

風力発電競争力強化研究会 報告書

平成28年10月

風力発電競争力強化研究会

風力発電競争力強化研究会について

本研究会の目的

風力発電産業の業界構造を明らかにしつつ、特に導入段階でのコスト競争力の強化や、高い稼働率を実現する安定発電システムの確立に当たって、必要な業界の取り組みや、政府の政策的措置等について検討を行う。

開催実績

- 第1回 平成28年 8月10日
- 第2回 平成28年 9月 6日
- 第3回 平成28年 9月13日
- 第4回 平成28年 9月30日

委員一覧

●委員長

牛山 泉 足利工業大学 理事長

●委員

足立 慎一 SOMPO リスケアマネジメント
リスクエンジニアリング開発部 執行役員 部長

石原 孟 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授

勝呂 幸男 横浜国立大学 産学連携研究員

永尾 徹 一般財団法人 新エネルギー財団 国際協力部長

増田 真男 日本政策投資銀行 企業金融第五部 担当部長

○オブザーバー

一般社団法人 日本風力発電協会

○事務局

資源エネルギー庁 新エネルギー課
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

目次

1. はじめに

第一章 我が国における風力発電導入の現状と課題

1. 世界の風力発電市場動向について
2. 我が国の風力発電市場動向について
3. 世界と日本の風力発電コストの差について
4. 世界と日本の風力発電の業界構造について

第二章 風力発電の導入拡大に向けた方向性について

I. 風力発電の投資環境の改善

1. 投資環境の改善
2. 開発ポテンシャルの拡大

II. 風力産業基盤の強化

1. 強い風車産業の育成
2. 効率的・安定的な発電システムの確立

はじめに

風力発電については、世界的に大幅な導入拡大が進み、他電源と比較して競争力のある発電コスト水準となっている。他方、我が国においては、既に導入が進んでいる欧米と比較すると、環境アセスメント・地元調整・系統制約等開発段階の課題や、導入・調達規模の小さいことによる風車・施工コストの高さ、安定的な発電システム・メンテナンス体制が確立されていないこと等の様々な課題から、発電コストは世界の1.6倍の水準となっており、いまだコスト競争力のある電源とはなっていない。

風力発電におけるこれらの諸課題を解決し、導入拡大へ向けた道筋を付けつつ、導入コスト低減や稼働率向上により本来のコスト競争力を発揮し、我が国に真に必要な自立的な電源として風力発電が根付いていくためには、将来的にはFIT制度からの自立化を図っていくことが重要である。

そのためには、低コストでの導入を実現する強い風力産業づくりを通じて、強い風車産業の育成や、効率的・安定的な発電システムを確立していく必要がある。一方で、それを実現するには、風力発電の投資の円滑化と規模拡大を促す投資環境の整備が必要である。こうした風力発電導入を促す投資環境の改善と風力産業基盤の強化の相乗効果によるダイナミズムを生むことで、我が国の風力発電の競争力強化を図っていく。

本研究会においては、風力発電産業の業界構造を明らかにしつつ、特に導入段階でのコスト競争力の強化や、高い稼働率を実現する安定的な発電システムの確立にあたって、必要な業界の取り組みや、政府の政策的措置等について検討を行った。

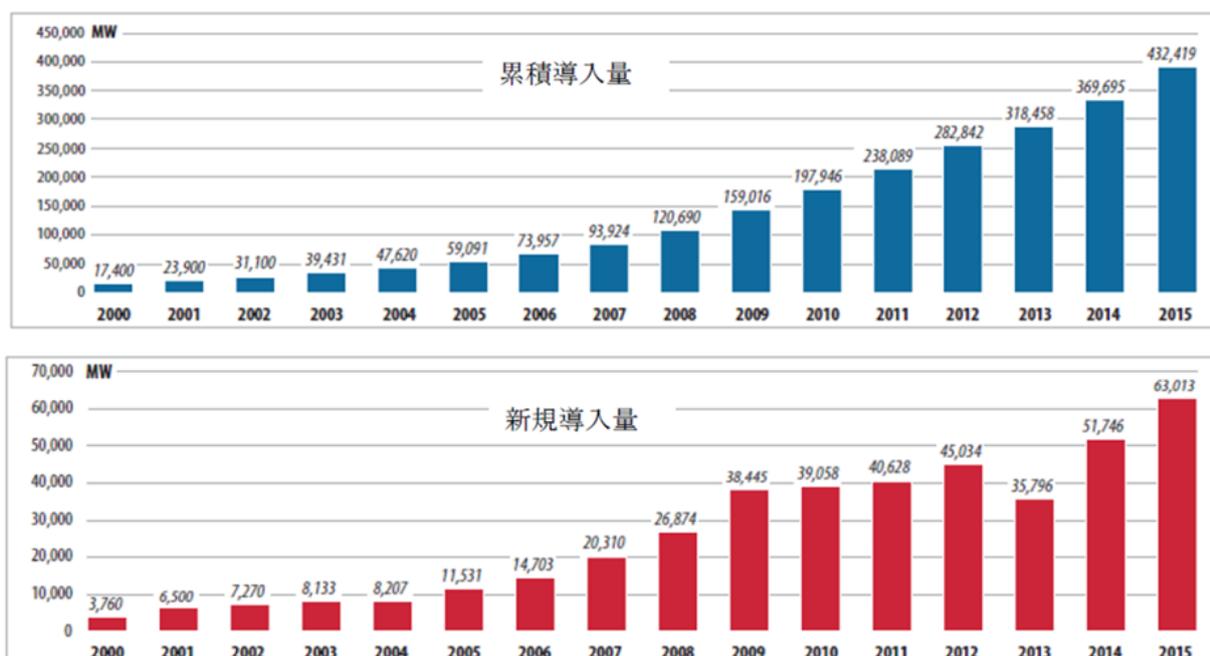
本資料は、本研究会の検討における主な論点と、委員からの指摘について、とりまとめたものである。

第一章. 我が国における風力発電導入の現状と課題

1. 世界の風力発電市場動向について

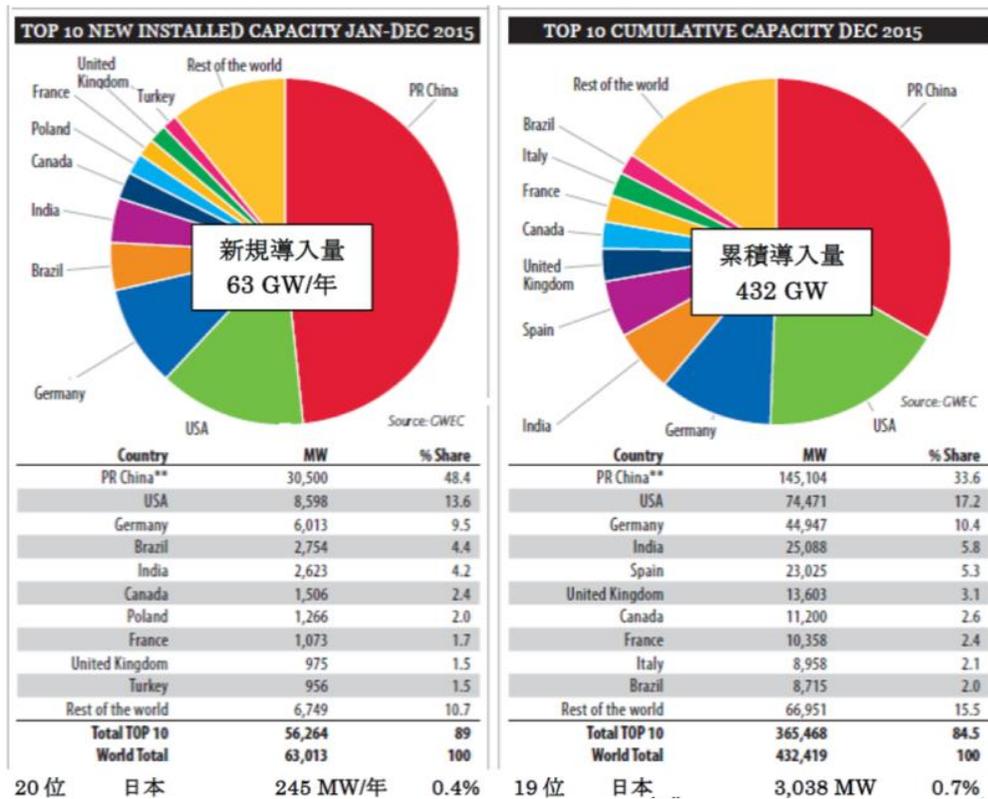
世界の風力発電導入量は、2015 年末時点で累積 432GW、2015 年の年間導入量は 63GW に達している。地域別に見ると足下の導入量は中国(30GW)が約半数を占め、米国(8.6GW)、ドイツ(6GW)、ブラジル(2.8GW)、インド(2.6GW)と続いている。

【参考 1 世界の風力発電の導入量推移】



出典 : Global Wind Statistics 2015(GWEC 2016)

【参考2 世界の風力発電導入量（国別）】

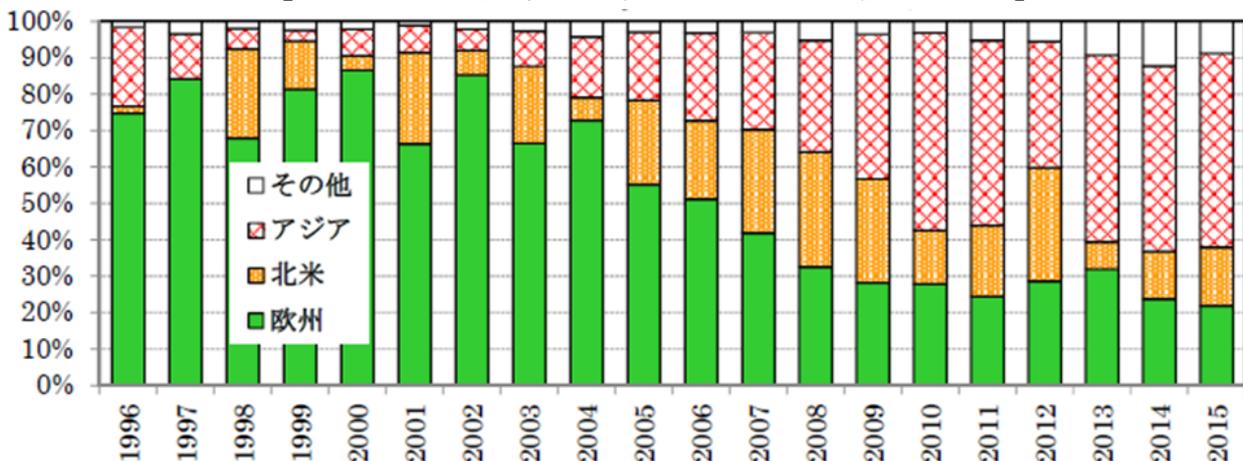


出典：Global Wind Statistics 2015(GWEC 2016)

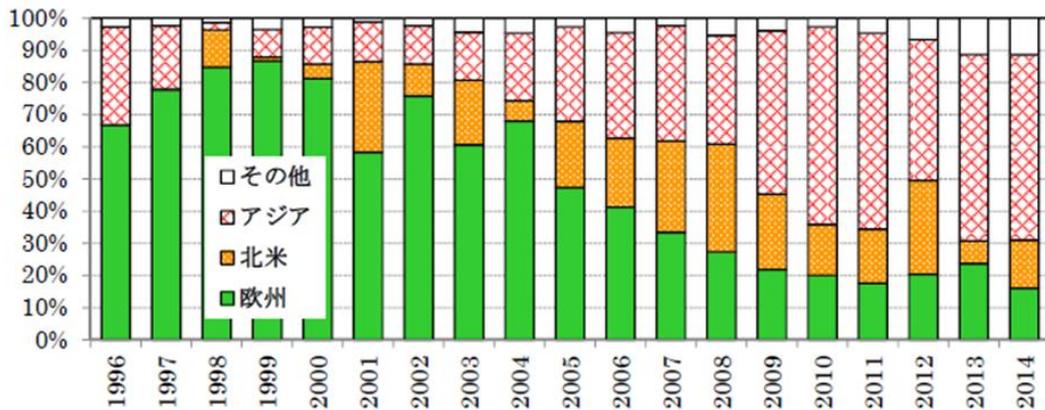
これまで風力発電の市場は、1980年代から、欧州（スペイン、ドイツ、デンマーク、オランダ等）や米国（カリフォルニア州）等の風況が良く、平地が多い地域を中心に、FIT制度等の支援策を背景に、導入拡大してきた。

しかし、その後、①欧州における陸上風力の飽和や、②中国での公共事業としての大規模開発を受け、近年ではアジアにおける導入割合が増加してきている。

【参考3 新規導入地域のシェアの推移（出力）】



【参考4 新規導入地域のシェアの推移（基数）】



出典:Global Wind Statistics 2015(GWEC,2016),World Market Update1997~2015(BTM Consult,ApS./Navigant Consulting,inc)

2. 我が国の風力発電市場動向について

我が国においても、2003 年から RPS 制度及び導入支援補助金により、風力発電の導入を図り、年間 0.2~0.3GW 規模で徐々に導入拡大が図られてきた。他方、欧州や米国と比較すると、我が国では①年間平均風速が低く、風況の良い地域に限られることや、②地元調整、農林地開発等に伴う土地利用規制対応、系統制約への対応等の課題、③風力発電が立地可能な平地が少ないこと等に伴う高額な建設費用、④FIT 制度の開始と共に風力発電が環境影響評価法の対象となったこと等の課題により、欧州や米国ほど急速な風力発電の導入は進んでおらず、我が国の風力発電導入量は、2015 年末時点で累積 3GW、直近での年間導入量は 0.1GW に留まっている。

【参考5 日本の風力発電の導入量（2015 年）】



出典：日本における風力発電設備・導入実績（NEDO,2015）及び経済産業省資料（METI,2016）を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

現在、FIT 制度の開始を受け、多くの案件が事業化に向けて動いているが、上記の開発に伴う課題等により、開発サイクルが長期化している。

3. 世界と日本の風力発電コストの差について

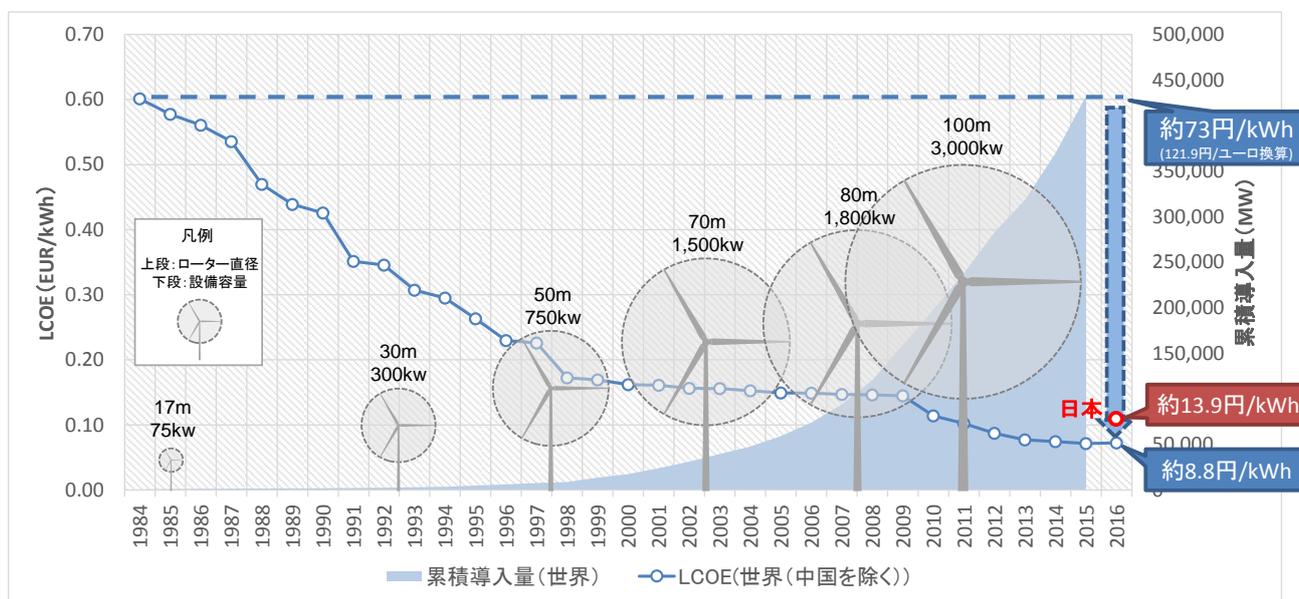
世界では、1980年代から、風車技術の大幅な進展（ローター直径は20年間で約3～4倍に大型化）及び市場の拡大に伴うコスト削減効果（量産効果、サプライチェーンの最適化・効率化等）により、発電コストは大幅に低減してきた。

その後、2000年以降、2009年頃まで風車価格が上昇した。これは、技術の成熟による技術進展の鈍化のほか、世界的な導入量の急拡大に伴う一時的な供給不足による市場競争の停滞（売り手市場化）、鋼材価格の上昇及び設置場所がより不利な場所に移行していったことによるものと考えられる。

2010年頃からは、競争の激化、さらなる大型化、風力新興国でのコスト低減などにより、発電コストは再度低減傾向にある。

例えば、アメリカにおいては、発電事業者と電気事業者が結ぶ電力販売価格が2014年には、¢ 2.35/kWhまで低減している（出典：U.S Department of Energy「2014 Wind technologies Market Report」）。

【参考6 世界の風力発電コストの推移】



出典：The future cost of onshore wind (Bloomberg New Energy Finance, 2015)、 IEA Wind Task 26 “The Past and Future Cost of Wind Energy(IEA, 2012)を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

※LCOE：均等化発電原価。ライフタイムに要するコストの総計を現在価値に割り、年間発電量に基づいて均等化して算出したコスト

【参考7 風力発電のコスト・買取価格の国際比較】

	資本費 (\$/kW)	運転 維持費 (\$/kW/年)	設備利用率 (%)	発電 コスト (\$/MWh)	FIT 価格 (¢/kWh)
ドイツ	1,897	26	24%	79	9.7 (一定期間後 5.3)
フランス	1,516	30	27%	80	9.2 (11 年以降 3.1~8.2)
英国	1,765	24	26%	85	12.2
スペイン	1,516	26	25%	91	- (FIT 廃止)
デンマーク	1,897	21	26%	91	7.2
米国	1,501	26	38%	65	-(RPS 制度)
ブラジル	1,710	30	52%	67	4.7
豪州	1,934	24	38%	72	- (RPS 制度)
インド	1,070	16	23%	77	6.3-10.1
中国	1,345	15	25%	76	7.8-9.7
日本	2,611	37	22%	156	18.3

出典：Bloomberg New Energy Finance 資料より資源エネルギー庁作成。

FIT 価格は資源エネルギー庁調べ(2016 年、FIT 価格は 2015 年)

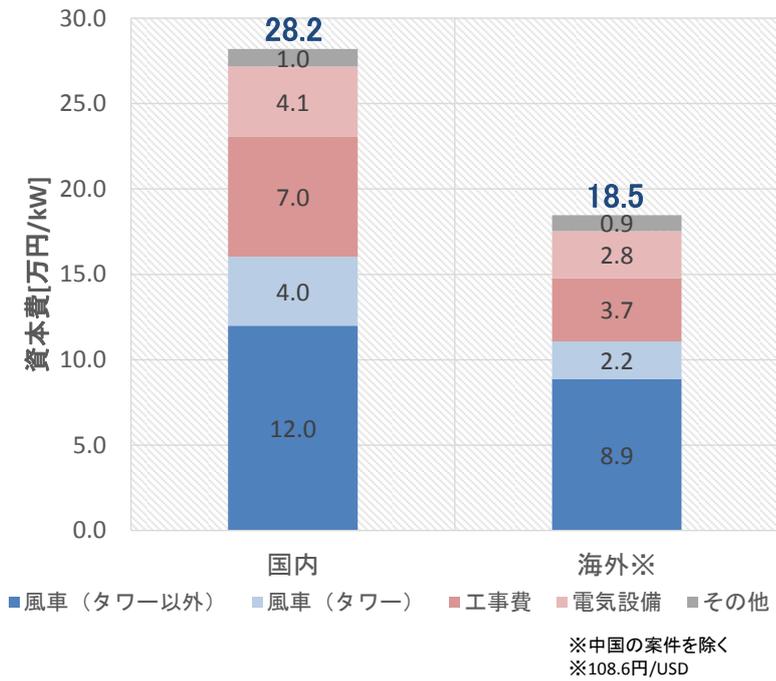
他方、我が国の風力発電のコストについては、設備利用率の違いによる部分もあるものの、資本費及び運転維持費は他国と比較し突出して高い水準にあり、高い発電コストの一因となっている。

今後、風力発電がコスト競争力のある電源となるためにも、他国と比較して高い発電コストとなっている要因を資本費、設備利用率、運転維持費などそれぞれの項目毎に分析を行った。

<資本費>

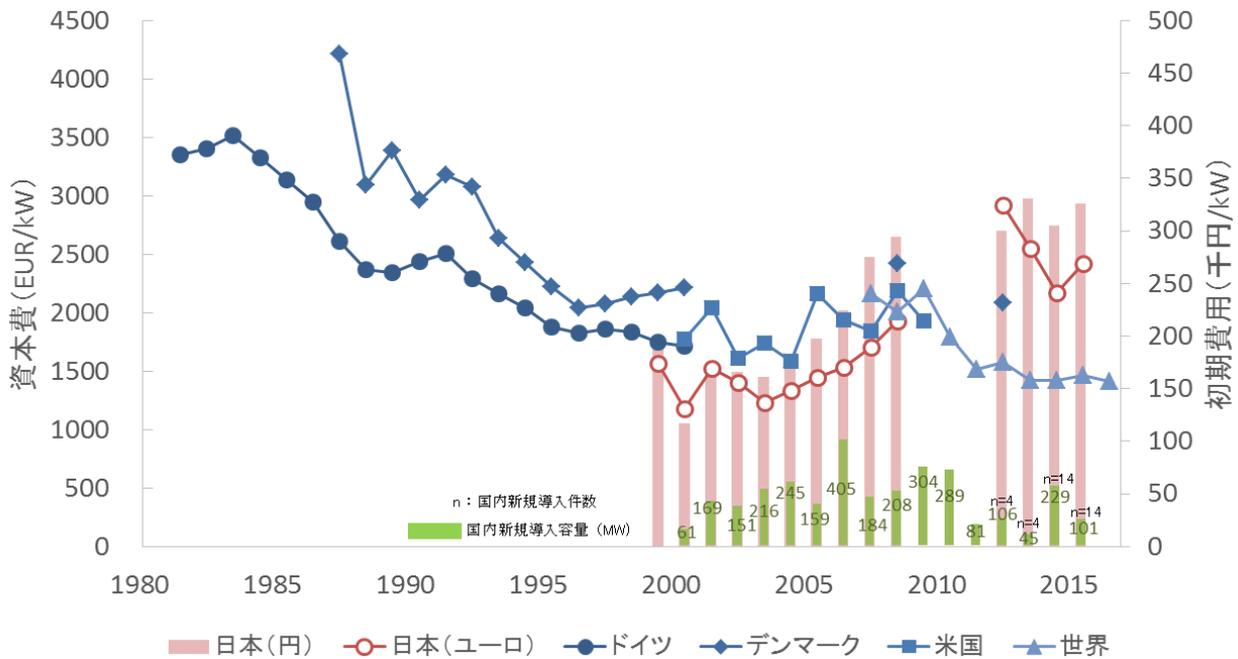
- 我が国の風力発電の資本費（風車価格、工事費用等）は、国際価格の約 1.5 倍の水準になっている。世界的には、2010 年以降低減傾向であったが、日本では 2012 年以降高止まっている状況。

【参考8 海外の資本費及び国内の資本費の内訳】



出典:H1 2016 Wind LCOE OUTLOOK(Bloomberg New Energy Finance 2016)及び FIT 年報データを基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2016)

【参考9 資本費の経年推移（日本と海外の比較）】

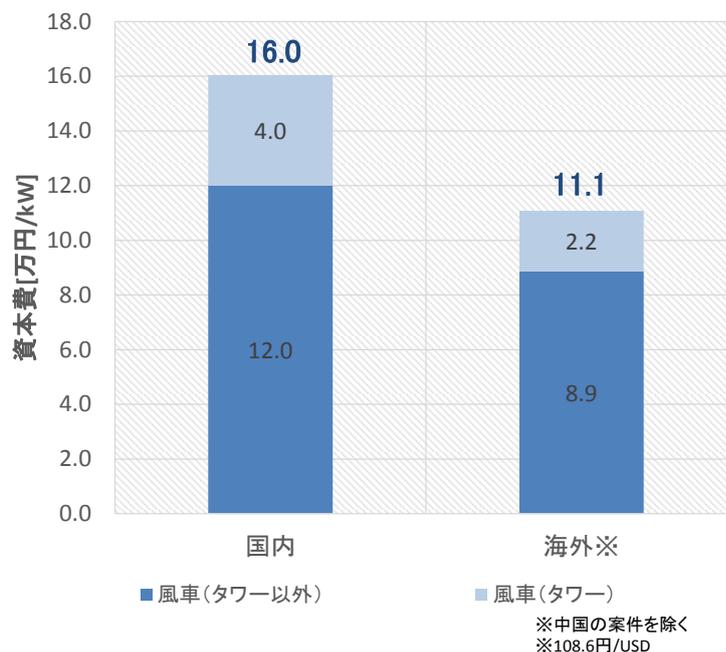


出典：The future cost of onshore wind (Bloomberg New Energy Finance, 2015)、総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会（第29回）（経済産業省、2008年）、FIT年報データ、日本における風力発電設備・導入実績（NEDO,2015）及び経済産業省資料（METI,2016）を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

- 具体的には、我が国では、2000年代前半では、資本費は約20万円/kW弱程度であったが、2005年以降、世界的な風車価格の上昇等を受けて、約30万円/kW程度まで増加。上昇の要因としては、同時期に世界的な風車需要の増加による風車価格の上昇や、世界的な鋼材価格の上昇が起こっていることに加え、円安による輸入価格の上昇など複数の要因が絡んでいると考えられる。
- 世界的には2010年以降、低下に転じたが、日本では、2012年以降、資本費は約30万円/kW前後で高止まりの状況が続いている。2012年から2015年にかけては、RPSからFITへの移行後間もない時期であり、この間環境影響評価法の適用を受けることとなったため、年間の導入量が比較的小さく、また、低コストの新規案件導入が遅れたことも、資本費の高止まりに影響を与えているとの指摘もある。いずれにしても、我が国においては、コスト削減が現実化しておらず、結果的にFIT価格も高止まってきた。

以下、更に個別に要因分析を行う。

【参考10 世界平均風車価格と国内風車価格の内訳（2015年度）】



出典：H1 WIND LCOE OUTLOOK(Bloomberg New Energy Finance 2016)及びFIT年報データを基にNEDO技術戦略研究センター作成(2016)

(1) 風車価格

- 我が国の風車価格は、世界平均の約1.4倍の水準にある。
- その要因は、我が国の風力発電導入量が少ないことから、国内の風車メーカーが量産効果を発揮するに至っておらず、また、海外メーカーからの調達についても、FIT価格も背景にあり価格交渉力を発揮できていないためと考えられる。

る。

- 加えて、我が国特有の地震・台風等の対応のため、特殊仕様の風車・タワーが導入されていることも要因として挙げられる。
- 他方、これらの価格上昇は全体コストでの割合は必ずしも大きくなく（例えば、風車タワーの価格の割合は約2割でそのうちの日本特有の風車タワーのコスト増分は概ね1～2割であり、全体としては2～4%のコスト増加）、むしろ基準対応の事務コストや導入期間が長いことによるリスクプレミアムを指摘する声もある。

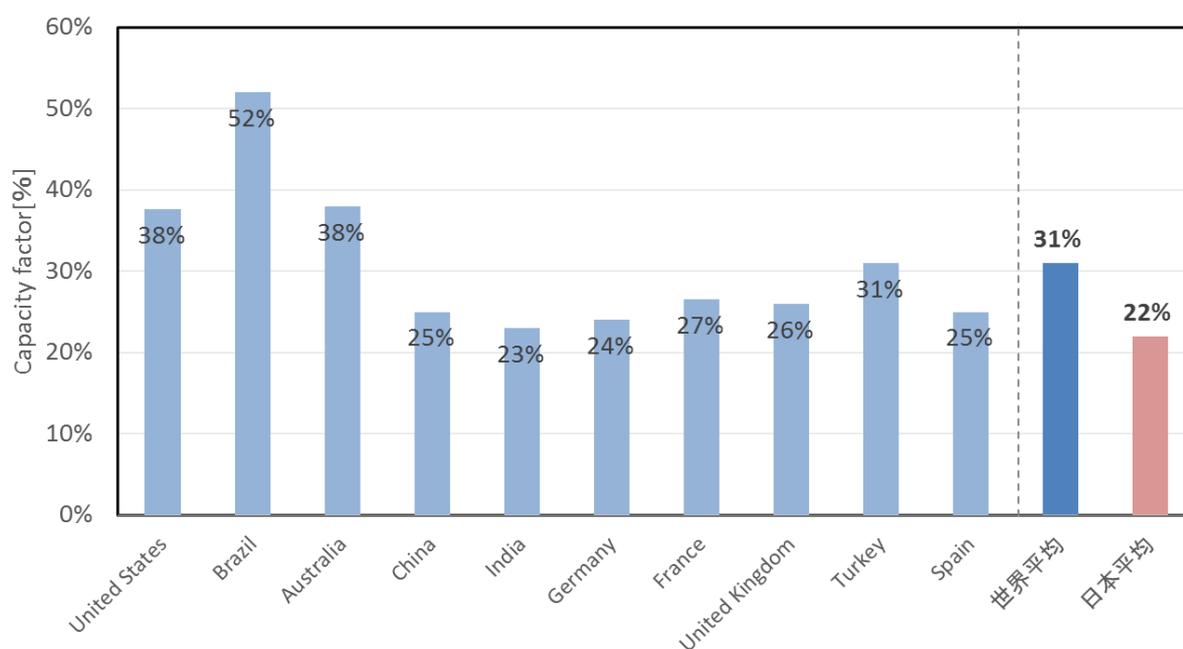
(2) 工事費用

- 我が国の風力発電の工事費・電気設備費等は、国際水準の約1.6倍の水準となっている。
- その要因は①平均的なWF (Wind Farm)の規模が小さい上、欧州や米国と比べ、近隣地での集積も生じていないことによるコスト高や、②山岳設置が多いことによる土地造成・建設費用の増大、へき地への設置によるアクセス道路の工事費の増大、系統接続の費用の増大によるものと考えられる。

<設備利用率・運転維持費>

- 我が国の風力発電の設備利用率は風況の違い等により、他国と比べて低い水準。各国とも稼働率の向上や、風車の大型化等により、設備利用率の向上を図っている。我が国でも足下では上昇しているが、風況の良い地域では系統制約にも直面。

【参考11 陸上風力発電の設備利用率の国内外比較】



出典：Bloomberg New Finance 資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2016)

【参考 1 2 設備利用率のデータ】

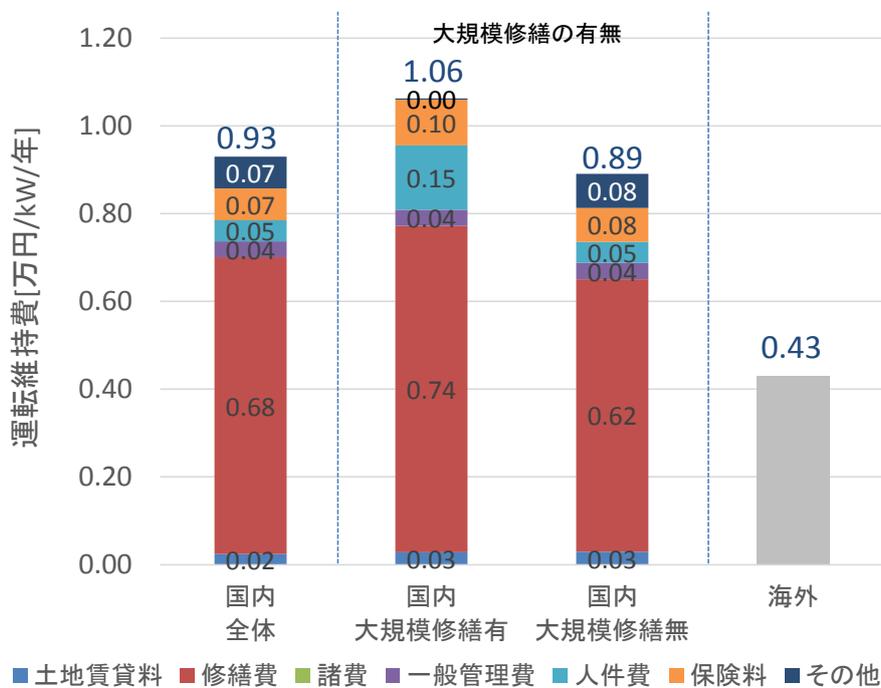
分類		平均設備利用率	件数
全体		18.5%	335
設置年別	～2000年	15.7%	45
	2001～2005年	17.4%	139
	2006～2010年	18.9%	110
	2011年～	23.9% (中央値25.1%)	41
(参考)想定値		20%	

- 稼働率で比較しても、欧州では 97%の稼働率保証が多くなされているのに対し、我が国では平均の稼働率が 87%で、直近の 2011 年以降に設置された風力発電でも 92%に留まる。

$$\text{設備稼働率} = \frac{\text{年間稼働時間(時間)}}{24(\text{時間}) \times 365(\text{日})}$$

$$\text{設備利用率} = \frac{\text{年間発電量(kWh)}}{\text{定格出力(kW)} \times 24(\text{時間}) \times 365(\text{日})}$$

【参考 1 3 海外の運転維持費と国内の運転維持費】



出典：H1 WIND LCOE OUTLOOK(Bloomberg New Energy Finance 2016)及び

FIT 年報データを基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2016)

- 我が国の運転維持費は、世界平均と比較すると、大規模修繕が発生していない場合でも、倍に近い水準にある。特に修繕費の割合が大きく、その引き下げが課題。
- 我が国の設備利用率・運転維持費の低さの背景としては、これまで風力発電の設備の運用管理と保守・メンテナンス（以下、O&M）に関する産業基盤が整っていないことが背景にあると考えられる。（後掲）
- 個別の要因分析としては、①メンテナンス人材の不足や、②国内での部品供給・ストック体制の未整備、③保険制度を通じた適切なインセンティブ付与不足等が挙げられる。

それぞれ項目毎に要因分析を行ってきたが、一方で欧米と比較した場合に業界構造や産業構造の違いがコスト要因にも影響を与えている可能性がある。以下、我が国と主に欧米の風力発電の業界構造について分析を行った。

4. 世界と日本の風力発電の業界構造の違いについて

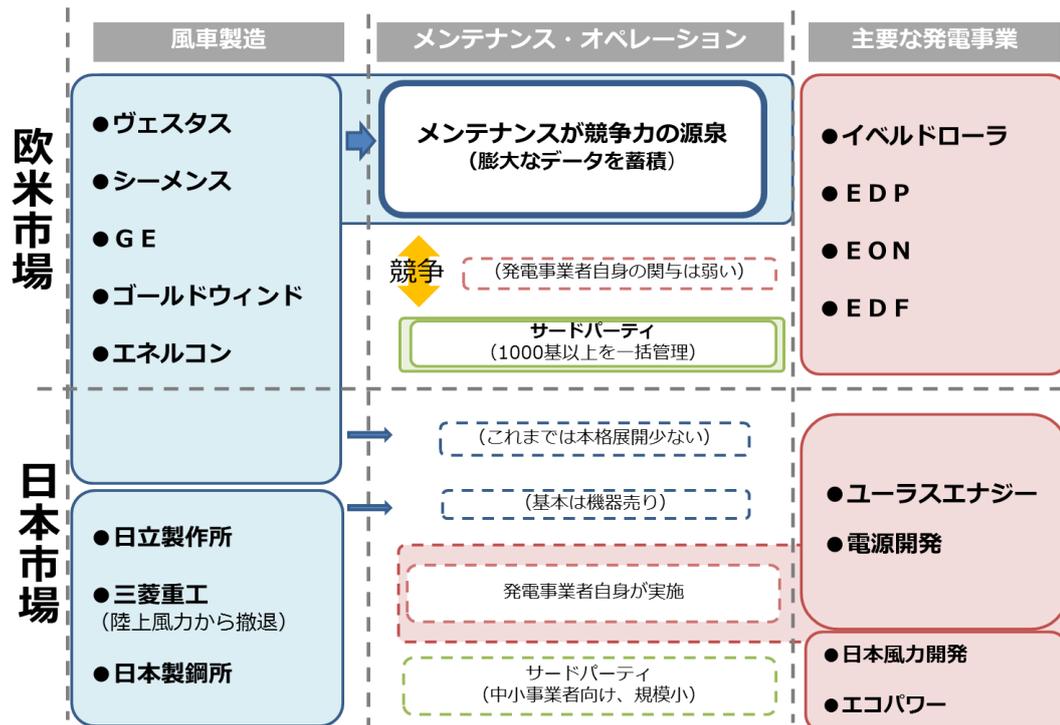
■（風車メーカー）

国内風車メーカーの導入量は世界市場で見ると非常に少なく、例えば2014年度国内最大の日立製作所の74MWに対し、世界最大のヴェスタスは6,276MWで80倍以上の差がある。

■（発電事業者）

発電事業者をみても、海外では巨大電力会社を実施しており、国内最大手のユーラスエナジーの581MWに対し、世界最大のイベルドローラでは13,809MWと、20倍以上の差がある。

【参考 1 4 風力発電の業界構造】



■ (欧米市場の特長)

欧米市場では、FIT 制度を背景にして風力発電市場の拡大により風車メーカーがコスト競争を行ってきた。そのため、導入量の拡大にあわせてイニシャルコストが大幅に低下したため、風車メーカーはものづくりとしての風車の製造のみならず、O&M の領域にも参入し、高い稼働率やメンテナンスを保証するサービスの産業化で稼ぐ傾向が見られる。

こうした風車メーカーは稼働率保証を顧客に提供しながら、風車メーカー独自にメンテナンスを実施することで、顧客のビッグデータを蓄積し、そのビッグデータを活用したモニタリングにより、風車のトラブルを事前に予測することでダウンタイムを減らし、また、それが稼働率保証に繋がるというビジネスモデルを展開している（さらに、保証した稼働率を上回った場合、稼働率保証を越えるアップサイドの収益部分については、メーカーがインセンティブとして得る契約もある）。

また、メーカーとは異なる O&M の専門業者であるサードパーティーが、スケールメリットを活かして風車メーカーより安価なサービスを展開し、風車メーカーとサードパーティーが O&M 市場で競争することにより、高い稼働率と運営・メンテナンスコストの低減を両立している。

また、こうした対応が風車のダウンタイムを減らし、可能な限りキャッシュフローを大きくするため、結果的に kWh 当たりのコスト低減につながっている。

■（日本市場の特長）

日本市場では、国内の風車メーカーによる O&M は導入直後のメーカー保証程度に留まるものが多い。海外の風車メーカーも、日本国内での導入停滞時期での撤退もあり、これまでは機器売りも多い。近年は、風車メーカーも稼働率保証サービスを少しずつ開始してきている。また、R P S 制度の時代に、風力発電事業者には十分なメンテナンスの実施余力が無く、導入量も限られていたことから、メンテナンスを担う産業基盤が弱く、効率化や合理化が進んでいない状況にあった。日本でも、サードパーティーの事業者が O&M 市場に参入しているが、欧米に比べてまだ規模が小さく、風車メーカーとサードパーティーの適切な競争を通じた稼働率保証サービスの提供とメンテナンスコストの低減の両立がまだ実現できていない状況にある。

また、日本市場では、発電事業者が、自社で O&M を実施する事業者も多い。そのため、今後は、風車メーカー、サードパーティー、発電事業者による適切な競争を通じて、稼働率の確保（場合によっては保証）とメンテナンスコストの低減を実現していく必要があり、その結果がトータルの発電コストの低減、ひいてはコスト競争力の強化に資することが期待される。

第二章. 風力発電の導入拡大に向けた方向性について

我が国の風力発電については、先述のとおり、風況・地形といった地理的な要因に加え、系統接続、土地利用規制や環境アセスメント対応等の開発上の課題が存在し、欧米等と比較して導入が十分に進んでいない。その結果、規模の小さい国内マーケットも背景に、国内の風車メーカーやO&M事業者、発電事業者の事業規模も国際的に見て小さく、風力発電の産業基盤が未確立の状況である。それが、我が国の高い風力発電コストの一因となっており、それが結果的に風力発電の拡大の制約要因にも繋がるといふ、負のサイクルの状況が続いていた。

現在、FIT制度の開始を受け、導入拡大に向けて多くの案件が事業化に動きつつあるが、大規模な風力発電の開発・導入を実現するには、まず高水準の導入を目指す意思を産・学・官が共有し、制度・インフラの整備・変革を進め、産業の投資・成長へのダイナミズムを創出していくことが重要である。

本研究会では、①風力発電の投資環境の改善と、②風力産業基盤の強化を両輪のサイクルとして進めていくため、目指すべき方向性と、必要な対応について、議論を行った。

I. 風力発電の投資環境の改善

我が国における風力発電の開発投資拡大を図るに当たっては、①欧米と比較して狭い平地面積、限定的な好風況地域等の前提となる自然環境面での制約に加え、②環境アセスメントや土地利用規制等の手続、電力系統接続の確保等に要する時間・労力、及びその予見可能性の低さによる開発に関するリスクが大きな事業者負担と投資制約になり、産業発展・拡大への投資循環が生まれていないとの指摘がある。これらの指摘に対し、必要な対策として挙げられた主な事項は以下の通り。

1. 投資環境の改善

(1) 電力系統対策

我が国における風力発電は北海道及び東北地域に風況が良い地域が集中しているが、一方でこうした地域における電力系統が都市部に比べると脆弱であるため、電力系統が課題となり、接続に際してのコストの問題や、接続に時間がかかるという予見可能性の問題を生んでいる。こうした電力系統に対しての課題に対応していくためにどのような対策が可能か。

- 風力発電の導入拡大のために、系統増強工事には時間やコストがかかることを踏まえて、既設設備の有効利用を促し系統設備の利用効率を向上させるルールの在り方を検討すべき。
- 特に、北海道地域で風力発電を最大限導入していくためには、北本連系線を活用していくことが重要であるが、現在検討が行われている地域間連系線の利用ルールについては、現行の先着優先ルールを見直し、間接オークションを導入するなど、限界費用の安い再生可能エネルギー電源の活用が進むような連系線の利用ルールを早期に実現すべき。
 - 地域間連系線等による広域運用を拡大し、風力等の出力制御回避等の緊急時だけではなく、常時運用をするべきとの指摘もあった。
 - 北海道・東北エリアの風力発電導入拡大を踏まえた系統増強計画を策定するべきとの指摘もあった。
- その他、出力制御の緩和に繋がる風力発電の予測技術の開発を進める。
 - NEDO が技術研究開発事業として取り組んでいる気象予測技術や新たな系統制御システムの開発を加速化し、広域機関電力系統広域運用システムへ組み入れた運用を早期に実施すべきとの指摘もあった。

(2) 環境アセス・土地利用規制等の対応の迅速化

環境アセスメントや土地利用規制、電力安全規制等の手続は、法令に基づいた必要な手続である一方で、窓口がそれぞれにあることや、地域住民との同意をとることなど、開発期間が長期化するリスクがあるため、こうした手続自体を迅速化・円滑化できる取組が必要ではないか。

- 政府としては、「導入に向けた調整を促進する地域」等において、自治体、国の関係機関、地元関係者、発電事業者等が参画し、当該地域における規制等に係る円滑な調整、地域還元等について、検討を進める仕組みの構築を図っていく。
 - 地権者が不明な場所があるとファイナンスがつきにくいため、不在者財産管理制度の活用や、地権者ではない再生可能エネルギー発電事業者が境界確定の申請が可能とするなど、土地の権利関係等の課題を包括的に解決できる仕組みが必要との指摘があった。
 - 緑の回廊のように開発の見通しに不透明な点があると、計画が前に進みづらいため、ゾーニングのように、開発の予見可能性を高め、各種プロセスがワンストップでできる仕組みが必要との指摘があった。

- また、経済産業省と環境省で連携して環境アセスメント手続の迅速化に向けた環境影響調査の前倒実証事業に取り組んでおり、その結果を踏まえて、発電事業者が参照できるガイドを作成し、最終的には「発電所に係る環境影響評価の手引き」等に反映させていく。
 - ▶ 日本では、風況調査、環境アセスメント、系統接続手続等で、10年以上かかるケースもあり、その間人員配置が必要なため、“キャリングコスト”が非常に高い。開発、建設、運転開始のサイクルを速くまわしていくことが重要であるとの指摘があった。
 - ▶ 環境アセスメントの大臣意見・勧告、系統接続の調整等により風車や設置場所の変更があると、設計、工事計画、地権者との交渉、見積等をやり直さなければならず、一定の変更を許容した上で手続を進められる仕組みが必要であると指摘があった。
 - ▶ 環境アセスメントの期間を区切り、その結果に対して再度調査等を実施する場合は保険をつけるなど、「制度」を対象とした保険を作ることにより、環境アセスメント手続のリスク低減を実現できるのではないかと指摘があった。

(3) ファイナンス・運営主体

欧米では、所有と開発・運営を分離させ、低コストでの開発資金調達を図るインフラファンドの活用が進むが、日本でもその活用はファイナンスコストの低減に有効であり、開発サイクルを早くする効果もあることから、その市場整備が必要である。また、指定電気事業者制度において、プロジェクトファイナンスを実行していくためには、メザニンローンなどリスクマネーの供給が必要ではないか。

- インフラファンドの導入により、アセットマネージメントの観点から専門業者に対して運営、管理が委託されることにより、結果的にO&M市場の活性化、ひいては発電コストの低下が見込まれる。
 - ▶ また、こうしたインフラファンドの導入により、案件の目利きとリスクマネーの供給ができる主体と、案件開発を実行できる主体がマッチングすることにより、より早く案件形成が可能になるとの指摘があった。
 - ▶ 最近では、東証インフラファンドや再エネに特化した私募ファンドが立ち上がるなど再エネ分野において、長期安定利回りを指向する金融投資家からの資金を取り込みやすくなりつつあり、その活用や市場整備を進めることが重要ではないかと指摘があった。
- 現行の指定電気事業者制度において、北海道電力及び東北電力が指定電気事業者指定されているが、同制度下において、メザニンローン等も含めた金融機関のリスクマネー供給を促す。

2. 開発可能ポテンシャルの拡大

足下での北海道・東北エリアを中心とした陸上風力の導入拡大に向けた動きに加え、更なる導入拡大を図るには、低風速地域への展開や、洋上風力開発等のポテンシャルの発掘、既存の風力発電所のリプレースの促進が重要である。その促進に向けて、指摘された事項は以下の通り。

(1) 将来に向けた導入像の提示、低風速地域のポテンシャル拡大

風力発電について、どのような将来の導入像を描いていくべきか。また、その場合の立地をどのように考えていくべきか。

- 風力発電は、日本国内でもまだまだ導入ポテンシャルはあり、コスト的にも競争的な電源に成り得ることを前提に、将来に向けて更なる導入拡大を図っていくことが重要である。
- 近年、欧米でも風況の良い地域がなくなり、その代替としてハブ高（地上から回転軸までの高さ）の増加等により低風速地域でのマーケットを拡大させている。日本においても、北海道・東北といった風況の良い地域に展開した後は、低風速地域にも展開が可能ではないか。
 - 風力発電に関する技術者の確保には、年間一定数の製造が必要であり、人材育成、技術の維持の観点からも、市場ポテンシャル拡大は重要であるとの指摘があった。
 - NEDO の全国の風況マップを活用し、低風速風車の需要を示すことが可能ではないかとの指摘があった。
- 我が国の風況・環境に即し、低風速地域での導入を可能とする「日本型風車」（例えばクラスⅢとクラス T を両立した風車）の開発を進めて開発可能地域を拡大させるとともに、開発適地のデータ調査を進めていくことが有効ではないか。
 - 欧米などを中心に、ハブ高の増加による低風速風車が世界の潮流だが、通常クラスⅢは海外の競争相手が多いため、低風速でも発電し、台風にも耐えられるという日本の特性に適した風車の開発支援をすべきではないかという指摘もあった。

(2) リプレース、地域での導入について

2020 年度前後から、更新時期を迎える風力発電所が増加していくが、円滑なりプレースに向けての事業環境整備が重要である。

- 設備寿命を迎えた風力発電設備については適切な更新が必要（事故防止、発電能力向上、中長期的なコスト低減）であり、円滑なリプレースのための事業環境整備が必要である。
 - ▶ 風力発電の黎明期に自治体が風力発電を導入したことが今の日本の風力発電の原点であり、こうした風車がリプレースの時期にあたるため、リプレースが増えていくための環境整備が必要ではないかとの指摘があった。

（3）洋上風力の開発について

風況の良い陸上の地点に限られる我が国では、高い設備利用率を期待できる洋上での開発が重要となるが、その普及に向けてどのような対応が必要か。

- 導入に当たっては、陸上とは異なる①港湾区域や一般海域の利用ルール等の環境整備や、②我が国の気象・海象に適合した風車技術の確立が必要であり、政府として必要な対応を進めていく。
- 洋上風力発電の導入環境整備のため、港湾区域については、国土交通省において、港湾法を改正し、創設した占用公募制度の運用指針を制定している。一般海域については、都道府県により条例が定められており、先行して進められた地域での事例を、発電事業者が参照できるガイドという形で取りまとめ、周知していく。また、開発初期段階での適地選定の支援のため、洋上風況をはじめ、環境・社会条件や、海洋地質も含む洋上風況マップの作成を進めていく。
- 技術面での確立に向けては、我が国の気象・海象に最適な風車及び基礎構造の設計・施工技術の開発を行うため、現在、福島沖（浮体式）、銚子沖・北九州沖（着床式）において研究開発事業を実施し、その取組を進める。
- 他方、洋上風力発電の導入拡大にあたっては、洋上風車の設置・メンテナンスに必要な作業設備や、効率的に組み立てができる港湾インフラ等の課題も存在することから、関係省庁で連携し、関連業界とも一体となって、課題の抽出や対応策について、検討を進めていく。

II. 風力産業基盤の強化

～低コストの導入を実現する強い風力産業作り～

我が国の風力発電の高コスト構造は、①導入規模の小ささに起因する風車調達コスト高（国内メーカーの量産効果不足、海外メーカーへの価格交渉力の弱さ）、②日本特有の耐風・耐震対策によるコスト高、③環境アセスメント、電力系統接続等の不確実性によるリスクプレミアム、①～③に伴うコスト削減の遅れによるFIT 価格の高止まり等の課題が指摘される。

将来的に FIT から自立した形での開発と安定的な発電が継続していくためには、適切な FIT 制度の運用により関係事業者のコスト削減努力を促すとともに、I. の課題克服策とも併せ、力強い発電事業と風車メーカーの成長拡大が図られる必要。特に、以下の取組みが重要との議論がなされた。

1. 強い風車産業の育成

(1) 風車費用・工事費用等のコスト低減

風車、工事費用等について、どのようにコスト低減を進めていくべきか。

- 後述する国内の風車メーカーの競争力強化に加え、FIT 価格低減による競争の促進や、投資環境の整備、開発に関する予見可能性の改善により、コスト低減を図っていく。
- 更に、ハイブリッドタワーの開発や、風車の共同購入、部品メーカーとの垂直統合等の取組によるコスト低減が可能ではないか。
 - 基礎に近い部分がコンクリート、一定以上の高さ部分が鋼で構成されたハイブリッドタワーの開発により施工費を低減させられるとの指摘があった。
 - 日本においてはメーカー、コンサル、発電事業者の利益が価格に上乗せされてしまっており、欧米のように、風車メーカーが部品メーカーを取り込むなど効率化・合理化を図ることが必要ではないかとの指摘があった。
 - また、風力発電事業者が風車を共同購入することにより風車価格を低減するなど、コスト低減に向けた企業同士の協調も重要になるのではないかと指摘もあった。

(2) 新型風車開発（低風速地域、洋上）、海外展開

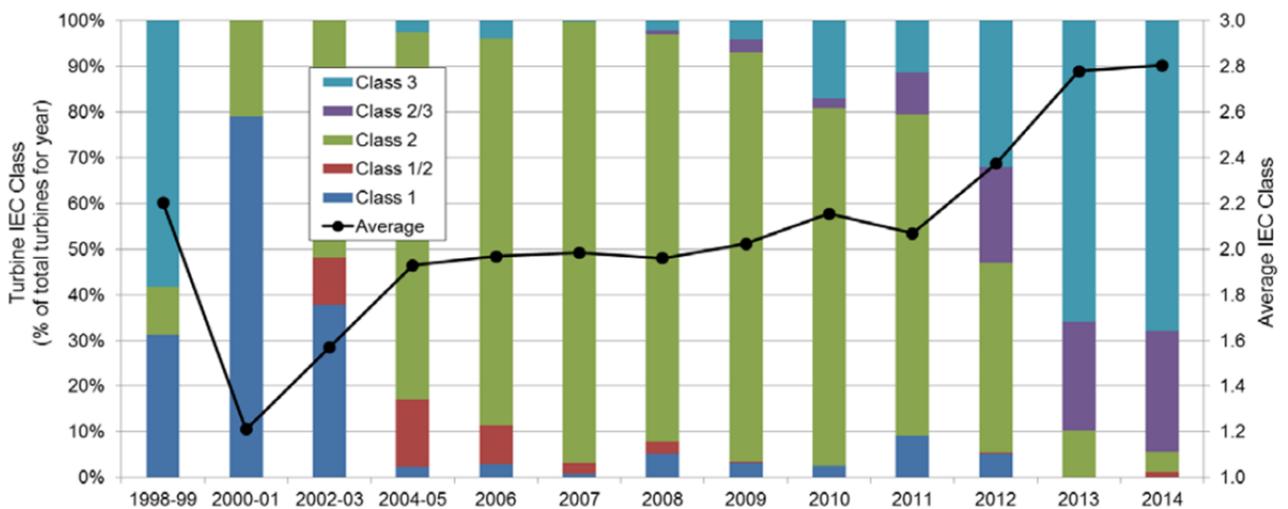
今後、新たなポテンシャル領域を拡大するためにも、また、東南アジアを中心として日本と近い天候、環境の地域に日本メーカーが進出するために、低風速地域でも発電し、かつ台風にも強い「日本型風車」の開発が必要ではないか。

また、海外メーカーが開発・運営（O&M）を含めてサービス提供をして競争す

る中、日本として海外に向けてどのように展開していくべきか。

- 「日本型風車」の開発に対する、研究開発・F Sへの支援や、低風速地域のポテンシャル調査、発電事業者向けのテストサイトの設置等が有効ではないか。
 - 欧米などを中心に、ハブ高増加による低風速地域向け風車が世界の潮流だが、通常のクラスⅢは海外の競争相手が多いため、低風速でも発電し、台風にも耐えられるという日本の特性に適した活かした風車の開発支援をすべきではないかという指摘もあった。(再掲)
 - NEDOの全国の風況マップを活用し、低風速地域のポテンシャルを示すことが可能ではないかとの指摘があった。(再掲)
 - 低風速であっても発電が可能なスレンダーブレードの開発により、発電量増加による発電コストの低減につながるとの指摘があった。
 - 新型風車や部品開発コスト低減及び日本の風力発電産業への参入を推進するため、テストサイト設置が有効と考えられるとの指摘があった。
 - 風車は大型化が進んでおり、欧米の主要な風車メーカーは1MWなど、比較的小さな風車の販売を終了させつつあるが、離島やアフリカなどでは、未だにこうした、風車の需要もあることから、こうしたニッチな市場を狙っていくべきという指摘があった。
 - 蓄電池や水素といった新しい技術を組み合わせにより、出力変動による系統の不安定性の解消が可能で日本の得意分野でもある。こうした技術とともに海外進出すべきとの指摘があった。

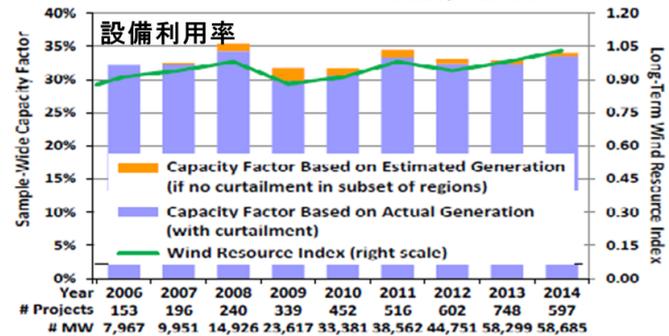
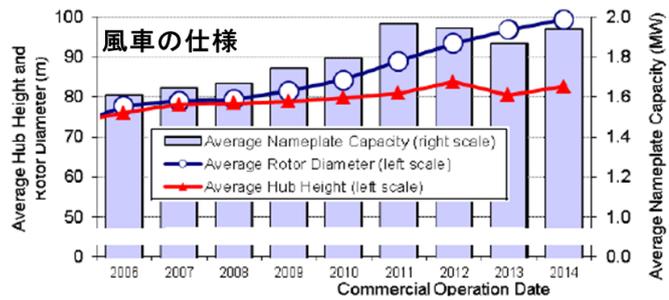
【参考15 米国における風車クラスの推移】



出典：Wind Technologies Market Report(U.S.DOE,2015)

【参考 1 6 米国における対応風速域対応】

	2006	2014	比率
Wind Class	1.97 8.55m/s	2.8 7.7m/s	- 0.90
定格出力	1.6 MW	1.92 MW	1.20
ロータ直径	77m	99m	1.29
ハブ高さ	75m	82m	1.09
設備利用率	32%	33%	1.03



出典：世界の風力発電、日本の風力発電、現状と計画 (JWPA上田氏, 2016)を基にNEDO技術戦略研究センター作成

出典：2014 Wind Technologies Market Report(U.S.DOE, 2015)

- 過去の東南アジアへの人的支援や ODA 等、政府の取組みと一体となって、特に日本型風車を日本と気候が似ているベトナム等の ASEAN 各国に対して売り込むなど、海外案件の獲得に向けて働きかけていく。
 - 効率的に風車工場を運営するには、風車メーカーごとに、1 ライン回し続けられるだけの受注が必要であるため、一定の生産規模を保つ観点から、海外進出も重要との指摘があった。
 - 東南アジア（特にフィリピン、ベトナム）や台湾は、日本と同じく台風や乱流が強く、日本メーカーの風車が進出する余地が十分にあり、これらの国との過去の人的交流のネットワークも活用すべき。その他の国でも、JICA 等で人材育成を行っており、その取組みとの連携も重要であるとの指摘があった。
 - ODA を供与する際には、ファイナンスをつけた上で売り込むなど、風車だけではない金融とセットで海外進出を進めるべきとの指摘があった。

(3) 風車メーカーの総合産業化

欧米の風車メーカーは、風車の販売のみならず、長期の O&M サービスを提供しており、競争力・収益の源泉にもなっている。また、途上国等では、風況調査等案件開発の段階から携わっているが、我が国の風車メーカーは、どのように対応すべきか。

- 欧米メーカーが、風車のデータ蓄積・分析等を活用し、日本でも稼働率・発電量保証を風車 O&M サービスのオプションとして提供しており、日本の風車メーカ

ーについても、同様のサービスを提供し、開発や、O&M を含めたビジネスモデルへ展開を行っていくべきである。

2. 効率的・安定的な発電システムの確立

欧米では、①主要な風車メーカーが、モニタリング・データ分析等を通じて、効率的なメンテナンスや事前トラブル防止に積極的に関わり、高い稼働率保証、更には発電量保証を巡る競争を進めているとともに、②発電事業者から O&M を受託して効率的にサービス提供する大規模事業者（サードパーティー）も確立しており、高い設備利用率と運転維持費の低減が実現されている。

我が国の風力発電事業の拡大・発展には、高効率・安定的な発電を実現する O&M システムが必要となるが、我が国の場合、以下の対応が必要との議論があった。

(1) データ産業化・発電量保証サービス等の展開

風車メーカーのみならず、サードパーティーの O&M 事業者、発電事業者自身を含め、どのようにデータ産業化を進めていくか。

- 欧米の風車メーカーが、風車のデータ蓄積・分析等を活用し、日本でも稼働率・発電量保証を風車 O&M サービスのオプションとして提供していることから、日本の風車メーカーについても、同様のサービスを提供するビジネスモデルを描いていくべき。(再掲)
 - 風車メーカーが O&M サービスを提供する前提として、日本の気候に適した安全性・信頼性の高い風車を提供すべきとの指摘があった。
- また、欧州では O&M 事業者についても、同等のサービスを提供しており、我が国の O&M 事業者としても、その展開・拡大を図っていくべきではないか。

(2) O&M の効率化・高度化

発電事業者又は O&M 事業者による O&M の効率化・高度化を図るため、人材不足、修繕費高騰等の課題への対応を含め、どのような取組みが必要か。

- O&M の効率化、高度化を図っていくには、①モニタリングやデータ収集・分析（スマートメンテナンス事業の成果等の活用）、②O&M 人材の育成と活用（人材育成に向けたテキスト作成・資格制度の整備）、③修繕用部品の調達効率化（共通部品の開発、テストセンターの設置）、④エリア単位での効率的な O&M の実施等を進めていく。
 - 政府としては、スマートメンテナンスの技術開発の推進に加え、新たに人材育成に向けたテキスト作成や、認証制度の創設等の業界の取組を支援していくべきとの指摘があった。
 - 山地や洋上など、風車へのアクセスが困難な地点の開発では、風車内部にセン

サーを取り付け、各 부품の振動や温度データ等の情報を収集する CMS (Condition Monitoring System) による風車の状態監視がより重要となる。CMS でビッグデータを取得し、IoT 技術で世界に先駆けた取組みを進めるべきではないかとの指摘があった。また、CMS の導入を評価し、保険料を下げるなどの取組により、CMS 導入のインセンティブを与えことができるのではないかとの指摘があった

- ▶ 近接した WF が予防保全の交換時期を統一する等により、共同購入による部品コスト低減だけでなく、クレーンの共同利用や大型部品の輸送コスト等、修繕費の低減も可能になるとの指摘があった。
- ▶ 故障部品が海外製品の場合、取り寄せまでに時間がかかり、収入が減少する。部品ストックを確保することで、稼働率の向上につながるなどの指摘があった。
- ▶ 新型風車や部品開発コスト低減及び日本の風力発電産業への参入を推進するため、テストサイト設置が重要ではないかとの指摘があった。(再掲)
- ▶ デンマークでは、風車の機種や、メンテナンスの作業内容ごとに、スタンプを発行し、メンテナンス事業者・技術者の資格の証明が容易になっており、日本でもこうしたシステムが参考になるとの指摘があった。

(3) 出力変動対策の技術開発等

風力発電を含む再生可能エネルギーの最大限の導入のためには、出力変動対策として制御技術、変動予測、系統用蓄電池の技術開発等を進め、電力系統との協調を図ることが重要ではないか。

- 出力変動技術については、気象データを活用した再エネ発電予測技術と、蓄電池の活用等による出力調整技術を組み合わせて、広域的に需給調整を行う系統運用技術の開発を継続して行う。系統向け蓄電池については、系統運用に活用するための出力調整技術の実証と低コスト化へ向けた材料や製造工程の改善など技術開発を進める。
- 今後、再生可能エネルギーの導入が更に進み、地域内の電力需要量を供給量が上回った場合は、その時点において再生可能エネルギーの出力制御が行われる可能性があるため、どのような形で電源間や発電事業者間の制御に対する公平性を担保しながら出力制御が行われるのかについてのルール整備を行う。

上記 1. 強い風車産業の育成、 2. 効率的・安定的な発電システムの確立の取組により、FIT からの自立を図る。(2030 年までに発電コスト 8 円～9 円/kWh を目指す(別紙))

風力発電の導入拡大に向けた方向性（課題と対策）

参考資料2（概要）

風力発電競争力強化
研究会報告書の概要

風力発電の投資環境の改善 ～投資の円滑化と規模拡大～

- ・風況や地理的制約に加え、環境アセス・系統の予見可能性の低さ等が、事業者の投資制約。
- ・また、更なる導入拡大には、新たな開発ポテンシャルの拡大が必要。



- ・課題解決に向け、以下の取組を進め、高い水準の風力発電開発投資を生み出していく。

1. 投資環境の改善

- ①既存系統の最大限活用等による系統制約の解消
- ②環境アセス・土地利用規制対応の迅速化
(地域協議会の組成支援)
- ③インフラファンド活用等のファイナンス環境整備

2. 開発可能ポテンシャルの拡大

- ①低風速域のポテンシャル調査、新型風車開発
- ②風力のリプレースの推進（認定制度等）
- ③洋上風力発電の立地環境整備
(港湾法改正、洋上風況マップ)

風力産業基盤の強化 ～低コストの導入を実現する強い風力産業作り～

- ・競争力の高い国内メーカーの不在、環境アセス・系統の予見可能性の低さ等により、我が国の風車価格は高止まり。
- ・データ産業化、O&M産業が確立されず、高い稼働率・効率的なメンテナンスが実現されていない。



- ・以下の取組により、コスト低減を実現し、FITからの自立を図る。（8～9円/kWh）

1. 強い風車産業の育成

- ①FIT価格低減でコスト削減努力の促進
- ②新型風車（低風速、洋上）の開発、海外展開
- ③風車メーカーの総合産業化（開発・運営）

2. 効率的・安定的な発電システムの確立

- ①データ産業化による設備利用率向上
- ②O&Mの効率化支援
(スマートメンテナンス、人材育成、部品開発)
- ③出力変動対策の技術開発等

産学官で将来の風力発電のあるべき導入の姿を共有。投資環境の改善により、民間の投資拡大・風力発電産業の成長へつなげるダイナミズムを創出。

風力発電のコスト低減イメージ

参考資料 2 (別紙)

- 2030年までに、発電コスト8~9円/kWhを実現し、FITから自立した形での導入を目指していく。

【現状】

現行の発電コストは、13.9円/kWhで、世界平均（8.8円/kWh）の約1.6倍

風車：16.0万円

(世界平均の1.4倍)

- ・競争力の高い国内メーカーの不在、環境アセス・系統の予見可能性の低さ等により、高止まり。

競争促進・強い風車産業育成により国際水準を目指す

工事費等：12.2万円

(世界平均の1.6倍)

- ・地理的制約、小さいWF規模等により割高に。

WF・風車の大規模化による低コスト化

運転維持費：0.9万円/kW/年

(世界平均の2倍)

稼働年数：20年

- ・風車メーカー・O&M事業者の適切な競争の不在。
- ・メンテナンス効率化の未徹底。

競争促進・メンテナンス効率化により国際水準を目指す

【目標】

2030年までに発電コスト8~9円 FITから自立した導入を目指す

風車・工事費等：23.9~25.3万円/kW

運転維持費：0.41~0.46万円/kW/年

稼働年数：25年