

■ウィンドウズ オブ Wind (風の窓)

洋上風力発電のプロジェクト・リスク

元 J W P A / A R E C (エーレック) 中尾 徹

t-nakao3103@jcom.home.ne.jp

1. はじめに

世界の洋上風力発電の導入量は、2013 年末現在、約 706 万 kW である(その内、約 94%は欧州に設置)。欧州では 1990 年にスウェーデンに世界初の洋上風力発電施設が導入されて以来、年々導入が進み、今では英国が世界の導入量の約 52%を占めている。一方、日本の導入量は約 5 万 kW と世界の約 0.7%に過ぎない。今後、日本において洋上風力発電の導入促進を図るためには、多くの課題を解決しなければならない。本小論では、課題の一つである洋上風力発電のコスト低減を取り上げ、気象・海象データという側面から風力発電事業者にとって重要な事業化リスクとの関わりについて検討を試みた。

2. 欧州と日本の洋上風力発電の取組み

イギリスの Round3 の海域あるいはドイツの主な洋上風力開発海域は、いずれも多くは排他的経済水域(EEZ)にあって水深の深い沖合海域に設定されているため、コストの上昇が見込まれている。そのため、例えばイギリス政府(DECC:エネルギー・気候変動省)は「英国,再生可能エネルギーロードマップ」で、洋上風力発電の発電原価(LCOE)を 2020 年までに £100/MWh(約 17 円/kWh)に下げる必要があるとし、その対策として「技術革新の加速」と「サプライチェーンの構築」を掲げている。また、最近ではスペインの電気・ガス供給事業の Iberdrola Renovables 社の最高経営責任者である Viteri 氏は 2014 年の EWEA2014 のパネルディスカッションで、洋上風力発電のビジネス環境は厳しいとして発電原価を 40%あるいはそれ以上の低減を目指さなければ、2020 年以降の洋上風力発電の未来はないと警告を発している。

英国、ドイツ、デンマーク等の諸国は、エネルギーの安定供給、二酸化炭素排出量の削減、産業振興・雇用促進等の観点から、洋上風力発電の導入促進に積極的に取り組んでいることはご存知の通りである。その火を絶やさないように、欧州ではこれまで洋上風力発電のコスト低減に対する具体的な方策が様々な角度から検討され、その実現に向かって走り始めている

(例:Carbon Trust, 2008;The Crown Estate, 2012 等)。英国では技術革新のメニューとして、風力発電機ではブレードのデザイン、発電効率の高い発電機、新素材、長寿命化等、支持構造物では単位 MW 当たりの資材量の減少、長寿命化等によるコスト低減、また運搬・設置では高速大容量設置技術、設置しやすい風力発電機と支持構造物の改良等、さらに O&M 関係では CMS(遠隔監視制御システム)モニタリング、全天候型アクセス船の開発等があげられている。一方、サプライチェーンでは作業船、港湾施設等のボトルネックの解消(製造拠点の造成等)、風車・コンポーネントメーカーの競争力の推進、送電インフラ建設の効率化等によるコスト低減が取り上げられている。さらに適切なリスク管理によるコスト低減も指摘されており、ドイツでは建設に伴う不測事態の軽減によって 2023 年までに最大約 3%、また、今後、建設が増え経験を積むことにより融資調達コストは最大約 10%の低減化が可能としている(Hobohm, *et al.*, 2013)。

翻って、日本では漸く 2013 年から外洋において着床式洋上風力発電の実証研究施設が稼働し始めたことから推察されるように、多くの分野において欧州の後塵を拝している。元々、欧州と比べて、日本は自然条件(海底地形の性状、風速等)も社会条件(インフラ整備、社会の認知度等)も劣っていると思われるので、洋上風力発電の導入促進を図るには何らかのインセンティブが必要である。

菊池・石原(2014)は、欧州のデータ及び NEDO の実証研究と FS データを用いてエンジニアリングモデル(構造解析等の手法による重量等のパラメータとコスト要素との関係をモデル化する手法)により洋上風力発電の建設コストを評価し、導入促進の方策について論じている。その結果、日本と欧州におけるコストの違いとして、風車や支持構造物の設置日数と港湾費を挙げ、建設コストの低減は大型作業船の数と性能向上及び港湾整備が重要であると指摘している。同じような課題は、2013 年度新エネルギー財団風力委員会による洋上風力発電の普及拡大に係る提言(SEP 船等の洋上風力発電用作

業船の開発・支援及び拠点港の選定・整備)にも取り上げられている。

また、前述の菊池・石原(2014)は、水深が60m程度の海域ではインフラ整備だけでは事業性が確保されないとして、風車の大型化、支持構造物の最適化、維持管理費の低減等によるコスト削減が必要であるとしている。これは、洋上風力発電の導入促進には、単にインフラ整備だけでなく、事業化が可能となるように、種々な方策を講じる必要があることを示唆している。

このような状況下において、我が国における洋上風力発電の投資環境を充足させるには、スケールメリットの点からも大規模導入が前提となるので、国には導入目標の設定、コスト低減に向けた技術開発、インフラ整備等の施策や支援を要望することになるのではなかろうか。一方、風力発電事業者は洋上風力発電に係る事業リスクの詳細検討を通して、コスト低減の方策について熟考を重ねることが重要であり、これは、ひいてはファイナンスコストの低減に繋がるものと思われる。

一言にリスクといっても、プロジェクトの計画から施設の撤去まで広範囲で、全ての段階に影響するものである。視点を変えれば、リスクはプロジェクトの戦略・戦術、契約者、人材、法令・手続、実績、契約等々のソフト面と、設置海域、発電電力量予測、海洋技術、故障事故、建設費、維持管理費、スケジュール等々のハード面に分けられるかもしれない。

次章では、主としてハード面に関わる基本的なプロジェクト・リスクについて、主に Ummels *et al.* (2011) の文献等を参考に、リスク低減のための課題について検討を行った。

3. リスクの抽出とその内容

洋上風力発電に係る故障事故の発生部位について、Sharma (2011)によれば、海底ケーブル関係の事故が54%を占め、その中でも建設時のアレイケーブル事故(32%)が最も多く、それ以外の部位ではブレードの故障事故とグラウチングの接続欠陥が同じ8%、その他15%とある。パワートレイン関連の故障事故は、その他に一括計上され、内容は不明であるが、Dewan (2014)によるオランダの洋上風力発電機の故障事故に関する停止時間の集計では、ブレード(34%)、発電機(32%)、増速機(21%)が主なもので、この3種類の部位で停止時間は全体の87%に達する。よって、パワートレインでは発電機と増速機の故障事故が主体で、いずれも大型機器であり、

その修繕には大型起重機船が必要になる等、事業性の不確かさの一因となる。

リスクには、上記の故障事故以外にも多くの要因があり、欧州における洋上ウィンドファームの大型化・遠距離化傾向は、ファイナンスの面からもリスクに対する評価がこれまで以上に問題視されるものと考えられる。

洋上風力発電の事業化を検討する上で、基本的に重要なものは気象(平均風速, 卓越風向, 極値風速等)及び海象(有義波高, 有義波周期, 海潮流流速等)に関する長期データである。日本においては、洋上ウィンドファームの候補海域におけるオンサイト・データが存在しない事例が多いので、風況であれば陸上の沿岸域等で測定したデータを基にシミュレーションにより沖合の風況を推定し、事業化の検討を行うケースが一般的であると推察される。

オンサイトで実測された気象・海象データが存在しないことに起因するプロジェクト・リスクについて開発計画から施設の撤去までフェーズ毎に洗い出してみた(図-1)。

以下、事業の流れに沿ってフェーズ毎にリスクの内容について概観する。

『開発計画』

①風の資源量リスク

- ・風力発電電力量の予測誤差が大きく、事業計画の不確実性が高い。
- ・ウエイクを回避するための施設のレイアウト(風車の配置)の最適化が困難である。

②機種選定リスク

- ・風力発電機に関して、現場の自然条件に適合した選定が困難である。

『エンジニアリング・設計』

①設計リスク

- ・風力発電機や支持構造物のエンジニアリングと設計が保守的(部材の肉厚増に伴う資材量の増加)に成りがちで、最適設計が困難である。
- ・アクセス装置のデザイン等に関して、現場の作業環境に合致させる最適設計が困難である。

『建設』

①工事遅延リスク

- ・工事船等の稼働率予測が不確かなため、実際には荒天待機が多くなる。
- ・現場の波浪条件を満たさない性能不足の工事船、アクセス船の配備計画となる。

②安全性リスク

- ・工事に使用する機材、人員等の最適配置計

画の作成が困難である。

③故障事故リスク

- ・ 工事中の施設の故障事故に係る発生率が過少評価となる。

『運転』

①性能保証リスク

- ・ 風力発電機、支持構造物に対する耐久性/耐候性/出力性能の予測評価が困難である。

②故障事故リスク

- ・ 施設運開後の故障事故に係る発生率が過少評価となる。

『維持管理』

①メンテ遅延リスク

- ・ メンテナンス用のアクセス船等の稼働率予測が不確かなため、実際には荒天待機が多くなる。
- ・ 現場の波浪条件を満たさない性能不足のアクセス船の配備計画、あるいは現場で風車への安易なアクセシビリティ(到達容易度; 乗り移り容易度)計画となる。

②備船リスク

- ・ 冬季における緊急時の作業船等備船計画が脆弱となる。

③安全性リスク

- ・ 維持管理に使用する機材、人員等の最適配置計画の作成が困難である。

『建替・撤去』

①リユースリスク

- ・ 支持構造物のリユースに関して、リパワーリング風車と支持構造物との連成振動予測結果の評価が困難である。

ここに記載しているリスクは、マイナス方向に作用する保守的な立場に立って検討されることが多いため、リスクに対する対応策はいずれもコスト増となって洋上風力発電事業者の負担となる(一部、契約条項で業者に転換できるものもある)。しかし、運転後に予測を上廻った発電電力量となる場合もあるかもしれないが、それは一方で、風車や支持構造物の最適設計の不備や、プロジェクト・ファイナンス、保険費用の機会損失に繋がることになる。やはり、これも最終的にはプロジェクトの利益率の低下に繋がるかもしれない。

4. おわりに

前章で取り上げたリスクの低減化を図るには、風況、波浪、海潮流等の気象・海象データ、それも洋上風車設置海域のオンサイト・データが重要なことを示した(建設時や維持管理時には使用船舶の港湾におけるデータが必要)。正

確なデータがあれば、多くのリスクを低減させることが可能で、調達価格 36 円/kWh を目標とした事業計画の検討に資することができる。しかし、海域に観測マストを設置する費用は高額であるため、民間事業者にとって自前の建設は困難である。現在、NEDO 洋上風力発電実証研究において、銚子沖と北九州市沖に観測マストが建設され、気象・海象データが取得されている。海域の気象・海象特性は、銚子沖で「夏期には台風、周年ウネリが大きい」、北九州市沖で「冬の低気圧、波浪の季節変化が大きい」と、それぞれ特長づけられている。実証研究で得られたデータは、風車や支持構造物の基本設計等に利用できると考えられるが、任意の海域のプロジェクト・リスクの検討には利用できない。やはり、それぞれの海域においてオンサイトの気象・海象データが必要である。

話は横道にそれるが、港湾域は気象・海象データが NOWPHAS 等で取得されているケースが多いことから、プロジェクト・リスクの低減を具体的に検討できる可能性が高い。港湾の立地優位性(港湾法による海域利用調整や仕組みが担保、輸送インフラ整備済み、産業集積により送電網が確保等)とは別の観点から、港湾域には洋上風力発電の導入メリットがある。

本題にもどそう。洋上風力発電は、風の資源量(ポテンシャル)が多く、再生可能エネルギーの大規模導入を可能とする有望なエネルギー資源と言われているが、その導入普及を加速させる施策が必要である。本小論では、技術部会として関係官庁に対する提言の一つとして、漁業者にとっても利用価値のある、あるいは国防の面からも意義のある「国主導で気象・海象の観測設備^{*注)}を洋上風力発電の有望導入海域に展開すること」を提案したい。

なお、リスクに関して事業者/金融関係の方々には豊富な知見を持っておられると思うので、諸兄にはお教をを乞いたいと思う。

注) 観測設備は、精度の高いデータが取得できる固定式観測塔が望ましいが高額である。欧米ではその代用あるいは深海用として浮体式風況観測システム(ドップラーライダーを装備)が既に開発・市販されている。日本でも NEDO(洋上風況観測技術開発, 新エネルギーベンチャー技術革新事業)、METI(福島沖)及び MOE(梶島沖)で洋上風況観測の研究が始まっており、動揺補正を施した高精度で低廉なシステムの開発が期待される。

【参考文献】

- Carbon Trust(2008):Offshore wind power : big challenge, big opportunity, Maximising environmental, economic and security benefits. 112pp.
- Department of Energy & Climate Change(DECC)(2011):UK Renewable Energy Roadmap. July, 2011.
- Dewan, A. (2014):Logistic & Service Optimization for O&M of Offshore Wind Farms. Master of Science Thesis, Delft University of Tecnology. Department of Aerospace Engineering, 114pp.
- Hoboham, J. , L. Krampe, F. Peter, A. Gerken, P. Heinrich and M. Richer(2013):Cost Reduction Potentials of Offshore Wind Power. FICHTNER/PROGNOS, 27pp.
- 菊地由佳、石原 孟(2014):エンジニアリングモデルを用いた着床式洋上ウインドファームの建設費の評価と実データによる検証。日本風力エネルギー学会論文集, 8pp. (投稿中)
- Radowitz, B. and C. Hopson(2014):Offshore has to cut costs by 40% or die, warns Viteri. EWEA2014, rechargenews.com.
- Sharama, J. (2011):Risk mitigation for offshore wind farms. EWEA Offshore 2011, Poster No. 58.
- The Crown Estate(2012):Offshore Wind Cost Reduction Pathways study. 74pp.
- Ummels, B. , G. Hulscher, A. Crockford and J. Coelingh(2011):Offshore Wind Project Risks: Experience, Assessment and Reduction. EWEA Offshore 2011, 10pp.

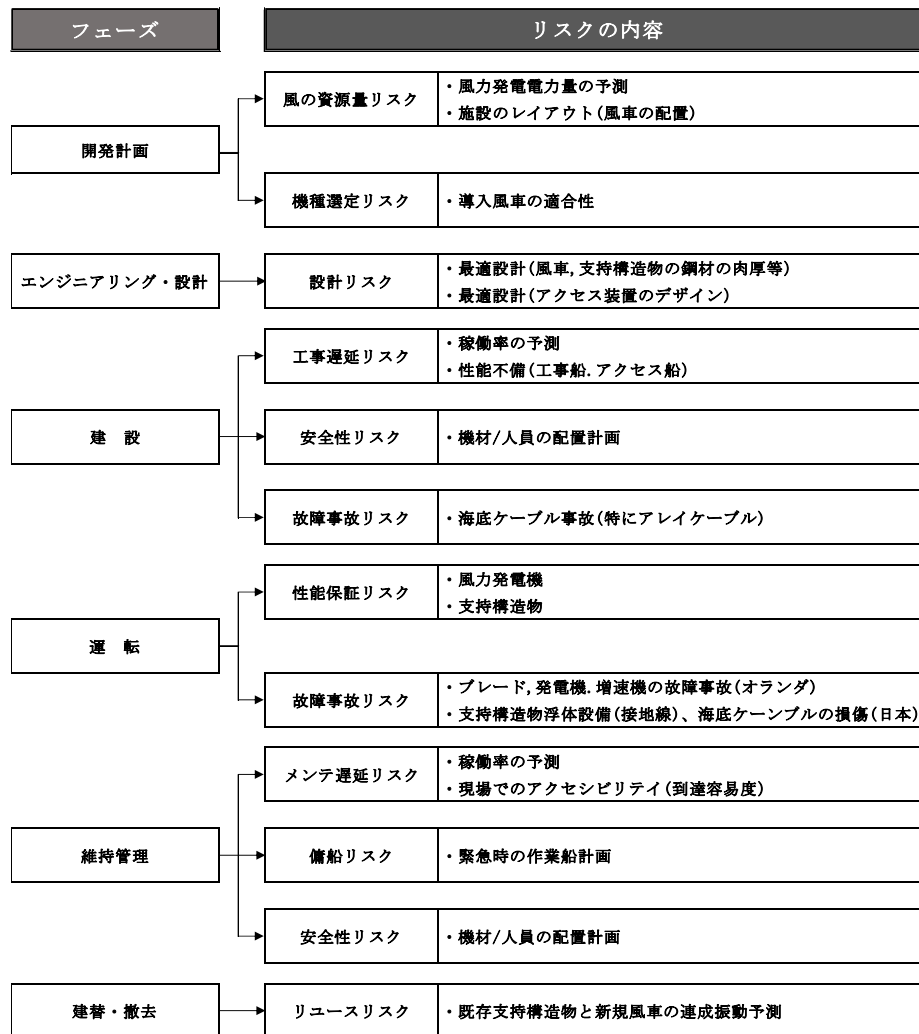


図-1 洋上風力発電のプロジェクト・リスク