このシステムが稼働しはじめて、強風エネルギーから水素のエネルギーパスが完成することでCO₂の放出に関わらない新たなエネルギー源として水素エネルギー

ーが用いられることにより、将来にわたり大気中のCO₂放出量を抑えつつ、少しずつでも地球の気候安定に寄与することが出来ると良いと考える。

10. まとめ

発電船構想について、調査と数値計算によりその可能性を示した。まだまだ解決すべき問題があるが、第一歩の段階は現在の日本の造船技術レベルで解決できるものと思われる。風車から水車への発電媒体の変更のような新たなアイデアは、コロンブスの卵のようなものであり、一度示されればだれもが納得するものであろう。

人の思考は慣性に支配され、時には目の前の可能性に気がつかない。しかし、人類の活動による結果は、もはや地球上の環境にも影響を及ぼすほどに大きくなってきている。そのことを考えた上で、今後の人類の取るべき技術の方向を新たに考えなおす時点に来ていると思われる。

この提案した技術スケールは地球規模のものであり、かつ実現可能であると考えられる。その技術は海洋環境修復技術といってもよいし、地球環境修復技術と呼べるものになる。2006年アメリカを襲った超巨大ハリケーン「カトリーナ」、2007年バングラディッシュをおそったサイクロン「シドル」の悲惨な被害を考えても、強風のエネルギー制御を人類の手にもたらしことにより、このような被害と悲しみを人類の上から少しでも少なくできることを願う。

また、このシステムを検討しているときに、インターネットで台風のエネルギー利用に関する調査を行った。そのとき、一般の人々のQ&Aに触発され、以下Appendixにこのシステムの概要が示すものについての解説に相当する部分を、分かりやすくまとめておくこととする。

Appendage

台風エネルギー利用に関する考え方の指針と試案

1. 洋上風力発電における経済性は、洋上風力発電システムで、エネルギー収支を検討し、100年の使用を考えて可能性有りと示されている。EPRとはシステム建造、操業までの投入エネルギーと回収エネルギーの比率であるが、洋上風力発電システムでの調査によれば、投入エネルギーより回収エネルギーが大きくなる。本システムは洋上風力発電システムより強風域での操業性能の高さ、最適海域の追跡性能の高さ、また船体寸法の小型化からはるかにEPRが良いことが期待できる。
2. 風の高エネルギーの発生時期、場所が解っているので、本発電システムは海上を移動して追跡することにより、高いエネルギー変換効率で強風エネルギーの吸収が可能である。ちなみに台風は赤道付近から北上

し、日本に向かうから、あらかじめ予測された進路で台風を待ち構え、台風とともに北上し、エネルギー変換を行い、日本でエネルギーの積み卸しを行うというコースが取れることになる。

3. 空中風車による発電では、台風のような強風中では、翼強度が不足し破損する例が絶えない。エネルギー吸収部分の翼（ブレード）を水中に入れることで、タービン直径が小となり、また高強度の金属材料を用いた翼製作により、翼の強度上の問題を解決できる。
4. このシステムの発電性能の経済性は、1年を通じて、平均的な発電量を確保できるという考えに立つ。日本に降る雨量を考えれば、何時降るかはわからぬが、季節毎に降り、年間ではほぼ平均した雨量となる。台風で考えれば、発生個数は年間30個前後、そのうち1割が日本に上陸すると言われている。平均寿命は5日程度である。もしすべての台風の発生時間が重ならないとして150日の稼働となるが、発電システムの実働はその1/2~2/3程度であろう。そうすればこのシステムの年間の稼働日は75~100日となるが、これは船舶の稼働率として考えても優秀である。

また強風域は秋から春にかけても存在し、5月には超低気圧といわれる台風並みの強風現象も存在する。日本近海にも冬季には強風エネルギー資源は豊富に存在すると考えられ、本システムの操業日数を増やすことが可能である。

それ以外にも赤道付近には強風地域が存在する。発電効率はどこを目指してシステムを構成するかにより定まるので、運用形態に対する今後の詳細な検討が必要である。現在の気象予報の精度でも、ウェザールーティングにより強風発電の適地を探し、効率よく風エネルギーを吸収出来よう。

5. 台風からのエネルギー輸送について考える。風力エネルギーから電力に変換の後、そのまま電力で蓄積・運搬が可能であれば変換ロスの面からはそれが一番よいだろうが蓄電装置の容量の限界より現在ではこの方法では難しい。ここでは一度水素エネルギーに変換し、蓄積して輸送する方法をとる。そのために大型帆走船舶の上に構築した、海水-水素変換システムが必要となろう。また水素は、陸上からCO₂を持ち込み、メタンに合成することで、水素で輸送するよりも、輸送体積を減じることも可能である。
6. 操業する船体を大型化することで発電システム全体の強度があがり、台風強風域での操業が可能となる。現に20万トン級のタンカーは台風の強風域を忌避せず、航路を維持直進する。これは、たとえば蟻では飛ばされてしまう風も、象にはたいした風ではないことに相当する。さらに同時に操業するこれらの船の数を増加させることで、全体で大きなエネルギー吸収をはかることが可能となる。これは巨象に多数の蟻が群がり攻

撃しているイメージとなろう。

7. 帆走艦装に今までにない新しい硬翼システムを導入する。これには航空機の翼システムと似た堅帆を使用し、台風の強風に耐え、船舶の高速帆走を可能とするものとする。ちなみに高速帆船は、風力のみで風速よりも速く走行することが可能である。
8. 堅帆の性能は、ふつうの柔帆より遙かに高く、強さは例えばジャンボジェット機の翼は風速時速900Kmに耐え、ジャンボの巨大な重量を空中で支える。航空機用の翼は軽量の材料で構成してあり十分な強度を有する。しかし、船の帆走艦装では、重量に関する制約が航空機と比べ遙かに緩いので、安価で強度の高い素材を使用することが可能である。
9. 1つの台風の全エネルギー吸収はこのシステムでも大きすぎて難しい。1個の台風から数%ずつエネルギーを削り取る様に抽出し、それを発生個数分繰り返す。これにより地球環境への変化は最小に抑える。
また、海表面の温暖化により、大型化した台風のエネルギー増加分を取り出すという形でエネルギー吸収をはかることとする。それでも1個の台風のエネルギーが吸収できれば環境に負荷を与えない大きな自然エネルギー資源を人類は獲得したことになる。
10. 温暖化した地球を直接冷却する技術はまだ確立されていない。ただ、地球温暖化により海表面温度の上昇と、それに起因する超巨大な台風エネルギーを少しでも吸収すれば、超巨大台風の被害の減少につながるだけでなく、間接的に温暖化エネルギーの利用となる。これは新たなエネルギー資源獲得という経済面だけのゲインではなく、災害軽減という、台風の負の部分少しでも打ち消すことになり、二重のゲインが期待できる。
11. 台風のエネルギー吸収システムは巨大な、全地球規模のシステム構築となる。これが今の段階でスムーズに許されるかは不明であるが、少なくとも今後将来にわたり必要となると予想される莫大なクリーンなエネルギーの創出につながるものとなろう。これはハリケーン、サイクロン等と本質的に同じ物であり、このシステムはそれらにも対応できる。
12. このシステムで創出する、水素を基本としたエネルギーパスが確立すれば、少なくともCO₂ Freeの巨大なエネルギー資源となり、その使用を積極的に進めれば地球の浄化がすすむ。
13. 人類が発明利用し改良を続けてきている技術は、人が知らないうちに巨大で、かつ自然を超える物に成長している。本システムは、今までに存在する単純なシステムの統合とわずかな改良により実現可能なシステムである。そのことをまだ皆が気づいていないだけである。
14. 人は物事を、今までの慣性で考え、新たな可能性を示

されてもなかなか受け入れようとしめない。しかし、地球の大幅な環境変化は、人類の生存さえ脅かす段階にまで急速に変化している様に思われる。もう一度、我々の科学技術の可能性を信じてこの新たな局面に挑戦し、立ち向かわない限り人類の将来は明るいとはいえない。

15. 本システムの稼働は、基礎研究の段階では十分な可能性があるとされる。しかし、実現に向けて動くには、現段階の予測では、現在の科学技術のレベルでは推定も推量もできないような多くの障害があることも予想される。これを乗り越れば人類は新たな脱石油エネルギーによるCO₂排出の少ない、経済繁栄を継続できる可能性があると思える。

参考資料

- マリンフロート推進機構 (2006): 「平成17年度外洋利用大型浮体システムの開発 (調査) 報告」。
- 独立行政法人国立環境研究所 (2007): 「セイリング型洋上風力発電研究成果報告会予稿集」。
- Boss N. Hoffman (2006): Controlling the Global Weather, in Bulletin of American Meteorological Society, vol 83, No.2, pp241-248.
- C.A. Marchai (1988): Aero-hydrodynamics of sailing (2nd edition), 743pp. Adllars Coles, William Collins & Co.Ltd,

8 Grafton Street, London W1X 3LA.

- 木下 健, 高木 健, 寺尾 裕, 井上憲一, 田中 進, 小林 顕太郎, 山田通政, 高橋雅博, 植弘崇嗣, 内山政弘, 江崎宏至, 佐藤増穂, 岡村秀夫: 環境負荷の小さい基幹エネルギーとしての帆走型洋上発電 (2005): 日本船舶海洋工学論文集第1号, 43-54.
- 増山 豊 (2005): 風を使って風よりも速く「高速帆走のメカニズムを考えてみよう」, 第28回セーリングヨット研究会講演資料。
- 高木 健, 木下 健, 寺尾 裕, 井上憲一, 田中 進, 小林 顕太郎, 山田通政, 高橋雅博, 植弘崇嗣, 内山政弘, 江崎宏至, 佐藤増穂, 岡村秀夫 (2006): 帆走型洋上風力発電施設, 応用力学講演会, 日本学術会議。
- 田中 進, 井上憲一, 山田通政, 宮島省吾, 木下 健, 高木 健, 寺尾 裕, 佐藤増穂, 岡村秀夫, 江崎宏至, 内山政弘, 植弘崇嗣: 帆走型大型浮体風力発電システムの検討 (2006): テクノオーシャン2006/第19回海洋工学シンポジウム。
- 田中 進, 井上憲一, 山田通政, 宮島省吾, 木下 健, 高木 健, 寺尾 裕, 佐藤増穂, 岡村秀夫, 江崎宏至, 内山政弘, 植弘崇嗣: 帆走型洋上風力発電浮体に関する研究 (2006): 日本船舶海洋工学会平成18年秋期講演論文集。
- Y.Terao, K.Watanabe, M.Wakita (2007): A Feasibility Study Of An Ocean Power Plant Using A Mega Yacht System, Second international conference on marine research and transportation, Napoli, 55-63.
- 第3回洋上風力発電フォーラム (2006)。

要 旨

地球環境の悪化は人類活動の影響であるといわれはじめた。そのためCO₂排出減少の努力を行うとともに、自然エネルギーの利用が推進されている。その中でも台風は人類未開発の風力エネルギー資源であるといえよう。その大きさは中型の台風のものでも10¹⁸Jであり、1つのもつエネルギーは日本の火力発電量の5倍に達する。また大型では優にその100倍の大きさを持つ。さらに台風は平均1年間に30個発生する。また地球の温暖化は、大洋の海表面温度の上昇を招き、超大型台風の発生を誘起すると言われる。近年はカトリーナやシドルという大被害をもたらす長巨大なものも発生してきている。もし、そのもつエネルギーを吸収し、また威力を少しでも弱めることができれば悲惨な被害を少しは食い止めることになる。ここではこの未利用の巨大風エネルギー資源を開発する方法として巨大ヨット型の発電システムを提案する。その上でフィジビリティスタディを行い、可能性を議論する。

キーワード: 自然エネルギー, 台風エネルギー利用, 大型発電帆船