

令和２年度新エネルギー等の保安規制高度化事業委託調査
(洋上風力着床式・浮体式に関する技術基準と審査方法に関する調査)

調査報告書

令和３年３月



みずほ情報総研株式会社

<空白ページ>

<目次>

1	事業の目的等	2
1.0	用語の定義	3
2	産業保安監督部向けの「審査マニュアル（洋上版）」（案）及び「チェックリスト」の作成 ..	6
2.1	「審査マニュアル（洋上版）」（案）の作成	6
2.2	統一的解説に基づく洋上風力発電設備等の審査範囲について	7
3	着床式・浮体式の洋上風力発電設備における審査方法と必要な審査資料の整理	13
3.1	「洋上風力発電設備の審査方法に関する検討会」の概要	13
3.1.1	実施体制	13
3.1.2	検討会での検討内容	15
3.2	現行の審査の流れと今後の審査の流れの整理	17
3.2.1	現行の審査の流れについて	17
3.2.2	今後の審査の流れのイメージについて	18
3.3	前例を踏まえた審査基準に関する検討	19
3.3.1	海底送電ケーブルの審査基準（洗掘防止工の審査基準）に関する検討	19
3.3.1.1	A 発電所・B 発電所における設計情報の整理	19
3.3.1.2	今後の審査方法の検討	19
3.3.1.3	洗掘防止工に関する研究開発について	20
3.3.2	タワーと下部構造の接合部（グラウト材）の設計の審査基準に関する検討	22
3.3.2.1	A 発電所・B 発電所における設計情報の整理	22
3.3.2.2	今後の審査方法の検討	22
3.3.3	タワー及び下部構造の腐食の審査基準に関する検討	24
3.3.3.1	A 発電所・B 発電所における設計情報の整理	24
3.3.3.2	今後の審査方法の検討	24
3.3.3.3	腐食速度の比較について	24
3.4	洋上風力発電設備の審査方法に関する整理	26
4	電気事業法上の審査における今後の課題と対応方針・ロードマップの提言	28
4.1	洋上風況観測方法に関する検討	28
4.1.1	洋上風況観測方法に関する課題	28
4.1.2	着床式洋上ウィンドファーム開発支援事業（洋上風況調査手法の確立）の状況 ..	29
4.1.3	洋上風況観測方法の技術基準に関するロードマップイメージについて	30
4.2	海底地盤調査方法に関する検討	32
4.2.1	海底地盤調査方法に関する課題	32
4.2.2	海底地盤調査方法に関する技術基準検討の方向性について	32
4.3	浮体式洋上風力発電設備に用いる海底送電ケーブル（ダイナミックケーブル）の技術基準に関する検討	33
4.3.1	ダイナミックケーブルに関するヒアリング調査	33

4.3.2	ダイナミックケーブルに関する技術基準のロードマップイメージについて.....	35
4.4	洋上風力発電設備のみに用いる材料（鋼板、ボルト等）の審査基準に関する検討.....	36
4.4.1	材料に関する要望.....	36
4.4.2	材料の専門家への意見聴取	36
4.4.3	材料に関する技術基準のロードマップイメージについて.....	37
4.4.4	鋼材の機械的性質、化学成分に関する情報.....	38
4.5	洋上風力発電設備の定期事業者検査の方法に関する検討	41
4.5.1	定期事業者検査の方法に関する要望、課題.....	41
4.5.2	定期事業者検査の方法の見直しに関するロードマップイメージ.....	42
4.5.3	洋上風力発電設備の遠隔監視に関する状況.....	43
4.5.4	洋上風力発電設備に関する点検項目と点検周期の整理	48
4.6	その他（風力発電設備に対する落雷リスクの検討状況）	56
5	まとめ.....	58

<空白ページ>

1 事業の目的等

風力発電設備を設置する場合、設置者は電気事業法上の技術基準への適合遵守が必要であり、工事計画届出の審査において、その適否が判断される（電気事業法第 48 条）。

これまでの工事計画届出の審査では、大規模な地盤改良など特殊な工事を含まない場合、各産業保安監督部のみで工事計画届出の審査を行い、特殊な設備を含む場合は、個別案件毎に、商務情報政策局産業保安グループ電力安全課（以下「電力安全課」という。）が、専門家からの意見を聴収し、その結果を踏まえて、最終的な適否が判断されている。

風力発電設備については、陸上に適切な設置場所が減少してきているため、今後、洋上への設置計画の増加が見込まれる。その一方で、洋上風力発電設備については、電気事業法第 48 条に基づく工事計画届出の審査が必要となっているものの、経済産業省としての審査事例が少ないことから、産業保安監督部のみで審査実施できる範囲を明確に設けることができていなかった。

そこで、本事業においては、令和元年度に経済産業省と国土交通省によってとりまとめた、「洋上風力発電設備等に関する技術基準の統一的解説（2020 年 3 月 27 日改訂¹）」の内容と、これまでに経済産業省で実施した洋上風力発電設備の工事計画届出の審査内容を踏まえ、産業保安監督部がどの点を自ら審査し、また、専門家から意見聴取するかをガイドする「着床式・浮体式洋上風力発電設備に関する技術基準適合性審査マニュアル（以下「審査マニュアル（洋上版）」という。）」及び「チェックリスト」を作成することを目的とする。

また、本事業においては、以下の内容について、有識者による検討会を設置し、審査方法及び審査方法についてどのような審査資料を必要とするかについて検討を行う。

- 海底送電ケーブルの審査基準（洗掘防止工の審査基準）
- タワーと下部構造の接合部（グラウト材）の設計の審査基準
- タワー及び下部構造の腐食の審査基準

そのほか、上記の有識者検討会にて、審査方法が明確になっていない以下の項目について、今後の検討方針・ロードマップについて提案を行う。

- 洋上風況観測方法（観測機、観測地点間距離、観測期間等）
- 海底地盤調査方法
- 浮体式洋上風力発電設備に用いる海底送電ケーブル（ダイナミックケーブル）の技術基準
- 洋上風力発電設備に用いる材料（鋼板、ボルト等）の審査基準
- 洋上風力発電設備の定期事業者検査の方法

¹ <https://www.meti.go.jp/press/2019/03/20200327011/20200327011.html>（2021 年 3 月閲覧）

1.0 用語の定義

本報告書において使用する用語の定義及び正式名称を整理する。

◆ 「審査マニュアル（洋上版）」（素案）

電力安全課より提供された着床式・浮体式洋上風力発電設備に関する技術基準適合性審査マニュアルの素案。

◆ 「審査マニュアル（洋上版）」（案）

「審査マニュアル（洋上版）」（素案）、工事計画届出の審査内容、「統一的解説」を基に作成した着床式・浮体式洋上風力発電設備に関する技術基準適合性審査マニュアルの案。

◆ 「審査マニュアル（陸上版）」

陸上に設置される発電用風力設備に関する技術基準適合性審査マニュアル。

◆ ウィンドファーム認証

第三者認証機関において、型式認証された風車及び認証対象となる支持物（タワー、下部構造、基礎）の設計が、風力発電設備を設置する場所における環境条件及び電気事業法に基づく技術基準への適合性を評価する認証のこと。

◆ サイト条件評価

ウィンドファーム認証における風力発電設備を設置する場所における環境条件の評価。環境条件には、風条件、気温条件、湿度の条件といった一般的な気象条件や海象条件（洋上の場合）、高度条件、地形、地震、落雷等を含む。

◆ 工事計画届出

電気事業法第 48 条に基づき、風力発電設備の設置又は変更の工事に際し、工事着工前に行う手続き。各産業保安監督部及び電力安全課による専門家会議においては工事計画届出書を以て届け出られた内容について電気事業法上の技術基準への適合性を判断する。

◆ 専門家会議

工事計画届出のうち特殊設備に分類される事項の電気事業法上の技術基準への適否の審査のために専門家の意見を聴収する会議。電力安全課により開催され、事案の特殊性に応じて関連する専門家を選任し、複数回の審査会議が実施される。

◆ 一般設備

発電用風力設備のうち、産業保安監督部における審査のみで電気事業法上の技術基準への適合性を判断をする設備。発電用風力設備の設置又は変更の工事計画に関する審査実施要

領に規定されている。

◆ 特殊設備

一般設備以外の発電用風力設備。本省での専門家会議によって電気事業法上の技術基準への適合性の審査が実施される。洋上風力発電設備はすべて特殊設備に分類される。

◆ 風車

支持物によって支えられる洋上風力発電設備の一部であり、ロータ部とナセル部で構成される。ロータ部はブレード（翼）、ロータ軸、ハブなどで構成される。発電機部は発電機軸、発電機、制御機器、増速機などで構成され、ナセルと呼ばれる躯体に収納される。これらの部材により風の運動エネルギーが回転エネルギーに変換される。RNA と表現する場合もある。

◆ 支持物

風車を支持する構造物の総称であり、タワー、下部構造及び基礎で構成される。

◆ 電気システム

個々の風車から風車接続端に至るまでに据え付ける、すべての電気機器。集電設備は対象外となる。

◆ 統一的解説

洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説（令和 2 年 3 月版）

◆ 審査基準

工事計画届出において届け出られた風力発電設備の電気事業法上の技術基準への適合性確認する際に用いられる基準。風技解釈、電技解釈の他、統一的解説を指す。

◆ 電技

電気設備に関する技術基準を定める省令

◆ 電技解釈

電気設備の技術基準の解釈

◆ 風技

発電用風力設備に関する技術基準を定める省令

◆ 風技解釈

発電用風力設備の技術基準の解釈

◆ 逐条解説

発電用風力設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈に関する逐条解説

◆ 風技解釈等

「発電用風力設備の技術基準の解釈」及び「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈に関する逐条解説」

◆ 再エネ海域利用法

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

2 産業保安監督部向けの「審査マニュアル（洋上版）」（案）及び「チェックリスト」の作成

2.1 「審査マニュアル（洋上版）」（案）の作成

「審査マニュアル（洋上版）」（素案）と工事計画届出の審査内容及び「統一的解説」を基に、「審査マニュアル（洋上版）」（案）を作成した。

図 2.1 に、「審査マニュアル（洋上版）」（案）の作成手順を示す。

(1) : 「審査マニュアル（洋上版）」（素案）の構成確認

- ・「審査マニュアル（洋上版）」（素案）の構成を確認する。



(2) : 工事計画届出に係る書面の分析

- ・工事計画届出に係る書面資料を分析する。



(3) : 「審査マニュアル（洋上版）」（案）の分冊構成の検討

- ・工事計画届出に係る書面資料をベースに、「審査マニュアル（洋上版）」（案）の分冊構成を検討する。



(4) : 「審査マニュアル（洋上版）」（案）の各分冊の内容検討

- ・「審査マニュアル（洋上版）」（案）の各分冊で確認する内容について検討する。



(5) : 「統一的解説」の記載項目と審査マニュアル（洋上版）（案）の対応関係の確認

- ・「統一的解説」の記載項目について、審査マニュアル（洋上版）（案）において漏れなく考慮していることを対応表を作成して確認する。



(6) : 審査マニュアル（洋上版）（案）の目次検討

- ・各分冊の目次を作成するとともに、目次に対して、統一的解説のどの項目に対応するかについても対応表を作成して確認する。



(7) : 審査マニュアル（洋上版）（案）の各項目の作成

- ・目次に従い、審査で確認する項目ごとに、原則として、【確認点】、【解説】について記す。

図 2.1 「審査マニュアル（洋上版）」（案）の作成手順

2.2 統一的解説に基づく洋上風力発電設備等の審査範囲について

「2.1「審査マニュアル（洋上版）」（案）の作成」の検討の一環として、統一的解説に基づく洋上風力発電設備等に関する審査内容を、(1)電気事業法のみ、(2)港湾法又は再エネ海域利用法のみ、(3)電気事業法と港湾法又は再エネ海域利用法の両方で審査が必要な内容の3種類に分類した。

なお、以下に示す章番号（2.2章等）は、「統一的解説」の章番号である。

(1) 電気事業法のみによる審査内容（主には、風車及び電気システム）

- 2.2 章：風車の構造
- 2.3 章：風車の安全な状態の確保
- 2.4 章：取扱者以外の者の接近の防止
- 2.5 章：圧油装置及び圧縮空気装置の危険の防止
- 2.6 章：公害の防止
- 2.7 章：電気システムの設置
- 稀に発生する地震動に該当する部分
- 極めて稀に発生する地震動の該当する部分

(2) 港湾法又は再エネ海域利用法のみによる審査内容（主には、船舶の航行に関する事項）

- 2.10 章：港湾機能及び周辺海域の利用等に影響を与えない洋上風力発電設備等の設置
- 2.11 章：航行船舶からの視認性の向上
- 2.12 章：船舶等との接触の防止
- L1 地震動に該当する部分
- L2 地震動に該当する部分

(3) 電気事業法と港湾法又は再エネ海域利用法の両方で審査が必要な審査内容

- (1)及び(2)以外の、支持物の構造設計（外力、材料、許容応力、構造解析、照査等）及び送電線の敷設に該当する部分

「統一的解説」における検討項目と関連法令での審査の必要性の対応関係及び電気事業法における留意点についてそれぞれ検討した結果を表 2.1 にまとめる。

なお、4.8 章：浮体式洋上風力発電設備等の設計に関しては今後の課題である。

表 2.1 「統一的解説」における検討項目と関連法令での審査の必要性の対応関係

項目				検討項目		関連法令での審査の必要性 (△：今後の課題項目、 －：審査対象外)			電気事業法における留意点
						港湾法	再エネ海 域利用法	電気 事業法	
要求性能 (荷式)	2.1	外力に対して 安全な構造	2.1.1.1	構造設計の基 本方針 (着床式)	供用期間	○	○	○	現行の風技解釈等では稀な地震 動荷重として 50 年再現期間を 採用していることに留意
					自重、積載荷重、風圧、積雪	○	○	○	
					水圧、氷圧、変動波浪	○	○	○	現行の風技及び風技解釈等に規 定なし
					稀に発生する地震	○	○	○	
					極めて稀に発生する地震	○	○	○	
					港湾基準によるレベル 1 地震動	○	○	－	
					設計津波	○	○	○	現行の風技及び風技解釈等に規 定なし
					港湾基準によるレベル 2 地震動	○	－	－	
			2.1.1.2	荷重の組合せ (着床式)	風荷重、波浪荷重、地震荷重などを適切に組み合 わせて行われているか、荷重組み合わせは、JIS C 1400-1、JIS C 1400-3、風力発電設備支持 物構造設計指針・同解説及び港湾の施設の技術上 の基準・同解説等により適切に設定されているか	○	○	○	荷重の組合せに関しては、統一 的解説の説明に沿って、現行の 風技解釈等を見直す必要あり
			2.1.2.1	構造設計の基 本方針（浮体 式） ²	自重、積載荷重、風圧、積雪	○	○	○	
					水圧、氷圧、変動波浪	○	○	－	
					稀に発生する地震	○	○	－	
					極めて稀に発生する地震	○	○	－	
					港湾基準によるレベル 1 地震動	○	○	－	
					設計津波	○	○	－	
					港湾基準によるレベル 2 地震動	○	－	－	
			2.1.2.2	荷重の組合せ (浮体式) ²	風荷重、波浪荷重、地震荷重などを適切に組み合 わせて行われているか、荷重組み合わせは、港湾 の施設の技術上の基準・同解説、浮体式洋上風力 発電施設技術基準、IEC 61400-1、IEC TS 61400-3-2 等により適切に設定されているか	○	○	－	
	要求性能	2.2	風車の構造		風圧及び負荷を遮断したときの最大速度に対し、 構造上安全であるか	－	－	○	
					運転中に風車に損傷を与える振動がないこと	－	－	○	
		2.3	風車の安全な 状態の確保		風車の回転速度が著しく上昇した場合、制御装置 機能が著しく低下した場合に、安全かつ自動的に 停止するような措置があるか	－	－	○	
					海水面から 20mを超える施設には雷撃から風車 を保護するような措置があるか	－	－	○	現行の風技解釈等の見直し検討 を行う必要あり
		2.4	取扱者以外の 者の接近の 防止		当該設備が危険である旨の表示があるか	－	－	○	
					取扱者以外の者が容易に接近するおそれが無いよ うな措置があるか	－	－	○	
		2.5	圧油装置及び 圧縮空気装置 の危険の防止		圧油装置及び圧縮空気装置の材料及び構造が、最 高使用圧力に対して十分に耐え、かつ、安全なも のか	－	－	○	
					圧油タンク及び空気タンクは、耐食性を有するか	－	－	○	
					油圧又は空気圧が低下した場合は、圧力を自動的 に回復させるとともに、圧力が上昇した場合は、 最高使用圧力に到達する前に低下させる機能、ま た異常な圧力を早期に検知できる機能を有するか	－	－	○	
		2.6	公害の防止		貯油施設等の破損その他の事故により、油を含む 水が海域に排出、又は海底への浸透により水質汚 濁による被害を生ずるおそれがないよう、適切な 措置を講じているか	－	－	○	海洋汚染防止法及び電技に規定 あり
					170kV を超える中性点直接接地式電路に接続す る変圧器を有するときは、変圧器の破損その他の 事故により、油を含む水が海域に排出、又は海底 への浸透により水質汚濁による被害を生ずるおそ れがないよう、適切な措置を講じているか	－	－	○	JESC E0012：変電所等におけ る防火対策指針に規定あり
		2.7	電気システム の設置		人体に危害を及ぼしたり、物件に損傷をあたえな いこと	－	－	○	電技及び電技解釈に規定あり
					他の電気設備や物件の機能に電気または時期的な 障害を与えないか	－	－	○	電技及び電技解釈に規定あり
					損壊により一般送配電事業者の電気の供給に著し い支障を及ぼさないか	－	－	○	電技及び電技解釈に規定あり
	2.8	送電線等の 敷設			海底送電線、通信ケーブルは、電気設備に関する 技術基準を定める省令の規定を満たす必要があ る。さらに、海底送電線は、電気設備の技術基準 の解釈（第 127 条）を満たす必要がある。	－	－	○	電技及び電技解釈に規定あり

² 浮体式洋上風力発電設備（RNA、送電ケーブルを除く。）については、船舶安全法の審査対象である。

項目				検討項目	関連法令での審査の必要性 (△：今後の課題項目、 －：審査対象外)			電気事業法における留意点
					港湾法	再エネ海 域利用法	電気 事業法	
				港湾区域においては港湾の利用もしくは保全に支障を与え、港湾計画の遂行を阻害し、その他港湾の開発や発展に支障を与えないように、海底送電線及び通信ケーブルの敷設は埋設を原則として適切に設計を行われているか	○	○	－	
				港湾区域以外においては、船舶の航行、漁労活動等に支障とならず、公衆安全を確保するために、海底送電線及び通信ケーブルの敷設を適切に設計が行われているか	○	○	－	
	2.9	腐食・洗堀等の防止		海水や雨水による金属の腐食や漂砂の移動等による構造表面の摩耗等を防止するため、適切な措置を講じられているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
				洗堀等の影響を受ける可能性がある場合は適切な対策を講じられているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
	2.10	港湾機能及び周辺海域の利用等に影響を与えない洋上風力発電設備等の設置		洋上風力発電設備等が倒壊、崩壊した場合であっても、港湾機能に支障が及ばないよう、港湾施設等との離隔距離を確保されているか	○	－	－	
				港湾の開発・利用・保全や周辺海域の利用等に支障が及ばないことが確認されているか	○	－	－	
	2.11	航行船舶からの視認性の向上		船舶航行の十分な安全を確保するため、環境条件に関わらず、捕捉・識別性を確保・維持されているか	○	○	－	
				船舶操船時において他の船舶、地形、航行援助施設、その他の物漂等の捕捉・識別を阻害することのないように設置されているか	○	○	－	
	2.12	船舶等との接触の防止		回転翼が、航行する船舶等に接触することのないよう、洋上風力発電設備等の設置位置及びロータ最下端の高さが設定されているか	○	○	－	
	2.13	施工及び維持管理への対応		適切な施工及び維持管理のため、施工法や維持管理の方法を踏まえた構造設計であるか	○	○	－	
				支持構造物は、船舶による当該設備への人員及び資機材の輸送等を確保するため、港湾の施設の技術上の基準における係留施設としての要求性能が満たされているか	○	○	－	
洋上風力発電設備等に作用する自然条件等	3.1	風荷重		現地実測データ又は気象の推算値をもとに、適切に風況条件を定め、洋上風力発電設備等に作用する風荷重が設定されているか	○	○	○	現行の風技解釈等の見直しを行う必要あり
	3.2	潮位		港湾の施設の潮位の設定方法等に準拠して、設計に用いる潮位が設定されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
	3.3	波浪荷重		設計潮位を踏まえ、海象の実測値又は推算値をもとに、海況条件に応じた沖波の波浪諸元が求められているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
				浅海域においては、波浪変形を考慮し、波浪荷重が設定されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
	3.4	津波荷重		各地方自治体の海岸保全基本計画等で設定されている設計津波をもとに、津波荷重が設定されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
	3.5	水の流れによる荷重		潮流や吹送流などの影響を踏まえ、水の流れによる荷重が設定されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
	3.6	洗掘		波、流れによる支持構造物周辺地盤の洗掘を適切に考慮し、設計地盤面が設定されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
	3.7	地盤		事前に地盤を調査し地形や地質を把握し、当該設備を設置する地点の地盤の性状を適切に評価し、地盤調査及び土質試験の結果をもとに、地盤の物理的特性、力学的特性等が設定されているか	○	○	○	現行の風技解釈等にほぼ規定なし
	3.8	地震荷重		支持構造物に作用する地震荷重の評価に用いる地震波は、スペクトル適合波、観測波、サイト波であるか	○	○	○	
				スペクトル適合波、観測波は、「風力発電設備の技術基準の解釈について」に規定される稀に発生する地震動及び極めて稀に発生する地震動としているか	－	－	○	
				サイト波は、港湾の施設の技術上の基準に規定される港湾レベル 1 地震動であるか、また、港湾における耐震強化施設の利用等に支障を及ぼす可能性のある地点に設置する場合は、支持構造物に作用する地震力は、港湾レベル 2 地震動が用いられているか	○	○	－	
	3.9	地盤の液状化・沈下		地震による地盤の液状化又は圧密沈下が想定される場合、あらかじめそれらに対する対応が検討されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
	3.10	接岸荷重		船舶の接岸荷重は、対象船舶の諸元、洋上風力発電設備等の構造、接岸方法、接岸速度等を考慮して定められているか	○	○	○ ³	現行の風技解釈等に規定なし

³ 着床式洋上風力発電設備は対象とするが、浮体式洋上風力発電設備は対象外とする。

項目					検討項目	関連法令での審査の必要性 (△：今後の課題項目、 －：審査対象外)			電気事業法における留意点
						港湾法	再エネ海 域利用法	電気 事業法	
	3.11	固定荷重			ブレード、ナセル、タワー、下部構造、基礎等の構造物の自重による荷重が設定されているか	○	○	○	
	3.12	その他の荷重			(1) 積載荷重、(2) 積雪荷重、(3) 海氷・着氷荷重、(4) 水圧、(5) 海中生物付着、(6) 温度変化による荷重、(7) 輸送時・施工時荷重の影響が考慮されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
	3.13	腐食作用			自然状況等の諸条件に応じて、金属の腐食及び腐食速度が適切に考慮されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
					海底砂の移動による構造表面の摩耗作用(サンドエロージョン・コロージョン)等が考慮されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
	3.14	材料 ²			作用、劣化、設計供用期間、形状、施工性、経済性、環境に及ぼす影響等を考慮して、適切に支持物構造に使用する材料が選定されているか	○	○	○	
洋上 風力 発電 設備 等の 設計	4.1	構造解析	4.1.1	風及び波を考慮するモデル	基礎、下部構造、タワー及び風車(ロータナセル・アセンブリ)からなる洋上風力発電設備等について、荷重及び荷重効果の計算が実施されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
					該当する外部条件の組合せに対して洋上風力発電設備等の構造の動的応答を適切に考慮した方法を用いて、荷重及び荷重効果の計算が実施されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
			4.1.2	地震時の荷重評価	設計荷重組み合わせにしたがい、地震時の荷重評価では、時刻歴応答解析の荷重効果に、年平均の波・風の荷重効果をたし合せる解法により求められているか	○	○	○	
	4.2	荷重抵抗係数設計法による設計	4.2.1	照査手法	荷重抵抗係数設計法により、支持構造物の安全性や安定性を照査する場合は、設計荷重効果 Sd が設計、耐力 Rd に対して $Sd \leq Rd$ が満たされているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
			4.2.2	荷重係数 γ_f	支持構造物の安全性・安定性の照査に用いる荷重係数 γ_f は、荷重に関する様々な不確実性の要因を考慮して適切に設定されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
			4.2.3	抵抗係数 γ_m	支持構造物の安全性・安定性の照査に用いる抵抗係数 γ_m は、材料に関する様々な不確実性の要因を考慮して適切に設定されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
	4.3	許容応力度設計法による設計	4.3.1	照査手法	許容応力度設計法により支持構造物の安定性・安全性を照査する場合は、発生応力度 σ が許容応力度 σ_a に対して、 $\sigma \leq \sigma_a$ が満たされているか	○	○	○	
			4.3.2	許容応力度及び安全率の設定	支持構造物の安全性・安定性の照査に用いる許容応力度及び安全率は、荷重や材料に関する様々な不確実性の要因を考慮して設定されているか	○	○	○	
	4.4	タワーの設計			基準解説では鋼製円筒形モノポール支持式か	○	○	○	現行の風技解釈等の見直しを行う必要あり
					洋上風力発電設備等の要求性能を満足しているか	○	○	○	現行の風技解釈等の見直しを行う必要あり
					風、波荷重などの繰り返し作用による疲労の影響を考慮しているか	○	○	○	現行の風技解釈等の見直しを行う必要あり
	4.5	モノパイル構造の設計	4.5.1	構造解析の基本	モノパイル構造の構造解析は、海底面以深の杭及び地盤の作用を考慮した骨組解析や FEM 解析等により適切に実施されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
			4.5.2	安全性の照査	短期荷重の作用によりモノパイル構造に発生する断面力や応力度が、4.2 節、4.3 節の規定を満足しているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
					極めて稀に発生する地震動、設計津波、港湾レベル 2 地震動の作用によりモノパイル構造は倒壊・崩壊しない設計となっているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
					モノパイル構造を構成する部材に対して、風、波などの繰返し作用による疲労の影響が考慮されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
			4.5.3	安全性の照査	短期荷重、長期荷重、稀に発生する地震動、港湾レベル 1 地震動の作用に対して、十分な安定性を有するようモノパイル構造の海底地盤への根入れ長が適切に設定されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
					極めて稀に発生する地震動、設計津波、港湾レベル 2 地震動の作用によりモノパイル構造は倒壊・崩壊しない設計であるか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
			4.5.4	構造詳細	モノパイル構造を適用する場合は、トランジションピースやモノパイルの構造詳細を適切に設定して設計・製作・施工となっているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
	4.6	ジャケット構造の設計	4.6.1	構造解析の基本	ジャケット構造の構造解析は、海底面以深の杭及び地盤の作用を考慮した 3 次元の骨組解析や FEM 解析等により適切に実施されているか、またその際に、ジャケットのトラス構造を考慮し、部材に作用する荷重が適切に設定されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし

項目				検討項目			関連法令での審査の必要性 (△：今後の課題項目、 －：審査対象外)			電気事業法における留意点
							港湾法	再エネ海 域利用法	電気 事業法	
			4.6.2	安全性の照査	短期荷重の作用によりジャケット構造に発生する断面力や応力度が、4.2 節、4.3 節の規定が満足されているか	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
					極めて稀に発生する地震動、設計津波、港湾レベル 2 地震動の作用によりジャケット構造は倒壊・崩壊しない設計となっているか	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
					ジャケット構造を構成する部材に対して、風、波などの繰返し作用による疲労の影響が考慮されているか	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
			4.6.3	安全性の照査	短期荷重の作用により杭に生じる押し込み力、引き抜き力は、4.2 節、4.3 節の規定を満足しているか	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
					極めて稀に発生する地震動、設計津波、港湾レベル 2 地震動の作用によりジャケット構造は倒壊・崩壊しない設計となっているか	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
			4.6.4	構造詳細	ジャケット構造を適用する場合は、ジャケット構造を構成する部材の構造詳細を適切に設定して設計・製作・施工となっているか	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
	4.7	重力式基礎の設計	4.7.1	構造解析の基本	重力式基礎の構造計算は、下部構造及び基礎を含めた 3 次元の骨組み解析や FEM 解析により適切に実施され、また、重力式基礎の下部構造及び基礎の形状を考慮し、部材に作用する荷重が適切に設定されているか	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
			4.7.2	安全性の照査	短期荷重の作用により生じる断面力や応力度が、4.2 節、4.3 節の規定を満足しているか	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
					極めて稀に発生する地震動、設計津波、港湾レベル 2 地震動の作用により倒壊・崩壊しないものとする。	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
					鋼部材及びコンクリート部材に対して、風、波などの繰返し作用による疲労の影響を考慮すること。	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
					コンクリート部材に対して、塩害等による経年変化に対する耐久性を考慮すること	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
			4.7.3	安全性の照査	短期荷重の作用時の安定照査が、4.2 節、4.3 節の規定が満足されているか	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
					極めて稀に発生する地震動、設計津波、港湾レベル 2 地震動の作用により重力基礎が倒壊・崩壊しないか	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
					洗掘や地盤沈下に対する安全性が考慮されているか	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
			4.7.4	構造詳細	重力式構造を適用する場合には、下部構造及び基礎の構造詳細を適切に考慮して設計・製作・施工となっているか	○	○	○		現行の風技解釈等に規定なし
	4.8	浮体式洋上風力発電設備等の設計 ⁴	4.8.1	構造解析の基本	浮体施設及びタワーの設計寿命は、搭載する風力発電設備の設計仕様上の年数又は 20 年のいずれか大きい方の値となっているか	○	○	△		
					浮体施設及びタワーの荷重を受ける部材が完全であることを検証し、許容水準の安全性が確認されているか	○	○	△		
					構造部材の強度について、計算及び試験又はそのいずれかによって検証し、適切な安全水準の構造的健全性が立証されているか	○	○	△		
					部材の形状、寸法、周囲条件等を考慮して、座屈に対し十分な強度を有する構造部材が使用されているか	○	○	△		
					繰り返し応力を受ける部材は、繰り返し応力の大きさ、繰り返し数、部材の形状等を考慮し、疲労に対し十分な強度が有されているか	○	○	△		
					部材に存在する切欠部又は構造の不連続部に対しては応力集中が考慮されているか	○	○	△		
					ムーンプールやターレット係留装置等の大きな開口を設ける場合は、必要に応じて補強し、強度の連続性について留意されているか	○	○	△		
					地震及び津波に対して、浮体式洋上風力発電施設が崩壊及び漂流しないように設計されているか	○	○	△		
			4.8.2	係留システムの照査	係留システムは、計画されたすべての運転条件に対して浮体施設を所定の位置に保持するために十分な能力を有し、かつ、海底の設備に対して安全なものであるか	○	○	△		
					低温、凍結、着氷などが想定される海域に設置される浮体施設の係留システムにあっては、それらの影響を考慮するか、または適切な保護対策を施すものとされているか	○	○	△		

⁴ 浮体式洋上風力発電設備の支持物の設計に関しては、船舶安全法に基づく審査により実施される。電気事業法では、浮体式洋上風力発電設備の中で、RNA 及び送電ケーブルが審査の対象となる。一方、RNA 及び送電ケーブルの安全性は、支持物の安全性と相関性が高いことから、浮体式の審査における電気事業法での対応方法について、今後検討する必要がある。

項目			検討項目		関連法令での審査の必要性 (△：今後の課題項目、 －：審査対象外)			電気事業法における留意点
					港湾法	再エネ海域利用法	電気事業法	
				係留システムの設計において非損傷状態、単一係留索破断状態、単一係留索破断時の過渡状態、浮体施設の損傷状態などの状態を含み、想定されるあらゆる係留状態が検討されているか	○	○	△	
				単一係留索破断時の過渡状態の解析は、浮体施設のオーバーシュート等により係留索の張力増加等の影響、浮体施設周辺の施設との間隔について検討、評価されているか	○	○	△	
				Single Anchor Leg Mooring (SALM) に対しては単一係留索破断に代えて SALM の単一区画損傷による浮力損失に対して解析されているか	○	○	△	
				係留解析には、本基準解説の外部条件から生じる漂流力及び浮体施設の応答、並びにそれに対応するラインの張力が評価されているか	○	○	△	
				係留システムは、想定されるすべての係留状態に対して係留解析を行い、浮体施設の喫水変化の影響についても考慮されており、また、浮体施設から独立した別個の CALM ブイ等の係留施設に係留する場合は、これらの係留施設も含めた全体系として係留解析が実施されているか	○	○	△	
				係留索を用いる係留システムにおいては、フェアリーダ等浮体施設に取付けられる係留機器と係留索が接触する箇所において、係留索に過大な曲げが生じないような構造及び配置であることを前提に、係留解析が実施されているか	○	○	△	
				浮体施設の係留索及び係留施設の海底固定点（アンカー、シンカー、パイル等）は、想定される係留索からの張力等によって滑り、持ち上がり及び転倒しないものとし、洗屈による影響が無視できない場合は、海底固定点の埋設代を調整するか、海底固定点付近の流れを制御する等の措置が講じられているか	○	○	△	
				係留解析を行う際には、係留システムを構成する機器類に対して、風力、潮力、及び波漂流力の定常成分並びに風及び波による動的荷重が作用するものとして実施するものとし、この場合、荷重は全方向から来るものと仮定し、係留システムを構成する機器類に作用する荷重が、最大となる状態について解析が実施されているか	○	○	△	
				解析の対象に応じて適切な解析手法を選択し、浮体施設の最大変位量及び最大ライン張力が計算されているか	○	○	△	
		4.8.3	復原性の照査	浮体施設はすべての状態において、十分な復原性を有しているか	○	○	△	
				浮体施設の動揺がタワー及び風力発電設備に悪影響を及ぼさないよう、適切に浮体施設の動揺が抑制されているか	○	○	△	
				復原性の計算においてはタンク内の液体による自由表面の影響について、考慮されているか	○	○	△	
				復原性の計算においては必要に応じてサイトのデータに基づく積雪及び着氷による荷重の影響についても考慮されているか	○	○	△	
	4.9	接合部の設計		接合部を構成する部材（鋼材、コンクリート、ずれ止め、グラウトなど）は、いかなる荷重の組み合わせにおいても、部材に生じる断面力が設計耐力を上回らないように設計されているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし
	4.10	運転や維持管理に必要な設備の設計		運転や維持管理に必要な設備は、自重、積載荷重、風圧、水圧、積雪、氷圧、変動波浪、稀に発生する地震動、港湾レベル 1 地震動、船舶の接岸荷重等の作用により損傷せず、発電設備としての機能を満足されているか	○（運転や維持管理に必要な設備）	○（運転や維持管理に必要な設備）	○（ケーブル）	現行の風技解釈等に規定なし
	4.11	防食設計		環境条件、耐用年数、経済性、施工性等を考慮して、適切な工法を選定しているか	○	○	○	現行の風技解釈等に規定なし

3 着床式・浮体式の洋上風力発電設備における審査方法と必要な審査資料の整理

3.1 「洋上風力発電設備の審査方法に関する検討会」の概要

3.1.1 実施体制

本調査では、着床式・浮体式の洋上風力発電設備専門家からの意見聴取における審査方法と必要な審査資料の整理を行うため、風力発電設備に関する専門家及び認証に関する外部有識者から構成された「洋上風力発電設備の審査方法に関する検討会」を設置した。

本検討会の実施体制を図 3.1 に、委員等名簿を表 3.1 に、検討会の開催状況を表 3.2 に示す。

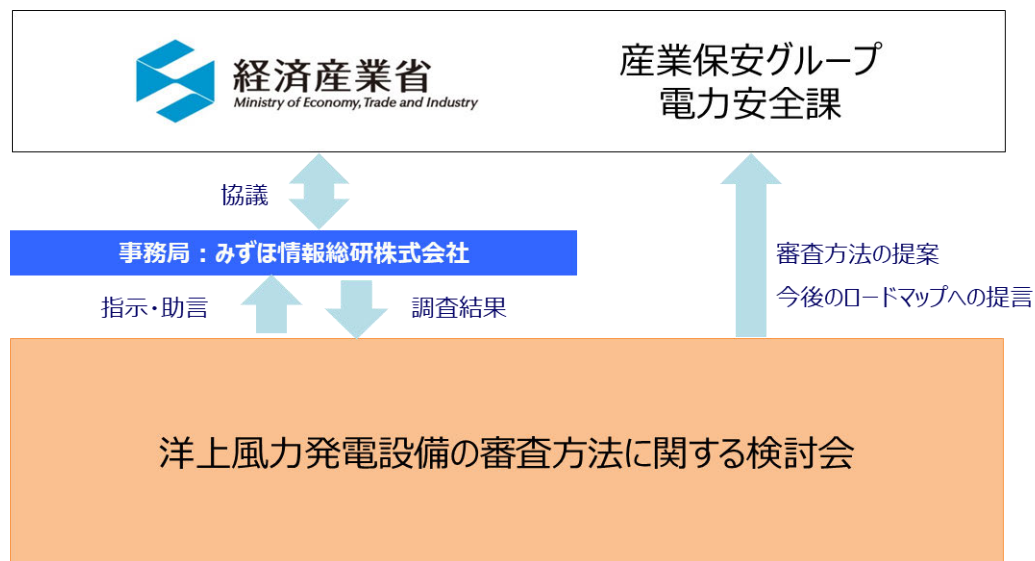


図 3.1 洋上風力発電設備の審査方法に関する検討会 実施体制

表 3.1 洋上風力発電設備の審査方法に関する検討会 委員等名簿

委員（五十音順、敬称略）

	石原 孟	東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授
座長	牛山 泉	足利大学 理事長
	菊池 喜昭	東京理科大学 理工学部 土木工学科 教授
	清宮 理	早稲田大学 創造理工学部 社会環境工学科 名誉教授
	鈴木 英之	東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻 教授

オブザーバー（敬称略）

	岩下 智也	一般財団法人 日本海事協会 環境・再生可能エネルギー部 主幹 上席技師
	佐々木 淳	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部 風力・海洋グループ 主任研究員
	柴田 学	一般社団法人 日本風力発電協会 技術部長
	田所 篤博	一般財団法人 沿岸技術研究センター 業務執行理事
	本庄 暢之	日本電気協会 発電電専門部会 風力発電設備分科会 分科会長 (株式会社ジェイウインドサービス 代表取締役社長)
	松田 英光	一般財団法人 港湾空港総合技術センター 洋上風力推進室 室長

表 3.2 洋上風力発電設備の審査方法に関する検討会 実施状況

回数	開催日	主な議題
第 1 回	2020 年 12 月 1 日	・ 検討会の概要 ・ 洋上風力着床式・浮体式における審査方法と必要な審査資料に関する調査 ・ 今後の課題と対応方針・ロードマップの提言の調査
第 2 回	2021 年 2 月 4 日	・ 調査概要の論点 ・ 洋上風力着床式・浮体式における審査方法と必要な審査資料に関する調査 ・ 今後の課題と対応方針・ロードマップの提言の調査
第 3 回	2021 年 3 月 2 日	・ 洋上風力着床式・浮体式における審査方法と必要な審査資料に関する調査 ・ 今後の課題と対応方針・ロードマップの提言の調査

3.1.2 検討会での検討内容

検討会では主に以下の 2 点について議論がなされた。

(1) 着床式・浮体式の洋上風力発電設備における審査方法と必要な審査資料に関する調査

統一的解説において設計の考え方について記載があるものの、国内の技術基準が存在せず、海外の技術基準を参照する以下の項目について、専門家会議による審査不要とできるかどうか検討し、今後の審査方法、審査に必要な資料について整理した調査内容について検討を行った。

- 海底送電ケーブルの審査基準（洗掘防止工の審査基準）
- タワーと下部構造の接合部（グラウト材）の設計の審査基準
- タワー及び下部構造の腐食の審査基準

特に、既に審査実績がある事例と同じ設計条件である場合に、その内容に則して設計されていれば、専門家会議を不要とできるかどうか、現状では不要にできない場合にはどのような方向性が考えられるかについて、議論がなされた。議論の論点となった点を以下に示す。

なお、調査実施時点では、既に審査実績がある事例は A 発電所・B 発電所の設計事例のみであった。

- 上記の各テーマにおける A 発電所・B 発電所の設計事例に基づき、前例と同等の設計内容について専門家会議を不要とする可能性があるか
- 専門家会議を不要とすることが可能であれば、審査の際にどのような資料を提供すればよいか
- 現状では専門家会議を不要とするのが困難な場合、専門家会議を不要とするには今後

はどのような方向性が考えられるか

(2) 電気事業法上の審査における今後の課題と対応方針・ロードマップの提言

洋上風力発電設備の設計に係る 5 つのテーマについて、課題、ニーズ等の現状を整理して、電気事業法上の審査における今後の課題と対応方針・ロードマップの提言についての検討を実施した。

- 洋上風況観測方法（観測機、観測地点間距離、観測期間等）
- 海底地盤調査方法
- 浮体式洋上風力発電設備に用いる海底送電ケーブル（ダイナミックケーブル）の技術基準
- 洋上風力発電設備に用いる材料（鋼板、ボルト等）の審査基準
- 洋上風力発電設備の定期事業者検査の方法

検討会では、下記の点について議論を行った。

- 現状把握
- 課題解決までのスケジュール

3.2 現行の審査の流れと今後の審査の流れの整理

3.2.1 現行の審査の流れについて

現行の審査の流れを図 3.2 に示す。

現行の風力発電設備の審査においては、まず認証機関によるウィンドファーム認証を行い、その後、その認証書をもって工事計画届出が事業者から産業保安監督部に提出される。

産業保安監督部では、その工事計画届出が、一般設備か特殊設備かの判断を行い、特殊設備の場合には、本省に設置される専門家会議による審査が行われる。

現在、洋上風力発電設備の場合には、全案件が特殊設備のケースに分類され、専門家会議による審査が実施されている。

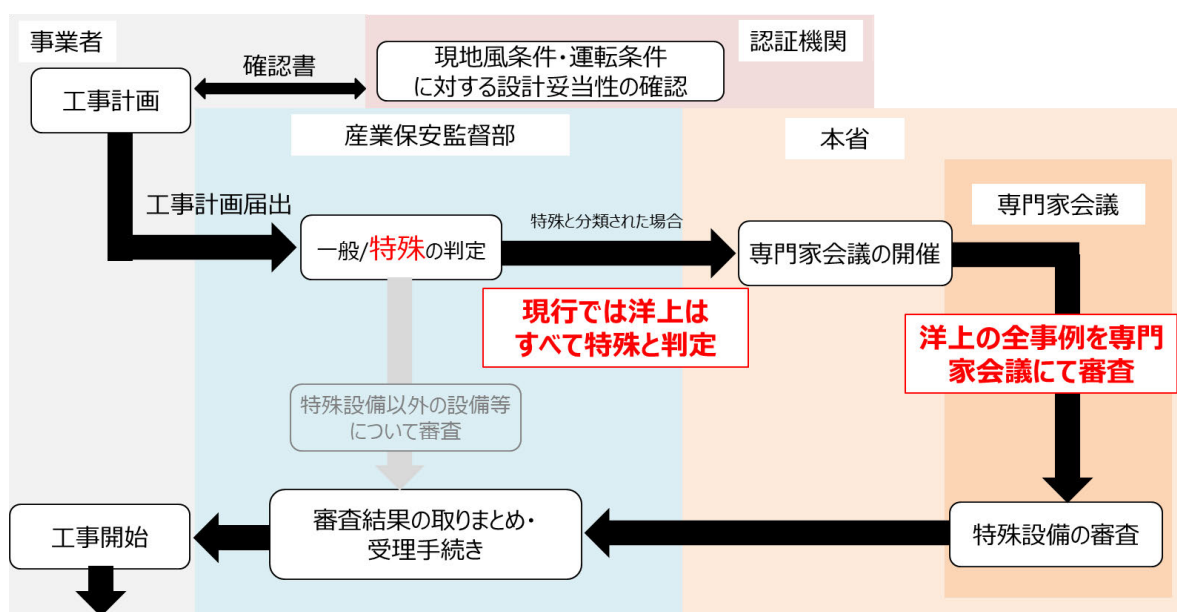


図 3.2 現行の洋上風力発電設備の技術基準審査の流れ（一部抜粋）⁵

⁵ 経済産業省第15回新エネルギー発電設備事故対応・構造強度WG資料2-1を一部改変

3.2.2 今後の審査の流れのイメージについて

図 3.3 に今後の洋上風力発電設備の技術基準適合性審査の流れのイメージを示す。

現行の洋上風力発電設備の技術基準適合性審査は本省に設置された専門家会議で実施されているが、今後は洋上風力発電設備に関する審査数が増加することが考えられるため、図 3.3 で示したような体制を構築できるかどうかを検討した。要点としては以下の通りである。

- 基準が明確な項目に対しては、審査を産業保安監督部にて実施
- 産業保安監督部にて特殊設備と分類されても、過去の審査実例と同じ条件である場合であって当該実例に則して設計されていれば、専門家会議にはかけない
- 前例がない項目に関しては、これまで通り専門家会議にて審査を実施

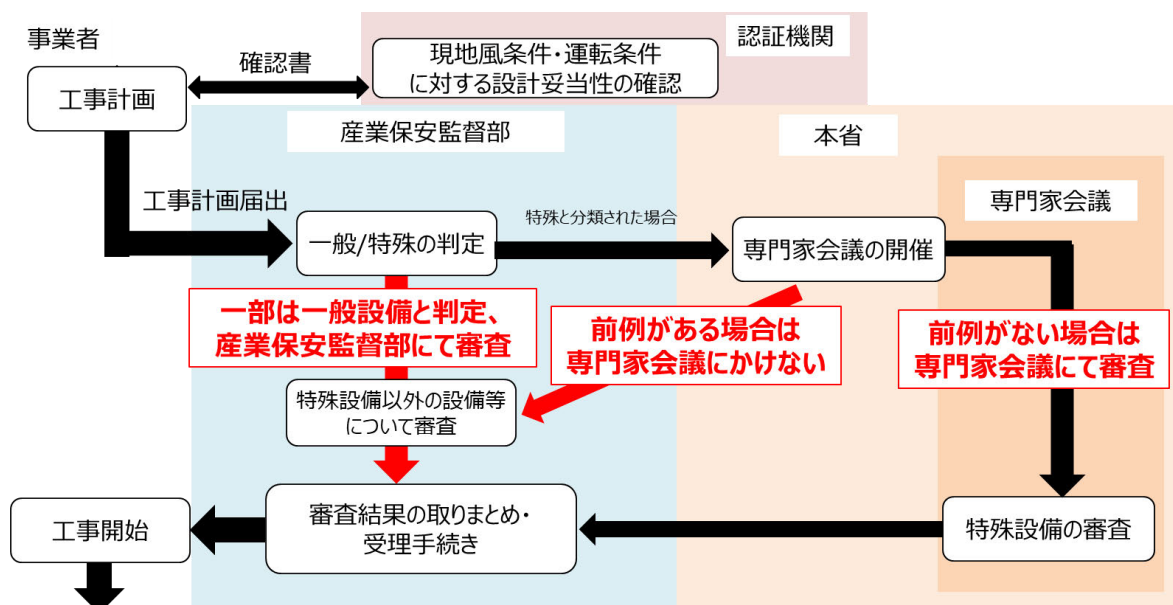


図 3.3 今後の洋上風力発電設備の技術基準審査の流れのイメージ（一部抜粋）⁵

3.3 前例を踏まえた審査基準に関する検討

3.3.1 海底送電ケーブルの審査基準（洗掘防止工の審査基準）に関する検討

3.3.1.1 A 発電所・B 発電所における設計情報の整理

海底送電線については「電線」、通信ケーブルは「弱電流電線」又は「光ファイバケーブル」として、電気事業法にて求められる要件として電技及び電技解釈を満たす必要がある。

表 3.3 に海底送電ケーブルの主な設計内容と統一的解説との整合性を示す。

表 3.3 海底送電ケーブルの設計内容と統一的解説との整合性

主な設計項目	内容	整合性
ケーブルに関して、電気事業法にて求められる要件（ケーブルそのものの仕様、断線防止）	<海底送電線> ・電気設備に関する技術基準を定める省令 第 6 条、第 7 条、第 20 条 ・電気設備の技術基準の解釈 第 127 条（水上電線路及び水底電線路の施設） <通信ケーブル> ・電気設備に関する技術基準を定める省令 第 6 条、第 7 条、第 20 条	○
海底送電線及び通信ケーブルの敷設	・港湾区域においては、埋設を原則として適切に設計を行う	○

なお、A 発電所・B 発電所の設計事例では、港湾法による要求（港湾の利用又は保全に支障を与えない等）により、電技及び電技解釈では要求していない海底送電線の埋設を検討している。

3.3.1.2 今後の審査方法の検討

設計時に考慮すべき事項（主に、海底送電ケーブルに関する事項）と、設計時に考慮される事項だが、設計者の考え方によって設計内容が異なる事項（主に、洗掘防止工に関する事項）に分けて、今後の審査方法を検討した。

(1) 設計時に考慮すべき事項（主に、海底送電ケーブルに関する事項）

海底送電線は「電線」、通信ケーブルは「弱電流電線」又は「光ファイバケーブル」として、電気事業法にて求められる設計要件として電技及び電技解釈を満たす必要があり、A 発電所・B 発電所の設計事例でもその設計要件に従い設計されている。

一方、港湾区域では港湾法によって海底送電ケーブルを埋設することが原則とされていることから、A 発電所・B 発電所の設計事例では、海底送電ケーブルを埋設することを選択している。埋設深さに関しては、航路部と航路部以外のそれぞれの航路を通過する船舶に総トン数、載貨重量から錨の貫入量を求めて海底送電線の埋設深さを決定している。

航路を通過する船舶の重量をベースに海底送電線の埋設深さを決定して、さらに電気事業法に

て求められる要件である電技及び電技解釈に沿って設計を行うことは、工事計画届出における海底ケーブルに対する技術基準適合性の審査において、専門家会議による審査不要（特殊設備として取り扱う必要性は無し）と考えられる。

なお、港湾区域以外（一般海域）においては、漁業関係者等にとって社会的な制約になり得る可能性があるため、設置区域の漁業関係者などの意見も考慮し、公衆安全を確保した適切な設計をする必要がある。

(2) 設計時に考慮される事項だが、設計者の考え方によって設計内容が異なる事項（主に、洗掘防止工に関する事項）

モノパイル工法の場合、洗掘防止工を実施せずに想定される洗掘深さを考慮して設計を行う等、多数の設計の考え方が存在する。従って、今後も専門家会議による審査が必要（特殊設備として取り扱う必要がある）と考えられる。さらに、統一的解説が公表された後に設計審査を通過した事例がない方法（ジャケット式、重力式等）についても、モノパイル工法と同様に特殊設備として取り扱う必要があると考えられる。

以上のことから、洗掘防止工の設計法については、現状においては専門家会議による審査不要（特殊設備として取り扱う必要性は無し）とすることは難しく、産業保安監督部の審査のみで可能とするためには、さらなる設計例の蓄積が必要な状況である。

3.3.1.3 洗掘防止工に関する研究開発について

洗掘機構及び洗掘防止工については、現状では国内の知見が十分に蓄積されていない段階であるが、港湾空港技術研究所⁶、沿岸技術研究センター⁷が中心となり、洗掘防止工法の確立に関する共同研究が2020年度から開始されるなど、国内での技術的知見が増えることが期待されている。

港湾空港技術研究所、沿岸技術研究センターが進める、洗掘防止工法の確立に関する共同研究においては、網状の袋材に石材を充填した袋型根固材を用いた洗掘防止工法の設計手法の確立を目的としている。

袋型根固材は、国内の港湾、海岸、河川などで使用される洗掘防止工法の一つであり、被覆効果により海底面の砂の洗掘を抑制し、施工端部の洗掘に対して追従して安定する効果があり、さらには製作、設置、維持管理が容易という特性を有する。図 3.4 に洗掘防止工の確立に関する基本実験の様子を示す。

2020年度に基本実験を実施した後、大規模波動地盤総合水路（長さ184m、幅3.5m、深さ12m）に、深さ1mの砂地盤層を設置して、実物の1/9スケールで実験を行い、袋型根固材の洗掘防止性能の確認、安定性及び必要敷設範囲の検証が行われる予定である。

図 3.5 に大規模波動地盤総合水路における実験イメージを示す。

⁶国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所（以下「港湾空港技術研究所」という。）

⁷一般財団法人沿岸技術研究センター（以下「沿岸技術研究センター」という。）

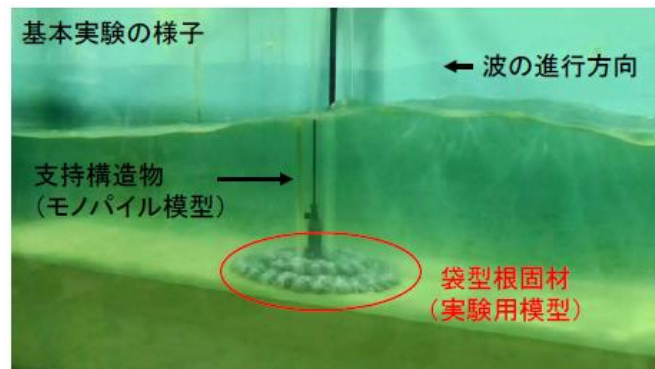


図 3.4 洗掘防止工法の確立に関する共同研究における基本実験の様子⁸

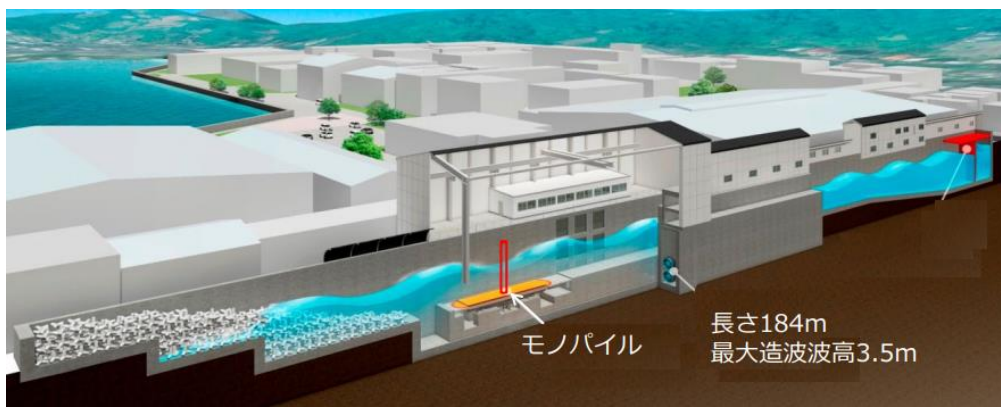


図 3.5 大規模波動地盤総合水路における実験イメージ⁸

⁸ <https://www.pari.go.jp/files/items/15486/File/Offshore%20wind.pdf> (2021 年 3 月閲覧)

3.3.2 タワーと下部構造の接合部（グラウト材）の設計の審査基準に関する検討

3.3.2.1 A 発電所・B 発電所における設計情報の整理

A 発電所・B 発電所の設計事例においては、タワーと下部構造の接合部（グラウト材）の設計に関しては、第三者認証機関の型式認証を取得したグラウト材を用いた設計を行っている。

3.3.2.2 今後の審査方法の検討

(1) グラウトの材料について

統一的解説には、「鋼部材の接合部で使用する高強度グラウト材等の特殊な材料については、第三者認証機関により JIS 規格と同等又はそれ以上の安全性を有していることが承認されるか、あるいは電気事業法及び港湾法の各法に基づく技術基準への適合性を確認する性能評価を受けなければならない。」と記載があり、A 発電所・B 発電所の設計事例では、実際に第三者認証機関の型式認証を取得したグラウト材を用いた設計が行われ、専門家会議による審査を受けている。

一方で、洋上風力発電設備に用いることができる高強度のグラウト材は国内に存在せず、グラウト材の JIS 規格も存在しない状況であり、国内でグラウト材を用いた施工事例は一件もない。さらに、グラウトの材料は大変敏感な材料で、温度、湿度等の環境や実際に施工する人間のスキルに依存する。従って、材料としての物性値から適切な強度を有するかを判断するだけでなく、施工内容が適切であることも含めた審査が必要である。

以上のことから、グラウト材については認証を取得した材料で施工するという点だけでは、専門家会議による審査不要（特殊設備として取り扱う必要性は無し）とするのは時期尚早だと考えられる。現時点では、専門家会議の審査において、施工内容までヒアリングで確認しながら審査を実施する必要がある。

また、グラウト材を製造できる国内メーカーがない状況も考慮し、国内での材料開発を妨げないように配慮する必要がある。

(2) グラウト材の構造解析モデルについて

A 発電所・B 発電所の設計事例では、基準に基づく評価方法にてモノパイルの設計が実施されている。しかしながら、設計時にはそれ以外の解析等の検討がなされている。

また、統一的解析では、モノパイルの設計に用いる構造解析モデルの考え方として、一体モデルと分離モデルの 2 つのモデルが併記されているが、これらは日本国内において標準的な構造計算モデルとして確立していない状況である。

以上のことから、グラウト材に関する構造解析については、欧州の技術基準で体系化ができているものの、国内において構造解析モデルが確立していない現状では、専門家会議による審査不要とすることは難しく、洗掘防止工と同様に、さらなる設計例の蓄積が必要であると考えられる。

(3) 接合部の設計について

接合部の設計方法は変化の激しい分野の 1 つであり、欧州では、グラウト接合による設計例は減り、ボルト接合の設計が主流になっている状況である。グラウト材を用いた接合やボルト接合

以外の、新しい接合方法の提案が今後次々と出てくることが想定される状況であり、それらの動向に配慮した審査が要求される。

また、台風といった日本特有の気象の影響があるため、A 発電所・B 発電所の設計事例にみられるように、バックグラウンドで多数の解析を実施する等、試行錯誤を重ねて事例を増やす中で、国内の海域に適する接合部の設計方法を探求していく段階である。

以上のように、接合部の設計は変化が激しい分野であることを考慮し、今後次々と新しい方法が提案されることを想定した審査が求められる。

3.3.3 タワー及び下部構造の腐食の審査基準に関する検討

3.3.3.1 A 発電所・B 発電所における設計情報の整理

A 発電所・B 発電所の設計事例において、腐食に関する設計に関しては主に腐食速度と塗装仕様について海外規格を用いて検討している。

3.3.3.2 今後の審査方法の検討

A 発電所・B 発電所の設計事例では、腐食速度、腐食対策については、海外規格を用いて設計が行われている。

一方、沿岸技術研究センターを中心に、港湾法に関係する国内の技術基準を基本に、海外の技術基準の併用が可能なように、腐食に関する設計について検討されている。腐食速度、腐食対策に関する設計の考え方における検討では、国内の「港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル」や、DNVGL や ISO などの海外規格・基準等を参考に、各基準の内容の整理を実施している。遠隔監視等を活用した効率的なメンテナンス手法の導入についても調査を行い、「洋上風力発電設備支持構造物の防食工法の手引き（素案）」が公表される予定となっている。ただし、国内と欧州の基準では考え方の異なる部分があることや、国内には鋼材内側の腐食に対する知見がない状況があり、現時点では審査基準レベルには達していない。

将来的な経済産業省の審査の方向性については、沿岸技術研究センターで現在行われている港湾法での腐食速度、腐食対策に関する設計の考え方を電気事業法でも適用することで、専門家会議による審査を不要とし、港湾法と電気事業法の二重審査を回避する方向性が考えられる。しかし、沿岸技術研究センターを中心に進められている現状の整理状況や知見は審査基準レベルとする段階にないため、専門家会議による審査不要（特殊設備として取り扱う必要性は無し）とするまでには時間を要することが想定される。

さらに、国内の各海域ごとに、腐食速度に関する重要な因子（例えば、塩分濃度、水温等）を見極めるために、腐食に関しても事例収集を進める必要がある。

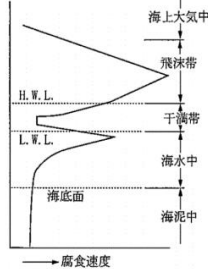
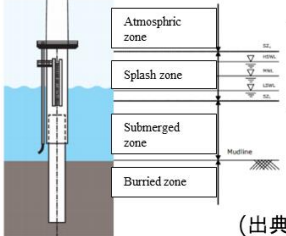
3.3.3.3 腐食速度の比較について

国内の技術基準（港湾の施設の技術上の基準・同解説）と海外規格（DNVGL-RP-0416）の腐食速度の考え方の違いを表 3.4 に示す。

鉛直方向の分類については国内と海外では考え方が異なるが、海外規格の DNVGL-RP-0416 のスプラッシュゾーン（splash zone）は、国内の技術基準である「港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル」で示された、腐食速度が大きい領域（飛沫帯の一部、干満帯、海水中の一部）を含む範囲を設定している。

また、DNVGL-RP-0416 ではスプラッシュゾーンにおける腐食速度の設計最小値を規定していて、温帯（temperate climate）では 0.30mm/年 となっている。これは、港湾の施設の技術上の基準・同解説で示されている腐食速度の標準値と同じである。

表 3.4 港湾の施設の技術上の基準・同解説と DNVGL-RP-0416 の比較

	港湾の施設の技術上の基準・同解説 (港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル)	DNVGL-RP-0416 (IEC 61400-3 (JIS C 1400-3))																													
鉛直方向の分類	・飛沫帯の範囲は明示していない  (出典: 港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル)	・Splash zoneの範囲: 上限: 最高静水位(H.S.W.L.)に有義波高の波(再現期間1年)の波頂高を加えた高さ 下限: 最低静水位(L.S.W.L.)から有義波高の波(再現期間1年)の谷を差し引いた高さ ・Splash zoneは飛沫帯の一部、干満帯、海水の一部を含む領域  (出典: DNVGL-RP-0416)																													
腐食速度	・腐食速度の標準値 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">腐食環境</th> <th>腐食速度 (mm/年)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">海側</td> <td>H.W.L. 以上</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>H.W.L. ~ L.W.L. - 1m まで</td> <td>0.1 ~ 0.3</td> </tr> <tr> <td>L.W.L. - 1m ~ 海底部まで</td> <td>0.1 ~ 0.2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>海底泥層中</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">陸側</td> <td>陸上大気中</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>土中 (残留水位以上)</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>土中 (残留水位以下)</td> <td>0.02</td> </tr> </tbody> </table> (出典: 港湾の施設の技術上の基準・同解説)	腐食環境		腐食速度 (mm/年)	海側	H.W.L. 以上	0.3	H.W.L. ~ L.W.L. - 1m まで	0.1 ~ 0.3	L.W.L. - 1m ~ 海底部まで	0.1 ~ 0.2		海底泥層中	0.03	陸側	陸上大気中	0.1	土中 (残留水位以上)	0.03	土中 (残留水位以下)	0.02	・Splash zoneにおける、腐食速度の設計最小値 (temperate climateは年平均海面温度が12[°C]以下と規定) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Region</th> <th>V_{corr} External Surface</th> <th>V_{corr} Internal Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Temperate climate (annual mean surface temperature of seawater $\leq 12^{\circ}\text{C}$)</td> <td>0.30 mm/yr</td> <td>0.10 mm/yr</td> </tr> <tr> <td>Subtropical and tropical climate</td> <td>0.40 mm/yr</td> <td>0.20 mm/yr</td> </tr> </tbody> </table> (出典: DNVGL-RP-0416) ・Submerged zone(海水中)における、腐食速度の設計最小値は0.1mm/年とする。	Region	V_{corr} External Surface	V_{corr} Internal Surface	Temperate climate (annual mean surface temperature of seawater $\leq 12^{\circ}\text{C}$)	0.30 mm/yr	0.10 mm/yr	Subtropical and tropical climate	0.40 mm/yr	0.20 mm/yr
腐食環境		腐食速度 (mm/年)																													
海側	H.W.L. 以上	0.3																													
	H.W.L. ~ L.W.L. - 1m まで	0.1 ~ 0.3																													
	L.W.L. - 1m ~ 海底部まで	0.1 ~ 0.2																													
	海底泥層中	0.03																													
陸側	陸上大気中	0.1																													
	土中 (残留水位以上)	0.03																													
	土中 (残留水位以下)	0.02																													
Region	V_{corr} External Surface	V_{corr} Internal Surface																													
Temperate climate (annual mean surface temperature of seawater $\leq 12^{\circ}\text{C}$)	0.30 mm/yr	0.10 mm/yr																													
Subtropical and tropical climate	0.40 mm/yr	0.20 mm/yr																													

3.4 洋上風力発電設備の審査方法に関する整理

(1) A 発電所・B 発電所の設計事例に基づく審査方法の整理について

A 発電所・B 発電所の設計事例を参考に、専門家会議による審査不要（特殊設備として取り扱う必要性は無し）に向けて検討を進めることができるかについて検討を行った。

以下の項目については、A 発電所・B 発電所の設計事例等を参考に、専門家会議による審査不要に向けて検討を進めることができると考えられる。

- 港湾区域における海底ケーブルの埋設の考え方

一方、以下の項目については、専門家会議による審査不要と考えるには時期尚早で、関係者との調整やさらなる事例の蓄積が必要であると考えられる。

- 一般海域における海底ケーブルの扱い
- モノパイル工法における洗掘防止工の設計の考え方
- グラウト材として第三者認証機関の認証を得た材料を適用すること
- グラウト材の設計方法（構造解析モデル）の考え方
- 今後新しい方法の出現が予想される接合部の設計方法
- 腐食速度、腐食対策に関する設計の考え方

なお、腐食に関しては、沿岸技術研究センターを中心に、腐食速度、腐食対策に関する検討を進めているので、将来の方向性としては、電気事業法の審査でも港湾法の審査方法と同様な内容で行い、専門家会議による審査不要とすることが考えられる。しかし、現状の整理状況や知見は審査基準レベルとする段階にないため、専門家会議による審査不要とするまでには時間を要することが想定される。

(2) 洋上風力発電設備の審査項目の現状分析

洋上風力発電設備の審査項目の現状を以下の3つに分類、整理を行った。

- 審査基準が明確なもの
- 国内技術基準と海外技術基準が併記され明確でないもの
- 海外技術基準が引用されているもの、基準が存在しないもの

洋上風力発電設備の審査項目を分析整理した結果を表 3.5 に示す。

表 3.5 洋上風力発電設備の審査項目についての整理

設計の流れ

	サイト条件等の確認	荷重条件等設定	構造設計計算	照査
審査が明確なもの	● 風条件（観測塔＋風速計） ● 海象条件（水深、潮位、波浪、水流） ● 地盤条件（標準貫入試験：SPTを用いた場合） ● 使用材料（建築基準法に準拠）			
国内技術基準と海外技術基準が併記され明確でないもの		● 荷重の組み合わせ ● 荷重条件（風、地震、波浪、津波、海水、液化化等） ● 洗掘の作用と対策 ● 腐食の作用と対策	● 設計計算に用いる物性値、地盤ばねの算定方法等のパラメータの設定方法	● 照査に用いる荷重係数、抵抗係数、許容応力度 ● タワーの設計照査 ● 下部構造・基礎の設計照査
海外技術基準が引用されているものの基準がないもの	● 風条件（スキャニングライダー） ● 地盤条件（コーン貫入試験：CPT） ● 雷条件（別件で調査中） ● 接合部のグラウト材料 ● 送電ケーブル ● ダイナミックケーブル	● 地震発生時の緊急停止、停止時の扱い ● 浮体式洋上風力発電設備に作用する荷重（例と記載あり）	● 構造解析モデル ● 接合部の構造設計計算モデル ● 浮体式洋上風力発電設備の構造設計モデル	● 浮体式洋上風力発電設備における設計照査

※青字の項目については、専門家会議を不要とできるかどうかを要検討

※赤字の項目については、将来的な検討ロードマップの作成

統一的解説では洋上風力発電設備の設計の考え方が現状の国内技術基準、海外技術基準を併用して提示されたものの、洋上風力発電設備としてウィンドファーム認証を取得し、工事計画届出が行われた案件が1事例である現状においては、荷重評価、構造計算、評価方法まで明確になっていない項目が多数存在する状況である。従って、今後も専門家会議による審査を実施し、設計事例の積み増しが必要である。

以上から、今後3年から4年程度の設計事例の積み増しを行い、さらに各種技術開発の動向を睨みながら、専門家会議による審査不要とできるかに関して、再度の議論を行うことが望ましい。

4 電気事業法上の審査における今後の課題と対応方針・ロードマップの提言

洋上風力発電設備の設計に係る 5 つのテーマについて、課題、ニーズ等の現状を整理して、電気事業法上の審査における今後の課題と対応方針・ロードマップの提言についての検討を実施した。

- 洋上風況観測方法（観測機、観測地点間距離、観測期間等）
- 海底地盤調査方法
- 浮体式洋上風力発電設備に用いる海底送電ケーブル（ダイナミックケーブル）の技術基準
- 洋上風力発電設備に用いる材料（鋼板、ボルト等）の審査基準
- 洋上風力発電設備の定期事業者検査の方法

4.1 洋上風況観測方法に関する検討

4.1.1 洋上風況観測方法に関する課題

洋上風況観測方法については、参考となる規格基準類として、IEC 61400-12-1（JIS C 1400-12-1：発電用風車の性能試験方法）、MEASNET Evaluation of site-specific wind conditions がある。しかしながら、両規格とも、観測塔に取り付けた計測機器による風況観測を求めていること、海域全体を俯瞰するための観測機器間の距離、観測期間等は具体的に明記されていない課題がある。

表 4.1 洋上風況観測の主な規格基準

規格基準	主な内容
IEC 61400-12-1 (JIS C 1400-12-1)	・風速計測は、カップ形風速計とし、気象観測マストに取り付ける。リモートセンシング装置と観測塔の併用による風速計測は認められているが、リモートセンシング装置単独の計測は認められていない。 ・風速計は地形の一般的影響パラメータにより、等級分けされている。 ・風向計測は、矢羽根形風向計によって行い、気象観測マスト上のブームに取り付ける。 ・サンプリング周波数は 1Hz あるいはそれ以上とし、風速、風向は連続した 10 分間の計測データに基づいて、10 分間の平均、標準偏差、最小及び最大値を保存する。
MEASNET Evaluation of site-specific wind conditions	・サイトの風速計測、風向計測は IEC61400-12-1 に準拠して行う。 ・風速の観測高さは、ハブ高さの 3 分の 2 以上とする。 ・観測地点と風車設置地点の距離は、地形の複雑さに応じた代表半径内とするのが望ましい。 ・観測期間は、1 年以上とする。 ・サンプリング周波数は 1Hz あるいはそれ以上とし、風速、風向は 10 分間平均値として計測し、平均及び標準偏差を保存する。 ・風速計は MEASNET のガイドラインに従い、MEASNET 認証機関において校正する。

また、数年前までは、ドップラーライダー等のリモートセンシング技術を活用した観測方法についても、風速の乱れ成分の観測、沖合での風速の鉛直分布の観測手法が確立していない課題もあった。

他の課題としては、1 年間にわたる風況観測が求められているところ、風車の大型化に伴い、60m 以上の観測塔を建設しようとする場合に、建築物の耐久性が要求され、コスト高となることが挙げられる。特に、洋上に 60m 以上の観測塔を建設しようとする場合には、さらに多大な費用が必要となると見込まれる。

4.1.2 着床式洋上ウィンドファーム開発支援事業（洋上風況調査手法の確立）の状況

本事業は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）⁹が進めている、日本の海域における洋上風況の合理的な観測手法を確立するための技術開発等を行う事業である。

当該事業は 2021 年度までの実施が予定されていて、リモートセンシング技術を利用した洋上風況観測手法の確立が期待される。具体的には下記の項目に関する検討を実施している。

⁹国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（以下、「NEDO」という。）

- リモートセンシング技術を利用した洋上風況観測精度の検証及び観測手法の確立
 - ・ スキャニングライダーによるデュアル観測等の精度検証及び洋上風況観測手法を確立
 - ・ フローティングライダーによる精度検証及び洋上風況観測手法を確立
- シミュレーションを用いた観測期間短縮化手法の検討
 - ・ 実際のサイトにおける年間観測の開始後、数ヶ月分のライダーの観測値が得られた段階で、気象モデル WRF による年間シミュレーション結果との組合せにより年間風況を推定する手法の精度検証と確立

リモートセンシング技術を活用した洋上風況観測手法の検討では、むつ小川原港（青森県上北郡六ヶ所村）の観測サイトにおいて、スキャニングライダー2機種及びフローティングライダー3機種による予備観測が2020年下半期より開始されている。

4.1.3 洋上風況観測方法の技術基準に関するロードマップイメージについて

洋上風況観測方法の技術基準のロードマップイメージを図4.1に示す。

現在実施されているNEDOプロジェクトにより、リモートセンシング技術を利用した洋上風況観測のうち、スキャニングライダーによるデュアル観測等の手法は確立していることが期待される。NEDOプロジェクトの終了後、洋上風況観測手法として確立した技術から順に、国内審査基準制定に向けた検討に着手することが想定される。

一方で、課題の残る洋上風況観測手法については、さらなる高精度化のための検証事業が必要となると見込まれる。

なお、基準制定に向けたデータの取得、検討は、NEDOで実施されているプロジェクトで実施されると見込まれるが、国内審査基準制定について検討する組織はNEDOとは異なる組織が行うこととなるため、国内の技術基準、審査基準の整備を行う主体を別途決定する必要がある。

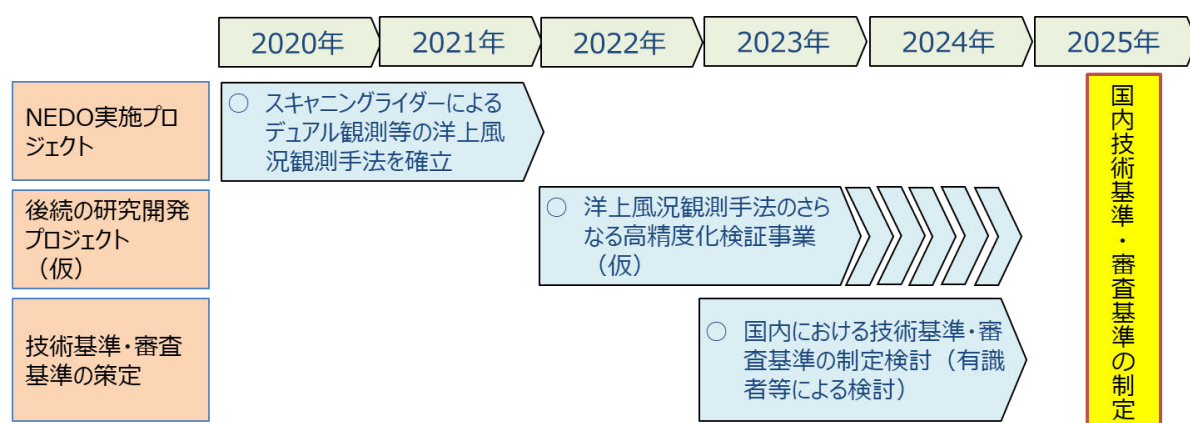


図 4.1 洋上風況観測方法の技術基準のロードマップイメージ

NEDOで実施しているプロジェクトでは、リモートセンシング技術を利用した洋上風況観測に関する成果が期待されるので、具体的なデータが公開されるプロジェクト終了後に、ロードマッ

プや国内審査基準の制定については改めて検討をする必要があると考えられる。

また、日本では台風の影響があり、日本のリモートセンシング技術を利用した洋上風況観測に係る技術や審査基準は、アジアモンスーン地域への展開の際にも強みになることが想定される。

4.2 海底地盤調査方法に関する検討

4.2.1 海底地盤調査方法に関する課題

統一的解説においては、海底地盤調査の方法として、標準貫入試験（以下「SPT」という。）及びコーン貫入試験（以下「CPT」という。）の2つの方法を併用することが可能であるが、2つの試験を併用する場合は、SPTとCPTのデータの突合せを行う必要があることが明記されている。一方、データの突合せを実施するにあたって、洋上風力発電設備を設置する位置を基準とした試験の実施間隔が明記されていないことから、審査基準が明確になっていないことが課題である。

また、日本の地盤の状況は均質な地盤の欧州とは異なることや、欧州の地盤調査ではCPTが実施されているのに対し日本では現在でもSPTが主流の地盤調査であることから、海底地盤の調査方法に関する考え方は日本と欧州では異なっている。日本の実情に合わせた方向で地盤調査を行いたいものの、日本の地盤調査方法による調査のみならず、欧州で行われている地盤調査の方法でも調査、検討する必要性が生じる可能性がある。

4.2.2 海底地盤調査方法に関する技術基準検討の方向性について

海底地盤調査方法に関しては、沿岸技術研究センターにて検討が現在進められている。具体的には、SPTとCPTのデータの突合せを行う割合等の検討が実施されており、今後、「洋上風力発電設備に係る海底地盤の調査及び評価の手引き」として公開される予定である。ただし、手引き書の内容はまだ基準として使用できる状況には達していない。

将来的な経済産業省の審査の方向性については、沿岸技術研究センターで現在行われている港湾法での海底地盤調査方法に関する検討内容を電気事業法でも適用し、専門家会議による審査不要とし、港湾法と電気事業法の二重審査を回避する方向性が考えられる。しかし、沿岸技術研究センターが公開予定の手引き書は基準としては使える段階でなく、現状の整理状況や知見は審査基準レベルとする段階にはないことを考慮すると、専門家会議による審査不要とするまでには時間を要することが想定される。

4.3 浮体式洋上風力発電設備に用いる海底送電ケーブル（ダイナミックケーブル）の技術基準に関する検討

4.3.1 ダイナミックケーブルに関するヒアリング調査

海上技術安全研究所¹⁰とケーブルメーカーに対して、ダイナミックケーブルの技術基準に関するヒアリング調査を実施した。海上技術安全研究所からは主に生物付着に関する内容について、ケーブルメーカーからは主にダイナミックケーブルの技術基準に関する内容についてヒアリングを行った。

(1) 海上技術安全研究所へのヒアリング調査

(a) 海上技術安全研究所における生物付着量に関する実施内容

海上技術安全研究所では国土交通省海事局から調査研究の一環として、合成繊維索、チェーンを対象に、生物付着量の検討を実施している。検討は合成繊維索、チェーンを対象としているが、ダイナミックケーブルと、合成繊維索及びチェーンとでは、海洋生物の付着状況が同等であることを前提としている。ヒアリング時点では、付着生物の重量や密度についての議論はまとまりつつある状況であった。また、実海域での浸漬試験も実施しており、結果は2021年度末にまとめられる計画となっている。

(b) 生物付着の状況について

海洋生物の付着は海域毎で異なる上、同じサイトでも風車1機毎、さらには風車の係留索毎に異なる。また、付着する生物種によって、付着重量、密度は大きく変わる。従って、ダイナミックケーブルの設計時には事前に一定期間観察した生物付着量の情報（生物付着の厚み、範囲、密度の観察したデータ）が必要になる。生物付着の厚み、範囲、密度の観察データから、生物付着の重量が計算できるので、ダイナミックケーブルの設計に活用される。

(c) 生物付着に対する対策

生物付着に対する対策には、以下の2つの方法が考えられる。

- 浮力体（ブイ）により生物付着による沈下に見合う浮力を生じさせる方法
- ケーブルの最下点にシンカー（重り）をつける方法

海洋生物が付着してケーブル全体が一定量沈下した場合に、先にシンカーが着底してシンカーの重力が掛からない状態を作り浮力を得て、バランスを取る方法

その他にも生物付着がしにくい防汚塗料により生物付着量を抑える方法があるが、ある一定期間は生物付着量を抑える効果はあるものの、完全に防ぐことは難しい。

¹⁰国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所（以下、「海上技術安全研究所」という。）

(d) ケーブルの挙動評価について

ケーブルの挙動評価は石油・ガス分野で既の実績があり確立している解析手法、解析ツールを活用して設計を行うことができる。

生物付着を考慮する場合、ケーブル自身の重量に、生物付着の厚み、範囲、密度（生物種ごとに異なる）から算出される付着重量を加算して、ケーブルの沈下量や荷重を求め、ケーブルの設計を実施する。

(2) ケーブルメーカーへのヒアリング調査

(a) ダイナミックケーブルの構造について

送電ケーブルの基本構造に関しては、電技解釈の第 127 条に則して作られている。それに加えダイナミックケーブルの特性に合わせて、2 重交互撚りの採用、疲労に弱い遮水層部設計の工夫等で、メーカーが独自に工夫している。

(b) ダイナミックケーブルに関わる基準、規格の動向について

現状では国内、海外共にダイナミックケーブルの設計基準、規格は存在していないが、CIGRE（国際大電力システム会議）がダイナミックケーブルの技術基準の取りまとめ作業を実施している。今年度中に取りまとめられる予定であったがコロナの影響で遅れている。

ダイナミックケーブルに関する国内の技術基準の検討は、CIGRE で技術基準が制定された後に、その技術基準（設計思想）に準拠して実施されることが想定される。その際、生物付着等の日本の海域特有の現象が加味されて、検討が進められると見込まれる。

(c) 今後の課題

現在使用されているダイナミックケーブル（66kV）より、更に高電圧に対応するダイナミックケーブルが今後必要となる可能性があり、欧米では超高電圧ダイナミックケーブルの開発が既に着手している。

4.3.2 ダイナミックケーブルに関する技術基準のロードマップイメージについて

ダイナミックケーブルに関するロードマップイメージを図 4.2 に示す。

ダイナミックケーブルの審査基準は、CIGRE の技術基準をベースに、海上技術安全研究所が実施している日本の海域の生物付着現象に係る調査結果を加味して作成することが想定される。従って、審査基準の制定検討は、CIGRE の検討、海上技術安全研究所における検討が終了した後に開始され、審査基準の制定まで早くとも 3 年ほどかかると見込まれる。

ただし、技術基準を検討する際には、海外の技術基準の考え方を日本で使用することはよいが、設計時に使用できる数値が海外の基準に定められた数値に限定されることなく、生物付着量等は国内の状況に合った数値を使用できるように配慮される必要がある。

また、生物付着に対する対策についての検討は各実証研究で実施されており、対策の効果があると認められたものについては、技術基準本体か解説あるいは補足資料という形で情報提供があった方がよいと考えられる。

一方で、ダイナミックケーブルには電気を伝える機能面と自然現象（海流、生物付着等）に起因する強度面の 2 つの側面があり、いずれかの関連組織が技術基準・審査基準の整備を行う主体となるかについて調整する必要がある。

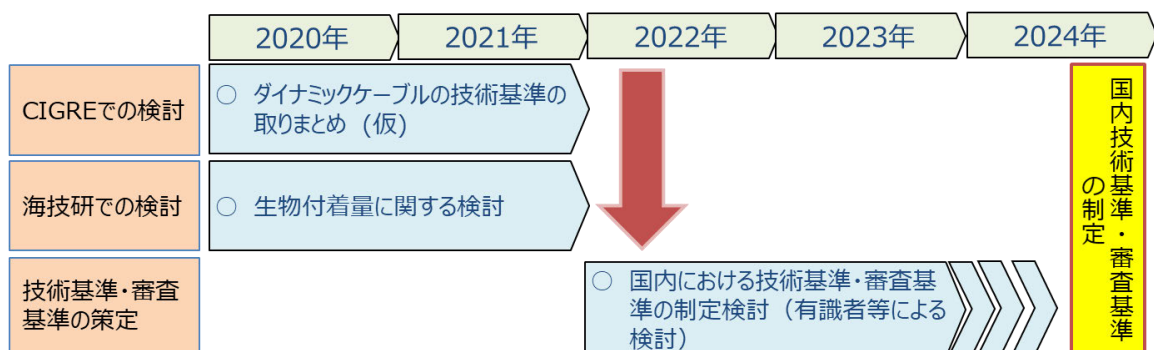


図 4.2 ダイナミックケーブルに関する技術基準のロードマップイメージ

ケーブルに一番のダメージを与えるのは、生物付着による着底損傷であり、実際に国内では生物付着による損傷事例が発生していることを背景に、日本海域の調査が現在実施されている。国内の各海域について、生物付着状況の調査結果が間もなくまとめられることを受けて、ロードマップや基準の制定については再度議論をした方がよいと考えられる。

4.4 洋上風力発電設備のみに用いる材料（鋼板、ボルト等）の審査基準に関する検討

4.4.1 材料に関する要望

洋上風力発電設備のみに用いる材料（鋼板、ボルト等）について、事業者からは以下の要望があることが確認された。

- 高強度材料（例えば、EN 材と同等の強度）を適用可能すること
- 100mm 以上の厚さを有する鋼材に関する基準強度の設定

4.4.2 材料の専門家への意見聴取

洋上風力発電設備のみに用いる材料（鋼板、ボルト等）に関して、材料の専門家より、以下の点について意見聴取を行った。

- 洋上風力発電設備に現在適用可能な材料
- 高強度の材料の活用について
- 洋上風力発電設備用の材料開発の見通し

(1) 洋上風力発電設備に適用可能な材料

現在、洋上風力発電設備に適用可能な材料は以下の通りである。

- 平成 12 年建設省告示第 1446 号（建築物の基礎、主要構造部等に使用する建築材料並びにこれらの建築材料が適合すべき日本工業規格又は日本農林規格及び品質に関する技術的基準を定める件）別表第一（い）欄に掲げる材料の区分に応じ、それぞれ同表（ろ）欄に掲げる日本工業規格に適合する材料
- 国土交通省の大臣認定を取得した風力発電用材料及び建築用材料 ※
- 電力安全課の材料の発電用風力設備に関する技術基準適合に係る確認が行われた材料

※ 経済産業省での確認等の作業が必要なため、完全に無条件に使用できるわけではないではない点に留意する。

(2) 高強度の材料の活用について

高強度の鋼材については、国内では、建築用途として国土交通大臣認定を取得済みの材料が開発されており、この材料が洋上風力発電設備に対して適用可能である（例えば、SA440B、C：建築構造用高性能 590N/mm² 鋼材）。

フランジ材については、現状認可されている材料の中で、520N/mm² の鍛鋼品が最大の強度である。520N/mm² 以上の強度（JIS G 3201 に規定されている鍛鋼品で、SF540 以上の規格）の製品を開発して洋上風力発電設備に使用しようとする場合は、電力安全課の確認が必要となる。

また、厚みが 100mm 以上の鋼材については、例えば JIS G 3106 の附属書 JA に規定されてい

る製造メーカーと風力発電事業者の受渡当事者間で合意した鋼板の使用にあたっては、試験機関による化学成分及び引張試験を実施する必要がある、さらに電力安全課の確認が必要となる。

(3) 洋上風力発電設備用の材料開発の見通し

洋上風力発電設備に用いる材料については、設計での要求性能（例えば、弾性的な強度、塑性後の靱性等）や、使用する場所等の具体的な情報が分かれば、材料の開発自体は可能であろうと考えられる。

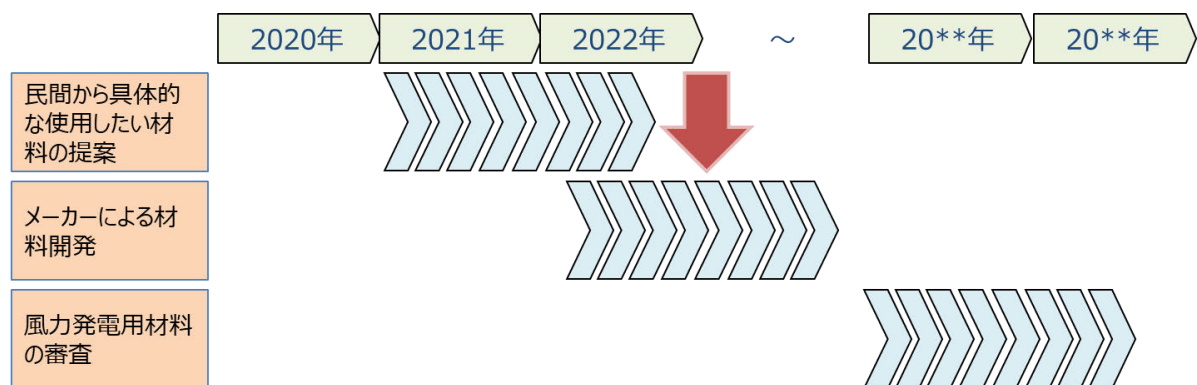
ただし、100mm 以上の厚さの鋼材については製造は可能であったとしても、加工が困難であるという問題がある。

4.4.3 材料に関する技術基準のロードマップイメージについて

材料における技術基準の制定は、新しい材料が開発されて洋上風力発電設備に使用する段階で、改めて検討することがよいと考えられる。

材料の開発については、設計での要求性能（弾性的な強度、塑性後の靱性等）や、使用する場所等の具体的な情報が分かれば、材料の開発自体は可能であろうと考えられる。従って、現在は認可を受けていない高強度材料や 100mm 以上の厚さを有する鋼材が、どのような化学的性質、機械的な性質を有していて、どのような場所に使用するかについて、事業者側からのより具体的な提案が求められている段階である。

材料における技術基準のロードマップイメージを図 4.3 に示す。また、事業者より、材料等についての具体的な提案がある場合、技術基準の検討時期は前倒しされる可能性がある。



4.4.4 鋼材の機械的性質、化学成分に関する情報

高強度の鋼材に関して、建築用の高耐力鋼材 SA440 の機械的性質、化学成分のデータと、炭素鋼鍛鋼品 JIS G 3201:2008 の規定を以下に示す。

(1) 建築用高耐力鋼材の機械的性質、化学成分

建築用高耐力鋼材の一例として、神戸製鋼所の高耐力鋼材 SA440 の機械的性質、化学成分を表 4.2 に示す。図 4.4 に示す国土交通大臣の認定書、指定書においては、許容応力度の基準強度と材料強度の基準強度はともに 440N/mm² となっている。

表 4.2 高耐力鋼材 SA440 の機械的性質、化学成分（神戸製鋼所）¹¹

建築構造用高性能590N/mm ² 鋼材 SA440 機械的性質											
規格	板厚 範囲 t (mm)	引張試験						シャルピー衝撃試験		厚さ方向絞り値 (%)	
		降伏点 または 耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	降伏比 (%)	伸び			温度 (℃)	吸収エネルギー (J)	3個 の 平均 値	個々の 値
					板厚 (mm)	試験片	(%)				
SA440B	19～ 100	440～540	590～740	≤80	－	5号 4号	≥26 ≥20	0	≥47	－	－
SA440C		440～540	590～740	≤80	－	5号 4号	≥26 ≥20	0	≥47	≥25	≥15

建築構造用高性能590N/mm ² 鋼材 SA440 化学成分									
規格	適用 板厚 t (mm)	化学成分 (%)							
		板厚範囲 (mm)	C	Si	Mn	P	S	炭素当量 Ceq (%) ※1	溶接割れ感受性組成 Pcm (%) ※2
SA440B	19≤t≤100	40≥ 40<	≤0.18	≤0.55	≤1.60	≤0.030	≤0.008	≤0.44 ≤0.47	0.28≤ 0.30≥
SA440C		40≥ 40<	≤0.18	≤0.55	≤1.60	≤0.020	≤0.008	≤0.44 ≤0.47	0.28≤ 0.30≥

※1 Ceq (%) = C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14

※2 Pcm (%) = C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B

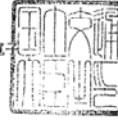
¹¹ <https://www.kobelco.co.jp/products/plate/construction/heavyplate/sa440.html#ninsyou>
(2021 年 3 月閲覧)

認定書

国住指第 315 号
平成 14 年 5 月 7 日

株式会社神戸製鋼所
代表取締役社長 水越 浩士 様

国土交通大臣 林 寛子



下記の構造方法又は建築材料については、建築基準法第 68 条の 26 第 1 項の規定に基づき、同法第 37 条第二号の規定に適合するものであることを認める。

記

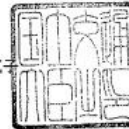
1. 認定番号
MSTL-9001
2. 認定をした構造方法又は建築材料の名称
建築構造用高性能 590N/mm²鋼材 (SA440B、C)
3. 認定をした構造方法又は建築材料の内容
別添の通り

指定書

国住指第 315-2 号
平成 14 年 5 月 7 日

株式会社神戸製鋼所
代表取締役社長 水越 浩士 様

国土交通大臣 林 寛子



下記の建築基準法第 37 条第二号の国土交通大臣の認定を受けた鋼材等に係る許容応力度等の基準強度について、平成 12 年建設省告示第 2464 号第一第二号、第二第二号、第三第二号及び第四第二号の規定に基づき、下記の通り数値を指定する。

記

1. 認定番号
MSTL-9001
2. 認定をした構造方法又は建築材料の名称
建築構造用高性能 590N/mm²鋼材 (SA440B、C)
3. 指定する数値

(1) 許容応力度の基準強度 440 N/mm²

(2) 溶接部の許容応力度の基準強度 440 N/mm²

(3) 材料強度の基準強度 440 N/mm²

上記の数値の 1.05 倍以下とすることができる。

(4) 溶接部の材料強度の基準強度 440 N/mm²

上記の数値の 1.05 倍以下とすることができる。

図 4.4 国土交通大臣の認定書、指定書 ¹²

¹² <https://www.kobelco.co.jp/products/download/steel-aluminum/files/MSTL-9001.pdf> (2021 年 3 月閲覧)

(2) 炭素鋼鍛鋼品 JIS G 3201:2008 に定める機械的性質

炭素鋼鍛鋼品 JIS G 3201:2008 の規定（降伏点、引張強さ、伸び、絞り、硬度）を表 4.3 に示す。

表 4.3 炭素鋼鍛鋼品 JIS G 3201:2008 の規定（焼なまし、焼ならし又は焼ならし焼戻しを行った鍛鋼品の機械的性質）

種類の記号	降伏点 N/mm2	引張強さ N/mm2	伸び% 罫線 14A 号試験片		絞り%		硬さ ¹³
			軸方向	切線方向	軸方向	切線方向	
SF340A	175 以上	340～440	27 以上	23 以上	50 以上	38 以上	90 以上
SF390A	195 以上	390～490	25 以上	21 以上	45 以上	35 以上	105 以上
SF440A	225 以上	440～540	24 以上	19 以上	45 以上	35 以上	121 以上
SF490A	245 以上	490～590	22 以上	17 以上	40 以上	30 以上	134 以上
SF540A	275 以上	540～640	20 以上	16 以上	35 以上	26 以上	152 以上
SF590A	295 以上	590～690	18 以上	14 以上	35 以上	26 以上	167 以上

¹³ 同一ロットの鍛鋼品の硬さのばらつきは、HB30 以下とし、1 個の鍛鋼品の硬さのばらつきは、HB30 以下とする。

4.5 洋上風力発電設備の定期事業者検査の方法に関する検討

4.5.1 定期事業者検査の方法に関する要望、課題

(1) 事業者からの要望

洋上風力発電設備における定期事業者検査について、事業者より以下の2点の要望があることが確認している。

(a) 定期事業者検査の頻度の見直し

洋上風力発電設備で冬季に点検を行うことが困難なことから、センサーやドローンを活用した点検を実施することで、半年に1回の検査の実施が求められている項目について、点検頻度を1年に1回へと変更することや、半年に1回の検査が完了できなかった場合の措置を明確にすることが要望されている。

(b) ボルト点検に関する合理化

ボルト点検の試験頻度については、現状では1年で10%（10年で100%）の試験頻度が要求されているが、メーカー側からは4年で10%の試験頻度が推奨されている。

点検のスマート化などと合わせて、事業者からは検討を実施してほしいとの要望がある。

(2) 検討会における議論

洋上風力発電設備では、専門家も加わった整った体制の中で、計画段階から維持管理を含めた検討を実施するため、陸上風力発電設備とは異なる定期事業者検査の仕組みが必要である。

一方で、定期事業者検査へのセンサーの活用について、取り付けるセンサーの種類、データの記録・解釈等に関しての基準化検討ができる段階ではない。実際にセンサーを取り付けて洋上風力発電設備に関するデータを取得やセンサーによる監視により定期事業者検査に求められる検査内容のうち、どこまでの対応が可能かを議論する必要がある。

以上の状況から、まずは、陸上風力発電設備と洋上風力発電設備について、点検項目、点検体制、現地へのアクセスの容易性等、両者の定期事業者検査に関する違いを明確にするとともに、センサーを活用したCMS¹⁴（状態監視システム）により、洋上風力発電設備の状況をどの程度把握できるかの検討を行うことが必要である。

¹⁴ CMS : Condition Monitoring System（状態監視システム）

4.5.2 定期事業者検査の方法の見直しに関するロードマップイメージ

定期事業者検査の方法の見直しに関するロードマップイメージを図 4.5 に示す。

現状としては、事業者から定期事業者検査の見直しに関しての要望があるものの、洋上風車に設置するセンサーや CMS のデータ取得が進んでいないため、検査頻度の見直し等の検討ができる段階にはない。従って、まずは事業者から検討に必要なデータの提供や、IoT 機器の利用、センサーを利用した CMS の導入とそれによる常時遠隔状態監視、解析への AI 利用、ドローン＋カメラによる目視代替等の検討を進めて、より具体的な提案が示されることが望まれる。その後に定期事業者検査の見直しの検討が実施されると見込みである。

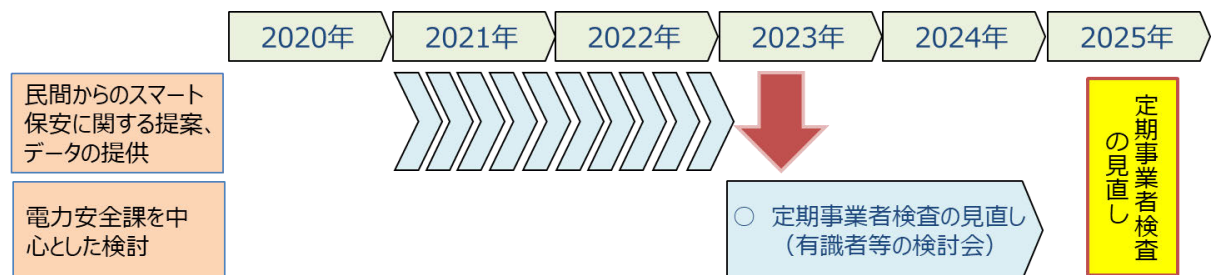


図 4.5 定期事業者検査の方法の見直しの検討のロードマップイメージ

なお、ロードマップに示した定期事業者検査の見直し検討時期については、事業者より、検討に必要なデータの提供やより具体的な提案が行われる場合、前倒しされる可能性がある。

4.5.3 洋上風力発電設備の遠隔監視に関する状況

(1) 国内における遠隔操作による保守点検作業の取り組みについて

国内では、ドローンを活用して、遠隔操作による保守点検作業の実証実験が行われている。以下に情報を整理する。

(a) 東京電力における実証実験

東京電力では、2018 年 11 月から 2019 年 1 月にかけて、洋上風力発電設備において、海中設備および空中ブレードの保守点検作業の自動化を目的とした水中ロボット・空中ドローン活用の実証実験を行い、遠隔操作による保守点検作業（データ収集）が可能であることを確認している。図 4.6 に実証実験の概要を示す。

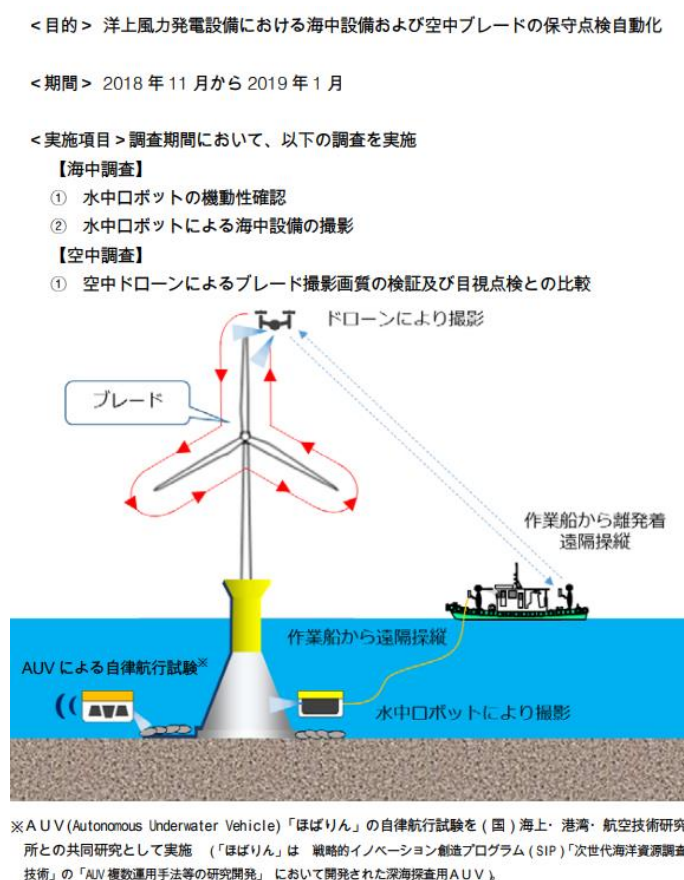


図 4.6 洋上風力発電設備における遠隔点検の実証実験（東京電力）¹⁵

(b) 関西電力における研究開発

関西電力では、2020 年から 2022 年にかけて、NEDO が行う「風車運用・維持管理技術高度化研究開発」の事業の中で、ドローンと AI 画像解析の活用による洋上風力設備の運用・維持管理技術の研究開発を実施している。風車発電設備の緊急発電停止後の臨時点検や定期点検において、ド

¹⁵ <https://www.tepco.co.jp/press/release/2019/pdf2/190514j0101.pdf>（2021 年 3 月閲覧）

ローンおよび AI を用いた画像解析技術を活用することにより運用・維持管理の迅速化・効率化を図り、更には発電電量増加、点検コスト削減を達成することを目標としている。図 4.7 に研究開発の概要を示す。

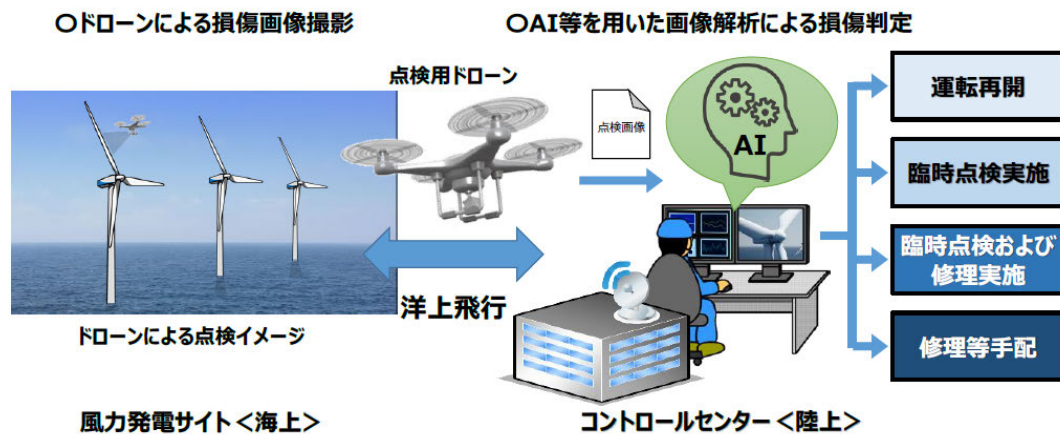


図 4.7 ドローンと AI 画像解析の活用による洋上風力設備の運用・維持管理技術（関西電力）¹⁶

(c) 電源開発、KDDI における実証実験

電源開発と KDDI では、従来の高所作業による外観点検の代替性の検証として、風力発電機のブレードに沿って自動撮影が可能なドローンを用いて、風力発電機の自動点検の有効性の実証を 2020 年 9 月に実施している。今後は、収集したデータの AI 解析、目視外飛行、遠隔操縦などの取り組みを段階的に進める予定となっている。図 4.8 に実証実験の概要を示す。



図 4.8 風力発電設備点検の目指す姿（電源開発・KDDI）¹⁷

¹⁶ https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2020/1020_1j.html（2021 年 3 月閲覧）

¹⁷ https://www.jppower.co.jp/news_release/2020/10/news201007.html（2021 年 3 月閲覧）

(2) 海外で実施されている洋上風力発電設備の遠隔監視装置や遠隔監視方法

海外で実施されている洋上風力発電設備の遠隔監視装置や遠隔監視方法について、表 4.4 に示す。

表 4.4 海外で実施されている洋上風力発電設備の遠隔監視装置や遠隔監視方法¹⁸

番号	監視対象設備の区分	損傷要因	監視対象の事象	監視項目	監視方法	主な特徴	風力発電設備への適用段階(○:実用、△:実機での試行、×:試験段階)	
		不具合現象					実用	留意点
1	ブレード/ロータ	【損傷要因】 落雷、着氷、構造劣化、ロータインバランス、過荷重、設計・製作 【不具合現象】 接着部位剥離、積層部剥離・空隙、エッジ侵食・エッジ破断、焼け焦げ、ブレード破断	①ブレード部材の損傷や変形、ブレード部材とハブとの接続部、ハブと主軸の接続部の損傷	①振動	・ブレードの振動波長の変化の継続監視により、部材の損傷、劣化、変位を推測	・継続監視が必要 ・風の乱れや気温の影響、部材の部分的な不具合の影響により、ブレードの小規模なひび割れ検知には不向き	○	様々な監視手法が開発、商品化されているが、実機での実績や信頼性の担保は途上であり、現場点検を完全に代替するものではない。
				②AE (アコースティックエミッション)	・圧電素子を用いたAE波センサーが、構造物に損傷が発生、成長した際に生じる高周期弾性波を検知	・損傷の発生を直接検知・損傷個所の特定や微小な損傷を把握するには多数のセンサー設置が必要	○	
				③UT(超音波試験)	・発生させたUT波の反射波を分析することにより、その間の損傷を推定する	・UT波の進行に交差する損傷の検知に有効・損傷発生個所の特定には不向き	○	
				④ひずみ	・ブレードに設置したひずみゲージ(箔型や光ファイバー方式)による損傷の把握	・小さな損傷を把握するには多数のセンサー設置が必要	○	
				⑤たわみ	・レーザー波等によりブレードのたわみを計測、過去の記録との比較により、たわみ特性の変化により損傷を検知する	・レードの着氷、ピッチ制御エラー、劣化や構造上の損傷を検知可能	○	
2	ドライブトレイン	【損傷要因】 設計・製作不具合、過荷重乱流、メンテ不良 【不具合現象】 主軸やギアボックス損傷、発電機ベアリング損傷、軸受部異常、油漏れ、油圧ユニット不具合、ボルト折損	①ドライブトレイン回転部の損傷、異常な摩耗、クラックの生成	①振動	・回転機械の損傷による発生する過大な振動やアンバランスを検知	・データ取得・分析手法において最も確立された監視システムであるが、データの分析には技術力が必須 ・遊星ギアの損傷把握に課題	○	・風力発電設備に関して多くのシステムが実用化されている
				②オイル	油中水分	・潤滑油の性状に悪影響を与える水分含有量を計測 ・インライン測定可能 ・オイルや添加剤、油温の影響を受ける	×	・風力発電設備での実証必要
					油中汚染物質	・潤滑油の性状に悪影響を与える汚染物質の含有粒子数をISO4406に基づいて測定 ・潤滑油の初期劣化の検知性は劣る ・汚染物質の生成状況やフィルターの性能監視に有効	△	・風力発電設備で試験適用中
					油中異物	・ギアボックス内の異物を監視 ・オイルボックス内の損傷生成の予知に有効	○	・一部のCMSに搭載済み
					絶縁性能	・油の酸化特性等を測定し、絶縁性能を推定 ・絶縁性能の把握にもとづいて、潤滑油の劣化状況を検知	×	・試験室段階
					粘性	・潤滑油の性能に大きな影響を与える粘性を測定 ・粘性の変化の要因は多様なため、潤滑システムの不具合要因に結び付けることは難しい	×	・風力発電設備への適用について試験室段階
					油品質/性状	・上記測定方法を組み合わせた測定 ・測定結果をカラーコード等で分類し、可視化	△	・風力発電設備で試験運用
				③AE (アコースティックエミッション)	・圧電素子を用いたAE波センサーが、構造物に損傷が発生、成長した際に生じる高周期弾性波を検知	・AE波検知によりギア、ベアリングのクラックの発生、成長を検知可能 ・ひずみ波の分析により、ベアリング周りの潤滑油膜の異常を検知可能であり、早期の予防保全に適用しえる	○	・実用化済み
				④赤外線画像	・電気/制御設備、変圧器、ナセル内火災に適用可能であるが、監視対象に近接が必要であり、遠隔監視には不向き	・風力発電の遠隔監視には不向き(近接必要、機材費用)	○	・定期点検として実用化済み ・ドローンに搭載し、外観目視検査でも実用化されている。
				⑤電気・機械信号	多様	多様	—	—

¹⁸出典：平成30年度新エネルギー等の保安規制高度化事業委託調査（風力発電設備データ利活用検討調査） SOMPOリスクマネジメント株式会社、株式会社 北拓

番号	監視対象設備の区分	損傷要因	監視対象の事象	監視項目	監視方法	主な特徴	風力発電設備への適用段階(○:実用、△:実機での試行、×:試験段階)	
		不具合現象					実用	留意点
3	(モノパイル)タワー/基礎	【損傷要因】 海洋気象、波浪、海流による外力、漂砂による摩耗、海水や地盤による腐食環境 【不具合現象】 ・構造健全性の喪失(タワーの傾き、TP/MPなどタワー接続部の劣化) ・腐食(海面上、海面下、地中、タワー/MP内部、付帯設備) ・基礎周囲の洗掘	①タワーの傾きや沈下などの変位、外力によるひずみ、ひび割れ	①タワー各所に設置したひずみ/変位/加速度/傾斜センサーや荷重計等による計測 ②GNSSによる変位測定			○	—
			②TP/MPグラウト接合	・変位計やひずみセンサー、レーザー等により、TP/MP部の変位を監視			○	—
			③溶接接続部	・UT波による現場溶接部位の不具合検査			×	・現場での作業員による検査が必要 ・タワー外周を自動走行計測する検査ロボットは実用化されている。
			④腐食(モノパイル内部及び外部、その他構造部材)	①腐食環境の計測(水素・硫化水素・含有酸素・温度センサー、PH計、水位計による腐食環境の監視) ②電気防食状態監視(電気防食設備の監視、犠牲陽極の監視等) ③UTによる鋼管肉厚測定			○	—
			⑤基礎周囲の洗掘	①MP周囲に設置したソナーによる計測			○	—
4	海底ケーブル	【損傷要因】 船舶の錨、底引きトロール船の魚網、海底堆積物の流動、蓄熱、潮流、洗掘による露出	①ケーブル温度、高温部、ケーブル埋設深さ	①光ファイバ温度分布計測システム(DTS)によるケーブル温度を常時モニタリング、また、海底土被り厚(=ケーブル埋設深さ)を計算可能			○	デンマーク Horns Rev3 洋上風力発電所で運用されている
			②音響センサー	②光ファイバ音響センサシステム(DAS)によるケーブル不具合箇所の特定			○	

4.5.4 洋上風力発電設備に関する点検項目と点検周期の整理

洋上風力発電設備に関する点検項目と点検周期について、以下の項目について整理を行った。

- 定期事業者検査において、半年に1回の点検周期となっている点検項目
- 洋上風力発電設備の風車（ロータナセル・アセンブリ）、タワーの定期事業者点検（点検周期、点検部位）
- 洋上風力発電設備の下部構造・基礎等の定期点検案（点検周期、点検部位）

(1) 定期事業者検査で半年に1回実施する検査項目

定期事業者検査において、半年に1回の点検周期となっている検査項目を表 4.5 に示す。

表 4.5 定期事業者検査で半年に1回実施する検査項目¹⁹

点検部位	点検方法	点検内容
ブレード	目視	・ <u>ブレード本体と翼端ブレーキとの間にズレがないか確認する。</u> ・ 上記と併せて、ブレードティップに著しい落雷痕、穴、亀裂等の損傷がないか確認することが望ましい。また、ブレードティップに、レセプターがある場合は、レセプター取付け状態、欠損等がないか確認することが望ましい。
	試験	・ <u>翼端ブレーキの作動試験を実施する。</u> ・ 作動試験では、全ての翼端ブレーキが正常に動作し、収納することを確認することが望ましい。その際ブレード本体と異常な干渉が発生しないことを確認することが望ましい。 ・ 作動試験の方法としては、運転又は遊転状態で翼端ブレーキを動作し、翼端ブレーキがブレードに対し所定の角度で保持され、風車が停止することを確認する方法がある。
	測定	・ <u>翼端ブレーキの作動・非作動時の油圧を確認する。</u> ・ 油圧は、圧力計にて翼端ブレーキの作動・非作動時の油圧等を測定する方法がある。 ・ 油圧は、過去の記録と比べて異常な変化が発生していないか確認することが望ましい。
ロータ～ハブ～避雷導体	測定	・ <u>ブラシのホルダと摺動面の隙間を測定する。</u> ・ <u>ブラシの長さを測定する。</u>
ロータ～ピッチ制御装置～ピッチ駆動系ブレーキ	目視	・ <u>ブレーキに損傷や変形がないか確認する。</u> ・ ブレーキの割れ、変形、多量の摩耗粉等、異常がないか確認することが望ましい。
	試験	・ <u>ピッチ駆動系ブレーキの作動試験を実施する。ただし、ピッチ駆動系ブレーキの状態を常時モニタリングしている場合を除く。</u> ・ ピッチ駆動系ブレーキの作動試験では、構成部品の滑りやガタツキがないことも確認する。

¹⁹ 出典：風力発電設備の定期点検指針（JEAG 5005-2017）

点検部位	点検方法	点検内容
ロータ～ピッチ制御装置～ピッチ駆動装置	目視	・<u>駆動装置に損傷や変形がないか確認する。</u> ・<u>油圧式ピッチ駆動装置については、アーク痕、異常な漏油がないか確認する。</u> ・以下についても確認することが望ましい。 ①リミットスイッチの損傷や変形 ②駆動装置歯面の損傷状態 ③制御装置の接続部、SPD、コントローラー、サーボアンプ、ケーブル等の外観 ④絶縁被膜及びコネクタ類の端子接続状態 ⑤油圧式ピッチの場合は、アーク痕、漏油の確認に加えて、可燃物の有無の確認
	試験	・<u>ピッチ駆動装置の作動試験を行う。ただし、ピッチ駆動装置の状態を常時モニタリングしている場合を除く。</u> ・点検内容として以下がある。 ①ピッチ角度に対するリミットスイッチの作動試験を実施する。 ②ピッチ駆動装置を動作させ、異音等がないか確認する。 ③ブレード角度センサの動作を現地操作盤にて確認する。異音、異常振動、センサ故障等がないか確認する。
ロータ～ピッチ制御装置～油圧計非常用装置	測定	・<u>ピッチアキュームレータ本体に油漏れ、損傷、変形などがいないか確認する。</u>
	目視	・<u>アキュームレータ内のガス圧を確認する。</u> ・アキュームレータ内のガス圧は、過去の記録と比べて異常な変化が発生していないか確認することが望ましい。
ロータ～ピッチ制御装置～非常用電源	試験	・<u>非常用電源にてピッチ駆動装置の作動試験を行う。</u> ・作動試験と併せて、以下について確認することが望ましい。 ①非常用電源の有効期限、又はメーカー交換周期での交換（有効期限表記の確認） ②非常用電源本体の液漏れ、液面レベル、ケーブル・コネクタ類、電極端子、錆・腐食等による損傷 ・作動試験の方法として、非常用電源を使用し、フェザーになることを確認することが望ましい。

点検部位	点検方法	点検内容
ロータ～ピッチ制御装置～ピッチ軸受（旋回輪）	目視及び聴音	・ <u>ピッチ作動（旋回）中にピッチ軸受から異常な振動や騒音を発していないか確認する。</u> ・ 上記と併せて、軸受材料と同じ成分の摩耗粉が発生していないか確認することが望ましい。 ・ ピッチ軸受にクラック、錆、腐食等がないか、ピッチ旋回ベアリングの状態について確認することが望ましい。
	目視	・ <u>軸受シールに損傷、変形、過大なグリース漏れがないか確認する。</u>
	目視又は触手	・ <u>グリースの状態を確認する。</u> ・ グリースの状態は、給脂により漏れ出てきたグリースの状態により確認することができる。
ナセル～ナセル内可燃物、油脂類	目視	・ ナセル内に可燃物、漏油がなく、火災が発生しやすい状態となっていないか確認する。 ・ 点検内容として下記がある。 ①ディスクブレーキカバーが取り付けられているか確認する。 ②ナセル内に不要なウェス等の可燃物がないか確認する。 ③ナセル内に火災発生の要因となるような異常な漏油、滞油がないか確認する。
コントローラ・SCADA ²⁰ ～コントローラ	試験	・ 風車の操作（スタート・ストップ・リセット）の作動を確認する。 ・ 非常停止等の作動についても確認することが望ましい。
	試験	・ 風車の各種データが表示できるか確認する。 ・ データ表示の例として下記がある。 ①運転状況のデータ（風速、出力） ②詳細運転状況のデータ（ナセル方向、発電機回転数等） ③温度データ

²⁰ SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition（監視制御システム）

点検部位	点検方法	点検内容
コントローラ・ SCADA～SCADA	試験	・遠隔にて風車への接続を確認する。
	試験	・遠隔にて風車の操作（スタート・ストップ・リセット）の作動を確認する。
	試験	・遠隔にて風車の各種データを収集できるか確認する。 ・データ表示の例として下記がある。 ①運転状況のデータ（風速、出力） ②詳細運転状況のデータ（ナセル方向、発電機回転数等） ③温度データ

(2) 洋上風力発電設備の風車（ロータナセル・アセンブリ）、タワーの定期事業者点検について

洋上風力発電設備の風車（ロータナセル・アセンブリ）、タワーの定期事業者点検については、「電気事業法施行規則第94条の3第1項第1号及び第2号に定める定期事業者検査の方法の解釈」の別表2に、点検周期、点検部位が規定されている。

表 4.6 洋上風力発電設備の風車（ロータナセル・アセンブリ）、タワーの定期事業者点検（点検周期、点検部位）

周期	区分	部位
半年	安全停止系 (過回転防止)	・ピッチ制御装置（ピッチ駆動系ブレーキ、ピッチ駆動系装置、油圧系非常用装置、ピッチ軸受、非常用電源） ・翼端ブレーキ装置（ブレードティップ）
1 年	安全停止系 (過回転防止)	・ブレーキ装置 ・非常用電源装置（停電時ヨー機能維持）
	構造強度部材 (倒壊、落下、飛散防止)	・ブレード {表面、レセプター、ダウンコンダクター（目視）、翼端部} ・ハブ（ボルト・ナット、ハブハウジング、スピナカバー、避雷導体、ハブアクセスハッチ） ・ナセル内（ボルト・ナット、動力伝動装置、ナセル架構、ナセルカバー） ・ナセル外部附属品（避雷レセプター、風向風速計等） ・タワー（ボルト・ナット、継手、胴・アンカーリング） ・基礎
	電気系統 (火災等防止)	・ナセル内電気設備（主変圧器、発電機等）
2 年又は 3 年 ※	安全停止系 (過回転防止)	・翼端ブレーキ装置（ブレードティップ・本体接続部、カーボンシャフト）
	構造強度部材 (落下、飛散防止)	・ブレード {ダウンコンダクター（導通試験等）}、ブレード内部

※ 雷対策重点地域は点検周期を2年とすることが望ましい。

(3) 洋上風力発電設備の下部構造・基礎等の定期点検案

洋上風力発電設備の下部構造・基礎等の定期点検については、「洋上風力発電設備等の維持管理に関する統一的解説」に、点検周期、点検部位の案が記載されている。表 4.7 に詳細を示す。

表 4.7 下部構造・基礎等の定期点検案（点検周期、点検部位）

周期	区分	部位
1 年	杭式基礎 (モノパイル構造)	・ 下部構造 {ボルト接合部 (気中)、グラウト接合部 (気中)}
	重力式基礎 (ケーソン構造)	・ 下部構造 {ボルト接合部 (気中)}
3 年	杭式基礎 (モノパイル構造)	・ 下部構造 {トランジッションピース (気中)、モノパイル (気中)、モノパイル構造全体 (気中、目視)} ・ ジャケット {鋼材 (気中)、電気防食工 (気中)、被覆防止工 (気中)} ・ ジャケット構造全体 {傾斜 (目視)、沈下 (目視)、移動 (目視)} ・ 下部構造の附帯設備 (係船、防衝設備、照明設備、救命設備、柵・扉・ロープ、標識等) ・ 海底送電線及び通信ケーブル {ケーブル用配管 (気中)}
	重力式基礎 (ケーソン構造)	・ ケーソン {コンクリート (気中)} ・ <u>ケーソン構造全体 {傾斜 (目視)、沈下 (目視)、移動 (目視)}</u> ・ <u>下部構造の附帯設備 (係船、防衝設備、照明設備、救命設備、柵・扉・ロープ、標識等)</u> ・ 海底送電線及び通信ケーブル {ケーブル用配管 (気中)}

※ 下線項目に関しては、日常点検を実施する場合、一定期間点検診断は必ずしも行う必要はない。

周期	区分	部位
10 年	杭式基礎 (モノパイル構造)	・ 下部構造 {グラウト接合部 (水中)} ・ 下部構造 {トランジッションピース (水中)、モノパイル (水中)、モノパイル構造全体 (気中、測定)} ・ 海底送電線及び通信ケーブル {海底ケーブル・海底地盤 (構造物周辺以外) } ・ ジャケット {鋼材 (水中)、電気防食工 (水中)、被覆防止工 (水中)} ・ ジャケット構造全体 {傾斜 (測定)、沈下 (測定)、移動 (測定) } ・ 基礎杭接合部・基礎杭 (水中)
	重力式基礎 (ケーソン構造)	・ ケーソン {コンクリート (水中) }・ケーソン構造全体 {傾斜 (測定)、沈下 (測定)、移動 (測定) } ・ 鉄板コンクリート海底送電線及び通信ケーブル {海底ケーブル・海底地盤 (構造物周辺以外) }
安定前密 ※ 安定後詳細	杭式基礎 (モノパイル構造)	・ 海底地盤洗掘防止工 ・ 海底送電線及び通信ケーブル {ケーブル用配管 (水中)、海底ケーブル・海底地盤 (構造物周辺) }
	重力式基礎 (ケーソン構造)	・ 海底地盤洗掘防止工 ・ 海底送電線及び通信ケーブル {ケーブル用配管 (水中)、海底ケーブル・海底地盤 (構造物周辺) }

※ 洗掘の進行が安定するまで頻度を密に実施 (少なくとも 1 年 1 回)、安定後は他の詳細点検 (水中部) 時に合わせて実施する。

4.6 その他（風力発電設備に対する落雷リスクの検討状況）

風力発電設備に対する落雷リスクの検討は、以下の2つの事業が令和2年度（2020年度）より着手されている。

- ・経済産業省：

「令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー）」

- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）：

「着床式洋上ウィンドファーム開発支援事業（洋上風力発電設備等にかかる落雷リスク）」

（1）経済産業省による「落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー」の中での陸上落雷マップ作成の検討

日本海沿岸部を中心に発生する冬季雷は風車などの高構造物に集中して落ちるが、冬季雷はLLS²¹での捕捉が難しいとされている。風車への落雷とLLSデータの関係性を明かし、日本海沿岸の冬季雷地域の落雷リスクを推定を行い落雷マップを作成している。落雷リスクの推定（落雷マップの作成）の詳細は、図4.9に示す。

夏季雷に関しては、LLSによる捕捉精度が高いため、LLSデータを基に落雷リストマップを今後更新を行う予定となっている。



図 4.9 落雷マップの作成手順

²¹ LLS : Lightning Location System（落雷位置標定システム）

(2) NEDO による「洋上風力発電設備等にかかる落雷リスク」の検討

NEDO では、洋上風力発電の拡大導入に対して、日本特有の厳しい気象・海象条件や船舶等のインフラが先行する欧州と異なるといった、技術的あるいはコスト等の課題が依然として存在している中、日本の厳しい気象条件の一つである落雷に関して、洋上風力発電設備等にかかるリスク等を明らかにすることを目的とした事業を 2022 年度までの予定で現在進めている。

5 まとめ

(1) 「審査マニュアル（洋上版）」（案）及び「チェックリスト」の作成

本事業においては、「統一的解説」と、これまでに経済産業省で実施した洋上風力発電設備の工事計画届出の審査内容を踏まえ、産業保安監督部がどの点を自ら審査し、また、専門家から意見聴取するかをガイドする「審査マニュアル（洋上版）」（案）及び「チェックリスト」を作成を行った。

(2) 専門家からの意見聴取における審査方法と必要な審査資料の整理

また、本事業においては、有識者による検討会を設置し、以下の項目について、審査方法及び審査方法についてどのような審査資料を必要とするかについて検討を行った。

- 海底送電ケーブルの審査基準（洗掘防止工の審査基準）
- タワーと下部構造の接合部（グラウト材）の設計の審査基準
- タワー及び下部構造の腐食の審査基準

検討の結果、A 発電所・B 発電所の設計事例等を参考に、専門家会議による審査不要に向けて検討を進めることができると考えられる。

- 港湾区域における海底ケーブルの埋設の考え方

一方、以下の項目については、専門家会議による審査不要と考えるには時期尚早で、関係者との調整やさらなる事例の蓄積が必要であると考えられる。

- 一般海域における海底ケーブルの扱い
- モノパイル工法における洗掘防止工の設計の考え方
- グラウト材として第三者認証機関の認証を得た材料を適用すること
- グラウト材の設計方法（構造解析モデル）の考え方
- 今後新しい方法の出現が予想される接合部の設計方法
- 腐食速度、腐食対策に関する設計の考え方

(3) 電気事業法上の審査における今後の課題と対応方針・ロードマップの提言

そのほか、上記の有識者検討会にて、審査方法が明確になっていない以下の項目について、今後の検討方針・ロードマップについて提案を行った。

- 洋上風況観測方法（観測機、観測地点間距離、観測期間等）
- 海底地盤調査方法
- 浮体式洋上風力発電設備に用いる海底送電ケーブル（ダイナミックケーブル）の技術

基準

- 洋上風力発電設備に用いる材料（鋼板、ボルト等）の審査基準
- 洋上風力発電設備の定期事業者検査の方法

検討の結果、洋上風況観測方法に関しては、NEDO で実施しているプロジェクトにおいて、リモートセンシング技術を利用した洋上風況観測に関する成果が期待され、その成果を受けて、洋上風況観測方法の技術基準の検討が開始されると想定される。

海底地盤調査方法に関しては、沿岸技術研究センターにて検討が現在進められており、「洋上風力発電設備に係る海底地盤の調査及び評価の手引き」として公開される予定である。ただし、現状の整理状況や知見は審査基準レベルとする段階にはないことを考慮すると、専門家会議による審査不要とするまでには時間を要することが想定される。

浮体式洋上風力発電設備に用いる海底送電ケーブル（ダイナミックケーブル）に関しては、国内では生物付着による損傷事例の発生していることを背景に、日本海域の調査が現在実施されている。国内の各海域について、生物付着状況の調査結果が間もなくまとめられることを受けて、技術基準の検討が開始されるものと想定される。

材料における技術基準の制定は、新しい材料が開発されて洋上風力発電設備への使用を考える段階で、改めて検討することがよいと考えられる。事業者側からの具体的な提案が求められている段階であるが、早期に具体的な提案が行われる場合、技術基準の制定に向けて検討が前倒しされる可能性がある。

定期事業者検査に関しては、事業者から見直しに関しての要望があるものの、洋上風車に設置するセンサーや CMS のデータ取得に関しての検討が進んでいないため、検査頻度の見直し等の検討ができる段階にはない。事業者より、検討に必要なデータの提供や具体的な提案が行われる場合、検査に関する見直しの検討時期が前倒しされる可能性はある。

(4) 結びに

洋上風力発電設備については、現状では審査事例が少数にとどまっているが、本事業では、港湾区域における海底ケーブルの埋設の考え方について、通過船舶の重量をベースにした埋設深の検討によって、専門家会議による審査を経ずとも審査ができる可能性があることがわかった。審査事例が増えていくことで、技術的妥当性が担保された項目については、専門家会議による審査を経ずとも審査できることが期待される。

一方で、タワーと下部構造の接合部のように、新しい設計方法の提案が今後想定されるもの、洗掘対策のように、設計者自身が様々な設計方法から設置場所に適切な方法を選択するものもある。設計方法には多様性があることを念頭に、新しい技術に速やかに対応して審査が実施できるよう、技術動向の把握を継続的に行う必要があると考える。

さらに、国内海域において、洋上風力発電設備に関する検討や調査が進められている。具体的には、沿岸技術研究センターを中心として、腐食速度及び腐食対策、地盤調査方法の技術基準について検討が進められ、NEDO では洋上風況観測に関するプロジェクトを実施しており、海上技

術安全研究所においては合成繊維索、チェーンを対象とした生物付着量の調査を進めている。これらの検討、調査成果に関する情報が今後公開されると、国内海域の状況に応じた適切な設計がなされるとともに、審査に関しても技術的妥当性の定量的な検討にとって有益な情報となり、専門家会議による審査不要とすることへ貢献すると見込まれる。国内で進められている洋上風力発電関連プロジェクトとの間で、適宜情報交換を行っていくことも大切であるとする。

二次利用未承諾リスト

報告書の題名：
令和２年度新エネルギー等の保安規制高度化事業委託調査
（洋上風力着床式・浮体式に関する技術基準と審査方法に
関する調査）調査報告書

委託事業名：
令和２年度新エネルギー等の保安規制高度化事業委託調査
（洋上風力着床式・浮体式に関する技術基準と審査方法に関する調査）

受注事業者名：みずほ情報総研株式会社

[illegible]