

浮体式洋上風力発電施設の普及促進

安全確保のため技術基準を制定

瀧澤 尚 士

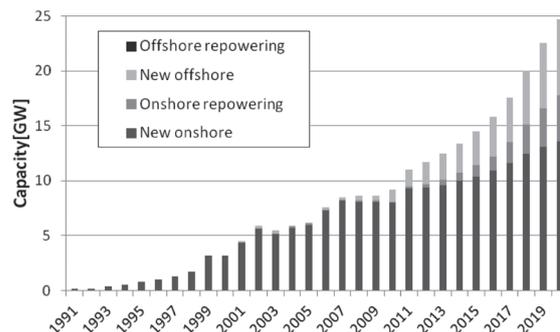
洋上における広大な空間と安定した風環境や我が国の地形上の制約から、浮体式洋上風力発電のポテンシャルは非常に大きく、今後の導入促進が期待されている。国土交通省海事局においては、浮体式洋上風力発電施設の安全確保のための検討を行い、平成24年4月、船舶安全法に基づき構造や設備の要件を定めた「浮体式洋上風力発電施設技術基準」を制定した。本技術基準の制定により、浮体式洋上風力発電施設の設計の際に必要となる技術上の要件を明確にするとともに、長崎県五島市沖の実証研究事業にも適用し、浮体式洋上風力発電施設の安全性を確保しているところである。今後は、安全ガイドラインの策定、国際標準化の主導、洋上大型風車作業船の早期実用化により、関連産業の国際競争力の強化及び浮体式洋上風力発電の普及拡大を促進する。

キーワード：洋上風力発電、浮体式洋上風力発電施設技術基準、国際標準化、安全ガイドライン、安全確保、洋上大型風車作業船

1. はじめに

風力等再生可能エネルギーについては、「新成長戦略」（平成22年6月閣議決定）において「グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」の「21の国家戦略プロジェクト」としてその急拡大が位置付けられるとともに、「エネルギー基本計画」（平成22年6月閣議決定）において、「2020年までに一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合について10%に達することを目指す」という目標が定められている。また、「東日本大震災からの復興の基本方針」（平成23年7月29日）において風力発電等再生可能エネルギーの導入を促進することとされており、「日本再生戦略」（平成24年7月31日閣議決定）においても洋上風力を中心とした技術開発を加速することとされ、風力発電の導入促進に大きな期待が寄せられている。

特に、洋上は、広大な空間と安定的な風力エネルギーがあること、岸から離れるため騒音の問題が少ないこと、道路等の制約を受けないために大型風車の運搬・設置も容易であること、大電力消費地の近くに建設可能なため、強い電力系統への接続が容易であること等のメリットがある。このため、風力発電事業の大規模化（以下、ウィンドファームという）が陸上と比べて容易となり、欧州を中心に急速に洋上風力発電施設が

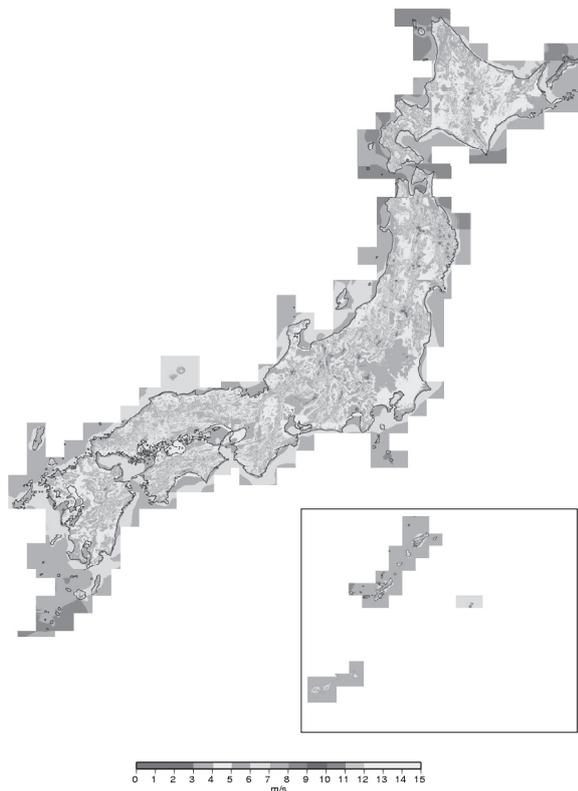


図—1 New annual EU wind energy capacity (1991-2020) ¹⁾

普及拡大していくことが見込まれている（図—1）。

我が国においても、近年の風力発電施設の大規模化や風力発電事業の大規模化等により、陸上における風力発電事業の適地の確保が難しくなっており、ウィンドファームの新たな適地として洋上が注目されている。また、平成24年7月より「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」（再生可能エネルギーの固定価格買取制度）が施行されることで、今まで以上に、洋上における風力発電の事業ニーズが高まることが想定されている。

特に、我が国においては遠浅の海域が少ない等地形上の制約から、着床式洋上風力発電に比べ浮体式洋上風力発電のポテンシャルは非常に大きい（図—2）。我が国の海域では、漁場や航路等の社会的制約を考慮しない場合、浮体式洋上風力発電は着床式洋上風力発



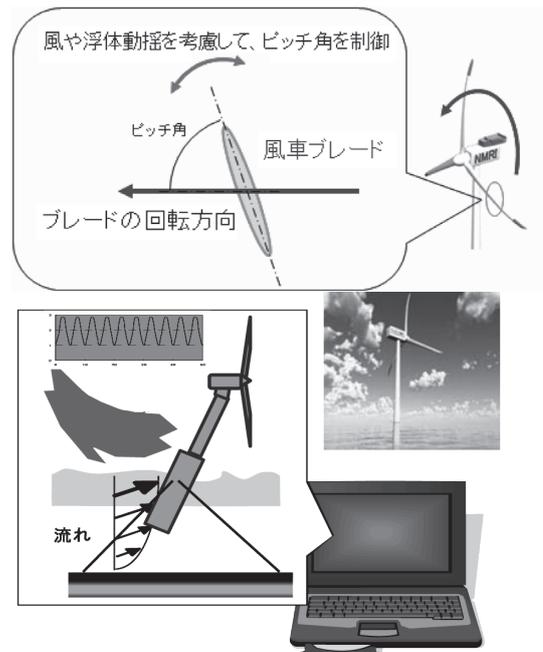
図一 2 洋上風力発電のポテンシャルと有望海域（局所風況マップ³⁾より作成。推計条件を年平均風速 7 m/s 以上、水深 0-200 m、離岸距離を 30 km までとした）

電の約 5 倍の総発電能力を持つと試算されている²⁾。それを実証するため、我が国では、長崎県五島市沖や福島県沖で浮体式洋上風力発電施設の実証研究事業が行われている。

このような環境の下、国土交通省海事局においては洋上風力発電施設の普及促進に向けて、浮体式洋上風力発電施設の安全確保や洋上大型風車作業船の早期実用化のための検討を行っており、本稿では、これらの取り組みについて紹介する。

2. 浮体式洋上風力発電施設の安全性に関する研究開発

浮体式洋上風力発電の普及拡大のためには安全の確保が不可欠であるが、浮体式洋上風力発電施設は海上に浮遊しており、支持構造、動揺、漂流等の有無等が陸上又は海底に基礎のある風力発電施設とは全く異なるばかりでなく、我が国は台風、地震、津波等他国とは異なる外部条件を有している。したがって、我が国特有の状況を踏まえ、浮体式風力発電特有の動揺の解析方法、制御方法の開発、地震、津波、船舶衝突、係留破損等非常時の安全確保について検討する必要がある（図一 3）。さらに、「日本再生戦略」の工程表にお



図一 3 浮体式風力発電システムの動揺制御技術イメージ⁴⁾

ける「再生可能エネルギーの普及拡大・産業化」の具体的な取り組みとして、安全の確保等を図るための研究開発支援が明記されており、政府の方針としても安全確保のための検討が重要とされている。

このため、国土交通省では有識者、関係事業者、関係省庁等からなる委員で構成される浮体式洋上風力発電施設の安全性検討委員会を平成 23 年 8 月に設置し、浮体式洋上風力発電施設特有の課題である漂流、転覆・沈没等、浮体・係留設備の安全性に関する技術的検討を行っている。

3. 浮体式洋上風力発電施設技術基準の制定

浮体式洋上風力発電施設は、浮体構造物の上に風力発電機等を搭載し、所定の位置に係留して発電を行う施設であり、浮体構造物は造船技術を応用して建造される海洋構造物の一種である。

海洋構造物は石油掘削リグ等として用いられているが、その技術基準は国連の専門機関である国際海事機関（IMO）にて世界統一的な基準が制定されている。一方、陸上風力発電施設や着床式洋上風力発電施設に関しては、国際電気標準会議（IEC）において国際基準が制定されている。

このため、海洋構造物に関する IMO の技術基準及び風力発電施設に関する IEC 規格をベースとし、また、浮体式洋上風力発電施設が遭遇し得るリスクについて評価を行い、その安全確保に必要な要件をとりまとめ、平成 24 年 4 月 23 日、船舶安全法に基づき「浮体式洋

上風力発電施設技術基準」を制定した。

本技術基準については、長崎県五島市沖の実証研究事業や福島県沖で実施予定の世界初の浮体式洋上ウィンドファームの事業化に向けた実証研究事業における浮体式洋上風力発電施設に対しても適用し、安全を確保することとしている。

なお、その構成については表一1、主要なポイントの概略については以下のとおりである。

【構造、強度について】

- ①通常の風、波浪のほか、50年間に1度起こりえる暴風、波浪に堪える構造及び強度を有すること。また、地震、津波等を考慮するとともに、浮体構造物と風車支持構造物（タワー）に作用する荷重の連成や風車の翼角制御に伴う浮体構造物の動揺励起を考慮すること。
- ②十分な疲労強度を有すること。
- ③設計上の使用期間を踏まえた適切な腐食対策を講じること。
- ④風や波浪により転覆しないこと（十分な復原性を要請すること）。
- ⑤想定される損傷範囲を設定し、その損傷範囲内において1区画浸水でも浮力、復原性を確保するための構造とすること。

①の要件は、陸上風力発電施設で外力として考慮される風荷重のほか、浮体式洋上風力発電施設として考慮しなければならないものとして、波荷重、波により浮体構造物に作用する荷重と風により風力発電施設からタワーに作用する荷重の連成及び風力発電施設の翼角制御に伴う浮体構造物の動揺励起を規定している。

③の要件は、船舶は一定の期間ごとに造船所にて修繕、メンテナンスを行うのが通例であるが、沖合に設置される浮体式洋上風力発電施設は、一定期間毎に造船所に移動させ、修繕、メンテナンスを行うことが困難であることを考慮し、同様の環境にある海洋構造物の基準をベースに規定したものである。

④及び⑤の要件も浮体式洋上風力発電施設特有の要件として、海洋構造物の基準をベースに規定したものである。特に⑤の要件については、昨年11月ノルウェーの試験機 SWAY が悪天候により電力ケーブル引込みパイプから内部に浸水し沈没した事故を踏まえて、規定したものである。

【係留システムについて】

- ①係留ラインの強度及び疲労強度、海底係留点（アンカーなど）の保持力に対し、安全率を設定。係留ライン1本破断した場合でも1以上の安全率を有すること。

表一1 浮体式洋上風力発電施設技術基準の構成

第1編 総則	第3章 位置保持システム
1. 適用	1. 一般的事項
2. 定義	2. 係留システム
3. 特殊な構造及び設備等	3. 係留解析
第2編 技術基準	4. 係留ライン等の設計
第1章 外部条件	5. 係留機器
1. 外部条件	第4章 設備に関する規則
2. 風条件	1. 艀装等
3. 海象条件	2. 機関に関する設備
4. その他の環境条件	3. 電気に関する設備
第2章 構造に関する規則	4. 防火措置及び消防設備
第1節 材料	5. 昇降設備
1. 使用材料	6. 回転翼航空機着船設備
第2節 荷重	7. その他
1. 一般的事項	第5章 復原性
2. 荷重	1. 一般的事項
3. 設計荷重及び荷重ケース	2. 風による傾斜モーメント
4. 荷重計算	3. 非損傷時復原性
第3節 構造設計	4. 損傷時復原性
1. 一般的事項	
2. 構造配置	
3. 全体強度解析	
4. 構造部材の寸法	
5. 疲労強度	
6. 防しよく措置及び腐食予備厚	

②アンカーチェーンについては、摩耗及び腐食に対する適切な予備代を有すること。

浮体式洋上風力発電施設において、係留システムは極めて重要である。係留が外れ、施設が漂流することになれば、付近を航行する船舶に危険を及ぼすことになり、また、大規模に設置されるウィンドファームにおいて施設の漂流が発生すれば、隣接する施設への衝突から連鎖的な漂流を生じさせることになり、大規模な事故につながる事が考えられる。

このため、係留システムの安全確保は極めて重要であり、長年の実績に裏打ちされた石油掘削リグ等の海洋構造物の基準をベースに規定した。

①については、係留ラインの最大張力に対して安全率を要求するもので、通常の係留ラインが健全である場合に加え、係留ラインが1本破断した場合でも施設の漂流を防ぐため、1以上の安全率を要求している。

②については、海水による腐食や海底接触点における摩耗を考慮し、使用期間を踏まえた適切な予備代を要求するものである。

4. 今後の取り組みについて

(1) 浮体式洋上風力発電施設における今後の取り組み

制定した技術基準は、浮体式洋上風力発電施設単体の安全確保のために求められる性能要件を規定しており、それを満足する手法については事業者委ねられているところである。また、「日本再生戦略」の重点施策においても、洋上風力発電施設の実用化・事業化のために安全ガイドラインの策定等の制度・環境整備を行うこととされているところである。そのため、今後は、船舶の衝突、係留索の破断、漂流等非常時の安全確保の検討を行うとともに、浮体式洋上風力発電施設を的確な安全性と合理性をもって設計出来るよう、技術基準を満たすための具体的な設計手法の指針をまとめた「安全ガイドライン」についての検討を行っていくこととする。

具体的には、例えば「50年間に想定される最大風速に耐えること」という技術基準に対して、安全ガイドラインでは「収集すべき気象データの種類、風の影響を評価するために使用可能な計算プログラム、安全性を確保するための実験の方法」等を定めることとしている。また、経済産業省の浮体式洋上ウィンドファーム実証事業、環境省の浮体式洋上風力発電実証事業の成果も踏まえ、平成25年度までに「安全ガイドライン」を策定し、我が国における浮体式洋上風力発電施設の

普及に向けた安全面の環境整備を行うこととしている。

さらに、前述の通り、陸上風力発電施設及び着床式の洋上風力発電施設については既にIECで国際標準が制定されているものの、浮体式洋上風力発電施設についてはまだ国際標準が存在しておらず、昨年9月よりIECにおいて国際標準化に向けた検討が行われているところである。このため、今般制定した技術基準を基に、浮体式洋上風力発電施設の国際標準化を我が国が主導し、関連産業の国際競争力の強化を図ることとしている。

(2) 洋上大型風車作業船の早期実用化

風力発電施設はその経済的効率性のために年々大型化しており、特に洋上においては輸送上の制約等が陸上に比べて小さいこと等から、洋上風力発電施設は今後5MW以上が主流となってくるものと見込まれる。5MWの風力発電施設の回転翼の直径(130m)は一般的な観覧車の直径(葛西臨海公園の観覧車の直径112m)よりも大きく(図-4)、その設置・メンテナンスのためにはその大きさに対応しうる専用の作業船が必要となる。

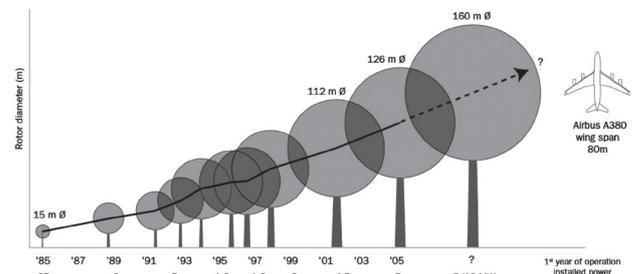


図-4 風車の定格出力及び回転翼直径の変遷、航空機・建築物との大きさ比較⁵⁾

また、洋上大型風車の設置・メンテナンスの費用はライフサイクルコストの約4割を占めるため、風力発電施設のウィンドファームには、大型の風力発電施設を安全かつ効率的に洋上に設置・メンテナンスすることが可能な作業船が不可欠である。

しかしながら、洋上で大型の風力発電施設を組立、設置、メンテナンス可能な作業船はほとんど存在しておらず、世界各国において洋上風車作業船の検討が行われているのが現状である。

このため、洋上大型風車作業船の課題を解決し、早期実用化を図ることが洋上風力発電施設の普及拡大に必要である。

我が国は外洋に面していることから、波のうねりの周期が長く、作業船の船体動揺が増幅される傾向にあ

るなどの特徴がある。我が国において洋上大型風車作業船を早期実用化するためには、我が国の外洋上の厳しい気象・海象条件と深海域での作業を考慮した課題の抽出・整理、克服のための技術的検討等が必要である。例えば、次に掲げるような事項について検討を行うことが必要となってくるものと考えられる。

○位置保持性能の確保

大水深での作業に対応できる位置把握情報精度の確保、船体昇降用ジャッキ等の位置保持性能の検討。

○設置・メンテナンス方法

洋上風車の組立場所、設置場所への輸送方法、メンテナンス方法、設置・メンテナンスの際の風車や作業船への荷重・動揺の検討。

○風車へのアクセス方法

動揺している洋上大型風車へ安全・迅速に乗り移るための方法や装置の検討。

これらの検討を環境省と連携して行い、得られた知見を公表することにより、我が国における洋上大型風車作業船の実用化を促進していく予定としている。

5. おわりに

本稿では、国土交通省海事局が取り組んでいる洋上風力発電の普及拡大に向けた環境整備について紹介した。今後も洋上風力発電の普及拡大のために、関係省庁と連携しつつ、洋上風力発電の普及拡大を推進していくこととしている。

JCMMA

《参考文献》

- 1) EWEA, Pure Power Wind energy targets for 2020 and 2030, 2009
- 2) NEDO, 局所風況マップ, 2003
- 3) NEDO, NEDOにおける風力発電技術開発について, 2010
- 4) 海上技術安全研究所, <http://www.nmri.go.jp/>
- 5) EWEA, Prioritizing Wind Energy Research, Strategic Research Agenda of the Wind Energy Sector, 2005

【筆者紹介】

瀧澤 尚士（たきざわ ひさし）
国土交通省
海事局 総務課 技術企画室
国土交通技官



平成 24 年度版 建設機械等損料表 発売中

■内 容

- ・国土交通省制定「建設機械等損料算定表」に基づいて編集
- ・機械経費・機械損料に関係する通達類を掲載
- ・損料積算例や損料表の構成等をわかりやすく解説
- ・各機械の燃料（電力）消費量を掲載
- ・主な機械の概要と特徴を写真・図入りで解説
- ・主な機械には「日本建設機械要覧（当協会発行）」の関連ページを掲載

■ B5判 約 680 ページ

■ 一般価格

7,700 円（本体 7,334 円）

■ 会員価格（官公庁・学校関係含）

6,600 円（本体 6,286 円）

■ 送料（単価） 600 円（但し沖縄県を除く日本国内）

注 1) 複数冊発注の場合は送料単価を減額します。

注 2) 沖縄県の方は一般社団法人沖縄しまたて協会（電話：098-879-2097）にお申し込み下さい。

一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>