

7. 国内外の浮体式洋上風力発電プロジェクト事例

7.1 浮体式洋上風力発電の分類

①セミサブ型 (SemiSub)

半潜水プラットフォーム：カテナリー係留で海底に固定し、半潜水型の浮体のプラットフォームを安定化させる。多くの他の型式の場合は、安定性を維持するために大きくて重い構造を必要とする。動揺が少なくなることでより適用範囲を広め、設置を容易にする。以下に実機を示す。

- WindFloat (by Principle Power)
- Damping Pool (by IDEOL)
- SeaReed (by DCNS)

②スパー型 (Spar)

スパーブイ：円筒状のバラスト安定構造は、浮体の中心よりも低い位置に重心があることで高い復原性を得ている。その構造としては、下部構造が重く、上部は軽いことにより浮力の中心を上げている。そして、スパーブイの簡単な構造は、根本的に製造を容易にし、良好な復原性を実現する。しかし、喫水線が長いことで、組立、輸送、および設置時の物流に課題があり、水深 100m 以上の深さの海域に制限される。以下に実機を示す。

- Hywind (by Statoil)
- Sway (by Sway)
- Advanced Spar (by Japan Marine United)

③TLP 型 (TLP)

テンションレグプラットフォーム (TLP)：半潜水浮力構造は、係留索を海底に固定し張力がかかることで復原性を保っている。浅喫水と張力により、小型で軽量の構造を可能にしている。この型式は、テンドンとアンカー上のストレスを増大させる。また、設置工程は難しく、テンドンが切れた場合は、運用上リスクを高める。以下に実機を示す。

- PelaStar (by Glosten)
- Blue H TLP (by Blue H Group)
- Eco TLP (by DBD Systems)
- GICON-SOF (by GICON)

表 7.1-1 浮体式洋上風力発電の型式別の特徴

分類	強み	弱み
セミサブ型	<ul style="list-style-type: none"> 浅海域で柔軟に適用可 浮体に求める要件が少ない。 陸上で組立可能 港湾周辺で大規模改修可 	<ul style="list-style-type: none"> 構造上十分な浮力と復原性を持たせるために質量が必要 溶接で繋がれた支柱が多い複雑な構造のため加工が困難 動的バラストシステムが高価
スパー型	<ul style="list-style-type: none"> 一連の作製工程が容易 可動部品が少ない。 (動的なバラストがない) 復原性が非常に高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 深海に設置場所が制約 風車の組立は、洋上で実施し、動的な位置決めと吊り上げ能力が高いリフトクレーンが必要 喫水が深いことから大改修のために港湾に帰港できない可能性
TLP 型	<ul style="list-style-type: none"> 大きさが構造上小さい。 陸上で組立が可能 可動部品が少ない。 (バラストが少ない) 復原性が非常に高い。 	<ul style="list-style-type: none"> アンカーと係留に大きな負荷 設置作業が困難 特注の設置用の台船が必要になることが多い。



図 7.1-1 浮体式洋上風力発電の分類³⁹

表 7.1-2 係留システムの特徴³⁹


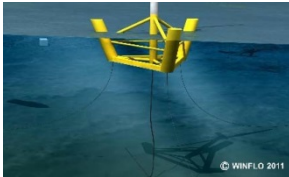
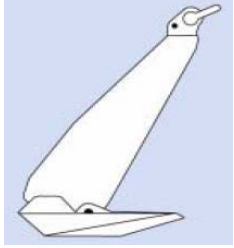
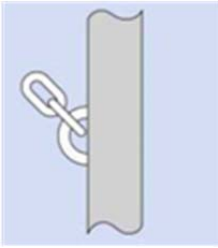
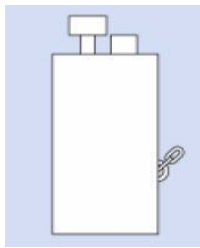
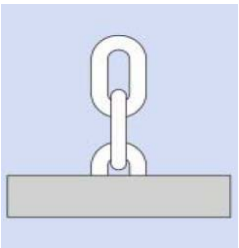
項目	トート型	カテナリー型
主な事例		
	Glosten PelaStar	DCNS SeaReed
特徴	<ul style="list-style-type: none"> • 浮体の復原性を維持するために海底にしっかりとアンカーを固定し、浮体に合成繊維又はワイヤを使って高い張力を維持 	<ul style="list-style-type: none"> • 長いチェーンとその自重そして湾曲形状により浮体プラットフォームにより保持する。係留チェーンの一部は、海底を這わせることで、アンカーを支持しており、荒天時にはカウンターウェイトとして作用
フットプリント	<ul style="list-style-type: none"> • 小 	<ul style="list-style-type: none"> • 大
アンカー地点の荷重方向	<ul style="list-style-type: none"> • 垂直方向荷重 	<ul style="list-style-type: none"> • 水平方向荷重
アンカー地点の荷重	<ul style="list-style-type: none"> • アンカーにかかる荷重は大きく、垂直方向の荷重に耐えられるアンカーが必要 	<ul style="list-style-type: none"> • 係留ラインが長く、一部係留索が海底に這わせることでアンカーにかかる負荷を低減
可動範囲	<ul style="list-style-type: none"> • 水平方向の動きがほぼ制限 	<ul style="list-style-type: none"> • 水平方向の動きが数度内に制限
安定性	<ul style="list-style-type: none"> • 高い引張力で浮体の動きを制限し、高い安定性を保持 	<ul style="list-style-type: none"> • 浮体の動きを係留索の自重で制限。トート型の動きよりも自由度有
設置工程	<ul style="list-style-type: none"> • 困難 	<ul style="list-style-type: none"> • 比較的簡単
海底掘削範囲	<ul style="list-style-type: none"> • 最小限 	<ul style="list-style-type: none"> • 海底にチェーンを這わせることで海底掘削を少なくできる。

表 7.1-3 アンカーの種類³⁹

	ドラッグアンカー	パイルアンカー	サクシオンアンカー	重力アンカー
外観				
特徴	<ul style="list-style-type: none"> アンカーが浸透するにはそれほど堅くない粘着性堆積物の海底に最も適応 	<ul style="list-style-type: none"> 海底条件に関係なく広く適応 	<ul style="list-style-type: none"> 海底条件によっては適応できない。緩い砂質土や浸透しないような硬い土壌等 	<ul style="list-style-type: none"> 堅い土壌条件が必要
荷重方向	<ul style="list-style-type: none"> 水平方向 	<ul style="list-style-type: none"> 垂直又は水平方向 	<ul style="list-style-type: none"> 垂直又は水平方向 	<ul style="list-style-type: none"> 通常は垂直荷重、水平方向でも可
設置	<ul style="list-style-type: none"> 設置が容易 	<ul style="list-style-type: none"> 打ち込み時のハンマー音が大きい 	<ul style="list-style-type: none"> 他の方法より比較的設置が容易 	<ul style="list-style-type: none"> サイズが大きく、重量が増えるとコスト高
撤去	<ul style="list-style-type: none"> 現状回復可能 	<ul style="list-style-type: none"> 困難 	<ul style="list-style-type: none"> 容易 	<ul style="list-style-type: none"> 困難

7.2 浮体式洋上風力発電のプロジェクト

浮体式洋上風力発電プロジェクトの運転、計画状況を以下に示す。

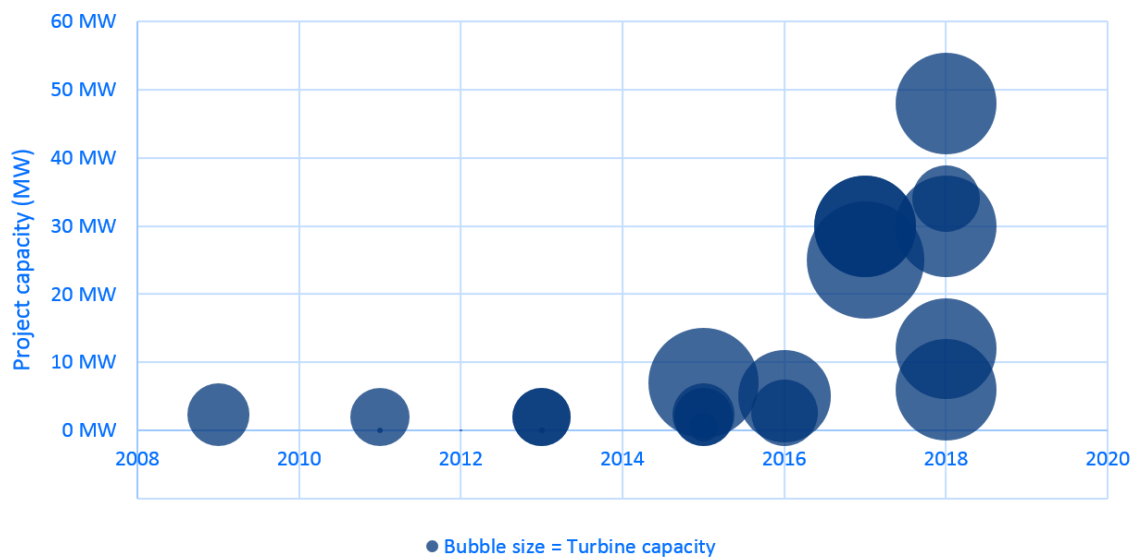


図 7.2-1 2020 年までの運転、計画されているプロジェクトの規模³⁹

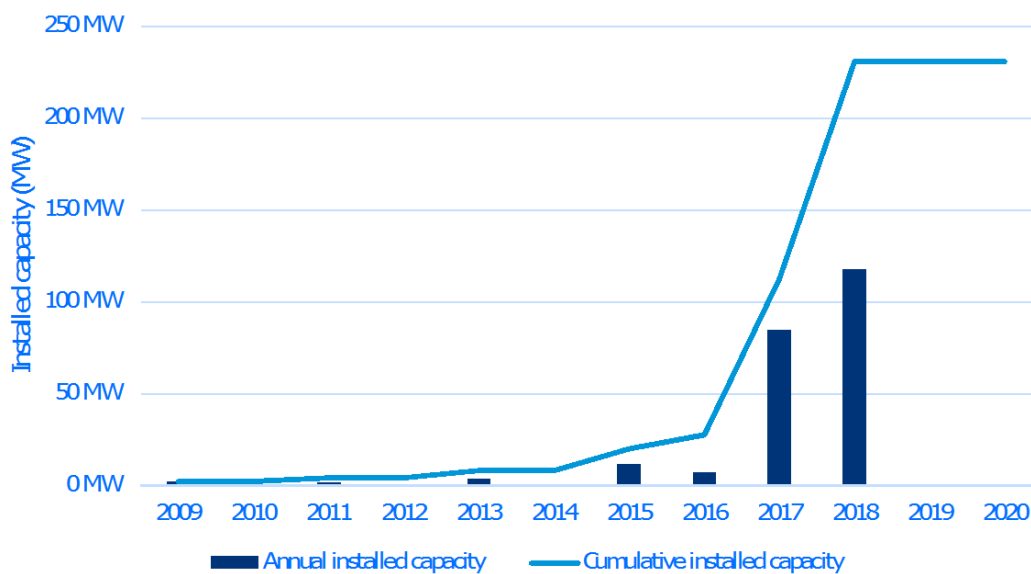


図 7.2-2 浮体式洋上風力発電プロジェクト（運転開始済み）の増加³⁹

国内外の浮体式洋上風力発電プロジェクト（平成 30 年 3 月現在実証、商用段階）を表 7.2-1 に示す。各プロジェクトの概要は主に CarbonTrust, 2015 を基に記載し、図版は各事業者の HP に拠っている。

表 7.2-1 国内外の浮体式洋上風力発電プロジェクト（実証、商用段階）

No.	プロジェクト名	開発段階	実海域試験開始時期	商用運転開始時期	実証研究グループ	浮体構造		風車	
						型式	製造者	容量	製造者
①	Hywind demonstrator	商用	2009	2017	Statoil	Spar	Statoil	2.3MW	Siemens
②	五島市沖洋上風力発電事業	商用	2013	2016	戸田建設、日立製作所、九州大学、海洋エンジニアリング	Hybrid concrete-steel Spar	戸田建設	2.0MW	日立製作所
③	WindFloat-P hase1	実証	2011	2018	EDPR/Repsol	Semi-sub	PrinciplePower	2.0MW	Vestas
④	福島浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業 第1期	実証	2013	—	福島洋上風力コンソーシアム	Compact Semi-sub	三井造船	2.0MW	日立製作所
⑤	福島浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業 第2期	実証	2015	—	福島洋上風力コンソーシアム	V-shape Semi-sub	MHI	7.0MW	MHI
⑥		実証		—		Advanced Spar	JMU	5.0MW	日立製作所
⑦	GICON-SOF Pilot	実証	2015	—	GICON	TLP	GICON	2.3MW	Siemens
⑧	FLOATGEN	実証	2017	—	FLOATGEN	Pontoon	Ideol	2.0MW	Gamesa
⑨	NezzySCD	実証	2018	—	—	Semi-sub	AerodynEngineering	0.6MW	—
⑩	VolturnUS	実証	2013	2020	—	Semi-sub	Deep C Wind Consortium	0.02 MW	—
⑪	Sway	実証	2011	—	—	Spar	SwayA/S	0.15 MW	—
⑫	Sea Twirl S2	実証	2015	2020	—	Spar	Sea Twirl Engineering	1.5kW	—
⑬	Blue HTLP	実証	2008	—	—	TLP	Business Creation Wind Energy AG	0.08kW	—

また、これらのプロジェクトを以降に詳述する。なお、各プロジェクトの TRL（技術成熟度）

と開発段階については、表 7.2-2 に示す内容に沿って整理した。

表 7.2-2 TRL と開発段階 ³⁹

TRL (Technology readiness levels)		開発段階
1	Unproven concept (未確認のコンセプト)	構想段階
2	Proven concept (実績のあるコンセプト)	机上検討、基本設計段階
3	Validated concept (検証されたコンセプト)	詳細設計段階
4	Prototype tested (プロトタイプテスト済み)	水槽実験段階
5	Environment tested (テスト済みの環境)	小規模スケールタイプによる実証段階
6	System tested (システムテスト済み)	実スケールタイプによる実証段階 ※アレイテストも含む。
7	System installed (システムの設置)	実スケールタイプによる実証段階 (少なくとも1年間の運用およびテストで性能確認) ※アレイテストも含む。
8	Field proven (フィールド実証済み)	商業プロジェクト段階

表 7.2-3 ①Hywind demonstrator^{39, 40}の概要


プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
HyWind	Statoil			ノルウェー スコットランド
	型式	スパー	主原料	スチール又は コンクリート
	水深	100-500m	係留システム	3 カテナリー
	タービン軸	水平	ブレード数	3
	実証研究グループ	Statoil	TRL (技術成熟度)	7
	実海域試験 開始時期	2009	商用運転 開始時期	2017
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> Hywind 社のスパー型は、浮体式の中でも最も典型的な形状の一つであり、2.3MW プロトタイプ機は、2009 年以来ノルウェー沖で開発されている。Hywind は、スパー構造をしており、喫水が 70-90m の 3 本のカテナリー係留システムを採用している。 Statoil は、これらを適応と最適化により 2.3MW のデモ機の LCOE を 2/3 に削減、商用化に向けてさらなるコスト削減のために実証試験を行っている。 				
低コスト化にむけた取り組み				
<ul style="list-style-type: none"> デバイスの大型化の計画がありスコットランド沖にプレ商用機として配置する予定である。最初のプロトタイプ機に比べて、浮体を厚く、長さを短くすることで材料費を抑え、全体のコストの低減に繋げることで世界の市場に広く適用できるように開発を進めている。 				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> 初期の Hywind のバラストシステムについては、水を使用していたが、新しい型式では石を採用している。これは、6MW 級のタービンを搭載した時に発生する追加荷重にも適用するためである。 スパーの寸法と質量については、設置海域によって異なる。 2017 年に Hywind Scotland (スコットランド) で 6MW×5 基の運転が開始された。 				

表 7.2-4 ②五島市沖洋上風力発電事業^{39, 41}の概要


プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
Hybrid concrete-steel Spar	戸田建設			日本
	型式	スパー	主原料	コンクリート とスチール
	水深	100m>	係留システム	3 カテナリー
	タービン軸	水平	ブレード数	3
	実証研究グループ	戸田建設、 日立製作所、九州大 学、海洋エ ンジニア リング	TRL (技術成熟度)	7
	実海域試験 開始時期	2013	商用運転 開始時期	2016
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> 細長い浮体と喫水が深いこれまでのスパー型であるが、上部セクションはスチール製で、下部セクションは、コンクリート製となっており、分割されたハイブリッドデザインになっている。安定させるために重心が浮体の中心より低くなる構造となっている。 				
低コスト化にむけた取り組み				
<ul style="list-style-type: none"> コンクリートを使うことにより、材料費を安くすることができるとともに、地元からの調達率を上げることができる。 				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> 100kW のプロトタイプ機の後には 2MW のフルスケール機が長崎県杵島沖に 2013 年に設置され、これまで日本の南部を襲った大型台風にも耐えている。 2015 年度の実証事業終了後、五島市下崎山町崎山漁港の沖合約 5km に移設され、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が開始されている。 				

表 7.2-5 ③WindFloat-Phase1^{39, 42}の概要

プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
Wind Float	Principle Power			ポルトガル
	型式	セミサブ	主原料	スチール
	水深	42-49m	係留システム	3 カテナリー
	タービン軸	水平	ブレード数	3
	実証研究グループ	EDPR; Repsol; Pilot offshore; Atkins	TRL (技術成熟度)	6
	実海域試験 開始時期	2011	商用運転 開始時期	2018
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> WindFloat は、浮体式洋上風力発電市場の中でも、典型的なコンセプトであり、2011 年からポルトガル沿岸沖合に 2MW 機が設置されている。3 つのカラムとタービンを支える半潜水型のデザインとなっており、静水バラストは、各カラムの基部にそれぞれヒーププレートがあることで、波による揺れを減衰させている。この技術により既往の風力発電が使用可能となり、わずかな設計変更で、従来の 3 枚羽の風力発電を支持している。 				
低コスト化にむけた取り組み				
<ul style="list-style-type: none"> 係留システムは、コスト低減と複雑さを最小限に抑えるためにチェーンやポリエステル線を使用している。そしてアンカーは、ストックレスアンカーを利用することで、設置準備や打設等の作業を最小限にしている。 				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> 本デザインを採用することで浮体式洋上風力発電市場の先行者としてのメリットがあり、今後 5 年から 10 年かけてスケールアップする開発計画がある（ハワイ 2（ハワイケー、オレゴン 30MW、スコットランド 40-50MW、ポルトガル 25MW）。 				

表 7.2-6 ④福島浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業 第1期^{39, 43}の概要


プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
福島浮体式洋上ウィンドファーム 実証研究事業 第1期	Mitsui Engineering & Ship building			日本
	型式	セミサブ	主原料	スチール
	水深	120m	係留システム	6 カテナリー
	タービン軸	水平	ブレード数	3
	実証研究グループ	福島洋上風力コンソーシアム	TRL (技術成熟度)	6
	実海域試験開始時期	2013	商用運転開始時期	—
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> 標準的なカテナリー係留された4つのカラムの半潜水型のプラットフォームである。 				
低コスト化にむけた取り組み				
<ul style="list-style-type: none"> 質量が大きく、スチールを多く使用しているため高価になっているため、次号機から低コスト化を検討している。 				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> Fukushima FORWARD プロジェクトにおける1号機である。 日立製の2MW機を搭載し、福島沖に2013年に設置された。既に2つの台風にも耐えた実績がある。 今後、プラットフォームの小型化、低コスト化を目標に、平成30年3月現在もプロジェクトを継続中である。 				

表 7.2-7 ⑤福島浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業 第2期^{39, 43}の概要

プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
福島浮体式洋上ウィンドファーム 実証研究事業 第2期	Mitsubishi Heavy Industries			日本
	型式	セミサブ	主原料	スチール
	水深	120m	係留システム	8 カテナリー
	タービン軸	水平	ブレード数	3
	実証研究グループ	福島洋上風力コンソーシアム	TRL (技術成熟度)	6
	実海域試験開始時期	2015	商用運転開始時期	—
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> • V字型の半潜水型プラットフォームは、3つの付加的な浮力があるコラムが備わっており、その中の1つのコラムに風車が据付られている。 				
低コスト化にむけた取り組み				
<ul style="list-style-type: none"> • 今後、プラットフォームの小型化、低コスト化を目標に継続してプロジェクトが進められている。 				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> • フルスケール機では最初の実証であり、2015年にMHI製の7MW風車を据え付けられた世界最大級の浮体式洋上風力発電が設置された。 • Compact Semi-Subと同様に保守的なプラットフォームの設計であるため、商用展開できるようにコスト削減するために最適化が必要である。 				

表 7.2-8 ⑥福島浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業 第2期^{39, 43}の概要


プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
福島浮体式洋上ウインドファーム 実証研究事業 第2期	Japan Marine United			日本
	型式	スパー	主原料	スチール
	水深	120m	係留システム	6 カテナリー
	タービン軸	水平	ブレード数	3
	実証研究グループ	福島洋上風力コンソーシアム	TRL (技術成熟度)	6
	実海域試験開始時期	2017	商用運転開始時期	—
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> スパー型式に替わる型式として、揺れや波立ちを最小限にするため、短い浮体に「動揺フイン」を装備した型式を採用することで浅い海域でも設置が可能となった。 				
低コスト化にむけた取り組み				
<ul style="list-style-type: none"> 今後、プラットフォームの小型化、低コスト化を目標に継続してプロジェクトが進められている。 				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> 2017年にアドバンストスパー型浮体に日立製作所の5MWダウンウインド型風車を搭載して設置された。平成30年3月現在は実証試験中である。 				

表 7.2-9 ⑦GICON SOF^{39, 44}の概要


プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
GICON-SOF	GICON			ドイツ
	型式	TLP	主原料	スチール
	水深	40-250m	係留システム	8 トート
	タービン軸	水平	ブレード数	3
	実証研究グループ	—	TRL (技術成熟度)	3
	実海域試験 開始時期	—	商用運転 開始時期	—
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> GICON-SOF は、フラインベルク工科大学、ロストック大学、フランホーファー研究所と協力して TLP 型の開発を行っている。この TLP の型式には、連結した 4 つのカラムがあり、トート係留方式で海底にアンカーと固定されている。そして 4 つの付加的な係留索は、従来の着床式と基礎とほぼ同等の復原性がある。 				
低コスト化にむけた取り組み				
<ul style="list-style-type: none"> 分割設計により、製造工程の中で、非常に効率的に作業を行う事ができる。 				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> 2015 年水槽試験が成功したことにより、ドイツのバルト海で計画されたフルスケール機の最適化と実証でのリスクを回避することができた。2017 年から商用展開する前に構造の挙動の重要なモニタリングを行い、さらなる最適化を行う予定であった。 本プロジェクトは研究プロジェクトとして分類されているが、既存の法的枠組みでは、商業用風力発電事業者と同じ手順で接続容量を要求する必要があった。この問題のため、フルスケール機での試験機を設置するための資金調達を図っている。(2016.8) 				

表 7.2-10 ⑧FLOATGEN^{39, 45, 46, 47}の概要


プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
DampingPool	IDEOL			フランス
	型式	ケーソン/ バージ	主原料	コンクリート スチール
	水深	32m	係留システム	6-9 カテナリー
	タービン軸	水平	ブレード数	3
	実証研究グループ	IDEOL 他	TRL (技術成熟度)	5
	実海域試験 開始時期	2017	商用運転 開始時期	—
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> • IDEOL 社のプラットフォームは、浮体に補足された海水を利用して浮体の動揺を最小限に抑えるダンピングプールシステム（特許取得済み）という中央開口部を有する浮体である。浮体の動きにあわせてブレードのピッチを制御するソフトを適用することで動揺の低い浮体を実現し、従来の洋上風力発電とも互換性がある。 				
低コスト化にむけた取り組み				
<ul style="list-style-type: none"> • プラットフォームの形状もスチールを使用するが、コンクリートを使用することで大きなコスト削減を実現できるとともに地元から部品を調達することができる。分類では、半潜水型としているが、これは、機密データの流出を回避するためにそのような分類にしている。主材料にコンクリートを構造設計に使用することで、価格の変動を受けにくく、かつ地域のインフラ能力に応じてオンサイトの構築、高い地元調達率を達成でき、汎用性の高い工法で大量生産にも適している。IDEOL は、ウェイク損失の影響を減らすためにその位置情報を変更することができ、その係留ラインに沿って移動することを可能にする独自のシステムで“モビリティソリューション”を開発した。 				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> • IDEOL は、2015 年に SEM-REV のテストサイトでの設置を予定しており、2MW デモ機を初めて設置することを計画している。欧州委員会の FLOATGEN、フランス政府（ADMEME）から資金提供を受けている。また日本の日立造船と提携している。 • 2017 年 10 月、完成式典が執り行われた。 • 2017 年 12 月、海上曳航前の Saint-Nazaire 港で電気生産試験を完了した。 				

表 7.2-11 ⑨NezzySCD^{39, 48}の概要


プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
NezzySCD	AerodynEngineering			日本
	型式	セミサブ	主原料	コンクリート
	水深	—	係留システム	5 セミトート (タレット)
	タービン軸	水平	ブレード数	2
	実証研究グループ	—	TRL (技術成熟度)	4
	実海域試験 開始時期	2018	商用運転 開始時期	—
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> • Nezzy の浮体は、2 枚羽の超コンパクトドライブ (SCD) タービン技術をサポートするために Aerodyn によって設計されている。浮体は、Y 字型のコンクリート製の浮体ユニットの各脚の終端にプラスチック製円筒形複合ブイで構成されている。コンクリートは安価で、より揮発性が低い材料であるといった利点があることから、さらにスマートな基礎設計を可能とし、その結果全体の CAPEX を削減可能にする。 • タレット係留を採用することにより、風車のヨーシステムなしに、受動的に風車ロータを風に正対させることができる。 				
低コスト化にむけた取り組み				
<ul style="list-style-type: none"> • 単位ロータ面積あたりの質量が非常に小さく、浮体式洋上風力発電の発電コスト低減に有望な技術である。 • ガイワイヤで支持するため、浮体全体が軽量化しやすく、コンクリートで低重心のため、浮体の軽量化に効果がある。 				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> • 「風力発電等技術研究開発／洋上風力発電等技術研究開発／次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究 (要素技術開発)」において、軽量・低コストで、台風への強度も高い浮体式洋上風車の nezzy コンセプトに関連する課題に対して研究開発が行われている (平成 28 年度～平成 29 年度)。研究開発目標は、2030 年時点で、耐用年数 20 年、20 円/kWh の目標に対する実現性を評価することである。 • SCD Nezzy 6.0MW の 1/10 モデルを用いて、広島県倉橋島の沖合で実海域試験が行われている。 				

表 7.2-12 ⑩ VoltturnUS^{39, 49}の概要

プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
VoltturnUS	Deep C Wind Consortium			アメリカ
	型式	セミサブ	主原料	コンクリート
	水深	未公開	係留システム	未公開
	タービン軸	水平	ブレード数	3
	実証研究グループ	—	TRL (技術成熟度)	4
	実海域試験 実施期間	2013-2014	商用運転 開始時期	2020
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> • VoltturnUS は、DeepCWind を通じて、メイン州立大学の高度構造複合材料センターで開発された半潜水型のプラットフォームである。 				
低コスト化にむけた取り組み				
<ul style="list-style-type: none"> • デザインは、高いパフォーマンスと効率性を確保しつつ、システム全体のコストを削減するのに役立つ高度な材料を使用しており、軽量複合タワーに加えて、基礎にコンクリートを使用している。 				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> • 1/8 スケールの 0.02MW プロトタイプ機が 2013 年にメイン湾に設置され、今後メイン州の沖に 26 メガワットのフルスケール機を設置する計画がある。実証プロジェクトのための \$47M の DOE の助成金は逃したが、代わりに開発出来なかった 3 つのプロジェクトのいずれかで既に民間部門の投資により、\$40M を獲得している。2030 年までにメイン州の浮体式風力発電を 5GW 設置することは、長期的な目標の一部になっている。 • University of Maine とそのパートナーは、2013 年にアメリカ大陸で最初にグリッド接続された浮動風力タービンである VoltturnUS 1 : 8、1/8 スケール、65 フィートの高さのプロトタイプのテストを 2013.6~2014.11 まで実施した。 • 2020 商業運転日 (COD) 				

表 7.2-13 ⑪Sway^{39, 44, 50}の概要



プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
Sway	SwayA/S			ノルウェー
	型式	スパー	主原料	スチール
	水深	55-300m	係留システム	1 鋼管
	タービン軸	水平	ブレード数	3
	実証研究グループ	—	TRL (技術成熟度)	4
	実海域試験 実施期間	2011-2014	商用運転 開始時期	—
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> • SWAY は、タワーと一体化した基礎がアンカーに固定され、アンカーは、海底にヨー軸受が装備されていることで、引っ張りやねじれに対しても耐えられる構造となっている（風向きが変化した際にタービンと一緒に旋回）。ダウンウィンド方式風力発電は、タワーの傾斜を可能にし、タワー下部のヨー軸受は、ワイヤを用いて曲げモーメントを低減し、タワーを補強している。 				
低コスト化にむけた取り組み				
<ul style="list-style-type: none"> • 従来のスパーに比べて50%近くまでタワーと基礎のスチールの重さを減らすことが可能である。SWAY の単一のアンカーシステムは、弛係留のコストと比べても60~70%のコストを下げることができ、従来のマルチレグ TLP の設計に比べても1/8~1/10 の把駐力となる。 				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> • SWAY は、2011 年にノルウェー沖に0.15MW のプロトタイプを設置した。 • スケール1:6 のプロトタイプのテストは2014 年終了。 • NREL と NTU との協力による SWAY プロトタイプの実証報告書が2016.6 発行された。 • フルスケールの実証に向けて支援先を探している。 				

表 7.2-14 ⑫Sea Twirl S2^{39, 51}の概要

プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
Sea Twirl S2	Sea Twirl Engineering			スウェーデン
	型式	スパー	主原料	スチール
	水深	>90-120m	係留システム	未公開
	タービン軸	垂直	ブレード数	3
	実証研究グループ	—	TRL (技術成熟度)	4
	実海域試験 実施期間	2015	商用運転 開始時期	2020
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> SeaTwirl は、垂直軸風車が風のエネルギーを受け、トーラスリング（円環面）が、エネルギー出力を安定させる型式である。発電機と係留システムは静止しているが、全体は回転しており、半潜水の浮体が海水と直接触れて回転することで、回転速度調整として回転するベアリングが機能する。 				
低コスト化にむけた取り組み				
<ul style="list-style-type: none"> 低コスト化の目的は重量を下げることであり、例えばギアボックス又は風力発電そのものの重量を下げる事が挙げられる。 				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> 1.5kW のプロトタイプ機が 2014 年にスウェーデン海に設置された。2015 年には、30kW にグレードアップした Sea Twirl S1 が設置され稼働している。 本格的な 1MW の SeaTwirl S2 が 2020 年にリリースされ、納入される予定である。 				

表 7.2-15 ⑬Blue HTLP^{39, 52}の概要

プロジェクト名	浮体の製造者			国名 (設置海域)
Blue HTLP	Business Creation Wind Energy AG			イタリア
	型式	TLP	主原料	スチール
	水深	50-250m	係留システム	3
	タービン軸	水平	ブレード数	3
	実証研究グループ	—	TRL (技術成熟度)	4
	実海域試験 実施期間	2008	商用運転 開始時期	—
本デザインの特徴				
<ul style="list-style-type: none"> • TLP 型は、最小の 3 本の係留索がさまざまな海底条件に対応できる重力式アンカーによって固定された型式である。発電機は、軽重量のプラットフォームの浮体の中央に据付けられ、浮体自体は半潜水型である。その制御と位置の保持を、浮力と係留による張力で行っている。 				
低コスト化にむけた取り組み				
—				
その他				
<ul style="list-style-type: none"> • 初期の 80kW プロトタイプは、2008 年にイタリアの沿岸に設置され、その後構造上の重量を下げるための改良が行われている。 • Business Creation Wind Energy AG は、2012 年 10 月 Blue H Engineering を完全所有した。* • Blue H Engineering 社は、5～7MW クラスの洋上風車の汎用モデルの設計とエンジニアリングを完了している。さらに、Blue H Engineering 社は将来、10 - 12plus MW クラスの浮動基礎システムを計画している。 				

参考文献

- ¹ 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構：着床式洋上風力発電導入ガイドブック（第1版）,NEDO, 2015.
- ² Carbon Trust：Mainstream and DNV GL validate floating offshore wind measurement device as part of Carbon Trust OWA programme.Press 2014（September）,2014.
- ³ Rogers,T.,M.Yong,K.Briggs,G.Randall and H.Hughes：Remote Sensing on Moving Offshore Platforms. EWEA Offshore 2011,Poster No.327,2011.
- ⁴ Pears：SeaZephIR. Seminar Document of Japan Wind Power Association Conference, Fred.Olsen Windcarrier,SeaRoc Group,2014.
- ⁵（一社）日本風力発電協会：浮体式洋上風力発電の洋上施工に関する調査研究 日本海事協会—日本風力発電協会共同研究 概要版,pp.16,2012.
- ⁶ Copppe et al.：Case Study: The Value of Floating LIDAR Technology. During the Different Phases of Offshore Wind Farm Development. EWEA Offshore 2011 EWEA Offshore 2011,Poster No.328,2011.
- ⁷ Boezaart et al.：Implementing Offshore Remote Wind Sensing Technologies including Protocols for the Evaluation, Selection and Validation.EWEA Offshore 2011,Poster No.332,2011.
- ⁸ 山口敦・川竹拓也・荒川洋・石原孟：福島沖における気象・海象観測に関する研究、第39回風力エネルギー利用シンポジウム,pp.229-232,2017.
- ⁹ 若林蘭・川東龍則・山口敦・石原孟：6自由度の動揺を考慮した浮体式ドップラーライダーの計測に関する研究.第36回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集,pp.329-332,2014.
- ¹⁰ 川東龍則・山口敦・石原孟：福島県沖浮体式洋上ウインドファームの気象・海象・浮体動揺の観測について.第36回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集,pp.197-200,2014.
- ¹¹ Atsushi Yamaguchi and Takeshi Ishihara: A new motion compensation algorithm of floating lidar system for the assessment of turbulence intensity, Journal of Physics: Conference Series 753(7), pp.1-8, 2016.
- ¹² 山口敦・石原孟：GPSと慣性センサを利用した浮体動揺観測システムの開発と検証,第37回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集,pp.225-228,2015.
- ¹³ 谷垣三之介：風力よもやま話-教科書に載っていない風の話あれこれ-,一般社団法人日本風力発電協会ホームページ,http://jwpa.jp/activities/info04_02.html
- ¹⁴ IEC 61400-1, Wind turbines - Part 1: Design requirements,2005.
- ¹⁵ IEC 61400-12-1, Wind energy generation systems - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines,2017.
- ¹⁶ 東京電力・東京大学：平成27年度 洋上風況観測システム実証研究（風況観測システム技術の確立）進捗報告.平成27年度 第2回洋上風力発電等技術研究開発委員会資料,2016.
- ¹⁷ 林田宏二・大窪一正・福本幸成：銚子沖における洋上風況観測 その1 ～観測タワーの影響～.日本風工学会年次大会,pp.101-102,2015.
- ¹⁸ 石原孟・山口敦・老川進：モンテカルロシミュレーションとMCP法を用いた混合気候における極値風速の予測.第33回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集,pp.175-178,2011.
- ¹⁹ 石原孟・嶋田健司・今北明彦：福島沖浮体式洋上風力発電所のための気象・海象条件の評価.第35回風力エネルギー利用シンポジウム,pp.256-259,2013.
- ²⁰ 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、日本風力発電協会、芙蓉海洋開発、イーネックス、ウインド・エナジー、ネクストエナジー：洋上風力発電導入のための洋上風況精査に関する調査報告書,pp.359,2007.
- ²¹ 山口敦・石原孟：台風シミュレーションと気象解析を利用した設計風速と階級別風速出現頻度推定手法の提案,第21回風工学シンポジウム,pp.215-220,2010.
- ²² IEC 61400-3, Wind turbines - Part 3：Design requirements for offshore wind turbines, 2009.
- ²³ 公益社団法人 日本船舶海洋工学会：第2部 日本船舶海洋工学会浮体式洋上風力特別検討委員会 水槽実験技術WG 平成26年度報告書,浮体式洋上風力特別検討委員会 最終報告書,2015.
- ²⁴ 青木修一・北村文俊・斉藤昌勝：変動風水洞の建設及び基本特性.船舶技術研究所報告,第32巻,第2号,p.32,1955.
- ²⁵ 海上技術安全研究所 HP: https://www.nmri.go.jp/study/faci/facilities.html#5_hendo
- ²⁶ Ken Haneda, Toshiki Chujo,Kentaroh Kokubun and Shigesuke Ishida：BLADE PITCH CONTROL OF

FLOATING OFFSHORE WIND TURBINE BY A MODERN CONTROL, National Maritime Research Institute of Japan, 2016. BLADE PITCH CONTROL OF FLOATING OFFSHORE WIND TURBINE BY A MODERN CONTROL

- ²⁷ 刈込界・小柳拓也・太田真・中村昭裕・岩崎聡・林義之・本田明弘：浮体式風車のネガティブダンピングに関する風洞試験.第36回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集,297-300,2014.
- ²⁸ 柴田創・鈴木英之・平林紳一郎：浮体式洋上風車で発生するネガティブダンピングに対する波浪条件の影響.風力エネルギー,37(2),27-32,2013.
- ²⁹ 國分健太郎・石田茂資・二村正・吉田茂雄・宇都宮智昭：浮体式洋上風力発電実証事業における小規模試験機の模型実験.日本風力エネルギー学会 論文集 37, (3) ,55-60,2013.
- ³⁰ 鈴木英之：浮体式洋上風力の最新動向とわが国における安全性評価の検討.次世代風力発電システムの創成寄付講座 第2回シンポジウム 洋上風力発電ワークショップ4,主催 東京大学/日本海事協会,pp.64-88,2014.
- ³¹ 今村博：風車空力弾性シミュレーションコード FAST.風力エネルギー,37(1) ,pp.17-19,2013
- ³² 内田行宣：Bladedによる風車設計.風力エネルギー,37(1) ,pp.20-22,2013.
- ³³ 柴田創・鈴木英之・平林紳一郎・石井希実子：浮体式洋上風車の風車浮体連成応答解析プログラム”UTWind”の開発状況と検証.第34回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集,pp.219-222,2012.
- ³⁴ 鈴木英之：風車-浮体-係留系連成応答解析プログラム”UTWind”.風力エネルギー,37(1) ,pp.26-28,2013.
- ³⁵ Utsunomiya,T.,S.Yoshida,H.Ookubo,I.Sato and S.Ishida：Dynamic Analysis of a Floating Offshore Wind Turbine under Extreme Environmental Conditions. Proc.ASME 31st.Int.Conf.Ocean.Offshore & Arctic Eng.,OMAE.2012-83985,2012.
- ³⁶ 宇都宮智昭・佐藤郁・吉田茂雄・飛永育男・大久保寛：環境省 浮体式洋上風力発電実証事業 - その1 小規模試験機の構造設計について-.第34回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集,pp.183-186,2012.
- ³⁷ 宇都宮智昭：スパー型浮体式洋上風車の荷重連成解析.風力エネルギー,37(1) ,pp.29-31,2013.
- ³⁸ 石原孟・張士寧・菊地由佳：数値モデルによる浮体式洋上風力発電システムの動揺予測に関する研究.第37回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集,pp.201-204,2015.
- ³⁹ CarbonTrust: Floating Offshore Wind (2015) :Market and Technology Review,18.
- ⁴⁰ Statoil HP: <https://www.statoil.com/en/what-we-do/hywind-where-the-wind-takes-us.html>
- ⁴¹ 戸田建設 HP: <http://www.toda.co.jp/news/2016/20160415.html>
- ⁴² Principle Power HP: <http://www.principlepowerinc.com/en/key-markets-projects?location=8>
- ⁴³ 福島洋上風力コンソーシアム HP: <http://www.fukushima-forward.jp/index.html>
- ⁴⁴ 4C Offshore HP: [http://www.4coffshore.com/windfarms/gicon-schwimmendes-offshore-fundament--\(sof\)-pilot-germany-de1m.html](http://www.4coffshore.com/windfarms/gicon-schwimmendes-offshore-fundament--(sof)-pilot-germany-de1m.html)
<http://www.4coffshore.com/windfarms/project-dates-for-sway-1-6-prototype-no47.html>
- ⁴⁵ FLOATGEN HP: <http://live.floatgen.eu/en>
- ⁴⁶ ideol HP: https://ideol-offshore.com/sites/default/files/pdf/fu_ti_shi_yang_shang_feng_li_fa_dian_seminanogoan_nei_1107.pdf
- ⁴⁷ JWPA HP: <http://log.jwpa.jp/content/0000289540.html>
- ⁴⁸ スマートエネルギーWeek 2018 HP : <http://d.wsew.jp/ja/Expo/3962170/Products/1295778/Nezzy-SCDMW>
- ⁴⁹ MAINE AQUA VENTUS HP: <http://maineaquaventus.com/index.php/the-project/>
- ⁵⁰ NREL HP: Validation of a FAST Model of the SWAY Prototype Floating Wind Turbine
- ⁵¹ Sea Twirl HP: <https://seatwirl.com/products/seatwirl-s1/>
<https://seatwirl.com/products/seatwirl-s2/>
- ⁵² Blue H Engineering HP: <http://www.bluehengineering.com/>