

# ドップラーライダーと数値流体シミュレーションを用いた 3次元風況推定技術の開発

今城 勝治<sup>1</sup>, 伊藤 優佑<sup>1</sup>, 小竹 論季<sup>1</sup>, Saleh Nabi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 (〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1)

<sup>2</sup>Mitsubishi Electric Research Laboratory (201 Broadway, Cambridge, MA 02139)

## Development of reconstruction technique for 3D wind flow using Doppler lidar and computational fluid dynamics simulation

Masaharu IMAKI<sup>1</sup>, Yusuke ITO<sup>1</sup>, Nobuki KOTAKE<sup>1</sup>, and Saleh NABI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mitsubishi Electric Corporation, Information technology R&D center.,5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501

<sup>2</sup>Mitsubishi Electric Research Laboratory, 201 Broadway, Cambridge, MA 02139

**Abstract:** We have been developed the reconstruction technique for 3D wind flow using Doppler lidar and computational fluid dynamics. For simply calculation, the lidar data utilized for the initial wind flow condition in this study. The reconstruction results of wind flow provided visually recognizable information such as enhanced wind flow areas and high turbulence energy around the buildings, the simulation results are in good agreement with Doppler lidar data.

**Key Words:** Doppler Lidar, Computational Fluid Dynamics, Reconstruction

### 1. はじめに

ドップラーライダーは大気中の風向風速を遠隔計測するツールとして都市域や風力発電向けの風況アセスメント<sup>1,2)</sup>において広く活用されている。しかし、角度差のついた複数の照射ビームに対する各々の視線方向の風速分布からベクトル演算して風向風速を算出するため、照射ビーム角度差の中で風況が均一な平坦地形であるというのが前提である。そのため、複雑地形ではその地形情報に依存してベクトル演算時に補正する手法<sup>3)</sup>が一般的である。一方、都市域においては構造物などによって風況が乱れること、場合によっては照射ビームが遮蔽されてしまうことなど、ビームスキヤニングタイプのドップラーライダーを複数台用いた場合でも構造物の死角領域や細かな乱流計測に対しては限界がある。そこで今回、①構造物死角領域などの風況推定、②構造物周辺の乱流の動きの可視化、といった課題解決を目的とした3次元風況推定技術について検討を行った。

### 2. 3次元風況推定法の概要

#### 2.1 数値流体シミュレーション

ドップラーライダーで取得したデータを用いて、数百 m オーダ領域のマイクروسケールでの数値流体シミュレーションにて3次元風況を推定する手法について検討を行った。まず、対象領域の3次元構造モデルを作成し、構造物サイズに適した空間メッシュを設定した。図1に対象領域の3次元構造モデルに係わる図を示す。左図は今回検証を行った当社鎌倉市大船にある情報技術総合研究所の3次元構造モデルであり、複数の建物や南側のソーラーパネルを再現した。図中、垂直照射型ドップラーライダー<sup>4)</sup>をソーラーパネルの北側に設置している。右図は対象領域のメッシュのイメージである。メッシュサイズは計算する乱流の空間スケールに対して可変させるため、それぞれ解析領域外の平坦な空間では5m、構造物付近では1.25m、ソーラーパネルなど細かい構造物の境界では0.31mとし、今回の対象領域におけるメッシュ総数を1,656,263とした。

今回用いた流体解析シミュレーションには、オープンソースプログラムのOpenFOAM<sup>1</sup>を用いた。また、計算を簡易化するためにドップラーライダーで計測した鉛直方向の風向風速分布をライダー設置位置から数百 m 離れた解析対象領域の入力側境界条件に適用した。つまり風況に係わる境界条件は、垂直方向はドップラーライダーと同様の風向風速分布、水平方向は均一、である。さらに、ドップラーライダーでは平均風向風速を計測することから、レイノルズ方程式に基づく時間平均ナビエ-ストークスモデルである標準k-εモデルを乱流モデルとして用いた。

<sup>1</sup> <https://www.openfoam.com/>

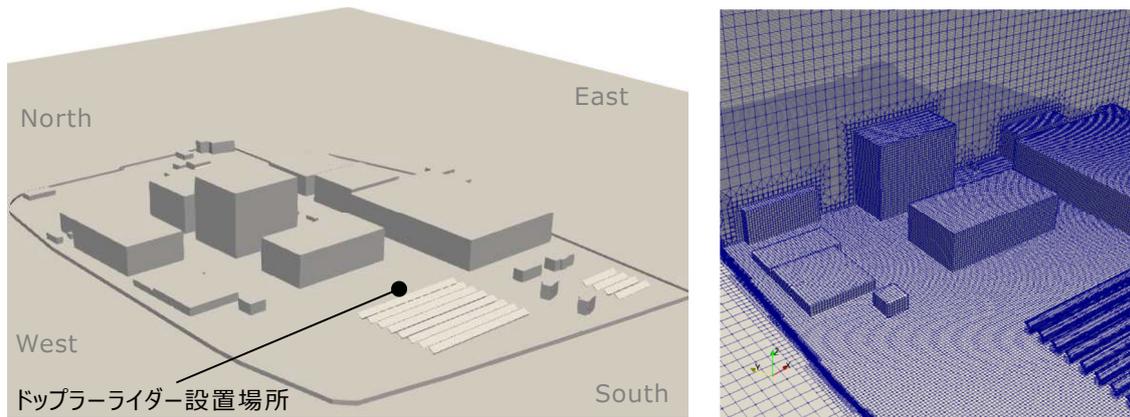


図1 シミュレーション対象領域の3次元モデル（左）とメッシュイメージ（右）

## 2.2 ドップラーライダーによる取得データ

ドップラーライダーによる計測は2021年2月15日から3月9日の期間で実施し、その内今回の流体解析に使用した風速分布は、乱流などの様子が顕著に表れると想定される風速が強い2021年2月20日15時40分のデータを用いた。ドップラーライダーによる計測高度は40mから200m、高度分解能は4mである。図2に設置したドップラーライダーの外観と流体解析に用いた取得データを示す。高度40mより低い領域について、水平方向風速はベキ乗則によりフィッティングし補間、垂直方向風速は0m/s、風向については高度40~200mの平均値をプロットした。

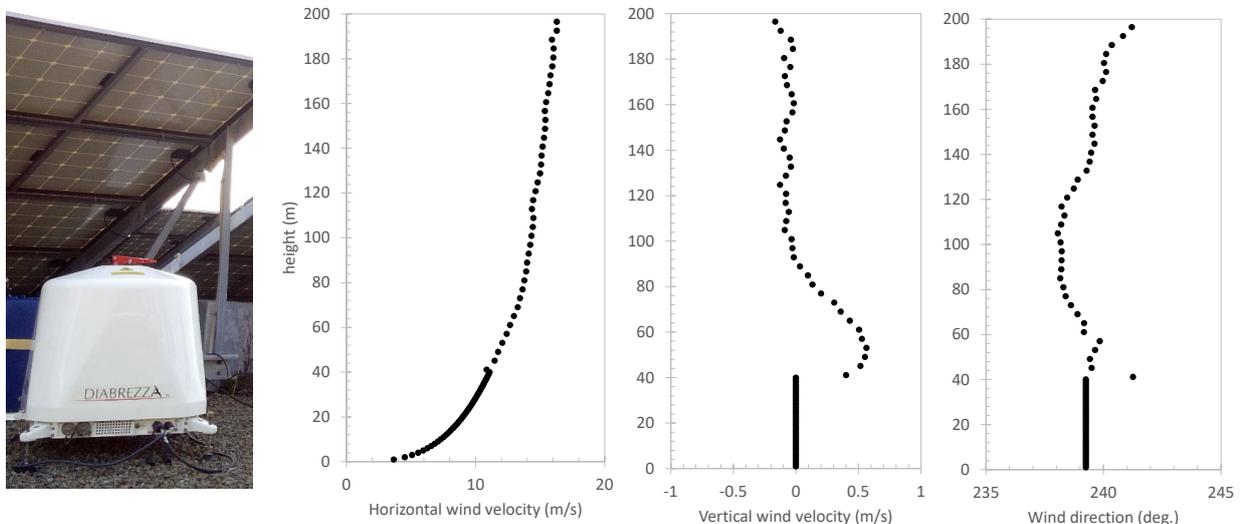


図2 ドップラーライダー設置外観（左）と計測データ（右）

## 3. 3次元風況推定結果

解析誤差を収束させるため、反復回数を10,000回として計算を行った。図3に解析結果を示す。流速分布では、構造物の裏側で流速が弱くなっている様子や構造物の間で流速が強くなっている様子が見られる。また、乱流エネルギーの分布では、構造物に対して風速があたっている面の乱流エネルギーが高くなっている様子が見られる。乱流エネルギーは平均流速からのずれの大きさを示すものであり、構造物に風がぶつかることで、圧力変動やはく離など、風が乱れることを意味している。ドップラーライダーと同じ座標に対する数値流体シミュレーション結果を抽出し比較した結果を図4に示す。ドップラーライダー計測結果に対してシミュレーション結果は全体的に若干マイナス側にオフセットしており、流入境界面からドップラーライダー設置位置が離れていることが要因であると推測される。しかしながらその傾向は良く一致しており、決定係数は0.9997と高精度で推定できていると言える。

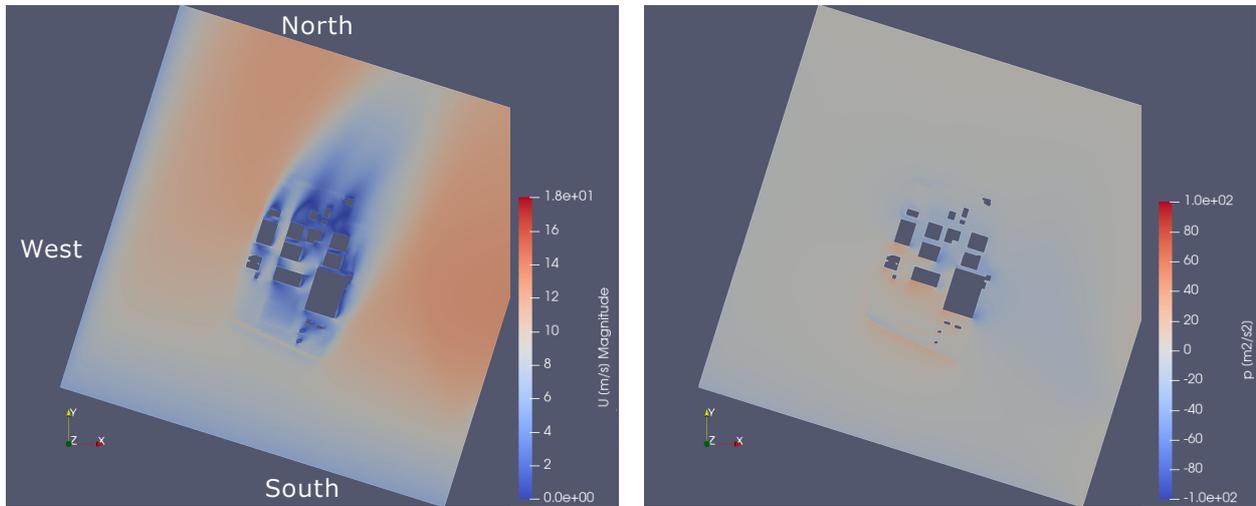


図3 数値流体シミュレーション結果 (左：流速、右：乱流エネルギー)

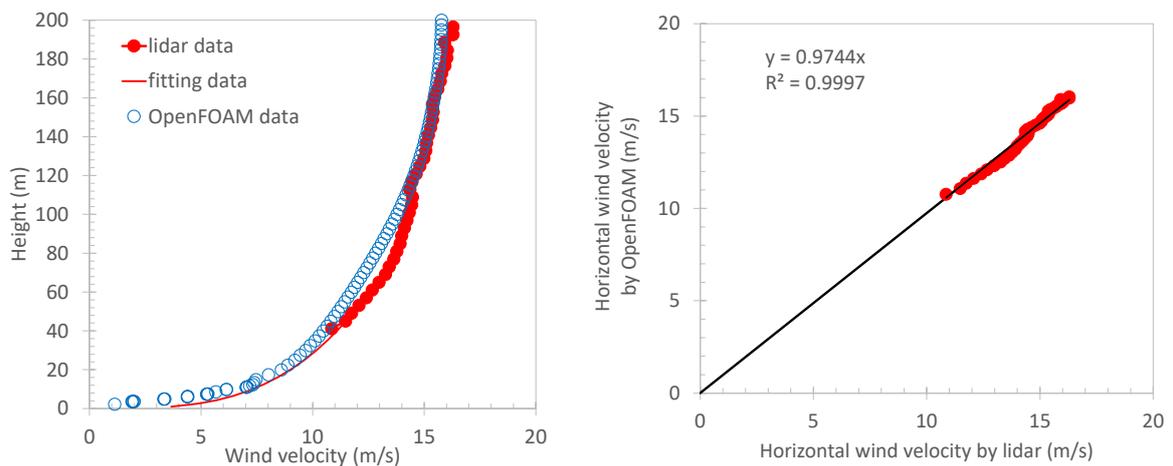


図4 ライダーデータと同じ座標に対する数値流体シミュレーション結果の比較 (左) と相関係数 (右)

#### 4. まとめ

ドップラーライダーの計測結果を数値流体シミュレーションの初期条件に適用することで、対象領域における3次元風況推定技術について検討を行った。今回は簡易的な解析とするため、ドップラーライダーで計測した鉛直方向の風向風速分布を数百m離れた解析対象領域の入力側境界条件に適用し解析を実施した。その結果、ドップラーライダー取得データとシミュレーションは良く一致した結果であることを確認した。また、3次元風況推定結果からは構造物の周辺において流速が強め合う領域や乱流エネルギーが高くなる領域など視覚的にも認識しやすい情報を得ることができ、本手法は、都市域における3次元風況モニタに有効であることが分かった。

#### 参考文献

- 1) 岸田他：ドップラーライダーによる都市上空の平均・変動風速の観測，第24回風工学シンポジウム，2016.
- 2) 今城：風計測ライダー適用に関する検討状況 -Task32 wind lidar-, 第10回 IEA Wind セミナー，2022.
- 3) S. Nabi *et al.*: Improving LiDAR performance on complex terrain using CFD-based correction and direct-adjoint-loop optimization. in Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2020. p012082.
- 4) N. Kotake *et al.*: Intelligent and compact coherent Doppler lidar with fiber-based configuration for robust wind sensing in various atmospheric and environmental conditions. Optics Express, 30(11), 20038-20062.