

第15回海中海底工学フォーラム・ZERO

五島から始まる日本の次世代洋上風力 ～ 商用浮体の実装と未来～

2026年4月17日
戸田建設株式会社 土木技術統轄部
洋上風力技術部
松信 隆

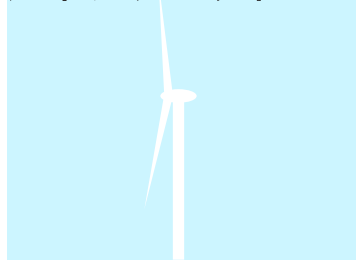
1. 五島洋上ウィンドファームの概要



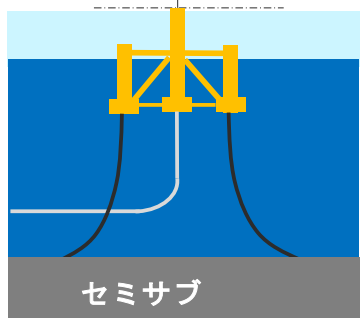
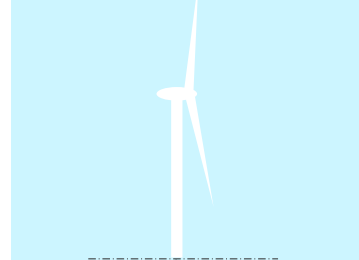
2. 先進性示す世界6位の五島風力

順位	事業名	国	容量 MW	運開	浮体	風車	連系
1	Hywind Tampen	ノルウェー	88	2022-2023	スパー	SG 8.0-167	無
2	Kincardine Offshore Wind Farm	スコットランド	50	2021-2023	セミサブ	V164	有
3	Hywind Scotland Pilot Park	UK	30	2017	スパー	SG 8.0-167	有
4	Wind Float Atlantic	ポルトガル	25	2020	セミサブ	SG 8.0-167	有
5	Provence Grand Large	フランス	25	2023-2024	セミサブ	GE 6 MW	有
6	五島市沖洋上風力発電事業	日本	16.8	2026	スパー	HTW2.1-80	有

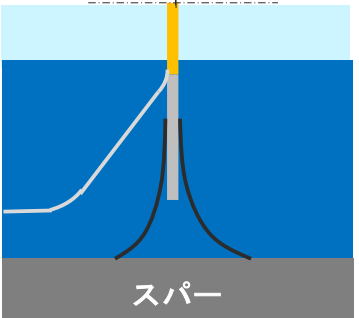
風車アップウィンド



風車ダウンウィンド



セミサブ



スパー



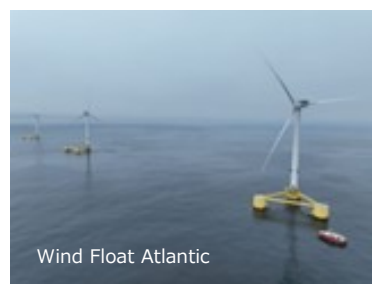
Hywind Tampen



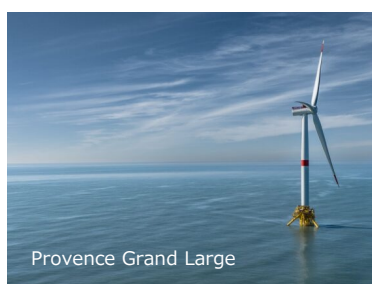
Kincardine Offshore Wind Farm



Hywind Scotland Pilot Park



Wind Float Atlantic



Provence Grand Large



五島市沖洋上風力発電事業

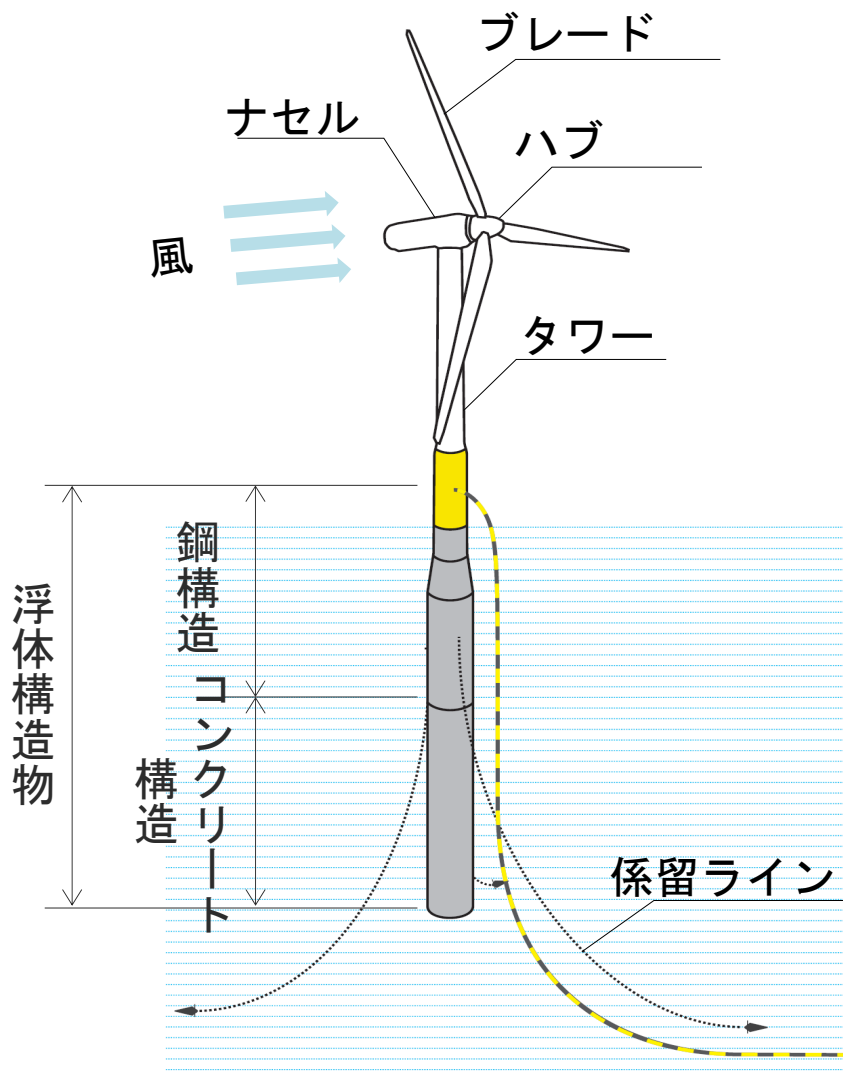
写真出典 <https://www.equinor.com/energy/hywind-tampen>
<https://www.principlepower.com/news/kowl-worlds-largest-floating-windfarm-fully-operational>
<https://windfloat-atlantic.com/>

3. 浮体式洋上風力の開発と商用化への歩み

- 2007年 1/100スケール二次元水槽実験(京都大学)
- 2008年 1/20スケール深海水槽実験(海上技術安全研究所)
- 2009年 1/10スケール実海域実験(長崎県佐世保市)
- 2010年 環境省の実証事業受託 実証海域の選定(五島市椛島沖)
- 2012年 小規模試験機(1/2スケール、100kW)の設置
- 2013年 実証機(2,000kW)～日本初となる商用スケール浮体式洋上風力発電施設
- 2015年 実証機を崎山沖へ移動
- 2016年 環境省事業終了後、
五島市と五島フローティングウィンドパワー合同会社により運転を継続
- 2026年 五島市沖洋上風力発電事業工事完了・運転開始



4. 国産材×風車×地方港湾活用の事業



ダウンウィンド国産風車

- 風荷重で傾斜⇒主軸水平に高出力、最適傾斜角約8度
- 風見鶏効果⇒ヨー反力小、停電時固有の安定性

ハイブリットスパー型浮体

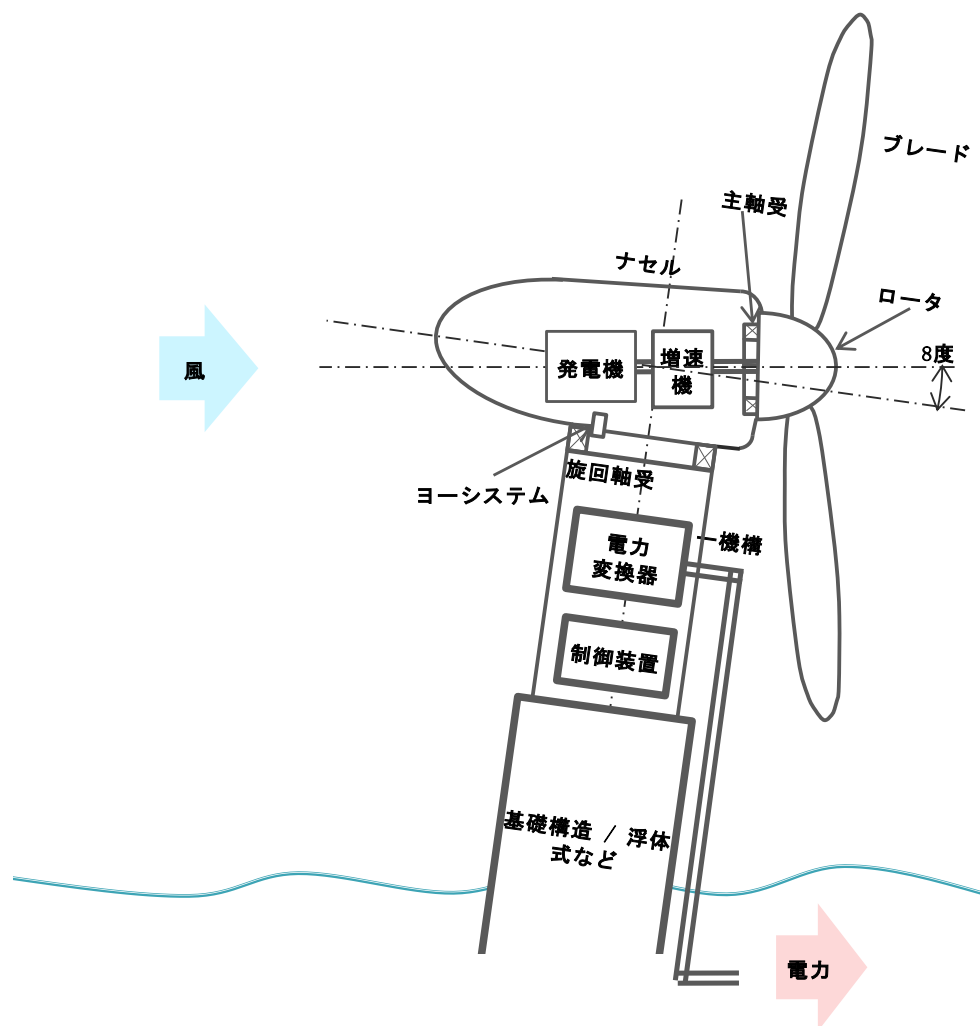
- 曲荷重が支配的な上部には鋼材を、圧縮荷重が支配的な下部にはコンクリートを採用⇒材料最適化・合理化
- システム全体として低重心⇒軽量化と安定性大の両立
- 横置工法⇒地耐力要求低減、地方港湾で製造可
- 縦積工法(大喫水港湾・浮棧橋など)⇒製造コスト低減

サイトにおける風車配置

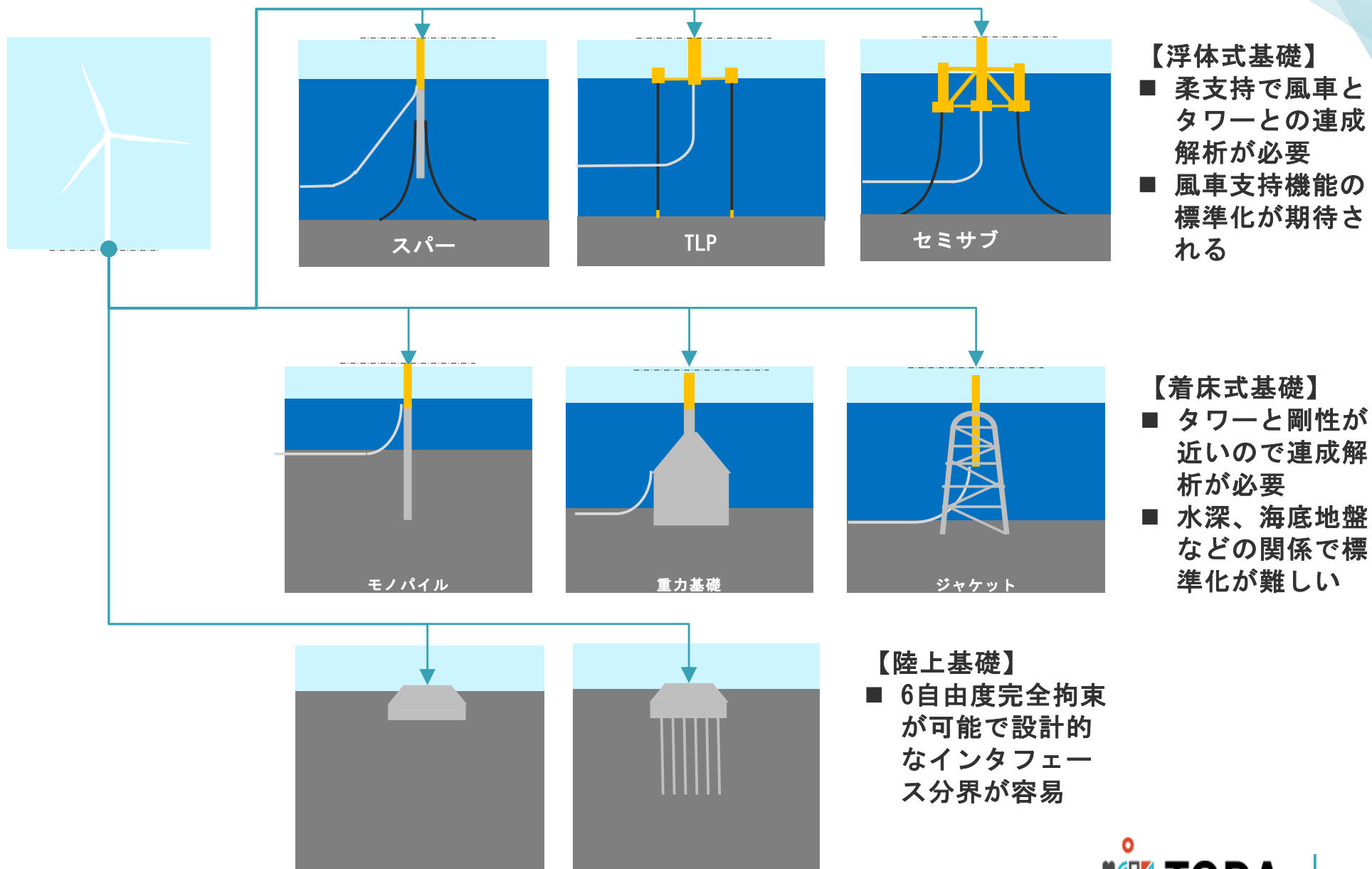
- 設置面積最小化⇒風車基数増加・発電量増加

5. 浮体傾斜許容と発電性能の両立

- 浮体式風車では、浮体の傾斜を前提とした設計が不可欠
- 発電量を低下させないためには、傾斜時でもローターが適切に風を捉える必要がある
- ダウンウィンドローターは、浮体傾斜時にローター面が水平風に対して正対する

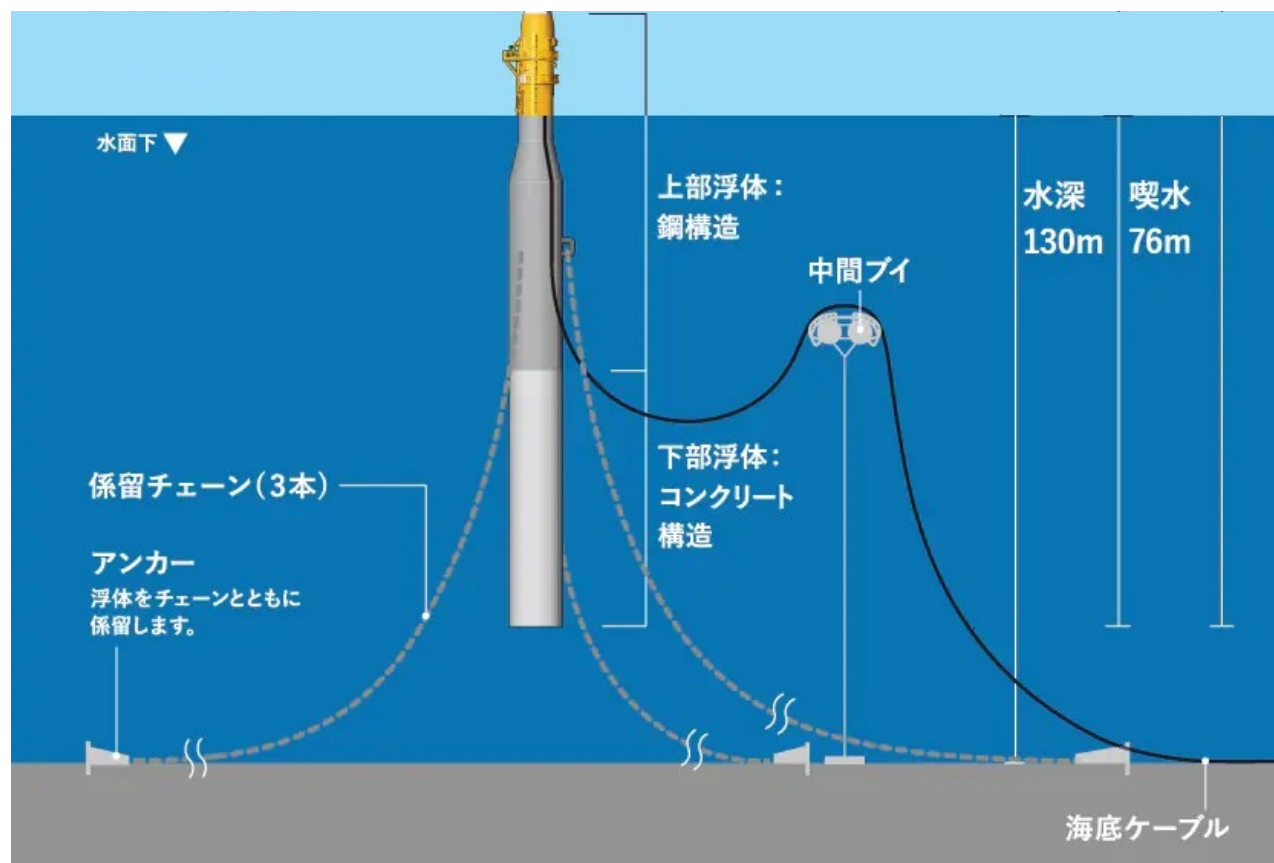


6. 基礎構造



7. 海中海底構造の概要

- 曲げ応力(引張)が支配的な上部には鋼製の部材を、外圧による圧縮応力が支配的な下部にはコンクリート部材を使用
- 上部、下部共に長崎県内で製造とし、地域経済への波及効果を創出



図出典 <https://www.toda.co.jp/business/ecology/special/offshorewind/index.html>

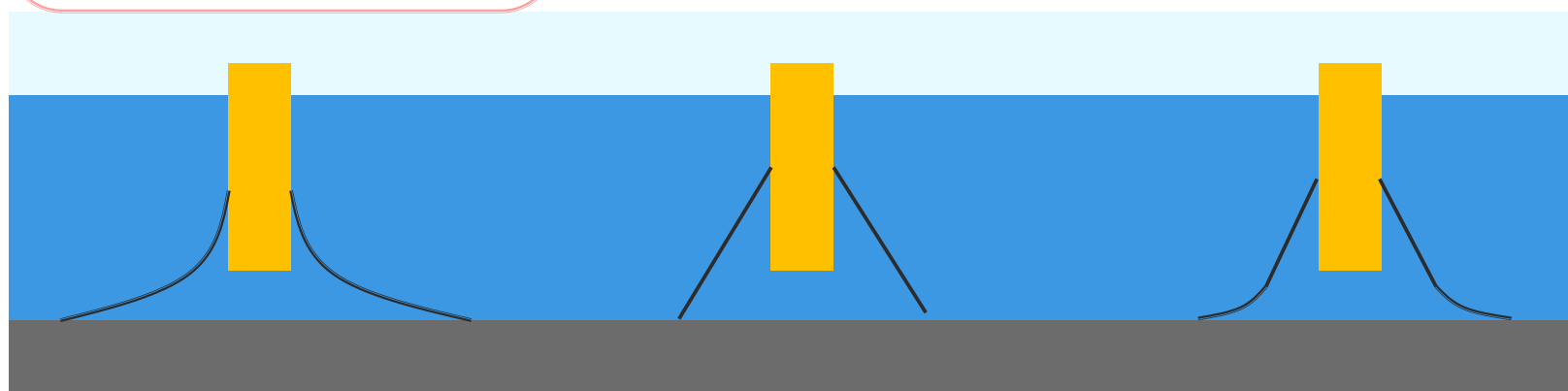


写真出典 <https://www.mnm.co.jp/facility/fabrication.html>



8. 係留方式の比較とカテナリー係留の採用

比較項目	カテナリー係留 (Catenary)	トート係留 (Taut)	セミトート係留 (Semi-taut)
ライン形状	重いチェーンでたるむ (曲線)	合成繊維等で張る (直線)	チェーンとワイヤーの組み合わせ
主な係留力	鎖の重量 (復元力)	ラインの弾性・伸び (緊張力)	重量と緊張力の組み合わせ
アンカーへの力	水平力が主体	鉛直力が主体	水平・鉛直の複合
適正水深	浅海～中水深 (数100m)	中水深～深海 (1000m～)	中水深
設置スペース	広い (ライン長が長い)	狭い	中程度
浮体の動揺	大きい (特に鉛直方向)	小さい	小さい～中程度
アンカー荷重	低い (アンカーが軽い)	高い (アンカーが重い)	中程度
特徴・備考	実績豊富、設置コスト低	設置スペース節約、高コスト	ハイブリッド方式



9. ケーブルの構造設計と信頼性評価

ケーブル構造設定

- 66kV級3心CVケーブルを想定し、主絶縁の周囲に水分の侵入を防ぐ遮水層を設け、浸水条件下での長期絶縁性能を担保

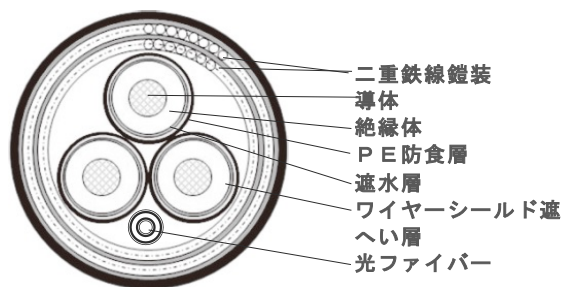
解析

- 浮体からのケーブル放出点、着底部近傍等の、特に機械的損傷が心配される部位に着目し解析ケーブルに加わる機械力を把握

実証

- 最大移動距離±40mを吸収可能なケーブル線形が実証された
- 実機に搭載したダイナミックケーブルを解体調査し耐久性を実証

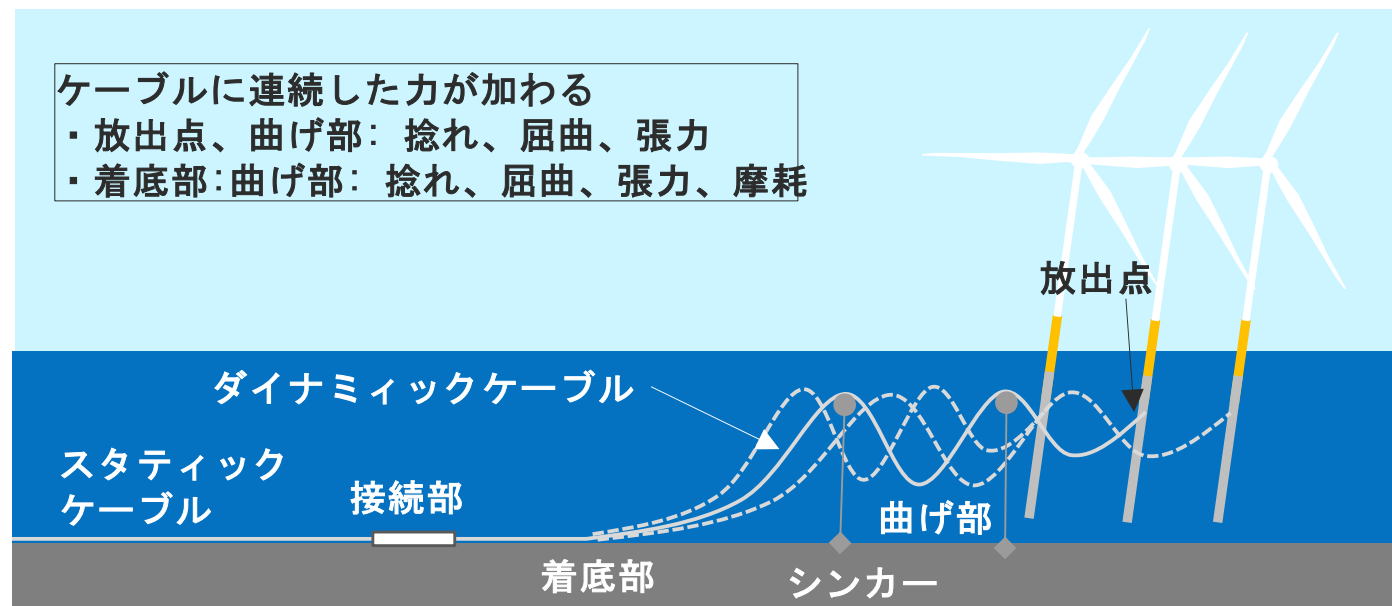
66kV級3心CVケーブル：主絶縁の周囲に水分の侵入を防ぐ遮水層を設け、浸水条件下での長期絶縁性能を担保する構造



遮水層付きダイナミックケーブル構造

ケーブルに連続した力が加わる

- ・ 放出点、曲げ部：捻れ、屈曲、張力
- ・ 着底部：曲げ部：捻れ、屈曲、張力、摩耗



10. 国産風車と国産浮体で広がる波及効果



港湾拠点の整備が進む秋田港飯島地区



福江港(大津岸壁/大津埠頭)の「岸壁・ヤード」の許容荷重(耐荷重)は約 2 t/m² (=約 19.6 kN/m²)、面積3ha、風車定格 2MW 長崎五島福江港の整備

出典 基地港湾整備における課題～秋田県沖洋上風力発電の導入促進～、千葉 清司、田村 遼、齋藤 優大、秋田港湾事務所 海洋利用調整室、

出典 洋上風車本体部材のヤード使用状況：秋田洋上風力発電機 (2022年3月25日撮影)



11. 施工状況(動画)

事業名称:五島市沖洋上風力発電事業
事業主体:五島フローティングウィンドファーム合同会社
発電設備:浮体式洋上風力発電設備 16.8MW(2.1MW機×8基)
(全長176.5m ローター径80m)

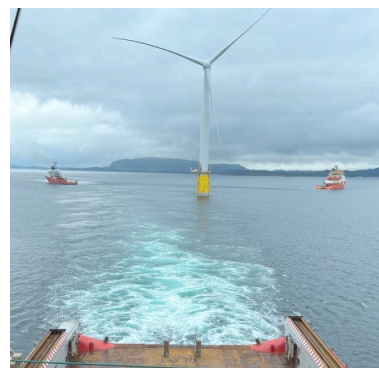
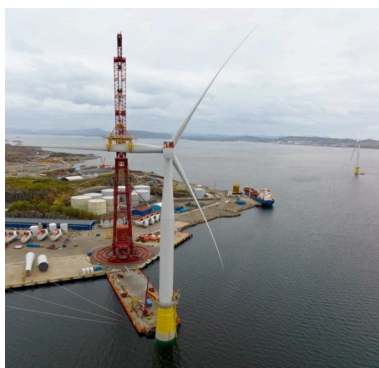
実際の施工の様子をご紹介します

12. 浮体曳航移動の利点とフィヨルド活用事例

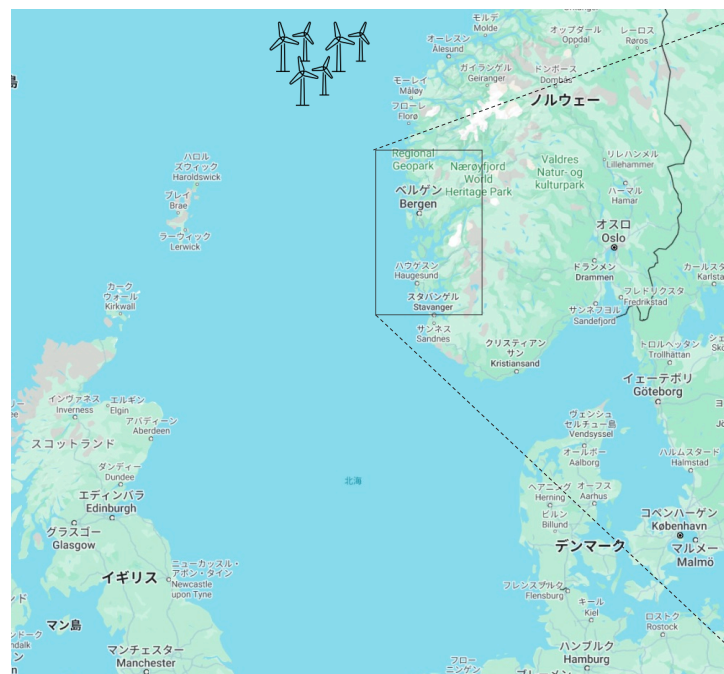


StordのAker Solutions社のドック

Dommersnesの仮設浮き棧橋



Gulenの仮設クレーン
PTC 200-DS, 5000t



出典 Hywind Tampen: Floating Wind Farm Installation DOF, <https://sut.org/wp-content/uploads/2022/08/4.-Norman-Mackay-DOF-Floating-Wind-Capability-and-Hywind-Tampen-Installation-2.pdf>

13. 五島風力の経済波及効果

五島市沖洋上風力発電事業は国産化率約84%

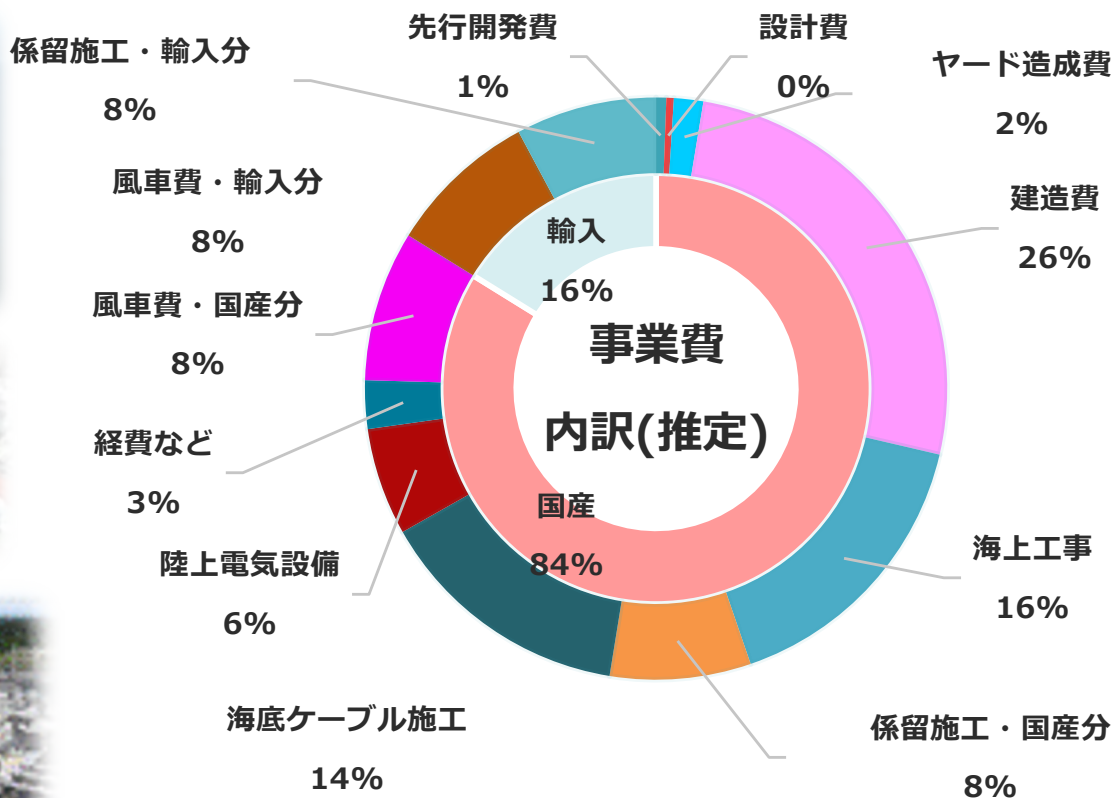
- 風車：日立製作所製風車 HTW2.1-80Aで国内調達率が約50%
- 係留：国内調達率が約50%
- 浮体構造：国産が基本

関連設備投資、開発投資など国内経済への波及効果

- 地元産業基盤の活用：有限会社イー・ウィンド(運転保守)、五島市福江港・港湾ヤード(建設基地港湾)

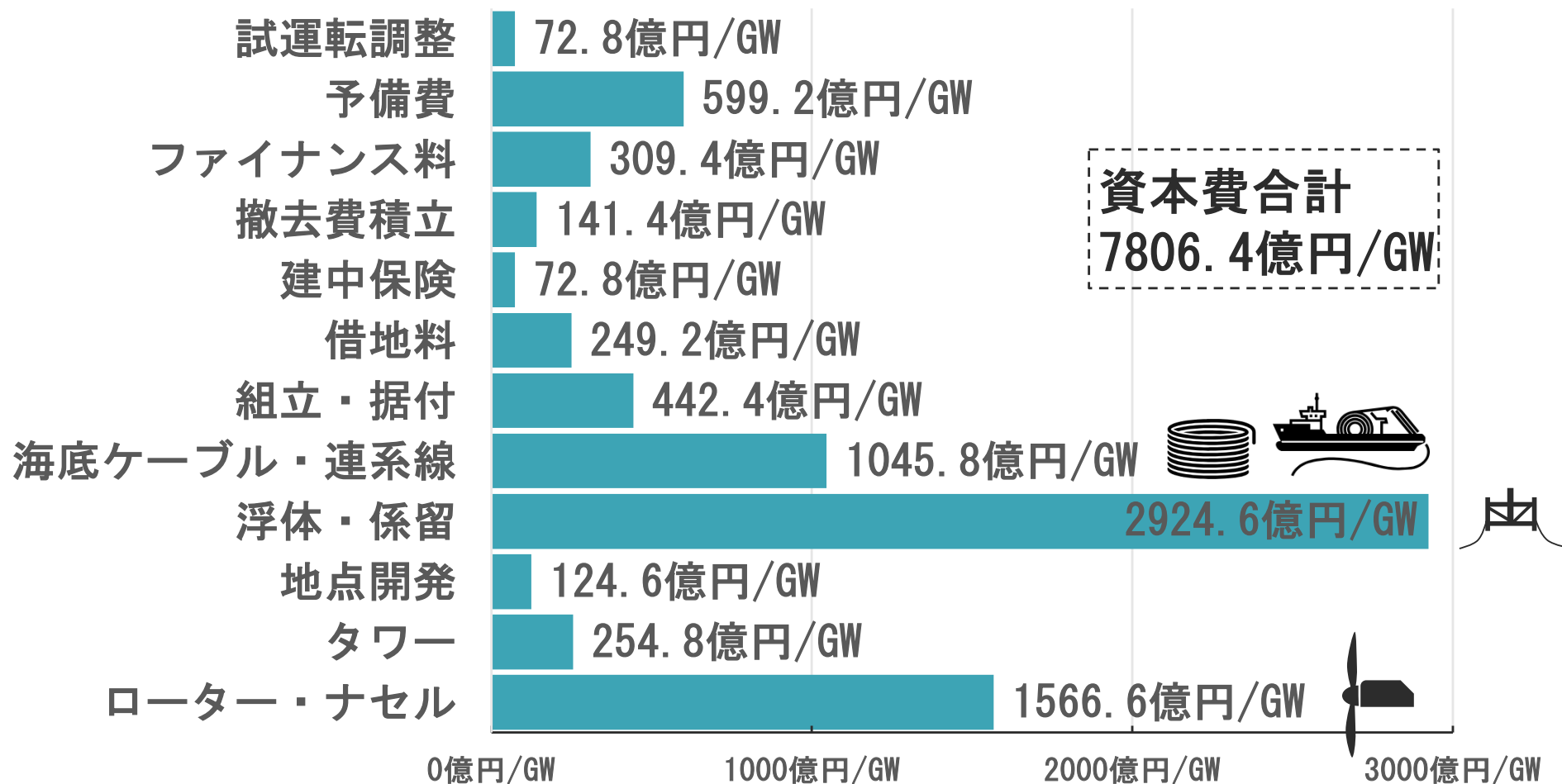
日本固有の海象などへの対応

- 先行実証事業によるスーパー台風への耐性確認
- 日本の自然・社会状況等を踏まえた実績を有する有力企業のコンソーシアムとしての事業化



14. 経済波及効果 / 浮体式資本費のGW単価

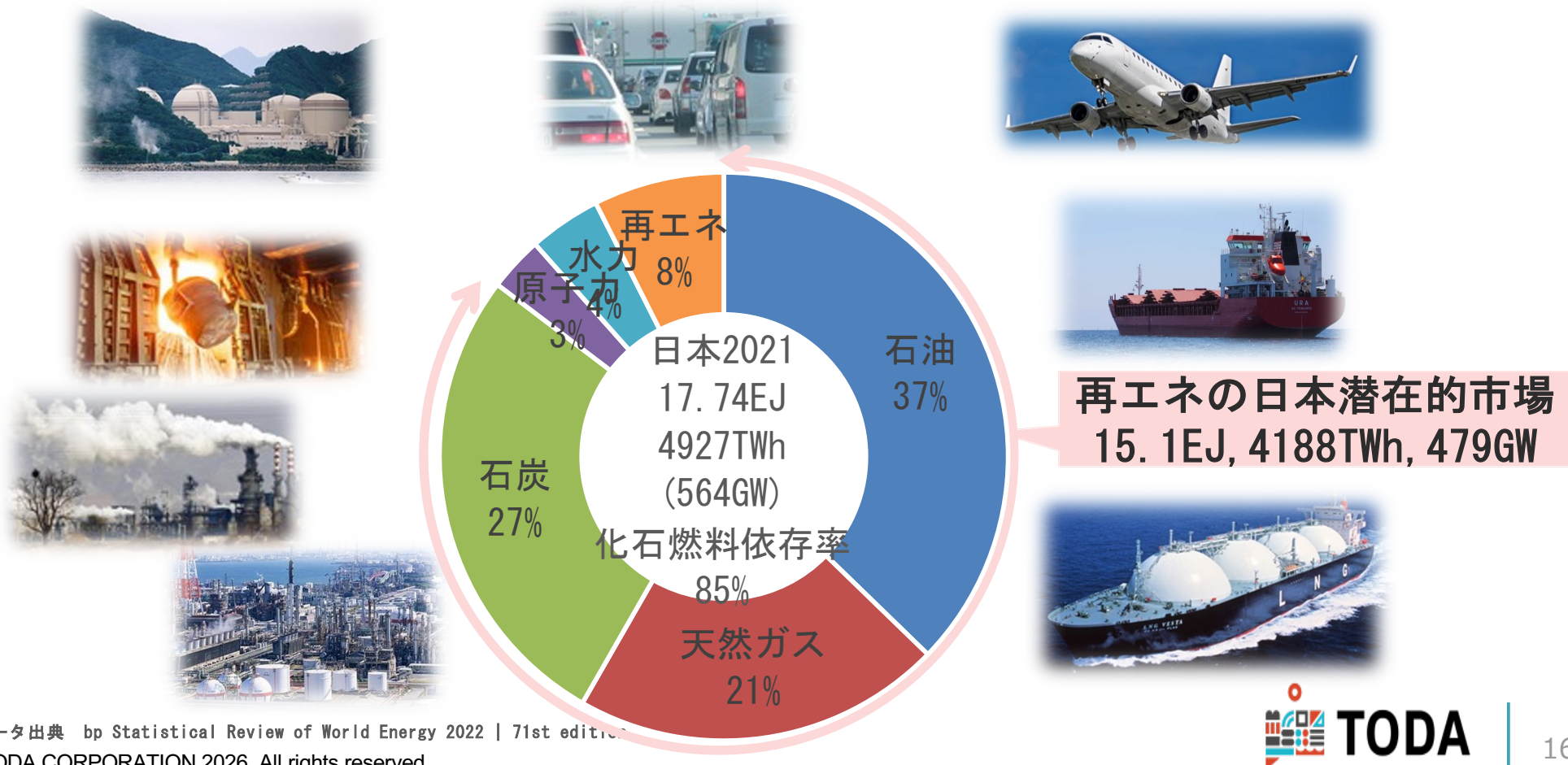
- 市場規模としての参入狙い目は、浮体・係留、風車本体、海底ケーブルの順(ロータ径D140.4、定格出力5.5M、設備利用率Cf=37.9%で、発電コスト18円/kWhレベルのkW単価1GW導入できると仮定し試算)



データ出典: NREL. 2017 Cost of Wind Energy Review. (オンライン) 2018年9月. (引用日: 2019年7月12日.)
<https://www.nrel.gov/docs/fv18osti/72167.pdf> をベースに為替レート140円/USDで換算

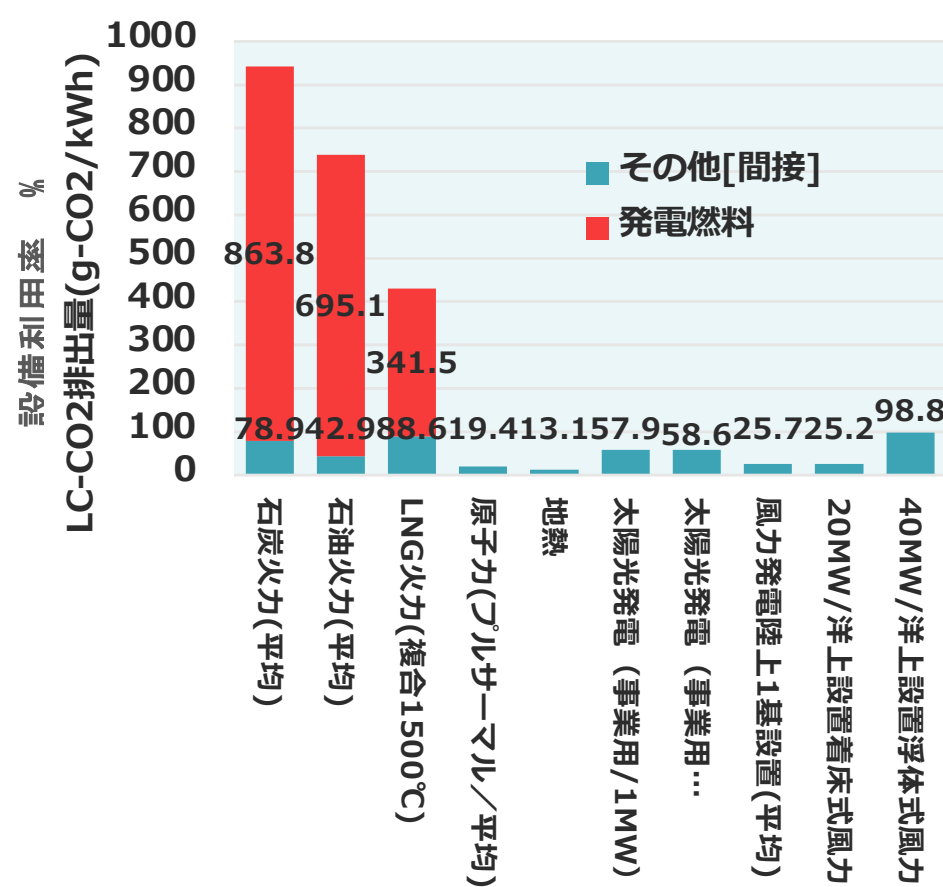
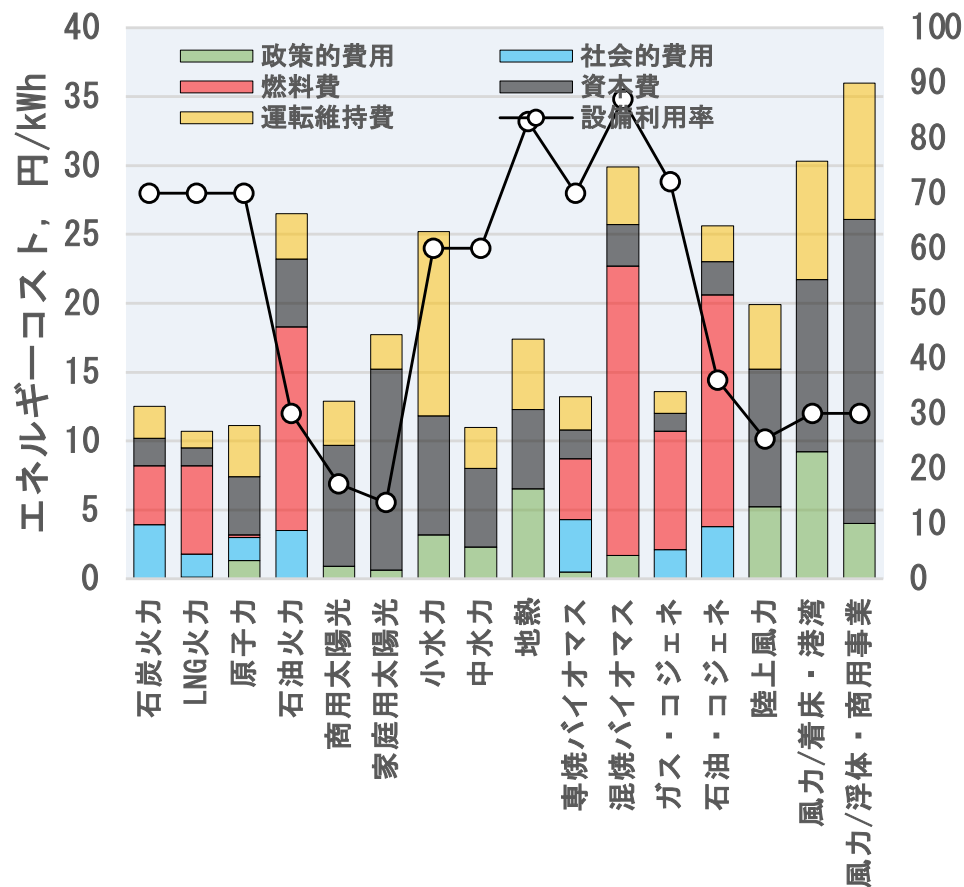
15. 潤沢な日本の再エネ潜在市場：479GW

- 日本の一次エネルギー使用量は、年間17.74EJ、4927TWh、仕事率換算で564GW
- 再エネ(水力を除く)は、増加傾向であるも化石燃料依存率は、85%
- 再生可能エネルギーは2021年にほぼ12%に達し、原子力の3%を上回る
- 石炭火力発電は、2021年に35%から36%にわずかに増加するも2019年の水準を下回る。2021年のガス生成のシェアは、2010年の平均レベル程度で推移



16. 風力のコスト・設備利用率・生涯CO₂排出量に残る改善ポイント

- 風力発電は他のエネルギー源と比べて高発電コスト
- 資本費が高騰していること設備利用率が低いことがコスト上昇の主因
- 生涯CO₂排出量 (g-CO₂/kWh) でも、再エネの中では改善の余地がある



データ出典: 電気をつくるには、どんなコストがかかる? https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyoo/denki_cost.html

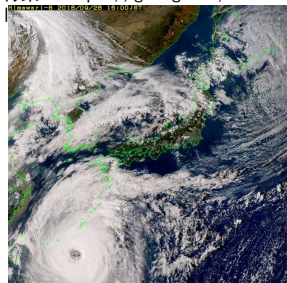
データ出典: 日本における発電技術のライフサイクルCO₂排出量総合評価総合報告: Y06 <https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDownload?reportNoUkCode=Y06&tenpuTypeCode=30&seqNo=1&reportId=8713>

17.3 E+Sの実現と再エネ導入の最適解

Safety (安全性)
 台風・乱流設計、雷、
 施工・O&M時の安全、海上作業の
 安全



出典 GAHAG | 著作権フリー写真・イラスト素
 材集 <https://gahag.net/010271-thunder->

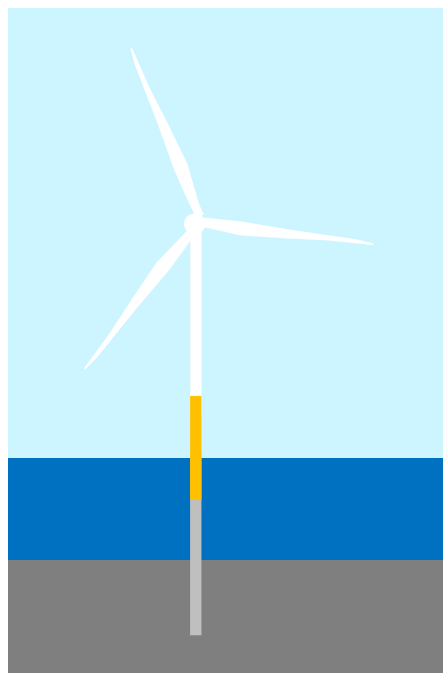


出典 気象庁 | 台風
https://www.data.jma.go.jp/sat_info/himawari/

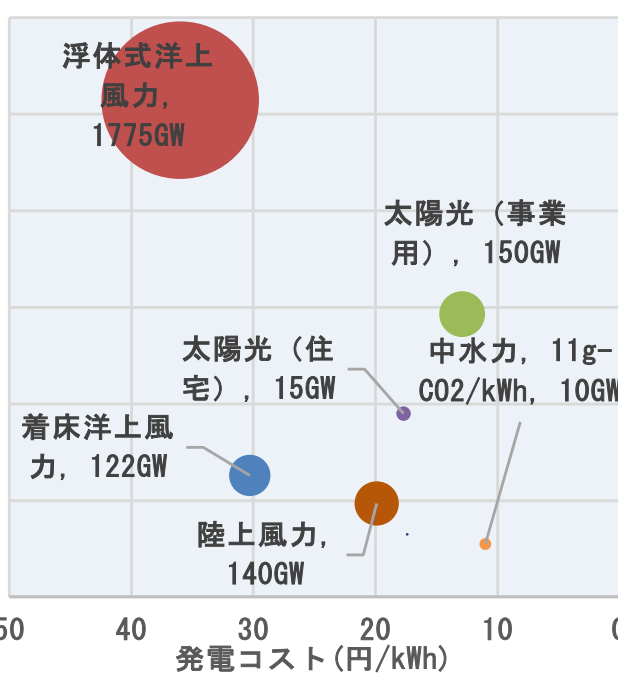


出典 フリー写真素材, 社会・環境, 災害
 , 年東日本大震災, 地震, 津波, 日本
 , Creative commons <http://free-photo.net/serach/entry.php?id=9527&search=%E5%9C%B0%E9%9C%87>

Energy Security (エネルギー安定供給)
 日本の環境に適した風車と国産
 風資源による化石燃料依存低減



Environment (環境適合)
 生涯CO₂排出削減と導入拡大
 景観・騒音・生態系への配慮



(注) 図中のバブルの径とGWの数値は賦存量を示す

データ出典: 日本における発電技術のライフサイクルCO₂排出量総合評価総合報告: Y06
<https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDownload?reportNoUkCode=Y06&tenpuTypeCode=30&seqNo=1&reportId=87>

データ出典: 電気をつくるには、どんなコストがかかる? https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/denki_cost.html

再エネの賦存量・コスト・CO₂発生量

