

最新版リアムコンパクトソフトウェアの紹介と将来展望

九州応用力学研究所

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

RIAM-COMPACT(以後、リアムコンパクトと称する)は、著者により開発された完全in-houseの純国産ソフトウェアである。2006年10月から受託解析サービスとソフトウェア販売が開始された。現在では国内風力業界における標準ソフトウェアの一つとして、CFD初心者からエキスパートユーザーまで幅広く活用されている。特に、直感的でユーザーフレンドリーな操作性には高い評価を得ている。非定常な風況場(瞬間場)とそれに基づいた時間平均場により、①ウィンドファーム全体の経済性(AEP, CF), ②ウィンドファーム内の各々の風車周辺に発生する地形性乱流や風車ウエイクに起因したウィンドリスクを

評価するため、風況解析ソルバーには非定常乱流モデルLESを採用している。LESに基づいた数値風況診断モデルの開発こそが、我々の「こだわり」である¹⁾。

本報では、リアムコンパクトを構成している、①前処理ソフトウェアとしてのRC-Elevgen, ②風況解析ソルバーとしてのRC-Solver, ③後処理ソフトウェアとしてのRC-Scopeの主な特長と、リアムコンパクトの将来展望を述べる。

2. 前処理ソフトウェア:RC-Elevgen

図1に主な特長を示す。リアムコンパクトでは16方位の計算を前提としており、16方位ごとのメッシュデータ等の

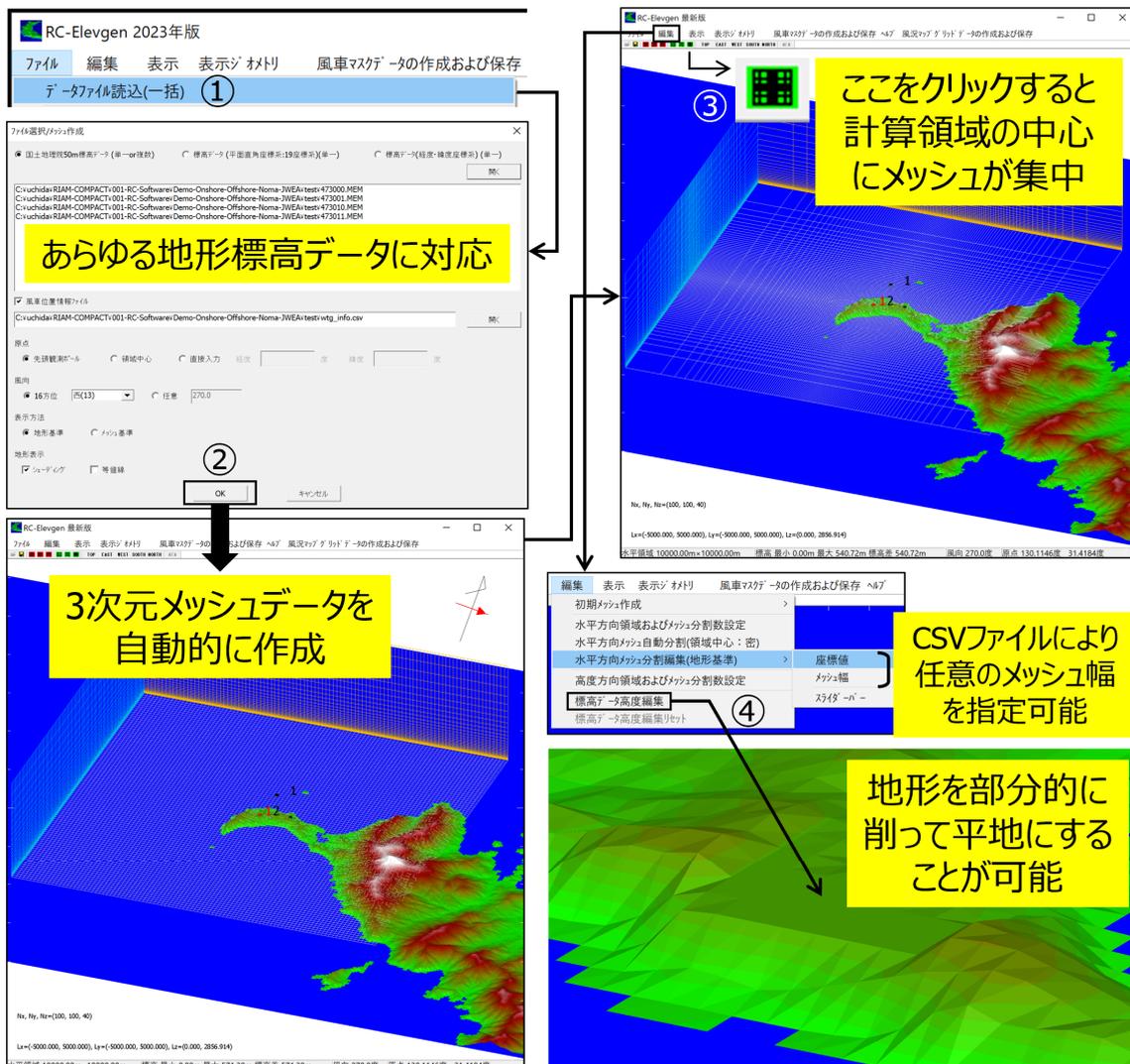


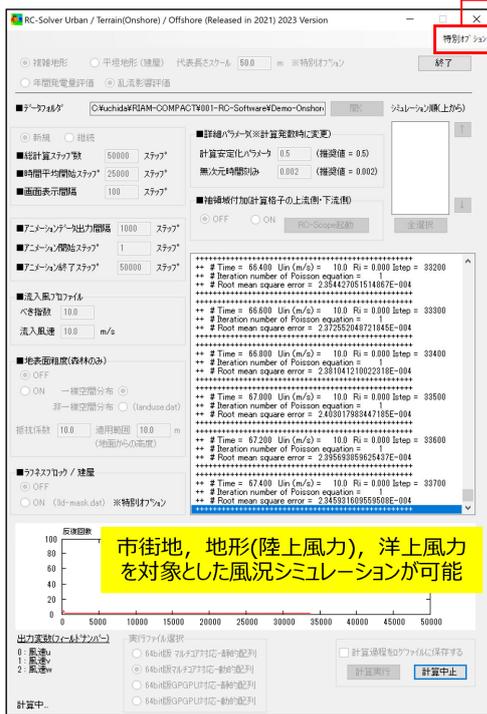
図1 前処理ソフトウェア:RC-Elevgen

必要なファイルがすべて自動的に保存される。また、細かい点ではあるが、ユーザーがファイル名を入力(指定)する場面はほとんどなく、重要ファイルはソルバーや後処理でそのまま一貫して利用できるように設計されている。また、任意の風向を対象とした計算に対応するため、0.5度おきでメッシュデータを回転することも可能である。

3. 風況解析ソルバー:RC-Solver

図2に示すように、RC-SolverではRC-Elevgenで作成

された計算メッシュデータや、その他の各種パラメータなどを設定して計算を実行する。図2に示す画面で、ジョブ管理(単一および複数計算やその順番)も可能である。リアムコンパクトでは、従来から非定常乱流モデルLESを採用したことによる計算時間の増大が懸念されてきたが、きめ細やかなチューニングにより、マルチCPU環境における実務利用はそれほど大きな問題にはならなかった。さらに近年では、Windows CUDA / Linux OpenACCによるGPU計算にも対応し、計算時間を劇的



- **ここで**有償オプションの大気安定度やCFD Porous Disk Wakeモデルは選択
- 計算に必要なパラメータ設定や、ジョブ管理(単一および複数計算やその順番)がこの画面のみですべて終了
- Windows CUDA / Linux OpenACCによるGPU計算に成功

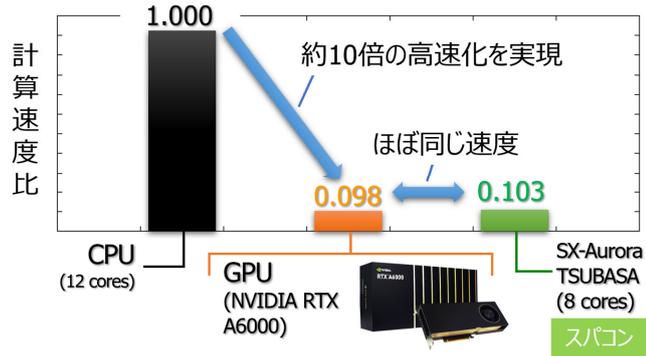


図2 風況解析ソルバー:RC-Solver

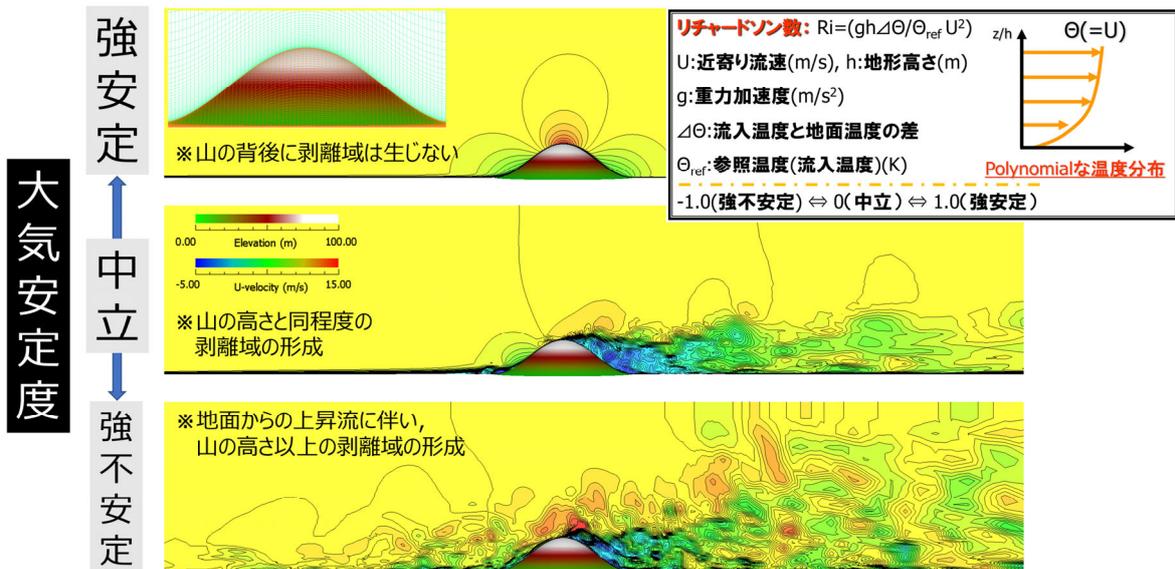


図3 大気安定度を考慮することで出現する流れパターンの劇的な変化, 孤立地形の場合

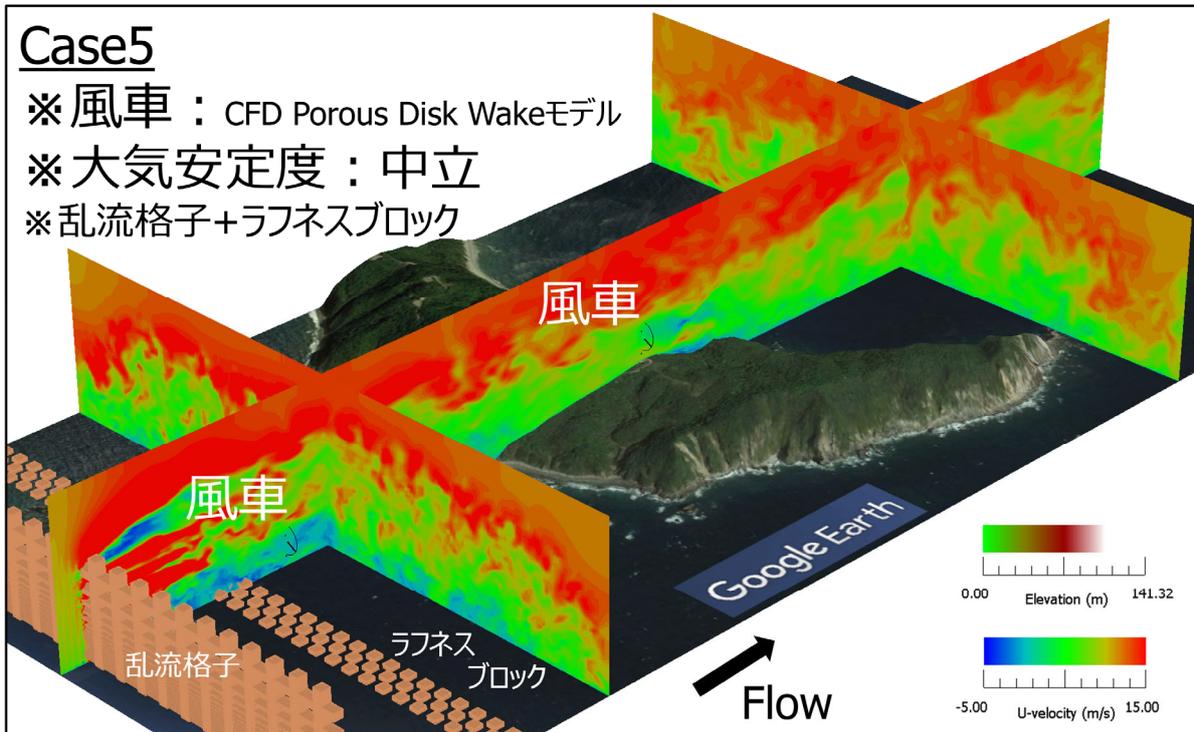
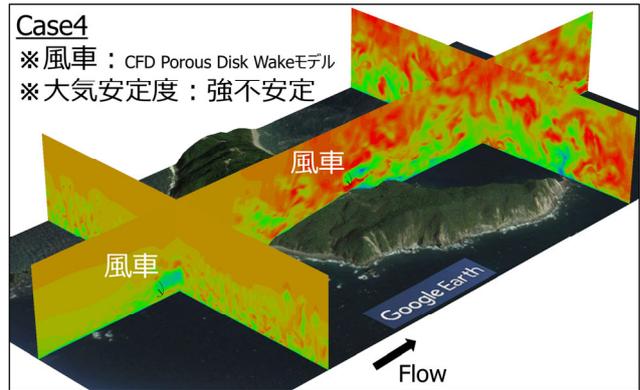
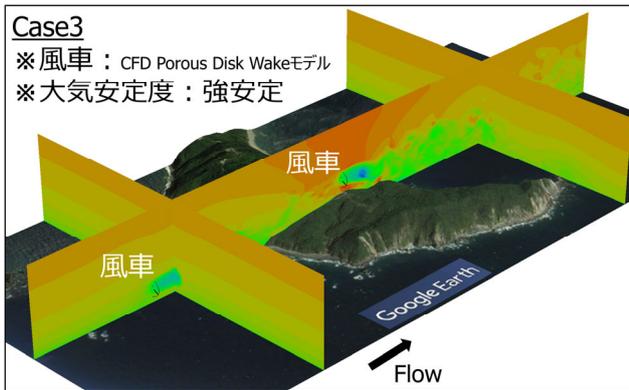
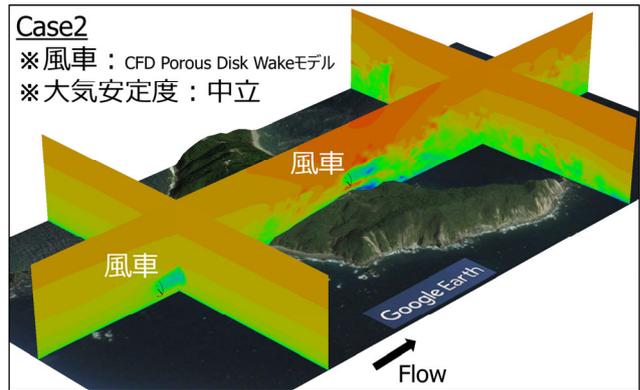
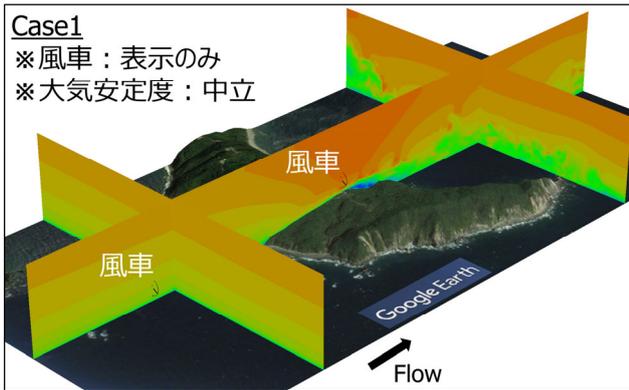


図4 ユーザーの目的に応じた種々の数値風況シミュレーション例

に短縮することに成功した。

近年、国内の風力業界ではウィンドファーム全体の経済性(AEP, CF)の評価に与える大気安定度の影響が注目されている。リアムコンパクトでは、図3に示すように、

大気安定度を考慮した計算が可能となっている²⁾。

図4には、我々が独自開発したCFD Porous Disk Wakeモデルを適用した場合の計算例を示す³⁾。ユーザーの目的に応じた最適な計算が可能である。Case5で

は、より現実的に近い状況を模擬するため、乱流格子とラフネスブロックを設置している。なお、すべてのケースでGoogle Earthの画像を地形表面に張り付けている。

4. 後処理ソフトウェア:RC-Scope

RC-Solverから出力される膨大な数値データの羅列に基づいて流れ場を可視化し、同時にそれらの数値データを解析して風力分野特有の視覚化・グラフ化を行うのがRC-Scopeである。現在、我々が最も開発に注力している部分である。ここでは、最新機能を紹介する。

4.1 風車受風内における気流特性の可視化

陸上および洋上を問わず、今後、風車の大型化に伴い、風車受風面内における気流特性の把握が極めて必要となる。リアムコンパクトでは、図5に示すように、風車受風内における気流特性の可視化が可能である。また、流れの場の可視化と合わせて、図中に示すように風車立地点における各種物理量(平均風速、標準偏差など)の鉛直分布や、風車ハブ高さにおける風速や風の吹き上げ角度などのグラフ化も可能になっている。

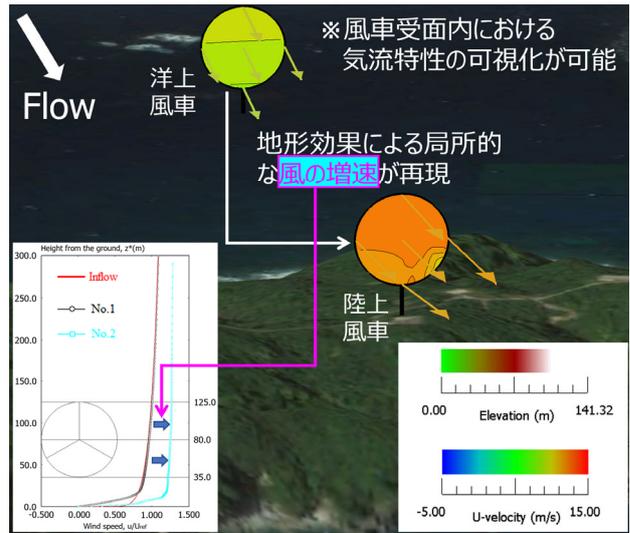
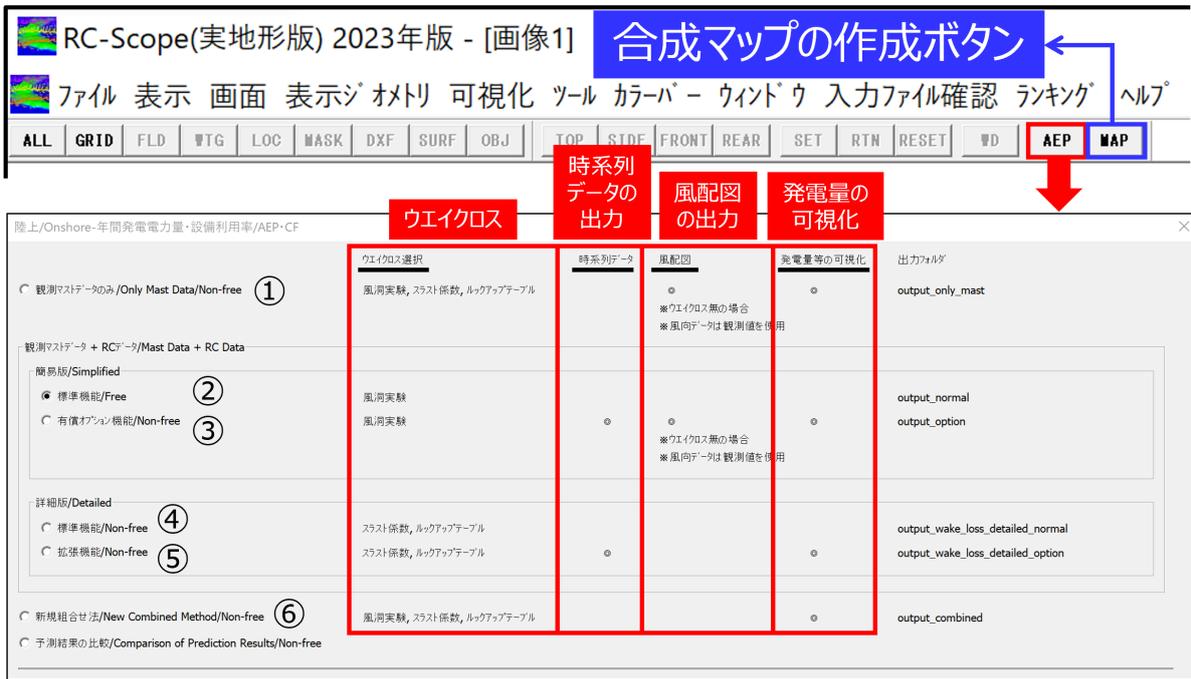


図5 風車受風内における気流特性の可視化例

4.2 年間発電電力量AEPと設備利用率CFの評価

図6に示すように、ユーザーの目的に応じた年間発電電力量AEPと設備利用率CFの評価が可能となっている(現在では6パターンの計算手法が選択可能)。



発電量の計算に使用する風況データや、ウエイクロスの選択、出力ファイルに応じて、現在は6パターンの手法を選択可能

- ① : 観測マストデータのみでAEP, CFを計算(リアムコンパクトによる風況データは不使用).
- ②~⑤ : 16方位のリアムコンパクトによる風況データと観測マストデータでAEP, CFを計算
- ⑥ : 16方位以下のリアムコンパクトによる風況データと観測マストデータでAEP, CFを計算

図6 RC-Scopeにおける年間発電電力量AEPと設備利用率CFの評価パターン

観測ポイント情報			
No.	経度	緯度	年間平均風速(m/s)
1	130.	31.	6.49

風車情報			年間平均風速			AEP			CF		ランキング		
No.	経度	緯度	年間平均風速 / ゲロス値(m/s)	ネット値(m/s)	差(m/s)	年間発電電力量 / ゲロス値(kWh)	ネット値(kWh)	差(kWh)	設備利用率 / ゲロス値(%)	ネット値(%)	差(%)	発電成績 / ゲロス値	ネット値
1	130.	31.	6.15	6.15	0	6,845,410	6,845,410	0	24.42	24.42	0	4	3
2	130.	31.	5.59	5.42	0.16	5,445,663	5,056,498	389165	19.43	18.04	1.39	9	9
3	130.	31.	6.13	5.73	0.4	6,760,858	5,873,291	887567	24.12	20.95	3.17	5	5
4	130.	31.	6.8	6.54	0.27	8,336,936	7,663,920	673016	29.74	27.34	2.4	1	1
5	130.	31.	5.79	5.46	0.33	5,994,062	5,222,381	771681	21.38	18.63	2.75	8	7
6	130.	31.	6.69	6.12	0.56	8,084,971	6,733,088	1351883	28.84	24.02	4.82	2	4
7	130.	31.	5.44	4.91	0.52	5,043,765	3,995,563	1048202	17.99	14.25	3.74	10	10
8	130.	31.	5.91	5.64	0.27	6,272,714	5,635,272	637442	22.38	20.1	2.27	6	6
9	130.	31.	5.81	5.39	0.41	6,069,758	5,200,998	868760	21.65	18.55	3.1	7	8
10	130.	31.	6.54	6.31	0.23	7,808,332	7,273,055	535277	27.86	25.95	1.91	3	2

図7 年間発電電力量AEPと設備利用率CFのサマリーファイルの例

					風速			発電量		
年	月	日	時	風向	風速(ゲロス値)	風速(ネット値)	風速差(m/s)	発電量(ゲロス値)	発電量(ネット値)	発電量差(kW)
2022	1	1	0	270	9.4	7.87	1.53	1935	1188.53	746.47
2022	1	1	1	273.636	10.14	8.49	1.65	2260	1491.92	768.08
2022	1	1	2	277.686	11.03	9.23	1.8	2570.66	1856.8	713.86
2022	1	1	3	278.922	11.21	9.39	1.82	2628.62	1930.4	698.22
2022	1	1	4	281.03	9.09	7.61	1.48	1792.4	1079.59	712.81
2022	1	1	5	282.95	10.99	10.99	0	2557.5	2557.5	0
2022	1	1	6	285.988	10.46	10.46	0	2372	2372	0
2022	1	1	7	282.884	9.67	9.67	0	2059.2	2059.2	0
2022	1	1	8	240.928	5.65	5.65	0	416.4	416.4	0
2022	1	1	9	265.213	11.33	9.49	1.84	2667.26	1976.4	690.86
2022	1	1	10	267.725	14.28	11.96	2.32	3193.52	2870.12	323.4
2022	1	1	11	269.307	12.5	10.47	2.03	2989.5	2375.5	614
2022	1	1	12	273.877	11.46	9.59	1.87	2709.12	2022.4	686.72
2022	1	1	13	277.232	7.51	6.29	1.22	1037.69	593.25	444.44

図8 各風車の時系列データファイルの例

入力する観測マストデータは、風向と風速の1時間値、あるいは10分値である。風車パワーカーブは複数機種が設定可能である。ウエイクロスについては、風洞実験データ(風車の離隔距離のみを考慮したロス率)⁴⁾、実機風車のスラスト係数、工学モデルなどから算出したルックアップテーブル(これは後述する)が選択可能である。

出力ファイルはサマリーファイルの他(図7)、各風車の時系列データ(図8)も出力可能である。さらに、図9に示すようにAEPやCF、発電成績ランキングなどを可視化することも可能である。

4.3 ウエイクロスに関するルックアップテーブルの作成

RC-Scopeでは、年間発電電力量AEPと設備利用率CFの評価に必要なルックアップテーブル(任意の風速階級と風車離隔距離に対応した風速低減率ファイル)を作成することが可能である(図10)。これは、PyWakeなどで利用実績が高い工学ウエイクロスモデル(Analytical Wakeモデル)に基づいて作成される。

4.4 合成マップ(年間平均風速, AEP, CF)の作成

RC-Scopeでは、風向と風速の1時間値に基づいて合成風況マップ(年間平均風速, AEP, CF)を作成すること

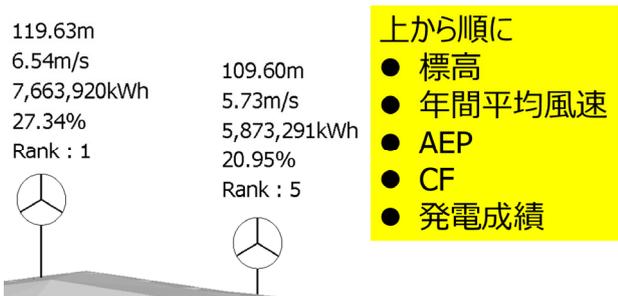


図9 AEPやCF、発電成績などの可視化例

単機風車を対象に作成した
流入風速「1.0」に対する風速低減率
⇒ 「ルックアップテーブル」

スラスト係数などを入力データとし、
PyWake(※)などで利用実績の高い
工学ウエイクモデルに基づいて作成

(※) <https://topfarm.pages.windenergy.dtu.dk/PyWake/>

風速階級(m/s)



図10 RC-Scopeで作成したルックアップテーブルの例

が可能である(図6, 図11). ここでは, 16方位別のリアムコンパクトの風向データが揃っている必要はない. 現在はウエイクロスを考慮した合成マップの開発中である.

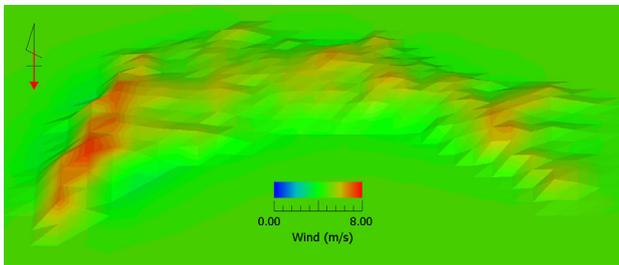


図11 RC-Scopeで作成した合成風況マップの例

5. おわりに

本報では, 最新のリアムコンパクトの紹介を行った. 現在, 我々は洋上風力発電の適切な導入を支援するため, 特に風車ウエイクの相互干渉予測の研究開発と社会実装に注力している. 図12には, 著者らが開発した3次元

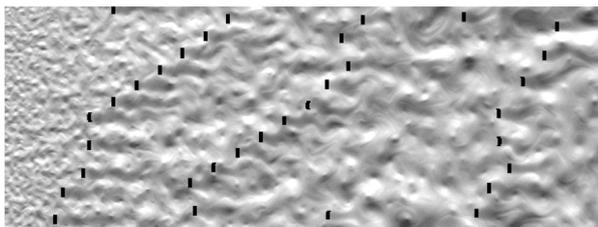


図12 2D CFD Porous Disk Wakeモデルの結果

CFD Porous Disk Wakeモデルの2次元CFDへの適用例を示す. 複雑な風車ウエイクの非定常・相互干渉現象が再現されているのが分かる. 2D CFD Porous Disk WakeモデルとGPUシミュレーションを組み合わせた本手法は, 日本独自のIndustrial Wake Modelとして, 大規模洋上ウインドファームの最適設計に活用可能である. 今後は, ヨーステアリングなどの風車ウエイクの制御手法への適用を進める予定である. さらに既存の工学ウエイクモデルとの連携を深め, より信頼性の高いウインドファーム全体の経済性(AEP, CF)の評価手法の確立を目指す.

参考文献

- 1) 内田 孝紀, 最新の数値風況シミュレーション技術リアムコンパクトが実現するバーチャルウインドファーム開発の歴史と将来展望, 日本風力エネルギー学会誌, Vol.44, No.4, pp.666-671, 2021
- 2) 内田 孝紀, 高桑 晋, 複雑地形における風力資源の数値予測に対する大気安定度の影響, 日本風力エネルギー学会論文集, Vol.45, No.1, pp.1-9, 2021
- 3) Takanori Uchida et al., Doppler Lidar Investigations of Wind Turbine Near-Wakes and LES Modeling with New Porous Disc Approach, Energies 2021, 14(8), 2101
- 4) L. P. Chamorro and F. Porté-Agel, Effects of Thermal Stability and Incoming Boundary-Layer Flow Characteristics on Wind-Turbine Wakes: A Wind-Tunnel Study, Boundary-Layer Meteorology, 136(3), pp.515-533, 2010