

# 非定常風況シミュレータRIAM-COMPACTの開発\*1 —市街地向け小型風力タービンの候補地選定への適用—

## Development of the Unsteady Wind Field Simulator "RIAM-COMPACT" —Application to Siting of a Small Wind Turbine—

○内田 孝紀\*2, 日置 文章\*3, 杉谷 賢一郎\*4, 大屋 裕二\*2

田辺 正孝\*5, 葛生 和人\*5, 荒屋 亮\*6, 川島 泰史\*7

Takanori UCHIDA, Fumiaki HIOKI, Kenichirou SUGITANI, Yuji OHYA

Masataka TANABE, Kazuto KUZUU, Ryo ARAYA and Yasushi KAWASHIMA

### 1. 緒言

著者らは, 空間スケールで数(十)km以下の狭域スケールに的を絞って, RIAM-COMPACT(Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Computational Prediction of Airflow over Complex Terrain)と称する非定常風況シミュレータを開発し, 2003年11月に実用化を達成した<sup>1)</sup>. この数値モデルは乱流モデルのLES(Large-Eddy Simulation)に基づいている. 最大の特長は, 流れの衝突, 剥離, 再付着, 逆流などの風に対する地形や建物の影響を高精度に予測し, それらの流動現象をアニメーションとして視覚化できる点である. 既に, 実地形向け風力タービンの候補地選定へのRIAM-COMPACTの適用性は, 同シンポジウムで報告してきた<sup>2-4)</sup>.

ここ数年, 風力エネルギーを有効に利用するため, 我が国でも離島, 岬, 海岸近くなどの風環境の良い地域に種々の規模の風力タービンが次々に建設されている. その結果, 風力タービンの設置に適した地域は大幅に減少し, 現在では山間部や海洋上(オフショア)での大型風力タービンの建設に移行しつつある. その一方で, 市街地を対象にした小型風力タービンの需要は多いものの, その適地を選定する風況シミュレーションシステムの開発はほとんど進んでいない.

そこで我々は, ビル風などの強風を有効に利用し, 市街地, 特にビルとビルの間や, 建物屋上に小型風力タービンを設置するための適地を即座に探索する風況シミュレーションソフトを開発した. 本報ではその特徴を示すとともに, 計算結果の一例を紹介する.

### 2. 市街地版RIAM-COMPACTの特長

ソフトウェアとしてのRIAM-COMPACTは, Windows搭載のPC1台で動作する. 具体的には, ①前処理(Pre-processing), ②ソルバー(Solver), ③後処理(Post-processing)の三つのプロセスから構成される. 前

処理はCAD(Computer Aided Design)データの一つであるDXF(Data eXchange Format)形式データを用い, 前処理ソフトFLMaskgenで自動的に3次元メッシュを生成する. ソルバーはコマンドプロンプトから実行する. ユーザーは数個のパラメータを指定するのみで計算が開始される. 後処理はFLScopeで行う. FLScopeでは, 計算メッシュ, 速度ベクトル, 等値線, カラーシェーディング, 等値面, 流線, パーティクルパス, ボリュームレンダリング, サーフィスパスレンダリングなど, 流体シミュレーションの可視化手法はほぼ全て網羅されている. また, 数多くの表示オプション(例えば, 速度ベクトルの矢羽の開き角度の変更など)が用意されており, ユーザーの目的に応じてきめ細やかな可視化が可能である. 前処理ソフトのFLElevenと同様, マウスと簡単なキーボード操作により対話的に可視化することができる. RIAM-COMPACTのソフトウェアは, その操作性やユーザーフレンドリーなGUI環境において他の製品と一線を画する.

### 3. 市街地版RIAM-COMPACTの適用例

ここでは, 九州大学の元岡キャンパス移転地内における建物群まわりの風環境予測の結果について示す. 図1に示すように, 移転地は福岡市西区の元岡・桑原地区(糸島半島中央東寄り)に位置し, 周辺地勢の特徴として

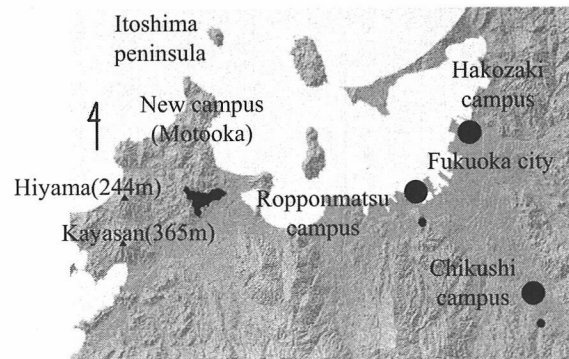


図1 九州大学元岡キャンパスの位置

\*1 平成16年11月26日「第26回風力エネルギー利用シンポジウム」にて講演, 原稿受付10月15日

\*2 会員, \*4 非会員, 九州大学応用力学研究所(〒816-8580春日市春日公園6-1, 連絡先: takanori@riam.kyushu-u.ac.jp)

\*3 非会員, 九州大学院工学府航空宇宙工学専攻修士課程

\*5 非会員, (有)流体物理研究所, \*6 非会員, (有)環境GIS研究所, \*7 会員, 西日本技術開発(株)

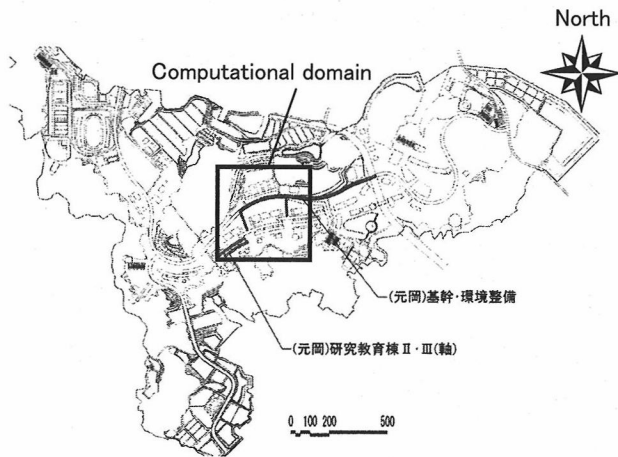


図2 九州大学元岡キャンパスの全体図

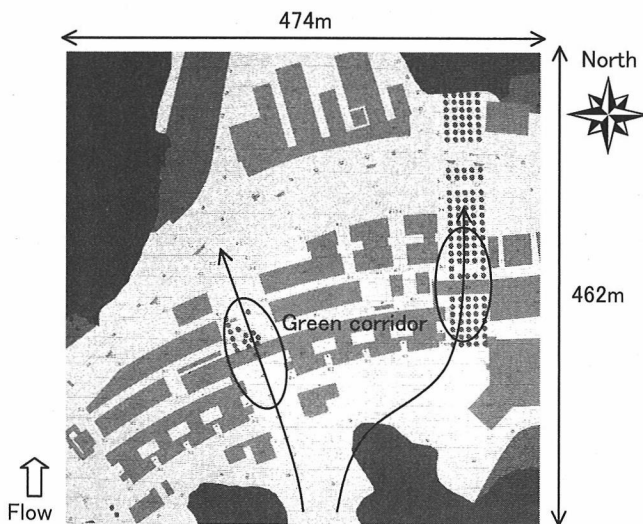


図3 本研究における計算領域と実際の建物群の配置, 図2に黒線で示す領域の拡大図

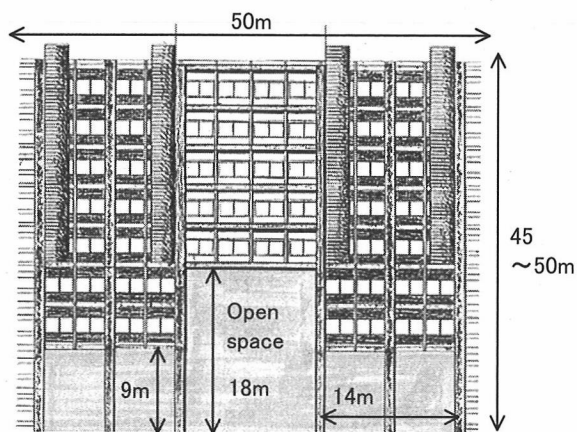


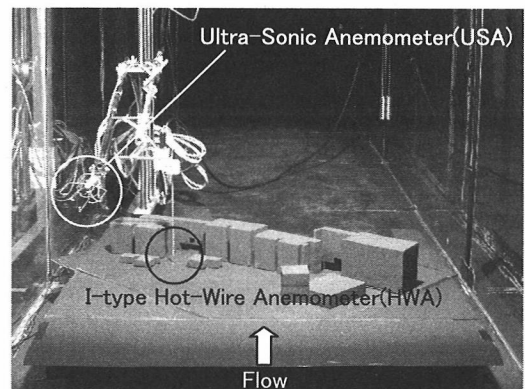
図4 建物形状のイメージ図, 図3に示す黒線部分

西側に火山(244m), 南西に可也山(365m)が位置している. 新キャンパスの全体図を図2に示す. 本研究で対象にした領域の拡大図(図2に黒線で示す領域)を図3に示す. 特に南の風が吹いた場合において, 風の通り道と予想されるグリーンコリドー(図3に表示)付近に注目し, 数値シミュレーションと風洞実験を行った. ここは図4に

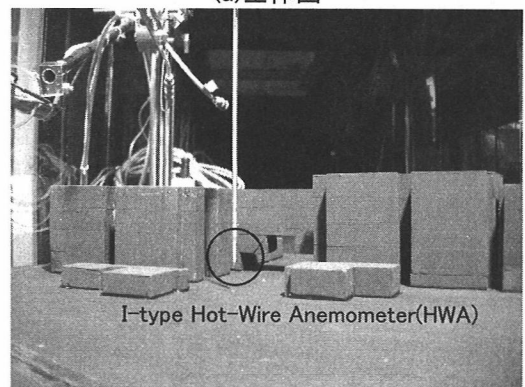
示すように, 凸型のオープンスペースであり, 南北の敷地をつなぐ役目を担っている. なお, 地盤の取扱いについてはその変化を考慮した場合と, 平坦地の場合の検討を行った. 本報では紙面の都合上, 後者の結果のみを示す.

数値シミュレーションと平行して風洞実験も実施した. 風洞実験は九州大学応用力学研究所の温度成層風洞を用いて行った. 但し, 気流の安定度は中立状態とした. この風洞は開放型の吸い込み式で長さ13.5m×幅1.5m×高さ1.2mの測定胴を有する. 風速範囲は0.5~2.0m/sであり, 主流風速を1.0m/sに設定した際の主流方向の乱れ強さの分布は0.4%程度である. 模型への近寄り流れとして一様流入条件を課すため, 以下に示す二つの工夫を施した. 一つは, 風洞の上流側床面に高さ11.5cmの台座を置き, この上に建物群模型を設置した. これは風洞床面に発達する地面境界層の影響を受けないようにするためである. もう一つは, 先端に僅かな傾斜を付けた10cmのアルミ板を模型前縁から設置し, そこからの流れの剥離を抑制した. 風洞上流から見た気流計測の様子を図5に示す. 気流計測はI型熱線プローブ(ダンテック55P11)と熱線流速計(ダンテック56C01CTAユニット, 56C17ブリッジ)を使用した. この熱線プローブは定温度型であり, 測定原理は以下に示す通りである. すなわち, 流体中の加熱された熱線を一辺にもつブリッジ回路を組み, 風により奪われた熱エネルギー(不平衡出力電圧)から風速を検出する.

数値シミュレーションに関して, 計算領域の鳥瞰図を



(a)全体図



(b)拡大図

図5 風洞上流から見た気流計測の様子

図6に示す。図7に示すように、建物群はセルの集合体で矩形に近似した。この際、水平方向(x-y断面)の分解能は全領域で2mとした。メッシュ数は約450万点である。高さの代表スケールhは計算領域中の最大屋根面高さ約50mとした。これと流入境界面におけるhでの一様流入風速Uで定義したレイノルズ数は風洞実験と同じ $10^4$ とした。LESのSGS(Sub-Grid Scale)モデルには、混合時間スケールSGSモデル<sup>9)</sup>を用いた。

地上1.6mの速度ベクトル図(時間平均場)を図8に示す。ここでは図中に示すエリア1とエリア2の拡大図を示す。瞬間場については、アニメーションを作成して流れ場を観察した。その結果、建物周辺流れは非定常な複雑乱流場を呈していることが分かった。特に図に矢印で示すグリーンコリドー付近に注目すると、局所的に流れが加速している様子が明らかになった。これは風洞実験の気流計測結果と併せて後述する。

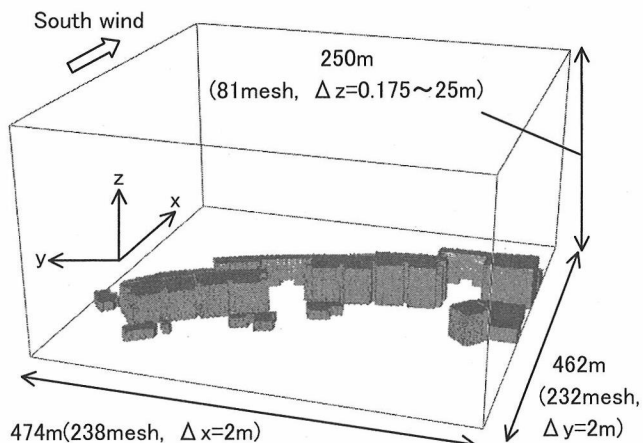


図6 計算領域の鳥瞰図

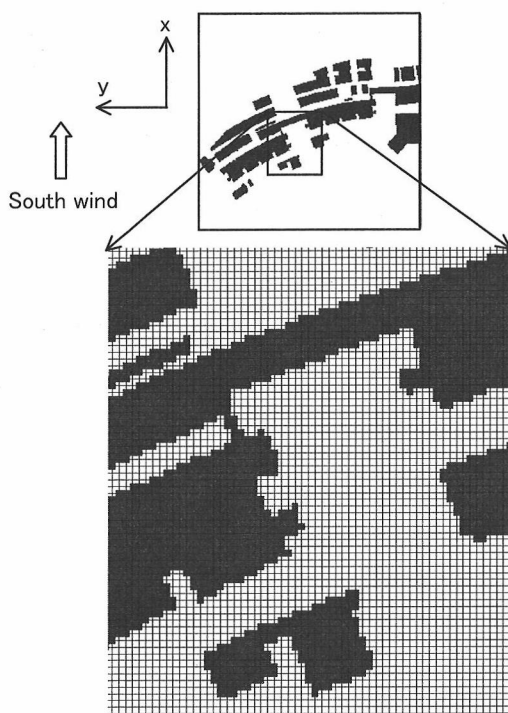


図7 セルの集合体で矩形近似された建物群の様子

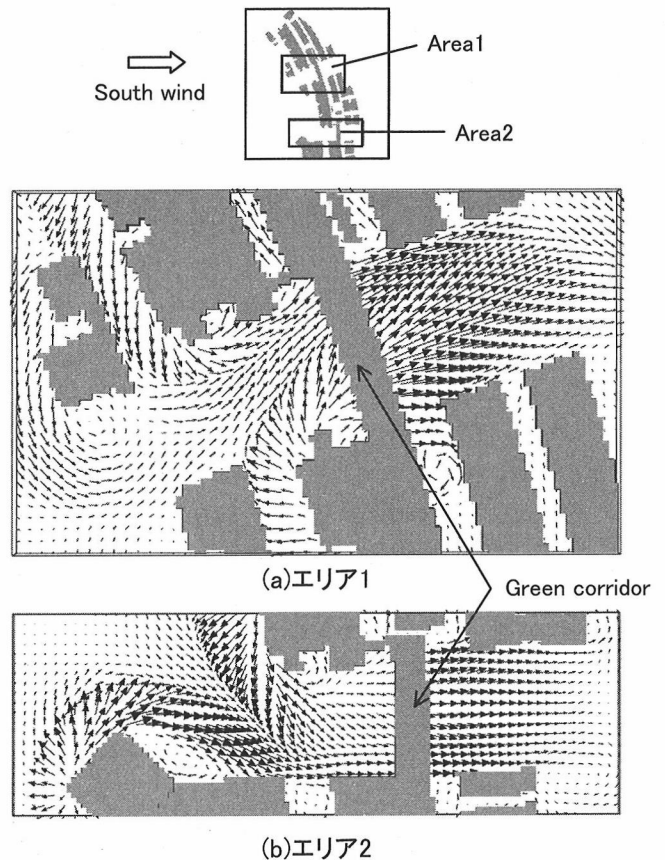
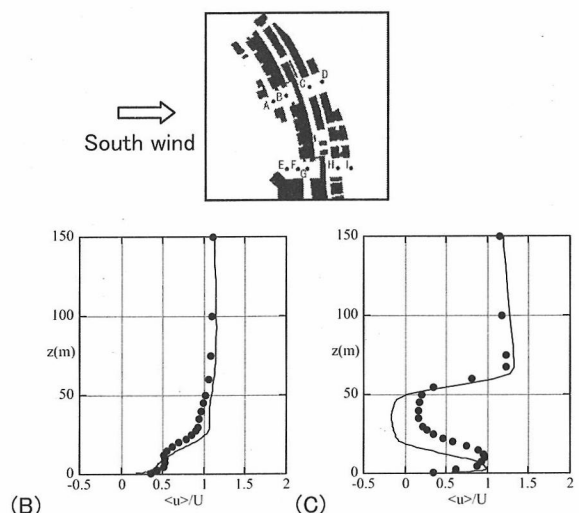


図8 速度ベクトル図, 時間平均場, 地上1.6m

数値シミュレーションと風洞実験において、平均速度プロファイルの比較を図9に示す。ここでは紙面の都合上、グリーンコリドー付近の図中のB, C, G, H点のみの結果を示す。風洞実験ではI型熱線プローブを使用しているため、逆流域などは十分に再現されていない。しかしながら、数値シミュレーションと風洞実験の定性的な挙動は良好な一致が得られた。地上付近に注目すると、先に述べたようにグリーンコリドーを吹き抜ける流れは局所的に加速されていることが示された。但し、その大きさは一様流入風速Uを越えることは無いことが明らかになった。



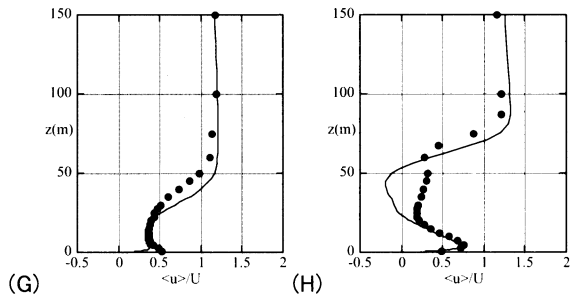


図9 平均速度プロファイルの比較、  
—: 数値シミュレーション, ●: 風洞実験

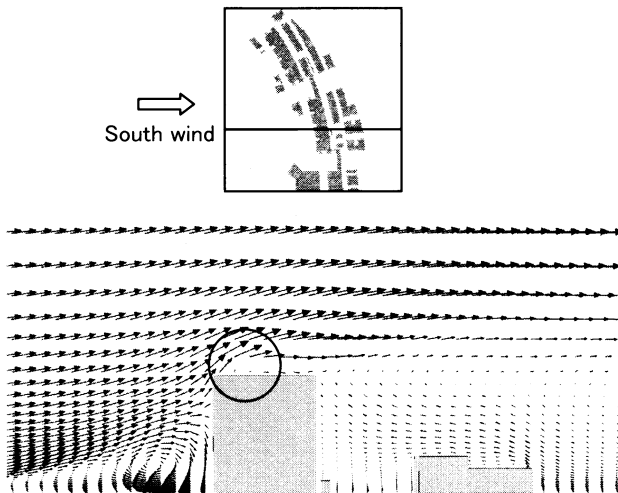


図10 速度ベクトル図, 時間平均場,  
図中の黒線を含む鉛直断面

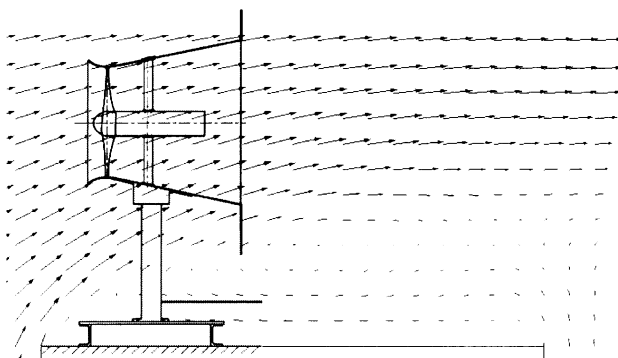


図11 建物屋上に風レンズ風車を設置したイメージ図,  
図10の実線で囲んだ領域の拡大図

時間平均場に関して、高層建物を越える流れを速度ベクトル図で図10に示す。表示位置は同図に実線で示す鉛直断面である。高層建物の前面では、流れが衝突し、渦領域(standing vortex)が形成されている(図中に矢印で表示)。一方、高層建物の屋上に注目すると、建物を越える流れも明確に観察される。ここでは、剥離せん断層の局所的な増速が生じており、これを有効に利用すれば、高層建物屋上での風力発電が可能になると期待できる。このイメージ図として、我々の「九州大学風レ

ンズグループ」で開発中のつば付ディフューザー風車<sup>6)</sup>を建物屋上に設置した様子を図11に示す。建物前縁から流れが剥離し、これに起因して渦領域が形成されている。その渦領域に風車が埋没するように設置しては効率的な発電が行えないことは容易に理解される。建物屋上においても、実地形と同様、剥離せん断層の局所的な増速域を有効に利用することが重要である。

以上のように、非定常風況シミュレータRIAM-COMPACTを利用すれば、建物周辺流解析が事前にかつ簡単に実行でき、その結果に基づいて小型風車の適地を即座に選定することが可能である。

## 4. 結 言

我々の開発している風況シミュレータRIAM-COMPACTは、非定常な流動現象を捉え、その風況特性をアニメーションとして視覚化することが可能である。また、小型風力タービンを対象にした市街地から、中型および大型風力タービンを対象にした実地形まで適用可能である。本報では、市街地版RIAM-COMPACTの特長と、その適用例を示した。

現在は、総合的な非定常風況予測システムを確立するため、地理情報システムGIS(Geographic Information System)との連携技術開発に着手している。これにより、任意の地形および建築物を構築でき、かつ得られた風速分布を法規制や地価などの情報とともに表示することが可能になる。この製品は来年早々に完成する予定である。RIAM-COMPACTのソフトウェア販売および受託解析サービスについては、(有)流体物理研究所(URL:<http://www.ifpj.com/>, Tel:042-373-1264, E-mail: tanabe@ifpj.com)に問い合わせいただきたい。

## 謝 辞

九大TLO(株式会社産学連携機構九州)の平田徳宏氏には、RIAM-COMPACTの実用化に際して多くの助言と協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 内田孝紀, 大屋裕二, 他3名, 土木施工, Vol.45, No.8, 2004, pp.49-55
- 2) 内田孝紀, 大屋裕二, 第23回風力エネルギー利用シンポジウム講演論文集, 2001, pp.195-198
- 3) 内田孝紀, 宮崎康伸, 大屋裕二, 鶴野伊津志, 第24回風力エネルギー利用シンポジウム講演論文集, 2002, pp.103-106
- 4) 内田孝紀, 阿部光一, 杉谷賢一朗, 大屋裕二, 第25回風力エネルギー利用シンポジウム講演論文集, 2003, pp.185-188
- 5) 稲垣昌英, 近藤継男, 長野靖尚, 日本機化学会論文集, B編, 68巻, 673号, 2002, pp.122-129
- 6) 大屋裕二, 烏谷隆, 桜井晃, 井上雅弘, 第23回風力エネルギー利用シンポジウム講演論文集, 2001, pp.76-79