

風力・水力部会分野の展望

Outlook of Wind-Hydro Divisions

風力・水力部会 吉田茂雄*

1. 緒言

2025 年に、第 7 次エネルギー基本計画が閣議決定された¹⁾。これは、わが国のエネルギー政策の基本方針を決めるもので、経済安全保障上の要請の拡大、各種分野の電化や DX/GX などによる電力需要の増加、産業への波及効果などの状況に鑑み、改めて、再生可能エネルギーの主力電源化・最大限導入が謳われている。

日本太陽エネルギー学会が設立された 1975 年は、1970 年代のオイルショックの最中で、石油代替エネルギーに対する社会的な期待が高まった時期である。当時は、ほとんどの再生可能エネルギーに対する関心は、技術的な実現可能性であった。その後、当学会の 50 年の歴史とともに社会情勢も変化し、いくつかの技術は実用化が進んだ。実用化が進んだ技術においては、議論の中心は社会性にシフトし、研究開発においても社会性の議論は避けられない。この社会性に関する主な視点は、わが国のエネルギー政策の基本方針である S+3E、すなわち、安全性 (Safety)、エネルギー安定供給 (Energy)、経済性 (Economy)、ならびに、環境適合性 (Environment) と同一である。

日本太陽エネルギー学会は、太陽エネルギーを利用した再生可能エネルギー技術を扱っている。太陽熱により温められて軽くなった空気は上昇し、周囲の冷たい空気がそれを埋めるように風として高気圧から低気圧への空気の流れが生じる。また、地表の水分が太陽の熱で水蒸気となり、それを含む上昇気流が、上空で冷やされて、落下して雨となる。したがって、風力発電も水力発電も、太陽熱を利用した発電技術ととらえることができる。これら以外にも、波は風により発生するし、海流も主な発生要因は風、海水密度差、地球の自転が主な発生要因であるため、

波力発電や海流発電も、間接的に太陽熱を利用しているといえることができる。

日本太陽エネルギー学会の風力・水力部会では、上記の分野のうち、会員と部会に風力以外のメンバーがいないことを踏まえて、風力発電分野の現状と現状と展望を述べる。

2. 風力発電の現状

2.1 導入状況

風力発電の累積導入量は、世界全体で 1,021 GW (2023 年末)²⁾ に対して、日本国内では 5.8 GW (2024 年末)³⁾ である。また、電力需要に対する風力発電の割合は、世界全体で約 7.8%⁴⁾ に対して、日本国内では約 1% に過ぎない。特に導入が進んでいるデンマークでは 50% を越えており、ドイツや英国では 25% 前後である。このように、日本の導入量は、先行各国と比較して、大きく後れを取っている。

2.2 洋上風力エネルギーポテンシャル

洋上風力のエネルギーポテンシャルは、日本風力発電協会の試算⁵⁾ によると、着床式 (水深 10 ~ 50m) が 128GW、浮体式が 424GW (水深 100 ~ 300m) である。

さらに、国際エネルギー機関 (International Energy Agency; IEA) の試算によると、浮体式洋上風力が主力となる離岸距離が大きく (60 ~ 300 km) 水深の大きい (60 ~ 2000 m) 海域において、日本国内の電力需要の約 9 倍に相当する大きな風力エネルギーの技術的ポテンシャルがあることが報告されている⁶⁾。

この大きなポテンシャルが、風力発電が推進される大きな要因である。

2.3 発電コスト

2023 年時点の世界全体の風力発電の LCOE

* 佐賀大学海洋エネルギー研究所 教授
九州大学応用力学研究所 教授

(Levelized Cost of Electricity) を Table 1 に示す。これらは、先進国の火力発電の発電コストの 0.07 ～ 0.18 USD/kWh (9.8 ～ 25.2 円 /kWh) と比較しても、風力発電が安価な電源になっていることがわかる。なお、国内においては、コストは高く、発電電力量も低いなど、全般的に悪い条件の要素が多く、LCOE は高めになっている。3.3 で述べる各種施策などにより、大幅なコスト低減が必要である。

Table 1 世界の風力発電の LCOE (2023) ⁷⁾

	5%	Median	95%
Onshore Wind	0.02 (2.8)	0.033 (4.6)	0.08 (11.2)
Offshore Wind	0.05 (7.0)	0.075 (10.5)	0.19 (26.6)

上段：[USD/kWh].

下段：[JPY/kWh], 1 USD = 140 JPY で換算。

2.4 産業への波及効果

ウィンドファームには、以下に示すような広範囲の産業が関係する ⁸⁾。

- ・ 発電事業者
- ・ 風車メーカー / 部品メーカー
- ・ 金融機関、保険会社
- ・ 調査・コンサルティング会社
- ・ EPCI 会社 (設計, 調達, 建設, 据付)
- ・ メンテナンス会社ほか

現時点で、日本国内には大型の風車メーカーがなく、サプライチェーンも少ないが、2023 年には、国内だけでも 1 兆円を超える大きな産業となることが予想されている。

2.5 環境影響

世界の主要な電力の CO₂ 換算の温室効果ガス排出量を Table 2 に示す。風力発電は、太陽光や水力などの再生可能エネルギーと比較しても、単位発電電力量あたりの温室効果ガスの排出量は圧倒的に少ない。ただし、日本国内においては、平均風速が低

Table 2 温室効果ガス排出量 ⁹⁾

	Min.	Median	Max.
Onshore Wind	7	11	56
Offshore Wind	8	12	35
Solar PV (Rooftop)	26	41	60
Solar PV (Utility)	18	48	180
Hydro	1.0	24	2200
Nuclear	3.7	12	110

[gCO₂eq/kWh]

く発電電力量が低めになることなどから、これらよりは劣化するが、依然、他の電源に対する優位性は高い。上述のようにエネルギーポテンシャルも大きい。そのため、風力発電はわが国が進める、2050 年カーボンニュートラルに向けて、不可欠な技術である。

3. 風力発電の展望

3.1 陸上風力発電

これまでわが国に導入された風力発電のほとんどは、陸上風力発電であり、今後、初期のウィンドファームから、順次約 20 年間の事業期間を終え、リプレースが安定的に進むことが予想される。

ウィンドファームの設置にあたっては、周辺住民や生態系に対しても十分配慮する必要があるため、陸上ウィンドファームに適した広大な高風速地は限られる。

3.2 洋上風力発電

前項のように、今後の陸上風力発電の導入に大きな伸びは期待できないのに対して、洋上風力発電には、大きなポテンシャルがあり、今後の低コスト化、ならびに、大規模開発が見込まれるため、わが国の再生可能エネルギーの主力電源化に向けた「切り札」と目されている。また、洋上風力発電は、事業規模が大きく、産業の裾野が広い。そのため、大きな経済波及効果も期待される。それに向けての具体的な施策も取られている。

3.3 洋上風力普及に向けた施策

洋上風力発電は、2030 年までに 10 GW、2040 年までに 30 ～ 45 GW の案件形成との政府目標が掲げられ、それを実現するための法制度、ならびに、インフラの整備も進められている。これらの整備状況を以下に示す。

(1) 電力買取制度

これまでの洋上風力発電案件には、固定価格買取制度 (Feed In Tariff; FIT) が適用されてきたが、今後は、2022 年からは、フィードインプレミアム (Feed-in Premium; FIP) が導入された。発電電力の買い取り価格は、FIT では固定価格であるのに対して、FIP では売電価格に対して一定のプレミアム (補助額) を上乗せするものである。

FIP は、事業者の再生可能エネルギーへの投資のインセンティブが確保されることや、変動する電力の市場価格に応じた発電や蓄電池などによってより収益を拡大できることなどのメリットがあり、今後の主流になる見通しである。

(2) 再エネ海域利用法

2019年04月に、洋上風力発電事業の推進のために、「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備を促進するための法律」（通称、再エネ海域利用法）が、施行された。同法では、漁業者などの先行利用者との調整の枠組みである協議会を設けること、ならびに、発電事業者を公募により選定し、選定事業者に対して最大30年間の海域の占用を認めることなどが定められている。これにより、洋上風力発電事業の導入の円滑化、事業の安定性の確保、事業者の予見可能性の向上を図ることができる。また、同法では、洋上風力発電事業のための「促進区域」を指定し、年度ごとに促進区域を指定する¹⁰⁾。これまで、ラウンド1からラウンド3までの公募が終了し、合計9海域、合計約4.6GWの案件が形成されている¹¹⁾。

(3) 日本版セントラル方式

洋上風力発電の先進地の欧州では、政府機関等が主導してサイト調査、系統確保、環境影響評価などを実施するセントラル方式が、効率的な案件形成や運転開始までの所要期間短縮に寄与している。日本版セントラル方式¹²⁾は、上記の欧州の取組みに加えて、政府や自治体の主導的な関与により、地域調整の円滑化を図り、効率的な案件形成を実現すべく、以下の事項を対象としている。

- ・事業実施区域の指定及び発電事業者の公募
- ・案件形成に向けた地域調整
- ・サイト調査（風況・海底地盤・気象海象）
- ・系統接続の確保
- ・環境配慮

(4) 出力変動への対応

電力需要に対して風力発電の出力の比率が高くなると、風車を停止する必要性が生じ、風力発電の経済性を悪化させる。対応の一つに、電力会社間の地域間連系線の強化がある。

(5) 基地港湾の整備

洋上風力発電では、多数の大型風車や部品の輸送・保管など、建設の拠点となる基地港湾が必要である。風車のナセルは大型風車では数百トンに達するため、基地港湾には十分な地耐力とある程度の水深が必要である。

2024年時点で、秋田港、能代港、鹿島港、北九州港、新潟港、青森港、酒田港の7つの基地港湾が指定され整備されてきている。今後の洋上風力の大きな伸びを考えると、港湾設備の更なる充実が必要である。

3.4 課題

国内の風力発電全体を俯瞰すると、以下のような課題がある^{13), 14)}。

(1) 国産風車開発・国産風車メーカの育成

近年、世界的な供給不足、インフレ、為替の悪化などにより、風力発電関連のあらゆるコストが増大し、風力発電事業を圧迫している。特に、風車コストの高騰が顕著である。

現時点で、大型の商業風車は全て海外メーカ製であるが、海外メーカの風車に依存することはコストや供給だけではなく、設計や制御・保護などの詳細な設計内容が、事業者に対しても非公開（ブラックボックス）であることは、わが国のエネルギー安全保障においても、大きなリスクである。

洋上風車には、高い信頼性、耐久性、整備性が求められるが、遠洋の洋上ウィンドファームにおける故障や大規模修繕は、洋上風力発電の経済性において甚大な影響を与えるため、大きなトラブルに対する即応性が問題となる。

また、国内産業に対して、国内調達率60%との官民目標が掲げられているが、これは、風車本体以外のBOSやO&Mの国内調達率を向上させれば、実現可能な目標である。しかし、これらの技術開発には、風車が大きく影響するため、海外機の導入を増やすことができて、新たな技術開発・シーズ技術の適用や、それによる輸出産業化に対する効果は限定的である。

国内メーカが、定格出力2～7MWまでの風車を開発していた2020年ごろから、今日の定格出力15MWを越えるクラスまでの技術の進歩は著しい。この大きなギャップを埋めるためにも、早急に、キャッチアップする必要がある。

(2) 革新的な浮体式洋上風車技術の研究開発

上述のとおり、国内の膨大な風力エネルギーの多くは、浮体式洋上風車が対象となる大水深の遠洋にある。これには、低コストで施工性・整備性に優れた浮体式洋上風車の技術開発が必要である。浮体式洋上風力は、一部、商業ウィンドファームの実績も出始めているが、大幅なLCOE低減や、設置海域の拡大などを考えると、従来の一般的な浮体形式の枠に収まらない、革新的なコンセプトの浮体式洋上風車の開発が必要である。ここでも、風車の技術が極めて重要であり、国産風車なしに、革新的な浮体式洋上風車の技術が現れることは期待できない。

(3) 国立の研究機関の強化・拡充

第7次エネルギー基本計画における風力発電の目

標は電力需要の4～8%（2040年）であるが、世界的な状況に鑑みると、さらに導入が進むことが予想される。風力発電に高い目標を設定している国は、いずれも、100人を超える規模の国立の風力発電の研究機関を持ち、技術開発や導入を支援している。

日本は、現時点で遅れを取っているため、これに相当する大規模な研究機関の設立・拡充は特に重要である。

4. 結言

エネルギーは国の経済と社会の安定性に不可欠な要素である。国際情勢の不安定化やブロック経済化が進む中、従来にも増して、自給率の向上の重要性は大きくなっている。風力発電、特に、洋上風力発電には、膨大なエネルギーポテンシャルがあり、発電コストやCO₂排出量に関しても、相対的に有利な技術であるため、今後、当面は、差異性可能エネルギー主力電源化の切り札として導入が進むことが予想される。

しかし、その中でも、国内外の状況により、さまざまな課題が顕在化する中で、以下の3点を提案した。

- 1) 国産風車開発・国産風車メーカーの育成
- 2) 革新的な浮体式洋上風車技術の研究開発
- 3) 国立研究機関の設置・拡充

特に、国内企業による風車開発の実現可否が、導入に留まらない、新たな技術開発や輸出産業化など、産業としての、わが国の風力発電の「質」に大きく影響する。

本稿では、当学会の会員、ならびに、当部会の構成員に鑑み、風力発電分野の展望についてまとめた。波力発電や海流発電の現状と展望は、参考文献¹⁵⁾などを参考にされたい。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁、第7次エネルギー基本計画、2025/02。
- 2) Global Wind Energy Council, Global Wind Report 2024, 2024。
- 3) 日本風力発電協会、2024年12月末時点日本の風力発電の累積導入量、<https://jwpa.jp/information/11062/>（accessed on 2025/03/30）
- 4) Global Wind Energy Council, Global Wind

Report 2024, 2024。

- 5) 日本風力発電協会、洋上風力の主力電源化を目指して、洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会、第1回会合、2020。
- 6) IEA, Offshore Wind Energy Outlook, 2019。
- 7) IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2023, 2024。
- 8) 日本風力発電協会、洋上風力スキルガイド（第1版）、2022。
- 9) Schloemer S., et al., 2014: Annex III: Technology-specific Cost and Performance Parameters. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2024。
- 10) 経済産業省・資源エネルギー庁、国土交通省・港湾局、海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域指定ガイドライン、2024。
- 11) IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2023, 2024。
- 12) 経済産業省資源エネルギー庁、国土交通省港湾局、洋上風力発電に係るセントラル方式の運用方針、2024。
- 13) 吉田、第7次エネルギー基本計画を踏まえた風力エネルギー利用の展望、太陽エネルギー、51（4）、2025。
- 14) 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会、洋上風力産業ビジョン（第2次）浮体式洋上風力等に関する産業戦略、2025。
- 15) 吉田、鶴、今井、海洋エネルギーによる脱炭素化：洋上風力発電、海流発電、潮流発電、波力発電、電気計算、2025。

著者略歴



吉田 茂雄（よしだ しげお）

1990年京都大学・工学部・航空工学科卒業。1990～2013年富士重工業株式会社。2013年～現在九州大学・応用力学研究所・教授。2021年佐賀大学海洋エネルギー研究所洋上風力エネルギーシステム分野教授。日本風力エネルギー学会フェロー、理事、風力・水力部会長。博士（工学）。