

着床式洋上風力発電実証研究の現状と今後の展望

東京大学 大学院工学系研究科

石原 孟

1. はじめに

2012年6月12日に国連環境計画とブルームバーグ・ニューエナジーファイナンス社が発行したGlobal Trends in Renewable Energy Investment 2012¹⁾には、2011年の再生可能エネルギーへの投資額は2570億ドル(80円/ドル換算で約20.6兆円)で前年比17%増加という結果が報告された。昨年設置された新規発電設備に占める再生可能エネルギーの割合は44%、中でも風力発電への新規投資は840億ドル(80円/ドル換算で約6.7兆円)に達した。

2011年末に世界の風力発電設備容量は2億3767万kWに達した。これは日本の10電力会社が所有する電力設備容量の2億396万kW(2009年度)を超えている。日本における風力発電の設備容量は2012年初めに250万kWに達し、風車設置数も1832基を超えている。一方、陸上の平野部においては風力発電の適地が減少し、山岳部ではアクセス道路整備などのコスト負担が増加していることから、今後風力発電の導入拡大には長い海岸線を生かした洋上風力発電の導入が期待されている。

欧州では大規模洋上風力発電所が既に建設されており、各種の洋上風力発電設備支持構造物も提案されている²⁾。一方、日本では、欧州に比べ、台風襲来に伴う暴風、高波浪、そして地震などの自然環境条件が厳しく、欧州の事例をそのままわが国に適用することはできない。従って、日本における厳しい自然環境条件に適合し、安全性、信頼性、経済性の優れた洋上風力発電システムの開発は不可欠である。

本稿では、欧州における着床式洋上風力発電の現状を紹介すると共に、わが国の外洋で初めての洋上風況観測システムおよび洋上風力発電システムの実証研究の進捗状況について説明する。

2. 欧州における洋上風力発電の動向

図1には、1993年から2011年までの欧州における洋上風車の、単年度に導入された設備容量と累積の設備容量を示す。欧州10カ国では2011年までに合計1371基の洋上風車が53箇所のウィンドファームに建設され、その累積設備容量は381.3万kWに達している。2000年の単年度に導入された洋上風車の設備容量

は5万kWであるのに対して、2011年は約88万kWに急激に拡大していることが分かる。

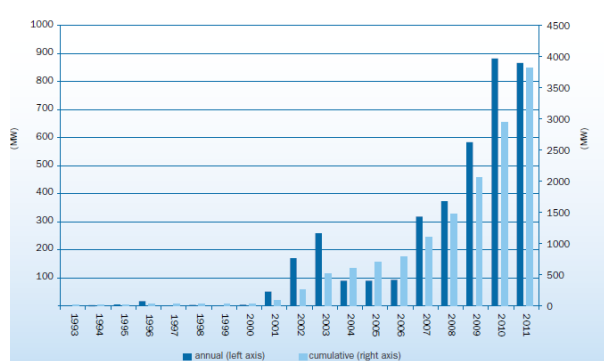


図1 拡大する欧州の洋上風力発電市場³⁾

表1 ウィンドファームの規模と風車規模の推移³⁾

	ウィンドファームの規模(MW)	風車の規模(MW)
2001	25	1.8
2002	166	2.0
2003	65	2.2
2004	30	2.3
2005	91	3.0
2006	46	3.0
2007	80	2.8
2008	69	2.7
2009	60	2.6
2010	155	2.9
2011	199	3.6
建設中	301	3.9
承認案件	343	-
計画案件	555	-

2011年には9つの洋上風力プロジェクトが進行し、それらの設備容量は約500万kWである³⁾。また、欧州における12カ国の承認済みのプロジェクトは1800万kWに達し、その45%はドイツの領海に建設される予定である。表1には、欧州における平均的なウィンドファームの規模と風車の出力の推移を示す。2001年に25MWの規模であったウィンドファームは、2011年には約200MWへと増大していることが分かる。また、洋上風車の平均出力は、2001年の1.8MWから2011年の3.6MWまで大型化している。さらに、着床式基礎に関してはこれまでモノパイル75%、重力

式21%，ジャケット2%，トリパイル2%とモノパイルが圧倒的に多いが、2011年に建設された支持物の中では、モノパイルが69%と減少し、一方、ジャケットは20%，トリパイルは10%に大きく増え、大型風車の増加に対応している。

図2には、洋上風車の建設サイトの水深と離岸距離の関係を示し、発電所の離岸距離および水深が増加していることが分かる。2011年に建設中の風車の平均的な水深は22.8m、離岸距離は23kmである。離岸距離と水深の増加は風車建設のコストを増大させ、この問題を解決するため、風車の大型化が進んでいる。

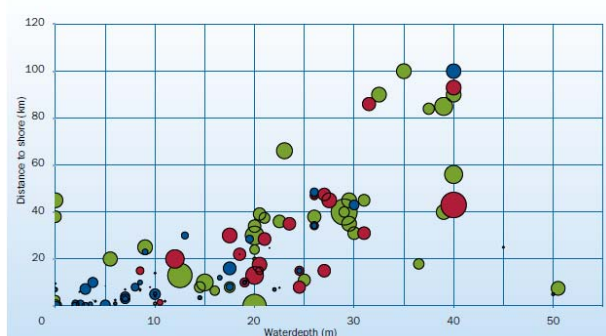


図2 洋上風車の離岸距離と水深の対応³⁾

図3には2010～2011年において各国が新たに開発した洋上風車を国別に示し、欧州が47%と約半分を占めているが、他の半分は中国32%、米国8%、韓国8%、日本5%とアジアや北米の国からなっている。洋上風車の規模は、5MW以上が72%を占め、更なる大型化の傾向を示している。

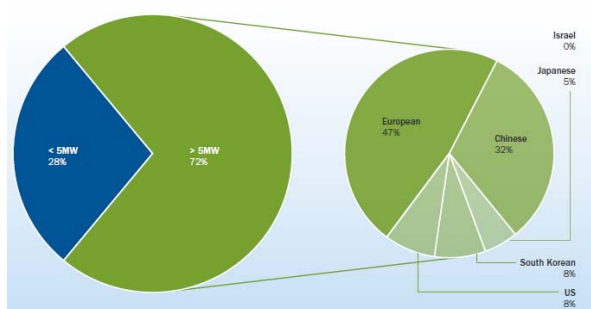


図3 国別開発中の洋上風車とその規模³⁾

洋上風力発電は陸上風力に比べ、建設、送電、メンテナンス等の点でコストが高いという問題がある。この問題を解決するために、風車の大型化が進んでいることが図3からも分かる。風車の大型化によるコストの削減は期待できないが、風車を支える支持構造物のコスト、建設費、送電ケーブルコスト、メンテナンス

費用は風車の大型化によって大きく低減するため、発電単価を低減させることが可能である。

3. 日本における着床式洋上風力発電実証研究

環境省の調査⁴⁾によると、わが国における洋上風力発電の導入可能量は約16億kWと、全国の10電力会社の総電力設備容量2億kWの約8倍であり、洋上風力発電のポテンシャルがいかに高いかが分かる。わが国の再生可能エネルギーの導入拡大を考える上では、洋上風力発電をどこまで活用できるかが成功のカギとなる。一方、わが国は欧州と異なり暴風、高波浪、地震、津波などの自然環境条件が厳しい。

これらの問題を解決するために、NEDOは2009年からわが国の外洋における初めての洋上風況観測システムおよび洋上風力発電システムの実証研究を開始し、2012年度中には北九州市および銚子市の沖合に風況観測タワーおよび洋上風車の実証設備の建設が完了する予定である^{5) 6)}。この研究では、わが国の外洋における気象・海象などの自然環境条件を解明し、暴風・波浪・地震等の外力を受ける時の洋上風力発電システムの挙動を明らかにするとともに、わが国の自然環境条件に適した洋上風力発電システムおよび施工方法を確立することを目指している。

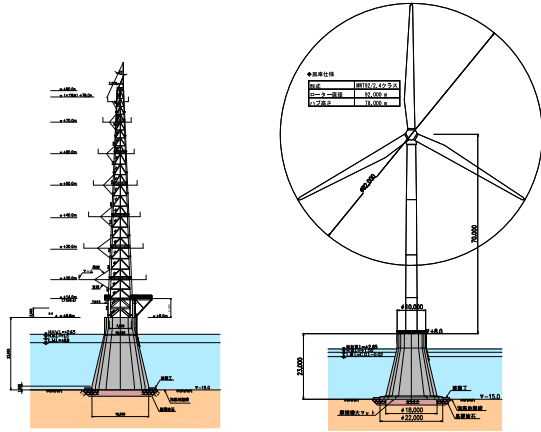
本実証研究では、太平洋側と日本海側の異なった気象・海象条件を明らかにするために、銚子沖と北九州沖においてそれぞれ風況観測タワーと風力発電設備を建設している。銚子沖では、太平洋側からのうねりによる施工への影響、北九州沖では台風に伴う強風と高波浪による洋上風車への影響を調べると共に、日本近海における代表的な気象・海象条件の観測データを取得することにより、今後わが国における洋上風力発電の導入促進に寄与する。

表2 風車、観測タワー基礎の構造諸元⁷⁾

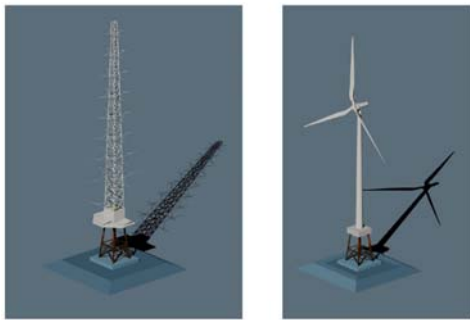
	銚子沖	北九州
風車	発電容量2.4MW ローター直径92m	発電容量2.0MW ローター直径83m
観測タワー	鋼管トラス構造 海面高さ100m	鋼管トラス構造 海面高さ85m
基礎	重力式	重力・ジャケットハイブリッド式

図4にはそれぞれ東京電力チーム（銚子沖）と電源開発チーム（北九州沖）の洋上風況観測タワーと洋上風車の概観を示す。両チームとも、国産2MW級の風車を採用しているが、将来深い水深での立地および風車の大型化に対応可能なように重力式および重力・ジャケットハイブリッド式基礎構造を採用した。銚子沖の観測タワーは、5MW級の大型風車にも対応できる

ように 100m の高さとしている。また両チームとも自立式鋼管トラス構造を採用し、観測タワーの影響を受けないように風向・風速計を設置している。表 2 には風車、観測タワー、基礎の構造諸元を示す。



(a) 東京電力チーム (銚子沖) 5)



(b) 電源開発チーム (北九州沖) 6)

図 4 洋上風況観測タワーと洋上風車の概観

以下に、銚子沖の実証研究を例に、洋上風況観測システム、洋上風力発電システム、環境影響評価を紹介すると共に、洋上施工の最新状況を説明する。

3. 1 洋上風況観測システムの実証研究

洋上風力発電量や洋上風力発電設備に作用する各種荷重を正確に評価するためには、日本近海の気象・海象条件の把握が重要である。日本は欧州と異なり、暴風、高波浪などの自然環境条件が厳しいうえ、太平洋に面している銚子沖地点ではうねりの影響も強く受ける。本実証研究では、日本海側と太平洋側の 2 箇所に洋上風況観測タワーを設置し、日本近海の気象・海象の特性を明らかにすると共に、海上風の予測手法および波浪推算手法の高度化を行う。

(1) 洋上風況観測と海上風の予測手法の高度化

洋上は陸上とは異なり、大気成層の状況が風速の鉛

直分布や乱流強度に大きな影響を与える。また近海では陸上の地形の影響も考慮する必要がある。さらに近年風車の大型化に伴い、風車のブレードの最高点は 200m に達する。洋上風況観測タワーはこれらの要件を満足するように設計する必要がある。

図 5 には洋上観測タワーに設置する観測機器の概要を示す。高さ 30~90m の間の 10m おきに 3 杯風速計を 3 方向に設置する。高さ 95m に配置した風向計のデータを用いて、3 方向のうちタワーの影響の少ない風向風速計のデータを使用する。また高度 40, 60, 80m に超音波風速計を設置し、3 成分の変動風速を計測すると共に、乱流熱フラックスも計測することにより、大気安定度を評価し、洋上風況に及ぼす大気安定度の影響を明らかにする。さらに、観測タワーにドップラーライダーを設置し、200m までの風向・風速を測定し、高高度での風況特性を明らかにする。

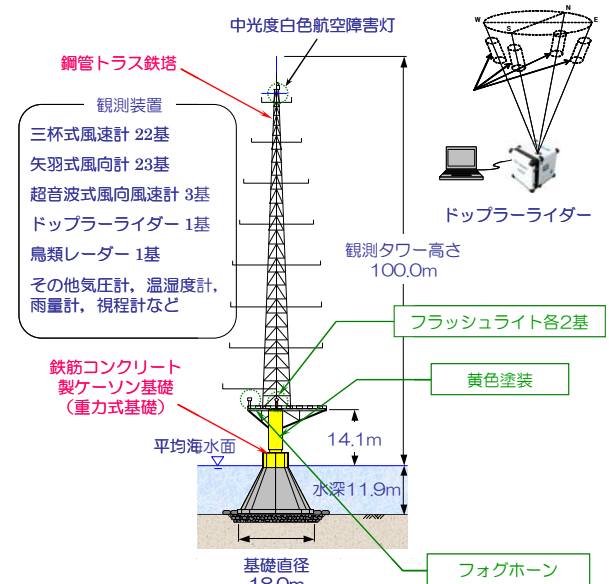


図 5 観測タワーに設置する観測機器の概要

洋上風力発電設備支持物に作用する暴風時の最大風荷重および発電時の疲労荷重を正確に評価するためには、洋上風力発電設備の設置場所での平均風速の出現頻度および年最大風速の非超過確率分布を精度よく求める必要がある。図 6 には、銚子から南に 3.1km 離れた洋上風況観測タワーの設置地点における風速の鉛直分布の一例を示す。南から風が吹く場合には風速の鉛直分布のべき指数は 0.1 であり、典型的な海上風の特徴を示すが、北から風が吹く場合には、風速の鉛直分布は陸の影響を受け、大きく欠損している。陸の影響は風速分布の断面図からもしっかりと確認できる。大規模洋上ウインドファームの開発を考える際には、こ

のような海上風の空間的な変化を考慮する必要があり、海上風の観測技術とともに、海上風予測技術の高度化も必要である。

図7には台風シミュレーション (Monte Carlo Simulation) により求めた実証研究地点における年最大風速の非超過確率の分布を示す。台風シミュレーション手法により求めた極値風速は、観測値をよく再現している。一方、IEC61400-1 に示されている MCP 法 (Measure Correlate Predict) により求めた 50 年再現期待値は、観測値を過小評価していることが分かる。台風シミュレーションによる極値風速の評価手法は現在 IEC に提案している。

今後、洋上風況観測タワーから得られた洋上風況観測データを用いて、わが国近海における洋上風況特性を明らかにするとともに、わが国の近海に適用可能な海上風予測手法の確立を目指す。

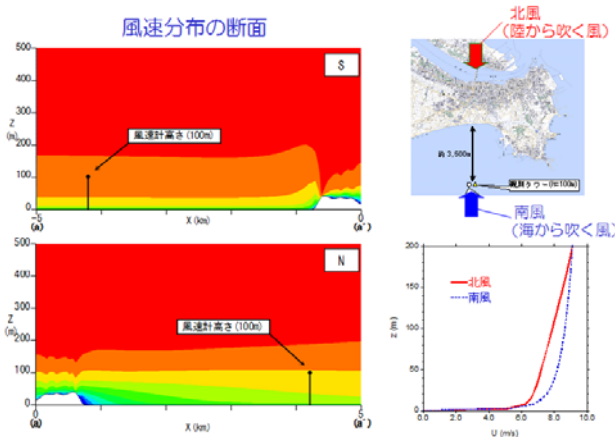


図6 実証研究地点における洋上風速の鉛直分布⁵⁾

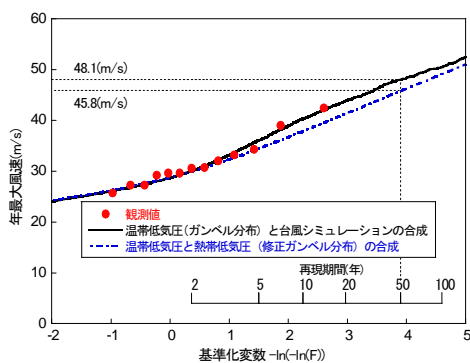


図7 熱帯低気圧と温帯低気圧の非超過確率⁸⁾

(2) 海象観測と波浪推算手法の高度化

わが国の近海は、台風による高波浪に加え、太平洋沿岸ではうねりの影響も受ける。わが国近海の波浪特性を明らかにするために、観測タワーの設置に先立ち、図8に示す超音波式波高計並びに超音波ドップラー式

流向流速分布計を実証研究地点に設置した。波高計により計測した水位変動の時系列データから有義波高、有義波周期等の波の統計量を求めると共に、流向流速計により鉛直方向 1m 毎の東西成分、南北成分の流速の分布の計測を行う。

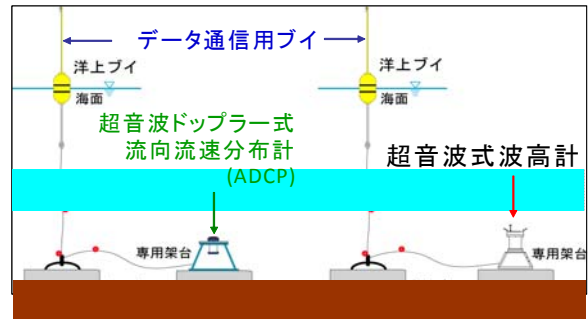
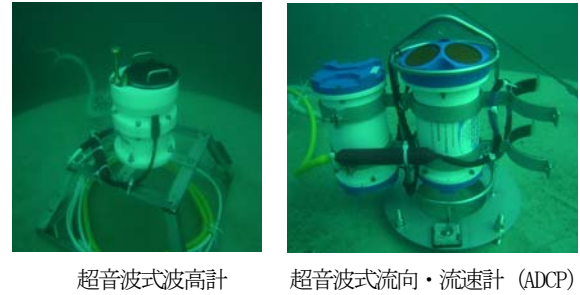


図8 波高・流速の観測機器とその設置状況

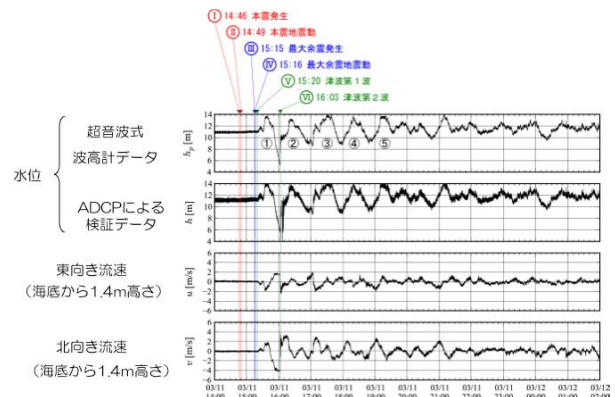


図9 銚子沖の津波の観測結果(2011年3月11日)⁹⁾

図9には2011年3月11日に銚子沖合 3km、水深 11m の地点で超音波式波高計により観測された津波の観測例を示す。図中には圧力換算水深、超音波式波高計により計測された水深、東向流速、北向流速を示す。14時46分に本震が発生し、銚子沖には15時20分に津波の第1波が、16時03分に第2波が襲来する様子が分かる。津波襲来時水位上昇は 2.6m であるのに対し、引き波時の水位低下量は 6m に達し、津波時の大きな水位低下の現象が初めて定量的に捉えられた。こ

これらの観測データは、津波時の波と流れの理解に寄与すると共に、今後、日本近海に建設される洋上風力発電設備支持物の耐波設計にも貢献する。

海上工事を考える上では、海上作業の安全性と定時性の確保が重要であり、そのために、施工稼働率を定量的に評価する必要がある。図 10 には波浪推算と気象シミュレーションにより求めた限界波高別・月別施工稼働率の例を示す。限界波高を 0.7m から 1.3m へと上げる場合には、夏季の施工稼働率が向上するとともに、春季、秋季、冬季の施工稼働率も増える。限界波高、すなわち、作業船の耐波性能は施工稼働率に与える影響が大きいことが分かる。今年 6 月に台風が発生し、その影響で日本沿岸のうねりが高く、施工ができない日が続いた。このようにうねりによる施工への影響を定量的に評価することは、将来、大規模ウィンドファームを建設する際には不可欠である。

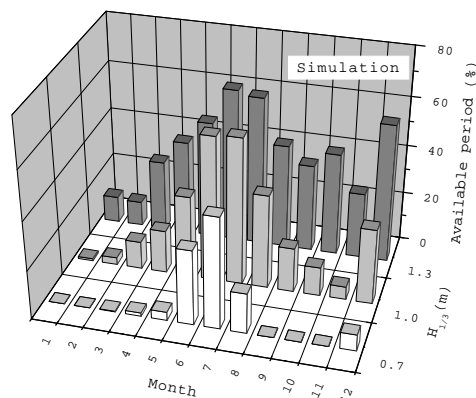


図 10 限界波高別の施工稼働率 10

今後、海象観測から得られたデータを基に日本近海の特有な高波浪やうねり特性を明らかにすると共に、風況観測タワーから得られる風速と一緒に用いることにより、波高・波周期と風速の関係を評価する予定である。

3. 2 洋上風力発電システムの実証研究

3.1 節にも述べたように日本の自然環境条件は欧州と異なり、暴風、高波浪、地震津波などを考慮する必要がある。ここで、本実証研究で開発された洋上風車と支持構造物を紹介すると共に、動解析モデルの高度化について説明する。

(1) 洋上風車の開発

陸上風車とは異なり、洋上風車は、塩分を含む多湿な大気環境下におかれるため、電気部品の絶縁劣化や機械部品の腐食劣化が懸念される。欧州では対策とし

て、ナセルを完全に外部の環境から密閉し、ナセル内の発熱は熱交換機により除去する方式を採用している。この方式は外部からの塩分を遮断することができるが、対策費用が一般に高価である。そこで、本実証研究では、低コストの塩害対策を開発する。ナセルは、欧州と同様にリップシール等により外気の侵入を防ぎながら、ナセルに設けた吸気口にフィルタを設置することにより、水滴及び塩分を除去した清浄な空気を導入し、ナセル内部機器を冷却する。また、発電停止時に備え、ヒータによりナセル内の相対湿度を下げ、結露を防止する。図 11 には今回開発した洋上風車ナセルにおける換気と結露防止システムを示す。また、あわせて洋上での初めての落雷データ収集と翼のエロージョン劣化の現象の遠隔監視調査を行う。

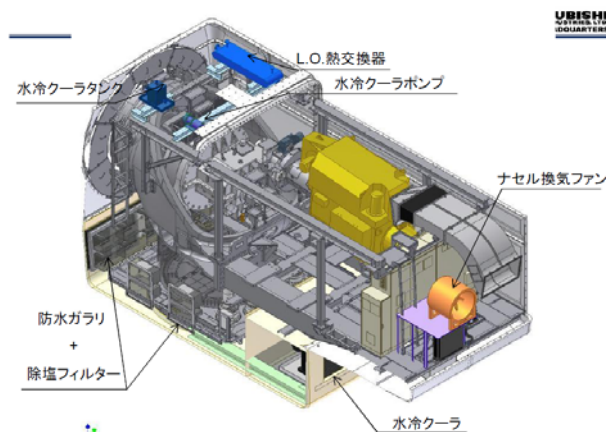


図 11 風車ナセルにおける換気と結露防止システム

(2) 洋上風車支持構造物の開発

欧州とは異なり、わが国では暴風波浪の影響に加え、地震の影響も考慮する必要がある。本実証研究で開発した重力式基礎の形状は三角フラスコ型とし、基礎の上部は波力を低減するために細くし、底面は浪力や地震力に抵抗するため底面積を広くしている。また、運搬の容易さとコンクリート材料低減のために基礎は中空とした。

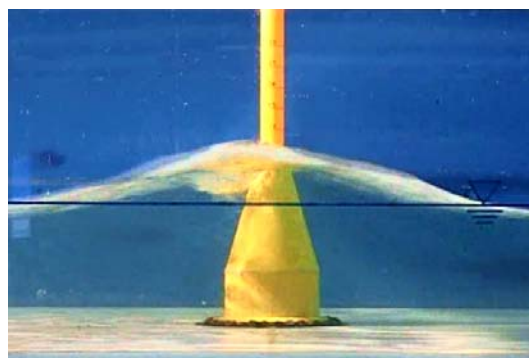


図 12 水理模型実験による砕波の状況

図 12 には、風車基礎に作用する波圧の特性を明らかにするために実施した水理模型実験の状況を示し、水面傍近では砕波している様子が捉えられている。図 13 は水理模型実験により測定された最大モーメント時の波圧分布を示す。平均水面より下の部分に作用する波力はそれほど大きくないが、それより上の部分に作用する波力は砕波の影響を受けて大きい。図中には IEC61400-3 に示されている砕波モデルに求めた波圧分布を併示した。IEC モデルによる計算値は、実験値よりも大きく、安全側の評価になっていることが分かる。本実証研究で開発された重力式の基礎は東日本大震災時に発生した津波による波力に耐え、津波による引き波時にも躯体の安定性が保たれている。

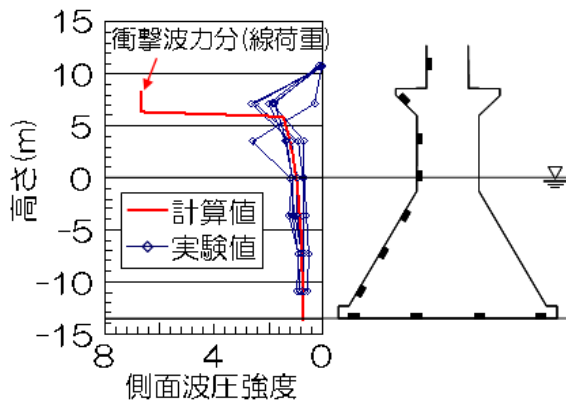


図 13 最大モーメント時の波圧分布

図 14 には風車基礎の 1/5 縮小模型試験体を示し、タワー基部に所定の曲げモーメントおよび軸力を与えることにより、破壊モードおよび耐荷力を調べた。この特性は、FEM 解析により再現され、最大耐力も精度よく推定されている (図 15)。基礎を中空にしたことによる接合部の耐力への影響もほとんど生じていないことが分かる。本基礎では PC 鋼材が使用されている関係で、コンクリートに対する拘束力が増し、結果として接合部におけるアンカーボルトの抜け出しに対する耐力が通常の RC 構造に比べ、約 2 倍増大している。



図 14 基礎の縮小模型試験体

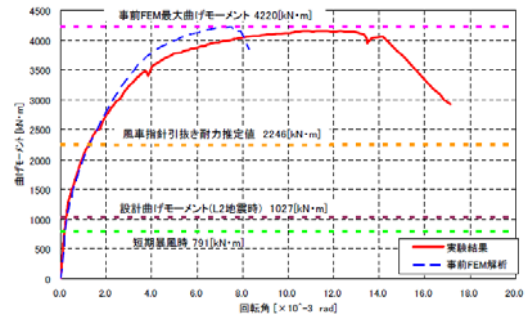


図 15 曲げモーメントと回転角の関係

(3) 動解析モデルの高度化

洋上風力発電システムの設計と維持管理を考える上では、動的解析技術が重要である。風車に作用する動的荷重を解析により求める際の誤差要因の1つとして構造パラメータの不確実性が挙げられ、高精度かつリアルタイムに構造パラメータを推定する手法を確立する必要がある。

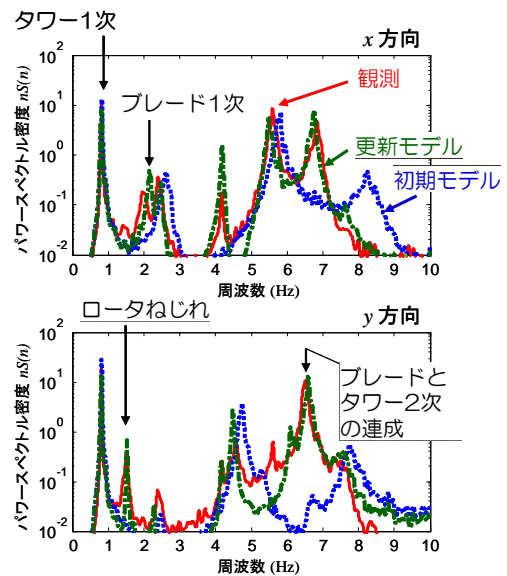


図 16 構造モデルの更新による予測精度の向上

図 16 には SCADA データを利用して同定された構造パラメータを用いた加速度応答の予測例を示す。可動部である低速と高速シャフトを表せるモデルの構造パラメータを同定することにより、高周波のピークを再現できるようになり、加速度応答、風車タワー基部に作用する転倒モーメントの精度が向上する。今後、洋上風車に加振機を設置することにより加振実験から得られた加速度データ等を用いて、洋上風車の構造パラメータの推定手法および動解析モデルの高度化を行うと共に、物理モデルに基づくモニタリング手法を確立する。

3. 3 環境影響評価

洋上風車は陸上風車に比べ、景観や騒音等の環境影響評価に加え、海洋に生息する動植物などの調査と評価を行う必要がある。本実証研究では、環境影響調査は、鳥類、海産哺乳類、漁業生物、底生生物、藻場などの生物調査を実施すると共に、電波障害、水中騒音、海底地形、流向・流速等についての調査を行う。

(1) 鳥類の調査

鳥類の生息と渡り鳥の調査では、船舶トランゼクト調査、定点観察及びレーダー調査の3種の方法で実施している。図17には鳥類調査の範囲を示す。船舶トランゼクト調査では、観測タワーを含む数km四方の海域を設定し、鳥類の生息状況（鳥類の種、個体数）を広域的に把握することにより、実証研究設備の相対的な影響評価を行う。また図18に示すように、海鳥の飛行高度も調べ、風車が海鳥の飛行に与える影響を明らかにする。定点観察調査では、実証研究エリア内に複数箇所を設け、目視観察により出現する鳥類を記録する。レーダー調査では、観測タワーに船舶用レーダーを設置し、半径約3kmの範囲に飛翔する鳥類の個体数を把握する。定点観察と同時に調査することによりレーダー調査の種の同定を行う。建設前調査では、オオミズナギドリ、ウミネコ、スズガモなどが非常に多く生息していることが確認された。

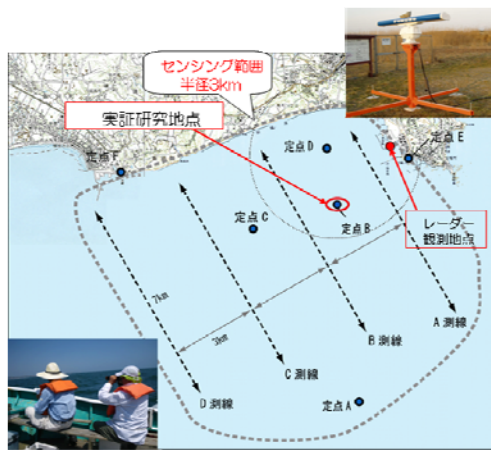


図17 鳥類の調査範囲

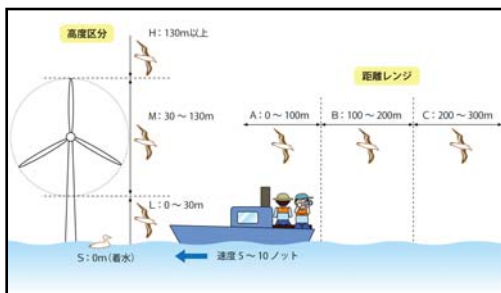


図18 船舶による海鳥のトランゼクト調査

(2) 漁業生物の調査

図19には海生生物の調査範囲を示す。漁業生物の調査(図20)では、周辺で操業されている漁法により、実証研究設備の設置前後における変化を確認し、魚等の遊泳動物への影響を評価する。建設前の調査では、春季、夏季にカタクチイワシ等の魚類が多く出現し、冬季には希少な生物とされているイシカワシラウオが出現していることが分かった。また、海産哺乳類の生息状況の調査では、海域内を船舶で移動しながら、生息状況（種類、出現位置、回数など）を調べ、建設前調査では、夏季にスナメリが多く確認され、その他の季節では全体的に少ない傾向が確認された。

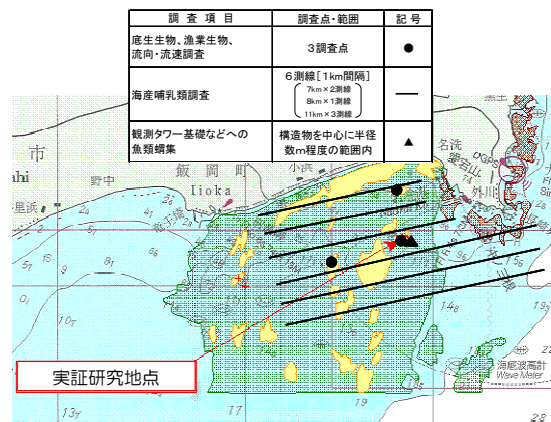


図19 海生生物の調査範囲



図20 漁業生物の調査の一例

実証研究設備建設前の調査は一部の生物調査を除き、実施済みであり、現在建設中の調査を行っている。今後、風車を設置した後は、鳥衝突感知システムを設置し、風車近辺を飛来する鳥類の飛行ルートなどを調査すると共に、実証研究設備建設前の実施した調査結果と比べ、実証研究設備の影響の有無および度合を予測評価する予定である。環境影響評価手法の詳細については参考文献11を参照されたい。

3. 4 海上施工

銚子沖における実証研究は 2011 年に観測タワー、風車および基礎の製作が開始された。東日本大震災の影響を受け、基礎の製作が一時中断されたが、2011 年 8 月には基礎工の製作が再開され、今年の 5 月には風車、観測タワー、基礎の製作が完了した。

図 21 には、風車のナセルの製作状況を示す。ナセルは、まず組立工場に搬入された各種部品を組み立て、ハブ付きナセルを完成させた。ナセルの気密性は、送風機により外気をナセル内へ押し込み気密試験を行い、陸上仕様のナセル開口面積に比べ 99.5% の低減率を達成し、ほぼ完全密閉の状況を実現した。最後に、結露防止のヒータ試験、除塩フィルターの塩分捕集効率試験等のを行い、所定の性能を有することを確認した。



図 21 洋上風車の製作

図 22 には完成した洋上風車基礎と洋上観測タワー基礎を示す。観測タワー基礎は 1300 トンであるため、起重機船のクレーンにより船の甲板に搭載することができるが、重量の重い風車の基礎 (2300 トン) は浮力の助けを借りながら、重機船に横抱きし、設置地点に運搬する必要がある。



図 22 洋上風車 (左) と観測タワー基礎 (右) の製作

図 23 には基礎を設置する海底面の掘削状況を示す。海底面を所定深度まで掘削し、掘削箇所には捨石を投入する。その後、水中バックホウと潜水士により基礎捨

石の高精度に天端を均し、水平高度差 4cm 以内に収めた。海底地盤掘削は 2012 年 3 月に完了し、基礎設置工事の準備を整えた。当初 6 月の初めに観測タワー基礎と風車の基礎を設置する予定であったが、台風の影響で日本沿岸のうねりが高く、施工ができない日が続いた。最終的には 6 月末に起重機船により観測タワーと風車の基礎が鹿島港から曳航され、銚子沖に設置された。現在 SEP (自己昇降式作業台船) を利用した観測タワーと風車の建設を行っている。



図 23 海底地盤の掘削

図 24 には SEP (自己昇降式作業台船) による観測タワーの建設状況を示す。今回洋上風況観測タワーと洋上風車の設置に使われる「SEP くろしお」は縦 48 メートル、横 25 メートルで国内最大であり、4 つのレグが海底にしっかりと固定され、台船部分は最大約 20m 水面上を昇降することができる。今後、洋上風況観測タワーの基礎の上にプラットフォーム、洋上風況観測タワーのブロックの順に取り付け、洋上風況観測タワーの完成時には海面高さ約 100m に達する予定である。すべての海上工事は今年 9 月末に完了し、10 月からの試運転、そして来年 1 月の運転開始を目指している。図 25 には、銚子沖における洋上風況観測システムならびに洋上風力発電の完成予想図を示す。



図 24 SEP による洋上観測タワーの建設状況

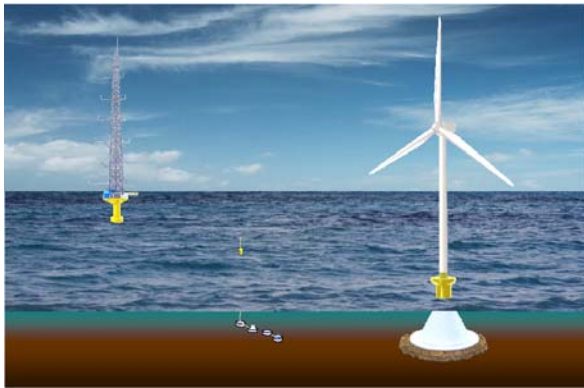


図 25 銚子沖における風況観測タワーと風力発電システムの完成予想図⁵⁾

北九州沖における洋上風況観測システムならびに洋上風力発電システム実証研究の詳細については、文献 12 を参照されたい。北九州沖における洋上風況観測タワーは、今年 7 月に設置が完了され、10 月以降に観測を開始する予定である¹³⁾。

銚子沖および北九州沖における洋上風況観測システムと洋上風力発電システムの建設状況は NEDO のホームページ⁷⁾ で紹介されており、プロジェクトの背景、プロジェクトの概要、海上作業工程、現場レポートをご覧になることができ、また実証研究の進捗状況を知ることができる。

4. まとめ

本稿では、欧州における着床式洋上風力発電の現状を紹介すると共に、わが国の外洋で初めての洋上風況観測システム、洋上風力発電システム実証研究の進捗状況および今後の展望について述べた。実証研究を通じて、わが国近海における気象・海象条件を明らかにすると共に、安全性、信頼性、経済性の優れた洋上風力発電技術が確立されることを期待している。

第 3 章にも述べたように、わが国における洋上風力発電の導入可能量は約 16 億 kW⁴⁾と、全国の 10 電力会社の総電力設備容量 2 億 kW の約 8 倍である。わが国の再生可能エネルギーの導入拡大を考える上では、洋上風力発電をどこまで活用できるかが成功のカギとなり、銚子沖および北九州沖における実証研究は洋上風力発電の導入拡大の起爆剤になることを期待している。

参考文献

- 1) UNEP and Bloomberg new energy finance : Global Trends in Renewable Energy Investment 2012, 2012.

- 2) 石原孟：着床式洋上風力発電技術の現状と課題，風力エネルギー，Vol.34, No.2, pp.78-84, 2010.
- 3) EWEA : The European offshore wind industry key 2011 trends and statistics, 2012.
- 4) 環境省：平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査，2011.
- 5) NEDO 新エネルギー・産業技術総合開発機構：平成 20 年度洋上風力発電実証研究 F/S 調査（銚子），東京電力，東京大学，鹿島建設，2008.
- 6) NEDO 新エネルギー・産業技術総合開発機構：平成 20 年度洋上風力発電実証研究 F/S 調査（北九州），電源開発，2008.
- 7) NEDO：国内初！沖合における洋上風力発電への挑戦，～プロジェクト現場レポート～，<http://www.nedo.go.jp/fuusha/index.html>
- 8) 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，pp.175-178, 2011.
- 9) 福本幸成，助川博之，岩前伸幸，池谷毅：銚子沖で観測された東北地方太平洋沖地震津波の水理データ，土木学会論文集 B2, Vol.68, No.1, pp.1-5. 2012.
- 10) 石原孟，山口敦，ムハマド ワヒード サーワー，老川進：洋上風力発電所建設のための海象・気象条件と施工稼働率の数値予測，風力エネルギー，No.100, pp.7-14, 2012.
- 11) 中尾徹：洋上風力発電等技術研究開発 洋上風況観測システム実証研究 環境影響評価手法の確立，NEDO 自然エネルギー成果報告シンポジウム，2011.
- 12) 藤田岳，鷺尾朝昭，坂本登：北九州市沖における洋上風況観測システムならびに洋上風力発電システム実証研究における支持構造物の設計，電力土木，7月号，pp.66-70, 2012.
- 13) NEDO：国内初の洋上風況観測タワー設置完了，一北九州市沖 洋上風力発電の実現へー，http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100133.html，2012.