

河川整備基金助成事業

河川・沿岸域における環境調和型の 水上交通システムのモデル研究 報告書

助成番号：24-1216-002

一般社団法人 海洋産業研究会

平成 24 年度

目 次

はじめに	3
1 河川・沿岸域における水上交通の現状	5
1-1 電池推進船の現状	5
1-2 水陸両用船の現状	10
2 河川、沿岸域の再生可能エネルギー利用の現状	13
2-1 河川における再生可能エネルギーの利用	13
2-2 沿岸域（海洋）における再生可能エネルギーの利用	26
2-3 本研究において検討価値の高い再生可能エネルギー	32
3 水上交通のあり方の検討	34
3-1 対象河川の検討	34
3-2 対象船舶の検討	42
3-3 船着場の充電ステーション機能と再生エネルギー供給可能性の検討	45
4 環境調和を考慮した船着場の検討	47
4-1 施設コンセプトの検討	47
4-2 船着場の機能の整理	48
4-3 最適形状の提案	51

はじめに

我が国のエネルギー施策は、平成 23 年に発生した東日本大震災を契機に、効率性や採算性からの視点に再考察が求められている。

原子力発電は、有用性だけでは無くハイリスクの顕現に拠って、その存在意義も問われており、地球環境の維持・改善の観点からは化石燃料への依存を押えつつ安全性の高い国産エネルギーとしての再生可能エネルギーの利用が不可欠となっている。

代表的な再生可能エネルギーとして「太陽光発電と風力発電」の導入利用推移を下图に掲載しているが、導入量に増減は有るが、此处数ヵ年の急速な普及が読み取れる。

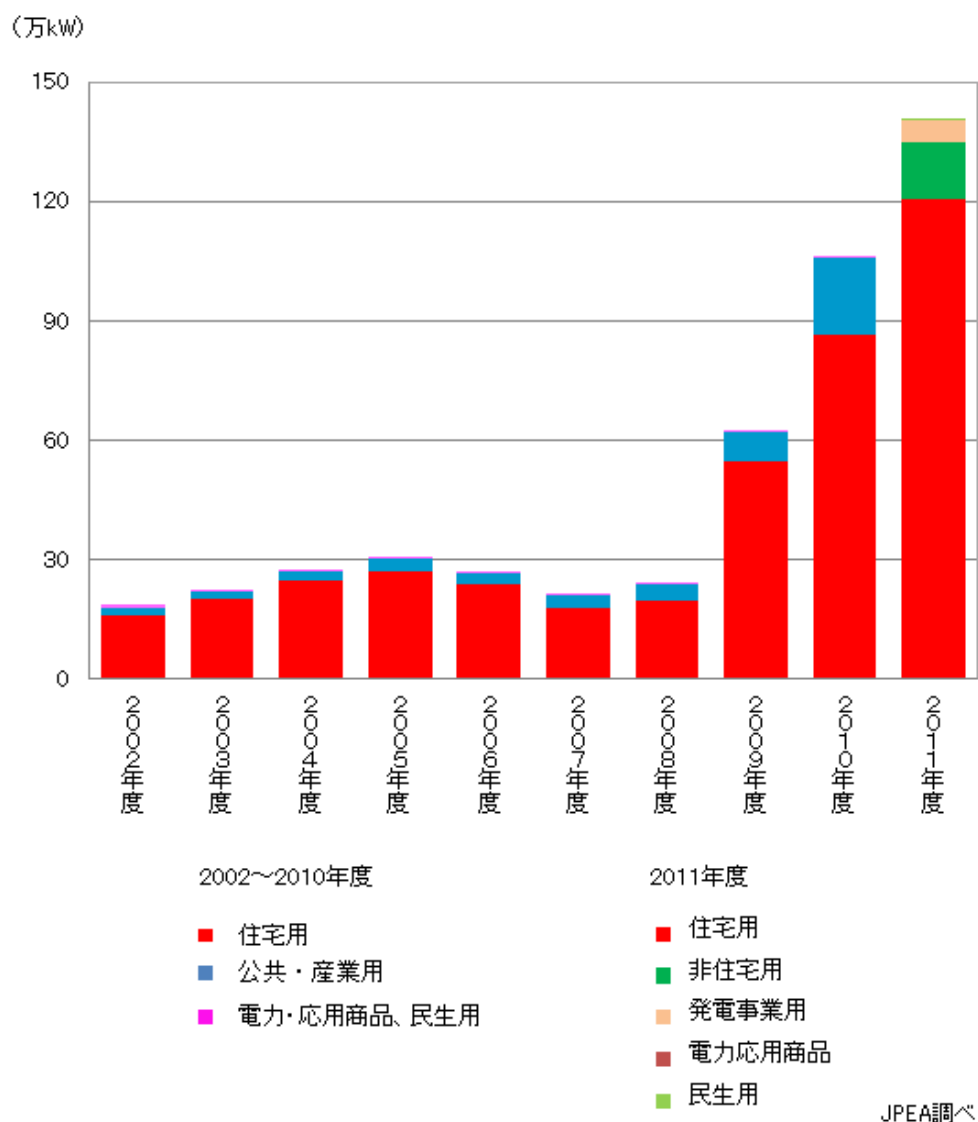


図 1 太陽光発電・国内出荷用途別内訳

(出典：太陽光発電協会 HP)

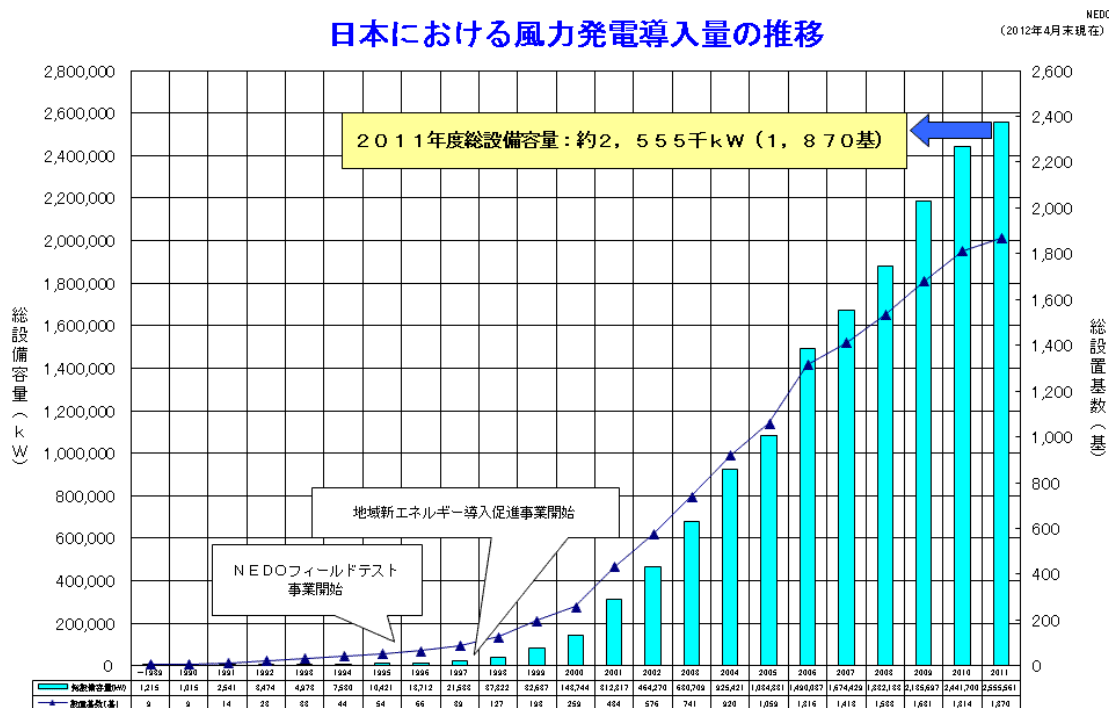


図 2 風力発電量推移

(出典：NEDO 資料)

一方、これまでの再生可能エネルギー導入は、国・自治体等からの補助金を元にして推進されてきたことが多いが、導入設置施設の多くに採算性の問題が生じている模様である。

例えば風力発電に関して言えば、低採算性の直接的原因は落雷や台風等の強風等に拠る施設被害と、風量不足に拠る稼働率の低さに有るが、その背景には補助金等を当てにした企業や自治体等の運営事業者・施設管理者側のコスト意識の低さも有ると推測される。

更には、再生可能エネルギー施設の計画立案から施設建設・運営開始迄の許認可や各種協議・権利調整と補償等の制度的課題や所要期間等も、全体コストのアップや金利負担等事業採算性を阻害する一要因とも推測される。

当研究会では此处数年、リチウムイオン電池と帆を併用した「環境教育船」の提案(H19年度河川整備基金助成事業「河川・沿岸域における環境配慮型輸送システムと環境教育に関する検討」)をはじめとして、地域防災や地域振興を目指す手法として電気推進船やハイブリッド型の船舶提案を重ねてきた。

今年度に関しては、今日的な課題を踏まえた上で過去の研究発展型として、電力系統連系に頼らない自立分散型の再生可能エネルギーによる環境調和型的水上交通システムについて考察を進めることとした。

1 河川・沿岸域における水上交通の現状

1-1 電池推進船の現状

電池推進船については、平成 21 年度の報告書 3-1. ハイブリッド型船舶の検討に鉛電池や水素電池、リチウム電池について、そのエネルギー密度や重量を詳しく述べている。

その要点は以下のとおりである。

重量当たりのエネルギー量の面から、最新式のリチウムイオン電池でも石油燃料に比べると、エネルギー密度が 1/80 程度しかなく、且つ価格が非常に高いため、現状では船舶の推進用としては使用が難しい。

乗用車では動力源に電池が期待され、ハイブリッド車であるプリウス（ニッケル水素電池）が爆発的に売れ、純粋なリチウム電池動力自動車である三菱 iMiEV が発売され、同じく日産リーフも 2011 年発売された。乗用車の場合は走行時に加速や減速、坂道があり、減速時や下り坂でのエネルギー回収を行い電池に充電することが可能であること、また最大の利点であるタイヤの転がり摩擦が小さいことで低速走行時の路面抵抗も小さく、小出力での走行が可能であり、エネルギー密度の低い電池でも十分使用が可能なことである。

船の場合は海水密度が空気より 850 倍も大きいので航走時の抵抗が大きく必要出力が大きいことや、頻繁に減速しないことや海には坂道がなくエネルギー回収がほとんどで出来ないこと、又一定速度で燃料補給なしで長時間、長距離航走し、自動車のように、海にはガソリンスタンドがなく、一般船舶への採用は不適であるといえる。

このため、現状の電池推進船は数人乗りの鉛電池の小型ボートや東京海洋大が開発したリチウム電池船の交通艇「らいちょう」や小型漁船程度にとどまっている。

しかしこのように推進馬力の小さい小型船用として何とか使用が可能で、小型客船や小型作業船等運航状況によってはリチウム電池のみや、又ディーゼル機関等とのハイブリッド化等、又大型船でも補助動力等、様々な使い道が開けると考えられる。

1-1-1 リチウム電池自動車

2011 年に販売された純粋な電動乗用車、日産リーフは、その年のカーオブザイヤーを取っており、乗用車としては加速が良く、重量の重いリチウム電池を車体底部に搭載しているため重心が低く、コーナリングも安定していて、夜間電力で充電すればガソリン代相当が非常に安く評価が高いが、一方、リーフのリチウム電池容量は 24kWh しかなく、これは出力 24kW（36ps）にて 1 時間しか持たないので、減速時や下り坂の回収エネルギーを充電しても航続距離が 150 km と短い。設置モータ出力は 80kW（109ps）と大きく、時速 90 km で走行すると急速に電池がなくなる。また長距離ドライブでは充電ステーションを探しながらのドライブとなるので、電池自動車を普及させるためには充電のインフラ整備が急務である。現状では主として 2 台目の買い物用しか使えないので、このように航続距離が短

くリチウム電池が高価なため、リーフや三菱 iMiEV も現在の販売数は予定より大幅に低迷している。

しかし一方太陽電池を備える家では、リーフを蓄電池として使用する「太陽電池パネル」+「LEAF TO HOME」システムがあり、太陽電池で発電した電気をリーフの電池に貯めて電力を有効に使用するシステムがあり、現状でも条件次第では電気代が安くなり、ガソリン代も不要となり、環境にも好都合なシステムである。

またスマートグリッド等次世代の送電網が完備すれば、乗用車のリチウム電池が地域の蓄電装置として利用が可能となり、全体のシステムとしての効率をとらえる必要がある。

1-1-2 東京海洋大学のリチウム電池推進船らいちょう

東京海洋大学ではリチウム電池を動力源とした 12 名乗り交通艇「らいちょう」を建造して運航している。「らいちょう」のリチウム電池は塩害と冷却問題が重要で、2.8V~4.2V で温度は-20 度~60 度が限界であり、セルが 1 個でもオーバヒートすると全部のセルが機能しなくなるとのことである。リーフの運転席モニターにはリチウム電池の温度とバッテリー残量が大きく表示されており、いかに温度管理が重要であるかが判る。

また、リチウム電池では石油のエネルギー密度に比べ 1/80 であるが、電気でモータを回す場合の効率率はモータ効率、インバータロスを入れても 92%と高効率で、これはディーゼル機関効率が約 40%、ガソリン機関が約 30%に比べて高いので、実質のエネルギー密度は 1/50 位になるとの意見もある。

「らいちょう」は、三重で建造され、長さは比較的長く、軽量で船喫水の抵抗が少ない船型の採用している。総トン数は 3.5 t、全長は 10m、全幅は 2.3mとなっている。モータは自動車の 24kW を採用し、電池は 18kWh リチウムイオン電池、電池の冷却は空冷式である。船速は、満載時約 8.5 ノット、半載時約 10 ノット、品川~越中島間 7kmを往復している。定員は乗客 12 名（乗組員 2 名、旅客 10 名）である。

東京海洋大学の所掌は電池と推進システムである。通常、客船の場合、推進装置に関わるモータ、減速機等は JG（船舶安全法）や JCI（小型船舶安全規則）型式承認された装置でないと認可されないが、小型船のリチウム電池や電気推進機器装置での型式承認品は無く、「らいちょう」は初めてのケースである。これは、乗客 12 名の非旅客船で学校専用であり、特例で認められたとも考えられる。

1-1-3 商船三井のハイブリッド自動車運搬船に搭載のリチウムイオン電池

大型船舶では推進動力以外の雑用負荷対策として甲板面積が広い船舶で太陽電池と組み合わせたリチウムイオン電池システムが発表されている。実現例としては商船三井のハイブリッド自動車運搬船（平成 24 年 6 月竣工）がある。

本船は太陽電池パネル 768 枚（160kW、1 枚当たり 0.208 kW）と 2.2MWh の巨大なリチウムイオン電池の組み合わせで、航海中に太陽電池で発電した電力をリチウムイオン電池に蓄え、停泊中の全電力を賄う世界初の自動車運搬船である。リチウムイオン電池はノートパソコン用の円筒電池 32 万個（システム総重量 60 t）をバラスト代わりとして船底に搭載している。

港内を航行する電力までをカバーするためには、更に数倍のリチウムイオン電池が必要となる模様である。

現時点では石油燃料のディーゼル機関に比べ大幅にエネルギー密度が低く、大型船舶の推進用には使用できないのが判る。

1-1-4 大阪のリチウム電池客船

これらのことから、電池船の現状は数人乗りの鉛電池の小型ボート、また東京海洋大学が開発したリチウム電池船の交通艇「らいちょう」や小型漁船があるが、これらはいずれ乗客 12 名未満の非旅客の小型船であり実験船の域を出ていなかった。

しかしながら、平成 24 年 7 月に大阪で 40 名乗りのリチウム電池推進船が 10 月から大川で運航を開始すると発表された。

船舶の場合、旅客搭載人員が 12 名の非旅客船と 13 名以上搭載する旅客船では安全性に係る規則が大幅に異なる。また客船等では小型船であっても、搭載機器で重要な推進に係る主補機は、先にも述べたとおり、JG や JCI の型式承認が必要となる。しかし、現実はこの種の新しいリチウム電池や新しいモータに関しては船用としての型式承認品がなく、新規建造においては、これが障害となり、新しい機器の場合は、陸上で実績があっても、船用としての型式承認がない機器の場合は使用できない。船用の型式承認についてメーカーは承認手続きと試験で多大な時間と費用が掛かるため、生産量が少なく需要が少ない機器の場合は船用の型式承認を取らないケースがほとんどである。

今回の場合は省エネや環境の点から電動化の時代背景もあり、リチウム電池や制御、モータは新しいものであり、認可に際しては例えば 200 時間の負荷耐久試験を行い、本船に限って認可されたとかであろうと考えられる。

いずれにしても、時代の要請から今後小型船にはリチウム電池船が出現し、規則も順次整備されることが考えられる。

本船の主要目と概略図並びに発表された時の資料等を次ページ以下に示す。

Specifications

■主要要目

型式		RYUSE50
寸法・重量	全長(m)	15.0m
	全幅(m)	3.2m
	エアドラフト(m)	1.6m
	喫水(m)	0.5m
	総トン数	約 11t
性能	推進電動機	22kW×1,000r.p.m.×1 基
	航海速力	4kt 以上
駆動用バッテリー	種類	リチウムイオン電池
	電池容量	26kWh×2
	バンク	2 バンク
定員	乗組員	2 名
	旅客	40 名
諸装置	ソーラーパネル(公称最大動作電力)	135W×4 枚
	スラスタ	95kgf
	客室用照明	調光機能付高輝度 LED 客室ライト
船質		アルミ合金
船級		JCI
用途		旅客船

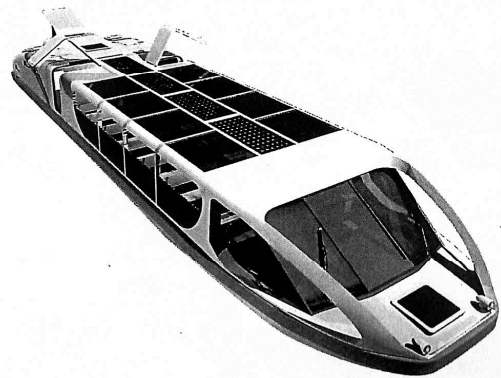


図 3 40 名乗りリチウム電池推進船の概要

(出典：ツネインクラフト&ファシリティーズ(株)カタログ)

発表されている本図から重量や速力を推定すると、幅は 3.2m と狭く、喫水は 0.5m と非常に浅い。その同船に、40 名の椅子席、乗員 2 名、トイレを配置しているが、一般の小型客船に比べ非常に狭く、配置や軽合金を使用し軽量化に苦勞し、速力は 4 ノット以上ときわめて遅く、電池容量の関係で出力を低く抑えているのが読み取れる。推進モータが 22kW (30ps) 1 基の電動モータである。

通常、ディーゼル推進のこの種の客船では搭載馬力は 200ps 程度、10 ノット以上で航走するのが一般的である。リチウム電池搭載では電池容量を大きくすると、重量も重く、価格も高くなるために、船体は出来るだけ軽量化し、速力を遅くし、出力を極めて低くしないと成り立たないことが判る。

速力は 4 ノット以上と非常に遅く、電池容量は 26kWh2 台で合計 52kWh、6 時間の航行が可能と発表されている。22kW のモータの両サイドにリチウム電池が配置されていて、電池冷却や保守点検のためか意外と大きなスペースを取っており、通常のディーゼルエンジンの機関室より大きい。

本図から、排水量を推定し、推進電動機の出力から、概算推定を速力推定すると、水線長さは約 14.0m 前後、幅 3.2m、喫水 0.5m、清水域とし、方形係数を 0.55～0.65 とすれば排水量は約 13.5 t～16 t 位であり、高速艇の速力馬力推定の大隅法によって概算速力馬力を推定すると次のようになる。

大阪リチウム電池船推進速力・馬力

BHP1W=13t,BHP2W=14t
BHP3W=15t,BHP4W=16t

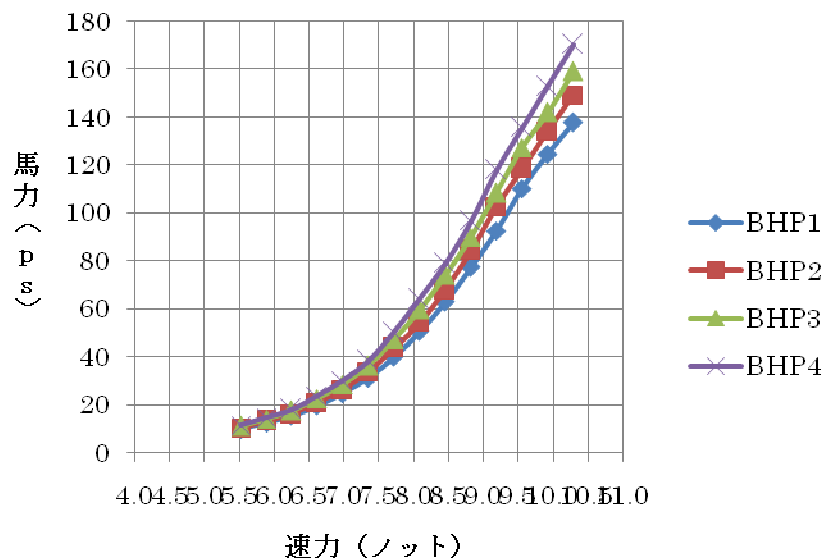


図 4 大阪リチウム電池船推進速力・馬力の推定

上記から排水量を 15 t として、22kw は約 30ps であるから、最大出力の 22kw では約 7 ノット程度となる。しかし搭載の電池容量が 52kWh であるので、7 ノットで航走すると約 2 時間程度しか航走できない。6 時間航走可能と記載されていることから、1 時間当たり 8kWh 程度しか使用できないので、常時航走する場合、推進モータは約 10ps (7.4kW) とすれば、船速は約 4～5 ノット程度と予想される。

このため、運航としては 5 ノット程度で 6 時間航走し、1 日 1 回 1 時間で充電するか、7 ノットの場合は 2 時間航走し、停船時間に 1 時間で充電を行う運航になると推定される。

1-2 水陸両用船の現状

水陸両用船については、数が少ないが軍事や特殊用途として各国で使用されている。交通機関となる水陸両用のバスについては、米国、豪州、シンガポール、オランダ等で水陸両用バスが製造され運行されているが、日本では実在しなかった。

2005 年大阪の NPO 法人が米国より水陸両用バスを輸入し、日本各地でデモを行い、運行を模索、2007 年鬼怒川温泉にて国土交通省、日光市、地元温泉組合の協力にて、期間限定で商用運航を開始、好評であり 1 万人を集めた。

このバスは現在、大阪で運行中であり、また中古の軍用を輸入し神戸等でも運航が開始された。この NPO 法人が輸入バスを見本として、国産を決意し、神奈川県の特装車メーカーであるコーワテック（株）に建造を依頼し、東海大学と共同で開発が始まり、2008 年 8 月完成、現在湯西川温泉のダム湖にて運航を開始し、大好評を博している。2009 年 9 月、2 台目が完成し、諏訪湖にて運行中である。

2012 年現在、国産の水陸両用バスは 4 隻建造され、湯西川、諏訪湖、ハウステンボス、宮城釜房ダム湖にて運航中であるが、同年夏、お台場のフジテレビ前からと浜松町から何れも 80 分で芝浦埠頭経由レインボーブリッジの下をクルーズする社会実験がスタートし、その後このコースを有料（大人 3500 円）で 7 月 14 日から 9 月まで運航が実施された。

フジテレビ前からレインボーブリッジを渡り、芝浦倉庫街を長々と走り、入水地点はレインボーブリッジが間近に見える江南スロープで一旦停止し掛け声と共にスロープから水中へダイブし、その後 4 ノット位でレインボーブリッジの下を周遊し、スロープから上がる。

レインボーブリッジ下の周遊航海では、風があると波高 30~40 cm で波長 5~10m 位の波があり、波周期は 2.5 秒位であり、本船の横揺れ周期に近く、横揺れも生じる。特に 30 m 級のタグボート等が走っており、この引き波が大きいので、この場合は船首を波に向けて横揺れを防いでいる。

このほか日の丸自動車は米国製の水陸両用バスを輸入し、江東区のスカイツリー近傍で試験航行を行い、その後 20 台位を準備し大々的に運航予定とされている。水陸両用バスは設計、製造検査も車としての陸運局の検査、さらに船舶としての JG 設計、製造検査があり、この両方をクリアする必要があるため、特に浮体であるため、復原性の規則や機器の型式承認の問題があり、なかなか難しい所が多い。

次ページから 2 ページに渡って、2011 年 8 月現在の日本における民間の輸入、国産の水陸両用船や水陸両用バスの要目を示すので参照されたい。国産例の場合残念ながら、陸上走行用の主機と水上走行用の主機がそれぞれ搭載されており、これは搭載された陸用主機は船用の認定を取っていないため、水上航行には認められないので、やむなく水上航走用としての船用認定の主機を搭載しているのである。

本来の設計からは陸用主機から船用推進用動力を分岐して取るのが本質である。

下表に 2011 年 8 月現在の日本における民間の輸入、国産の水陸両用船や水陸両用バスの要目を示す。

船種船名	汽船 CHALLENGER号	汽船 LEGEND零ONE 号	汽船 LEGEND零TWO 号
生産国	アメリカ	日本	日本
車名	いすゞ	いすゞ	いすゞ
船舶所有者	ジャパンドック株式会社	ジャパンドック株式会社	ジャパンドック株式会社
船舶借入人	NPO法人日本水陸両用車協会	NPO法人日本水陸両用車協会	NPO法人日本水陸両用車協会
船舶番号	130-182大阪	117-468大阪	117-469大阪
船籍港	大阪府大阪市	大阪府大阪市	大阪府大阪市
使用者	柿木観光バス株式会社	NPO法人日本水陸両用車協会	北港観光バス株式会社
用途	旅客船	旅客船	旅客船
構造	無甲板船	無甲板船	無甲板船
船質	軽合金	軽合金	軽合金
総重量	11.385t	11.04t	10.51t
総トン数	4.9トン	4.8トン	4.8トン
航行区域	平水区域 ただし、湖水港内に限る	平水区域 ただし、湖水港内に限る	平水区域 ただし、大川毛馬閘門から 天神橋に至る水域に限る
最大搭載人員	旅客37人 船員2人 その他の乗船者0人 計39人	旅客40人 船員2人 その他の乗船者0人 計42人	旅客40人 船員2人 その他の乗船者0人 計42人
全長	11.95m	11.85m	11.95m
長さ	10.59m	11.20m	10.67m
全幅	2.50m	2.45m	2.45m
幅（船舶）	2.49m	2.44m	2.44m
全高	3.54m	3.65m	3.70m
喫水	1.200mm	1.120mm	1.120mm
推進機関	主機関：いすゞ6HH1型 ディーゼル機関165kw (225PS) 推進器：YYS-3503S型 アウトドライブ、3翼FPP,	主機関：ヤンマー4JH3-DT型 ディーゼル機関69.9kw (95PS) 推進器：YYS-3503S型 アウトドライブ、3翼FPP,	主機関：ヤンマー4JH3-DT型 ディーゼル機関69.9kw (95PS) 推進器：YYS-3503S型 アウトドライブ、3翼FPP,
駆動方式	後輪2駆	4輪駆動	後輪2駆
最高速度	120 km/h	90 km/h	90 km/h
航海速力	3.5kt	4.0kt	4.0kt
最大速力	4.5kt	5.0kt	5.0kt
竣工年月日	平成14年7月	平成20年7月	平成21年6月
船検証書交付	北陸信越運輸局	関東運輸局	近畿運輸局
			
	諏訪湖探検ダックツアー	尾西川ダムとダム湖探検ダックツアー	大阪ダックツアー

2011年8月 現在

汽船 LEGEND零THREE 号	汽船 GAIA-SP	汽船 がいあ号	汽船 がいあⅡ号
日本	日本	ドイツ	ドイツ
いすゞ	三菱ふそう	アンフレンジャー-2800SR	アンフレンジャー-2800SR
ジャパングック株式会社	ジャパングック株式会社	日本水陸株式会社	日本水陸株式会社
NPO法人日本水陸両用車協会	/	NPO法人大阪水かいどう808	NPO法人大阪水かいどう808
117-471大阪	117-470大阪	117-432大阪	117-447大阪
大阪府大阪市	大阪府大阪市	大阪府大阪市	大阪府大阪市
株式会社タケヤ交通	ジャパングック株式会社		
旅客船	旅客船	作業船兼快遊	作業船兼快遊
無甲板船	無甲板船		
軽合金	軽合金	軽合金	軽合金
10.51t	7.77t	2.8t	2.8t
4.8トン	4.9トン	2.515トン	2.545トン
平水区域 ただし、湖水港内に限る	平水区域 ただし、ハウステンボスハーバー 北側湖水港内に限る	平水区域 ただし、陸岸より5海里以内の 水域に限る	平水区域 ただし、陸岸より5海里以内の 水域に限る
旅客40人 船員2人 その他の乗船者0人 計42人	旅客20人 船員2人 その他の乗船者0人 計22人	旅客3人 船員1人 その他の乗船者1人 計5人	旅客4人 船員1人 その他の乗船者0人 計5人
11.85m	9.5m	4.73m	4.72m
11.20m	8.46m	4.14m	4.14m
2.44m	2.4m	1.94m	1.93m
2.44m	2.44m		
3.70m	3.58m	1.79m	1.79m
1.120mm	0.75mm	790mm	790mm
主機関：ヤンマー4JH3-DT型 ディーゼル機関69.9kw (95PS) 推進器：ヤマハYS-3503S型 アウトドライブ、3翼FPP、	主機関及び推進器 スズキDF60型船外機 (60PS) × 2機 がソリン機関	主機関 水冷6気筒がソリンエンジン 135PS5,200rpm	主機関 水冷6気筒がソリンエンジン 135PS5,200rpm
後輪2駆	後輪2駆	4輪駆動(4WDデフロック付)	4輪駆動(4WDデフロック付)
90km/h	110km/h	140km/h	140km/h
4.0kt	4.0kt	5.0kt	5.0kt
5.0kt	5.0kt	8.0kt	8.0kt
平成23年7月	平成23年4月	平成3年9月	平成6年9月
関東運輸局	九州運輸局	近畿運輸局	近畿運輸局
			
みちのくダックツアー	ハウステンボスダックツアー	世界初！水陸両用車タクシー	

2 河川、沿岸域の再生エネルギー利用の現状

河川、沿岸域の再生エネルギーとしては、河川の水位差エネルギー、流水エネルギー、風力エネルギー、太陽エネルギーがあり、現状は河川の落差を利用したダム以外はほとんど利用されていない。

ここでは、まず再生可能エネルギーによる発電出力について検討し、その後実績や検討事例が多い海洋における再生エネルギーの利用を調査し、それを踏まえて、3. 水上交通のあり方の検討、において、3-3. 船着場の充電ステーション機能と再生可能エネルギー供給可能性の検討を行うものとする。

2-1 河川における再生可能エネルギーの利用

2-1-1 再生可能エネルギーによる発電出力

1) 風力、水流発電出力検討

ニュートンの運動方程式より、物体の運動量は

$$P = m \cdot V$$

P : 運動量 m : 質量 V : 速度

この運動エネルギーは、

$$E = 1/2 \cdot m \cdot V^2$$

E : 運動エネルギー

となる。

上記運動量の質量mは流体中を移動する場合、移動部の押しのけた質量mは、

$$m = \text{投影面積 } A \text{ (m}^2\text{)} \times \text{移動距離 } L \text{ (m)} \times \text{流体の密度 } \rho \text{ (kg} \cdot \text{S}^2/\text{m}^4\text{)}$$

となる。

移動距離 L (m) は速度 V (m/s) × 時間 t (s) であるから、

$$V = L / T \text{ (m/s)}$$

故に質量は、

$$m = \rho \cdot A \cdot V$$

物体の運動量は、

$$P = \rho \cdot A \cdot V \cdot V = \rho \cdot A \cdot V^2$$

物体の運動エネルギーは、

$$E = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

となる。

運動量は V の 2 乗、運動エネルギーは V の 3 乗に比例することとなる。このことから運動（抵抗）は投影面積 A と V の 2 乗に比例し、運動エネルギー（出力）は、投影面積 A 、と V の 3 乗に比例することとなる。

この運動方程式から風力や水流のエネルギーを kW 換算するには 102 で除する。

$1\text{kW}=102 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{sec}$ (1kW は、 102kg を 1 秒間に 1m 持ち上げる仕事率)

よって、

風力、水流のエネルギーの kW 換算 ($\text{kW}:\text{kg}\cdot\text{m}/\text{sec}$) $=1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot /102$

となる。

この流体エネルギーでプロペラ等駆動して発電として取り出すためには、プロペラ効率、発電機を回すための軸受け、増速器の効率、さらに発電効率等を乗じる必要がある。

風車等の流体中のプロペラ効率については、プロペラ前の流速とエネルギーを回収後のプロペラ後の流速比が重要で、この速度比が 3:1 の時が最大効率 0.593（ベルツの法則）となる。その他の軸受け、増速器約 0.8~0.9、発電機効率 0.8~0.94 とすれば、これらを含む発電総合効率は 0.25~0.4 程度となり、これに乗じる。但しこれは定常風等がコンスタントに吹いている場合の出力で、低風速になるとプロペラ効率が低下するので、風力、潮流等流速が変化する場合は年間平均の風速、流速等を考慮する必要がある。

故に、流体エネルギーから取り出せる発電エネルギー kW は次式となる。

風力発電出力 ($\text{kW}:\text{kg}\cdot\text{m}/\text{sec}$) $=1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot \eta /102$

ρ : 流体密度 ($\text{kg} \cdot \text{S}^2/\text{m}^4$) 風力の場合は 20°C 時の空気密度 $0.1228\text{kg} \cdot \text{S}^2/\text{m}^4$

A : プロペラ面積 $\text{m}^2 = \pi \cdot D^2/4$ D = プロペラ直径 (m)

V : 流速 : m/s η : 発電までの全効率 (一般的には約 0.2~0.4 程度)

kW 換算は $1\text{kW}=102\text{kg}\cdot\text{m}/\text{sec}$ であり (102kg の重量物を 1 秒間に 1m 上げるのが 1kW) 102 で除したものが発電出力となる。

水流発電出力 ($\text{kW}:\text{kg}\cdot\text{m}/\text{sec}$) $=1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot \eta /102$

ρ : 流体密度 ($\text{kg} \cdot \text{S}^2/\text{m}^4$) 海水の場合は 20°C 時の海水密度 $104.49 \text{ kg} \cdot \text{S}^2/\text{m}^4$

A : プロペラ面積 $\text{m}^2 = \pi \cdot D^2/4$ D = プロペラ直径 (m)

V : 流速 : m/s η : 発電までの全効率 (一般的には約 0.2~0.4 程度)

風量や水流発電の場合でプロペラ等を使用するが、プロペラが固定ピッチの場合、最適効率点は風速や水流速度の 1 点しかなく、速度が変化すると効率が低下する。したがって、大型の場合はプロペラピッチを可変にして、ある程度の速度変化に対応可能なようにしている。

2) 水位差発電出力検討

水位差発電出力は水位差と流量による算出が便利のため、風力、水流発電出力式から単位を変換し、水位差発電出力式を作成する。

トリチェリの定理：自由落下の速度式より

$$V = \sqrt{2gH}$$

V：自由落下速度 (m/s) H：水位差 (m)

$$H (m) = V^2 / 2g$$

となり、速度を落下水位に変換する。

計算上の密度単位は比重 γ が扱いやすいのでこれを単位変換すると

$$\gamma : \text{流体比重} = \rho \cdot g = (\text{kg} \cdot \text{S}^2/\text{m}^4) \cdot (\text{kg}/\text{s}^2) = (\text{kg}/\text{m}^3)$$

清水の場合は $1,000\text{kg}/\text{m}^3$ 、海水の場合は $1,025\text{kg}/\text{m}^3$ である。

$$\begin{aligned} \text{水流発電出力 (kW)} &= 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot \eta / 102 \\ &= \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta / 102 \\ &= \text{水位差発電出力 (kW)} \end{aligned}$$

$$\text{水位差発電出力 (kW)} = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta / 102$$

2-1-2 風力発電出力の実例

大型の風力発電の発電量は MHI の資料によれば平均風速は不明であるが、

$$\text{発電量 kW} = \text{直径 } D^2 \times 0.3$$

とあり、採算上の年間平均風速は 6m/s 以上とのことである。

下表に風車径と発電量を示す。大型風車のプロペラは可変ピッチであり、風速に合わせてプロペラピッチを最適に変更している。

表 1 風車径と発電量の関係

風車径 D (m)	45	57～61	75～80	100～120
発電量 (MW=1000 kW)	0.6MW	1MW	2MW	3～4MW

上表の風車径と発電量を風速 12m/s として、前記の風量発電出力の式にて算出した発電出力を表 2 に示すが、発電効率 0.35 にてほぼ近い値となっている。

表 2 発電出力の算出結果

ρ : 流体密度 (k g ・ S ² /m ⁴)	0.1228	0.1228	0.1228	0.1228	0.1228	0.1228	0.1228
プロペラ直径D (m)	45	57	61	75	80	100	120
V 流速 : m/ s	12	12	12	12	12	12	12
A : プロペラ面積m ²	1590	2550	2921	4416	5024	7850	11304
η : 全効率	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
発電出力 (k w)	579	929	1063	1608	1829	2858	4115

表 3 に全効率を 0.3 として、プロペラ径を 1 m とし、風力は風速 5m/s から 2.5m/s 刻みで 17.5m/s 迄の発電量を示す。プロペラ径を変えた場合は、出力 kw に $\pi \cdot D^2/4$ を乗じれば求められる。

表 3 風力発電量の検討

ρ : 流体密度 (k g ・ S ² /m ⁴)	0.1228	0.1228	0.1228	0.1228	0.1228	0.1228
プロペラ直径D (m)	1	1	1	1	1	1
V 流速 : m/ s	5	7.5	10	12.5	15	17.5
A : プロペラ面積m ²	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785
η : 全効率	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
発電出力 (k w)	0.018	0.060	0.142	0.277	0.478	0.760

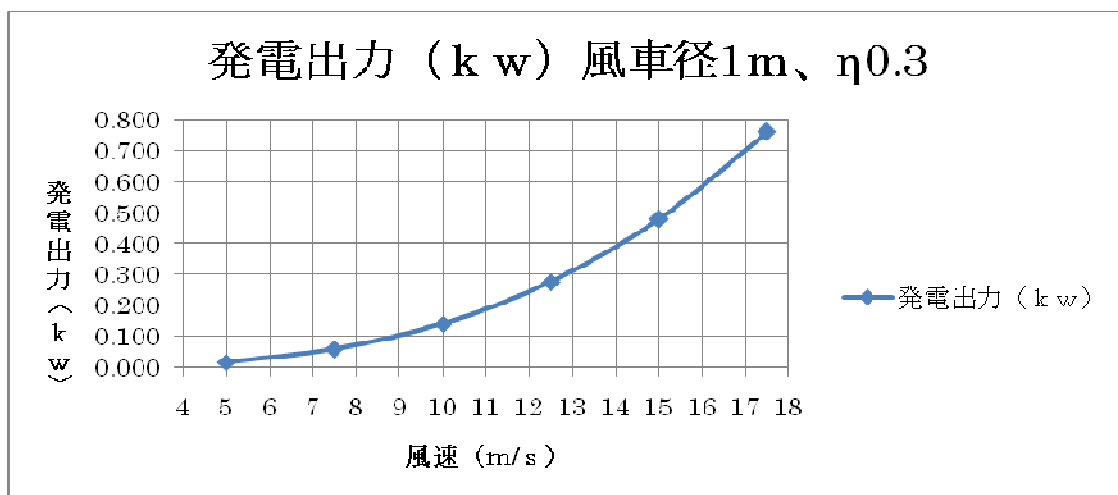


図 5 風力発電量の検討結果

2-1-3 市販されている小型風力発電装置について

市販されている縦型風車、プロペラ風車風レンズ風車、の資料を 2-1-4、2-1-5、2-1-6 に示し、要目や特徴をまとめ下表に示す。

表 4 小型風力発電装置の概要

項目/型式	縦型風車 WINPRO 1 kW 型	プロペラ型ゼファー 1 kW 型	風レンズ風車 3 kW 型
V 風速 : m/s	12.5	12.5	10.5
プロペラ直径 D (m)	1.8m×2.8m	1.8	2.5
A : プロペラ面積 m ²	5.040	2.543	4.906
最大発電出力 (kW)	1.00	1.000	3.00
特徴	風方向によって方向が変わらない、構造が比較的簡単で場所を選ばず設置可能であるが効率が低く、小型向き。	風方向によってプロペラ方向が変わる、プロペラ面積当たりの効率は約 35% で大型から小型まで多く設置されており、風車径が 100m 以上で 3~4MW 級の大型もある。	九州大学（九大）が開発したプロペラ型風車、プロペラ外周にダクトを設置し効率を高めた型式、効率試算ではプロペラ面積当たり約 80% であるが実績が少ない、今後に期待。

2-1-4 縦型風車 WINPRO

200w 型及び 1 kW 型を次図に示す。

WINPRO

風力発電機

WIND POWER GENERATOR

WP200-3B, WP1000-3B

省スペースでも設置可能な風力発電機

様々な場所に設置可能

360度方向からの受風が可能で、微風 1m/sec 程度で起動し低速域から高速域まで安定した発電を行います。

抜群な稼働率を有し、安全性に優れ、省スペースで設置可能なため、様々な場所での設置が可能です。

複数台の設置が可能

発電電力利用目的に合わせ、複数基を連結させて設置する事が可能です。

風力発電 & 太陽光発電のハイブリッドシステム

“WIND POWER GENERATOR ROOF” 同様、ソーラーモジュールを接続し、太陽光発電とのハイブリッド発電が可能です。

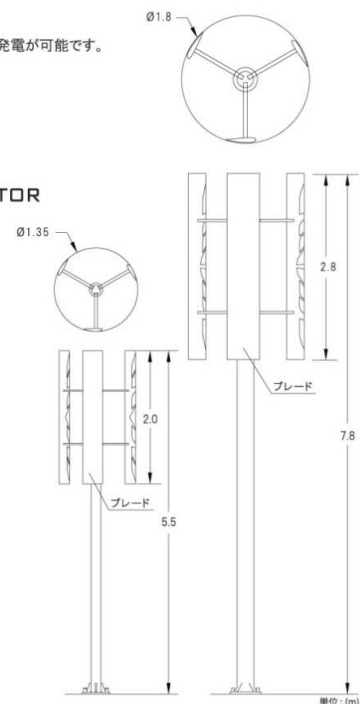


▲ WP1000-3B

風力発電機 ジェネレーター



▲ ソーラーモジュール WPSL220



単位: (m)

		WP200-3B	WP1000-3B			WP200-3B	WP1000-3B	
風力発電	起動風速	1.0m/sec	1.2m/sec	支柱	全高さ	4.0m	5.4m	
	発電開始風速	1.2m/sec	1.6m/sec		直径	165.2mm:t=5.0mm	216.3mm:t=6.0mm	
	定格出力風速	10.0m/sec	12.5m/sec		材質	STK炭素鋼管		
	設計耐瞬間風速	60m/sec	60m/sec		表面仕上げ	白色塗装仕上げ		
	制御方式	制御ブレーキ	全自動二重再生ブレーキシステム, 手動再生ブレーキシステム		太陽光発電	太陽光発電入力システム		
ブレード				※オプション		220W	880W	
	長さ	2.0m	2.8m			WPSL220×1基	WPSL220×4基	
	幅	30cm	50cm					
	直径	1.35m	1.8m		コントローラ	バッテリーシステム	バッテリー充放電管理システム	
	枚数	3枚			外部出力	DC12V	DC48V	
発電機	材質	耐腐食性アルミニウム合金				(※オプションAC100V DC/ACインバータ)		
	型式	アウトローターコアレス永久磁石多極型		全高さ	風力発電機+支柱	5.5m	7.8m	
	駆動方式	ダイレクトドライブ		概算総重量	風力発電機+支柱	約200kg	約350kg	
	定格回転数	200min ⁻¹ (rpm)				(バッテリー・コントロールBOX別)		
	定格出力	200W	1000W					
	ケース材質	耐腐食性アルミニウム合金						

※仕様書の内容、形状は都合により変更する場合がございます。

図 6 縦型風車 WINPRO の概要
(出典: <http://www.winpro.co.jp/>)

2-1-5 プロペラ風車エアドルフィン

1kW 型について次図に示す。



	エアドルフィン Mark-Zero	エアドルフィン Pro
品番	Z-1000-24	Z-1000-48
風車タイプ	水平軸プロペラ式、アップウィンド型	
ロータ直径	1800mm x 3 翼 (カーボン製)	
発電機タイプ	永久磁石式、三相発電機(磁石素材：ネオジム・アイアン・ボロン)	
カットイン風速	2.5m/s	
風車 DC 出力	1kW (12.5m/s 時), 674W (11m/s 時)	
基準年間発電量	1,260kWh ※1 ※2	
最大出力回転数	1000rpm	
定格出力電圧	DC25V	DC50V
推奨バッテリー容量	独立電源システム：420Ah 以上	

図 7 プロペラ型エアドルフィンの概要

(出典： http://www.zephyreco.co.jp/jp/products/airdolphin_gto.jsp)

※1 年間平均風速 5m/s 時 [風車 DC 出力量]

※2 実測値とレイリー式に基づく風速分布から JIS C 1400-12-1 に準拠して得られる値

なお、本風車について、プロペラは固定ピッチか可変ピッチかは不明である。

2-1-6 風レンズ風車

九州大学が開発した風レンズ風車、ダクト付でダクト下流にディフューザを設置、この渦流で流入流速を上げた高効率の風車である。プロペラ翼が固定ピッチか可変ピッチかは不明である。



図 8 風レンズ風車 3kW 型

(出典 : <http://www.riam.kyushu-u.ac.jp>)

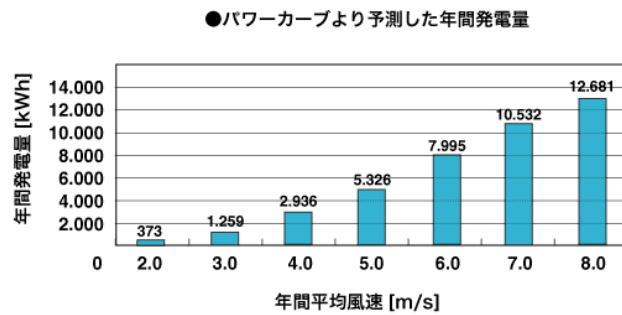
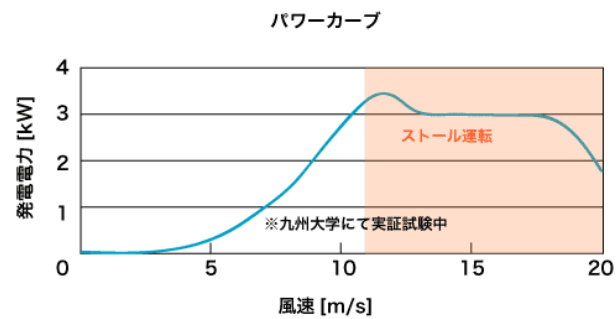
表 5 風レンズ風車 3kW 型仕様

(出典 : 同前)

製品名称	ウィンドレンズ風車 WL300
定格出力	3000W (風速 10.5m/s 時)
ロータ直径	2500mm (ディフューザ口径 4339mm)
ブレード枚数	つばつきダクト型(風レンズ) 3 枚翼プロペラ
回転開始	2.5m/s (風向正対時)、カットイン 3.0m/s
カットアウト風速	20m/s (ロータ停止)
発電機	永久磁石式 3 相交流発電機、AC→DC(→AC)
強度	風速 59.5m/s (CLASS II)
	熱抵抗ブレーキ(400min ⁻¹ ~800min ⁻¹)

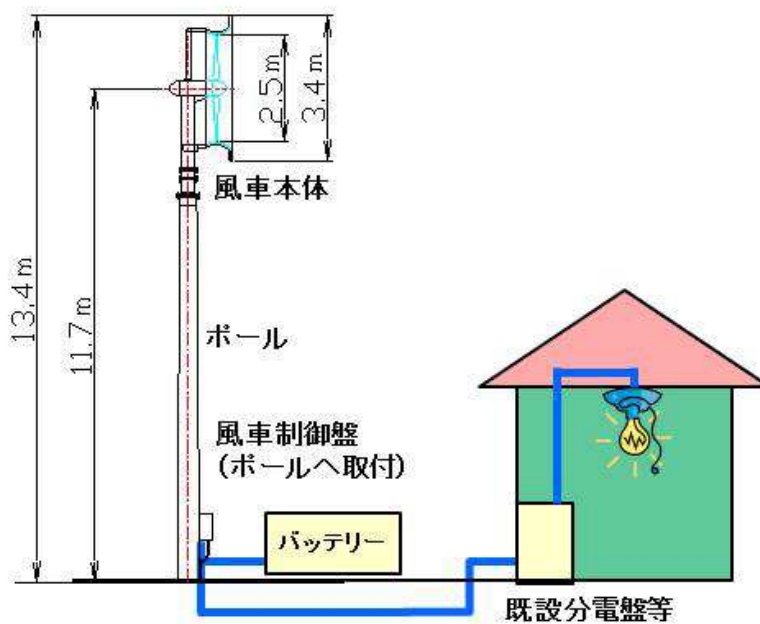
風レンズ風車のパワーカーブと風速と年間発電量

下記によれば、年間平均風速 6m/s あれば、4 人家族の平均的な電気使用量の約 2 倍の電力が得られることとなる。



※4人家族の平均的な年間電気使用量は 3500kWh

図 9 年間発電量の予測



九州大学の流体研究室のホームページには風レンズ風車の2次元CFD解析が掲載されており、これを下図に示すが、これによれば渦は発生しておらず、単なる偏向流であると解釈できる。

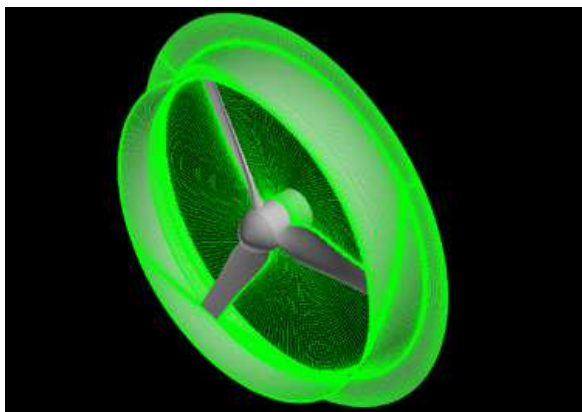


図 11 計算格子

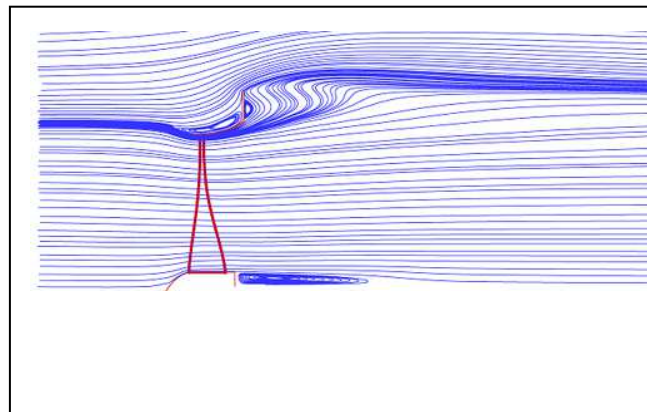


図 12 2次元CFD

(出典 : <http://fe.mech.kyushu-u.ac.jp/research/cascade/cascade.html>)

1) 風レンズ風車の特徴

風レンズ風車はダクト後部の湾曲部で渦流を作り、負圧を生じさせ、流入風速を上げて効率を上げる、独創的な着想に基づく風車である。一般的には、流入側の直径を大きくするが、下流側を大きくしたのが風レンズ風車の特徴である。船舶のプロペラもダクトを用いて推力を上げる例があり、タグボートのプロペラのダクトは流入側を若干大きくして、後部の流速を上げて推力を増加させ、また商船用のダクトはダクトの翼型断面により後方にスラストを生じ馬力を節減している。

発電量は流入速度の3乗に比例するので流速が30%増加した場合の発電量は1.3の3乗で2.2倍となる。風レンズ風車の発電量(カタログ値)から推定した風エネルギーからの発電量推定も、全効率は通常型の2~3倍以上となっている。

風速が同じで、同じ発電量を得ようとする風レンズ風車の直径は通常型に比較して $1/\sqrt{2.2}=0.67$ すなわち約70%の直径で良いこととなり、風車が小型になり、コストも安いと考えられるが、支持ポールに加わる力は通常型と同じ強度は必要となるが高さが低ければ、転倒モーメントが小さくなり、基礎部分等がやり易いと考えられているが、実績が少ない。

2-1-7 大型風力発電装置

現状の風力発電は小型は縦型風車、大型はプロペラ型が圧倒的に多いが、効率の高い風レンズ風車は今後の増加が期待される。

日本では風力発電装置の設置が山間部や海岸に多く、地形によっては風向や風速の変化が激しく、西欧の平地設置型に比べ、高強度が要求されるケースが多い。

また、今後は水深の浅い海面に設置することが期待されているが、漁業補償等の観点から政治主導しないと進展しないことが考えられる。

2-1-8 水力発電

河川における再生エネルギーとしては、ダムによる水力発電があり、従来から最も利用されているクリーンな発電システムであり日本の電力量の 8%を占め、1960 年代までは日本の発電をけん引した水力発電は 1975 年に日本で落差最大の黒部ダムが完成した頃からあまり増加していない。

(1) 水力発電とダム

水力発電は、維持コストが低く、CO2 排出のないクリーンエネルギーである一方、ダム建設に莫大な費用がかかる上、水没による社会的コストも大きく、また近年ダムによる河川から海への土砂流入が減少し、海岸の砂浜減少の原因とも言われ、また海への土砂流入減少は同時に鉄分やミネラルの減少等があり、磯焼けの原因ではないかとも言われているが、海水温暖化や環境問題等もありはっきりしたことは判っていない。

これらに関し、海藻が取り込めるのは鉄や鉄イオンそのものではなく、枯葉や腐葉土、汽水域の沼等の環境下で鉄イオンとフルボ酸がくっついたフルボ酸鉄であるので、自然環境の循環が重要との考えもある。気仙沼の牡蠣養殖者はこの考えで地域ぐるみで、長期間山に植林を継続しており、徐々に効果は上がっているらしく TV 等で良く紹介されている。

このほか海岸沿いの林には魚付保安林と書かれている場所があり、古来、漁業を営む地域では、海岸の森林を守る習慣があり、これは、森林の木影には魚が集まる、森によって風当たりが弱まる等、いくつかの理由のもとに、この森林があるから魚が集まるのだという事等、魚と森林の重要さを現象から理解していたと考えられる。

(2) 揚水式水力発電

近年、これらの環境問題からダム作りが難しくなりつつある。一方、1980 年代から増えてきたのが、揚水式水力発電であり、電力需要の少ない夜間に、電気を使って水を高地に引揚げ、電力需要の多い昼間に、その水を使って水力発電を行うというものである。

大容量の火力発電（原子力を含む）では発電機を駆動するため大型のボイラー（原子炉）や蒸気タービンが設置されているが、これらの大規模プラントでは短時間での出力の増減が難しく、又発電に長時間かかるので、1 日の需要変動に対し追従が不可能であり夜間に電力が余ることとなっている。このため電力の需給バランスを調整するため、揚水式水力発電が活用されてきた。しかし、揚水式水力発電は発電量の増加にはほとんど寄与しない。

(3) 中小水力発電

最近注目が集まっているのが、「中小水力発電」であり、巨大なダムを建設するのではなく、既存の河川の流水を利用して行う、中小規模の水力発電である。再生可能エネルギー（自然エネルギー）として注目されているが、発電量が限られることや、ごみの問題、生態系への影響等から、日本ではほとんど実績がない。

中小水力発電ではダムの様に水をためて発電するシステムと水路の水流の流れでプロペラを回し発電するシステムの2種類がある。

水流を利用する発電出力は前に述べたが、水流速度の変化が大きいと、プロペラ翼が可変ピッチになっていないと、最適な効率はある流速の1点しかなく、その他の流速では効率が悪くなる。この点水位差を利用してダム等の水をためる場合は比較的流量変化が少ないので効率が高くなる。水位差発電出力式を下記に示す。

$$\text{水位差発電出力 (kW)} = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta / 102$$

γ : 流体の比重(清水の場合は 1000kg/m^3)

Q : 流量 m^3/sec

H : 水位差 (m)

η : 発電全効率

ダム等の様な水量が管理された水位差発電では水車は衝動水車であるベルトン水車と反動水車であるフランシス水車やプロペラ水車があり、効率については、最良の負荷条件では90%前後であり、下記の比速度によって異なり、比速度が低い時はベルトン水車、大きい時はフランシス水車やプロペラ水車が適している。

比速度 : $n \cdot L^{1/2} / H^{5/4}$ (mkW 又は mPS)

n : 水車の効率 L : 理論動力 (水動力) H : 有効落差 (m)

比速度はベルトン水車 : 15~35、フランシス水車 : 50~450、プロペラ : 500~1200

(4) 河川の水流発電

今回、河川に設置する乗降用浮棧橋の自己完結型自然エネルギー利用としてここでは、水流の流れを利用したプロペラ式補助発電装置が考えられるのでこれを検討する。

1) 河川の水流を利用したプロペラ式発電装置

まずは、水流でどの程度の発電が可能か概算検討するために、現実には販売されている製品の比較検討を行う。

流水投入型ピコ水力発電機(100W型)について検討すると、直径0.312m、流速4m/sにて12V、8アンペアとあるから96wとなる。効率を逆算すると、4%位であり下表の如く相当悪い。プロペラ径の選定やハウジングの形状が適切でないと考えられ、また河川では4m/s

(約 8 ノット) の流速があるところはかなり上流であり、乗降用栈橋では使用できない。
本発電機は農業水路、川、疎水、流水等を利用した蓄電池充電専用とある。

流速の遅い河川では適切ではないので改良型としてプロペラ直径 1m、効率 0.2 として試算したのを下記に示す。

表 6 発電出力の試算

	投入型 ピコ	改良型	改良型	改良型	改良型	改良型
ρ : 流体密度 (k g ・ S ² /m ⁴)	104.49	104.49	104.49	104.49	104.49	104.49
プロペラ直径 D (m)	0.312	1	1	1	1	1
V 流速 : m / s	4	0.5	1	1.5	2	2.5
A : プロペラ面積 m ²	0.076	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785
η : 全効率	0.04	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
発電出力 (k w)	0.100	0.010	0.080	0.271	0.643	1.257

2-1-9 太陽光発電

太陽光発電は身近で良く使用されているので、説明するまでもないので現状での市販製品の面積当たりの発電量等を調査した。

シャープ製の高効率単結晶型での一般家庭の屋根用市販品 NU-200AB 型データ

型式 : NU-200AB

最大出力 : 200w

パネルサイズ : 1318×1004×46

パネル重量 : 16kg

変換効率 : 15.1%

面積当たり発電量 : 200w/1318×1004=151w/m²

(すなわち変換効率に面積を乗じたものが発電量になる)

重量当たり発電量 : 200w/16kg=12.5w/kg

メーカー希望価格 : 1 枚約 10 万円、1kW 当たり価格 50 万円/kW

価格については、上記は太陽光パネル 1 枚の参考価格であり、システムによって制御装置、蓄電池、インバータ、変圧器等が必要となる。

2-2 沿岸域（海洋）における再生エネルギーの利用

海洋エネルギー利用に関しては、沿岸域の潮汐発電、潮流発電、波力発電や海洋における海流発電、海洋温度差発電等がある。世界でも特異な沿岸における潮汐発電、潮流発電以外は実用化されていないが、沿岸域の波力発電は実験機が多数製作され実験されている。現在は海洋における波力や海流発電等も検討が行われているので、これらを紹介する。

海流を例にとれば、日本では太平洋岸に黒潮が流れ、海流速度は2~4ノットあり、幅約100km、深さ約500mにて、ほぼ一定で流れ年間変動が少なく、エネルギー総量としては大きいエネルギー密度が小さいと考えられている。

今、海流と風力を比較すると、発電出力は総合効率を同じとすれば流体密度に比例し、流体速度の3乗に比例するため海水は密度が空気より850倍大きいので、

(20℃にて空気密度 $0.1228\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 、海水密度 $104.49\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 、約850倍)

同じ直径のプロペラを回した場合

海流の流速が風力の1/6の場合：海流発電出力 = $(1/6)^3 \times 850 = 3.9$ 倍

風速の年間平均を6m/sとして海流速度は2ノット時とすると1m/sとなり、海流速度は風速に比較して1/6であるから、同じ直径のプロペラを回すと海流発電出力が約4倍大きいこととなり、意外とエネルギー密度は高いこととなる。

しかし、風力等と比較すると、環境の違いから装置の建設費が高くなりまた、波力発電等も波浪エネルギーは大きいですが、平穏時と荒天時の差が激しく、海洋という環境により建設コストや送電線コストが高くなり実用化が遅れている。

2-3-1 潮汐発電

潮汐発電は潮の干満を利用した一種の水力発電で、月や太陽等の引力によって、ふつう1日にほぼ2回の干満のあることを利用して発電する。潮汐の大きさ（潮位差）はどこでも一定ではなく、それは、地球の自転や海底地形の影響を受けるためである。潮汐発電は湾を堤防で締め切って、湾の内側と外側の落差の大きい時間帯にその落差を利用して水車発電を行っている。

フランスのランス発電所は潮汐発電所として、世界的に有名で、フランスの北西部、ブルターニュ地方のランス川の河口にある。出力24万kWは、海洋エネルギーを利用した発電所として、世界最大の規模であり、付近の潮位差は平均で8mもあり、潮汐発電の条件に恵まれている。堤防は道路橋としても利用されている。

カナダの東部、アメリカとの国境に近いファンディー湾にパイロットプラントが建設されており、平均潮位差は6.4mある。付近には、より大きな計画地点がある。その他、潮汐のエネルギーに恵まれた中国や韓国、ロシア、オーストラリア等に潮汐発電のパイロットプラントが建設されているようであり、今後増加すると考えられる。

日本で潮位差の一番大きいところは、九州有明海の奥部で、住ノ江で4.9mほどである。

以前、有明海を対象として、潮汐発電の実用化調査の実施されたことがあり、「ムツゴロウ」等の生息環境の問題や経済性の問題等があり、実現には至っていない。海洋エネルギーの利用時には周辺のいろいろなものに配慮することが必要である。ランスでは一時、生態系のバランスが崩れとされるが、その後、新しいバランスが保たれるようになったようである。

2-2-2 潮流発電

潮流とは、潮汐現象による流れのことで、日本には流れの速い「瀬戸」や「海峡」と呼ばれるところがたくさんあり、潮位差はあまり大きくなくても、海底地形が狭まっているところではエネルギーが集約されている。

日本では鳴門海峡や来島海峡等潮流が速く、潮流発電は実験レベルで行われたことがあり、鳴門はうず潮で有名であり、徳島大学が鳴門大橋工事用栈橋に固定して実験を行った。水車はクロスフロー型で構造物の下部に取り付けられた。

来島海峡では日本大学が愛媛県今治市の大浜沖に3枚翼のダリウス水車で実験を行った。

潮流発電は流れ向きが1日4回変わるため、水車やプロペラは流れ方向が変わっても同じ方向の回転が得られる、クロスフロー型やダリウス型が使用されている。日本では適用場所として、鳴門海峡、来島海峡、津軽海峡等の潮流の速い海域では可能性があり、環境との調和を考えながら今後研究が進むと考えられる。

2-2-3 海流発電

海流の流れを利用するのが海流発電であり、潮流は潮汐による流れのため、流れる向きが一日に約4回変わるのに対し、海流は地球規模の流れで、年間を通じて流れる方向は一定であるが流速が比較的遅いのが欠点であり、エネルギー密度が小さいともいえる。ただし、当初の検討にもあるように、風力に比べ同じ直径のプロペラで約2~3倍の発電量があるので、最近各地で検討が開始された。

現在、温暖化によるCO₂削減問題や東日本大震災後の原子力発電事故等から、あらためて黒潮が注目され、様々な計画が検討されている。

今、流速を2m/s(4ノット)として、プロペラ径を5mから45m迄変化させ、総合効率は0.28として発電量を試算したが、30m径で800kW、45m径で1,800kWと大きく、風車45m径で600kWであるから約3倍に相当する発電量となる。

表 7 海流発電試算

ρ : 流体密度 (kg・S ² /m ⁴)	104.49	104.49	104.49	104.49	104.49	104.49
プロペラ直径 D (m)	5	10	20	30	40	45
V 流速 : m/s	2	2	2	2	2	2
A : プロペラ面積 m ²	19.6	78.5	314.0	706.5	1256.0	1589.6
η : 全効率	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
発電出力 (kw)	23	90	360	811	1441	1824

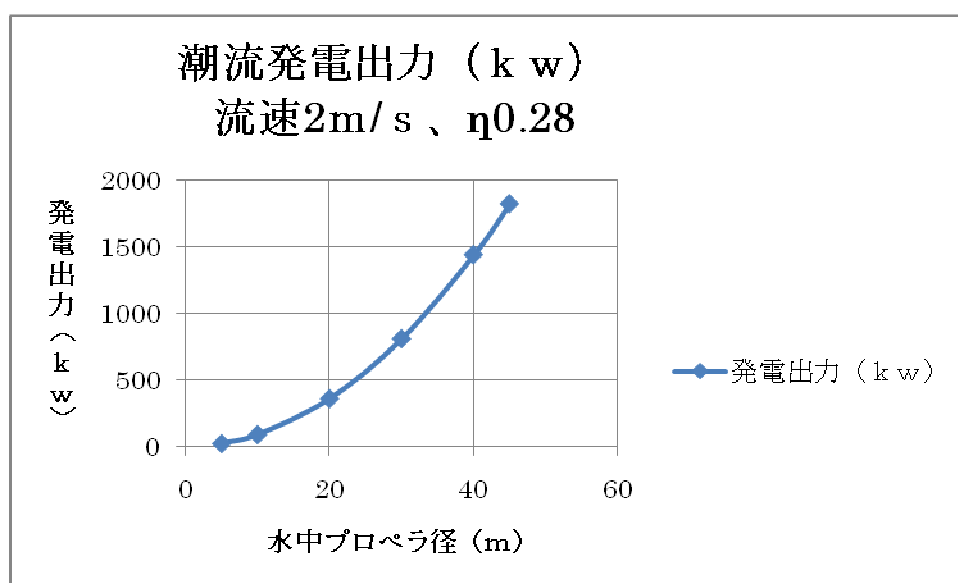


図 13 潮流発電出力の試算

海流発電の型式としては、半潜水型の浮体を海底から係留し、海中部にプロペラを設置したり、海底に柱を立てプロペラをまわしたり、潮流によって揚力を生じる形状の水中没水体にプロペラを設置し、風の様に海底から海中に浮揚させプロペラを回すもの等検討が進められている。しかしながら、なかなか実現が困難な大きな理由は、次の理由で建設費が高い点にある。

(1) プロペラ設置の浮体構造と係留装置

大型の海中プロペラを設置する浮体は構造が複雑となり、位置はある程度の水深が必要で、プロペラの抗力や浮体の波浪外力に対抗する係留装置が必要で、浮体形状半潜水型が大型化、または潜水型となり、水深が深いと装置が高額となる。

さらに台風時の対策も必要となる。波浪のオビタルモーションの影響は一般的に半波長分の水深まで影響があるとされる。台風時の長い波で 8 秒(波長 100m)～15 秒(波長 351m)あり、水深 50m～170m 位まで影響が及ぶこととなる。

（２）設置の困難さ

海底に設置するため、係留、水密構造、保守点検、送電、台風対策、関係者対策等もあり、建設費に影響がでそうであり、現状では適地が少ない。特に問題と考えられるのは台風対策で、台風時には波浪のオビタルモーションの影響がなくなるのは半波長分の水深であるため、水深 100m 程度または波高の 4 倍として約 40m 程度は必要となる。

（３）送電の問題

設置場所が陸地に近いとよいが、陸地から遠いと、海底に延々と送電線を敷設する必要がある、これらが経済的問題となる。

このため沖合の浮体構造や海底に設置したプロペラを海流で回し発電し、送電しないでこの電気を水素に変換し水素備蓄等の案が検討されている。しかしこのためには、電気分解する水素製造装置、備蓄タンク、水素輸送船、これらを貯蔵する陸上施設等一連の大掛かりなシステムや設備が必要となる。

２－２－４ 波力発電

（１）風と波

海面上に風が吹くと、風のエネルギーが波となって海面に伝わり、波となり海面に伝播してゆくが、これらは風速と海面の吹走距離、吹走時間によって SMB 法等で計算できる。例えば、風速 20m/s で吹走距離 200 k m の場合は、最低の吹走時間が 11.6 時間にて波高 4.8 m、波周期 8.3 秒、波長 103m、波傾斜角 8.1 度、波速度 12.9 m/s の波が生じ、吹走時間がこれ以上になっても波高は大きくならず、最低の吹走時間以下の場合はこれより小さくなる。

天気予報の波高予測値は海面をメッシュに分割し、風速、方向、海面の吹走距離を組み合わせでコンピュータで算出している。波高は有義波高を示し波高の高い方から 1/3 の平均値の波高を表し、波高分布はレイリー分布に近いため、100 波に 1 波は波高 1.6 倍（平均波周期を 5 秒とすれば 8 分に 1 回）、1000 波に 1 波は約 2 倍（平均波周期を 5 秒とすれば 1.4 時間に 1 回）の波高が出現することとなり、台風等では海岸や防波堤で突然の大波が出現し、よく事故が起こるがこのためであり、注意が必要である。

（２）波力発電のエネルギー変換方式

波力発電は日本を中心として、これまでにどのような研究開発がおこなわれて来たが、いずれも試作機や実験機にとどまっているが、近年温暖化の CO₂ 削減や原子力発電事故以来、波力発電にいろんな方式が提案されつつある。波力発電の方式は大きく分けて空気エネルギーに変換する、機械的なエネルギーに変換する、水の位置エネルギーまたは水流エネルギーに変換する、の 3 種類に分類することが出来る。

1) 空気エネルギーに変換する

(独)海洋研究開発機構で以前実験を行った「海明」は浮体構造物に空気室を付け、実験初期の頃には 25 m²の空気室が 24 室あった。構造物の底部は開いていて、空気室内の水面が上下することによって、上部に取り付けられた空気タービンを回しエネルギーを取り出す構造である。山形県鶴岡市由良の沖合で、1978 年に実験を開始して以来、計 3 回の実験を海洋科学技術センター(当時、現・(独)海洋研究開発機構、JAMSTEC)を中心に、一部、IEA (国際エネルギー機関)との共同研究として実施し、イギリス、アメリカ、カナダ、アイルランドがこれに参加した。その後やはり JAMSTEC が浮体式の「マイティーホエール」の実験を三重県度会郡南勢町の五カ所湾沖で、平成 10 年度から 11 年度に実験を行った。

その他、日本各地で大成建設、運輸省(当時、現・国土交通省)、竹中工務店、新技術事業団等で、堤防や岩場に空気室を設けた波力発電実験装置が多く設置されたが、現状では実用機はない。

防波堤に小型空気室を設けウエールズタービンを使用した発電量として、空気室面積 4 m²にて有義波高 1.2mにて発電量 500w (波高 1.2mにて 125kW/m²) 有義波高 0.5mにて発電量 100w程度 (波高 0.5mにて 25w/m²) との例があり、太陽電池の場合は 100w/m²位であるから、かなり大型になり建設費がかかりそうである。

2) 機械的なエネルギーに変換する

著名なのは英国が開発した浮体蛇状連結構造体で、波力によって体蛇状連結が変位するのを、油圧装置から電気変換するシステムである。

日本では振り子式発電システムがあり、波エネルギーを受圧板の振り子運動としてとらえ、油圧に変換する。いわば「波のプール」の造波装置の逆の原理で電力に変換する方式がある。

その他、環境面で注目される波力発電で、従来弱点となっていた効率性を高め、低コストで高い耐久性を保持する新しいシステムを、神吉(かんき)博・神戸大名誉教授(機械力学)らが開発した。実用化に向け、最終試験を進めている。ジャイロ(コマ)を使って波による揺れを直接回転運動に変換する技術を採用。製品化を目指す神戸大発のベンチャー企業「ジャイロダイナミクス」(神戸市中央区)は、今年から国内外で販売を開始する計画を立てている。

3) 水の位置エネルギーや水流エネルギーに変換する

このタイプの実験が日本の海で行われた例はない。

波によって打ち寄せられる水塊を構造物の斜面に沿って遡上そして越波させ、背後の池に貯留し、池の水面と海水面との水位の差を利用して低落差用水車タービンを回し発電するシステムである。

ベルゲンの西北西約 20km、北海に面した Toftestallen という岩礁地帯に建設され、1986 年に完成した。背後の池の面積は約 8500 m²あって、水面は海面よりも 3～8m 高く、落差 3 m で水量 14～16m³/s の低落差用 Kaplan 水車が用いられ、定格出力 350kW の波力発電が行われている。

2-2-5 海洋温度差発電

海洋温度差発電とは深海の比較的低温の海水と表層の太陽熱で温められた海水温の温度差を利用して発電するシステムである。下記に海水の温度分布を示すが、表層は 30 度位であるが、700m 位では 5 度程度となっており、フロンやアンモニアといった気化しやすい作動媒体を熱の交換に用い、暖かい海水で蒸発させタービンを回し、そして冷たい海水で作動媒体をもとの状態に戻してやる、これが原理の概略。温度差が少ないので大量の海水をくみ上げる必要がある。

設置は急に深くなっている海岸や、洋上浮体に設置する例があり、洋上プラントは取水管の長さが短くてすみ、また用地の確保も不要であるが、長期間の実験には向かない点がある。アメリカでも 50kW の「Mini-OTEC」、1 MW 相当の熱ループ試験が行われた「OTEC-1」はいずれも洋上プラントである。これに対して、陸上プラントは海底の地形に沿って取水管を設置しなくてはならないため、その長さは長くなり、経済性を確保するためには、急な海底斜面の場所が必要となる。鹿児島県の徳之島はわが国では比較的表面海水温度の高い場所であり、ここではディーゼルの廃熱との組み合わせた発電方式が九州電力により実験が行われた。

東京電力、東電設計ではナウル共和国は赤道に近い国で、表面付近の温度は約 30℃と高く、また、海底地形は急（約 40 度）という恵まれた条件のもとで、実験を行った。また佐賀大学が研究をしており、各種の検討がなされているようである。

2-3 本研究において検討価値の高い再生可能エネルギー

本研究に於いては、環境調和型の船舶にエネルギーを供給するシステムとして、電力会社の送電網に頼らない「小規模自立分散型の再生可能エネルギーシステム」の検討を行うが、その検討可能性の一つの事例として、次のシステムを提示する。

2-3-1 高効率の小型風力発電システム

自立分散型の再生可能エネルギーシステムの利用検討時の問題点として電力出力の安定供給がある。

小規模システムでの高効率性としては、まずは「小水力発電」が有り得るが、河口・沿岸域を想定した本研究事例では電力量を得る為の水位落差が足りない場合が多く、選択肢としてはなり得ない。

一方、小型風力発電も高効率性を追求した製品が出始めており、2-1-6.風レンズ風車で紹介した高効率の小型風力発電システムである。



図 14 風レンズ風車

(出典：(株)ウィンドレンズ HP)

左図の例では、

- ①風車へのダクト（集風レンズ）取り付けで風速を 1.4 倍（発電量は 3 倍）に拡大
- ②電柱設置のスペースがあれば設置可能であり、
- ③集風レンズがブレード翼端渦を抑制し静粛性向

と、視覚的安心感やバードストライク防止に貢献、としている。

また、上記風車とソーラーパネルを併用したシステムを浮体上に設置しての洋上実験（環境省「地球温暖化対策技術開発事業」）を、九州大学が平成 24 年 12 月迄の約 1 年間実施中である。

本装置を環境調和型の船舶にエネルギーを供給するシステムとして、「小規模自立分散型の再生可能エネルギーシステム」として、船着場に設置を検討する。

次ページに、浮体に設置実験した九州大学のプラントを示す。



図 15 浮体実験写真

(出典：九州大学応用力学研究室 HP)

2-3-2 風力発電導入に伴う関連法規

風力発電システムの設置、変更工事を行う際には必要な諸手続きが規定されており、その如何によっては本研究そのものの可否にも影響を与える。

手続きには工事計画、主任技術者、保安規定等があり、手続きの必要、不必要は発電規模により異なり、次の表に風力発電システムの建設に係る法的手続きの概要を表示する。

表 8 風力発電システムの建設に係る法的手続きの概要

発電規模	工事計画	使用前検査	使用開始届	保安規程
500kw 以上	届出	実施	不要	届出
500kw 未満	不要	不要	届出	届出
20kw 未満	不要	不要	不要	不要

上表の様に、ある一定規模の発電システムを設置する場合には、電気主任技術者の選任・委託として風力発電所の建設工事、維持、運用に係る保安監督の為、主任技術者免状交付者である主任技術者を選任し、通商産業局への届出が必要である。

一方、本研究で検討を加えている様な発電規模 20kW 未満の風力発電システムでは、主任技術者の届出は不要であり、各種の検査・規定等も必要では無い。

なお、電力会社の配電網と系統連系する場合には【系統連系技術要件ガイドライン】に基づき、連系する電力会社と協議調整が必要である。

その他の関連法規としては、建築基準法・建築基準法施行令が考慮される。

同法では、高さが 15m 以上の木柱、鉄柱、鉄筋コンクリート製の柱、その他これに類する工作物の建設にあたっては、建築確認の申請書を提出し、建築主事の確認を受けることが定められており、又、高さ 20m を超える建造物には避雷設備を設けることも定められている。(記事出典：NEDO 資料)

3 水上交通のあり方の検討

3-1 対象河川の検討

化石燃料に依存せず、或いは化石燃料の使用を極力抑えた小型船舶を利用し、河川・沿岸域での水上交通システムを運用する為には、其れを可能とする幾つかの条件が存在する。

- 即ち、① 再生可能エネルギーを得る為の風力や日照等の必要条件を具備している地域であること。
- ② 相対的に低出力の船舶であっても運航が可能な穏やかな流速と、一定以上の水深や水面幅を有する水域が有ること。
- ③ 河辺や水辺を街づくりや観光の核として利用可能であり、水上交通システムの運用維持が図りやすいこと。

以上の諸条件を考慮すると、条件②と③からは、嘗ての河川舟運立地であり、且つ、現在においても河川舟運の運航中であるのは、東京都の隅田川（荒川水系）と、観光利用での舟運が中心ではあるが大阪府の大川・安治川（淀川水系）、新潟県の信濃川、広島県の太田川を含めた四地域となる。

それ以外でも不定期に「舟遊び」を行う河川や、各地で常時運航中の「舟下り」等があるが、水上交通システムと言った場合、前述の四地域に限定されるであろう。

その上で、条件①の再生可能エネルギーの取得を考慮すると、太平洋側や瀬戸内に所在する地域は風力条件や海洋性エネルギーの効率が悪く、「新潟県の信濃川河口域」のみが風力条件と日照条件を併せ持ち、且つ潮汐発電等の海洋性エネルギー利用への可能性を持たせる地域と推測される。

3-1-1 対象候補河川としての信濃川

信濃川河口域に面する新潟市では、現在（平成 25 年 1 月）でも観光利用を主に水上バスが河口から 15km 程の区間で運航中であるが、其れとは別に、新潟市内を貫流する「信濃川」と「阿賀野川」、並びに両河川の間を結ぶ「小阿賀野川」「通船川」の 4 河川を回廊状に結ぶ舟運可能性が検討されている。



図 16 四河川回廊

(出典：新潟水辺の会 H24.3.27 資料)

四河川回廊そのものの舟運可能性は、阿賀野川が他の河川に比べ常時 1.5～2m程は水位が高く、閘門等での船舶出入りを要する点や、小阿賀野川と通船川の川幅や水深から小型船舶の運航のみに規定される等、本格的な水上交通システムとしての要件を具備しないが、体験型観光手法の一つとしては良いアイデアと思われる。



図 17 阿賀野川・小阿賀野川の会合部 17km

(出典：阿賀野川河川事務所 HP)



図 18 満願寺閘門

(出典：阿賀野川河川事務所 HP)

3-1-2 信濃川下流での河川舟運要件

(1) 水深、架橋

信濃川河口から 10km 程の地点に「関屋分水路」(詳細後述)があり、其処までの区間、本流側の水深は 4~5m を維持。

また、その区間の架橋 8 橋梁の内、河口側から順に、①柳都大橋、②万代橋、③八千代橋、④昭和大橋となり、その内、満潮時桁下クリアランスでは②万代橋、③八千代橋、④昭和大橋の 3 橋梁が 2.3m と最低であり、その他の橋梁に大きな支障は無い。

更には、橋脚の間隔では③八千代橋、④昭和大橋の 2 橋梁の 15m 程が最も狭く、その他の橋梁には大きな支障は無い。(以上の調査は信濃川下流河川事務所の資料に基づく)

注：下図中の赤○水域は次の記述参照



図 19 信濃川河口域

(出典：信濃川下流河川事務所)

(2) 信濃川最下流域の流速

図 16 中の赤○水域より 300m 程上流側に架かる「平成大橋」での観測流量表の抜粋を次に掲げる。

表 9 観測流量

番号	観測年月日時分	水位基準(m)	流速測定方法	流速側線数	平均流速(m/sec)
1	H23.01.19, 15:15	0.90	プライス	9	0.57 (0.7knot)
2	H23.03.09, 12:06	0.75	プライス	9	0.51 (1.0knot)
3	H23.05.18, 15:14	0.77	プライス	9	0.38 (0.7knot)
4	H23.07.20, 09:45	0.78	プライス	9	0.34 (0.6knot)
5	H23.07.30, 13:11	2.90	浮子	7	2.32 (4.5knot)
6	H23.09.14, 15:10	0.91	プライス	9	0.34 (0.6knot)
7	H23.11.09, 14:32	0.89	プライス	9	0.47 (0.9knot)

上表からは、信濃川の最下流水域では年間を通して 1 ノット未満の穏やかな流速であることが判明する。なお、上表の 5 は新潟県中越・下越地方と福島県会津地方に人的被害や建物被害等を多くもたらした「平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨」時の計測であり、その様な際には舟運運航は行わない。

3) 信濃川河口部の流速

石川県から新潟県に至る北陸地方沿岸を管区とする第 9 管区海上保安本部が平成 17 年度に実施（H17.06.07）した衛星通信型漂流ブイを利用した信濃川河口域の流速調査があり、次の報告がされている。

- ・信濃川河口付近の流れは、河口から北東に向かっており、流速は最大で 0.9m/sec であった。
- ・河川流の主流では、河口から 1.5 マイル（約 2.8km）離れても 0.3m/sec 以上の流れがあった。
- ・防波堤の西側では防波堤に沿って岸に向かう南西向きの弱い流れがあった。

以上の報告からは、河口・沿岸域においても概ね穏やかな流速を保っていることが判明する。但し、計測時期とは異なる厳冬・降雪期には、北～北西方向からの季節風が強く、また波浪も高いことが多く、河口を越えて沿岸域迄の小出力の船舶運航には十分な注意が必要である。

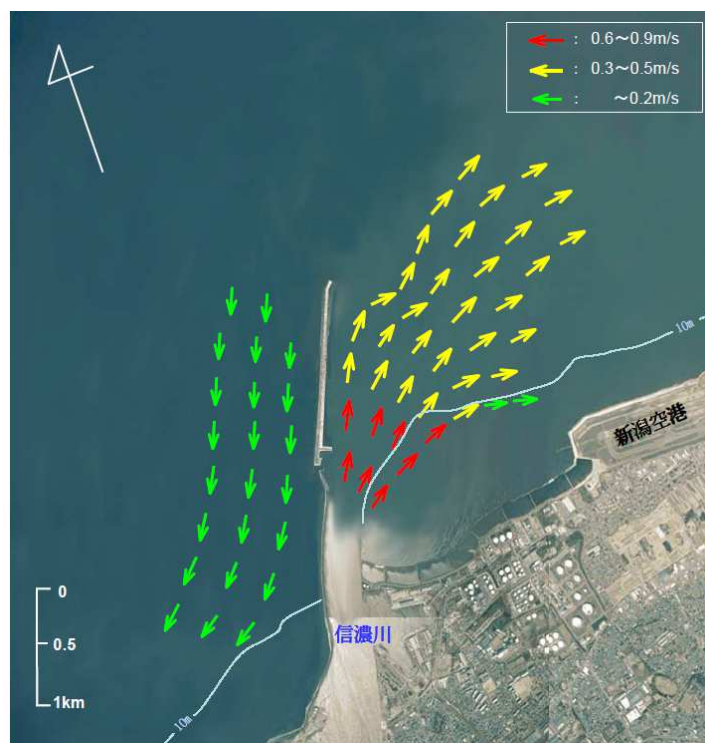


図 20 信濃川河口付近の流速（観測データ：H17.06.07）

（出典：H17 年 6 月 第九管区海洋保安本部 「H17 年度信濃川河口域（新潟港西部）における衛星通信型漂流ブイによる漂流実験報告書」 ）

3-1-3 信濃川の治水（新潟の地勢を知る補足として）

新潟平野とは読んで字のごとく「新たな潟」地域である。潟とは、砂州等によって外海から切り離された海岸沿いの湖や沼を指す。下図は平安期の信濃川・阿賀野川下流域の想像図であるが、その後に砂丘と諸河川による沖積平野の上に築かれてきた新潟平野が多くの水害に悩まれてきたことが想起される。

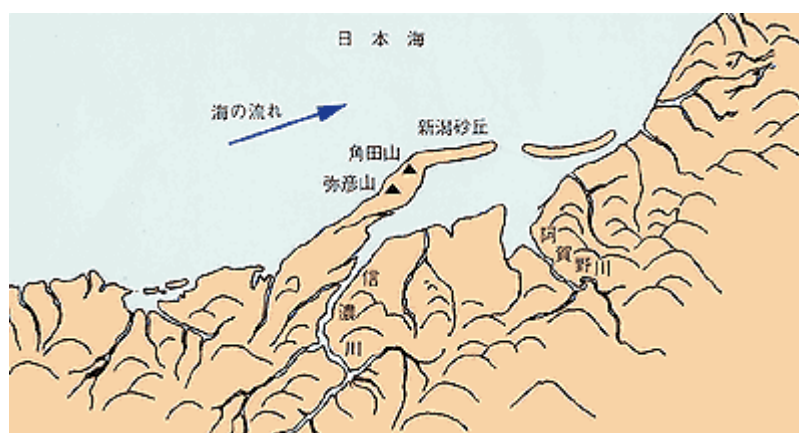


図 21 1000 年程前の古図から推定する越後平野のできる前

（出典：信濃川下流河川事務所 HP）

信濃川下流部の治水事業は、上杉謙信の家臣である直江山城守が、天正 10 年（1582 年）から 16 年間に渡り、乱流しながら多くの支派川に分かれていた信濃川を本川と中ノ口川（河口から 50km 程の三条市で信濃川から分流し、河口から 15km 程の新潟市西区で再合流）の大きくは 2 本に整理したことが始まりといわれている。

信濃川、阿賀野川の下流域にはかつて「地図にない湖」が存在し、腰、胸まで水に浸かった「死に物狂い」の農業が営まれていた。新潟平野は平常時でも水はけが悪く、腰まで浸かる深田での農作業であり、洪水はさらに農家を悩ました。このため、江戸時代中頃から、現在の燕市分水地区から日本海に向けて人工河川を造り、信濃川の水を日本海へ流す分水計画の必要性が地域の人々により何度も幕府等に訴えられてきており、それがわが国有数の米どころ、農業地域へと変貌を遂げるのは明治期から本格化する河川改修事業（次頁に代表的な分水路を掲示）と、戦後の土地改良事業によってである。



図 22 大正期の深田での稲作の様子

また、信濃川治水の切り札として、次の二つの河川分水路がある。

（１）大河津分水路

明治 29 年 7 月（1896 年）の「横田切れ※」と呼ばれる大災害の発生を契機に分水路建設の声が高まり、横田地区から 3km ほど上流側で信濃川から日本海へ直接放流する『大河津分水路（河口から 58km 点に 9km の流路）』が明治 42 年（1909 年）から 13 年間の歳月をかけて建設、大正 11 年（1922 年）に完成し通水を開始した。（記事参照：平成 16 年 08 月 新潟県 信濃川河川整備計画）

※横田切れ： 現在の上越新幹線・燕三条駅の南西側にある西蒲原郡横田村（現_燕市横田地区）が破堤し、周辺の約 18,000ha が浸水、死者 43 名、家屋流出 180 戸・全半壊 4,120 戸・床上浸水 43,684 戸。

低地では 3 ヶ月以上も水が引かず、衛生状態の悪化に伴いチフス・赤痢等の伝染病が発生し、洪水死者と併せ 1,200 人を超える死者を出し、被害総額は当時の新潟県年間予算とほぼ同額となった。



図 23 大河津分水路

(出典：信濃川河川事務所 HP)

(2) 関屋分水路（写真は前掲の図 3-4 参照）

信濃川の最下流域では、新潟港への滞砂軽減と新潟市内の人口稠密地帯への信濃川氾濫防止を目的に『関屋分水路（河口から約 10 km 地点に 2 km 程の流路）』が昭和 39 年（1964 年）に県の事業として着手、翌年から国の直轄事業として昭和 47 年（1972 年）に完成し、日本海に直接注ぐ様になった。

3-2 対象船舶の検討

本項では対象船舶として環境に考慮したリチウム電池推進の水陸両用バスを考え、陸上航走中はディーゼルエンジンとし、水上航走時はリチウム電池で推進器を回して航走し、陸上航走中や停船中にリチウム電池に充電を行うシステムを採用した水陸両用バスを検討する。

3-2-1 リチウム電池の水陸両用バス

水陸両用バスのリチウムイオン電池の使用に関し、概略検討では陸上運航中や停車中に充電し、30分～1時間位の水上航走は何とか可能ではないかと考えられる。下図にディーゼル推進の水陸両用バス図を示す。

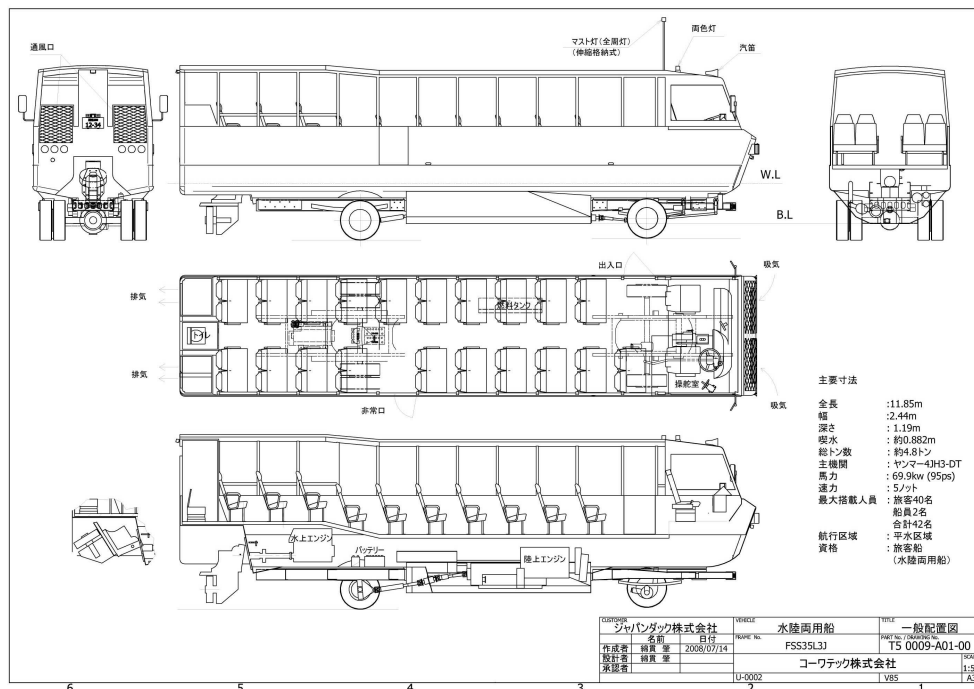


図 24 ディーゼル推進の水陸両用バス図

現状の水陸両用バスは長さ12m、幅2.4m、喫水1.2m、排水量W約12t、95psにて最高5ノットと排水量と馬力の割には速度が低く、推進性能はかなり厳しいと言える。この理由としては、水面下の形状がタイヤ、サスペンション、シャーシ等凹凸が激しく抵抗が大きいこと、また、プロペラ直径が小さく高回転であるためプロペラ効率がよくないことの2点である。

これらの対策としては、タイヤ以外の凹凸を小さくするようなカバーの設置とプロペラ直径を大きくして回転数を下げて効率を上げることである。

水陸両用バスに現状の 95 p s 相当のモータとリチウム電池を搭載する場合は 70 k w のモータとこれを 1 時間駆動のリチウム電池の場合は、余裕を見ると 100kwh 程度の電池が必要となり、これは日産リーフの電池容量の 4 倍となる。また前記の大阪の新リチウム客船では 22 k w モータ 1 基を搭載し、リチウム電池の容量は 52kWh である。電池容量が大きくなると、重量やスペース、価格の面で問題となるので、電池容量は出来るだけ小さくしたい。

このためには水陸両用バスの抵抗を減じ、搭載出力を小さくし、電池容量を小さくしないと成り立たない。このため底部をスムーズにして船体抵抗を減じ、さらにはプロペラ直径を大きくし回転数を下げると、プロペラ効率が上がり、推進効率が上がることとなる。

(1) 船体形状の改良による抵抗減

平面図にて前方の形状を丸くし、船底部の側面はシャーシ、サスペンション等を可能な限り覆い、スムーズな形状とする。これらは取り外し式のカバーとし点検整備を容易にし、且つ抵抗を減じる。

(2) プロペラ効率

現状の水陸両用バスは 95 p s 駆動のインボードアウトドライブが設置されていて、通常このクラスのインボードアウトドライブの減速比は約 1.6 程度であるから主機回転数が 2,500rpm 時のプロペラ回転数は 1,560rpm と非常に大きく、5 ノット程度の低速だとプロペラ効率は 25% 位である。

プロペラ効率を上げるためには回転数を下げ、ダイヤを大きくし 50% 位の効率を目指し、プロペラの回転数を 500~900rpm とする。

(3) モータ出力とリチウム電池容量

現状は 95 p s で 5 ノットなので抵抗減やプロペラ効率アップで出力は 30% 低くして 67ps (47 k w) モータ (三菱 iMieV 設置のモータ出力) で 4~5 ノット位を目標とする。

電池容量は日産リーフ 24KWH x 2 台 (合計 48kWh) の電池とすると 47kW 出力で 1 時間海上航走可能となり、200V で 30 分の急速充電で電池の 80% 充電可能で陸上走行中の充電を考えると何とかなるレベルと考えられる。

(4) 重量

リチウムイオン電池重量は三菱 i-MiEV の電池重量と同じとすると 15.6kg /kW であるから 48kWh では 750kg と推定、これとモータ、減速機で 50kg、プロペラ、軸、舵 50kg その他充電器、電池冷却装置等 100kg とすれば合計約 950kg 位重量が増加するが船用主機とインボードアウト (推定 400kg) を差し引けば 650kg 位の重量増加となり、単純換算では定員 11 名くらいの減少となるが、乾舷や復原力を計算しないと算出できない。このため定員を 30 名程度とすれば、概算では何とかなるレベルと想定される。

電池等船底部に配置可能なら重心が下がるので、定員減少は少なくなる可能性はある。

(5) バスリチウム電池の水陸両用バス概念要目

バスリチウム電池の水陸両用バス概念の要目を以下に記す。

長さ	12.0m
巾	2.4m
喫水	1.2m、
排水量	約 12 t
乗客数	約 30 名
乗員	2 名
陸上用主機	ディーゼル約 230ps 1 基
海上用推進モータ	47kW
リチウム電池	24kWh 2 基
水上速力	約 4 ノット

3-3 船着場の充電ステーション機能と再生エネルギー供給可能性の検討

今回検討する船着場の充電ステーションとしては、水陸両用バスのリチウム電池に急速充電する必要がある、これらを自然エネルギーで賄えるか検討を行う。

一般に急速充電器は 50kW 程度の出力を得るため、AC6, 600V の高圧受電をしなければならず、そのため、受電設備や、高圧配線等工事費用が本体と同等かそれ以上必要となり、そのことが普及を遅らせる要因の一つになっている。

しかし、太陽電池や蓄電池と組み合わせ、高圧受電が不要なシステムも実例があり、これらは船着場の充電ステーションとして使用可能と考えられるので、太陽電池とリチウム電池を組み合わせたニチコン（株）の京都府庁や名神吹田 S A の例を紹介する。

3-3-1 太陽電池と組み合わせた京都府の例

太陽光発電は、天候の変化や、夜間等その発電が安定していないため、太陽光発電のエネルギーだけで充電することが難しい。それを解決するために充電設備に太陽光発電と蓄電池を組み合わせ、太陽光で発電された電力を蓄電池に貯めておき、蓄電池に貯めたエネルギーを使って電気自動車に充電するシステムが既に実用化されている。京都府が府庁に設置した充電設備は、20kW の太陽光発電と 10kWh の蓄電池に急速充電器と倍速充電用コンセントを 2 口つけたもので、完全にクリーンな電気の供給を果たすと共に、蓄電池による充電により受電容量を高めずに、急速充電を可能にした。また、京都市西京極総合運動公園には、1.2kW の太陽光発電と 5.6kWh の蓄電池に、倍速充電器を具えたシステムが設置されている。太陽光発電は、1.2kW と小容量であるが、5.6kWh の蓄電池を搭載することで、電気自動車への充電エネルギーをほぼ全て太陽光発電で賄っている。



図 25 京都府庁システム

3-3-2 太陽光発電および蓄電池併用型の急速充電システム

50kW クラスの急速充電システムでは高圧受電が必要になるケースがあるが、ニチコンは低圧受電でも急速充電可能なシステムを開発し、名神高速道路吹田サービスエリアに設置した。このシステムは、太陽光発電とリチウムイオン電池とを組み合わせた急速充電システムで、停電した場合でも独立運転が出来、非常用電源としても活用できるメリットがある。



図 26 「創エネ」 & 「蓄エネ」 型 EV 用急速充電 吹田 SA システム

このように、「創エネ」 & 「蓄エネ」 型急速充電システムを採用し、船着場の浮棧橋の創エネ部分に水流発電、風レンズ風車発電並びに太陽電池を併用し、「蓄エネ」部に鉛電池かリチウム電池を搭載すれば、リチウム電池船への急速充電が可能となる。

4. 環境調和を考慮した船着場の検討

4-1 施設コンセプトの検討

環境調和型の水上交通システムの構成要素である船着場を検討するに当たり、8つのキーワード：「環境との調和」「再生可能エネルギー」「観光産業の振興」「水辺の景観と賑わい」「水辺空間利用の促進」「地域の魅力アップ」「人口の集積」「防災」を考慮すると、新規性のある導入可能な河川・沿岸域における環境調和型の船着場のコンセプトとして次のようなものが考えられる。

(1) 浮体の活用

浮体は川の流れを妨げない、現地工事が少ない等環境に優しいといった特徴を有している。潮位差の影響を受けないので、船舶係船施設として便利である。また、デッキ面積が広くとれるので、デッキ上に様々な魅力的な施設を設置することができる。さらに、地震の影響を受けないので、地震の際には防災基地として利用できる。以上のことから環境調和型の船着場としては、浮体橋が相応しいと考えられる。

浮体の係留は杭係留方式とする。4隅に杭を打ち、杭に上下するリングを設置してこれに浮体を固定することによって係留され且つ水位の上下にも追従して浮体は上下する。この杭の高さを高くして置くことにより、津波や異常水位にも対応可能となる。この方式は東日本大震災時に大津波でも浮体が杭に沿って浮き上がり、大きな損傷が無く、また津波に流されて他の構造物に被害を与えなかったことで、浮体の係留方式として注目を浴びている方式である。

(2) 再生可能エネルギーの活用

浮体上の広いデッキ面積を利用して太陽光発電を行うものとする。また、係留杭の先端に小型の風力発電設備を設置するものとする。これらにより発電した電気は浮体の内部空間に配備した蓄電装置に蓄電し、浮体上の電力を賄うとともに、河川を往来する電気推進船への充電ステーションの機能も果たすものとする。

(3) 水陸両用バスの導入

「観光産業の振興」「水辺空間利用の促進」「地域の魅力アップ」「人口の集積」等の地域の活性化を行うためには、魅力的な新しい観光施設が必要である。ここではこのようなものとして3章に述べたリチウム電池推進水陸両用バスを導入するものとする。水陸両用バスは平常時には水域と陸域を航行する遊覧バスとして活用し、地震等の災害時にはその機動性を活かして、災害発生時から24時間以内の緊急人名救助活動を行う人命救助船としても利用可能である。

4-2. 船着場の機能の整理

(1) 浮体の主要目

浮体の長さ L は、デッキ上の面積を出来るだけ大きく取りたいので 35m とする。浮体の幅は設置される川幅によって制限されるが、ここでは一般的なサイズとして 15m とする。浮体の深さについては、内部空間を利用するために人が入ることを想定して 2.5m とする。

次に、喫水 d は浮体の軽荷重量（浮体単体の重量）から推定する。一般に箱型浮体の軽荷重量は、鋼製の場合の LW 係数

$$CLW=LW/L(B+D) \quad \div \quad 0.4$$

LW : 軽荷重量

また、

$$LW=0.4 \times L(B+D)$$

となり

$$L=35、B=15、D=2.5 \text{ にて、}$$

$$L(B+D)=612.5LW=245\text{t}$$

これに搭載物として

リチウム電池 500kWh および、太陽電池、制御装置、変圧器、充電装置の合計重量を 0.03 t/kWh と仮定すれば重量は約 15 t である。

その他レストラン構造物、ランプウェイの $1/2$ 重量として 10 t 、備蓄品重量 10 t 、水陸両用バス 12 t 、合計 47 t を加えると満載排水量は約 292 t である。

したがって、

$$\text{喫水 } d = 292 / (35 \times 15 \times 1.025) \quad \div \quad 0.55\text{m}$$

となる。

$$\text{浮体橋の主要目} \quad : \quad L \times B \times D \times d = 35\text{m} \times 15\text{m} \times 2.5\text{m} \times 0.55\text{m}$$

(2) 船着場としての機能

浮体上には広いデッキ空間があるので、「観光産業の振興」「水辺の景観と賑わい」「水辺空間利用の促進」「地域の魅力アップ」等の観点を考慮すると、以下に示すような種々の多目的な施設の設置が可能である。

① 水陸両用バスの発着場とスロープ

岸壁から斜路で連結し水陸両用バスが発着可能とする。

② 河川航行船（環境配慮型リチウム電池遊覧船；河川整備基金助成事業：平成19年度河川・沿岸域における環境配慮型輸送システムと環境教育に関する検討報告書を参照）の発着場

③ 水遊び施設として、カヤックやボート収納と進水可能な設備

- ④河川に関する様々な催しを行う展示館（軽食レストラン付き）
- ⑤オープンカフェ
- ⑥イベントスペース
- ⑦浮体上の広いデッキ空間を利用して種々のイベントができるオープンスペース

（３）小型風力発電

小型風力発電設備としては、２章で述べたように最も効率の良い九州大学の風レンズ風車発電装置を用い、４つの係留杭の先端に設置するものとする。

＜風レンズ風車の要目＞

ロータ直径	2.5m
レンズダクト直径	3.4m
発電量	3 kW／基
基数	4 基
総発電量	12kW

（４）太陽光発電

シリコン単結晶、モジュール変換効率 15%の太陽光パネルを浮体のデッキ上に敷設するものとする。パネルのデッキ上からの高さは 3mとして、その下を人が歩けるものとする。

$17\text{m(L)} \times 8\text{m (B)} = 136\text{m}^2$ の広さのスペースにモジュール変換効率 15%のパネルを敷き詰めたとすると、発電量は、

$$136\text{m}^2 \times 0.15 \div 20\text{ kW}$$

具体的には、

200Wh 型パネル（1.318m×1.004m）×100 枚
となる。

（５）蓄電池

浮体内部に設置する。安全性、実績、コストの面から鉛蓄電池が良いが、3-2-1に記載の水陸両用バス及び環境配慮型リチウム電池遊覧船がリチウム電池を搭載しており、バッテリーの電圧、放電率、制御が鉛蓄電池とは全く異なるので、相性を考慮してリチウム電池を搭載する。

水陸両用バス用リチウム電池が 48kWh 1 基／1 台及び環境配慮型リチウム電池遊覧船用のリチウム電池を 1-1-1 に記載の大阪のリチウム電池客船と同じとすれば 52kWh 1 基/1 台であり、6 時間運航可能とある。

両方に電力を供給するとすれば、かなりの発電量が必要になる。そこで、ここでは水陸両用バスは自らの陸上走行用主機にて陸上走行時に充電し、且つ停車時にも陸上用主機から充電可能と想定し、遊覧船の電力のみを船着場から供給するものと仮定した。

環境配慮型リチウム電池遊覧船の電池容量を大阪のリチウム電池客船同様とし、1 日、4 便運航、約 6 時間の運航では夜間の停船時に充電すればよいこととなる。また運航時間が多い場合や速度を上げた場合で電池容量が減少した場合は停船中にも充電を可能とする。

充電能力としては、昼間の船着場で充電する場合は 1 日 2 回とし、30 分の停船時間に 20kWh 分を充電すると仮定した。従って、1 日の充電必要量は $20\text{kWh} \times 2$ で 40kWh、1 回の充電能力は $20\text{kWh}/0.5\text{h} = 40\text{kW}$ 、電池容量としては内部抵抗ロス、充電時の昇圧ロス、照明用等を考慮し 1 日の電池容量として 60kWh 程度と仮定した。

船着場に搭載するリチウム電池容量としては、非常時に備えて陸上電力を使用しない独立したシステムとすれば、風のない場合や曇り、雨の場合は発電しないので、これらに備えて電池容量の余裕が必要となる。

風力の 1 日平均発電量として、年平均風速を 3m/s とすれば、風レンズ風車資料より年間発電量は 1,259kWh となり、1 台 1 日当たり 3.44kWh、4 台で 1 日 14kWh となる。

太陽光発電の 1 日の平均発電量は $20\text{kW} \times 3.3\text{h}$ （日本の平均）= 66kWh、これらから 1 日の平均合計は約 80kWh と仮定し、太陽電池や風力発電が発電しない日を考慮し、大まかであるがリチウム電池容量は 500kWh 程度の電池容量と仮定した。

発電量が余り蓄電容量を超える場合は売電も可能とし、またこのリチウム電池は非常時の電源として利用可能となる。

充電用リチウム電池 : 500kWh × 1 式

充電蓄電制御装置 : 一式

本検討は概算であるので、蓄電池容量やシステムに関しては今後の検討に委ねることとした。

（6）充電ステーション

環境配慮型リチウム電池遊覧船用 1 基とする。

4-3. 最適形状の提案

環境調和型船着場の概念を次図に示す。風車の柱が杭と一体になっているために、杭の高さを高くとることができ、津波や異常水位にも対応可能である。太陽光パネルの下には、オープンカフェ等の憩の空間やイベントスペース等のアミューズメント空間の創設が可能である。また、ドーム型の展示館を設けて、レストランや河川に関する様々な催しを行えるものとした。

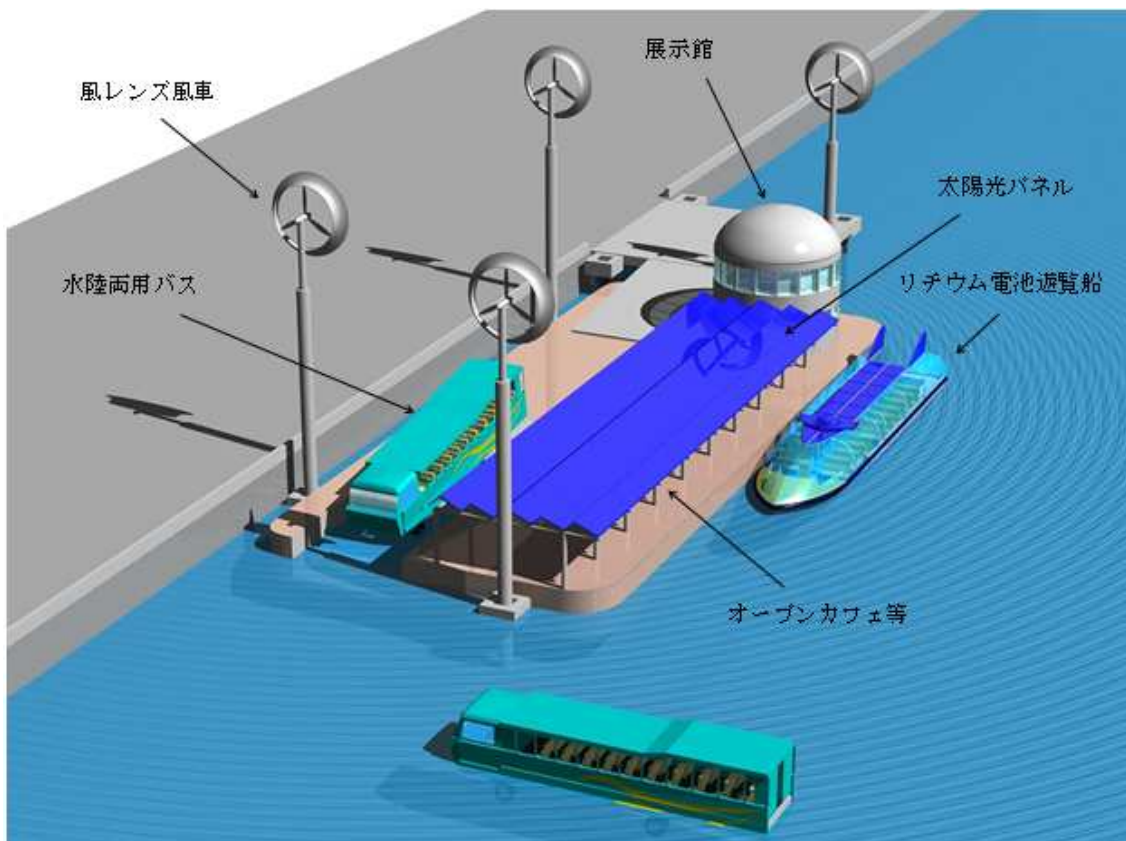


図 27 環境調和型船着き場のイメージ