

洋上風力を中心に発展を目指す風力発電

風力発電は、世界ではエネルギー安全保障対策や経済的に電力を確保するために不可欠な再生可能エネルギーとの認識がある。日本でもそうした認識が不可欠である。特に洋上風力発電は開発途上ながら、日本でも数多く敷設することが見込める発電である。重電、鉄鋼、造船、建設などの業界が連携し、質の高い技術を確立すべきである。

温室効果ガス削減にも貢献できる風力発電は、システムの安定化が達成できれば、世界で今後、ビッグマーケットになる可能性がある。

2014年3月



株式会社 旭リサーチセンター

東京都千代田区神田神保町1-105 神保町三井ビルディング

電話 (03)3296-3095 (代)

< 本レポートのキーワード >

再生可能エネルギー、風力発電、産業競争力会議、系統接続、IEA、世界風力会議、
設備利用率、洋上風力、浮体、温室効果ガス削減

(注) 本レポートは、ARCホームページ (<http://www.asahi-kasei.co.jp/arc/index.html>) から検索できます。

このレポートの担当

主幹研究員 新井 喜博

お問い合わせ先 03-3296-7057

E-mail arai.yc@om.asahi-kasei.co.jp

まとめ

IEA（国際エネルギー機関）はWorld Energy Outlook 2012の中で35年までの世界の中長期的な発電設備投資について、再生可能エネルギー設備投資の中で風力発電が最大となると予測した。日本ではこれまで風力発電導入量はさほど伸びていなかったが、30年には国内で風力発電の発電コストが原子力発電よりも安くなる可能性があり、産業競争力会議においても、洋上風力発電を含む風力発電は日本の成長戦略の一つに取り上げられた。

風力発電の今後の導入量拡大で期待されているのが洋上風力である。洋上風力は陸上よりも風向が安定し大電力を得ることが期待できる。また、大型化しても周辺への影響が少ない。日本が得意とする質の高い技術力を証明するため、NEDOの銚子沖の着床式洋上風力や福島浮体式洋上ウインドファームの実験が開始された。それらの成果に期待がかけられている。特に浮体式洋上風力発電は世界の事例が少なく、日本の洋上風力の実証実験が成功し、洋上風力発電が事業として成り立つか、また世界のこれからの再生可能エネルギーの選択肢となりうるか、期待が高まっている。

風力発電はそのままでは出力が不安定である。系統電力に安定供給する方法は、太陽光発電と同様で、再生可能エネルギー利用の技術開発課題であり、電気を蓄える技術が重要である。蓄電技術のうち、揚水発電は地域が限定されるため、もっとも実用的なのが発電所での蓄電池システムである。その他、移動もできる水素貯蔵方法、燃料電池へ供給する方法、電力平準化のためのIT技術の適用方法などが開発・検討されている。日本の地域電力会社は、東日本大震災後、再生可能エネルギーの導入量拡大のため、各種電源の連系可能量を増やす努力をしており、系統電力への連系の障壁は減る方向にある。

風力発電の拡大は各国のエネルギー安全保障対策につながり、雇用拡大への期待も示

されており、風力発電産業の振興に世界各国が動き出している。IEAは世界の風力発電施設（電力容量）は2020年まで年率10%で成長し、洋上風力は年率29%で高成長すると予測している。これは2020年に世界の風力発電システム市場が7兆円規模となり、うち洋上風力発電システムも1兆円市場になることを示唆するものである。

日本では再生可能エネルギーの導入にあたって風力発電への優先度が低く、陸上風力発電では国内施設でも海外製に席巻されてきたが、日本企業群は成長が予測される洋上風力発電システムの巻き返しを目指している。政府の産業競争力会議で示されたように風力発電の導入（30年に35GW導入）を図れば、温室効果ガス排出を年間4～6千万トン-CO₂削減でき、エネルギー転換部門において百分率で二桁の温室効果ガス削減に貢献することが期待される。また、洋上風力発電は地域開発に組み込める適応力がある。地域へ貢献できる新たな地域電力システムというかたちも期待できるだろう。

目 次

はじめに：日本の小型風車に栄光の歴史あり	1
風力発電のしくみと種類	2
1. 世界で成長性が見直されている風力発電	3
1.1 世界では風力発電は増し発電コスト安で注目される	3
1.2 洋上風力発電が世界の成長産業になる可能性	4
1.3 世界の風力発電企業が日本市場を狙う	7
2. 日本の風力発電は転換期へ	10
2.1 今、風力発電が日本で注目される理由	10
2.2 遅々とした成長だった日本の風力発電。今は制度過渡期	10
2.3 風力発電は日本の成長戦略の一つに取りあげられる	12
2.4 電力会社の風力発電拡大への対応	13
3. 風力発電開発と洋上風力発電への期待	15
3.1 浮体式洋上風車の大規模普及に向けた技術確立へ	15
3.2 事業の成功に影響する設備利用率を上げる手段	16
風力発電システムを故障させない方法	16
利用しやすい風が吹く適地に設置する方法	17
3.3 系統接続を増やす蓄電技術	17
3.4 風力発電開発の日本の強みと弱み	19
3.5 信頼性などの成果獲得へ期待かかる風力発電の国内実証実験	22
NEDO の国内最大級の洋上風力発電等技術研究開発	23
世界最大の 7MW 風車による浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業	23
4. 風力発電発展のために	27
4.1 風力発電による産業創出および温室効果ガス削減効果は大きい	27
4.2 長期エネルギー政策のもと業界努力と政策の後押しが不可欠	28
4.3 変化してきた風力発電の必要性とあり方	31

はじめに：日本の小型風車に栄光の歴史あり

日本には小さな“風車発電”に栄光の時代があった。昭和初期から1970年代に北海道を中心に山田風車とよばれる風車が活躍した。最盛期に年間数千台を生産、昭和29年には巨大台風能耐優秀性も認められていた。発電能力、耐久性、低価格の3拍子が揃い、南米やアフリカにも販売された。えぞまつ製の半径約0.6mの2枚羽根で200Wを発電し、蓄電池に充電し電灯に使用した。その後、送電線の整備が進むとともに姿を消した。山田風車は2m/sの風で回り、一旦回れば1m/s以下の風でも回った。風車には懸垂型の支軸が付き、風速8m/s以上で傾斜し、風圧を一定に保ち安定発電する工夫もあった。暴風の時、風車の回転面は水平になり風を避けた。小型風力発電のプロトタイプとなっている。

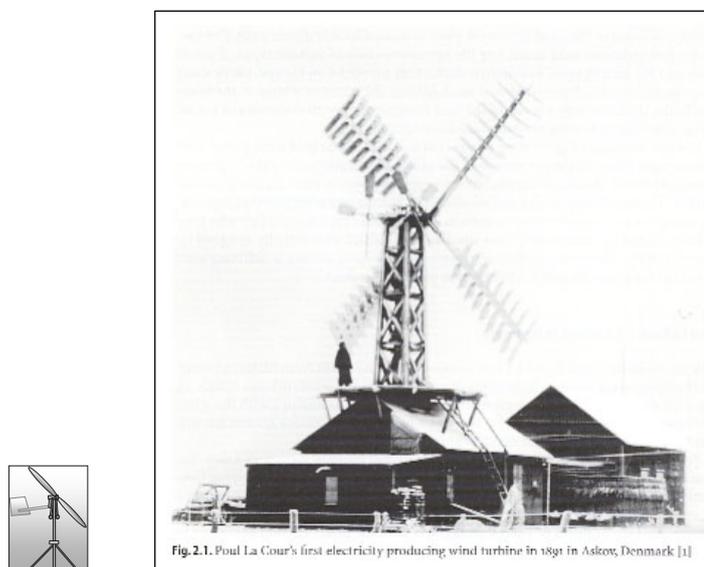


図1 山田風車（左）と発電用のラクール風車（ほぼ同じスケールで表示）
（出所：NEDO、山田風車はイメージ図）

他方、大きな風力発電はデンマークのH・ラクール氏が基礎を築いた。1891年に调速装置を開発、最初の風力発電装置を発明した。1897年には直径22.8mの風車発電装置により、水から酸素ガスと水素ガスをつくらせて貯蔵し、ガス灯燃料に利用した。さらに1902年には同国の町アスコ（Askov）の全電力を供給したという記録がある。

本レポートでは風力発電、特に日本の洋上風力が再生可能エネルギー源の選択肢の大きなものとして選ばれ、新たに発展する方途を探っていく。

風力発電のしくみと種類

通常、風力発電は風の運動エネルギーを風車で回転力に変え、増速歯車で回転数を上げて発電機を回し電磁誘導発電する。他に、部品が多いために故障率が上がりやすい増速歯車を使わず、発電機の磁極数を増やす方式が近年多い。

大型風車は図2に示すように、電力系統に連系する。発電電力は近くの変圧器に接続され、系統保護装置を経由して送電網に投入される。

風車は風車タワー上の“ナセル”という、発電に使う主要な機器類を収納した器の上の風向計と風速計に基づき、風車の羽根の角度を調整し、時にブレーキ制御することで、ブレード（羽根）の回転数の制御を行っている。風力発電の稼働情報は光ケーブルで現地の管理施設あるいは遠隔地へ伝えられる。

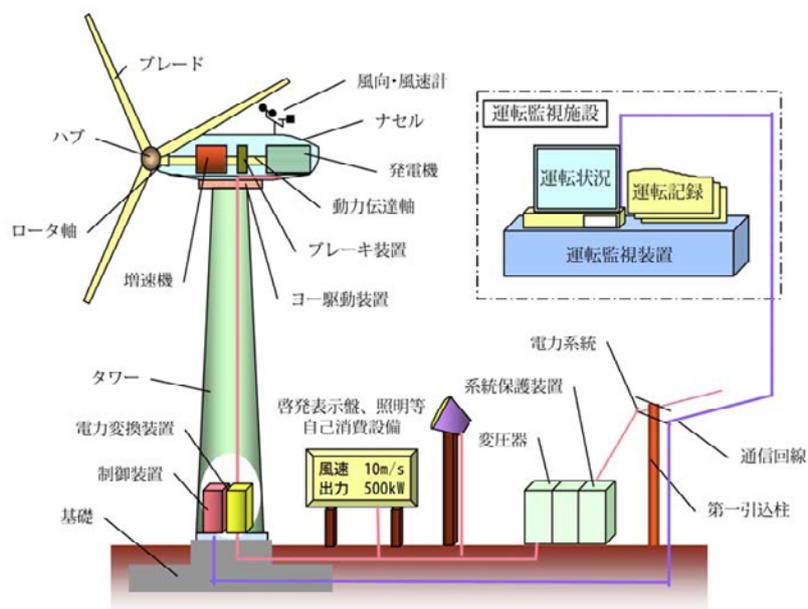


図2 風力発電システムの構成例

(出典：新エネルギー技術白書策定に係る調査報告書、NEDO、2010.6)

風力発電の種類を表1に示す。本リポートではエネルギー源として期待される中・大型風力発電、特に洋上風力について述べる。

表1 風力発電の種類

分類		概要
小型風力発電 ^注		出力 20kW 未満、現実的には 1kW 以下が主流
中・大型風力発電	陸上風力発電	国内で現在主流
	着床式洋上風力発電	水深 50m 以下、一部で導入
	浮体式洋上風力発電	水深 50m 以上、世界最大規模出力含め国内実証実験中

(注：小型風力発電はARCトピックス「小型風力発電は今後伸びるか」に記載、参照 http://www.asahi-kasei.co.jp/arc/topics/pdf/topics_044.pdf)

1. 世界で成長性が見直されている風力発電

1.1 世界では風力発電は増しており発電コスト安で注目される

世界の風力発電容量はこの10年、年平均24%増で急拡大している。EU各国には再生可能エネルギーの導入義務が課せられたことから、毎年着実に風力発電が増加した。EU各国は小資源国であり、国産エネルギーを増やすエネルギー安全保障対策として取り組まれている。また、中国、米国は風力発電への税制優遇策、国家計画など政策支援により風力発電が急成長している。この5年でそれぞれ13倍、3.5倍になっている（図3）。

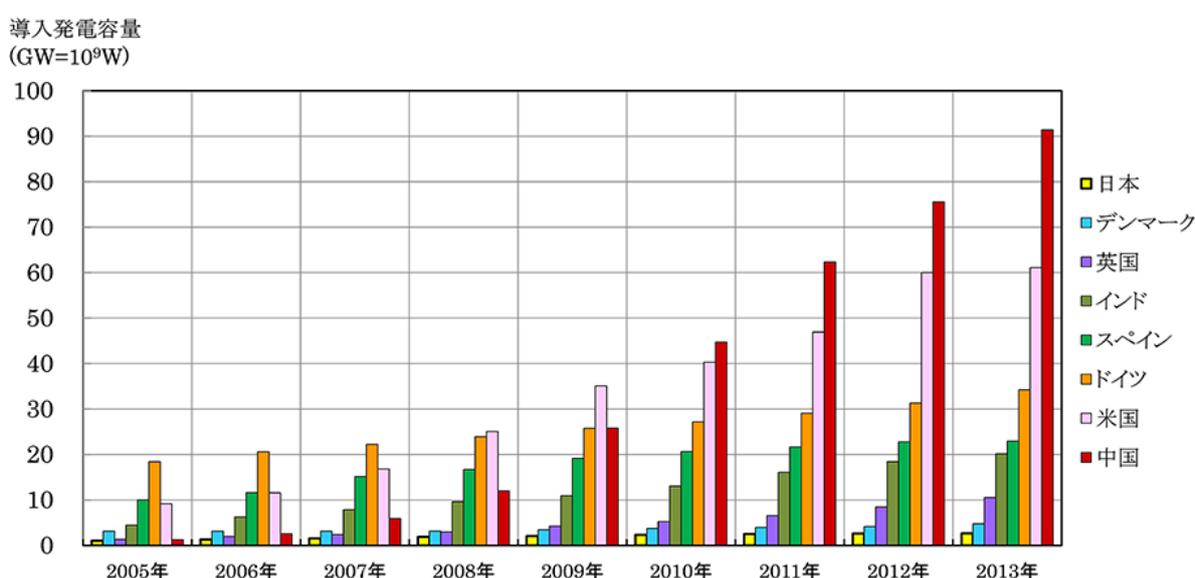


図3 主な世界各国の風力発電導入容量実績

（注1：風力発電では約3GW=原発一基分の発電量に相当、

注2：英国は北海油田枯渇危機があり、遠浅の洋上を利用）

（世界風力エネルギー会議“Global Wind Statistics2013”2014.2等よりARC作成）

また、米国ではオバマ大統領が13年6月、気候変動対策に関する行動計画を発表し、20年までに600万世帯分の電力をまかなう風力・太陽光等の再生可能エネルギー計画の作成を明言し、温暖化対策に乗り出す積極姿勢に転じた。今後の国連気候変動枠組条約（UNFCCC）への米国の寄与が注目される。

国際エネルギー機関（IEA）はWorld Energy Outlook 2011で世界の電源別発電容量予測において、20年に風力は原子力を抜くと予測しており（表2）、さらに、2020～30年の間で風力発電が最も伸びるとしている。

表2 世界の電源別発電導入容量の予測

(単位[GW]、表中カッコ内は対左期の増減量)

発電の電源種	2009年実績	2020年予測		2030年予測	
石炭火力発電	1,581	2,133	(552)	2,289	(156)
石油火力発電	431	356	(-75)	266	(-90)
ガス火力発電	1,298	1,749	(451)	2,016	(267)
水力発電	1,007	1,297	(290)	1,548	(251)
原子力発電	393	495	(102)	591	(96)
風力発電	159	582	(423)	921	(339)
太陽光発電	22	184	(162)	385	(201)
電源別発電の合計	4,957	6,941	(1,984)	8,293	(1,352)

(出所：「World Energy Outlook 2011」、IEA：国際エネルギー機関よりARC作成)

また、IEAはWorld Energy Outlook 2012で、35年までの中長期的な発電設備投資について、再生可能エネルギーの設備投資の中で風力発電が最大となると予測。12年から35年の間での風力発電累積設備投資額は世界で約2.1兆ドル（年平均換算8～9兆円/年の投資）と推計している。

1.2 洋上風力発電が世界の成長産業になる可能性

世界の風力発電の市場規模についていくつかの予測がある（表3）。

洋上風力発電システムの世界市場規模が11年の3,864億円から20年に約4.3兆円へと年率21%増となって洋上風力発電市場は10年間で10倍以上に成長とする富士経済の予測がある（12年6月発表）。

また、世界風力エネルギー会議：GWEC（世界の風力発電メーカー母体）は20年、30年の世界風力発電システム市場を予測した。10年開催のCOP16の Cancun 合意（先進国の20年目標達成）ベースのシナリオで、やや過大である。

IEAのWorld Energy Outlook 2012は全てのエネルギー源を推定しており、その中で風力発電量も予測している。エネルギーバランスが考えられており、信頼度が高い。世界の風力発電容量は20年まで年率10%成長、その後35年まで年率4%成長を予測する。うち、洋上風力発電は20年まで年率29%で成長し、35年まで年率10%成長すると予測している。

IEAの風力発電需要予測に基づきシステム市場についてARCにて概算推計した。風力発電システムの世界市場は今後20年間、年間5～8兆円規模の市場になることが示される。また、世界での洋上風力発電市場の構成比は、20年間に風力発電市場の1/60から1/3程度

と徐々に大きくなると見込まれている。

表3 風力発電システムの世界市場規模予測

風力発電システム市場 予測の種類		2011年	2020年予測	2030年予測	2035年予測
富士経済 予測 (洋上風力発電のみ)		0.39兆円/年	4.34兆円/年	3.09兆円/年 (更新需要中心とみなす)	—
世界風力会議・GWEC 予測 (中間シナリオ)		5.6兆円/年	9.8兆円/年	12.3兆円/年	—
IEA (国際エネルギー機関) の需 要予測に基づく ARC 概算推計	陸上 風力	5.5兆円/年	6.3兆円/年	3.3兆円/年	3.9兆円/年
	洋上 風力	0.1兆円/年	1.2兆円/年	1.2兆円/年	2.0兆円/年
	合計	5.6兆円/年	約7.5兆円/年	約4.5兆円/年	約5.9兆円/年

(出所:「発電・蓄電・給電・変換 先端新技術の将来展望2012」富士経済、2012.6、
「Global Wind Energy Outlook 2012」GWEC、2012.11、
「World Energy Outlook 2012」IEA、2012.11 (2020~2035年は指数増加で前年と比較、
風車単価はGWEC資料の数値を利用)、よりARC推計)

また、風力発電システム市場の内訳とそれらの世界市場規模を表4にまとめた。ブレード市場は10年後には2兆円近くの産業になり、増速機などの伝達系市場や発電機などの電気系市場はそれぞれ10年間、1兆円の市場が見込まれることになる。

表4 世界風力発電システム市場の内訳と関連市場規模

風力発電システム市場 内訳		市場 100% (初期投資) (注: 洋上風力は組立工事費で陸上の1.8~2倍、 構成部材で若干増額と見込まれる)							年間 運転 市場	事業期 間全 体の 運転 コスト		
		構成部材										
		ロータ系		伝達系		電気系	構造系				運転系	
		ブレード (羽根)	その他	増速機	その他	発電機、変圧器、 コンバータ	タワー	その他 構造			ヨー制御系	ブレーキ
		22%	2%	13%	2%		26%	4%	1%	1%		
		15%	24%	15%	13%		30%		3%		2~3%	40~ 60%
世界市場規模 兆円/年	2011年	5.6	0.84	1.3	0.84	0.73	1.7	0.17	0.14	—		
	2020年	7.5	1.1	1.8	1.1	0.97	2.2	0.22	0.19	—		

(出所:「新たなエネルギー産業研究会」中間取りまとめ案、経産省2012.3などより市場規模はARCが推計)

風力発電産業は表5に示す要素で構成されており、風力発電に関わる産業は広範囲な産業間につながっている。欧州や米国の風車メーカーは上流の投資・設計等の事業や下流のオペレーションなど事業への進出指向がみられ、バリューチェーン全体を担う戦略へとシフトしている傾向もある。

表5 風力発電産業の構成要素

風力発電産業のバリューチェーン						
事業者	電力事業者(上流)	各種部材メーカー	風車メーカー	施工事業者		電力事業者(下流)
要素	投資・設計等	部材	風車本体・風車組立	取り付け・試運転	洋上敷設	オペレーション・メンテナンス
詳細要素	<ul style="list-style-type: none"> ・資金調達 ・設計 ・各種許認可 ・環境アセスメント ・事業計画 	<ul style="list-style-type: none"> ・ロータ系(ブレード、軸受) ・伝達系 ・電気系 ・構造系 ・運転系 	<ul style="list-style-type: none"> ・部材調達 ・部材組立 	<ul style="list-style-type: none"> ・タービン設置 ・ケーブル敷設 ・蓄電装置 	<ul style="list-style-type: none"> ・海底ケーブル敷設 ・設置船 	<ul style="list-style-type: none"> ・メンテナンス ・運転 ・用役 ・洋上運搬、洋上施設
国内の事業者例	ユーラスエナジー、Jパワー(電源開発)、日本風力発電、エコパワー、総合商社	ロータ系、構造系、運転系は風車メーカー、伝達系は住友重機械、電気系は日立	三菱重工、日本製鋼所、日立製作所、東芝、三井海洋開発	同左	同左、三井造船、佐世保重工、戸田建設、鹿島建設、新日鉄住金エンジニアリング	ユーラスエナジー、Jパワー(電源開発)、日本風力発電、エコパワー、総合商社

(総合商社(特に丸紅、三井物産は洋上風力)は海外電力事業での建設事業のノウハウ活用に長じる)
(※は洋上風力発電のみに適用)

(出所:「新たなエネルギー産業研究会」中間取りまとめ案、経産省、2012.3などよりARCまとめ)

このような中、風に強く安定度もあり、耐久性もある日本発の浮体式洋上風力発電が、再生可能エネルギーの有望株になっている。浮体式洋上風力発電市場はビッグマーケットになる可能性を秘めている。洋上敷設の建設コストが必要になるが、スウェーデンの浮体式洋上風力発電の実証では設備利用率が40%程度に及ぶなど、陸上の2倍の設備投資になっても引き合うのではと期待されている。

国内では陸上風力発電施設の破損・故障や環境への影響性などにより風力発電振興は一部否定的に報道されている。しかし、エネルギー自給率が低い国では風力発電は資源を使わず、かつ低コストで設置できる発電所の筆頭候補と考えている国が多いのが事実である。それらの国々において、着々と風力発電所の敷設が進められていることは認識しておかなければならない。

1.3 世界の風力発電企業が日本市場を狙う

米国や中国などは産業振興や雇用拡大を目指す一貫として、風力発電産業の積極的な拡大に動いている。

米国は35年までに305GW導入する目標があるが、風力発電設備の1kW当たりの投資額を15万円で概算すると累計で45兆円となる。中国の投資は累計60兆円、欧州は累計45兆円程度（欧州は洋上が主となるため投資額は1kW当たり倍の30万円で概算）となる。

これは今後20年間でざっと150兆円の風力発電の開発市場が存在するということだ。世界の企業が世界各地域の風力発電産業市場を狙っているゆえんである。

こうした状況下、日本の中長期エネルギー政策は明確でないものの、風力発電普及のポテンシャルがある。日本の「エネルギー基本計画」は資源エネルギー庁の総合資源エネルギー調査会基本政策分科会で検討され、政府で決定される見込みで、国内外の再生可能エネルギー関連企業、投資会社もゆくえを注目している。

米国は、シェールガス革命で天然ガスに投資が移動し、米国の風力発電税控除制度による支援は13年末に終了した。中国は発電用風車を急速に増加させたが、1/3が送電網に繋がっていない。このため、新規建設の見合わせが増えている。米国と中国の風力発電設備のゆくえにはこのような不透明感の中にある。そこで日本の風力発電が投資先として注目されている。

世界の風力発電の参入企業を見ると、それほど多くの会社が参入しているわけではない。世界の風力発電事業では投資規模が大きい開発が多いため、専門企業では立ち行かないことも多く、M&Aや技術提携が繰り返されるようになっている（表6）。

日本は三菱重工、日立製作所、日本製鋼所および東芝が洋上風力技術力を磨いている。洋上風力に対応している海外企業はシーメンス、ヴェスタスの2社ほどである。

なお、日本の国内風力発電市場の国内企業シェアをみると、太陽光発電市場においては国内企業シェアが13%であるのに対し、風力発電市場では国産企業のシェアは近年では20%程度で推移している。12年度には25%のシェア（単年度では57%）まで伸ばしており（図4）、国内企業が巻き返す兆しも見られる。

表6 世界の主要風力発電メーカーと主な動向

Vestas Wind Systems / ヴェスタス	デンマーク（元々農業機械メーカー）発の風力発電の先駆メーカー 世界1位シェア11.8%（2012年単年度）、 洋上風力発電でシェア2位実績 （三菱重工と合弁で洋上風力専業会社設立予定、14年3月までに） 1945年設立。1979年から風力発電機を製造開始。1995年から洋上風力発電を設置開始。 2010年 世界最大の洋上風力発電所サネットが完成。 2010年 世界最大のウィンドタワー製造工場をコロラドに建設。 2012年 世界70カ国で導入、46,000基以上を設置したと発表。
GE Energy / ジェネラル・エレクトリック	米国、世界シェア同一1位11.8%（2012年単年度） 2002年 Enron Wind（エンロン）の風力発電部門を買収。 2010年 米国初淡水湖の洋上風力発電で1000MW供給。（20年完成予定） 2011年 Wind Tower Systems社から100m以上の風力タワー次世代技術取得。
Siemens Energy/ シーメンス・エナジー	ドイツ、世界第3位の風力発電メーカー、世界シェア11.0%（2012年単年度）、総合重電シーメンス社の風力発電部門。 洋上風力発電でシェア1位実績 親会社のシーメンスは2012年、太陽光発電から撤退し風力と水力発電に集中。 洋上風力発電ではヴェスタスに次ぐシェア。英国風力発電の約40%は同社製。 2004年 デンマーク Bonus社買収。 2010年 米国初洋上風力発電（Cape Wind）に3.6MW、130基採用。 2011年 英国に3.6MW風車を175基、総容量630～1,000MW建設。 完成すると世界最大の洋上風力発電になる見込み。
Enercon / エネルコン	ドイツ、世界第4位の風力発電メーカー世界シェア7.2%（2012年単年度）、1984年設立。ギアレス風力タービンが特長。 2002年 世界最大の風力タービン4.5MWを製造。 2007年 1基7.5MWの風力タービンをドイツ・エムデンに設置。
Suzlon Energy / スズロン・エナジー	インド、世界第5位風力発電メーカー、世界市場シェア6.6%（2012年単年度） 1995年設立。インド最大手メーカー、インド国内で50%のシェアを占める。 2007年に独 REpower Systems（リパワー社、2013年1月にセンビオン社に社名変更）を買収。
Gamesa Eolica / ガメサ	スペイン、世界第6位の風力発電メーカー、世界シェア6.4%（2012年単年度） 2003年 Made社（スペイン）を買収。2010年 国内シェア50%を超える。 2011年 ガメサ、中国企業3社龍源電力（Longyuan Power）、華潤電力（China Resources Power）、大唐集団新能源（Datang Renewable）と風力発電の共同開発で提携。
Goldwind / 金風科技	中国、世界第7位の風力発電メーカー、世界シェア6.0%（2012年単年度） 1998年設立。REpower（リパワー）（独）から技術供与。 2007年にVensys（ドイツ）を買収。同年世界シェア8位にランクイン。 2011年にエチオピアに風力発電を供給しアフリカ市場参入。
United Power	中国、世界第8位の風力発電メーカー、世界シェア3.5%（2012年単年度）
Sinovel Wind / 華銳風電	中国、世界第9位の風力発電メーカー、世界シェア2.7%（2012年単年度） 2004年にFuhrlander（独）から技術提携を受ける。
日本製鋼所	増速機を使わない発電機。総合力で故障の少なさで2010年の国内発電能力一位
日立製作所	国内新規導入量（2011年度設置分）で1位 2012年7月に富士重工の事業譲渡を受ける。下から吹き上げる風をとらえ荷重低減した「ダウンウインド型」技術を開発
三菱重工業	2010年に油圧式動力伝達装置の技術を持つ英アルテミスを買収、増速機やインバータが不要な油圧ドライブ方式を開発、10MW機の製品化を目指す。 英国の洋上風力計画開発プロジェクトに参画。 （ヴェスタスと合弁で洋上風力専業会社設立予定、14年3月までに）
東芝	2012年6月、低コスト製造力を有する韓国風力のユニソン（Unison）株式34%を取得。日立造船、JFEスチールなどと洋上風力発電事業に参入。
三井海洋開発 （三井造船子会社）	浮体式潮流・風力ハイブリッド発電機（0.9MW）

（各種情報よりARCまとめ）

表7 日本の主な風力発電事業者とその動向

会社名	出資会社	風力発電能力	風力発電基数	備考
ユーラスエナジーホールディングス	豊田通商(旧トーマン、トヨタ系商社)、東京電力	557MW	349基	国内傘下企業 21社、欧米、アジアでの風力発電事業を展開(豊田通商はヴェスタス社の日本総代理店)
Jパワー	電源開発	353MW	208基	卸電気事業者大手、あらゆる電力に参入(石炭火力と水力中心)
日本風力開発	西島製作所、出光興産、日本製鋼所等多数	189MW	129基	独立系のエネルギーベンチャー企業、風量発電所の売却も
エコ・パワー	コスモ石油(荏原から譲渡)	146MW	128基	風力発電所のメンテナンス能力強化により黒字体質が定着、13年3月期の連結経常利益を前期比で3億円押し上げる見通し
クリーンエナジーファクトリー	きんでん(関西電力系)等	84MW	49基	風力発電事業専業
ミツウロコ・グループ	ミツウロコ(LPガス供給、石油卸業)	52MW	31基	13年3月期の風力発電部門営業利益は6億円で前期を約4億円上回る見通し

(出所：発電能力、基数は「日本における風力発電設備・導入実績の一覧表」(2013年8月集計) NEDO等よりARCまとめ)

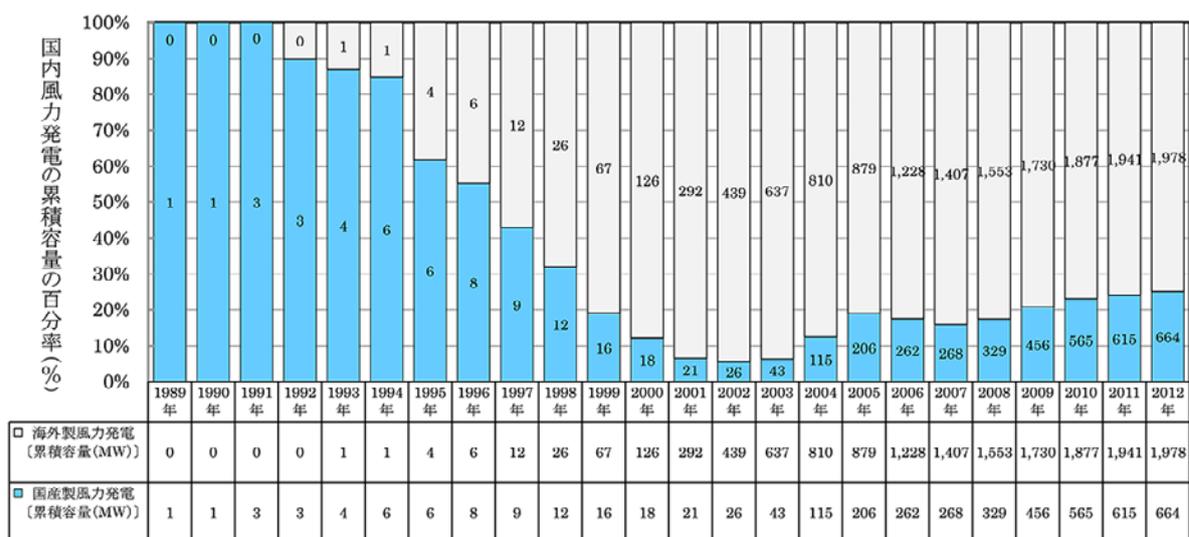


図4 国内の海外機・国産機別風力発電割合(累積容量ベース)の推移

(出典：日本における風力発電設備・導入実績、<http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/index.html>、NEDO)

コラム：風力発電はなぜ3枚羽根か？なぜプロペラ型か？



風向きが変わっても、振動せず安定性が良いこと、2枚羽根に比べ騒音が低いこと3枚羽根が使われている。奇数であると安定性が良いことが経験上、知られている。また、プロペラ型が選ばれる理由は、強風時に羽根の角度を変えて風を受け逃がすことができるしくみに適しているためである。

風力発電では羽根の長さ比べ羽根の幅は小さい。風の力を回転力に変えるためである。(cf. オランダ風景にある風車小屋など、粉引き用動力の場合は力(トルク)が大きいほうが良い。その場合に幅のある羽根で、枚数も多くされる)

なお、洋上風力では安定性のため、重心の低い垂直軸風車の導入も検討されている。

2. 日本の風力発電は転換期へ

2.1 今、風力発電が日本で注目される理由

東日本大震災から3年、再生可能エネルギー導入の気運が高まり、洋上風力発電が注目されるようになった。実際12年秋、環境省は再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査の中で風力発電に高い導入可能性があることを示している。

13年3月、資源エネルギー庁の総合資源エネルギー調査会総合部会で、各種電源の発電コストが議論された。その際のデータには環境省の試算が使われ、30年に国内における洋上風力を含めた風力発電の発電コストが、原子力発電よりも安くなる可能性を示した(図5)。

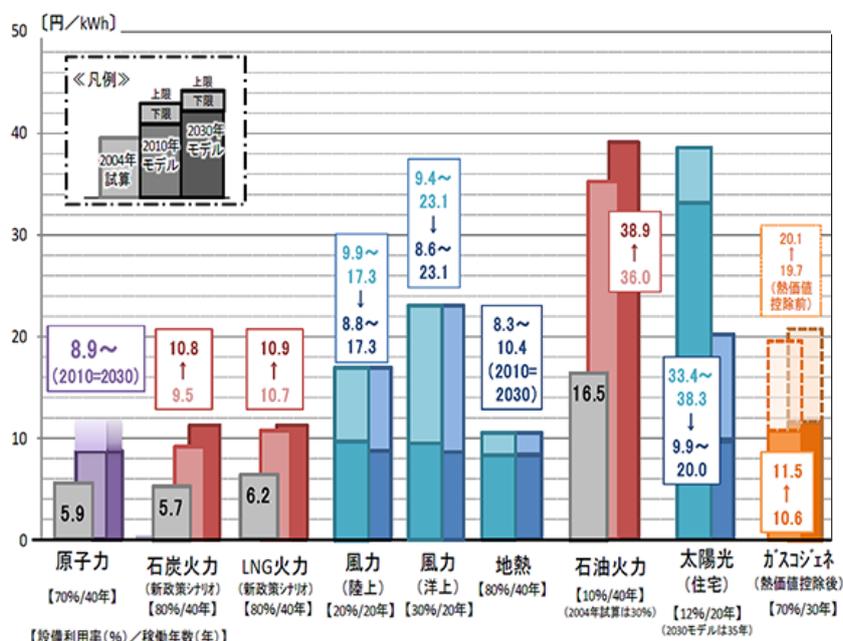


図5 主要電源の発電コストの比較

(注1: 原子力発電では事故リスク対応費が推定のため上限が確定しない)
 (注2: 風力発電は立地による建設コストの違いが大きく上限・下限の差が大きい)
 (出所: 総合資源エネルギー調査会総合部会 (第1回会合)、2013.3)

2.2 遅々とした成長だった日本の風力発電。今は制度過渡期

電力系統へ接続された風力発電の日本の歴史は約30年ある。まず、オイルショック時に風力発電が検討され、82年に三菱重工が、九州電力に300kW風車を納入して検査に合格し、国内最初の風力発電所となった。その後、13年の間を置いて95年から風力発電への補助制度が始まった。97年には地域新エネルギー導入促進事業やRPS法(電気事業者への

新エネルギー等利用特別措置法) によって電気事業者への新エネ購入義務が課され、導入が始まった。

一方、07年の建築基準法改正は高層ビル等の建築基準を厳格化し、範囲が高さ60m以上の風車にも適用されたため、導入が滞った。また、風力発電への補助制度が11年度以降打ち切られたため、数年間成長率が世界に比べて鈍化した(図6)。日本の風力発電は12年度末で総容量2,649MW、総設置基数1,904基にとどまっている。

なお、12年7月に電力固定買取制度〔FIT (Feed-in Tariff) 制度〕が導入され、22円/kWhで売電できるようになり、以前は投資回収に17年程度かかっていたが、10年を切る可能性も出ている。ただし、12年10月から総容量7.5MW以上の新設風力発電所は環境アセスメント対象に指定されて、認可に時間がかかるとともに、その経費負担(3~4年の期間と調査費用1億円程度)がかかることになった。今後の環境アセス法改正による2~3年程度かかるため、陸上風力発電の新設は一時的に停滞すると思われる。

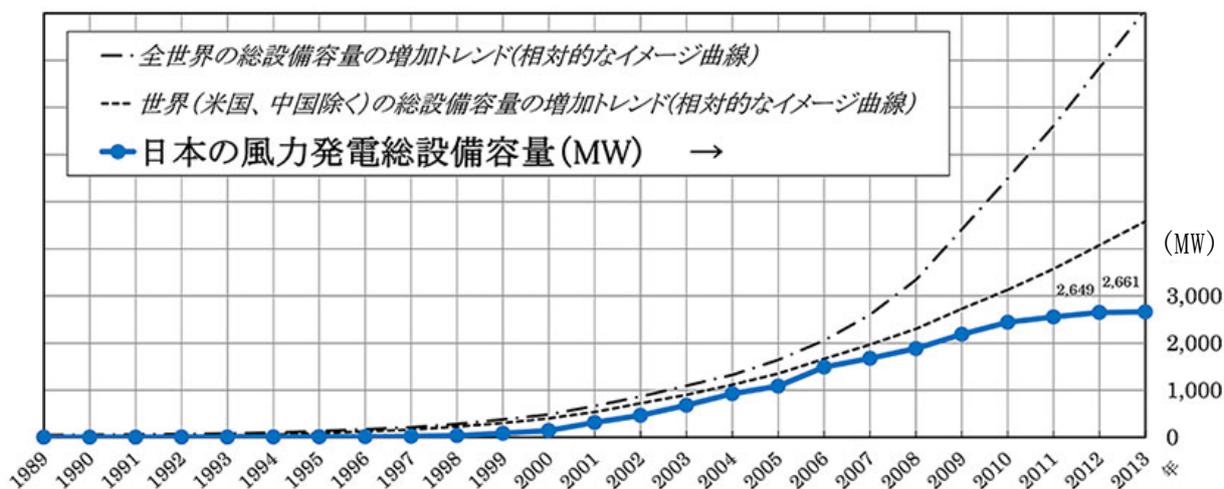


図6 日本における風力発電導入量の推移

[2012年まで実績、2013年は推定、(小型風力発電は含まず)]

(出典：日本における風力発電の状況, NEDO, 2013. 1. 8, 2013年データは日本風力発電協会, 2014. 1. 24, 世界総設備容量は米アースポリシー・インスティテュートWind Power 2013, 2013. 4よりARC作成)

現在の日本の風力発電容量2.6GWは、世界風力発電の総設備容量の0.9%であり、また国内全発電容量全体の0.4%を占めるにすぎない。原子力発電一基の発電容量は約1GWなので、日本の風力発電総容量は標準的な原子力発電の2.6基分に相当するが、設備利用率(実際の発電量/定格発電量)を考慮すると原発約1基分である。

他方、風力発電電力を系統接続すると、電力系統が不安定になり電力品質を損なうおそれがあるため、電力会社による系統連結許可制度が設けられている。また、容量上限も課されるといった障壁がある。

12年7月に始まったFIT制度による風力発電の設備認定は累計0.90GW(13年11月末現在)しかなく、容量換算で制度申請全体の3.2%に留まる。風力発電は、設備への補助金を廃止しFIT制度に移る過渡期にあるため、今後数年の停滞の後、エネルギー安全保障の観点も加わり、局面は変わると考えられる。

風力発電事業者の構成は、事業者数では自治体系と民間企業で1対2である。設備容量では電力設備等から参入した事業者が8割を占める。

なお、地域電力会社の風力設備容量は小さく、これまで風力はPR用途などとして導入されていたことが見て取れる(図7)。

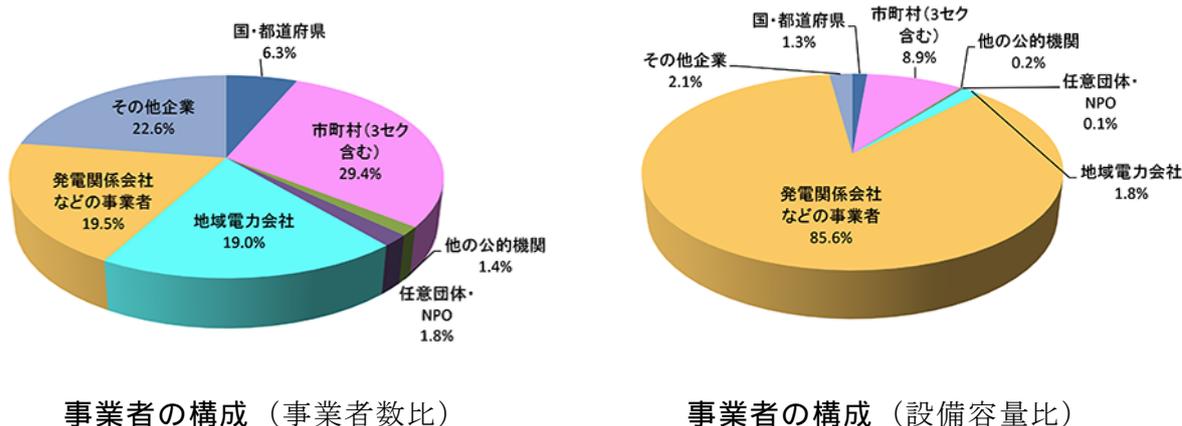


図7 国内風力発電の主体者 (2011年度推定) (注: 小型風力発電は含まない)
(出典: 平成23年度風力発電故障・事故調査結果、NEDOより作成)

2.3 風力発電は日本の成長戦略の一つに取りあげられる

安倍内閣は13年1月に産業競争力会議を設置し、経済再生の3本目の矢『日本の成長戦略』を13年6月に策定、秋の臨時国会で産業競争力強化法が成立し、政策実現に向け前進した。日本の成長戦略の一つとして、再生可能エネルギーである風力発電の推進を取りあげている。

世界風力エネルギー会議 (GWEC;本部ブリュセル) の統計では、風力発電導入量で日本は世界13位にすぎない。その状況下で、あえて日本政府が風力発電を取りあげたのは、

風力は世界的成長市場分野であり、今後、同分野（特に洋上風力）の日本での産業力強化、イノベーション展開が期待できるためである。

表8 日本の成長戦略の実現に向けた政策（一部）

アクションプラン		産業競争力会議の見解	政府の今後の対応
日本産業再興プラン	科学技術イノベーションの推進	イノベーションを促す研究開発環境の整備	総合科学技術会議で強化、推進 【次世代パワーエレクトロニクスによる風力発電導入拡大含む】
戦略市場創造プラン	クリーン・経済的なエネルギー需給の実現	エネルギー政策と温暖化対策の目標見直し	資源エネ庁・総合資源エネルギー調査会基本政策分科会等関係会議で新たな「エネルギー基本計画」を検討 【風力発電含む】

（出所：産業競争力会議等よりARCまとめ）

風力発電拡大のキーとなる浮体式洋上風力発電の国内初の実証実験は、13年から福島と長崎で進められている。総合科学技術会議が主導する府省横断型開発の事例であり（図8）、イノベーション政策推進の実例でもある。



図8 府省横断型取り組みによる風力発電施策

（出所：第107回総合科学技術会議、2013.3）

2.4 電力会社の風力発電拡大への対応

地域の各電力会社は自社の風力発電事業に消極的だったが、東日本大震災後、系統への連系可能量を増やし、9電力会社の連系可能量を全発電設備容量比の2.7%まで上げた（表9）。東北電力、中国電力、九州電力の伸びが著しい。

また、電力会社間で協力し、導入量拡大実験も開始された。北海道電力は0.2GWまでの風力発電を東京電力と連系した。風力発電出力予測に基づき、地域間連系線を活用して、大都市地区需要を調整し、長期的周期（20分間隔以上）の電力出力を調整する取り組み

である。同様に、東北電力と東京電力との間の協力もある。

電力会社の風力発電への連系容量の増加は、洋上風力を中心にした風力発電産業の成長に不可欠である。

表9 電力会社の風力発電の既連系量と連系可能量

電力会社	既連系量 (GW) 13年3月 (全発電設備容量比)	連系可能量 (GW)		備考
		11年9月	13年3月	
北海道	0.289 (3.9%)	0.56	0.56	国が1/2補助(250億円)し風力発電用送電網を整備(北海道・道北地区)予定(13年度)
東北	0.542 (3.2%)	1.58	2.00	東電と協力して可能量増大
東京	0.371 (0.3%)	—	—	連系可能量の制約なし
中部	0.224 (0.7%)	—	—	連系可能量の制約なし
北陸	0.146 (1.8%)	0.25	0.45	
関西	0.078 (0.2%)	—	—	連系可能量の制約なし
中国	0.299 (2.5%)	0.62	1.00	今後の増大に対応
四国	0.166 (2.4%)	0.25	0.45	0.6GWへ(13年6月発表)
九州	0.361 (1.8%)	1.00	1.00	
沖縄	0.014 (0.7%)	0.025	0.025	
合計	2.490 (1.2%)	4.285	5.48 (2.7%)	cf. 太陽光発電は10GWまで可能

(出所：電気事業連合会などよりARCまとめ)

なお、風力発電地点数が増加することで出力変動幅が小さくなる「平滑化効果」が期待されている。電力会社間の送電部門一体運営は、その実現に寄与すると考えられる。例えば、スペインでは風力発電の送電部門会社の一つであり、再生可能エネルギー監視・制御センターと中央給電センターが一体運営されている。気象予測による5時間前の風力発電予測データなどを活用して、広域で電力系統制御を行っている。

コラム : 風力発電機はどうしてゆっくりとしか回っていないのか？



見ただけからくる誤解である。
現代の風力発電では、実は意図的に羽根(プロペラ)の回転速度を落としている。羽根の動きがわるいというわけではない。
風力発電機は、発電機としての回転数を1500rpm(50Hz)に調整して交流電気を得ているが、これと羽根の回転を同じにしてしまうと、現代の風力発電での大きな羽根が制御不能になり、壊れてしまうのである。ナセルの中に増速機(ギアボックス)を搭載させて、羽根そのものは15rpm(4秒間で1回転)にしてゆっくり回しているのである。
なお、2MW規模の風車(羽根の直径83m)では4秒間で1回転しているのだが、その場合の羽根の先端部の速度は250km/hにもなっている。近くで見れば、決してゆっくり動いているわけではないのである。

3. 風力発電開発と洋上風力発電への期待

3.1 浮体式洋上風車の大規模普及に向けた技術確立へ

設備利用率が向上すれば、浮体式洋上風力発電の商用化は現実的になる。日本の湾岸・近海に設置でき、大都市に比較的近い洋上風力までも期待できる。課題は発電コストを下げながら、システムの信頼性を向上させることである。

科学技術振興機構（JST）の研究開発戦略センターは「研究開発の俯瞰報告書 環境・エネルギー分野（2013年）」で、浮体式洋上風力発電システムについて、開発すべき6項目を指摘している（表10）。

表10 浮体式洋上風力発電の開発すべき項目

[1] 風車の大型化と低コスト化 風車大型化と、部品点数削減による軽量化・低コスト化し、1kW当たりの設備コストを削減する。 また、1GW程度の風車用に通常海底ケーブルと接続可能な275kV系ケーブルを開発し、必要ケーブル本数を削減し、海底ケーブル本体および敷設費を削減する。
[2] 大幅な信頼性向上とメンテナンスフリー設計構築 風車の部品点数削減はシステム信頼性向上に寄与。補修は稼働率低下原因となる。 風車の信頼性に係留系の長寿命化・信頼性向上を加え、メンテナンスフリー設計を構築する。
[3] リモート・メンテナンスシステムの開発 故障予測手法と遠隔操作メンテ技術と気象予測と組み合わせ、故障発生前に計画的に補修可能とする戦略的メンテ技術を開発する。稼働率を下げない修理を可能とする。
[4] 新形式浮体式風車の開発 大規模展開に向けて、社会受容性に優れ、発電コストを最小化する新形式の軽量小型支持浮体開発を係留方式、設置工事法の開発とあわせて行う。
[5] 効率的な設計用統合シミュレーションシステムの開発 複雑な風車-浮体連成挙動について、信頼性が高く、効率的な設計用統合シミュレーションシステムを開発。これにより、取り組みが不十分な風車設計と浮体設計間の検討が可能となり、新形式の浮体式風車の可能性が検討できる。
[6] 社会受容性の向上 浮体式風車は既存の海面利用との協調が重要である。浮体式風車の社会受容性を検討し、既存の海面利用との干渉を最小限とする浮体・係留形式を開発する。

（出典：研究開発の俯瞰報告書 環境・エネルギー分野（2013年）、2013.3、科学技術振興機構（JST）よりまとめ）

事業性の高いマルチメガワット浮体式洋上風力の技術を確立するには、設計、建造、設置、運転・保守、撤去まで総合的最適化を行うことが望まれている。

3.2 事業の成功に影響する設備利用率を上げる手段

洋上風力発電をはじめ、風力発電は大型化へ進んでいるが、初期導入コストがかかるため、ランニングコスト低減の工夫が求められる。そのため、“設備利用率”が重要になる。設備利用率は発電設備の最大出力値に対して、実際に発電した発電量の比率を表す指標である。単に利用率、稼働率と呼ぶこともある。洋上風力発電では設備利用率30%以上が目標である。なお、NEDO“風力発電導入ガイドブック”では「年間設備利用率は20%以上が望ましい」とされ、また、日本風力発電協会の実績データでは平均20.7%となっている（11年度）。

表11 日本の風力発電の設備利用率の実績

	日本全国			(内数) 北海道	
	設備容量 (MW)	年間電気供給量 (GWh/年)	設備利用率 (%)	設備容量 (MW)	設備利用率 (%)
2003年～ 2010年平均	1,712	2,755	18.2	236	23.9
2011年	2,559	4,631	20.7	288	25.1

(出典：自然エネルギー白書（風力編）、日本風力発電協会 2013.3よりARCまとめ)

その設備利用率向上の風力発電での対策は以下の2つにわけられる。

風力発電システムを故障させない方法

発電システムを故障させないポイントは、以下の2点である。

1. 台風、地形による風の乱れへの対応
2. 雷への対応（日本海側の冬雷の積乱雲は低く、近距離落雷）

大型風力発電では通常風速3m/sから発電を開始し、風速12m/sで定格出力域となる。風速24m/sでは8倍の力を受けるため、羽根の角度を微調整し、必要な分だけ風車が受け、残りを受け流す。25m/s以上の風の場合は、羽根の角度を風に水平にし、発電をやめる。いかに風を受け流すかという柔軟な対応「ピッチ制御」技術を要する。また、強風時のダメージを避けるため、風車を常に風の方角に対応させる「ヨー制御」（鉛直軸コントロール）技術もいる。これら制御は停電しても、非常用電源などでカバーできなければならない。

また落雷対策には、避雷塔設置、ブレードの避雷導電塗装、避雷器強化やアース対策

(設置抵抗)、通信線の光ケーブル化などがある。なお、再生可能エネルギー施設の雷保護で避雷器などのIEC（国際電気標準）の国際規格化があるが、日本がそれを主導することは、安全で健全な世界の風力発電産業の発展につなげるために必要なことである。

利用しやすい風が吹く適地に設置する方法

次に場所の選定であり、それがコスト低減に直結する。風のエネルギーは風速の3乗に比例する。風速3m/sと6m/sでエネルギーは8倍違うため、徹底的な事前吟味が重要である。年間平均風速が6m/s以上が一つのハードルとなる。また、風車が主に向く方向に風が吹く時間が年間60%以上、地形の影響を受けず風が乱れない条件が良い。同じ地域にあっても地形や地面の粗度で風速は変わる。特に山岳地では100m場所が違うだけで風況（風速、風向）が変わる。

また、風況観測は、観測塔を建てて実測する従来型の方法から、気象衛星観測、ドップラーライダー観測（大気中の微粒子や塵の動きをレーザー光で計測し風向風速を測る）などの適用へと進化している。なお、表12に風力発電導入上位国の設備利用率を示す。

表12 風力発電導入上位国の設備利用率の推計（2011年）

風力発電量上位国	年間風力発電量 (TWh)	風力発電容量 (MW)	設備利用率
1 米国	120.2	46,919	29.2%
2 中国	73.2	62,364	13.4%
3 ドイツ	46.5	29,075	18.3%
4 スペイン	42.4	21,673	22.3%
5 インド	26.0	15,880	18.7%
6 カナダ	19.7	5,265	42.7%
7 英国	15.5	6,018	29.4%
8 フランス	12.2	6,549	21.3%
9 イタリア	10.1	6,737	17.2%
10 デンマーク	9.8	3,297	33.8%
18 日本	4.3	2,501	19.8%

(出所：International Energy Statistics（米国エネルギー省（EIA））、World Wind Energy Report2012（世界風力エネルギー協会（WWEA）よりARC作成）

3.3 系統接続を増やす蓄電技術

風力発電が安定した電力として利用されるためには、系統電力に電力を安定供給する

しくみが必要である。

最も実用的な対応は発電サイトで蓄電池システムを確保することである。蓄電池システムは余剰電力の蓄電が可能となるというメリットもある。NEDO「大規模電力供給用太陽光発電系統等実証事業」では発電容量の約5割の蓄電池で出力変動を9割抑制できたという。出力変動を9割制御できれば、高圧発電設備への接続が可能となる。

日本で風力発電設備容量が年1.6GWで増える場合、年0.8GWの蓄電の設備増強が必要になる。蓄電池コストが4～20万円/kWhならば、毎年32～160億円/年の蓄電池設備という追加投資が必要となってしまう。このコストを揚水発電の2.3万円/kWhレベルにした小型の蓄電池技術の開発が待たれる。

なお、欧州では電氣的貯蔵以外の方法として、風力発電の余剰電力で電気分解した水素を貯蔵し、天然ガス供給網へ付加したり（水素ガスは5%程度の一定範囲内であれば天然ガスに注入できる（独や仏）、あるいは、燃料電池へ供給したり（デンマークや独ノルトラインヴェストファーレン州）、エネルギー源の移動ができると期待され進められている（表13）。

表13 各種電力貯蔵技術の技術的および経済的な比較

電力貯蔵技術の種類		比容量 (kWh/t)	出力 (MW)	貯蔵可能 時間	投資コスト (ユーロ/kWh)	備考
機械的 貯蔵	揚水発電	1	1～1000	日～月	50	大面積が必要 (可能地域は限定される)
	圧縮空気式	2kWh/m ³	300	日	400～800	化石燃料や中間蓄熱が必要
電氣的 貯蔵	鉛蓄電池	40	可変	日～月	200	比容量小のため大型になる、 低コスト
	リチウムイオン電池	130	可変	日～月	1,000	高コスト
	NAS 電池	110	可変	日	300	停止時損失大、材料の危険性
	レドックス・フロー 電池 ^{注1}	25	0.01～10	日～月	500	等付帯設備必要 材ポンプ料、溶液など開発中
化学的 貯蔵	水素貯蔵	30,000	0.001～1	日～年	1,000 ユーロ/kWh	高い比容量だがコスト高、 移動できるメリット

(注1：レドックス・フロー電池とはイオン酸化還元反応を溶液循環により充電・放電を行う電池で、長寿命、大型貯蔵用電池としての特性がある。日本では住友電気工業が販売)

(出所：調査「欧州の電力貯蔵技術」(社)日本産業機械工業会、2011.9よりARCまとめ)

09年に運転を開始した青森県六ヶ所村二又風力発電所（34基51MW）は、世界初の大型蓄電池を併設した。NAS電池（ナス電池；ナトリウム硫黄利用）により34MWの蓄電能力を備え、系統へ安定供給している。

これに関連し環境省は1MW以上の再生可能エネルギー発電施設への大型蓄電池を全額補助する「再生可能エネルギー導入のための蓄電池制御等実証モデル事業」を12年度に募集し、6件が採用された。太陽光発電や風力発電（男鹿市、六ヶ所村、与論島の3ヵ所）の出力変動をNAS電池、リチウムイオン電池などの大型蓄電池で制御する実験が13年から4年間行なわれている。良好な結果が得られれば、風力発電の系統接続を促進することになる。



図9 再生可能エネルギー導入のための蓄電池制御等実証モデル事業

(出典：環境省)

系統電力安定化技術には他に、蓄電池システム利用の出力平滑化技術、精緻な風況を把握した高精度風力発電量予測技術、ウィンドファームなど多風車の大規模施設の集中制御システム（スペインが運用）など、スマートグリッド技術を応用したIT技術の適用も検討されている。

3.4 風力発電開発の日本の強みと弱み

日本の風力発電の規模の現状は発電量（供給量）として0.4%、発電容量として1.2%である。エネルギー源の構成全体から見れば、まだまだの量である。しかし今後、世界市場の伸び率は大きく、新産業の市場として魅力にあふれている。

浮体式洋上風力発電の研究開発力の国際状況を比較すると、欧米にあと一步とJST

((独) 科学技術振興機構) は判断している (表14)。

また、特許庁は10年度に風力発電特許技術動向 (主に中・大型風力発電) を調査し、世界の風力発電技術の総合分析を行っている。風力発電に向けて日本企業が取るべき方向性が示され、戦略的な風力発電の開発の道が示唆されている (表15)。調査結果の通り、日本の「強み」を活かす方向に進むべきである。

表14 風力発電の研究開発の国際比較 (主に浮体式洋上風力発電)

国	フェーズ ^{注1}	現状 ^{注2}	トレンド ^{注3}	状況
欧州	基礎研究		↑	・公的機関に風力の研究者が多い (特にノルウェー、蘭、仏) ・ノルウェー産業科学技術研究所 (SINTEF) を中心に共同研究を進める
	応用研究・開発		↑	・浮体式洋上実証機が多くある ・石油開発会社、エンジニアリング会社の計画あり
	産業化		↑	・ノルウェー Statoil (スタットオイル) 社の浮体風力 Hywind の2番目の実証実験 (英国沖) が始まる
米国	基礎研究		→	・陸上用風力発電解析ソフトは信頼性が高い
	応用研究・開発		↑	・米社によるポルトガル沖の浮体風力でリード ・12年3月、DOEのコスト軽減実証研究の公募
	産業化		↑	・DOE コスト軽減実証研究の公募が先導する
日本	基礎研究		↑	・浮体動揺解析とタービン連成解析など、浮体風力の基礎研究レベルは高い
	応用研究・開発		↑	・浮体式洋上風力発電実証は世界的大プロジェクト ・環境省による、環境への影響等の調査 ・日立造船中心の産業化を見据えた応用研究
	産業化		↑	・産学官が有機的な取り組みをしている
中国	基礎研究		→	・少しずつ洋上風力の大学研究が出てきた
	応用研究・開発	×	→	・洋上風力実証開発計画はない
	産業化	×	→	・陸上風力に留まっている
韓国	基礎研究		→	・蔚山大学の一部で、洋上風力の研究
	応用研究・開発	×	→	・洋上風力実証開発計画はない
	産業化	×	→	・着床式洋上風力の開発計画が発表された

(注1) フェーズ 基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発 (プロトタイプの開発含む) のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(注2) 現状 ※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価

◎：他国に比べ顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べ顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(注3) トレンド ↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

(出典：「研究開発の俯瞰報告書 環境・エネルギー分野 (2013年)」、JSTよりARCまとめ)

表15 風力発電特許技術動向の総合分析

(主に電力網につながる風力発電が対象)

項目		風力発電特許技術の分析内容
風力発電の 世界の特許出願動向		<ul style="list-style-type: none"> ・ 中国への特許出願件数が著しい（出願件数は発電容量と比例関係） ・ 出願内容は○安全性、信頼性に関するもの、○システム管理技術、○ブレードと変換効率、コスト、○洋上発電、などが注目
風力発電の 世界の研究開発動向		<ul style="list-style-type: none"> ・ 欧州や米国が研究牽引、中国が急激に研究発表件数を伸ばす ・ EWEC(欧州風力国際会議) は経済的観点含む議論の場となり、研究開発も牽引
風力発電の 政策動向分析		<ul style="list-style-type: none"> ・ 米国 DOE の風水力プログラム、欧州フレームワーク・プログラム、日本の NEDO 母体の実証開発プログラム
風力発電の 市場動向分析		<ul style="list-style-type: none"> ・ 2014 年にアジアが最大市場になると予測 ・ 世界中で風力発電の市場拡大には電力系統との連系が欠かせない
風力 発電 に 向 け て 日 本 企 業 が 取 る べ き 方 向 性	日本の「強み」 を活かす	<ol style="list-style-type: none"> 1. 日本型風車技術（例えば①強風・乱流対策、②耐雷撃性、③信頼性・耐久性、）を保有・開発中である 2. 小型風車技術を保有している 3. 洋上風力を設置する海洋面積が上位（排他的経済水域は世界6位） 4. 洋上風力に不可欠な海洋土木・建築技術と造船技術を保有し、浮体式風力発電技術は未開発で今後日本が注力できる 5. 系統連系に際して不可欠な電力安定化技術を保有する 6. 日本の風力発電技術には国際標準が折り込まれている
	日本の「弱み」 を知る	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高コスト体質 2. 日本市場の独自性（①導入目標が小さく不明瞭、②系統連系への要求が厳しい、③建築基準法等の規制強い、④市場規模が小さい、⑤政策の過渡期にある） 3. 風力発電の受入容量に上限があること 4. 海外販売実績が少ない 5. 特許件数が少ない
	日本企業への提言	<p>【提言1】 日本企業の総合力の強化 国内外の独自技術を持つ企業との連携や買収により技術力を強化する。信頼性技術を保持し、蓄積のある宇宙・航空・海洋分野の技術力を生かすこと。</p> <p>【提言2】 特徴ある風車による新興市場への進出 新興市場のアジア、南米地域などの市場ニーズ調査を行い、台風や雷撃に強い日本型風車やメンテフリー小型風車で市場進出する。</p> <p>【提言3】 研究開発と特許戦略 浮体式発電技術で先行するため、海洋・土木技術、蓄電池技術と統合し、複合化した風車技術の確立。そのため、基本の技術開発を進め、実用化時期を視野に入れた特許戦略。</p>

(出典：「特許出願技術動向調査報告、風力発電」、特許庁、2011.4よりARCまとめ)

3.5 信頼性などの成果獲得へ期待かかる風力発電の国内実証実験

風力発電導入量の拡大において期待されるのが洋上風力技術である。

現在、全世界の洋上風力発電の容量は風力発電全体の2%にすぎないが、今後の導入ポテンシャルは高い。

洋上風力の導入では世界で英国が先行する(表16)。北海油田で国内エネルギーを自給する英国だったが、2000年頃を境に北海油田生産量が減り、枯渇懸念が生じた。折しもEUでは再生可能エネルギーの適用を論じており、海上油田設備を頼りに洋上風力を世界で最も早く進めた。英国は現況2.9GWで日本の約100倍であり、20年には洋上風力発電容量を40GWにするという目標を掲げている。

表16 世界の洋上風力発電容量の導入実績(2012年)

順位	国	発電容量 MW(対世界百分率)	備考
1	英国	2,948 (54%)	英国全体の風力発電容量 8,445MW の 35%
2	デンマーク	921 (17%)	
3	中国	390 (7%)	中国全体の風力発電容量 75,564MW の 0.5%
4	ベルギー	380 (7%)	
5	ドイツ	280 (5%)	ドイツ全体の風力発電容量 31,332MW の 1%
6	オランダ	247 (5%)	
7	スウェーデン	164 (3%)	
8	フィンランド	26 (0.5%)	
9	日本	25 (0.5%)	日本全体の風力発電容量 2,649MW の 1%
世界の合計		5,410 (100%)	

(出所：世界風力エネルギー会議；GWEC)

風力発電量は原理的には、翼長の2乗、風速の3乗に比例する。ただし、利用できる風速には安全上の上限があり、ある風速以上は風を避けて回転させない。発電量を増やすには翼長を大きくすれば良いが、低周波騒音が大きいいため、陸上では住民への被害が懸念される。その対策技術も進められているが、住民の不安が増しており、大型の洋上風力発電設備の方向に進んでいる。

洋上風力は、陸上に比べて風向・風速が安定していることが多い。また、日本が得意とする造船技術を資材搬入や効率的な組立に活用できる。さらに、迅速な工期、信頼性など、日本の技術の利点を明確に示すことができる。

以下二つの風力発電実験は、日本の風力発電の将来を左右するものである。

NEDOの国内最大級の洋上風力発電等技術研究開発

NEDO事業の洋上風力発電等技術研究開発は、千葉県銚子沖3km水深12mの所に翼長46m出力2.4MWの着床式風車を設置したもので、13年3月から運転に入っている。実証期間2年間で設備利用率30～40%を目指している。自然環境に適した設備開発、洋上風力発電設備の運転保守方法の確立、環境影響調査などが予定されている。また、事故例の多い雷への対策検証も重要項目になっている。北九州沖にも翼長42m出力2MW風車が13年4月設置された。

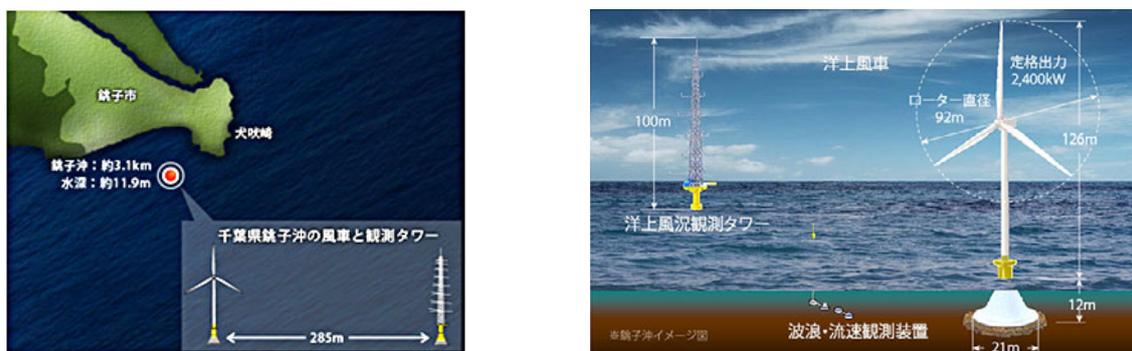


図10 洋上風況観測タワーと洋上風車のイメージ (出典：NEDO)

世界最大の7MW風車による浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業

福島県沖20km、水深100m上にある浮体式洋上風力発電は13年に建設に入り、同年11月に運転を開始した。震災復興と産業創出の双方を目指している。

翼長42m出力2MW施設1基の吹上風によって設備利用率を約1～4%上昇できるとする世界初のダウンウィンド型機（プロペラが風下側の機器、旧・富士重工製、現・日立製）が採用され、その実力が期待される。

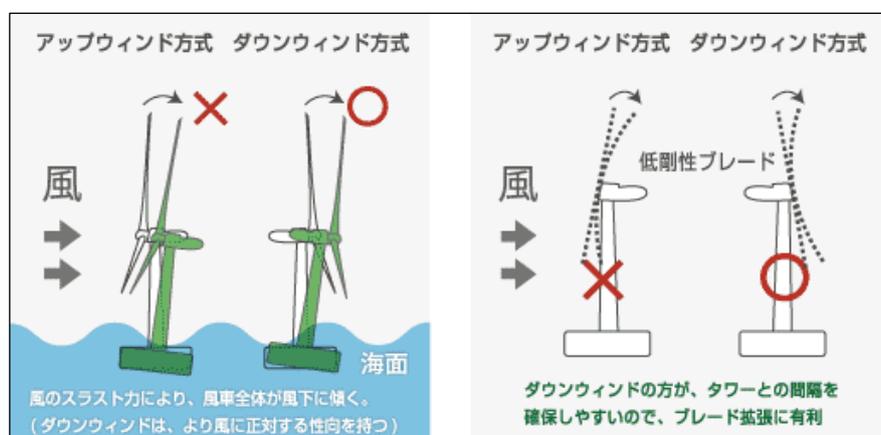


図11 洋上風力発電でのダウンウィンド方式とその優位性 (出典：NEDO)

また、翼長80m出力7MW施設2基（三菱重工製）も14年に設置の予定である。変電所も世界初で洋上に浮体式（日立製）で設置され、送電ロス対策を取っている。

成功すれば洋上風力発電の日本の技術力を示すことになる。7MW浮体洋上風車が信頼性を持つ発電システムとなれば、世界で初めての大規模浮体式洋上風力発電であり、世界的な影響力がある。

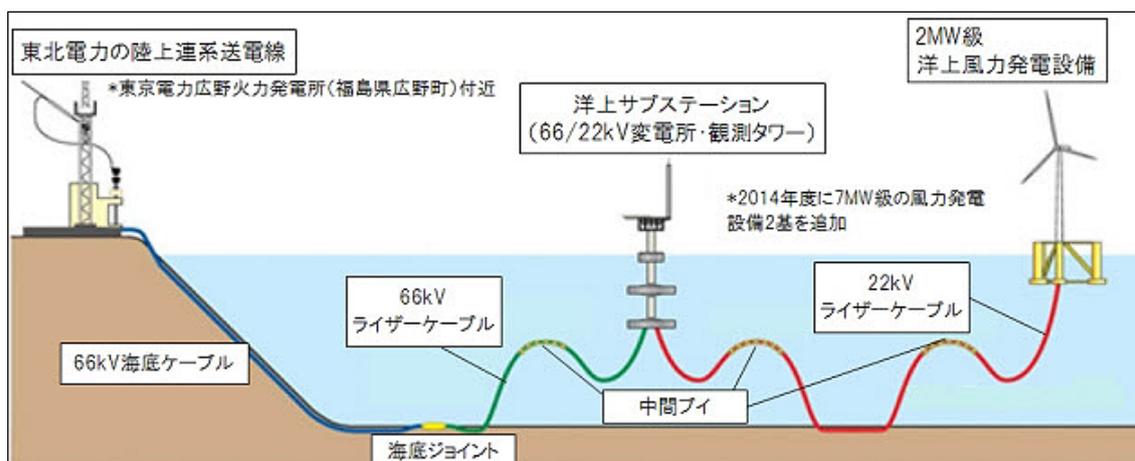


図12 浮体式洋上風力発電実証実験（イメージ）

（出所：経済産業省 資料）

設備利用率のデータ、採用コスト低減につながる遠隔監視技術、台風と雷への対策技術の確認が15年度まで行われる。漁業との共存も検証項目である。また、浮体式洋上風力発電の国際標準化の仕様で日本が先導することも目指している。

日本は浮体式洋上風力発電の18年の商業化開始を目標としている。そのため13年12月経済産業省は14年度から洋上風力の買取価格を陸上風力発電の単価23.1円/kWhの1.5倍から2倍程度の35円程度を軸にする方針を示した。

浮体式洋上風力発電は今までノルウェー、ポルトガルの実証実験の2例がある（表17）。今後、浮体式洋上風車を複数配列したプロジェクトが欧州で15年頃立ち上がる予定だが、実験規模で日本が上回っている。

表17 浮体式洋上風力発電の先行事例

事例	期間	実証実験の概要	実験成果
ノルウェー Hywind プロジェクト (1基)	2010年 から2年 間	ノルウェー南西部の北海沖10km洋上で深度220mの場所。シーメンスの2.3MW風力発電1基を使用。海底に3本の鎖で係留されたスパー型浮体の上に、高さ65mの風車を搭載。この風車は着床式と同様に専用船で施工。周辺技術をシーメンスとスタトイルハイドロ社が開発、システム全体技術をノルウェーが開発。	2011年に年間10.1GWh発電。2011年の設備利用率は50%を超え、嵐による悪天候(40m/s強風や19m高波)にも耐えた。
ポルトガル WindFloat プロジェクト (1基)	2011年 秋~1年 間(2012 年6月か ら本格 運用へ)	ポルトガルの15km沖水深50mに米Principle Power社開発の三角形セミサブ型(半潜水)浮体にヴェスタス2MW風力発電1基使用。 ポルトガル電力公社グループが実施。 海底に4本の鎖で係留された三角形の浮体上に、高さ約67mの風車を搭載。施工組立は陸上のドック内で行い、入水後タグボートで曳航し設置。	運転が開始されてから約3GWhを発電している。

(出所：各種情報よりARCまとめ)

実証実験により信頼性の高い日本の風力発電技術、例えば強みである長寿命大型軸受技術、出力ゼロを回避する発電機制御技術、軽いが強度と柔軟性のあるブレード素材(炭素繊維強化プラスチック、耐久性のあるコーティング剤、耐落雷用材)技術などが確認されることが期待される。さらに浮体式洋上風力発電コストの基礎データも得られる。

実用レベルにするコストの課題がわかれば、洋上風力発電のアジア新市場、など海外でも強みを発揮する可能性が広がる。

表18 洋上風力発電の費用例

経費項目	額面 (%)	内訳、備考等
開発と許認可	78億円(4%)	
風力発電機	780億円(39%)	ナセル3.3(うち増速機1.1)、ロータ1.8、タワー1.3(一基当たり)
その他設備	520~650億円(30%)	基礎設置130、ケーブル104(総ケーブル長8,000km)、洋上変電所65、陸上変電所52
建設と試運転	520億円(26%)	ケーブル敷設104、基礎130、発電機設置182
運転(メンテナンス)	32.5~52億円(2%)	運転42
事業コスト総計	約2,000億円(100%)	

(注：英国洋上風力事業ラウンド3の100基合計容量500MW(ロータ直径：120m以上)、離岸距離80kmのウィンドファームを想定、為替レートは¥130/£想定)

(出典：「A Guide to an Offshore Wind Farm(洋上風力発電ガイド)」、英THE CROWN ESTATE、日本風力発電協会翻訳)

コラム : ユニークな風力発電、現わる! ?

現在、風力発電の主力は3枚プロペラ型であるが、立地や地域の環境の違いにより、様々な様式の風力発電が現れる余地は十分にあると思われる。

風力発電産業が世界的に発展する中で、ユニークな風力発電の実用が進む可能性がある。

(特に小型のもの(小型風力発電)については設置場所に適した様々な装置が現れる余地が大きい)

◆羽根のない風力発電

低周波騒音がなく、プロペラ破損の危険性のない風力発電。

水などの荷電粒子を風で電界反対方向へ移動させ発電する方式。

蘭デルフト工科大学が開発し13年3月に公表された風力発電システム「Ewicon」は、羽根がなく動く部品もない。静電風力エネルギー変換器(Electrostatic WInd Energy CONverter)を直接略し命名。英ダイソン社の扇風機の逆のようなものである。

現在、発電効率が風車式の2倍、製造コスト半分ができるとし、大規模モデルをつくるための資金探しをしている。

効率よく大規模化できれば有望といわれる。

◆セイリング型洋上風力発電



(出典: (独)国立環境研究所)

太平洋上で最も良い風をとらえて曳航し発電する風力発電。

国立環境研究所が07年に公表した、セイル等による自己位置を維持できる非係留型大型浮体を搭載する風力発電システム。得られた電力を化学エネルギーに変換して消費地に輸送するシステム。液化水素化して水素吸蔵物質に吸収させて陸に運ぶ。5MWの風車を11基搭載し、設備利用率は42.6%になる。海洋現象や厳しい気象に耐える浮体構造風車をつかった電気で海水を電気分解して水素をつくり、エネルギー源にしようという構想である。

◆空中風力発電

上空の強い風を安定利用するという発想の風力発電。

カナダ Magenn Power 社はヘリウム充填のソーセージ状気球の外面に風向きに依らず袋型のサボニウス型羽根をつけて軸を通し、この軸受けをワイヤーで地上に固定し、この気球を200~300m上空に係留して10~1,000kW発電ができると提案している。上空ほど風が強いので安定した発電が行えるとする。

羽根の形式から効率が15%程度と低いが、海上に係留することも考えられている。

4. 風力発電の発展のために

4.1 風力発電による産業創出および温室効果ガス削減効果は大きい

産業競争力会議で提案された30年に風力発電総設備容量35GWを導入する目標を図示すると図13になる。この数年は、風力発電に関する補助制度の打切り、FIT（固定価格買取）制度導入による申請手続き遅延、環境アセス適用など関係制度切替による停滞がある。今後5年程度で風力発電への設備投資が進み、成功する洋上風力事業者が現れるかが発展のカギである。

30年に風力発電総設備容量35GWの導入は18年間で約13倍、年率15%で発電容量を伸ばして達成されるものである。世界では年平均21%増と予測される中での15%増であり、決して不可能な目標ではない。

このような日本市場の進展が、世界の風力発電産業のリーダーになる要件である。海外で日本製の洋上風力装置が耐久性などで好評を得て、その後、日本の風力発電産業が急伸することもあるだろう。実際、風力機器会社、ケーブル会社、日本商社は海外での洋上風力発電事業への積極的な活動を展開中である。

なお、日本での洋上風力が風力発電のうちどの程度の比率になるかであるが、NEDOは20年に4割とする目標を立てている。

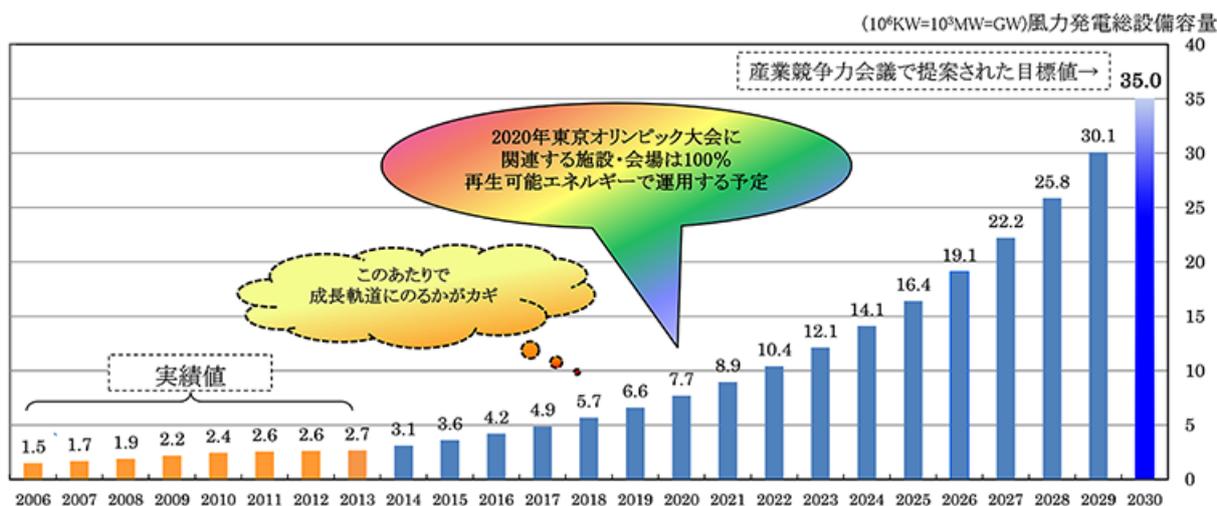


図13 日本での風力発電設備の実現可能な将来像

(エネルギー・環境会議及び産業競争力会議資料を基に指数近似でARC作成)

この予測の下での各年毎の国内風力発電システムの概算推定市場規模と概算推定CO₂削減量を示す（表19）。

市場は風力発電設備への初期投資だけでない。関連市場としてメンテナンス市場、事前調査（アセスメントや風況調査）市場、敷設工事など、周辺産業も出現していく。1.2節で示したように風力発電の産業創出の効果は大きい。

産業競争力会議提案の風力発電導入量から、CO₂削減効果を試算することができる。化石燃料電力群と風力発電のライフサイクルCO₂排出量の差に発電量を乗じ示される。設備利用率で幅がでるが2030年には4,340～6,500万t-CO₂/年になり大きな貢献が見込まれる。

表19 国内風力発電による産業創出と温室効果ガス削減の効果（まとめ）

年度	日本の風力発電容量(GW = 百万kW)	推定風力発電システム市場(億円/年)(対前年増分)	推計CO ₂ 削減量(万t-CO ₂ /年)	温室効果ガス削減についての説明
2012年	2.65	130～280	約330～490	100万世帯分の温暖化ガス削減に相当
2015年	4.07	750～1,600	約510～760	150万世帯分の温暖化ガス削減に相当
2020年	8.34	1,500～3,300	約1,030～1,550	エネルギー転換部門(配分前)の約4%分CO ₂ 削減に貢献する
2025年	17.1	3,200～6,800	約2,120～3,180	エネルギー転換部門(配分前)の約8%分CO ₂ 削減に貢献する
2030年	35.0	6,500～14,000(1兆円/年越)	約4,340～6,500	全排出量の4～5%削減に貢献

※1 2015年以降は環境・エネルギー会議の推計に基づいて計算

※2 市場は風力発電設備コスト14～30万円/kW（14万円の出所はGWECのGlobal Wind Energy Outlook 2012、30万円の出所は「中国地域における再生可能エネルギー普及の現状と課題に関する調査」、中国経済連合会2013.3 日本での風力発電導入コスト（建設費含む）から）

※3 CO₂削減量は電源別のライフサイクルCO₂排出量データ（電力中央研究所データ）と電源別発電電力量データに基づき、化石燃料発電と風力発電のCO₂発生量の差、707（t-CO₂/GWh）で算出。風力発電の設備利用率20～30%を想定し幅を持たせた。

（ARCまとめ）

4.2長期エネルギー政策のもと業界努力と政策の後押しが不可欠

エネルギーの安定供給は政府の重要な役割である。よって、長期のエネルギー環境政策に基づく風力発電の産業振興策が不可欠となる。

産業競争力会議は風力発電市場創出の課題をまとめている（図14）。僻地の発電であっても電力系統の容量があり接続でき遠方へ送電できること、環境アセス短縮化など市場参入の壁を低くすることが話し合われた。提言の中で特筆すべきは、風力発電導入量に1.6GW/年×20年という目標が明示され、さらに風力発電の系統接続増強を国が約束するよう要請されている点である。

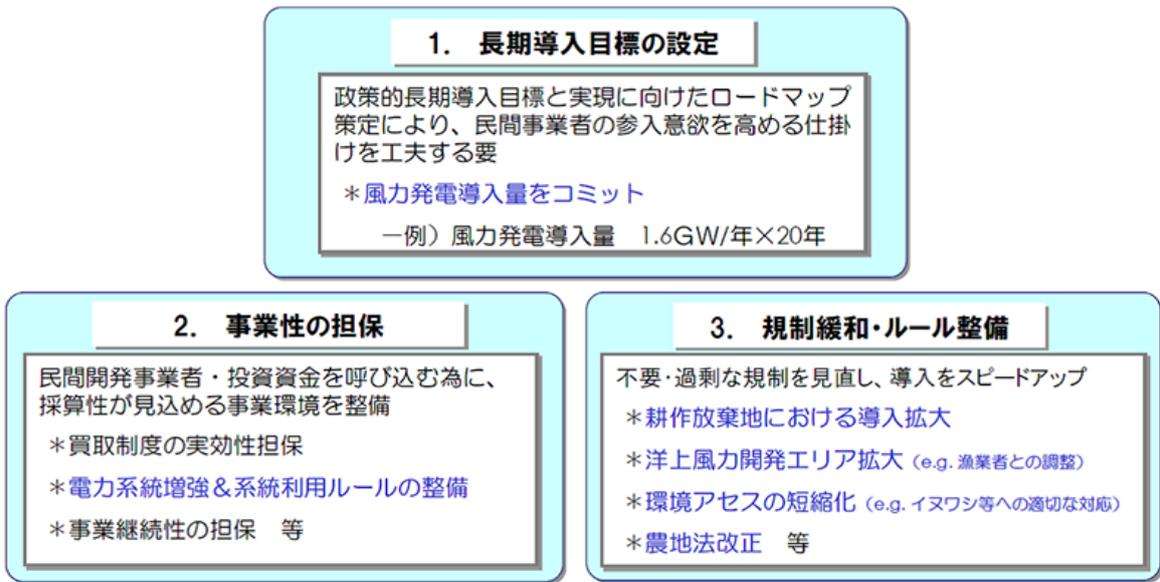


図14 風力発電市場創出の課題

(出所：産業競争力会議 テーマ別会合（エネルギー分野） 2013. 3. 29)

産業競争力会議では、風力発電の国産化は産業振興の観点から重要であり、再生可能エネルギーはGDP誘発効果が大きいと指摘する。

国産化率を80%とした場合、洋上風力発電導入により、1GWあたり360億円のGDP創出効果があり、太陽光発電より大きくなると推算した（図15）。

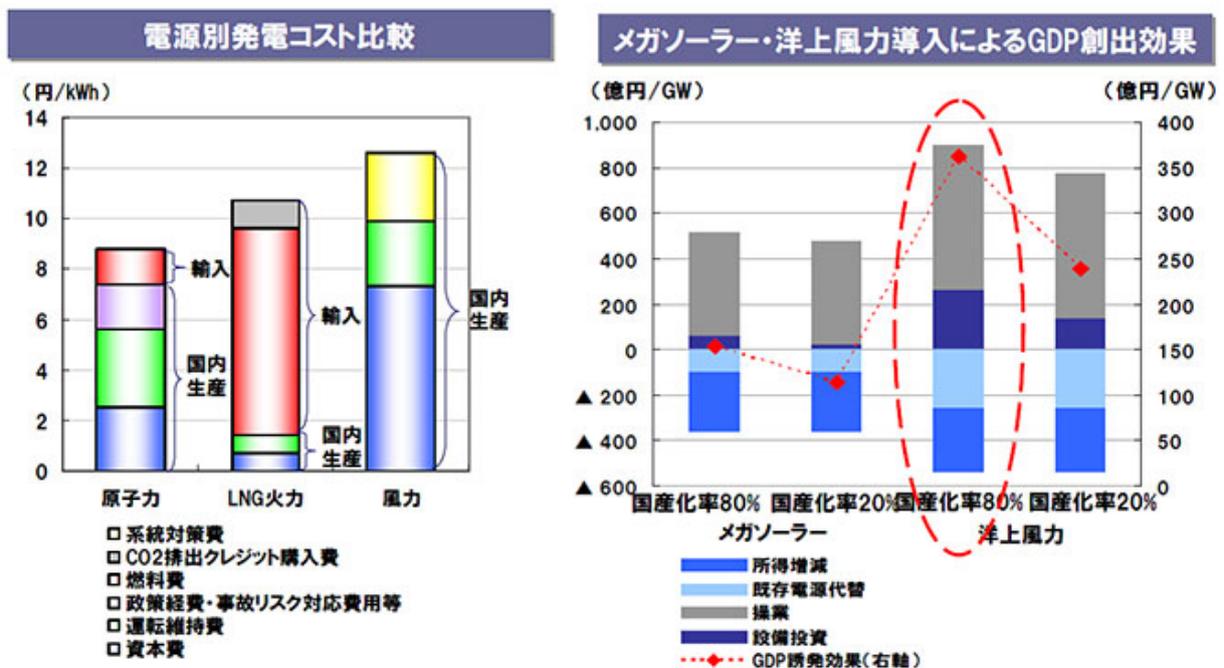


図15 “再生可能エネルギーによる産業振興”のマクロ経済的な意味

(出所：産業競争力会議 テーマ別会合（エネルギー分野） 2013. 3. 29)

エネルギー・環境会議及び産業競争力会議で提案された30年までに35GWの風力発電を導入する目標は、年平均1.6GW増で風力一基7MWとすれば230基/年の新規増設が必要となる。そのような風力発電市場実現には洋上風力発電の振興が不可欠で日本の重電、鉄鋼、造船、建設、電機業界が協力し、その上に、政府の積極的な後押しが必要である。風力発電産業成長のための規制緩和も大事な要素になる。陸上風力は農地法の規制のカベなどがある（表20）。法整備がこれから進む洋上風力は期待できる。

表20 風力発電導入拡大に向けた規制緩和の論点

法律	現状	風力発電推進側の要望事項等
環境アセスメント (環境影響評価法)	2012年10月より風力発電にも義務付け	FITの適用を受けるまでに数年を要するため、環境アセスメント審査の効率化、迅速化が要望されている
農地転用 (農地法・農振法)	第一種農地の風力発電施設への転用が一切認められない (13年11月成立の農山漁村再生可能エネルギー法により新たな規定での可能性あり)	第一種農地への風車設置が要望されている (農業保護のカベは厚い)
建築基準 (建築基準法)	高さ60mを超える発電機は建築基準法で国土交通大臣の認定が必要 ^{※1}	電気事業法による審査に一元化し、建築基準法の対象から外すことが要望されている
保安林 (森林法)	保安林への設置を一切認めない都道府県がある	「作業許可」による風車設置が可能となる要件の整理と、都道府県への周知徹底が要望されている
自然公園内立地 (自然公園法)	環境省による景観審査に関する「技術的ガイドライン」があり、自然公園内での立地が困難	風力発電の特性を踏まえたガイドラインの見直しと、環境影響評価法と重複部分の一元化が要望されている
〔洋上風力に関する法がない〕 [※]	海域に洋上風力を商業運転するための法制度はない	相談窓口となる海域の管理者(国、自治体)の設定、許認可手続きと漁業権などとの調整作業などが未整備

(※：浮体式洋上風力発電設備については船舶安全法で規定)

(出所：日本風力発電協会資料等よりARCまとめ)

全てのエネルギー源需要量を予測するIEA報告の風力発電量から風力発電システム市場規模を推定すると、20年の風力発電システム産業は7.5兆円市場となる(1章表3参照)。また、世界の洋上風力発電システム産業は20年に1兆円産業となる。さらに中国、インドおよび日本を除くアジアの30年の風力発電容量をIEAは日本の2倍以上の規模と予測する。成長が見込まれるアジア風力発電に日本の風力発電技術を活かす道は是非考えるべきであろう。

なお、韓国は風力発電の導入実績は乏しい(累積容量0.4GW、cf. 日本2.6GW)が、造船

技術を基に洋上風力大国を目指している。韓国政府は李明博前大統領の時、11年11月に「グリーン成長戦略」を掲げ、「西南海2.5GW 海上風力総合推進計画」を公表、洋上風力で世界トップ3を目指すと宣言した。19年をめどに総発電容量2.5GW規模の洋上風力ファームの建設を予定した。

また、中国の風力発電容量は12年75GW（うち0.4GWが洋上風力）でほとんどが陸上風力であるが、洋上風力発電容量の目標を「2015年までに5GW、2020年までに30GW」と急増させる計画が中国から出されている。

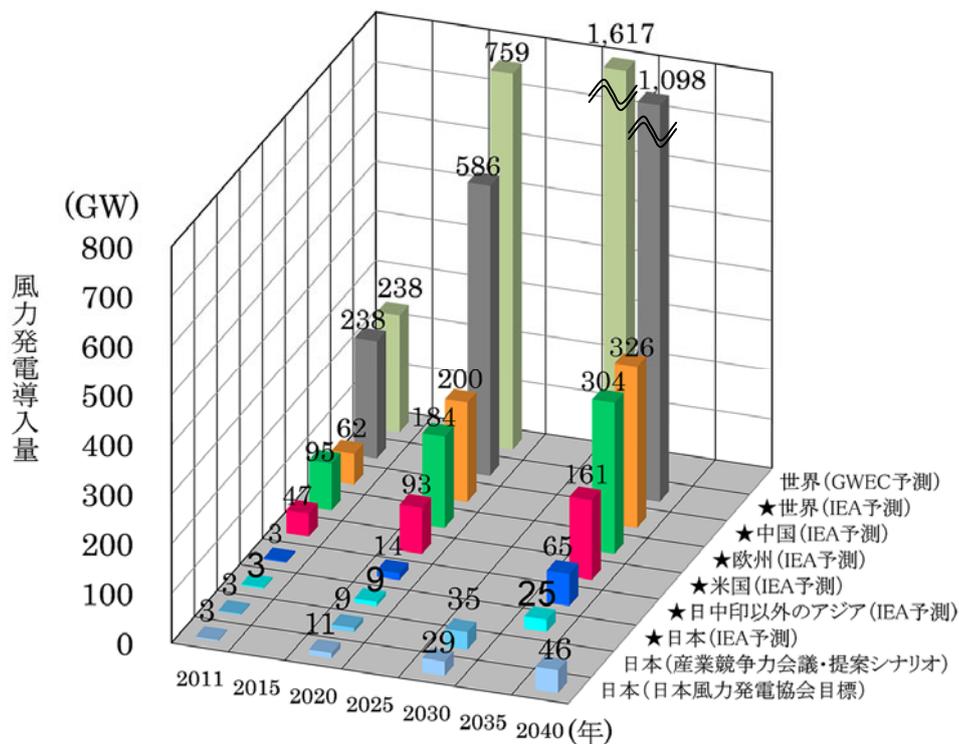


図16 世界と日本の風力発電導入量の予測・目標

(「World Energy Outlook 2012」、2011.11、IEAなど各種資料よりARC作成)

4.3 変化してきた風力発電の必要性とあり方

国土の約7割を森林が占め、平地の少ない日本では広大な設置面積を必要とする太陽光や風力は不向きという考え方が従来あった。例えば、平均的な原子力発電所（1GW）と同等の電力を発電するのに、太陽光であればJR山手線内側、風力の場合はその約3.5倍の面積が必要と言われた。その常識を覆すのが洋上風力であり、特に浮体式洋上風力発電である。

【主な参考資料】

- ・産業競争力会議 資料
(<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/skkaigi/kaisai.html> 2013.1～)
- ・総合科学技術会議 資料 (<http://www8.cao.go.jp/cstp/> 第107回以降2013.3～)
- ・新エネルギー技術白書策定に係る調査報告書、NEDO、2010.6
- ・平成22年度特許出願技術動向調査報告書 風力発電、特許庁、2011.4
- ・コスト等検証委員会報告書、エネルギー・環境会議・コスト等検証委員会、2011.12
- ・新たなエネルギー産業研究会（2011年4月設置）「中間とりまとめ案」、経済産業省、2012.3
(http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2012fy/E002468.pdf)
(http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/new_energy/002_04_00.pdf)
- ・革新的エネルギー・環境戦略、エネルギー・環境会議、2012.9
- ・研究開発の俯瞰報告書：環境・エネルギー分野（2013年）、
独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター、2013.4
- ・自然エネルギー白書（風力編）2013 （一社）日本風力発電協会、2013.3
- ・ドイツの風力発電市場調査報告書、日本貿易振興機構（JETRO）、2012.3
- ・世界自然エネルギー未来白書2013、
REN21[21世紀のための自然エネルギー政策ネットワーク]、2013.1
- ・Global Wind Statistics 2011、2012、2013、世界風力会議（GWEC）（毎年2月に発行）
- ・Global Wind Energy Outlook 2012、世界風力会議（GWEC）（2年おきに発行）
- ・World Energy Outlook 2011、2012、国際エネルギー機関（IEA）
- ・「洋上風力発電 次世代エネルギーの切り札」、岩本晃一、2012.12、日刊工業新聞
- ・「風力発電 挑戦から未来へ」、松宮輝、2012.12、東洋書店
- ・「こうすればできる!地域型風力発電」、斉藤純夫、2013.3、日刊工業新聞
- ・「日本の陸上風力発電コストの現状と分析」、2013.10、自然エネルギー財団
- ・「洋上風力の調達価格に係る研究会取りまとめ報告書」、2014.1、経済産業省

関連業界

- 一般社団法人 日本風力発電協会 <http://jwpa.jp/index.html>
(正会員 57社 賛助会員 173社 自治体会員 9社 計 239社、2013年11月)
- 一般社団法人 日本小形風力発電協会 <http://www.jswta.jp/>
会員25社、2013年6月
- 一般社団法人 日本風力エネルギー学会 <http://www.jwea.or.jp/index.html>
- 公益財団法人 自然エネルギー財団
(2011.9ソフトバンク代表取締役社長 孫氏の発案から設立へ)
<http://jref.or.jp/energy/wind/>