

浮体式洋上風力発電施設技術基準・安全ガイドラインの改正について

国土交通省 海事局 安全政策課
海洋・環境政策課



はじめに

再生可能エネルギーの主力電源化が期待される中、周辺に遠浅の海域が少ない我が国においては、水深の深い海域に適した浮体式洋上風力発電の商用化に向け、産学官を挙げた取組が進められている。

国土交通省海事局（以下、「海事局」という）では、浮体式洋上風力発電施設の建造・設置等のコスト低減を通じてその導入拡大に資するため、本年3月に浮体式洋上風力発電施設の安全性を確保するための設計要件等を規定する「浮体式洋上風力発電施設技術基準」（以下、「技術基準」という）及び、実設計者が実務的に適用できる技術的解決策を体系的に提供する「浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン」（以下、「安全ガイドライン」という）の改正を行い、一定の条件下で従来よりも簡素な構造を認めることができるようにした。

海事局では、技術基準を国際標準等に準拠し、また新たな知見を国際標準等に積極的に提案し、それらによって世界最先端の知見を取り入れることが可能となるとともに、市場の拡大にもつながり、高い安全レベルを確保しつつ、コスト低減を実現できると考え、取り組んでいる。本稿においては、改正の主な内容を解説するとともに、浮体

式洋上風力発電施設の導入拡大に向けた海事局の取組について紹介する。

なお、今般改正した技術基準及び安全ガイドラインは国土交通省ホームページ（https://www.mlit.go.jp/maritime/maritime_fr6_000006.html）にて公開しているので、参照されたい。



背景

四方を海で囲まれ、世界でも有数の広さの排他的経済水域を有する我が国においては、再生可能エネルギーの普及に当たり、洋上風力発電施設の導入拡大が期待されている。

洋上風力発電施設には、大きく分けて、海底の基礎構造物に風車を固定する「着床式」と、洋上に浮かぶ浮体構造物に風車を設置する「浮体式」の2つの形式がある。現在のところ、欧州を中心とした国内外で設置済み、あるいは設置が計画されている洋上風力発電施設は、着床式が大部分を占めているが、欧州と異なり、急峻な地形が多く遠浅の海域が少ない我が国周辺の海域においては、水深の深い海域への設置に適した浮体式が注目されている。また、既に浅海域における着床式の設置が進んでいる欧州においても、洋上風力発電の更なる拡大に向けて、浮体式への期待が急速に高まってきている。

浮体式は陸から離れた場所に設置でき、陸上や

沿岸に設置する場合と比較して一般に良い風況が得られることや、発電容量の大きな風車の設置に有利である等のメリットがある一方、現状は実績に乏しく、建造・設置・維持管理のコストが割高である等、商用化に向けた課題も存在している。

これらの課題の解決に向け、これまで、我が国においては福島県沖や長崎県五島市沖、福岡県響灘で、また、海外においてはノルウェー、イギリス、フランス、ポルトガル等において実証事業が行われ、複数基からなるウィンドファームを含めて実績が積み重ねられてきた（図－1）。

さらに、一層の低コスト化など商用化に向けた取組の一環として、実証の成果等を踏まえた新しいコンセプトが国内外で提案されているほか、関

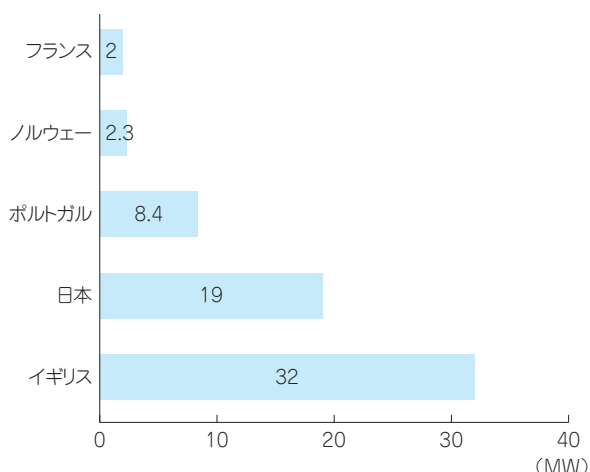
連する研究開発などが活発化してきている。

そのような中で、我が国においては、昨年4月に施行された「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」（平成30年法律第89号。以下、「再エネ海域利用法」という）に基づく促進区域として、昨年12月に浮体式に適した海域である長崎県五島市沖が指定されるなど、世界に先駆けて商用化に向けた取組が進捗しつつあるが、更なる導入拡大に向けては、建造・設置・維持管理のコストの一層の低減が求められる（図－2）。

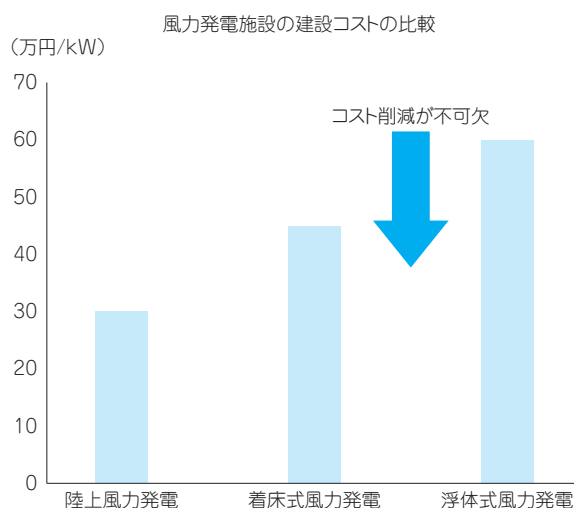
3 技術基準の位置付けと改正経緯 (海事局のこれまでの取組)

浮体式洋上風力発電施設は、船舶安全法（昭和8年法律第11号）における「特殊な構造又は設備を有する船舶」と位置付けられており、同法に基づく技術基準は浮体式洋上風力発電施設の支持構造物（タワー、浮体施設）及び係留系設備に対して適用される（図－3）。

海事局は、技術基準を平成24年4月に、安全ガイドラインを平成26年3月に策定した。これは、当時のエネルギー基本計画においても再生可能エネルギーの導入促進が政策の方向性として位置付けられていたことに加え、東日本大震災以降の状況から、国内において世界に先駆けた浮体式洋上風力発電施設の実証研究事業を開始する機運



図－1 各国の浮体式洋上風力発電施設の導入実績（海事局調べ）



図－2 浮体式洋上風力発電施設に係るコスト（海事局試算）

浮体式洋上風力発電施設は、船舶安全法の「特殊船」に該当

○船舶安全法施行規則（昭和38年運輸省令第41号）（定義）

第一条（略）

2・3（略）

4 この省令において「特殊船」とは、原子力船（原子力船特殊規則（昭和四十二年運輸省令第八十四号）第二条に規定する原子力船をいう。以下同じ。）、潜水船、水中翼船、エアクッション艇、表面効果翼船（海上衝突予防法施行規則（昭和五十二年運輸省令第十九号）第二十一条の二に規定する表面効果翼船をいう。以下同じ。）、海底資源掘削船、半潜水型又は甲板昇降型の船舶及び潜水設備（内部に人員をとる載るものに限る。以下同じ。）を有する船舶その他特殊な構造又は設備を有する船舶で告示で定めるものをいう。

○船舶安全法施行規則第一条第四項の特殊な構造又は設備を有する船舶を定める告示（昭和55年運輸省告示第56号）

船舶安全法施行規則第一条第四項の告示で定める特殊な構造又は設備を有する船舶は、次のとおりとする。

一～三（略）

四 浮体式洋上風力発電施設

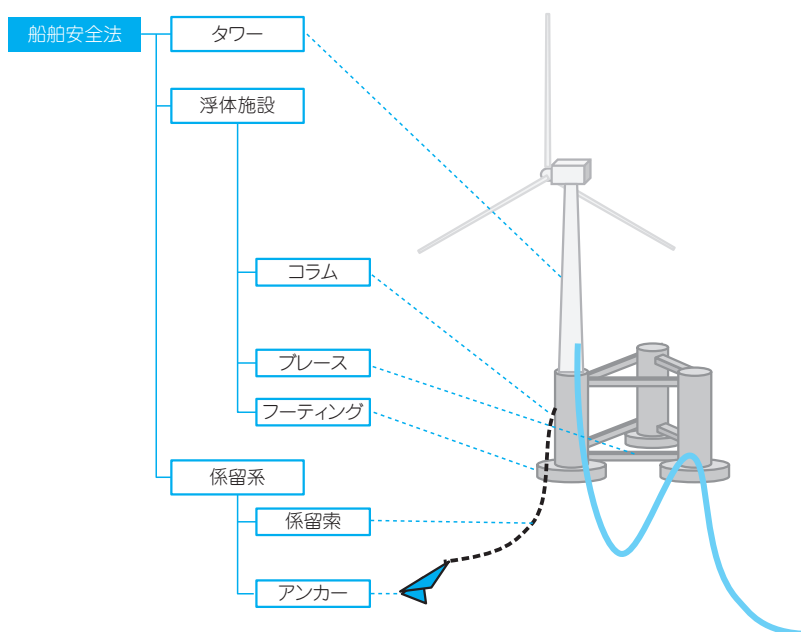


図-3 浮体式洋上風力発電施設のコンポーネント例（セミサブ型の場合）と船舶安全法の適用範囲

が高まったことから、その安全な実施を担保し、実海域において実証事業を行うための環境整備への要請を受けたものである。技術基準・安全ガイドラインは、船舶安全法の検査を代行可能な民間審査機関である一般財団法人日本海事協会のガイドラインに反映され、実証事業において活用されている。

その後、実証事業により技術的知見が蓄積されるとともに、商用化に向けた研究開発等が進められたことを踏まえ、海事局では、浮体式洋上風力発電施設の建造・設置・維持管理に係るコスト低減を視野に、安全性を維持しながら浮体施設や係留系設備の簡素化を実現する安全設計・評価手法を確立するための検討を、平成30年度より開始した。これらの検討は、産学の有識者等から構成される「浮体式洋上風力発電施設の安全性評価手法等検討会」（以下、「検討会」という）により実施しており、今般の技術基準・安全ガイドラインの改正は、令和元年度までの検討会での検討内容を踏まえたものである。

また、電気・電子関連技術の国際標準化団体である国際電気標準会議（IEC：International Electrotechnical Commission）において、国際標準の策定に係る取組が進められており、平成31

年4月に浮体式洋上風力発電施設の設計要件に係る技術仕様書である IEC TS 61400-3-2 が新規発行された。IEC TS 61400-3-2 の検討に当たっては、技術基準・安全ガイドラインの検討や実証事業で得た知見を踏まえて、我が国の産学官が連携して積極的な貢献を行った。

また、平成31年4月には、着床式の設計要件に係る国際標準である IEC 61400-3-1 の改正が行われており、今般の技術基準・安全ガイドラインの改正には、これら国際標準の改正等も反映している。

なお、再エネ海域利用法の施行を受け、本年3月に経済産業省と国土交通省が策定・公表した「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説（改定版）」は、改正後の技術基準・安全ガイドラインと整合しており、浮体式洋上風力発電施設の支持構造物の設計に関する詳細な規定は、技術基準・安全ガイドラインを参照することとなる。

4 主な改正内容

今般の改正においては、浮体施設の区画分割に係る要件を緩和することで簡素な設計を実現可能とする「(1)損傷時復原性に係る代替要件の導入」

と、最新の国際標準の改正等を踏まえた「(2)国際電気標準会議（IEC）における国際標準の改正等の反映」を実施した。

それぞれの内容について、以下に詳述する。

(1) 損傷時復原性に係る代替要件の導入

技術基準では、浮体式洋上風力発電施設に対して、浮体施設内部に隔壁を設けて複数区画に分割することで、周辺を航行する船舶の衝突や係留系取付部の損傷等により外板が損傷して浮体内部に浸水が生じた際にも転覆しないこと（損傷時復原性の確保）を要求している。

具体的には、水面（計画喫水線）の上方 5.0 メートルから下方 3.0 メートルの外板を含む範囲（①）及び係留系からの反力を受ける箇所や、海底ケーブルの引き込み箇所等、浸水のおそれがある箇所（②）に水密性を有する区画を設け、①はそのうちの 1 区画に浸水、②は当該区画に浸水が生じた状態で風や波による動揺を受けても転覆しないことが求められる。

これは、浮体の転覆から漂流に至ることを防ぐなど、浮体式洋上風力発電施設の安全確保のために重要な要件であるが、一方で、浮体の型式によっては、浮体施設の構造が複雑になるとともに、浮体内部の作業員の交通等に用いるスペースが狭くなるなど、コストや運用の効率性等の面で課題ともなっていた。

また、浮体式洋上風力発電施設は、外板の損傷につながるような船舶の航行が少ない海域に設置

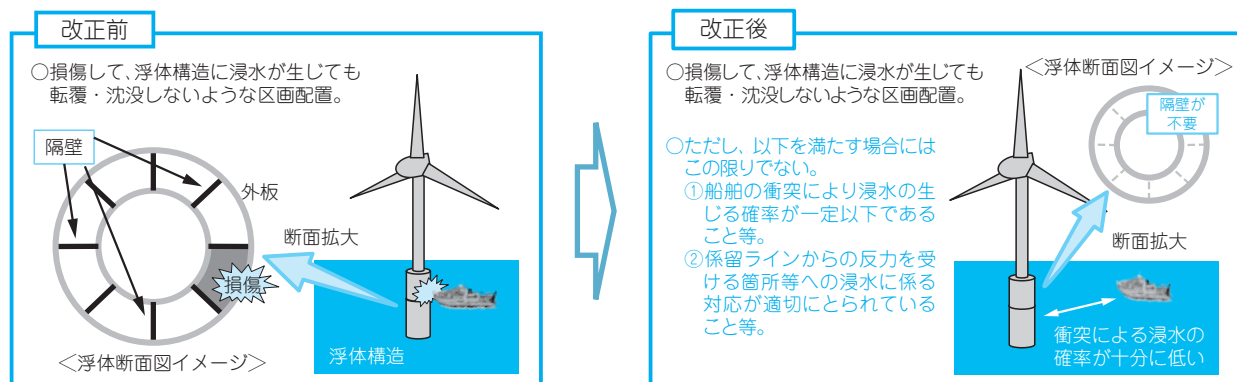
されることが想定され、係留系取付部等についても代替策が考え得るところ、IEC TS 61400-3-2 においても、人命の安全が確保され、大規模な海洋汚染や他の隣接する施設への衝突が回避されるとともに、復原性の喪失とそれに伴う構造全損の結合確率が構造の健全性の評価に用いる安全レベルに対応する損傷確率を超えない場合においては、損傷時復原性を考慮しなくても差し支えないこととされている。しかしながら、現行の IEC TS 61400-3-2 では、実際に損傷時復原性の確保を緩和する際に必要となる具体的な条件や評価方法が定められていない。

これらの状況を踏まえ、海事局では、検討会において、これらの具体的な条件や評価方法の検討を行った。

今般の改正はその検討結果を踏まえたものであり、新たに損傷時復原性に係る代替要件を設け、従来どおり浮体内部に隔壁を設けるか、又は新設の代替要件（図－4「改正後」の①、②を参照）を満たすかのいずれかを選択可能とした。

〈水面（計画喫水線）付近の隔壁設置に係る代替要件〉

検討会においてリスク評価を実施したところ、計画喫水線の上方 5.0 メートルから下方 3.0 メートルの外板を含む範囲における 1 区画浸水については、製造時の品質管理及び周辺を航行する船舶の衝突による影響が支配的であるとされたことから、隔壁設置に代替する要件として次の 2 点を設



図－4 損傷時復原性に係る改正（代替要件の導入）の概要

定し、これらを満足した場合に浮体内部の隔壁設置を不要とすることとした。

- 浮体式洋上風力発電施設の周辺を航行する船舶の衝突に起因する復原性喪失による構造全損の1年当たりの確率が 1×10^{-4} 以下※であることを確認すること
- 浮体の製造に関して、(船舶検査に加えて)ISO 9001等に基づく組織的な品質管理を行うこと

※ 海洋浮体構造物において広く用いられている国際規格^[1]等において、常時有人でない構造物の年間構造全損の確率については、 1×10^{-4} 程度とすることが一般的であることを踏まえ、検討会での議論を経て 1×10^{-4} とした。

ここで、構造全損の1年当たりの確率が 1×10^{-4} 以下であることを確認するための評価手順を図-5に示す。詳細な手順については、安全ガイドラインの付録5「周辺を航行する船舶の衝突による構造全損の確率の評価方法」に、長崎県五島市沖を例とした試算結果とともに収録しているので、参照されたい。

本手順においては、最初に、設置海域周辺における過去1年間のAIS(自動船舶識別装置: Automatic Identification System)の情報をを用いて浮体施設近辺を航行した船舶を特定する(STEP1)。

次に、当該結果から、浮体施設への船舶の衝突確率を算出する(STEP2)。

STEP2で算出した確率が 1×10^{-4} を下回る場合には、その時点で代替要件への適合が判断できるが、下回らない場合は、当該船舶が衝突した場合に破口が生じるか否かについて、安全ガイドラインに記載しているグラフに照らし合わせる等により評価し、破口を生じさせる船舶の衝突確率を算出する(STEP3)。

STEP3でも 1×10^{-4} を下回らない場合は、必要に応じて防舷材の設置などの追加対策を検討し、当該対策の効果を踏まえてSTEP3と同様に破口が生じる確率を算定する(STEP4)。

なお、浮体式洋上風力発電施設をウィンドファームとして大規模に展開した場合においても、当該ウィンドファームを構成する各々の浮体施設について構造全損の1年当たりの確率の評価を行うことを原則とする。

ただし、既に計算された浮体施設に係る確率と周辺の船舶航路等を考慮して、当該ウィンドファーム内の他施設に係る構造全損の1年当たりの確率が 1×10^{-4} 以下であることが明らかである場合は、当該他施設に係る確率の算定を省略することができる。

〈係留系取付部や海底ケーブルの引き込み箇所に係る隔壁設置の代替要件〉

次に、係留系からの反力を受ける取付部や海底ケーブルの引き込み箇所等の浸水のおそれがある

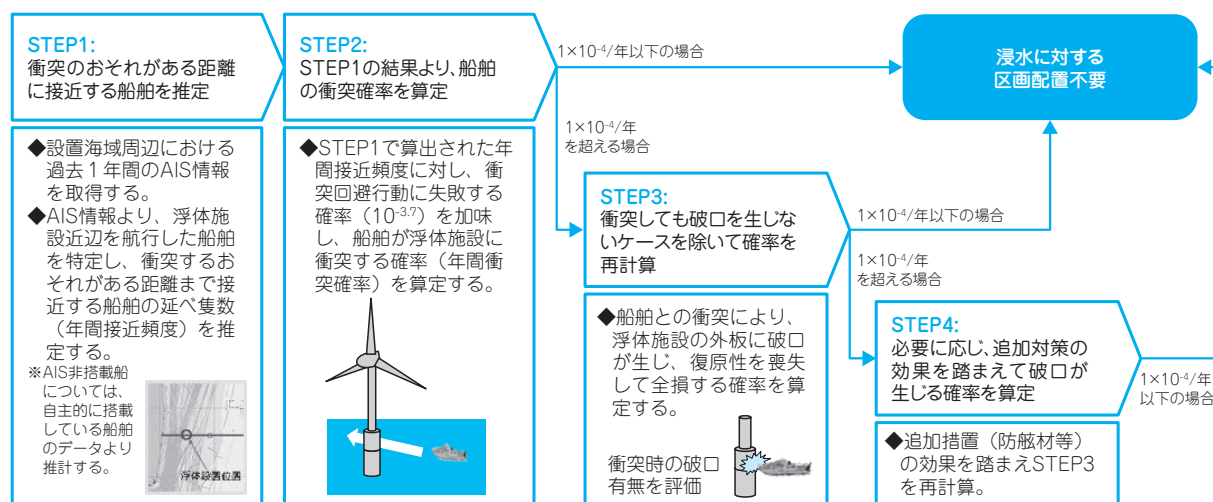


図-5 構造全損の1年当たりの確率を確認するための対応例

箇所については、浸水を防止するための措置等が
 適当と認められる場合に隔壁設置をしなくてもよ
 いこととした。

具体的には、浮体施設の強度向上やウィークリ
 ンクの設置等により、係留系取付部の強度が係留
 索の強度よりも高くなることを担保するなど、浸
 水を防止するための措置が適切に講じられている
 ことが確認された場合が該当する。例えば、実際
 に選定された係留索の破断強度（係留系の安全率
 も考慮に入れる）に相当する力が浮体施設の係留
 系取付部に働くこととした場合の構造解析を行
 い、応力により係留系取付部が破口に至らないこ
 とを確認する。

〈共通の留意事項〉

上記いずれの代替要件を適用する場合において
 も、他の施設と近接しているなど特殊な場合は、
 それぞれの場合に応じ、追加で影響評価を行うこ
 ととしている。

(2) 国際電気標準会議（IEC）における国際標準 の改正等の反映

3.で述べたとおり、平成31年4月にIEC
 61400-3-1の改正及びIEC TS 61400-3-2の新規
 発行が行われた。

IEC 61400-3-1は着床式に関する標準である
 が、IEC TS 61400-3-2において、設計に用いる
 基本的な環境条件など共通する要件はIEC
 61400-3-1を参照する形が取られているため、技
 術基準・安全ガイドラインにおいてもIEC TS
 61400-3-2と併せてIEC 61400-3-1を参照してい
 る。

今般、これらの最新の国際標準等を技術基準・
 安全ガイドラインに反映する改正を行った。

具体的には、IEC 61400-3-1の改正では、シミュ
 レーション技術の動向や産業実態を踏まえ、設
 置海域の気象海象シミュレーション手法や、当該
 シミュレーションを基にして風力発電施設に掛か
 る負荷を解析評価する設計荷重ケースが一部見直
 されたため、技術基準にこれを反映した。また、

IEC TS 61400-3-2の新規発行により、浮体式に
 特有の設計荷重ケースが追加されたため、一部を
 技術基準に反映し、浮体や係留の損傷等に伴う設
 計荷重ケースについては、その取り入れに当たり
 追加の検討が必要となるため、安全ガイドライン
 に参考情報として記載した。

なお、これらの設計荷重ケースについては、国
 内規格（JIS）への取り込み状況やIEC TS
 61400-3-2の国際標準化（International Standard）
 に向けたIECにおける議論の進展などを踏まえ
 て、今後改めて設定する期限までの当分の間（本
 年3月から起算して2～3年間程度を想定）、改
 正前の基準によることができることとしている。

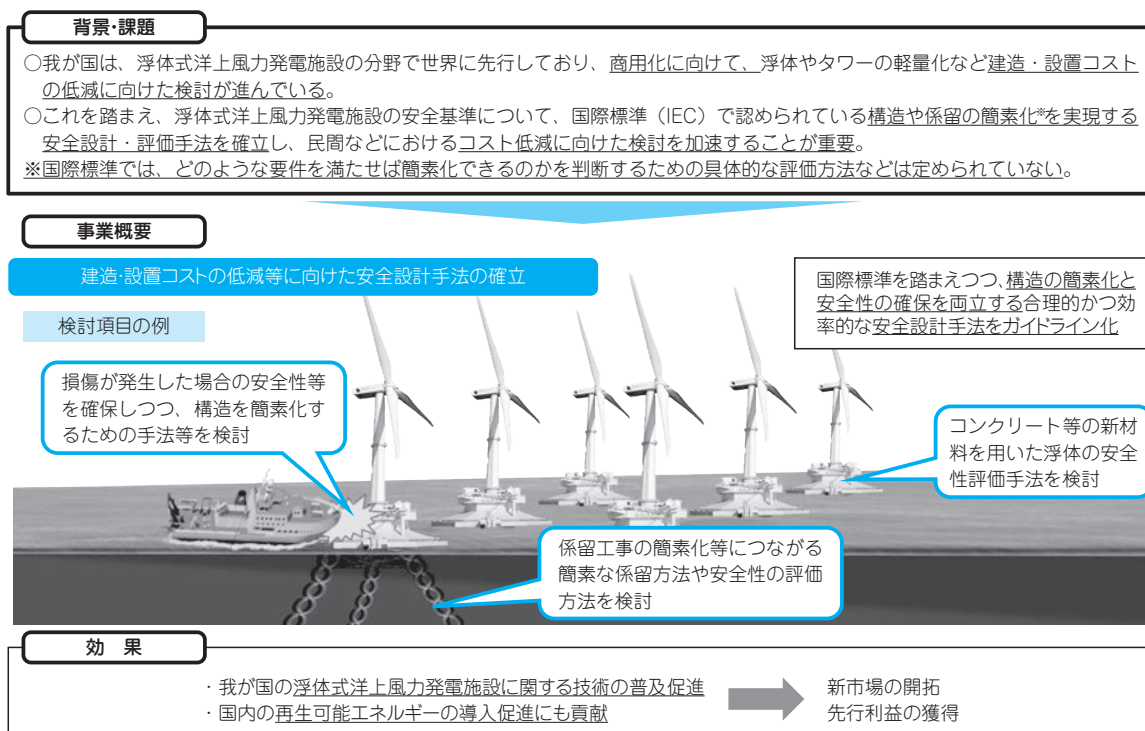


5 おわりに（今後の取組）

今般の改正は平成30年度から開始した取組の
 最初の成果を反映したものであり、海事局では、
 今後も浮体式洋上風力発電の設計や設置等の低コ
 スト化を実現するための安全性評価手法の検討等
 を行い、成果を順次、技術基準・安全ガイドライ
 ン等に反映することで、浮体式洋上風力発電施設
 の導入拡大を推進していくこととしている（図－
 6）。

具体的には、浮体式洋上風力発電施設の建造や
 設置等のコスト低減が期待されるコンクリート製
 浮体やナイロンロープ等の合成繊維索を用いた係
 留系の導入を実現するため、これらの設計・施工
 等に係る具体的な設計要件や安全性評価手法の検
 討を進めている。コンクリート製浮体について
 は、水中で繰り返し荷重を受けることを前提に、
 耐久性を確保するための要件やひび割れの許容限
 度、水セメント比などの材料に係る要件、施工時
 の健全性の確認方法などについて検討を行っている。
 合成繊維索については、破断・疲労強度試験
 の方法や鋼製チェーンとは異なる挙動の評価方法
 などについての検討を行っている。

また、今後のウィンドファーム化を考慮した際
 に重要となる、陸から離れた洋上に存在する複数
 の浮体施設や、係留系設備を効率的に検査する方



図－6 浮体式洋上風力発電施設のコスト削減に向けた安全性評価手法の確立

法についても、今後検討することを予定している。現状は目視による全数検査が前提となっているが、水中ロボット（ROV: Remotely Operated Vehicle, AUV: Autonomous Underwater Vehicle）や、遠隔監視の活用可能性も含めて検討を行う予定である。

加えて、損傷時復原性の代替要件に関する具体的な評価方法やコンクリート製浮体の設計要件、浮体式風力発電施設特有の合成繊維索に係る設計要件については、現行の IEC TS 61400-3-2 に規定されていない。IEC においては、技術仕様書（TS）の内容を見直すとともに、国際標準（IS）とすることも視野に入れた検討が開始されており、国内の先進的な取組を国際展開するためにも、安全性評価手法の検討成果等を踏まえながら、引き続き IEC における検討に対応していく。

2. で述べたとおり、再エネ海域利用法に基づく促進区域として、浮体式洋上風力発電施設の設置に適した海域が指定され、我が国における浮体式洋上風力発電の商用化が目前に迫っている。世界でも商用化に向けた取組が活発化しているが、現在、浮体式洋上風力発電施設の普及に関して、我が国は世界のトップランナーの一員であると認識している。世界に先駆けた取組により、我が国における再生可能エネルギーの普及拡大及び関連する産業の競争力強化・国際展開につながるよう、民間企業・大学・研究機関及び関係省庁等と連携しつつ、今後も積極的な取組を続けていきたい。

[1] ISO 19904-1 : 2006, Petroleum and Natural Gas Industries – Floating Offshore Structures – Part 1– Monohulls, semi-submersibles and spars