



Task54

寒冷地における風力発電

2023年度 第12回 IEA Wind セミナー
プログラム No.8

TASK54の動向

エネルギーシステムとして風力発電量の割合が増えるにつれて、着氷による不確実性がエネルギーバランスを損なう要因となる

寒冷地において安定した電力供給のために

- ・着氷気象の予測
- ・着氷時の電力損失計算の精度向上と
- ・着氷を回避／除去する技術の開発を目指す

IEA Wind Task54会議は、2023年10月26日～27日にカルガリー大学にて開催

#	参加国	機関
1	オーストリア	Energieverkstatt Verein
2	カナダ	Nergica
3	デンマーク	DTU Wind Energy
4	フィンランド	VTT
5	ドイツ	Fraunhofer IFAM (生産・材料) Fraunhofer IEE (エネルギー)
6	ノルウェー	Kjeller Vindteknikk
7	スウェーデン	WindREN Vattenfall
8	スイス	Meteotest
9	イギリス	DNV
10	日本	NEDO、駒井ハルテック
11	アメリカ	コロラド大学

Task54のスケジュール

プロジェクト月->		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
プロジェクト・サブタスク	内容																																						
進捗管理	IEA Exco への報告						x												x													x					x		
	プロジェクト会議	x											x							x																			x
	定例進捗会議						x																																
不確実性の定量化	風車建設前の着氷気象測定の定量化 および 着氷の測定の長期補正																																						
	運転中の着氷による電力損失の定量化																																						
着氷した風車の制御	ブレード加熱システムの性能範囲の測定																																						
	寒冷地風車の制御戦略																																						
安全性と許容性	シンプルなアイスロー参照ツール																																						
	分散型風車の着氷対策																																						
	着氷による風車騒音の影響評価																																						
モデリングとテスト	着氷風洞ラウンドロビンベンチマークテスト																																						
	CFDコードの最適解 CFD内部コード比較																																						
市場やエネルギーシステムへの影響	着氷が市場やシステムに与えるレベルを定義																																						
寒冷地風車に求められる推奨事項	関連する出版物とソフトウェアの収集																																						

サブタスクの進捗状況（不確実性の定量化）

不確実性の定量化

デンマーク（DTU）とフィンランド（VTT）が協力して、不確かな事象を定量化するための研究を継続

- ✓ 着氷の発生条件
- ✓ ブレード上への着氷形成
- ✓ 着氷が与える発電ロス、風車への荷重
- ✓ アイスローの発生条件

着氷時間には多くの不確実性があり、方法の設定が非常に重要であり、方法について検証中

着氷による生産損失を推定するため IceLossMethod（VTT）の感度分析を実施

電力損失の定量化

iceBlade（DTU）は、メソスケールの数値気象予測モデル内で、風力タービンブレード上の氷の付着（成長）と除去（損失）をシミュレート

WRF、MPAS、Harmonie-Arome気象モデルにおけるiceBladeのシミュレーション結果を比較

フィンランドは、推定総発電量を提供する風力発電予測システムを開発中

個別には、風車建設前の風況観測で着氷の可能性を調査し、長期に渡る着氷の可能性を予測し、より精度の高い事業性を算出

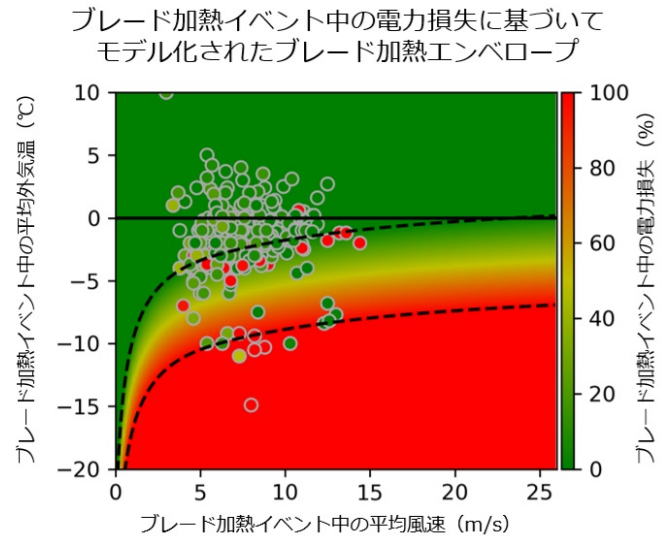
サブタスクの進捗状況（着氷した風車の制御）

ブレード加熱システム

IPS (Ice Protection System) はブレードをヒーターで加熱することにより着氷を防ぐシステム
ここでは性能評価の概念と方法論について議論される

検証のための方法は今後の研究によって、技術的検証や熱画像処理による比較手法を確立させていく必要がある

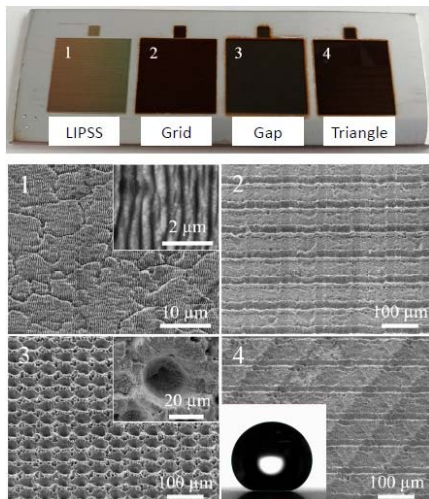
右図はスイスの検証報告より抜粋



サブタスクの進捗状況（ブレード着氷の低減）

ブレード表面加工

オーストリア
NICE - 超短パルスレーザーによる表面のナノ構造化による氷形成の低減



疎水性コーティング

デンマーク
ブレードへの氷の蓄積を避けるためのナノコーティング材料を開発

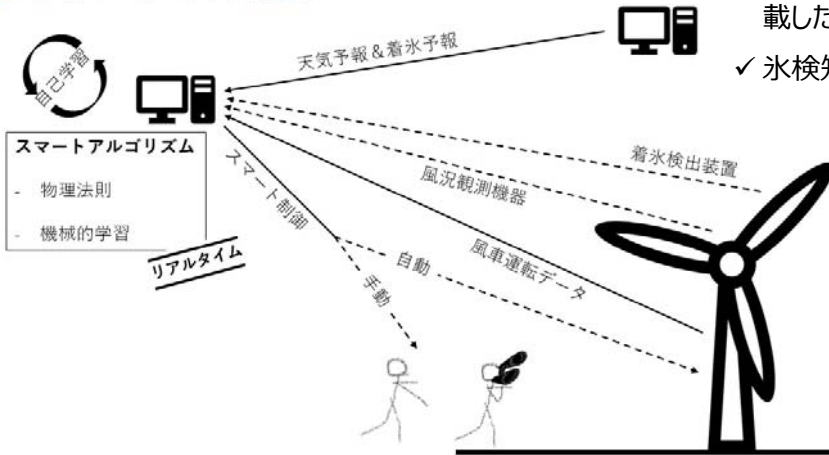


カナダでも事業者による改造氷保護システムと疎水性コーティングのテストを実施

サブタスクの進捗状況（寒冷地風車の制御戦略）

ブレード加熱システム制御（スイス）

IPS リアルタイム制御



IPS: Ice protection system

着氷予測と着氷検知（カナダ）

- ✓ 着氷予測と着氷検知を活用した防氷システムを搭載した風車の最適制御
- ✓ 氷検知システム性能評価

サブタスクの進捗状況（安全性と許容性）

アイススローツール（DTU）

各国による検証

ノルウェーは、フィールド測定データを使用してコードを検証

スイスは、元々ブレードスロー用開発された、より複雑な空力コード、詳細な空力モデルを使用して検証

フィンランドは、氷の成長速度を風洞で測定し、物体の氷が危険なレベルに達するまでにかかる時間を把握

サブタスクの進捗状況（安全性と許容性）

安全性と許容性

ノルウェー

研究プロジェクトSVIV（2023年秋+3年間）
冬季気候における風力発電所の安全な運転

H1 リスクの監視（例：ナセル屋根上のカメラ）

H2 リスク軽減策

H3 着氷予報

H4 サービス担当者のリスク評価のモデリング

H5 コミュニケーションとリスク管理

H6 国際連携タスク54参加

IEC 61400-31 ed.1

2023年11月にed.1として発行されました
風力発電サイトのリスク評価ガイドラインを示します

この文書は、技術的故障、人的ミス、極端な風況、**着氷**、落雷、地震、洪水、地滑り、火災などの内部または外部の原因によるリスクをカバーしていますが、水平軸と垂直軸を備えた陸上風力タービンのみが対象



PT 61400-31

Wind energy generation systems - Part 31: Siting Risk Assessment

The Technical Specification will lay out the process and methods for the creation of a turbine siting risk assessment and will address:

サブタスクの進捗状況（モデリングとテスト）

着氷風洞ラウンドロビンベンチマークテスト

測定方法や測定装置の信頼性を検証するために、複数の試験機関に同一試料を回して測定を行う。



ドイツの着氷風洞施設

→試験計画についてはDTUを中心に調整中

→将来的には、大規模な実験的検証キャンペーンを実施する可能性あり



デンマークの着氷風洞施設

サブタスクの進捗状況（モデリングとテスト）

CFD比較

WISE (性能評価付き風車着氷シミュレーションコード)

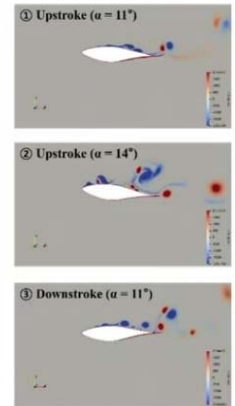
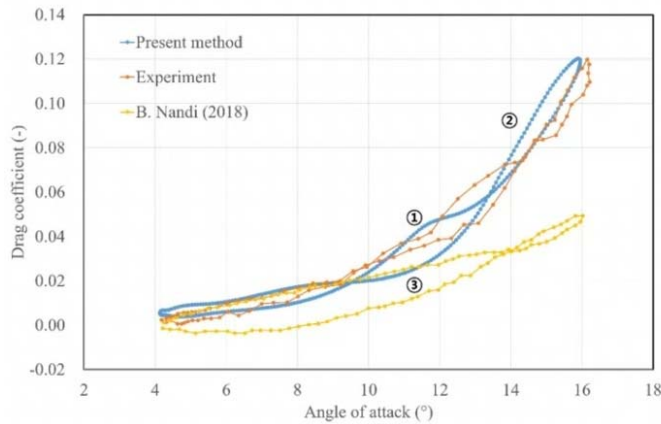
- オープンソース CFD コードベース (OpenFOAM)、氷の形状およびパフォーマンス予測コード

- 着氷コードの一般的な構成に従います: (1) 空気力学、(2) 液滴場、(3) 熱力学、(4) 氷の成長

- 進行中の研究: 着氷の粗さ等

CFDツールにはほぼすべての側面で違いがあるため、実際の測定結果との比較を行う

→結果は次期に続く予定



サブタスクの進捗状況（市場への影響）

着氷が市場に与える影響

着氷対策費用と着氷による損失は相反するので、バランス調整が必要

予測に重点を置き、解決策を提案

・ ICEクラスに名前を追加

IEA Ice Class	着氷気候名称	年間の気象学的着氷率[%]	着氷による年間発電量損失[%]
5	Severe	>10	>20
4	Heavy	5-10	10-25
3	Moderate	3-5	3-12
2	Light	0.5-3	0.5-5
1	Minor	0-0.5	0-0.5

着氷がシステムに与える影響

着氷が影響を与える事象ごとにさまざまなレベルを定義を行う

- ✓ 風力資源、着氷イベントによる着氷予測
- ✓ 予測の不確実性
- ✓ リアルタイムの風車応答の複雑さ
- ✓ 風車制御戦略
- ✓ ブレード加熱システム性能
- ✓ 運転可能条件の範囲
- ✓ 風力発電所が与える地域への影響レベル

日本の取り組み（寒冷地風車の制御戦略）

寒冷地風車開発の経緯

- 2011年 インフラ・システム輸出促進調査等委託事業として、独立系統地域における風力発電を利用したスマートマイクログリッドシステムの導入可能性を調査
- 2016年 国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業として、独立電力系統地域における寒冷地気候に対応した風力発電システムを実証
- 2017年 エネルギーの消費効率化等に資する我が国技術の国際実証事業として、風力発電システムを含むエネルギーインフラ実証事業可能性を調査
- 2021年 エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業として、風力発電システムを含むエネルギーインフラ実証事業を実施
- 2022年 IEA Wind Task54開始

寒冷地仕様風車の設計は、IEC61400-1第4版附属書L（委員会草案：2014年）およびGLテクニカルノート「寒冷地における極度の温度に対する風力タービンの認証 Rev.4（2013年）」を参照して開発された

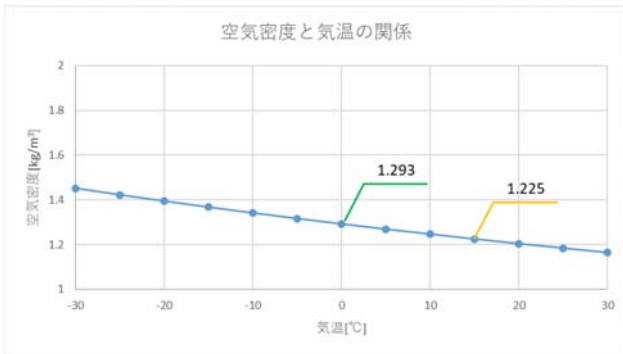
日本の取り組み（寒冷地風車の仕様比較）

項目	標準仕様	寒冷地仕様	極寒冷地仕様	
設計条件（外気温）	15℃	0℃		
風速条件	カットイン	3.0m/s		
	カットアウト	25m/s	22m/s	
停止時ピッチ角	88°		85°	
温度仕様	運転温度	-15℃～+45℃	-30℃～+30℃	
	停止温度	-20℃～+55℃	-40℃～+40℃	
低温時出力制御	なし	-15℃以下	-30℃以下	
センサー	風向風速計	風速計：カップ式×2 風向計：矢羽根式×2	超音波風向風速計の併用	
	気象センサー	なし	温湿度計、感雨計	温湿度計、感雨計
	着氷センサー	なし	あり（着氷予測）	あり（着氷検出）
材料	タワー	-20℃ (Charpy=27J)	-40℃ (Charpy=27J)	-50℃ (Charpy=27J)
	ブレード	普通コーティング	着氷防止コーティング	
ヒーティング	なし	FANヒータ 低温停止時のヒータON/OFFの切替え可能	FANヒータ 低温時は常にON	
断熱材（ナセルカバー）	なし	5cm	8cm	
その他	---	---	非常用発電機 (電源喪失時対策)	

日本の取り組み（寒冷地風車の設計）

風車設計要件（荷重）

- 風車に作用する風荷重は、温度で変化する空気密度に依存する



風車設計要件（温度）

- 風車に使用する機械部品のほとんどの温度保証は -30°C であるため、機器の保護のため室内にヒーターや断熱材を設置（図は冷凍庫試験の様子）



15

日本の取り組み（寒冷地風車の気象観測）

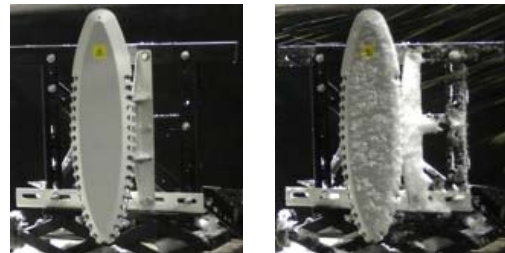
気象観測機器

- カップ式や矢羽根式の風況観測機器は凍結する可能性があるため、超音波風速計を使用
- 積雪と風速の関係を確認した（図は着氷風洞試験の様子）



着氷検出機器

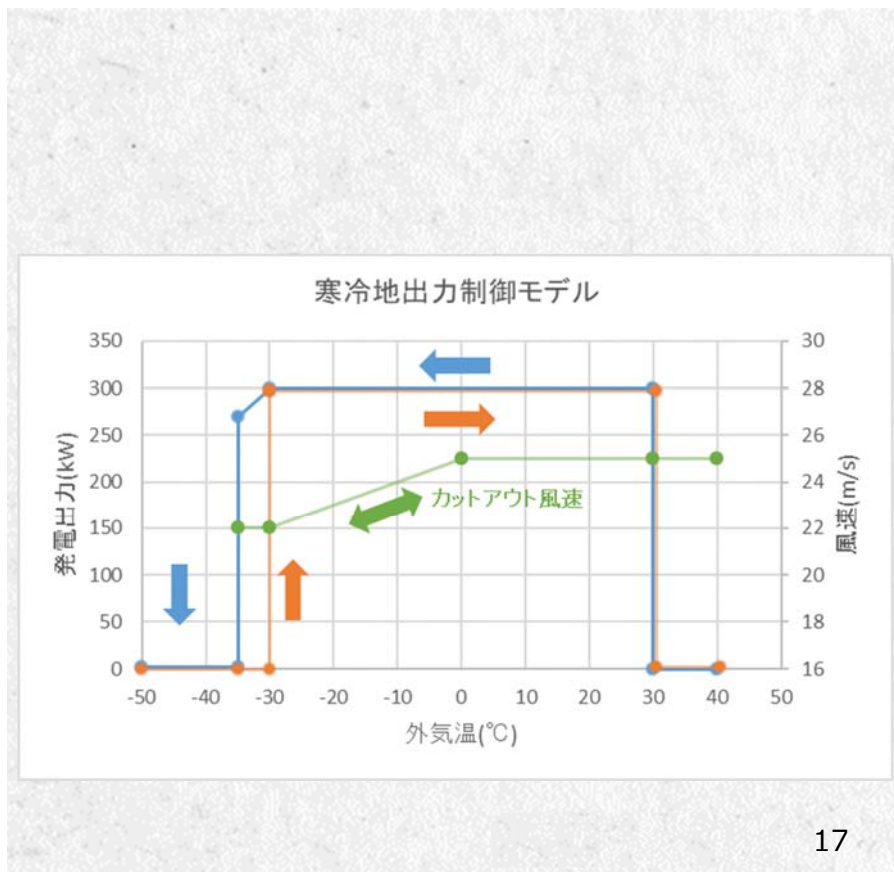
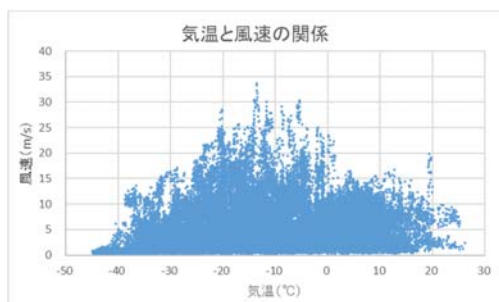
- 着氷の可能性を判断するための気象観測機器として、温湿度計や感雨計を追加
- 着氷センサーを追加し、着氷環境を判断（図は着氷風洞試験の様子）



16

日本の取り組み (寒冷地風車の 運転制御)

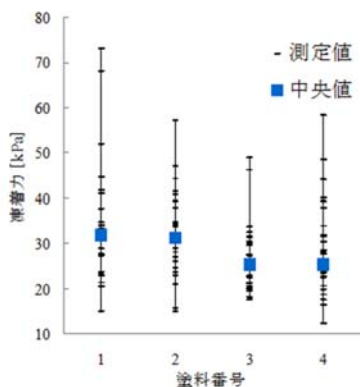
風車の荷重設計計算は、気温0℃を基準として計算されているが、0℃以下で風車を運転する場合、カットアウト風速の判定基準を下げることで、風車にかかる荷重を低減する。また、-30℃を下回る環境では、定格出力を下げることで風車荷重を低減する



日本の取り組み (ブレード塗料試験)

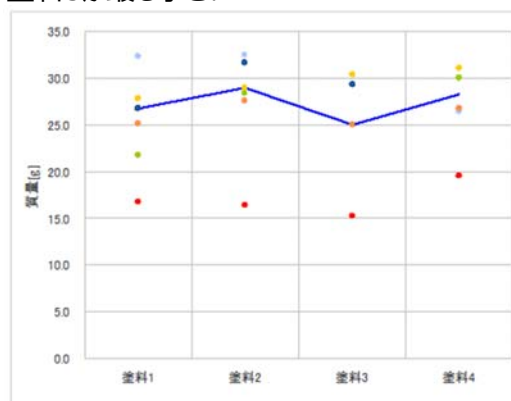
親水性試験

- 予め選定した4種の塗料より、親水性および撥水性の試験を実施
- 凍着力は、付着力試験装置で計測したせん断応力
- 塗料3、4が塗料1、2に比して20%低い



撥水性試験

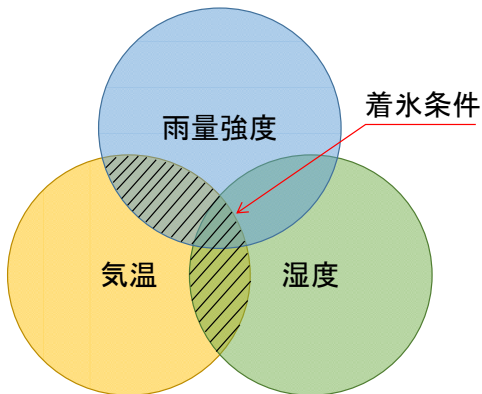
- 縦軸は試験体に付着した氷の質量。着氷質量は、塗料3が最も小さい



日本の取り組み（寒冷地風車の着氷対策）

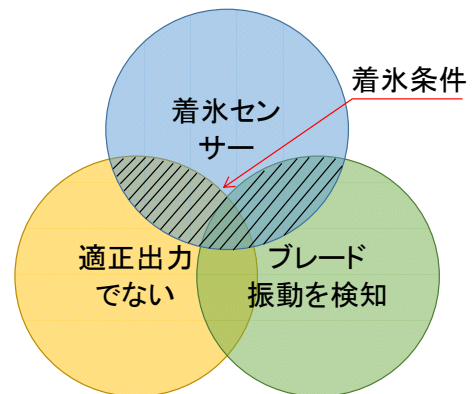
着氷予測

- 温湿度計と感雨計を用いて、着氷環境を判断し、運転を停止する



着氷検出

- 着氷センサーと風速に対する発電出力値およびナセル内の加速度計で運転状況を判断する



19

今後の予定

- ◆ Winterwind 2024.3 Sweden
- ◆ WindEurope 2024.3 Spain
- ◆ IWAIIS 2024.6 Norway

より一般的な会議で寒冷気候に関する一般的なプレゼンテーションを計画

- Wesc in 2025 France
- WindEurope 2025 Denmark

2024年6月の総会で、成果物を共有する方法についての計画を発表



20



**ありがとう
ございました**

株式会社駒井ハルテック