

# 市販CFDソフトウェアによる実地形を対象とした 年間平均風速および年間発電電量の予測

内田 孝紀\*, 青柳 達郎\*\*, 渡邊 文人\*\*, 見上 伸\*\*

(2016年1月29日受理)

Analysis of the Airflow Field over Real Terrain with Commercially-Available CFD Software

Takanori UCHIDA, Tatuso AOYAGI, Fumihito WATANABE and Shin MIKAMI

E-mail of corresponding author: [takanori@riam.kyushu-u.ac.jp](mailto:takanori@riam.kyushu-u.ac.jp)

## Abstract

The present study compared the prediction accuracy of three CFD software packages for simulating a airflow over real terrain: 1) Meteodyn WT (turbulence model: k-L RANS), 2) WindSim (turbulence model: RNG k- $\epsilon$  RANS) and 3) RIAM-COMPACT® (turbulence model: the standard Smagorinsky LES), which has been developed by the lead author of the present paper. The results from the simulation with RIAM-COMPACT® were compared to those from two commercially-available CFD software packages (Meteodyn WT and WindSim) and were found to be in good agreement.

**Key words :** *Commercially-available CFD software, Meteodyn WT, WindSim, RIAM-COMPACT®, Real terrain*

## 1. 緒言

第一著者は、LES乱流モデルに基づいたRIAM-COMPACT®<sup>1)</sup> (リアムコンパクト)と称する数値風況診断技術の開発を進めている。RIAM-COMPACT®は、九州大学発ベンチャー企業の(株)リアムコンパクト (<http://www.riam-compact.com/>)が、(株)産学連携機構九州から独占的ライセンス使用許諾を受けている。主に国内の風力業界(民間の風力事業者、自治体、風車メーカーなど)に対して普及に努めている。

一方で、海外においてもRANS系乱流モデルを採用した風力資源アセスメントに特化したCFDソフトウェアが開発され、各国に流通している。代表的なものにフランスのMeteodyn社 (<http://meteodyn.com/>)が開発しているMeteodyn WT<sup>2)</sup>、および、ノルウェイのWindSim AS社 (<https://www.windsim.com/>)が開発しているWindSim<sup>3)</sup>がある。

本報では、前報<sup>4, 5)</sup>で対象とした急峻な傾斜角度を有する3次元孤立峰に続き、実地形(平坦地形と複雑地形)を対象としてLES系乱流モデルに基づいたRIAM-COMPACT®ソフトウェアと、RANS乱流モデルに基づいたMeteoDynソフトウェア、WindSimソフトウェアの計算結果(年間平均風速(m/s)、年間発電電力量(kWh))の比較を実施した。

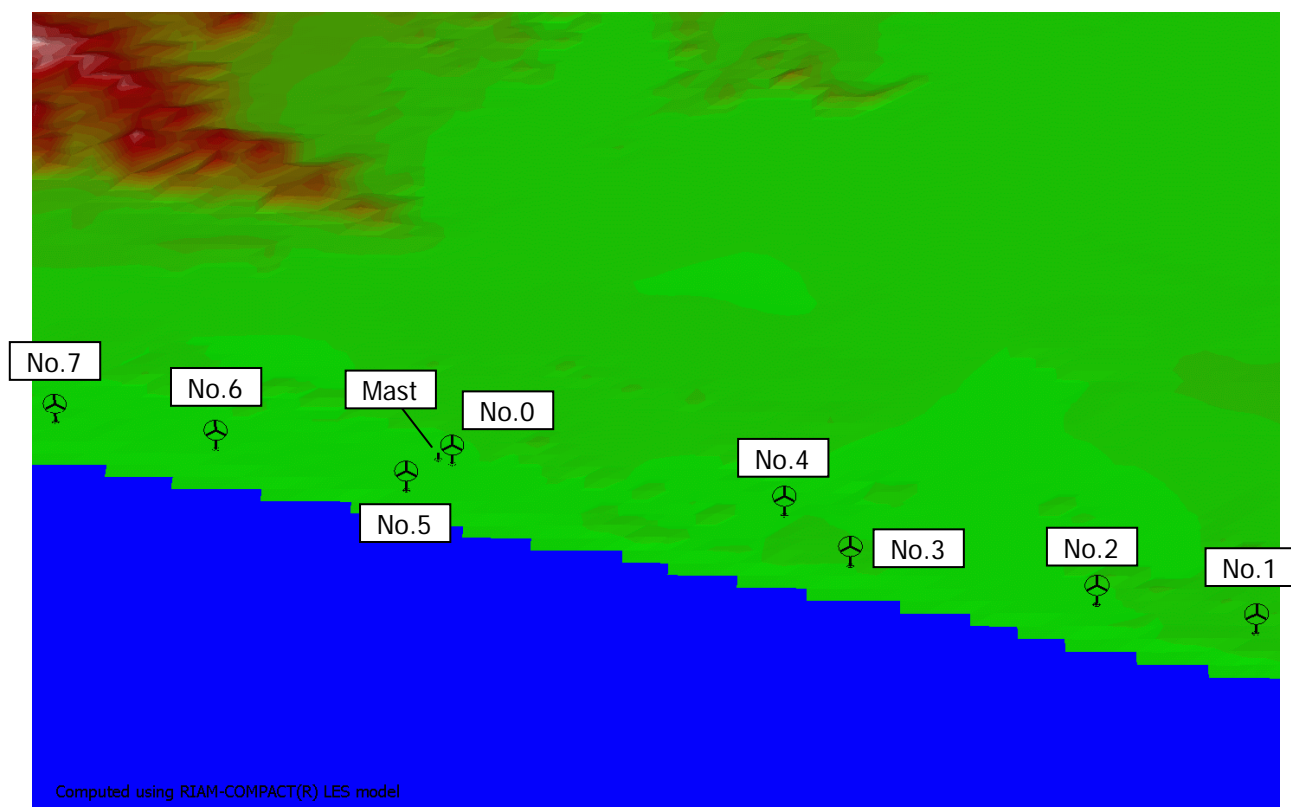
## 2. 計算手法、計算結果および考察

本研究では、図1に示すように、平坦地形として静岡県某発電所(風車8基、定格出力1,990kW or 2,000kW, ロータ直径82m, 風車ハブ高さ78m)を、複雑地形として秋田県某発電所(風車5基、定格出力1,990kW, ロータ直径82m, 風車ハブ高さ78m)を対象として数値風況シミュレーションを実施し、MeteoDyn, WindSim, RIAM-COMPACT®の三種類の計算結果を比較した。表1には、各ソフトウェアにおける計算手法などを整理した表を示す。

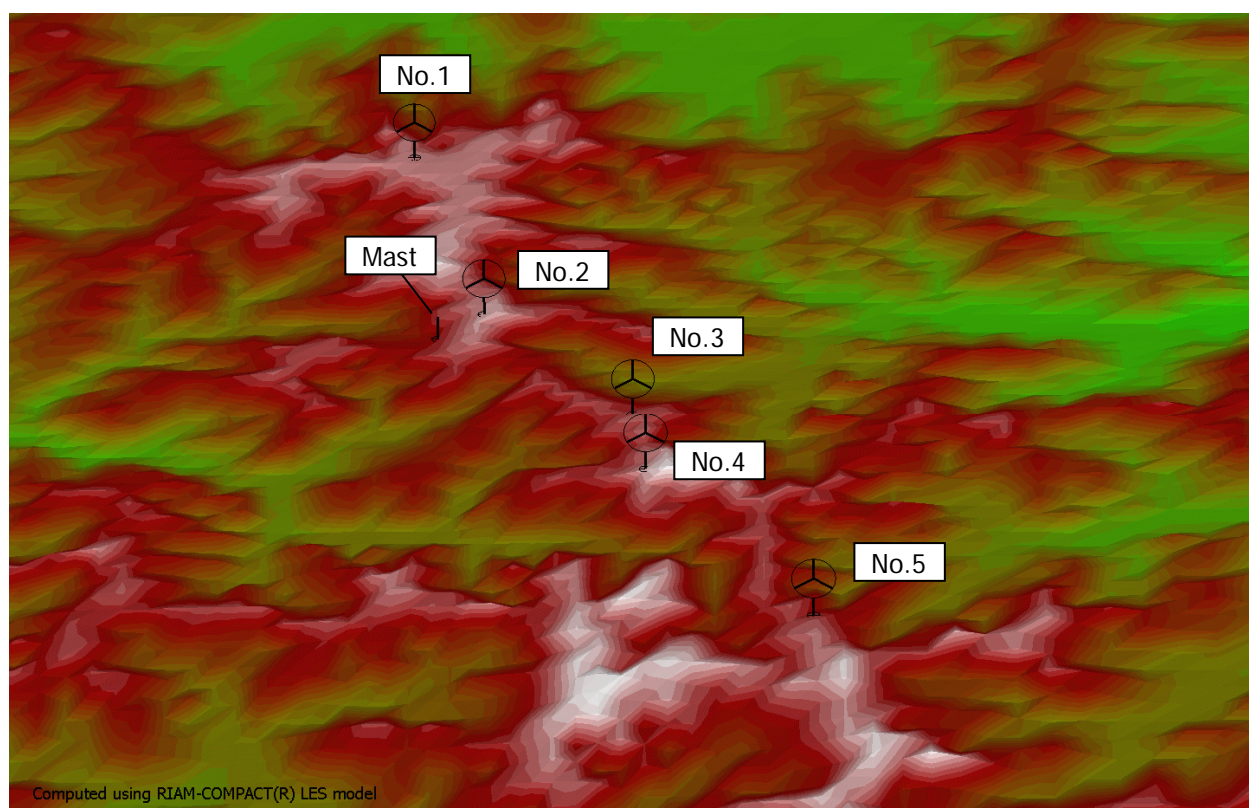
全てのソフトウェアともに、同じ期間(1年間)を対象とし、風車の最寄り位置に存在する野外風況観測データ(1時間間隔の時系列データ)との相関を考慮することで、風車ハブ高さ位置における年間平均風速(m/s)および年間発電電力量(kWh)を算出している。平坦地形の静岡県某発電所では、地上高50mの野外風況観測データ(期間:2010年1月1日~2010年12月31日)を、複雑地形の秋田県某発電所では、地上高30mの野外風況観測データ(期間:2005年6月1日~2006年5月31日)を対象とした。全てのソフトウェアともに風車の相互干渉(ウエイクロス)を考慮している。なお、RIAM-COMPACT®における実風速への変換方法は文献<sup>6)</sup>を参照して頂きたい。

\* 九州大学応用力学研究所

\*\* (株)日立パワーソリューションズ



(a) 平坦地形: 静岡県某発電所(風車8基, 定格出力1,990kW or 2,000kW, ロータ直径82m, 風車ハブ高さ78m)



(b) 複雑地形: 秋田県某発電所(風車5基, 定格出力1,990kW, ロータ直径82m, 風車ハブ高さ78m)

図1 本研究で対象とした実地形(風力発電所)

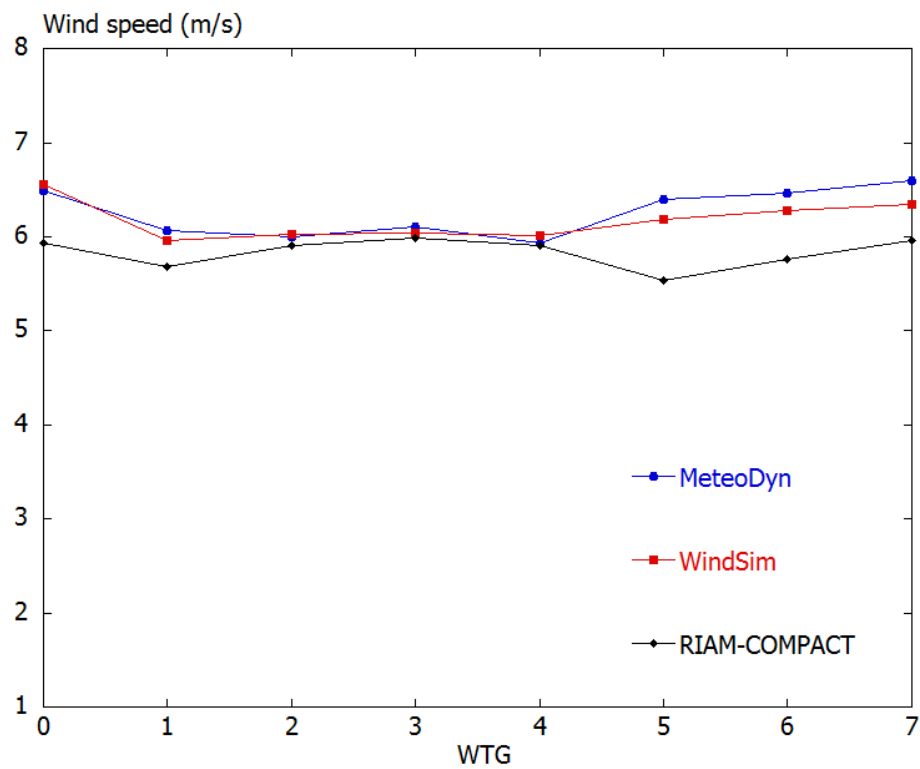
CFDモデル	RIAM-COMPACT®	WindSim	Meteodyn WT
乱流モデル	標準Smagorinsky LESモデル	RNG k-ε RANSモデル	k-L RANSモデル(一方程式モデル)
大気成層 (大気安定度)	中立大気		
コリオリ力	考慮していない		
地図標高データ	基盤地図情報(縮尺レベル25,000) 10m解像度データ (国土地理院発行)		
地表面粗度データ	考慮していない	土地利用細分100m解像度データ (国土政策局発行)	
計算領域	8km (i) x 8km (j) x 1km (k)	8km (i) x 8km (j) x 0.8km (k)	(広域) 20km (i) x 20km (j) x 2.8km (k) (詳細) 5km (i) x 5km (j) x 2.8km (k)
計算格子 サイズ	80m (i) x 80m (j) x 0.5~105m (k)	21m (i) x 21m (j) x 7.1~521.4m (k)	(広域) 30m (i) x 30m (j) x 4.8m (k) (詳細) 25m (i) x 25m (j) x 4m (k)
計算格子数	101 (i) x 101 (j) x 41 (k) = 418,241	238 (i) x 238 (j) x 12 (k) = 679,728	(最大) 367 (i) x 367 (j) x 47 (k) =6,330,383 (最小) 286 (i) x 286 (j) x 47 (k) =3,844,412
計算領域中の 最大標高	174m	252m	
最大標高に基づいた レイノルズ数	10 <sup>4</sup>	8.46 x 10 <sup>7</sup>	
計算方位数	16方位, 22.5度刻み		

(a) 平坦地形: 静岡県某発電所

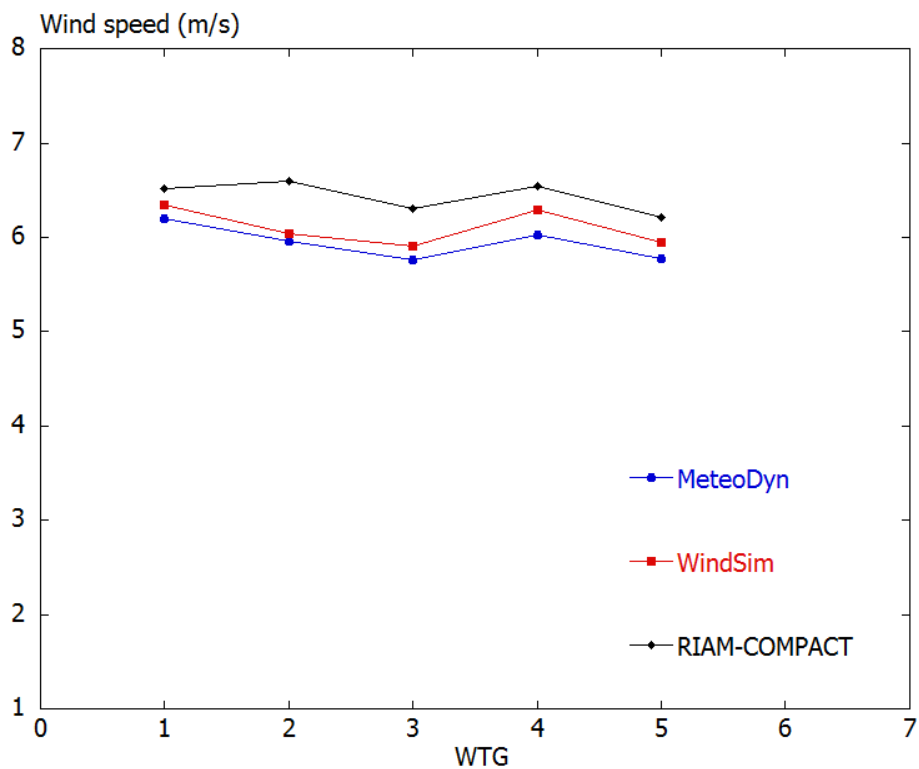
CFDモデル	RIAM-COMPACT®	WindSim	Meteodyn WT
乱流モデル	標準Smagorinsky LESモデル	RNG k-ε RANSモデル	k-L RANSモデル(一方程式モデル)
大気成層 (大気安定度)	中立大気		
コリオリ力	考慮していない		
地図標高データ	基盤地図情報(縮尺レベル25,000) 10m解像度データ (国土地理院発行)		
地表面粗度データ	考慮していない	土地利用細分100m解像度データ (国土政策局発行)	
計算領域	10km (i) x 10km (j) x 1km (k)	8km (i) x 8km (j) x 0.5km (k)	(広域) 20km (i) x 20km (j) x 2.8km (k) (詳細) 5km (i) x 5km (j) x 2.8km (k)
計算格子 サイズ	37~964m (i) x 37~964m (j) x 0.4~73m (k)	21m (i) x 21m (j) x 2.2~128.6m (k)	(広域) 30m (i) x 30m (j) x 4.8m (k) (詳細) 25m (i) x 25m (j) x 4m (k)
計算格子数	101 (i) x 101 (j) x 41 (k) = 418,241	238 (i) x 238 (j) x 20 (k) = 1,132,880	(最大) 327 (i) x 327 (j) x 47 (k) =5,025,663 (最小) 246 (i) x 246 (j) x 47 (k) =2,844,252
計算領域中の 最大標高	120m	398m	
最大標高に基づいた レイノルズ数	10 <sup>4</sup>	1.58 x 10 <sup>8</sup>	
計算方位数	16方位, 22.5度刻み		

(b) 複雑地形: 秋田県某発電所

表1 各ソフトウェアにおける数値計算手法および計算パラメータなどの比較

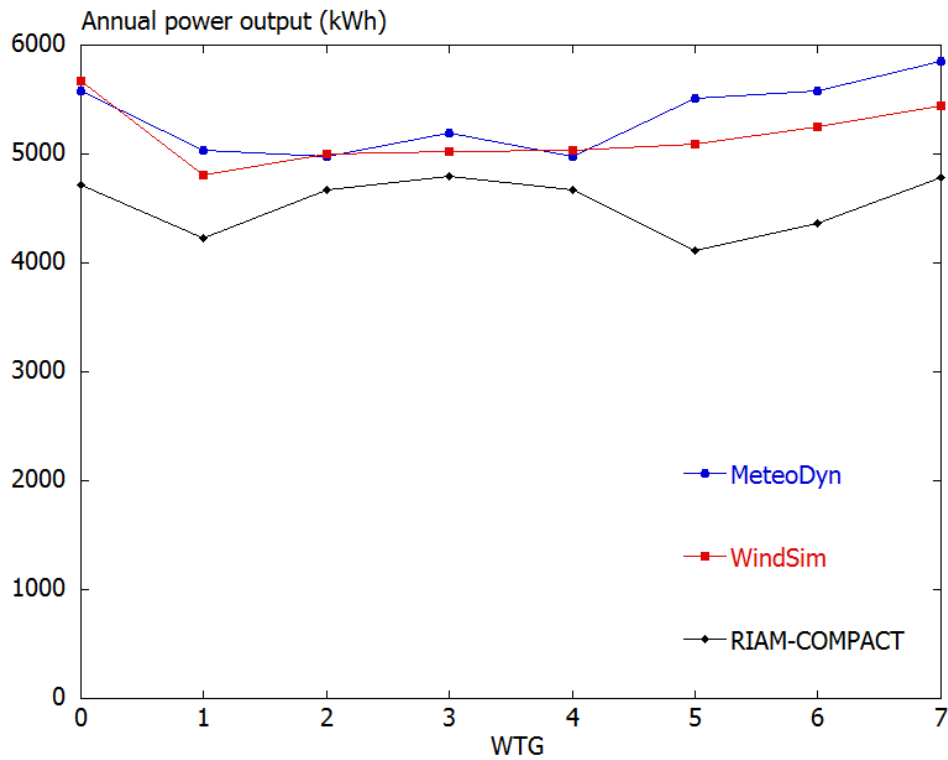


(a) 平坦地形: 静岡県某発電所

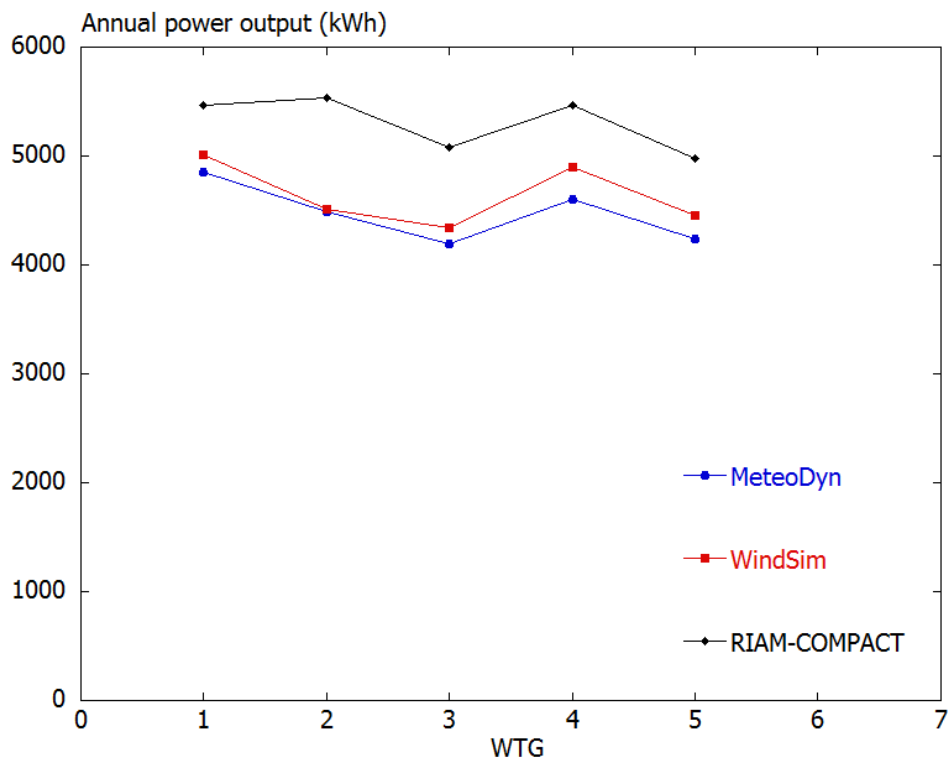


(b) 複雑地形: 秋田県某発電所

図2 風車ハブ高さ位置における年間平均風速(m/s)の比較, 地上高78m



(a) 平坦地形:静岡県某発電所



(b) 複雑地形:秋田県某発電所

図3 風車ハブ高さ位置における年間発電電力量(kWh)の比較, 地上高78m

図2には、風車ハブ高さ位置における年間平均風速(m/s)の比較を示す。図3には、風車ハブ高さ位置における年間発電電力量(kWh)の比較を示す。得られた結果を吟味すると、平坦地形の静岡県某発電所および複雑地形の秋田県某発電所の両ケースともに、MeteoDyn, WindSim, RIAM-COMPACT®の三種類の計算結果はほぼ同様な傾向を示すことが示された。

### 3. 結言

本報では、実地形(平坦地形と複雑地形)を対象としてLES系乱流モデルに基づいたRIAM-COMPACT®ソフトウェアと、RANS乱流モデルに基づいたMeteoDynソフトウェア, WindSimソフトウェアの計算結果(年間平均風速(m/s), 年間発電電力量(kWh))の比較を実施した。ここで、全てのソフトウェアともに風車の相互干渉(ウエイクロス)を考慮した。その結果、三種類の計算結果はほぼ同様な傾向を示すことが示された。紙面図の都合上、ここでは示さなかったが、各ソフトウェアともに図に4に示すような局所風況マップ(合成風況図)を作詞し、風況の空間的な分布を議論することも可能である。

### 謝 辞

本研究の一部は、株式会社日立パワーソリューションズとの共同研究「複雑地形上の数値風況予測におけるLESとRANSの比較に関する共同研究開発, H25.8.27～H27.3.31, 代表者:内田 孝紀」の援助を受けました。ここに記して感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 内田 孝紀, 太鼓山風力発電所のナセル落下事故に対する数値流体力学的アプローチによる一考察, 日本風力エネルギー学会論文集, Vol.39, No.1, 通巻113, pp.6-13, 2015
- 2) 内田 行宣: 現実のウインドファームでの複雑地形におけるCFDモデルの実証と挑戦, 日本風力エネルギー協会誌, Vol.34, No.4, pp.113-117, 2010
- 3) 植田 祐子, WindSimによる風況シミュレーション風力エネルギー, 37(2), pp.209-211, 2013
- 4) 内田 孝紀, 渡邊 文人, 見上 伸: 市販CFDソフトウェアによる急峻な3次元孤立峰を対象とした気流場解析, 九州大学応用力学研究所所報, 第148号, pp.35-41, 2015
- 5) 内田 孝紀, 渡邊 文人, 見上 伸: 市販CFDソフトウェアによる急峻な3次元孤立峰を対象とした気流場解析(第2報), 九州大学応用力学研究所所報, 第149号, pp.72-77, 2015
- 6) 内田孝紀, 大屋裕二, CFDを用いた複雑地形上の実風速推定法の提案, 応用力学論文集, Vol.10, pp.733-740, 2007

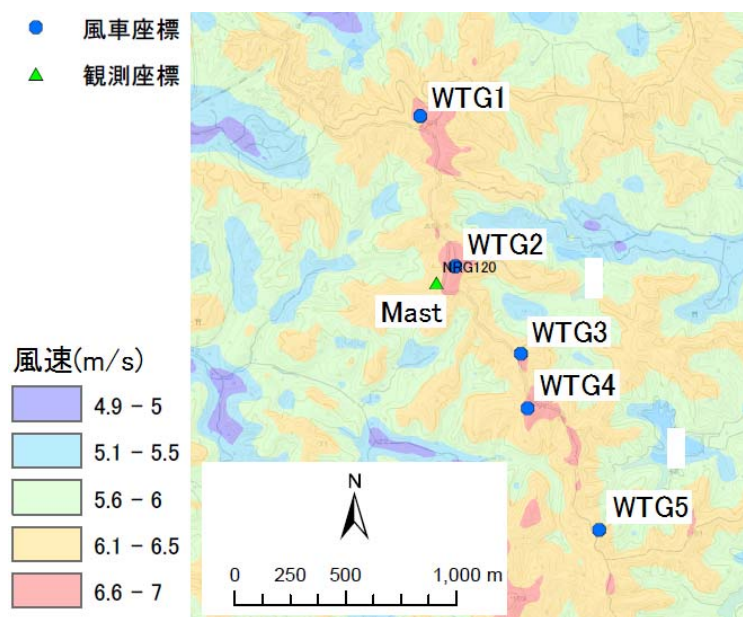


図4 複雑地形: 秋田県某発電所を対象とした局所風況マップ, RIAM-COMPACT®ソフトウェア