

洋上風力発電の動向・展望

Status and Outlook of Offshore Wind Energy

吉田茂雄*

1. 洋上風力発電の動向・展望

1.1 導入量

風力エネルギーは、数千年前より脱穀や揚水のほか、帆船用に広く利用されてきたが、発電用として本格的に利用されるようになったのは、1980年代以降のことで、風力発電の歴史は高々半世紀である。当初は、風からの発電自体が目的・成果であったが、技術革新や法制度の整備などにより実用化が進んだ今日では、議論の対象は、もはや発電の可否ではなく、如何に大量の電力を安価に供給できるかにある。特に、導入が進むにつれて、陸上の適地が徐々に限定されるようになる中、広大なスペースに大型の風車を大量に展開できる洋上風力発電が、将来の主力電源の一つとして注目・期待されるようになってきている。

Fig. 1に示すように、風力発電の導入量は、2000年代より急速に導入が進み、2021年には、世界全体で年間約94GW、累計で837GWに達している。特に、2010年代以降、洋上風力の伸びが顕著であり、2021年の新規導入量の約23%、累積導入量の約7%を占めるまでになってきており、今後の導入量の増加に合わせて洋上風力発電の比率は益々増加することが予想される。

主要な先進国の中で、国土の面積や人口が日本に比較的近いドイツでは、2020年の電力需要における風力の割合は約26%で、さらなる導入拡大を目指している。世界全体の電力需要における風力発電の比率は5.9%（2022年末）であるのに対して、日本は、電力需要の1%弱（2021年末）を占めるに過ぎない。今後、今日の世界平均レベルまで増加すると、風力発電の導入量が6倍以上となるが、風力発電に適した広大で好風況の陸地が限定されていることや、日本には周囲を海に囲まれていることを勘案

すると、必然的に、洋上風力の位置づけが大きくなる。2020年に発表された洋上風力30～45GW（2040年）の官民目標が達成されれば、現在の欧州の先進地域の水準に近づくことになる。

以降の節で、洋上風力発電の社会的価値について述べる。

1.2 経済性に対する効果

IRENAによる世界の代表的な再生可能エネルギーの発電コストをFig. 2に示す。0.05～0.17USD/kWhがOECD諸国の火力発電のコスト（2010年、2017年）であり、丸印はプロジェクトごとの発電コストを示す。陸上ウィンドファームは既に従来の火力発電に対して競争力のあるレベルまで低コスト化が進んでおり、洋上ウィンドファームも条件のいいサイトでは、火力発電と同等のレベルまで低下している。

このデータ以降の風車ならびにウィンドファーム技術の進歩、ならびに、従来の火力発電・原子力発電の動向を勘案すると、風力発電の経済性は相対的に向上することが予想される。

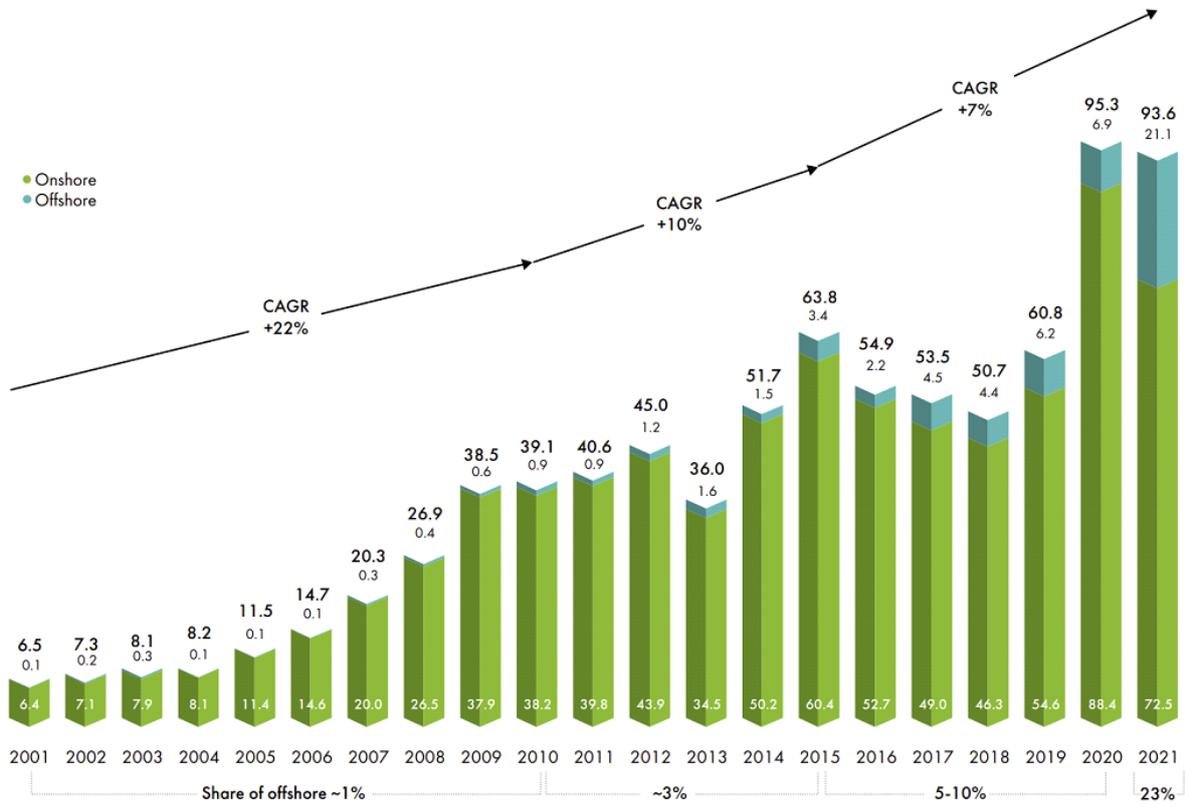
1.3 CO₂ 排出量に対する効果

地球温暖化が進む中、地球温暖化に起因すると思われる異常気象による災害が頻発している。日本では、排出する温室効果ガスの地球温暖化への直接的寄与度の90%以上がCO₂によるものであるなど、CO₂排出量削減は喫緊の課題であり、主要各国はカーボンニュートラルへの動きを加速している。

Fig. 3に主要な電源ごとのCO₂排出量を示す。風力発電のCO₂排出量の低さは顕著であり、化石燃料を使用する石炭火力やガス火力との比較では無論のこと、他の再生可能エネルギーや、CO₂排出量が低い電源として知られている原子力発電をも凌駕す

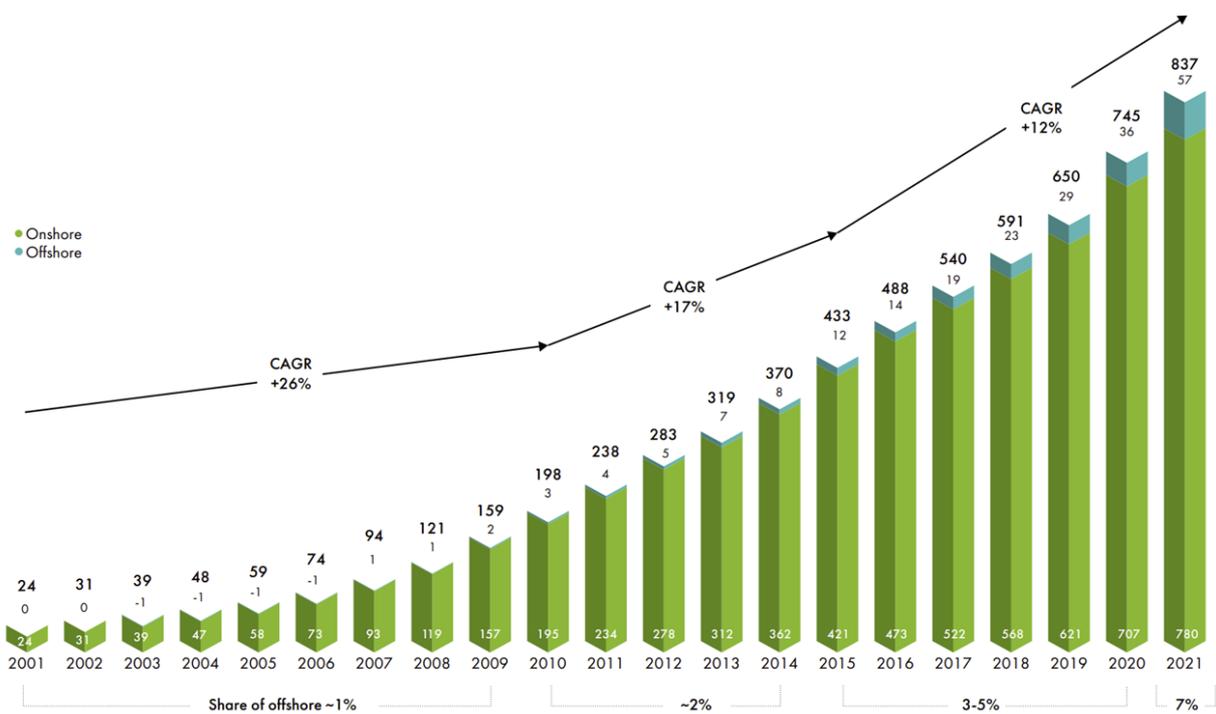
* 佐賀大学・海洋エネルギー研究所 教授
九州大学・応用力学研究所 教授

Historic development of new installations (GW)



(a) 新規導入量

Historic development of total installations (GW)



(b) 累積導入量

Fig. 1 世界の風力発電導入量¹⁾

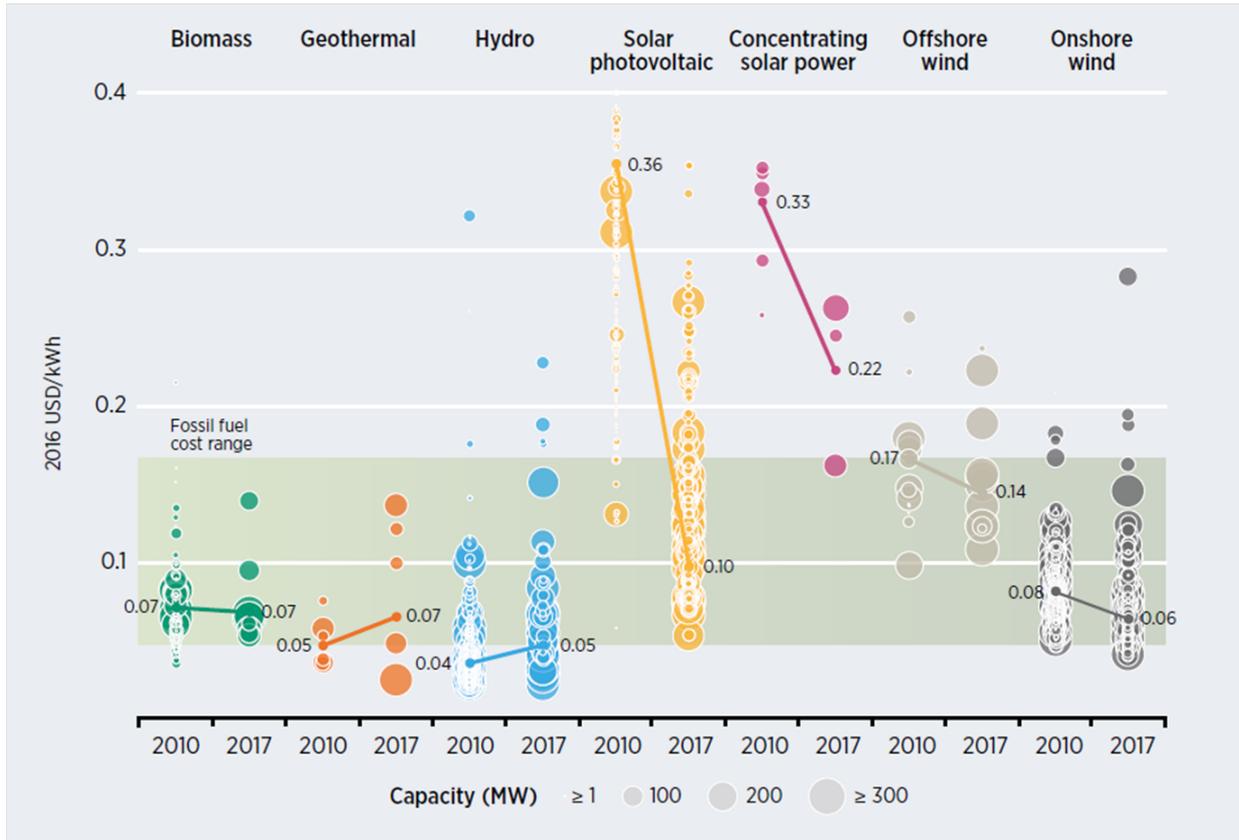


Fig. 2 世界の再生可能エネルギーの発電コスト²⁾

Comparative lifecycle GHG emissions by electricity technology

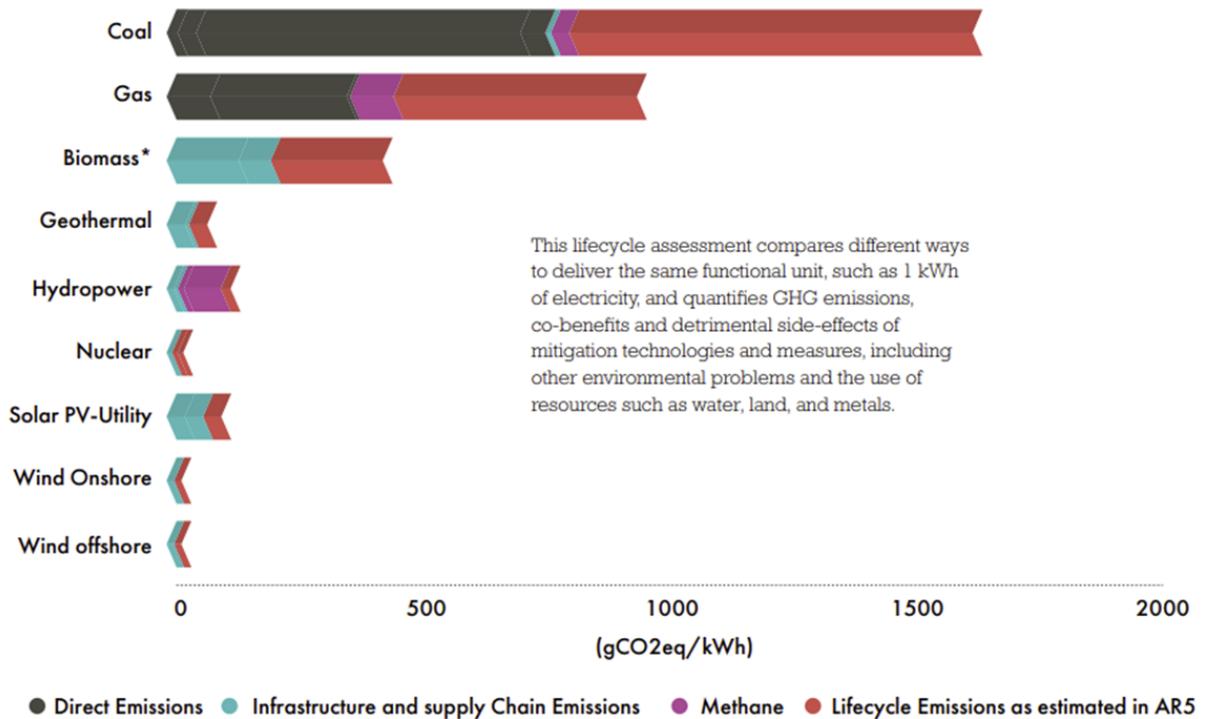


Fig. 3 主要な電源ごとの単位発電電力量あたりのCO₂排出量³⁾

るレベルに達している。1990年以降の風力発電の世界的な導入量の伸びには、このような環境性能の良さが大きな要因となっている。

1.4 エネルギーセキュリティに対する効果

風力エネルギーのポテンシャルは25～75TWと推定されており、世界の電力需要が16TWに対して、十分大きいエネルギーポテンシャルがあると考えられる⁴⁾。特に、四方を海に囲まれる我が国の風力エネルギーポテンシャルは、陸上で118GWであるのに対して、洋上ではその5倍以上の552GWと推定されている⁵⁾。

今日、日本国内に設置される洋上風車は全て海外からの輸入機であり、材料や部品として海外に依存する部分も少なくないが、産業界の目標である国内調達率60%（2040年まで）が実現し、さらに、本

格的な洋上風車の国産化が実現すれば、我が国の悲願であった、ほぼ国産のエネルギーを獲得することになる。

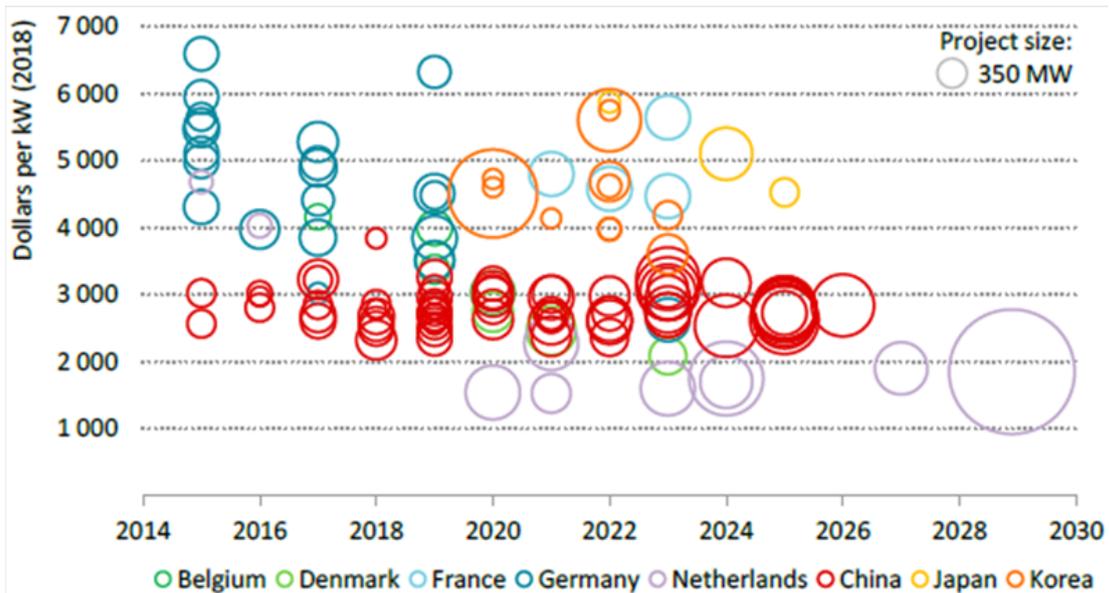
1.5 産業に対する効果

世界全体で、風力発電による雇用創出効果は、約2百万人弱との報告がある⁶⁾。同様に国内では、2040年時点の洋上風力の直接効果だけでも、3万人以上の雇用創出効果が見込まれ、1兆円以上の経済波及効果が推定されている⁷⁾など、大きな経済効果が期待されている。

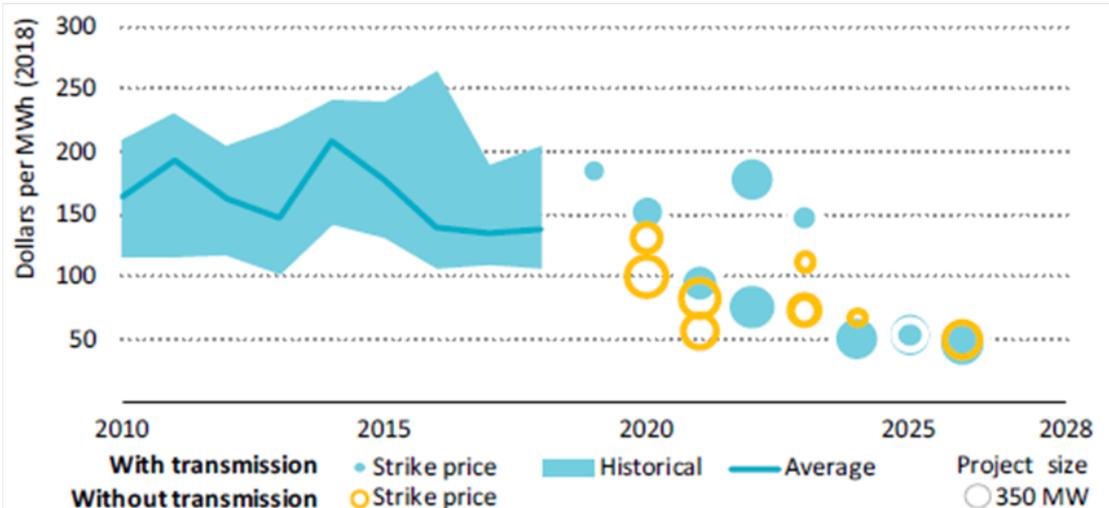
2. 洋上風力発電の課題

2.1 大規模化・大型化

洋上ウインドファームの資本費と均等化発電コスト（LCOE）をFig. 4に示す。2015年以降、LCOE



(a) 資本費 (CAPEX)



(b) 均等化発電コスト (LCOE)

Fig. 4 洋上ウインドファームの規模に対する資本費と均等化発電コスト（変圧器を除く）⁸⁾

は低下傾向にあることが読み取れるが、全体的にウィンドファームの大規模化により資本費の低下による低コスト化が図られている様子が伺える。これは、輸送・設置、基礎、運転・保守など、風車の容量よりも基数に依存するコストが大きいためである。そのため、風力発電関連の技術開発の方向性としては、ウィンドファームの大規模化、ならびに、風車の大型化が主要な基軸となっている。

ウィンドファームの大規模化における課題としては、風車相互間の空力干渉（ウェイク）、ならびに、それを考慮して配置最適化技術、積極的にウェイクの経路を偏向させるウェイクステアリング、さらには、大規模系統連系するための発電電力量のリアルタイム予測技術などが挙げられる。風車の課題は以降の節で述べる。

2.2 超大型風車

前項で述べたように、風車の大型化により洋上ウィンドファームの経済性は向上する。特に、陸上の風車では、重量や大きさにより、輸送性・建設性で制約を受けるが、洋上においてはそれらの制約が小さいため、大型風車の開発が活発である。そのため、Fig. 5に示すように、洋上風力が本格化してきた2000年以降、大型化の流れが加速し、大型化競争の様相を呈している。これまで、幾度となく大型化の限界についての意見が見られたが、いずれの「限界説」も尽く突破されてきており、今後の大型化については、見通しが得られていない。

その中でも、長丈・高可撓性弾性のブレード技術、

荷重低減のための制御技術、軽量化に効果のあるドライブレイン技術などが課題として挙げられるが、アクセス性の悪い洋上環境で高い稼働率を発揮するための信頼性向上、運転・保守技術なども大きな課題である。

2.3 浮体式洋上風車

代表的な洋上風車の形式を Fig. 6 に示す。一般には、水深 50m 程度までは着床式、それ以深では浮体式が経済的な合理性があるとされている。これまで、欧州や中国などの比較的水深が低く、水深や海底地形・地盤条件に大きな変化がない海域で、特にモノパイル型の着床式の洋上風力が先行しているが、我が国周辺の海域では、水深が深く、海底地形・地盤条件が一定ではなく、地震の影響が大きいことなどから、浮体式洋上風力に大きな期待が集まっており、さまざまな形式の浮体式洋上風車が検討されている。ここで、浮体本体のみならず、システム全体の経済性に関して効果的・合理的な浮体・係留系の開発が課題である。

3. まとめ

以上、洋上風力の動向・展望ならびに技術的な課題について解説した。風力発電／洋上風力発電は、再生可能エネルギーの中でも、あらゆる面で優れた再生可能エネルギーであるため、今後、一層の導入の伸びが予想される。

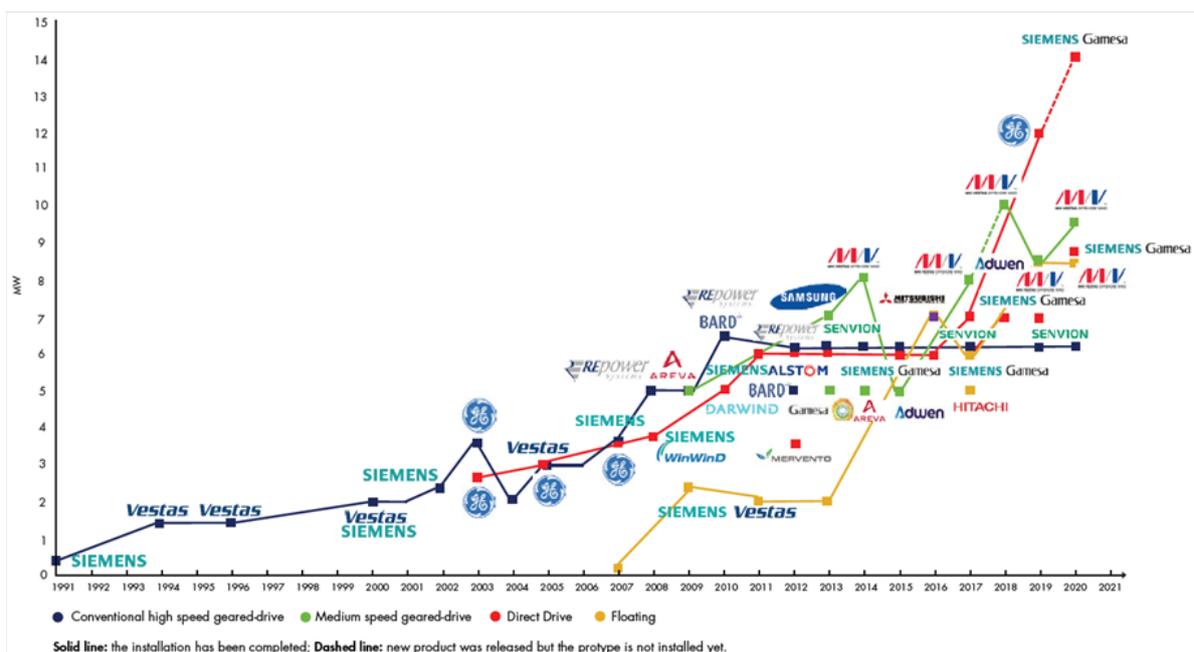


Fig. 5 洋上風車サイズ⁹⁾

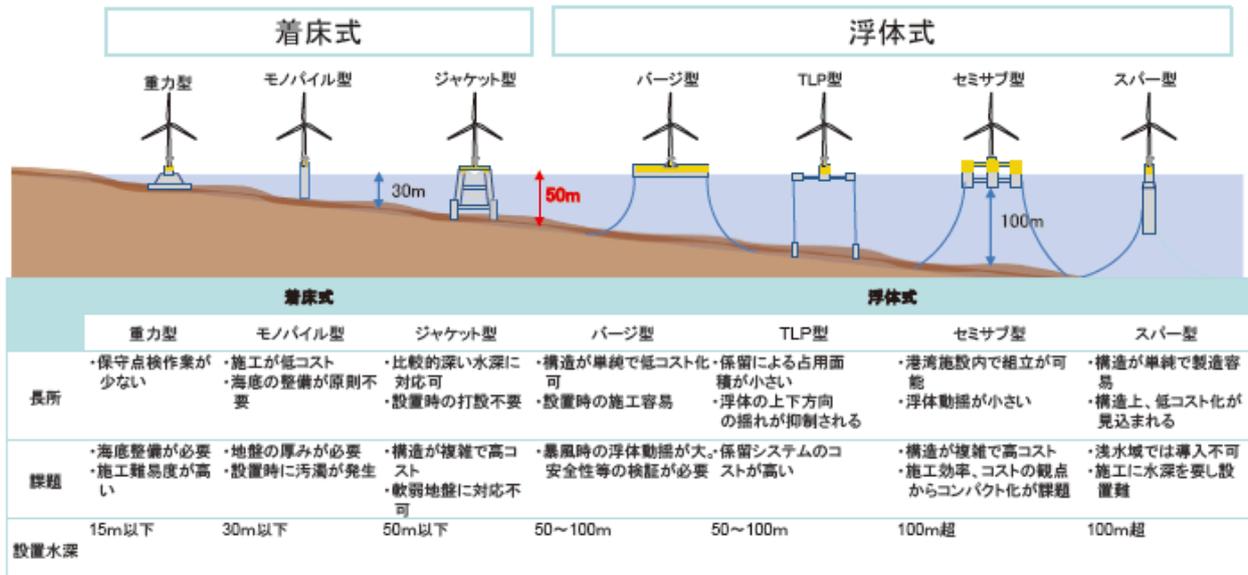


Fig. 6 洋上風車基礎・浮体形式¹⁰⁾

参考文献

- 1) Global Wind Energy Council, Global Wind Report, 2022.
- 2) IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2017, 2018.
- 3) GWEC, Global Wind Report, 2022.
- 4) Seive R, Entering the Solar Era, The Next 50 Years of Energy Generation, 2020.
- 5) JWPA, 2021.
- 6) REN21, Global Status Report, 2022.
- 7) 自然エネルギー財団, 日本における洋上風力発電導入の社会経済分析, 2022.
- 8) International Energy Agency, Offshore Wind Outlook 2019, 2019.

- 9) Global Wind Energy Council, Global Offshore Wind Report 2020, 2020.

- 10) 国土交通省, 令和4年度国土交通白書, 2023.

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)。