

福島県沖浮体式洋上ウィンドファームの 気象・海象・浮体動揺の観測について*

About measurement of a metocean and the floater motion of Fukushima floating offshore wind farm

川東 龍則** 山口 敦** 石原 孟**
Tatsunori KAWAHIGASHI Atsushi YAMAGUCHI Takeshi ISHIHARA

1. はじめに

東日本大震災および福島第一原子力発電所の事故で被災した福島県の復興のために、政府は福島県沖合の海域で世界初の浮体式洋上ウィンドファームの実証研究を開始した。本稿では、第1期工事にあたる世界初の浮体式サブステーションに構築した気象・海象・浮体動揺観測システムを紹介するとともに、福島県沖の気象・海象および浮体動揺の観測結果の一例を報告する。

2. 観測システムの設計方針

浮体式サブステーションおよび2MW風車搭載の浮体式風力発電設備の設置位置を図1に示す。地図上の設置位置は海岸から約20km、水深は約120mである。

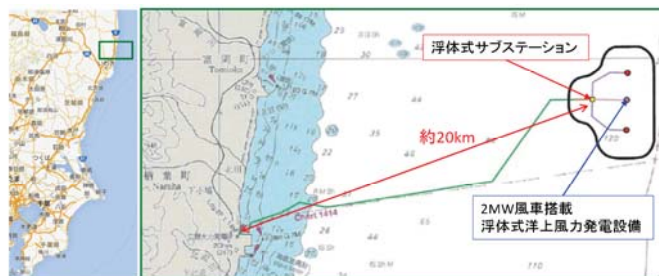


図1 実証研究海域

実証研究海域での気象・海象・浮体動揺の観測は、浮体式洋上風力発電設備の設計建造、および運用に関する技術基盤を確立するために行うものであり、得られた成果は、国際的設計基準の策定などに重要な役割を果たす。従って、浮体式サブステーションの観測システムには「観測データの信頼性確保」と、「欠損無くデータを連続取得すること」が求められた。ここで、浮体式サブステーションが設置されている沖合20kmと陸上とは気象データの相関が小さく、陸上の気象

台で観測されているデータを信頼性確認のために参考にすることはできない。そのため、浮体式サブステーションでは観測データの信頼性を確保するため、1つの観測項目に対して、複数種類の観測機器を配置することとした。複数種類の観測機器を配置することで、データの相互確認を行い、データの信頼性を確保する。また、いずれかの機器に不具合が生じても他の機器で補い、欠損無くデータを連続取得することができる。

浮体式サブステーションに搭載された観測機器の配置と外観を図2に示す。

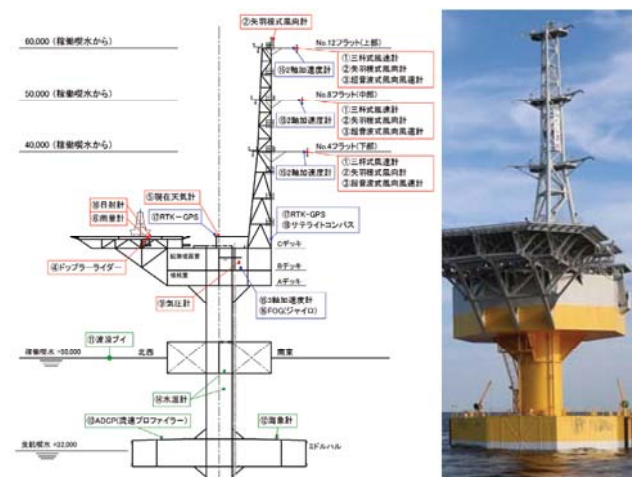


図2 浮体式サブステーション

風況観測については、マスト高度(稼働喫水からの高度)40m、50m、60mの3高度で、計3本のブームを方位角120°間隔で水平に張出し、その先端に三杯式風速計、矢羽根式風向計、超音波式風向風速計を設置している。また、デッキ上にはリモートセンシング技術の1つであり、近年風力発電分野での導入が進みつつあるドップラーライダーを設置している。ドップラーライダーは40mから290mの高度までの風向風速を観測できる。設置した風況観測機器を図3および表1に示す。表1に示すように風速、風向に対してそれぞれ3種類の観測機器による相互確認を行っている。

*平成26年11月28日第36回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

** 会員 東京大学大学院工学系研究科



図3 風況観測機器

表1 風況観測機器の仕様

	観測機器	観測範囲	サンプリング
風速	ドップラーライダー (Leosphere社製 WINDCUBEv2)	0~55m/s	1Hz
	三杯式風速計 (ソニック社製 SOW21-1)	1~60m/s	20Hz
	超音波式風向風速計 (ソニック社製 SAT-600B)	0~60m/s	20Hz
風向	ドップラーライダー	0~360°	1Hz
	矢羽根式風向計 (ソニック社製 SOW24-1)	0~350°	20Hz
	超音波式風向風速計	0~540°	20Hz

また、風況以外の気象観測として、表2に示す観測機器を設置して。

表2 気象観測機器の仕様

	観測機器	観測範囲	サンプリング
天気	現在天気計 (VAISALA社製 PWD12)	—	4/分
雨量	雨量計 (クリマテック社製 CYG-50202)	50mm	1/10分
日射	全天日射計 (クリマテック社製 CHF-LP02)	2000W/m ²	1/10分
温度	温度差計 (ソニック社製 DMT-624)	-50℃~ 200℃	1Hz

観測された風況データは、浮体動揺の影響を受けるため、浮体動揺の影響を高精度に除去し、補正する必要がある。従って、浮体式サブステーションにはマスト高度 40m、50m、60m の 3 高度に 2 軸加速度計、上部構造中央部(B デッキ)に 3 軸加速度計とジャイロ、上部構造上面(C デッキ)に 3 台の RTK-GPS とサテライトコンパスを設置し、浮体動揺を観測している。図4に浮体動揺観測機器を示す。また、浮体動揺観測についても、表3に示すように相互確認を考慮した観測機器

の配置としている。



図4 浮体動揺観測機器

表3 浮体動揺観測機器の仕様

	観測機器	観測範囲	サンプリング
加速度	加速度計 (日本航空電子工業株式会社製 JA-5V)	±19.6 m/s ²	20Hz
	ジャイロ (日本航空電子工業株式会社製 JCS7402-A)	±19.6 m/s ²	20Hz
動揺	ジャイロ	±45°	20Hz
	RTK-GPS (Trimble社製 SPS852)	—	10Hz
	サテライトコンパス (古野電気株式会社製 SC-30)	—	20Hz

海象観測については、ミドルハルに超音波式海象計と流速プロファイラー (ADCP) を設置している。また、観測データの相互確認のため、浮体式サブステーションから約 2km 離れた海域 (2MW 風車搭載の浮体式洋上風力発電設備近傍) に波浪ブイを設置している。海象観測機器を図5および表4に示す。



図5 海象観測機器

表4 海象観測機器の仕様

	観測機器	観測範囲	サンプリング
波高 波周期	超音波式海象計 (ソニック社製 TU-100A)	±15m	2Hz
	波浪ブイ (Datawell社製 DWR-G)	±20m	—
流速 波向	流速プロファイラー (TeledyneRDI Instruments社製 ワークホース ADCP)	±5.0m/s	1Hz

超音波式海象計と流速プロファイラー(ADCP)の設置位置は浮体最下部(ローハル)も候補に挙げられたが、機器のメンテナンスが可能のようにミドルハルに設置した。ミドルハルは曳航喫水まで浮体を浮上させた際には大気中に露出するため、観測機器に直接アクセスしてメンテナンスを行うことができる。

今回の観測システムを構築する過程で検討した「沖合数十 km での洋上観測システム構築に関する注意事項」を以下に示す。洋上での気象・海象・浮体動揺観測の標準化に向けて重要な知見であると考え。

- ・観測データの信頼性を確保するため、1つの観測項目に対して、複数種類の観測機器を設置し、相互確認を行う必要がある。また、複数種類の観測機器を設置することで、いずれかの機器に不具合が生じても他の機器で補い、欠損無くデータを連続取得することができる。
- ・観測機器の設置位置は、メンテナンスの作業性を考慮して決定する必要がある。

3. 観測結果

図6と図7に浮体式サブステーションで観測した1週間(2014年10月5日～11日)の時刻歴データを示す。

図6にはマスト高度40mにおける三杯式風速計、矢羽根式風向計、超音波風向風速計およびドップラーライダーによって観測した10分間の平均水平風速、平均風向を示した。2014年10月6日には台風18号の通過に伴い、10分間平均水平風速34m/sを記録した。なお、各観測機器による観測データの差異は小さく、正常に観測が行われていると判断できる。

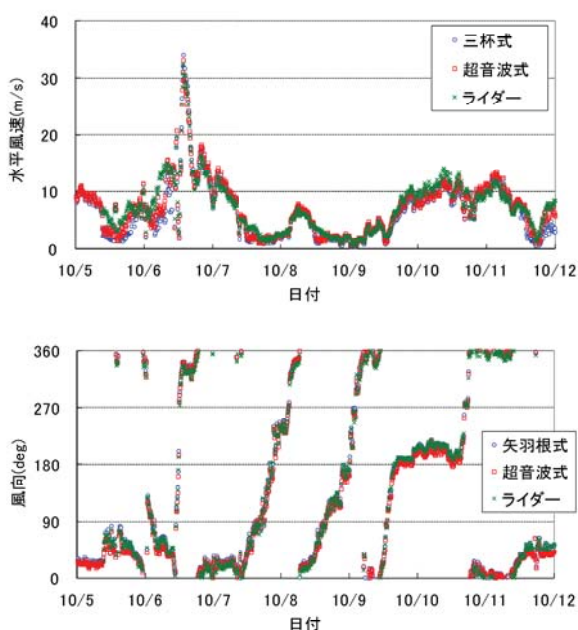


図6 風向・風速の時刻歴データの一例

図7には浮体式サブステーションに設置した超音波式海象計と、浮体式サブステーションから約2km離れた海域(2MW 風車搭載の浮体式洋上風力発電設備近傍)に設置した波浪ブイによって観測した有義波高の10分間平均値を示した。超音波式海象計と波浪ブイの観測結果はよく一致している。

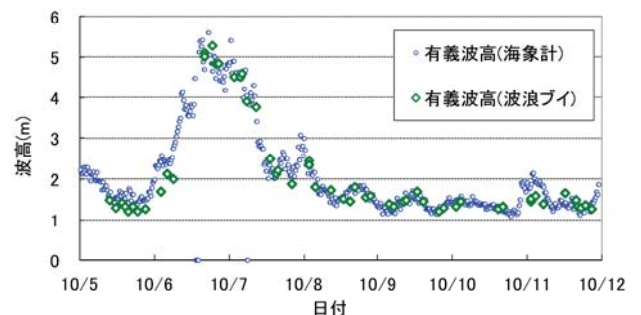


図7 有義波高の時刻歴データの一例

浮体動揺の並進3成分(サージ、スウェイ、ヒープ)と回転3成分(ロール、ピッチ、ヨー)は、「3台のGPSから求める方法」と、「1台のGPSとジャイロ、サテライトコンパスから求める方法」の2種類の方法を用いて求めた。GPSは衛星との通信状況が不安定になると観測データが欠損する。従って、設置した全てのGPS(3台)が欠損無く観測できなかった場合の、バックアップとして「1台のGPSとジャイロ、サテライトコンパスから求める方法」を用いることとした。

「3台のGPSから求める方法」は、未知数である並進3成分と回転3成分、浮体の動揺中心座標(x, y, z)を、9つの観測データ(緯度、経度、高度×3台分)を用いて求める方法である。また、「1台のGPSとジャイロ、サテライトコンパスから求める方法」は以下の通りである。ロールとピッチはジャイロで観測した角速度を積分して求める。ヨーはサテライトコンパスで観測する(ジャイロで観測されるヨー方向の角速度はドリフトするため)。ジャイロとサテライトコンパスから求めた回転3成分と、1台のGPSの観測データ(緯度、経度、高度)から並進3成分を求める。

図8に台風18号通過時の2014年10月6日13:30～13:40(10分間)の浮体動揺の算出結果を示す。「3台のGPSから求める方法」と「1台のGPSとジャイロ、サテライトコンパスから求める方法」の浮体動揺の算出結果は良く一致しており、「1台のGPSとジャイロ、サテライトコンパスから求める方法」がGPSの観測データに欠損があった場合のバックアップとして有効であることを確認した。

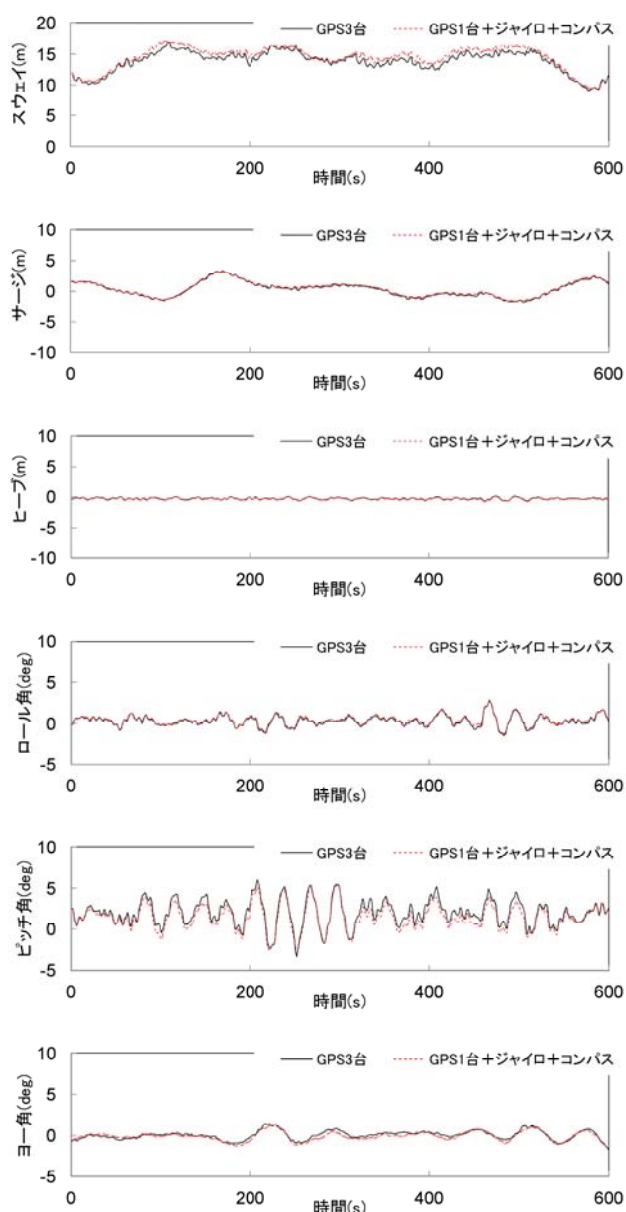


図8 浮体動揺算出結果の一例

4. まとめ

福島県沖浮体式洋上ウィンドファーム実証研究において、世界初の浮体式サブステーションに気象・海象・浮体動揺観測システムを構築した。得られた知見を以下にまとめる。

- ・沖合数十 km での観測システムでは「観測データの信頼性確保」と、「欠損無くデータを連続取得する」ために1つの観測項目に対して、複数種類の観測機器を設置し、相互確認を行う必要がある。
- ・観測機器の設置位置は、維持管理に配慮して決定する必要がある。
- ・浮体動揺は、「3 台の GPS から求める方法」と「1 台の GPS とジャイロ、サテライトコンパスから求める方法」

の2種類の方法を用いて求めた。2種類の方法による算出結果はよく一致しており、GPS が欠損無く観測できなかった場合の、バックアップとして「1 台の GPS とジャイロ、サテライトコンパスから求める方法」が有効であることを確認した。

謝辞

本研究は、経済産業省エネルギー庁の浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業の一環として行ったものです。福島洋上風力コンソーシアムのみなさまに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) ドップラーライダー製品情報(英弘精機株式会社), http://eko.co.jp/windpower/win_products/0321.html, アクセス 2014/10/31
- 2) 風向風速計製品情報(ソニック株式会社), <http://www.u-sonic.co.jp/product/meteorology.html>, アクセス 2014/10/31
- 3) 現在天気計製品情報(VAISALA), <http://www.vaisala.co.jp/jp/products/presentweathersensors/Pages/default.aspx>, アクセス 2014/10/31
- 4) 雨量計、全天日射計製品情報(クリマテック株式会社), <http://www.weather.co.jp/>, アクセス 2014/10/31
- 5) 加速度計、ジャイロ製品情報(日本航空電子株式会社), <https://www.jae.co.jp/product/index.html>, アクセス 2014/10/31
- 6) RTK-GPS 製品情報(Trimble), http://www.trimble.com/construction/heavy-civil/site-positioning-systems/sps852_gnss_modular_receiver.aspx?dtID=overview, アクセス 2014/10/31
- 7) サテライトコンパス製品情報(古野電気株式会社), <http://www.furuno.com/jp/products/compass/SC-30>, アクセス 2014/10/31
- 8) 超音波式海象計製品情報(ソニック株式会社), http://www.u-sonic.co.jp/pdf/033_usw1000.pdf, アクセス 2014/10/31
- 9) 波浪ブイ製品情報(Datawell), <http://ageotec.com/cms/index.php/products/oceanography/wave-meters/82-datawell-directional-waverider-mk-iii>, アクセス 2014/10/31
- 10) 流速プロファイラー製品情報(teledyne rd instruments), <http://www.rdinstruments.com/rio.aspx>, アクセス 2014/10/31