

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

風力発電システム (Vol.2)

—大規模導入を想定した将来の日本型風力発電システムの
経済性評価及び技術開発課題—

令和 2 年 3 月

Wind Power Generation Systems (Vol.2):

Economic Evaluation for Future Wind Power Generation Systems Which Are Adapted to Japan
Considering Large Scale Installation and Related Technological Development Issues

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2019-PP-20

概要

世界の風力発電が拡大する一方、日本では停滞傾向にある。現状の規制による弊害や事業者への支援不足から市場規模は小さく、日本の風車の導入費用は世界平均より 1.5~2 倍程度高い。脱炭素電源システムの構築に向けて、変動性対策や系統強化の費用も考慮すると、さらなる風力発電システムのコスト低減が必要である。日本では海外と比較して、日本特有の気象条件による導入課題が多いため、日本型風車の開発の試みが様々なされている。本提案書では、日本の課題と技術対策課題を整理し、大型風車の主流である 3 枚翼水平軸風車を対象に、風力発電システムの現状および将来発電コストを推計した。特に洋上風車について、基準ケースおよび、定格出力比が小さくロータ径を大きくすることにより風速 7 m/s、7.6 m/s で設備利用率50%となる高設備利用率型洋上風車の経済性を評価した。その結果、大規模導入を想定した洋上風力発電システムについて、基準ケースにおける着床式、浮体式の発電コストはそれぞれ、12 円/kWh、14 円/kWh であった。また、高設備利用率型洋上風車においては、着床式、浮体式の発電コストはそれぞれ 12円/kWh、13.6 円/kWh であった。基準ケースに対して高設備利用率型洋上風車の建設コストは2倍程度となるが、発電コストが同等であることが示された。設備利用率が上がると送電費用も抑えることができる。LCS の計算では脱炭素電源システムのコストは 12~22 円/kWh であり、電力需要が増大した場合には洋上風力発電システムの導入価値がある。電力消費地からの距離、発電特性など運用方法とともに産業育成も含めた導入戦略を評価する必要がある。以上の課題を考慮し、系統全体のコストが評価されるような産業支援、コスト低減のための大規模な国内導入を想定した課題評価の必要性を提言する。

Summary

While the capacity of wind power has been on a steady rise throughout the world, it is stagnant in Japan. The market size in Japan is small due to the barriers of existing regulations and the lack of political support. The introduction cost of wind power systems in Japan is 1.5 to 2 times higher than the world average. Further cost reduction of the wind power system is required to construct a zero-carbon power system, considering the additional cost of variability countermeasures and system reinforcement. Because there are many environmental issues faced when installing wind power systems in Japan compared to overseas, various attempts have been made to develop Japanese-type wind turbines. In this paper, we summarized technical and social issues of Japanese-type wind turbines, and estimated the current and future generation costs of wind power generation systems for three-blade horizontal axis wind turbines, which is the mainstream design among large wind turbines. In particular, for offshore wind power systems, we demonstrated the cost reduction provided by Japanese-type wind turbines with a high capacity factor of 50% at a wind speed of 7m/s and 7.6 m/s by increasing the rotor diameter with a low capacity output rate. As a result, for offshore wind power generation systems intended for large-scale installation, the power generation costs for bottom-fixed and floating systems were 12 yen/kWh and 14 yen/kWh, respectively. Furthermore, for offshore wind turbines with a capacity factor of 50%, the power generation costs for the bottom-fixed type and floating type are 12 yen/kWh and 13.6 yen/kWh, respectively. Although the construction costs are approximately double, the power generation cost at grid edge is almost the same. The cost of transmission can be reduced as the capacity factor increases. LCS calculations show that the costs of decarbonized power systems are from 12 to 22 yen/kWh. Offshore wind power valuable in a system with high power demand. It is necessary to evaluate an introduction strategy for wind power accounting for industrial development, and technical issues such as the distance from the power consumption area and power generation characteristics. Considering the aforementioned issues, we propose the need for industrial support to evaluate the cost of the entire grid system,

and the need for the evaluation of issues assuming large-scale domestic introduction required to reduce costs.

目次

概要

1. 日本の風力発電システムの課題と日本型風車の検討	1
1.1 緒言	1
1.2 日本の風力発電システムの課題	1
1.3 分析対象とした日本型風車の設計条件	2
2. 将来の風力発電システムの経済性評価	3
2.1 分析手法	3
2.2 評価の諸条件	4
2.3 計算結果	5
3. 日本での産業化への展望	6
4. 政策立案のための提案	7
参考文献	8

1. 日本の風力発電システムの課題と日本型風車の検討

1.1 緒言

世界の風力発電の導入量が拡大する一方、日本では停滞傾向にある。系統連系、環境アセスメントなど、現状の規制による弊害や事業者への支援不足から市場規模は小さく、日本の風車の導入費用は世界平均より 1.5～2 倍程度高い。脱炭素電源システムの構築に向けて、変動性対策や系統強化の費用も考慮すると、さらなる風力発電システムのコスト低減が必要である。日本では海外と比較して、複雑地形、深い水深、台風、冬季雷などの日本特有の気象条件のため、風力発電システムの導入における課題が多い。このため、日本の風況・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」の開発の試みが様々なされている。欧州を中心に発展してきた風力発電システムは、世界では導入設備容量 600 GW を超え、廉価な電源システムとして大規模な普及を続けている。良好な風況、系統接続の支援などから、遠方や低風速領域、洋上への立地箇所を展開している。日本でも洋上風車拡大に向けて実証研究も進んでおり、今後はコスト低減に向けた評価と、日本型風車として発展している技術による産業戦略が必要となる。本提案書では、1 章において日本の課題と技術対策課題を整理し、2 章において、大型風車の主流である 3 枚翼水平軸風車を対象に、風力発電システムの現状および将来発電コストを計算した。特に欧州と比較して低風速となる洋上風車について、ロータ径の面積化を考慮し、風速 7 m/s、7.6 m/s で設備利用率 50% となる高設備利用率型風車のコストを比較した。3 章では、日本型風車を含めた日本産業について考察した。5 章では、本提案書の研究結果から、政策立案のための提案を示した。

1.2 日本の風力発電システムの課題

日本の課題と技術対策課題を以下に整理し、主力電源システムとしての将来課題について考察する。日本では日本特有の気象条件のため、風力発電システムの導入における課題が多い。複雑地形のもたらす乱流や台風に対する強度設計が必要となり、IEC (国際電気標準会議) 国際標準にトロピカルサイクロン規格の認証制度を導入し、日本型風車に適した導入基準を定めている。また、日本海側では電気エネルギーの強い冬季雷が存在し、雷対策のレセプターを独自基準で導入する必要がある。日本は海洋国家であるが、洋上風車が発展している欧州と比べて着床式に適した水深 10～20 m の領域は少ない。また、平均風速は小さいが台風などにより局所的に波風が強くなるため強度設計を独自にする必要もある。水深 30 m 以上でも導入は可能だが、コストが高くなってしまふ。また、欧州のような石油・ガス掘削などの技術が進んでおらず、海底地盤調査も十分でない。このことから調査開発費なども必要となる。

世界では風車コストが大規模普及期に一時上昇したものの、再びコスト競争の時期に入っており、産業再編なども激しさを増している。そのような過渡期において日本の風車メーカーは撤退を決断している。今後の日本の風力産業の発展に対しては、日本型風車の技術発展と日本型風車が適応可能な地域への発展が期待されているが、世界市場に対して競争力のある低コスト化も同時に進めた技術開発が重要となる。

低コスト化に必要な技術は、発電量の増加、システム設備費の低減、補修費の低減に大別される。発電量の増加には、風速を大きくかつ安定的に得られ、エネルギーロス小さくすることが必要となる。風のエネルギーは $1/2 \rho V^3$ (ρ : 空気密度、 V : 風速) であり、風速の 3 乗に比例することから、大きな風速を得ることが最も重要である。このことから、風況の良い場所が選別される。同じ地点であれば高いほど風速は大きくなるため、ハブ高さを高くすることも重要となる。このことから既報ではハブ高さにより設備単価は高くなるが発電コストが低くなることを示した [1]。また、発電コスト削減と系統安定化の観点から、設備利用率の向上が必要となる。日本では風速が小さく設備利用率は 20～25% 程度となっている。このことから、面積化が重要となる。

また、複雑地形による乱流に対する対策が求められている。このような日本独自の課題に対して、日本型風車が提案され、産業や技術の評価がなされている[2]。さらに、日本の技術の強みを活かす戦略の必要性なども述べられている[2,3]。

世界市場では大規模導入時期を迎えており、価格競争と寡占が進む産業界における技術開発戦略も重要となる。風力発電システムはさらに数倍の世界市場規模になることは想定されるが、数十倍にはならない。次の普及導入時期に向けた日本型風車の技術開発戦略を促進し、世界市場への展開の戦略を評価することが必要となる。日本型風車として、今後の研究開発課題を以下にまとめる。

- ① 設備利用率の向上、即ち、より安定した強い風を利用するために風車の大型化やハブ高さの増大。強度設計、軽量化のための材料開発。長寿命化のための材料開発・測定技術。
- ② エネルギーロスを軽減するための発電機・ギアボックスの改善。
- ③ 複雑地形による乱流、台風、冬期雷などの特有気象条件に対応する風車技術・運用技術の開発。さらにそれらの風車の世界市場への展開戦略。
- ④ 個々の技術と将来必要な技術とを総合的に評価する発電コスト低減のための総合的評価手法の構築。
- ⑤ 低炭素社会実現に向け、導入ポテンシャルの大きい洋上風力発電システムのコスト低減。

1.3 分析対象とした高設備利用率型洋上風車の設計条件

洋上風力発電の導入ポテンシャル推計では、開発可能条件を考慮し年間平均風速 6.5 m/s 以上の導入ポテンシャルを地域別にまとめている[4]。年間平均風速区分毎の導入可能容量を図1に示す。欧米の立地条件の良い個所では年間平均風速 10 m/s を超え、設備利用率 50%を超える地域も多く存在するが、日本国内では限定的である。設備利用率向上にはロータ径の拡大による受風面積拡大とトロピカルサイクロン対応の両立が必要[5]であり、大面積化の低風速型風車としてロータ径を 1.2 倍とする風車も提案されている[6]。また風車の大型化に伴う設計基準を見ても、定格風速はロータ径にかかわらず一定であり、ロータ面積に対する発電機の定格出力は小さくなる傾向がある[7]。

風力発電システムの適地は消費地から遠方となる北海道、東北、九州や洋上に多く存在している。システムシステムの安定化を考えると、基幹系統 (220 kV 以上) で送電するより、直流大容量送電で運び、消費容量の大きい系統に接続する方が安定度供給に適する。このことから、大規模風力発電システムは遠方からの大容量送電が想定される。系統設備利用率が高いことが経済的条件となるため、本提案書では 2 章において、設備利用率 50%とした高設備利用率型洋上風車について、大規模風力発電システムの発電コストを検討した。なお、長距離直流送電費用は含まれていない。低風速地域に対応した低風速風車、ハブ高の増加による低風速風車、低比出力 (lower specific power) 風車、台風にも耐えうる日本型風車などの表現と区別し、本提案書では「高設備利用率型風車」と記す。

高設備利用率型洋上風車では、大面積化に対し発電機の定格出力を小さくし、負荷荷重も低下する。ナセル重量も軽量化されるため、出力を半分にすることは大幅なコスト低減につながる。風況によりこの数値は大きく変化するもの、日本の立地条件では、低風速型風車の方が経済的となることが推測される。本提案書では、系統側の要求を考慮して平均風速 7 m/s において設備利用率 50%を達成可能な高設備利用率型洋上風車に対して風力発電システムのコストを算出した。

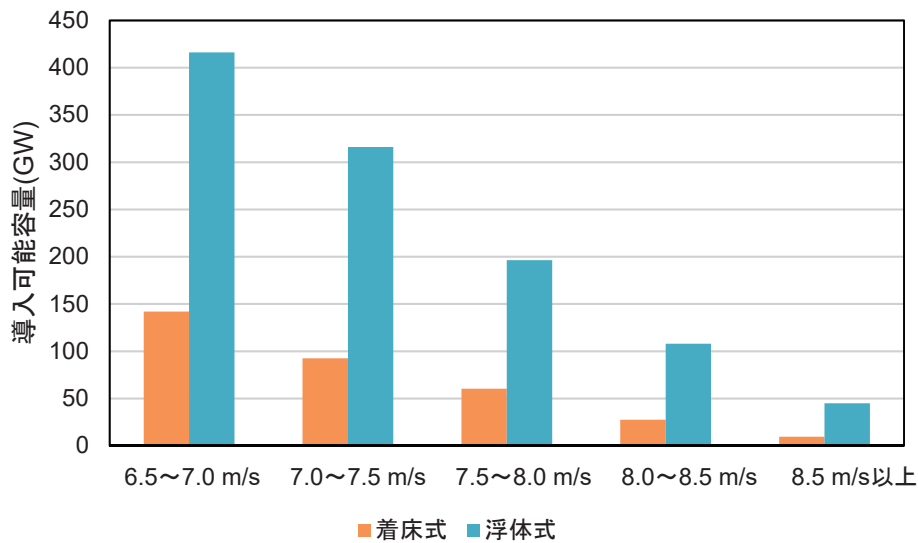


図1 導入可能容量と風速の分布[4]

2. 将来の風力発電システムの経済性評価

2.1 分析手法

LCSでは、大型風車の主流である3枚翼水平軸風車を対象に、風力発電システムの製造コストを推計している。図2に、風力発電システムの名称と主な製造工程を示す。既報[1]では、陸上風車を対象とした製造コストを推計したが、洋上風車のコストも基本設計は同じとした。風車の部品点数は数万点となる組立産業である。分析の対象範囲ブレード製造を除き、設計した部品の価格データベースを作成し、組立工程ごとの費用を積算して求めた。風車はタワーナセル、ロータに区分される。ロータ径、発電出力から発電機、増速機、主軸のサイズを定め、それらの重量からナセルサイズ、タワー強度を求めて重量を定めている。部品の価格はサイズ、重量、性能によって文献や企業へのヒアリングにより定めてデータベースを構築した。図3に風力発電システムの導入工程を示す。風力発電システムの建設は、風車の主部品であるナセル、ブレード、ハブ、タワーを分割して運搬し、基礎となる土台を現場で組み立てる。電気設備は発電機の直流を交流に変換し、変圧器で昇圧して系統に接続する。ここでは変圧器までを対象とした。また、運搬費用は船、トラックでの輸送を想定した。運用補修費は陸上風力発電費用の2%とし、金利3%、設備寿命20年とした減価償却費5%として、年経費率0.1として発電コストを求めた。洋上風力発電では、着床式、浮体式の運用補修費を3%とした。

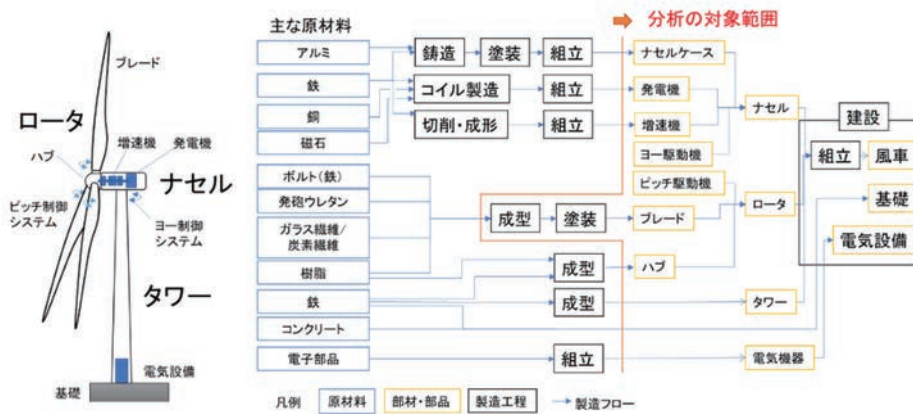


図2 風力発電機の製造工程と分析対象範囲

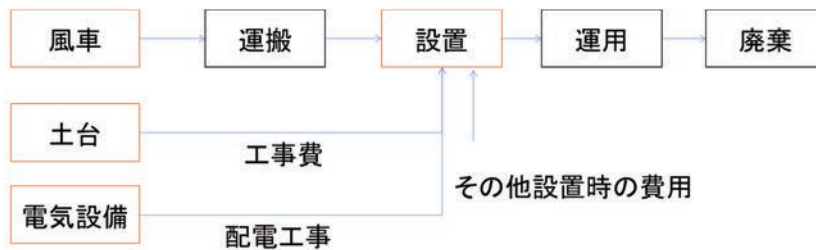


図3 風力発電システムの導入工程

2.2 評価の諸条件

陸上、洋上着床式、洋上浮体式の風力発電システムの基準仕様を表1に示す。将来の大規模導入期において、風車出力の大型化を仮定して風車出力3MWとした。また、洋上風車は離岸距離があることから騒音、景観の問題が小さいこと、また経済的に大型化が求められることから着床式は既に導入されている大型風車の5MWとし、浮体式では補修費等の軽減のためにさらに大型化が求められ、離岸距離が遠いため景観・騒音の問題が少ないことから10MWとした。さらに、高設備利用率型では基準とした風車のロータ径と同等として、設備利用率50%が可能となるエネルギー取得量を計算し、定格出力を定めた。ただし、エネルギー取得量については、風速分布によっても大きく異なるため、定格出力の設定条件は今後の検討課題である。着床式洋上風車に対しては、基準とした5MW風車に対して2.5MW風車、浮体式洋上風車では、基準とした10MW風車に対して7MW風車となる。洋上風車は、欧州では水深10~20mが主流であるが、日本の水深の状況を考慮して30mとした。基礎構造はモノパイル式とジャケット式があり、ジャケット式の方が水深30~50mを対象とされているが、建設費用が増大する。本提案書では水深30mを基準としてモノパイル方式とした。浮体式風車は50~200mを対象としている。本提案書では水深120mとした。風力発電システムでは、支持構造物、アレイケーブル、送電ケーブル、変電所設備、工事費に対して必要設備については重量を算出し、コストを計算した。支持構造物は、素材の鉄鋼：コンクリートを重量比8：2とし必要量を算出した。量産化により加工費が低下する。工事費はSEPで7日/基から、JUB（ジャックアップ式）により1日/基に建設時間は短縮される。このような工事費の削減には、大型の風車設置用の船の開発が必要となることを留意する必要がある。同様に、工事費においても技術収斂によるコスト低減を想定した。送電ケーブル、アレイケーブルは国際的な実勢価格を用いた。

表1 基準とした風力発電システムの仕様

ケース		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
風車種別		陸上	洋上 (着床式 A)	洋上 (着床式 B) 高設備 利用率型	洋上 (浮体式 A)	洋上 (浮体式 B) 高設備 利用率型
風車出力	MW	3	5	2.5	10	7
ロータ径	M	82	126	126	150	150
設備利用率	%	25%	30%	50%	35%	50%
想定平均風速	m/s	6.4	7	7	7.6	7.6
想定 WF 基数	基	20	100	100	200	200
想定 WF 規模	MW	60	500	500	2,000	1,400
水深	m	-	30	30	120	120

2.3 計算結果

LCS ではプロセス設計に基づく定量的技術シナリオを構築し、将来のコスト低減技術を評価している。風力発電システムにおいては、各社・機構により経済性が評価されているが、現状技術における技術評価が多い。本提案書では大規模導入時を想定して大規模化によるコスト低減を考慮した将来の経済性を評価した。表1の条件を基準として評価した結果を図4に示す。

建設費については3MW風車を基準とした陸上風力発電システムでは140円/Wと前報の2MW風車の142円/Wと同等であった。着床式洋上風車は、236円/Wであり、これは大規模化によるコスト低減の想定によって大幅なコスト削減が期待できる。浮体式洋上風力発電システムは322円/Wと、着床式の1.4倍程度となる。福島沖浮体式洋上風車の商用目標は800円/W[8]であるが、今回の計算では、大規模化、系統費用の低下、軽量化などにより、コストが低くなった。

発電コストについては、陸上風力発電で7.7円/kWh、洋上風力発電システムは着床式12円/kWh、浮体式14円/kWhとの結果を得た。着床式では設置工事費用が高く、補修費が高いためコストが高くなった。また、想定設備利用率によって発電コストは異なるため、立地条件によるコストの影響は今後検討していく必要がある。

また、高設備利用率型風車は建設費が1.7倍になるが、設備利用率が50%と高いため発電コストは、着床式で12円/kWh、浮体式で13.6円/kWhと同等となった。

基幹系統の送電費用も含めると、発電コストは安くなることが想定される。洋上風車は立地条件による基盤工事費が大きくことなることから、工事費の定量化をさらに進めていくことが重要となる。また、海底地盤の調査なども経済性の見通しのためには有用である。

洋上風力発電システムは陸上の1.5~2倍以上の導入費用となる。このため、設備利用率を向上させるためのロータ面積の増加、ハブ高さを高くするとともに、風車の軽量化の技術開発が必要となる。日本は平均風速が低い一方で台風などの強風、乱流などの特異な気象条件を持つため、強度を増強するための技術開発も必要となる。地盤調査、送電インフラ、事業費など、日本では国際価格に比べて高いため、これらのコスト低減を想定した。大規模導入による導入コストの低減が必要となる。

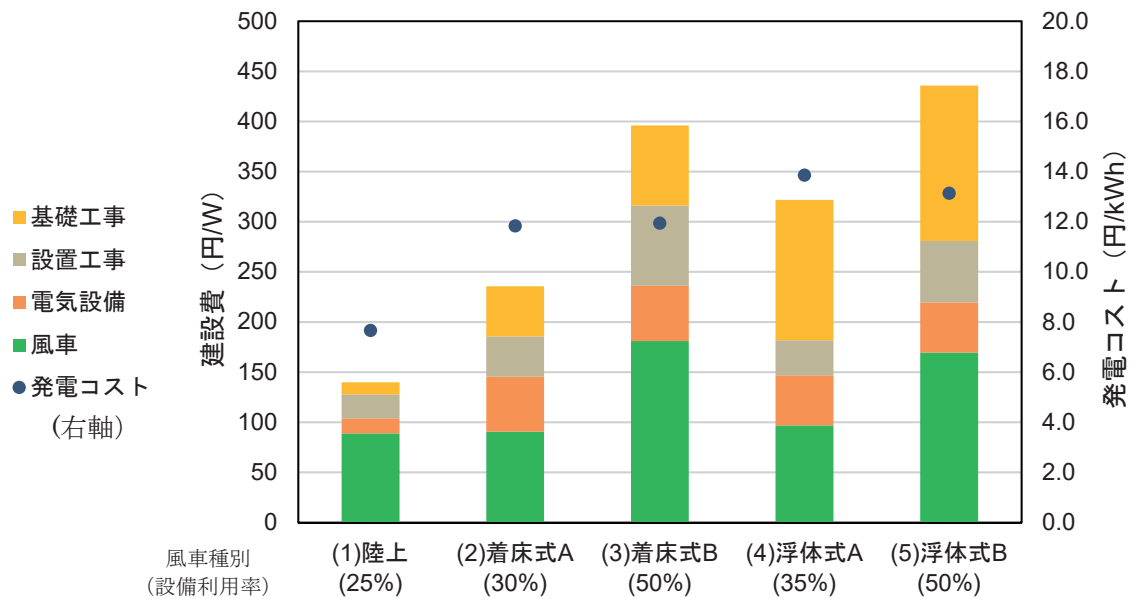


図4 大規模導入を想定した将来の風力発電システムの発電コスト

3. 日本における風力発電産業の展望

LCS では、2050年に日本のゼロカーボン電源システムの構築における風力発電システムの導入量は300~1,000TWh/年と推計している[9]。導入量500TWh/年となるシナリオでは年間導入設備容量5~10GWであり、1~4兆円/年の市場規模となる。洋上風力発電は建設費に占める風車コストの割合が小さく、風車製造の市場規模は0.2~1兆円/年となる。風車製造は既に寡占が進んでおり、このような日本の市場規模では産業育成は困難である。日本のような低風速地域で台風のような一時的な強風対策が必要な日本型風車の展開先としては、東南アジアの国々などが想定されている。東南アジアの国々の目標値から推計すると2030年までに13GWの導入量があり、ゼロカーボン電源システムに向けてはさらにその5倍程度が想定される。この時の市場は1~5兆円/年の規模となる。

世界の風力発電産業は、近年の年間生産量約50GWに対し、2050年には年間生産量150~500GWになると想定され、その時の市場規模は30~100兆円/年となる。これに対し、上記の市場規模は1~4%程度に相当し、国内産業化を支える可能性もある。さらに、中国や欧米の低風速領域は、台風などの強度設計が異なるが類似した市場と考えられ、低風速領域における将来市場なども考慮した検討が重要となる。

日本型風車の導入に向けた固有技術開発も進め、低風速型風車の大規模な普及期を見極め、国内技術を開発することも重要となる。今後の日本の風力産業の発展に対しては、日本型風車の技術発展に加え、世界市場に対して競争力のある低コスト化も同時に進めた技術開発が必要である。本提案書に示した高設備利用率型風車は、長距離系統費用も考慮した高設備利用率型の風車の検討であり、このような全体システムのコストを下げるための検討を進めることを提案する。

4. 政策立案のための提案

本提案書では、日本の課題と技術対策課題を整理し、大型風車の主流である3枚翼水平軸風車を対象に、風力発電システムの現状および将来発電コストを計算した。特に欧州と比較して低風速となる洋上風車について、大面積化を考慮し、風速7 m/s、7.6 m/sで設備利用率50%となる高設備利用率型風車のコストを計算し、日本型風車を評価した。その結果、大規模導入を想定した洋上風力発電システムの発電コストは、着床式は12円/kWh、浮体式で14円/kWhとなることが示された。また、定格出力を下げた大面積化により、設備利用率50%となる高設備利用率型の洋上風車では着床式は12円/kWh、浮体式は13.6円/kWhとなることが示された。低炭素電源システムのコストは12~22円/kWhと示されており[3]、特に電力需要が増大した場合には洋上風力発電システムの導入価値がある。電力消費地からの距離、発電特性など運用方法とともに産業育成も含めた導入戦略を評価する必要がある。高設備利用率型風車では、建設コストは2倍程度となるが、送電端の発電コストが同等であり、基幹系統の送電費用を抑える。個別の発電コストだけでなく、系統全体のコストを考慮すると国内での産業化も不可能ではなくなる。また、日本特有の技術開発課題もあるため、コスト低減には大規模な国内導入を想定した課題評価、さらに将来市場も検討した産業戦略も必要となる。日本型風車として、今後の研究開発課題を以下にまとめる。

1. 設備利用率の向上、即ち、より安定した強い風をつかむために風車の大型化やハブ高さの増大。強度設計、軽量化のための材料開発。長寿命化のための材料開発・測定技術
2. エネルギーロスを軽減するための発電機・ギアボックスの改善。
3. 複雑地形による乱流、台風、冬期雷などの特有気象条件に対応する風車技術・運用技術の開発。さらにそれらの風車の世界市場への展開戦略。
4. 風力発電および系統システムの現状および将来の個々の技術を総合的に評価する発電コスト低減のための総合的評価手法の構築
5. 低炭素社会実現に向け、導入ポテンシャルの大きい洋上風力発電システムのコスト低減
6. 系統連系を含めた全体のシステム設計と経済性評価

参考文献

- [1] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, 技術開発編, “風力発電システム (Vol.1) -陸上風力発電システムの経済性評価-”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2018年1月.
- [2] 資源エネルギー庁, “風力発電競争力強化研究会報告書”, 2016年10月.
- [3] 石原孟, “我が国の風力産業の振興と風力発電の主力電源化の実現に向けて“, Vol43, No1, p.1-2, 2019.
- [4] 環境省, “平成27年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書”, p.54-60, 2016.
- [5] 松信隆, “洋上風力の産業構造と課題”, 日本風力エネルギー学会誌, Vol43, No3, p.419-422, 2019.
- [6] JWPA, “コスト競争力強化 TF 報告書〜グリッドパリティ達成に向けて〜”, 2019.
- [7] IEA Wind TCP, “Results of IEA Wind TCP Workshop on a Grand Vision for Wind Energy Technology”, 2019.
- [8] NEDO, “洋上風力発電等技術研究開発／洋上風力発電システム実証研究／洋上風力発電施工技術のコスト評価に関する検討”, NEDO 成果報告書, 2018.
- [9] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, “ゼロカーボン電源システムの安定化と技術・経済性評価 (Vol.1) -安定的かつ経済的なゼロカーボン電力供給のための技術開発課題-“, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2020年3月.

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

風力発電システム (Vol.2)

—大規模導入を想定した将来の日本型風力発電システムの経済性評価及び技術開発課題—

令和2年3月

Wind Power Generation Systems (Vol.2):

Economic Evaluation for Future Wind Power Generation Systems Which Are Adapted to
Japan Considering Large Scale Installation and Related Technological Development Issues

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2020.3

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 主任研究員 井上智弘 (INOUE Toshihiro)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4階
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2020 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
