

「洋上風力発電設備に関する技術基準の 統一的解説」の改定方針

令和2年2月14日

経済産業省 産業保安グループ 電力安全課

国土交通省 港湾局 海洋・環境課

- 技術基準の統一的解説は、総則、要求性能、作用する自然条件、設計、付属書で構成。
- 第2章では、電気事業法と港湾法のそれぞれの基準で求められる要求性能について規定。
- 第3章では、上記の要求性能を満たす設計を行うための自然条件等の作用の設定方法について規定。
- 第4章では、洋上風力発電設備等の設計方法について解説。

「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説（平成30年3月版）」の構成

第1章 総則

第2章 洋上風力発電設備等の要求性能

- 2.1 外力に対して安全な構造
- 2.2 風車の構造
- 2.3 風車の安全な状態の確保
- 2.4 取扱者以外の者に対する危険防止措置
- 2.5 圧油装置及び圧縮空気装置の危険の防止
- 2.6 公害等の防止
- 2.7 港湾機能及び周辺海域の利用に影響を与えない洋上風力発電設備等の設置
- 2.8 航行船舶からの視認性の向上
- 2.9 船舶等との接触の防止
- 2.10 腐食・洗掘等の防止
- 2.11 施工及び維持管理等への対応
- 2.12 送電線等の敷設

第3章 洋上風力発電設備等に作用する自然条件等

- 3.1 風荷重
- 3.2 潮位
- 3.3 波浪荷重
- 3.4 津波荷重
- 3.5 水の流れによる荷重
- 3.6 洗掘
- 3.7 地盤
- 3.8 地震荷重
- 3.9 地盤の液状化・沈下
- 3.10 接岸荷重
- 3.11 固定荷重
- 3.12 その他の荷重
- 3.13 腐食作用
- 3.14 材料

第4章 洋上風力発電設備等の設計

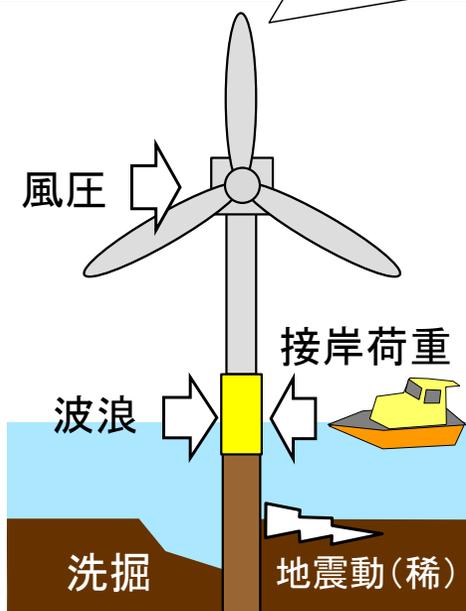
- 4.1 構造解析
- 4.2 荷重抵抗係数法
- 4.3 許容応力度法
- 4.4 タワー
- 4.5 モノパイル構造
- 4.6 ジャケット構造
- 4.7 重力式基礎
- 4.8 接合部
- 4.9 運転・維持管理に必要な設備
- 4.10 防食設計

付属書

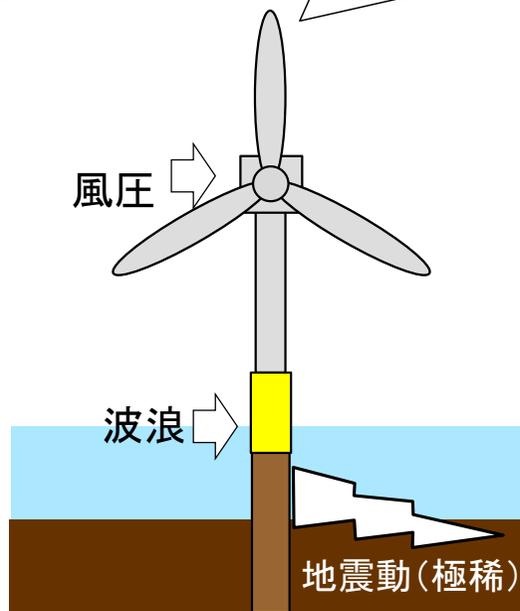
2.1 外力に対して安全な構造

- 洋上風力発電設備は、風圧、水圧、積雪、稀に発生する地震動、港湾施設の設計に用いるレベル1地震動等の作用により損傷せず、発電設備としての機能を満足するものとする。
- 極めて稀に発生する地震動等の作用により、倒壊、崩壊しないものとする。
- 上記に加え、被災により、港湾に存する耐震強化施設の利用等に支障を及ぼすおそれのある洋上風力発電設備については、港湾の耐震強化施設の設計に用いるレベル2地震動（以下、港湾L2地震動とする。）の作用によっても倒壊、崩壊しないことを確認するものとする。

発電設備としての機能を満足

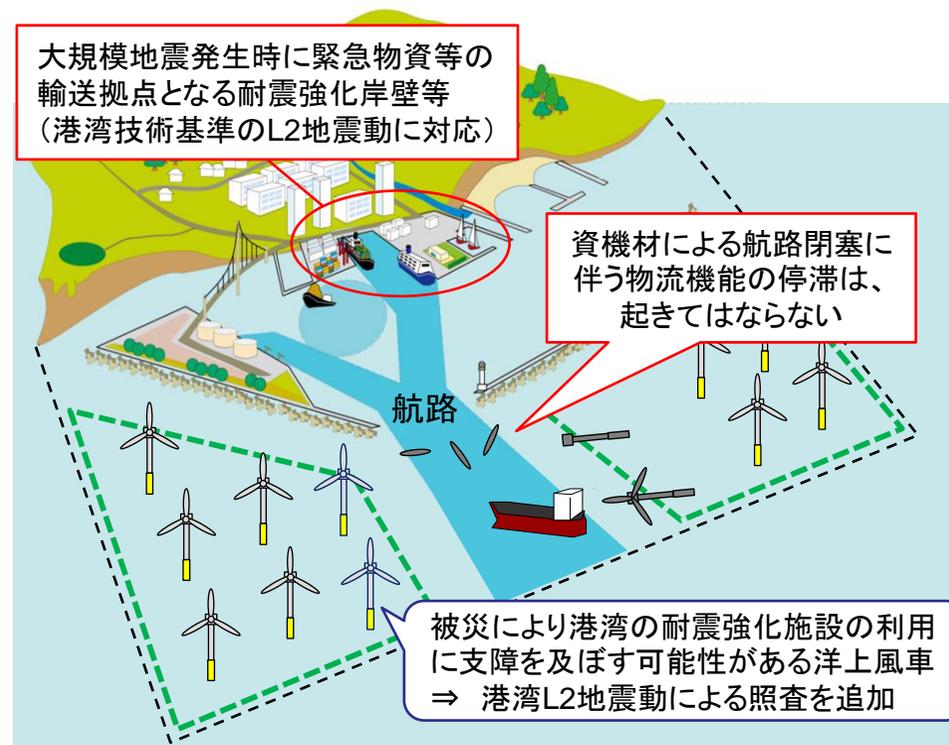


倒壊・崩壊しない



↑ 洋上風力発電設備に作用する外力の例

大規模地震発生時に緊急物資等の輸送拠点となる耐震強化岸壁等（港湾技術基準のL2地震動に対応）



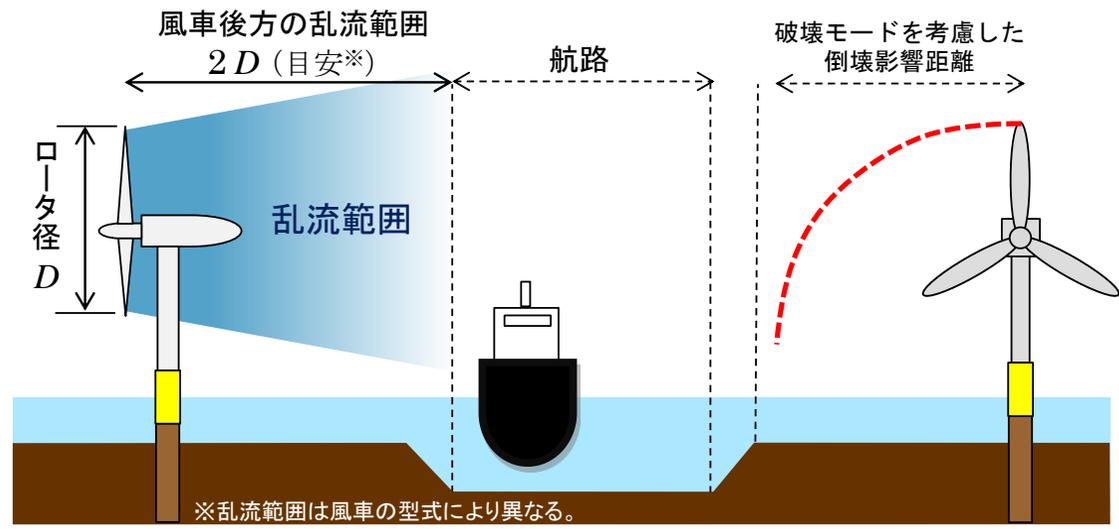
資機材による航路閉塞に伴う物流機能の停滞は、起きてはならない

被災により港湾の耐震強化施設の利用に支障を及ぼす可能性がある洋上風車 ⇒ 港湾L2地震動による照査を追加

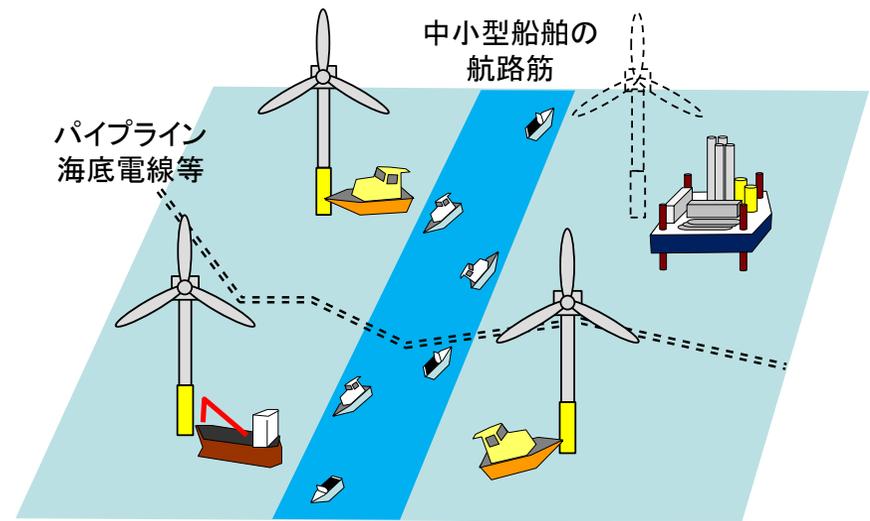
↑ 耐震強化岸壁の利用に支障を及ぼす恐れのある風車 2

2.7 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の配置に当たっては、洋上風力発電設備が倒壊・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する。
- 同設備の設置により、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を確認する。



↑ 港湾施設との離隔距離の確保の例

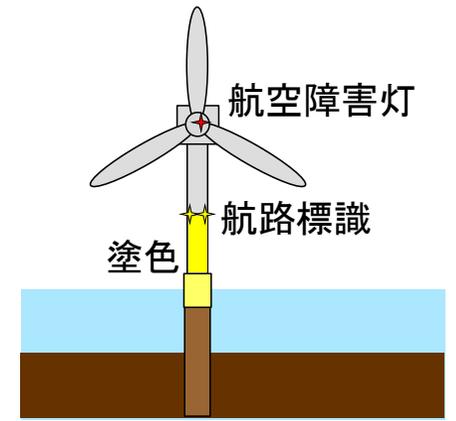


↑ 周辺海域の利用に支障のない設置のイメージ

2.8 航行船舶からの視認性の向上

- 洋上風力発電設備等は、昼夜や気象などの環境条件に関わらず、捕捉・識別性を確保・維持するものとする。
- 船舶操船時において他の船舶、地形、航行援助施設、その他物漂等の捕捉・識別性を阻害しないこと。

視認性を向上した洋上風力発電設備の例 →



1. 改定の方向性と検討の経緯

- 「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説」は平成30年3月に公表されたが、平成31年4月に、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(以下「再エネ海域利用法」)が施行されたことをふまえ、以下の項目について改定を行う必要がある。

【改定が必要な主要項目】

- (A) 設置場所として、港湾区域と一般海域を並記する
- (B) 支持構造物の構造形式として、浮体式の技術基準を定める
- (C) その他所要の改定(IEC 61400の改定内容の反映など)

- 検討の経緯

平成30年3月	「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説」公表
平成31年3月	設計技術ワーキンググループ 開催
令和元年6月	設計技術ワーキンググループ 開催
令和2年2月	洋上風力発電施設検討委員会 開催(本日)

2. 一般海域に関する改定(設置場所として港湾区域と一般海域を並記)

○ 洋上風力発電設備については、設置場所に関わらず満たすべき電気事業法及び港湾法に基づく基準と設置場所に応じて満たすべき基準がある。主な基準類は以下のとおりであり、[① and ②] + [③ or ④]を満足する必要がある。

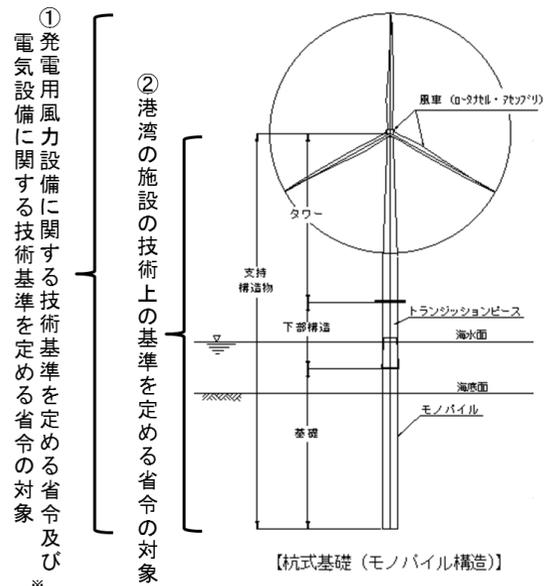
【設置場所に関わらず満たすべき基準】

- ① 洋上風力発電設備は、電気事業法に基づき、「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令」及び「電気設備に関する技術基準を定める省令」を満足する必要*。
- ② 洋上風力発電設備のうち、支持構造物(下部工)については港湾法に基づく係留施設であり、「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」を満足する必要。

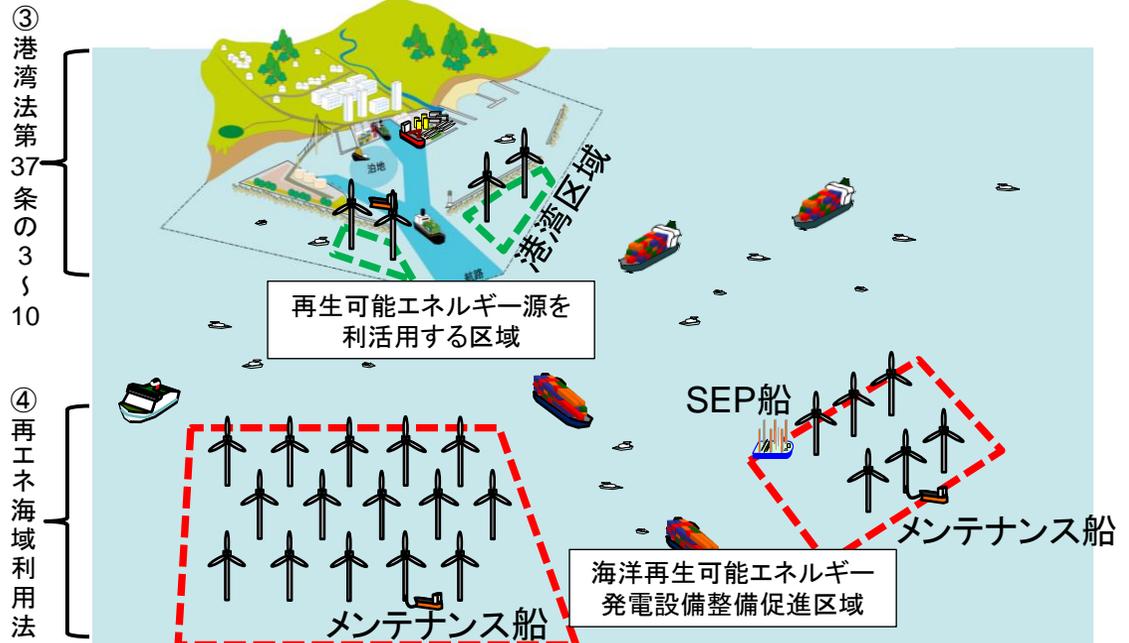
【設置場所に応じて満たすべき基準】

- ③ 港湾法第37条の3～第37条の10に基づき港湾区域内で洋上風力発電設備を設置する場合、公募対象施設等に関する基準を満足する必要。
- ④ 再エネ海域利用法に基づき一般海域に洋上風力発電設備を設置する場合、海洋再生可能エネルギー発電設備に関する基準を満足する必要。

※浮体式の支持構造物については、船舶安全法の技術基準の対象



設置場所に関わらず満たすべき条件



設置場所に応じて満たすべき条件

2. 一般海域に関する改定(設置場所として港湾区域と一般海域を並記)

	港湾区域(再生可能エネルギー源を利活用する区域)	一般海域(海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域)
①発電用風力設備に関する技術基準	適用 <ul style="list-style-type: none"> ・ 稀に発生する地震動 ・ 極めて稀に発生する地震動 	適用 <ul style="list-style-type: none"> ・ 稀に発生する地震動 ・ 極めて稀に発生する地震動
②港湾の施設の技術上の基準	適用 <ul style="list-style-type: none"> ・ 港湾レベル1地震動 	適用 <ul style="list-style-type: none"> ・ 港湾レベル1地震動
③公募対象施設等に関する基準	適用 <ul style="list-style-type: none"> ・ 当該設備の設計供用期間中に発生する可能性の高い地震動(稀に発生する地震動、港湾レベル1地震動) ・ 当該設備を設置する地点において発生するものと想定される最大規模の強さを有する地震動(極めて稀に発生する地震動) ・ 港湾レベル2地震動(ただし、耐震強化施設の機能を確保するための航路及び泊地における船舶の交通に著しい支障を及ぼすおそれのある場合のみ) 	(適用外)
④海洋再生可能エネルギー発電設備に関する基準	(適用外)	適用 <ul style="list-style-type: none"> ・ 当該設備の設計供用期間中に発生する可能性の高い地震動(稀に発生する地震動、港湾レベル1地震動) ・ 当該設備を設置する地点において発生するものと想定される最大規模の強さを有する地震動(極めて稀に発生する地震動) <p>※一般海域内の洋上浮力発電設備については、港湾レベル2地震動の性能照査を行う必要はない。</p>

送電線等の敷設(2章)

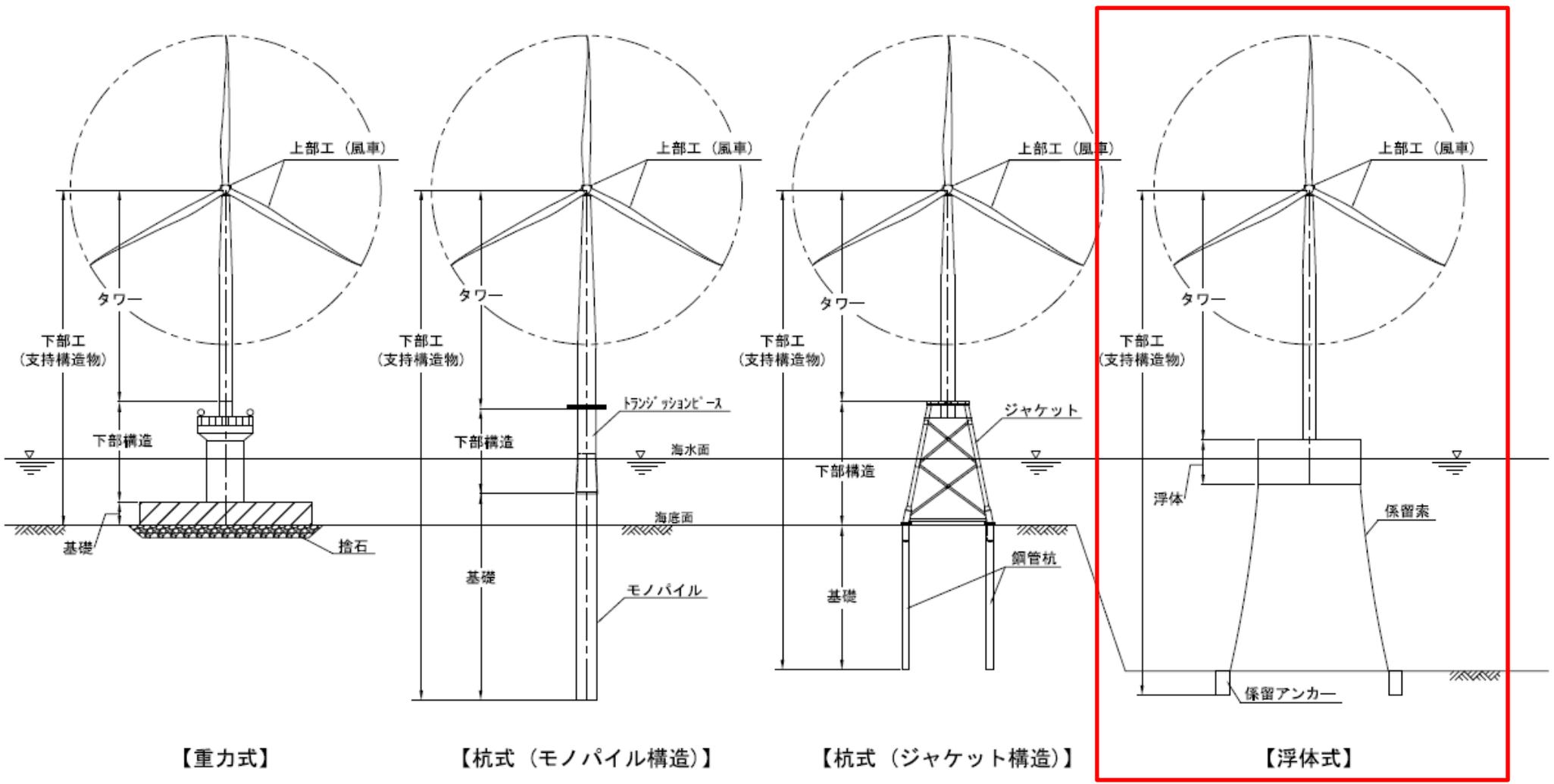
- 海底送電線及び通信ケーブルの敷設は、港湾区域においては、埋設を原則とし、港湾の利用もしくは保全に支障を与え、港湾計画の遂行を阻害し、その他港湾の開発や発展に支障を与えるものであってはならない。
- 一般海域では、港湾区域と比較すれば、投走錨等により送電線等が損傷する危険性は相対的に低いと考えられるため、船舶の航行や漁労活動等に支障とならず、公衆安全を確保するよう十分な防護を行えば、必ずしも埋設することを原則とはしない。
- 埋設を行わない場合には、防護管を取付ける方法、捨石被覆工法、グラウト袋やコンクリートマットレスを設置する方法等によって、送電線等を確実に保護するものとする。
- なお、一般海域においても、関係者との調整で埋設が必要となった場合は、埋設を行うものとする。

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章)

- 一般海域において洋上風力発電事業を実施する際は、定期航路や一定の船舶が頻繁に航行する航路から一定の離隔距離を確保することや、災害時の緊急物資輸送に利用される航路等を考慮する必要がある。
- 一般海域では、洋上風力発電設備の風下で発生する乱流が、大型船舶が頻繁に通航するような海域における船舶の航行に支障を及ぼすものでないこと。
- 洋上風力発電設備が倒壊した場合であっても、開発保全航路の区域及び緊急確保航路の区域に影響を及ぼさない規模であること。

3. 浮体構造に関する改定(浮体式の技術基準)

対象とする支持構造物の構造形式として浮体式の技術基準を定める



※上部工(風車)の技術基準は着床式と同じ

3. 浮体構造に関する改定(浮体式の技術基準)

浮体式洋上風力発電設備の要求性能(関連規格・基準と本基準解説の関係)

○浮体式の支持構造物の場合は、着床式と異なり、長期荷重に対する照査は不要

■発電用風力設備に関する技術基準を定める省令
浮体式洋上風力発電施設技術基準

・終局限界状態に対する設計

・疲労限界状態に対する設計

・地震、津波に対する設計

■港湾の施設の技術上の基準・同解説

・レベル1地震動に対する設計

・レベル2地震動に対する設計(耐震強化施設)

・設計津波に対する設計

※設計津波は、各地方自治体の海岸保全基本計画等で定められた津波をもとに設定

■本基準解説 (3) 洋上風力発電設備等の要求性能

1) 風、波、水の流れ、積雪、稀に発生する地震動、港湾レベル1地震動の作用に対する要求性能

・短期荷重に対する設計

・疲労荷重に対する設計

・稀に発生する地震動に対する設計

・港湾レベル1地震動に対する設計

2) 極めて稀に発生する地震動、設計津波の作用に対する要求性能

・極めて稀に発生する地震動に対する設計

・設計津波に対する設計

3) 港湾レベル2地震動の作用に対する要求性能

・港湾レベル2地震動の作用に対する設計

※一般海域内の洋上風力発電設備については、港湾レベル2地震動の性能照査を行う必要はない

3. 浮体構造に関する改定(浮体式の技術基準)

○浮体式の短期荷重及び疲労荷重の荷重組み合わせは、浮体式洋上風力発電施設技術基準、IEC TS 61400-3-2に準じた例を作成して示す。着床式で想定する設計荷重ケース(DLC)に加えて、浮体式に特有のDLC(2.6/4.3/9.1/9.2/9.3/10.1/10.2/10.3)を例示する。

○浮体式の照査項目は、構造の安全性(部材応力度、疲労損傷度)・位置保持・復原性

【参考】着床式の照査項目は、構造の安全性(部材応力度、疲労損傷度)・構造の安定性(支持力、滑動、転倒)

荷重組み合わせ (浮体式洋上風力発電技術基準、 IEC TS 61400-3-2に準拠)	照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
短期荷重及び疲労荷重 ・発電時 DLC1.1~1.6 ・発電中の故障 DLC2.1~2.6 ・発電開始時 DLC3.1~3.3 ・通常発電停止 DLC4.1~4.3 ・緊急停止 DLC5.1 ・停止時 DLC6.1~6.4 ・休止時(故障) DLC7.1~7.2 ・輸送、設置、メンテナンス、修理時 DLC8.1~8.4 ・発電時(索破断、浮体浸水) DLC9.1~9.3 ・停止時(索破断、浮体浸水) DLC10.1~10.3 ・海水作用時	タワー	港湾の施設の技術上の基準・同解説、浮体式洋上風力発電技術基準及び必要に応じて信頼のおける国際・国内基準	損傷せず、発電施設としての機能を満足する	構造の安全性 1)部材応力度 2)疲労損傷度 位置保持 復原性
	浮体			
	係留システム			

3. 浮体構造に関する改定(浮体式の技術基準)

稀に発生する地震動及び港湾レベル1地震動の設計で用いる荷重組み合わせ、適用基準、要求性能、照査項目

荷重組み合わせ (本基準解説で独自に設定)	照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
稀に発生する地震動	タワー	浮体式洋上風力発電 技術基準	損傷せず、発電施設 としての機能を満足 する	構造の安全性 1) 部材応力度 位置保持 復原性
	浮体			
	係留システム			

荷重組み合わせ (本基準解説で独自に設定)	照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
港湾レベル1地震動	タワー	港湾の施設の技術上 の基準・同解説	損傷せず、発電施設 としての機能を満足 する	構造の安全性 1) 部材応力度 位置保持 復原性
	浮体			
	係留システム			

3. 浮体構造に関する改定(浮体式の技術基準)

極めて稀に発生する地震動、港湾レベル2地震動及び設計津波の設計で用いる荷重組み合わせ、適用基準、要求性能、照査項目

荷重組み合わせ (本基準解説で独自に設定)	照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
極めて稀に発生する地震動	タワー	浮体式洋上風力 発電技術基準	倒壊崩壊せず所 定の位置に保持す る	構造の安全性 1)部材応力度 または タワーの性能照査
	浮体			構造の安全性 1)部材応力度 位置保持 復原性 または 地盤と支持構造物 の性能照査
	係留システム			

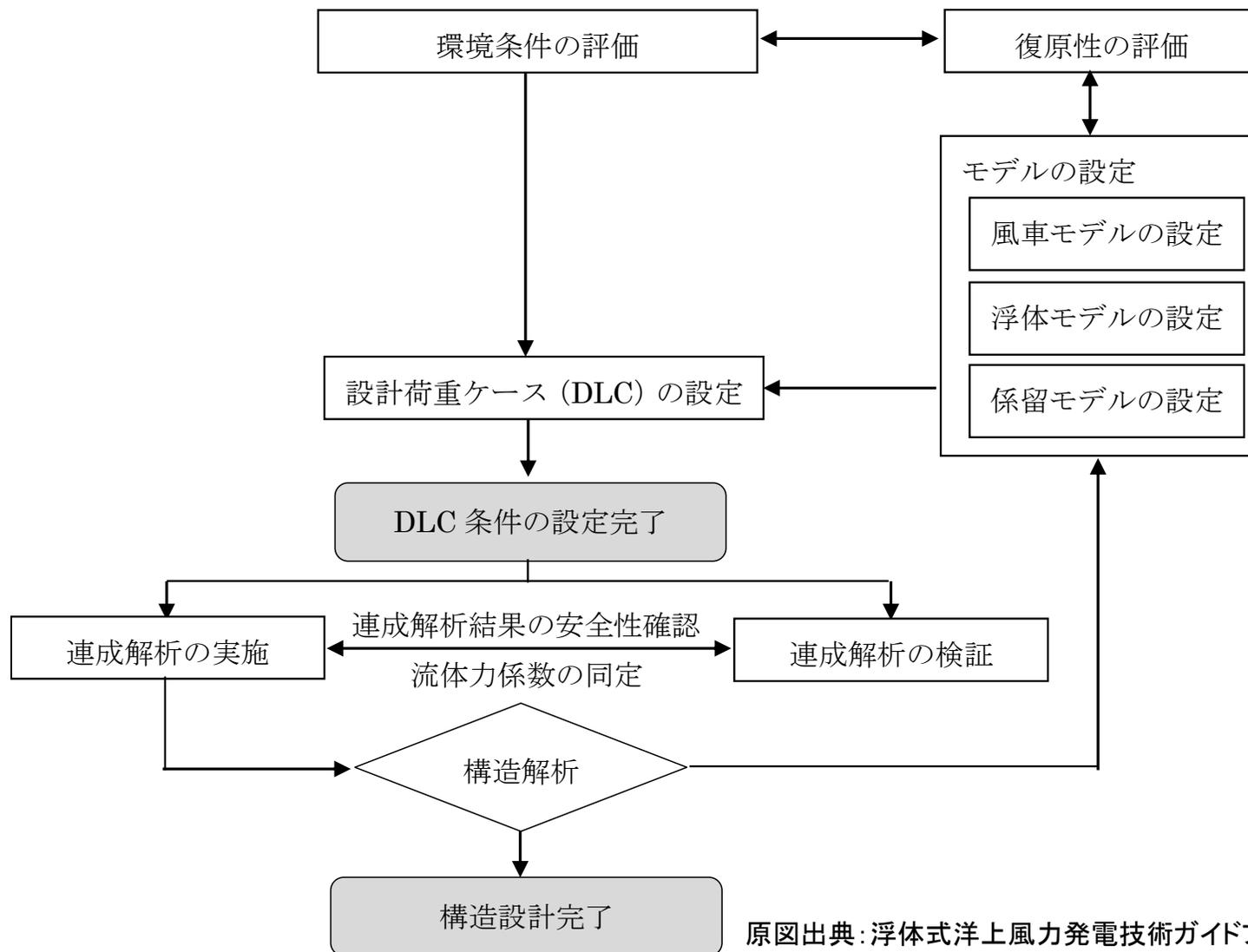
荷重組み合わせ (本基準解説で独自に設定)	照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
港湾レベル2地震動 ※一般海域内の洋上浮力発電設備 については、港湾レベル2地震動の 性能照査を行う必要はない。	タワー	港湾の施設の技 術上の基準・同解 説	倒壊崩壊せず所 定の位置に保持す る	地盤と支持構造物の性能照査
	浮体			
	係留システム			

荷重組み合わせ (本基準解説で独自に設定)	照査対象	適用基準	要求性能	照査項目
設計津波	タワー	港湾の施設の技 術上の基準・同解 説及び浮体式洋 上風力発電技術 基準	倒壊崩壊せず所 定の位置に保持す る	構造の安全性 1)部材応力度 位置保持 復原性 または 地盤と支持構造物 の性能照査
	浮体			
	係留システム			

3. 浮体構造に関する改定(浮体式の技術基準)

浮体式洋上風力発電設備の設計手順

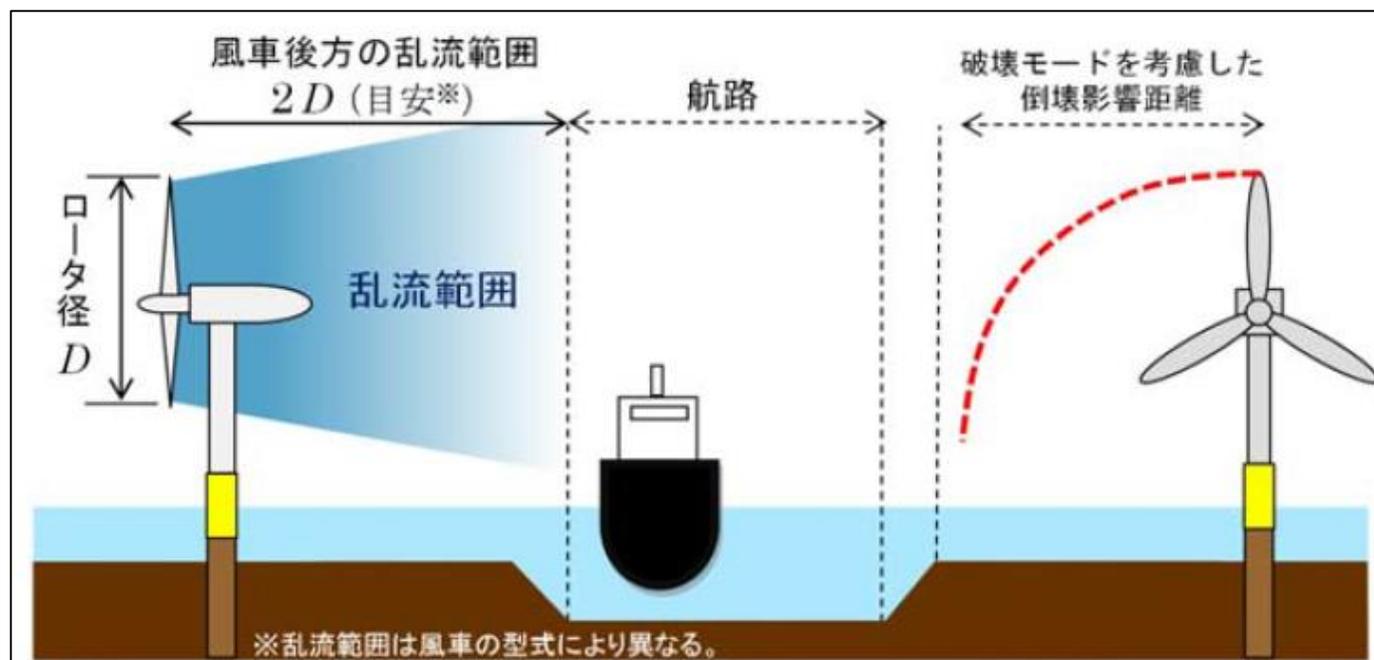
○「第4章 洋上風力発電設備等の設計」に、「4.8 浮体構造の設計」を新設し、構造解析の基本・係留システムの照査・復原性の照査を解説



全ての設計荷重ケースの中で、浮体式洋上風力発電設備が最も移動する範囲を検討し、その想定移動範囲の外側に、航路等の港湾施設との必要な離隔を確保する。なお、必要な離隔距離については、風車後方の乱流範囲又は洋上風力発電設備等の破壊モードを考慮した倒壊影響距離のうち、より大きい距離を設定すること。

なお、単一係留のような非冗長システムを採用する場合には、離隔距離を確保するために、複数係留のような冗長システムと同等の安全性(漂流させない)を確保するように別途検討が必要である。

【参考】着床式の必要な離隔距離の考え方



4. IEC改定に係る改定(IEC 61400の改正内容の反映)

1. 地震時の風荷重を「年平均風速」から「定格風速」へ（統一的解説2.1 荷重の組み合わせ、3.1 風荷重）

- IEC 61400-1 “11.6 Assessment of earthquake conditions”にて、「地震時に作用させる風荷重はa)~c)の中の最大荷重」と示している。
 - a) mean loads during normal power production determined at V_r (定格風速),
 - b) loads during emergency stop at V_r (定格風速), and
 - c) loads during idling or parked condition at no wind and V_{out} (カットアウト風速).

2. DLC6.1及び6.2の荷重部分安全率の補正（統一的解説3.1 風荷重、3.3 波浪荷重）

- IEC 61400-1 “7.4 Design situations and load cases”にて、DLC6.1及び6.2(再現期間50年の極値風速及び極値波浪が作用した風車停止時)に対する荷重部分安全率は、COVが15%を超える場合には50年再現極値風速 V_{50} を補正しても良いとされている(詳細は付属書に追加)。

3. 熱帯性低気圧地域での安全性レベルの調整に関する参考情報（統一的解説3.1 風荷重、3.3 波浪荷重）

- IEC 61400-3-1 Annex.I “Recommendations for alignment of safety levels in tropical cyclone regions”では、「Global robustness level criteria(全体構造安全性レベルの基準)」の設計荷重ケースにおいて、再現期間500年の10分間平均風速と有義波高が設定されている。
- なお、この参考情報については、構造形式、地域特性等を考慮して適切に判断する(詳細は付属書に追加)。

5. その他所要の改定(電気事業法の審査の観点)

1. 設計供用期間(統一的解説2.1.1 構造設計の基本方針 解説(2))

- 「JIS C 1400-1で設定される風車クラスは、その設計寿命を20年以上と定めている。これに伴って洋上風力発電設備等の設計供用期間は20年以上とする。なお、港湾法における占用期間は30年である。運用においては、設計供用期間が25年を超える案件の場合は、届出対象として港湾法・電気事業法とも受け取る前に、両省と設置者とで審議する場を設けて、再現期間の見直し等を検討した上で審査することを前提に、両省で精査していく運用とする。

2. 気温の変化を評価する必要がある場合の荷重組み合わせを設定する際の注意点(統一的解説2.1.1.2 荷重の組み合わせ 解説(3) 1))

- 確認すべき前提条件という位置づけで、統一的解説2.1.1基本方針 解説(1)2)自然環境条件や地盤条件などの設計条件にも「高温又は低温になる場合、気温の変化による空気密度の変化を評価する必要がある」と記載する。
運用においては、DNV-GL(又はJIS C1400-3)と同様に、年間平均で一定日数以上、 -20°C より低い日がある場合は、気温の変化による空気密度の変化を考慮する。

3. 送電線等の敷設(統一的解説2.12解説)と海底送電線及び通信ケーブルの配管(統一的解説4.9解説(4))

- 統一的解説4.9にて、電気設備に関する技術基準を定める省令(平成9年3月27日通商産業省令第52号)、さらに、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)を引用する。

5. その他所要の改定(記載の明確化等)

1. 波の周波数スペクトルの説明の追加 (統一的解説3.3 波浪荷重(8)波の運動)

- 浅海域では、浅水変形後の波浪に適用できるスペクトルを使用する必要がある。

2. $V_s=400\text{m/s}$ 以上の層が出ない場合の工学的基盤の深度の説明の追加 (統一的解説3.7 地盤(4)工学的基盤の深度)

- 工学的基盤層の深さをパラメータとした地震応答解析を実施し、深さによる影響がない位置を工学的基盤面の深さと推定することもできる(ただし、このような推定の妥当性は、学識経験者による確認が必要)。

3. (荷重抵抗係数法の)荷重係数 (統一的解説4.2.2 荷重係数 γ_f)

- 平成30年3月版では、短期荷重と疲労荷重に分類した表記であったが、IEC 61400-1に準じて、好ましくない荷重 (Unfavourable load)と好ましい荷重*(favourable load)の表記に合わせた。

*: その作用を小さく考えた方が設計荷重を安全側にできる場合に用いる荷重であり、重力荷重など、安定計算では「好ましい荷重」の係数を使うことが安全側の設計となるため。

5. その他所要の改定(正誤表の反映)

<正誤表(平成30年6月20日発表)>

ページ	行	章・節	誤	正
35	—	表 2.1.2.3 長期荷重、地震荷重、津波荷重に関する荷重組み合わせ	状態：長期荷重 波浪： $NSS、H_s=H_{sK_NSS Vhub}$	状態：長期荷重 波浪： $NSS、H_s=H_{s13_NSS Vhub}$
75		表-解 3.3.1 NSSにおける風速階級別有義波高、有義波周期出現頻度表の様式例	階級：I3 備考：定格風速 (長期荷重作業時照査用)	階級：I3 備考：定格風速 (長期荷重作用時照査用)
88	14~16	第3章 3.7 地盤 (3) 調査位置、間隔	なお、 <u>Guidance Notes for The Planning and Execution of Geophysical and Geotechnical Ground Investigations for Offshore Renewable Energy Developments</u> では、 <u>コーン貫入試験を実施した箇所の少なくとも 10%以上の個所で標準貫入試験とのデータの突合せを実施するのが望ましいとしている。</u>	なお、 <u>IEC61400-3 の記載からは、コーン貫入試験のデータをエリアの代表箇所において実施した標準貫入試験および室内試験のデータとの突合せを実施することが望ましいと考えられる。</u>
付-66 ~67	-	(d) 直接基礎の滑動に対する照査	(d) <u>直接基礎に滑動に対する照査</u> <u>基礎底面に作用するせん断力が、許容せん断抵抗力以下であることを照査するものとする。</u> ----- (中略) ----- <u>なお、ねじれモーメントは直接基礎の滑動安定性に影響を及ぼすため、ねじれモーメントを付加した基礎底面のせん断力を式(9.7)により評価する。</u>	(全文削除)