NEDO先導研究プログラムによる
大型風洞設備を用いた浮体式風車ウエイク現象の研究開発

九州大学応用力学研究所／再生可能流体エネルギー研究センター　内田　孝紀

1. はじめに

一般に洋上風力発電の設置方法は，「着床式」と「浮体式」に大別される(図1を参照)．着床式は水深60m未満の海域に適しているとされ，海底に固定した基礎に風車を設置する方式である．モノパイル型およびジャケット型が一般的である．一方，水深60mを超える際には浮体式にコスト優位性があると言われている．浮体式は浮体構造物に風車を設置する方式であり，主にセミサブ型，バージ型，スパー型の3種類に分類される．

今後，国内で導入が期待される浮体式風車では，風と波が同時に作用するため，極端な速度シアーの発生や乱流強度の増大などが懸念される(図2を参照)。よって，浮体式風車特有のウエイク現象とその相互干渉現象を正確に理解するとともに，それらの予測評価技術を早急に開発することが重要である．

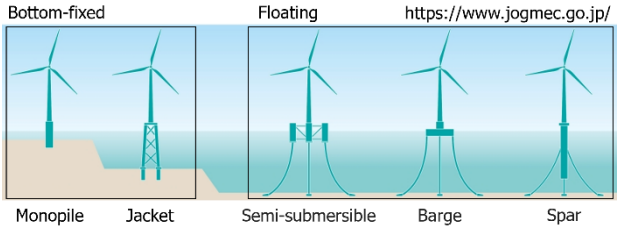

図1　洋上風力発電設備の形式

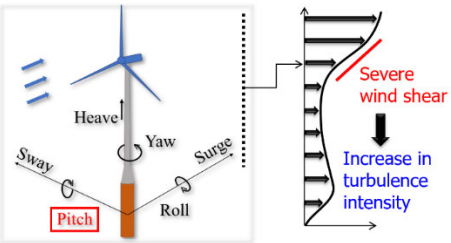

図2　浮体式風車のウエイク研究の着眼点

当研究室，九州大学情報基盤研究開発センター，東芝エネルギーシステムズ(株)，カナデビア(株)，日本精工(株)は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の2023年度「先導研究プログラム／新技術先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム(JPNP14004)」に採択され，「大型風洞設備による浮体式風車ウエイク現象の評価技術の研究開発」を実施中である(2023.5.10～2025.3.31)．大型風洞設備を基礎とした浮体式風車ウエイクの評価手法は世界的にもほとんど例がない．本報では，風洞実験で得られた最新の研究成果を中心に現状を紹介する．

2. 大型風洞設備を用いた風車ウエイク研究の紹介

最初に大型風洞設備の紹介を行う(図3を参照)[1]．

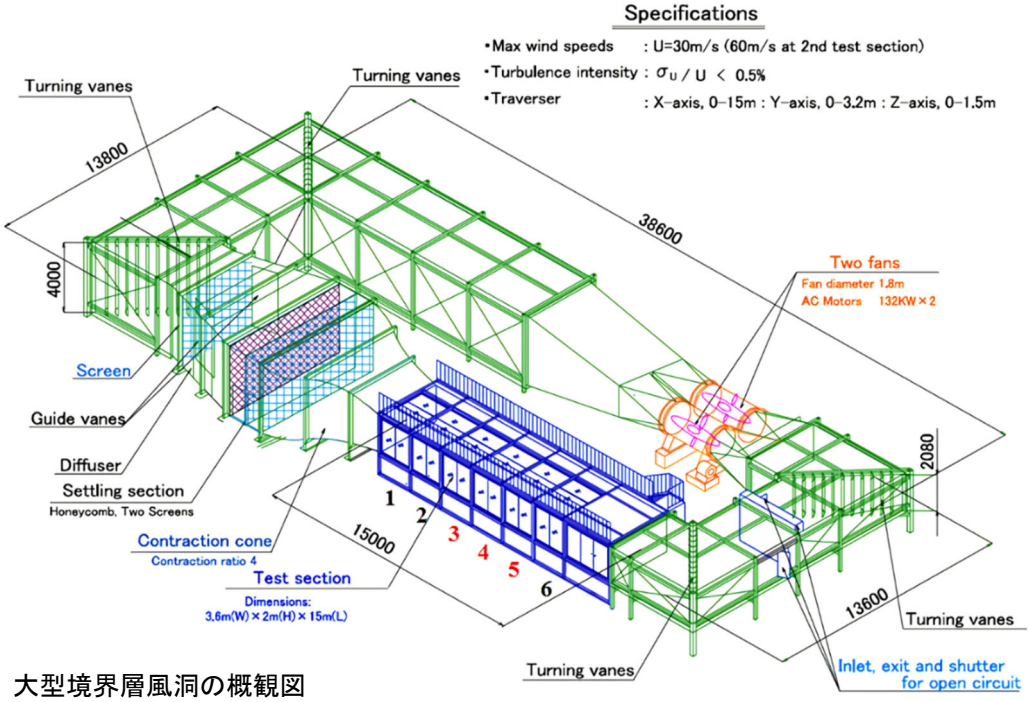

図3　大型境界層風洞の概観図

九州大学応用力学研究所の地球大気動態シミュレーション装置(大型境界層風洞)は，強風災害の防止や地球環境に関する研究に資するため，1998年3月に設置された．本風洞は回流式で2機の送風機で駆動されている．測定胴は縦2.0m，横3.6m，長さ15.0mであり，最大風速は30.0m/sである．さらなる強風が必要な際は，測定胴内に第2の縮流胴・測定胴・拡散胴を設け，1/2に縮流することで60.0m/sの最大風速を得ることが可能である．本風洞は巨大建造物に対する風の影響や高速に運動する車両などの空力特性を調べるための主要な手段となっている．近年では，(陸上/洋上の)風力エネルギーの有効利用に関する研究に活用されている．

2.1 本NEDOプロジェクトで製作した浮体式風車模型

本研究では，15MW級の浮体式風車の精密模型を製作した(図4を参照)．特にピッチ動揺に起因したウエイク特性(流れの非定常性)を解明・評価することを主目的とした風洞実験を実施している．ここでは紙面の都合上，単機の風車模型背後での気流計測結果(主流直交断面:y-z断面)について紹介する(図5を参照)．特に強調しておきたい点は以下の2点である．一つは，5本の熱線流速計を同時利用した複数点の気流計測を行った点である(熱線の間隔:0.05D，Dは風車直径)．具体的には，縦29×横43=計1,247個の気流計測を実施した．もう一つは，上記で取得した時刻が異なる膨大な気流計測データに対し，独自開発したデータ処理手法を適用し，全データを同時刻に計測されたようなデータに補正した点である．本手法の詳細については次節で説明する．

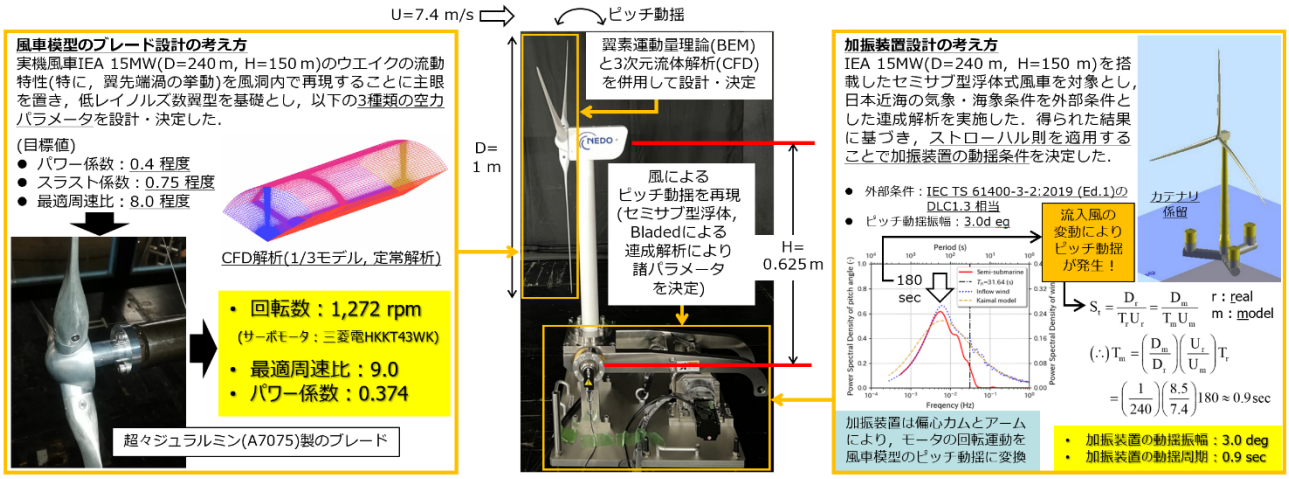

図4 NEDOプロジェクトで製作した浮体式風車模型(15MW級)

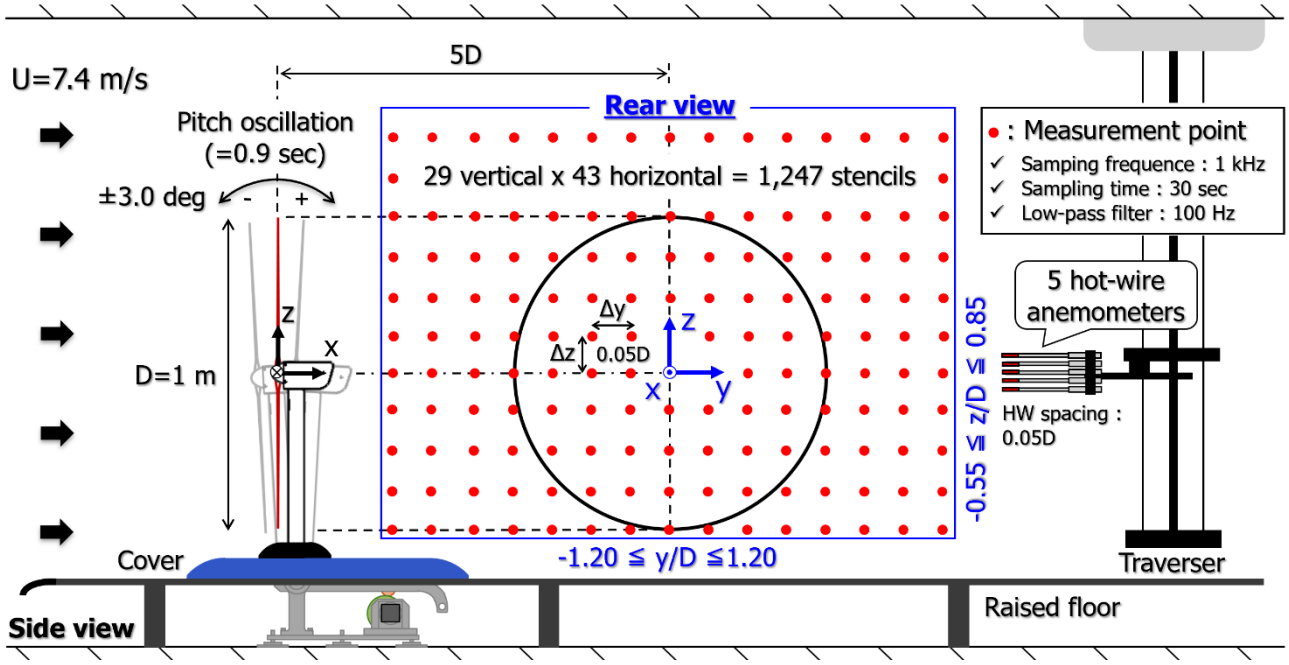

図5 ピッチ動揺に起因した風車ウエイク現象の非定常性解明を目的とした気流計測

2.2 ピッチ動揺に起因した風車ウエイク現象を解明するために独自開発したデータ処理手法

先にも述べたように，本研究では5本の熱線流速計を固定する治具を製作し，これを移動させて膨大な気流計測データを取得した．図6に示すように，計測時刻が異なる膨大な計測データに対し，独自開発したデータ処理手法を適用し，全計測データを同時刻に計測されたようなデータに補正した．事前検討により，風車模型のトルクの時間変化が周期性を有することに着目し，トルク(発電性能)と気流計測を同時収録した．その後，ピッチ動揺の1周期(=0.9sec)に対応する風速の時刻歴波形を複数個抽出し，位相平均を施した．抽出する風速の時刻歴波形の個数は，約20個であれば流れ場は準定常状態であること，すなわち，統計処理の結果に有意な差異が生じないことも事前に確認した．

2.3 ピッチ動揺に起因した風車ウエイク現象の解明

本研究では，高解像度(Δy=Δz=0.05D，Dは風車直径)の気流計測データの取得と，独自開発したデータ分析手法により，ピッチ動揺に起因した風車ウエイク現象の解明に成功した．その結果を図7に示す．図7はピッチ動揺の1周期(=0.9sec)を9分割し，その代表的な時刻

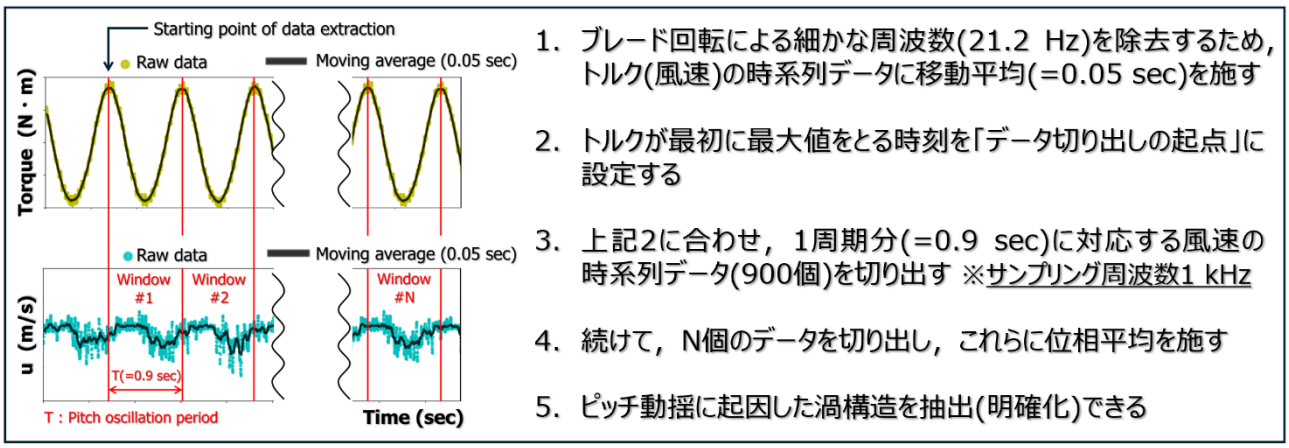

図6 ピッチ動揺に起因した風車ウエイク現象を解明するために独自開発したデータ処理手法

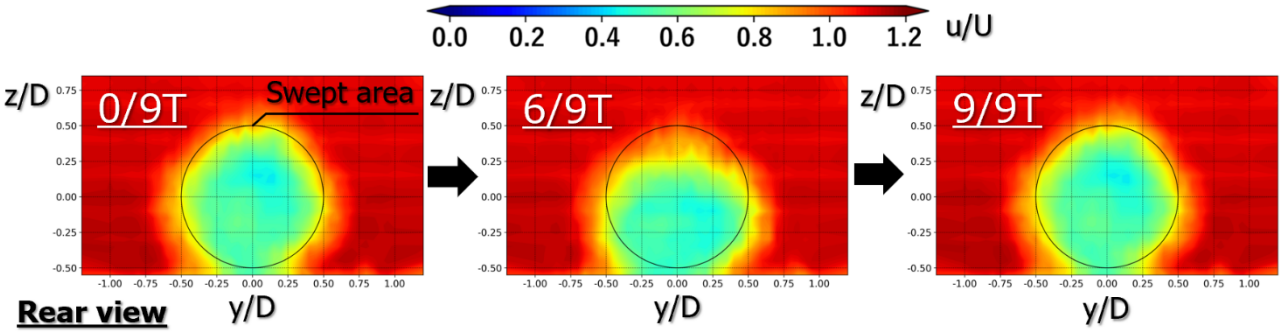

図7 風車模型背後(5D，Dは風車直径)におけるデータ切り出し・位相平均等を施した気流計測データの可視化

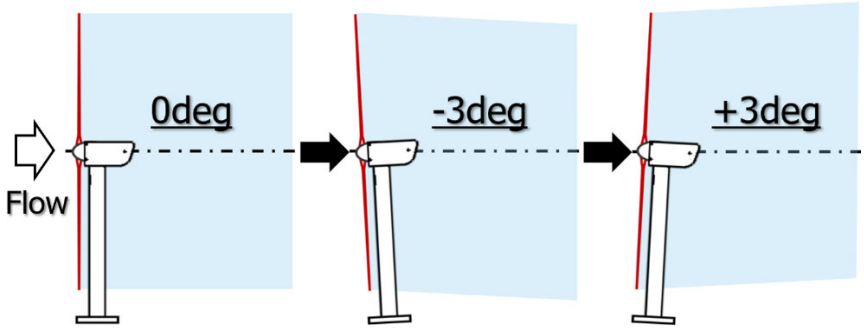

図8 ピッチ動揺に起因して出現するウエイクの鉛直方向蛇行(Vertical meandering)の模式図

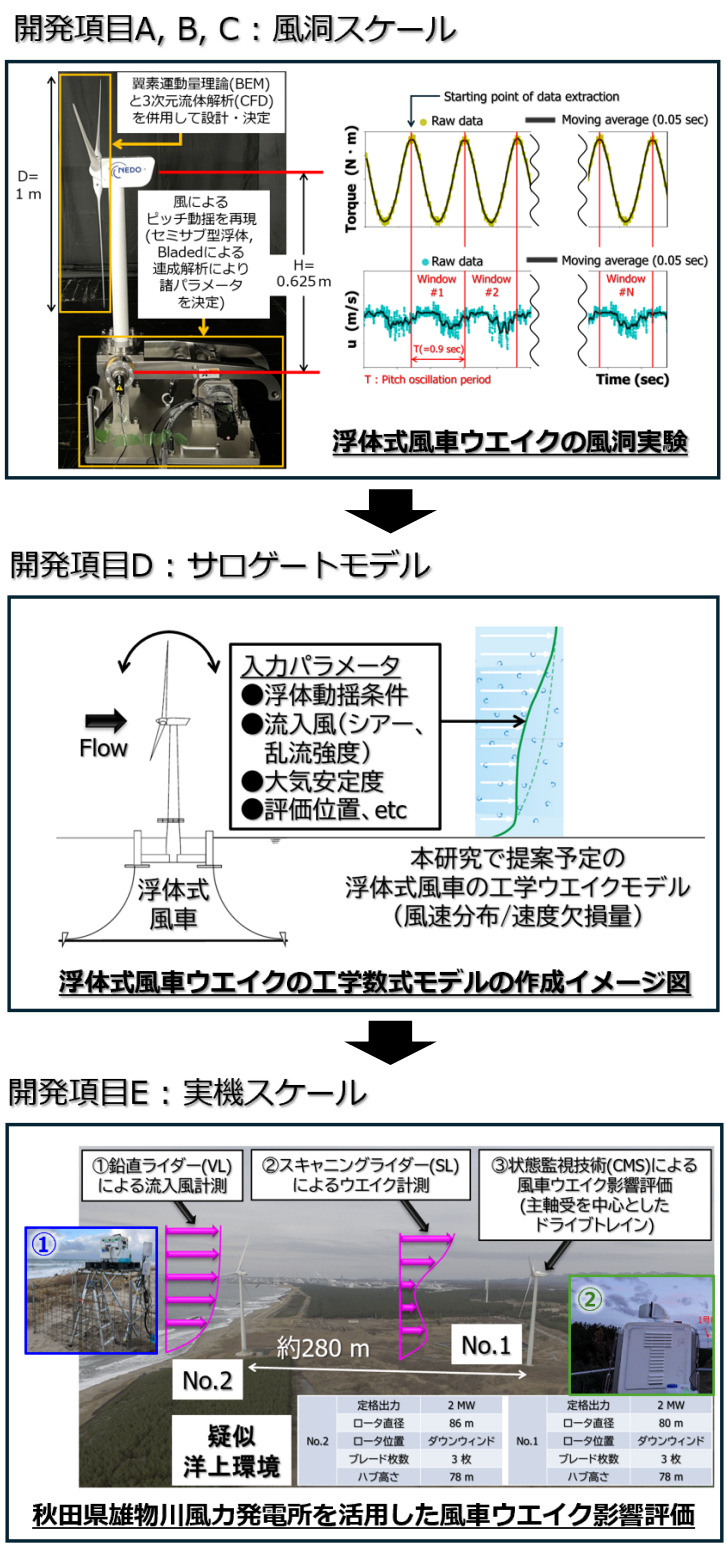

図9 各研究開発項目の連携イメージ

の可視化結果である．時間の経過とともに，ウエイク領域が下方に移動し，最初の位置に戻ってくる様子が見て取れる．アニメーションを作成し，これを注意深く観察すると，風車ウエイク領域が上下方向に周期的に変化する様子が確認された．今回得られた結果から，図8に示すように，ピッチ動揺に起因して風車ウエイクの鉛直方向蛇行(Vertical meandering)が出現していることが明確に示唆された．

3. おわりに

図9に示すように，本NEDOプロジェクトでは，A～Eの各研究開発項目から構成されており，それらは図中に示すように密接に連携している．さらに，本事業は研究開発推進委員会を設置し，各分野の専門家からコメント等を反映しながら進めている．

本研究を遂行することで，大規模浮体式洋上ウィンドファームの技術的課題を順次解決し，その導入拡大に多大な貢献を果たすことが期待される．なお，本研究開発の最新結果は，第46回風力エネルギー利用シンポジウム(2024.11.29,ビジョンセンター新橋)にて5件の口頭発表を予定している．

この成果は，NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託業務（JPNP14004）の結果得られたものである．

図10 第3回研究開発推進委員会後の集合写真(九大風洞にて，2024.2.22)

参考文献

1) 烏谷 隆，大屋 裕二，鵜野 伊津志，辰野 正和，内田 孝紀，深町 信尊，渡辺 公彦，石井 幸治，杉谷 賢一郎，地球大気動態シミュレーション装置の紹介，九州大学応用力学研究所所報，第 120 号(2001)，pp.35-39