

ドップラーライダーを用いたデータ同化型 CFD における推定精度検証

今城 勝治, 小竹 論季, 伊藤 優佑

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)

Validation of Reconstruction Wind Accuracy for Data Assimilation CFD using Doppler Lidar

Masaharu IMAKI, Nobuki KOTAKE and Yusuke ITO

Mitsubishi Electric Corporation, Information technology R&D center, 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501

Abstract: We have been developed the wind field reconstruction technique by computational fluid dynamics using Doppler lidar. The feature of this technique is for reconstructing a wide-area wind field with few lidars. To simple experiment, we utilize the two lidars as initial wind flow condition and reconstruction data validation, respectively. We analyze statistically the correlation between reconstruction data and Doppler lidar data in this paper. There is a good agreement between validation lidar data and reconstruction results.

Key Words: Doppler Lidar, Computational Fluid Dynamics, Wind Field 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^{1,2)}において広く活用されている。大気中に浮遊するエアロゾルからの散乱光を受光することで、晴天中でも風況分布の計測が可能であるが、都市域のような構造物による死角領域が多い複雑地形の風況計測に対しては単一ライダーでの測定が困難であるため、実現には複数台のドップラーライダーを用いる必要がある。一方、流体運動に関する方程式を各種境界条件に基づき解析する数値流体解析 (CFD: Computational Fluid Dynamic) は、所定の空間の風況に応じて構造物周辺の乱流を含み計算することができることから、様々な風況を想定しビル風対策や耐風設計など都市設計等に適用されているが、オフラインによる解析に留まっている。我々は、遠隔にて風向・風速分布を計測できるドップラーライダーと、所定の3次元空間領域の風況を解析にて推定する CFD の両方の特徴を活用すべく、ドップラーライダーで計測した風況情報を用い、CFD により3次元空間の風況推定を実施するデータ同化 CFD の開発を行った³⁾。本技術は、実際に計測した風向・風速値を CFD 解析の入力条件としているため、構造物周囲における乱流などの解析結果に対して現実に近い値が得られることが特徴である。この特徴の確認のため、CFD 解析に使用する初期風向・風速分布を計測する初期値計測用ライダーと、領域内の所定の場所における風況推定精度検証のための評価用ライダーの2台を用いて風況計測を実施した。本稿では、評価用ライダーによる風向・風速分布とデータ同化 CFD による3次元風況推定精度の検証を行ったので報告する。

2. データ同化 CFD 実験概要

データ同化 CFD の検証は当社鎌倉市大船にある情報技術総合研究所敷地内にて実施した。図1に当地区の3次元モデルとライダー設置位置について示す。当地区では、主に南風や北風が多いことから、敷地内南側に初期値計測用ライダーを設置し、検証用ライダーはその風下側に設置した。使用したドップラーライダーはいずれも鉛直照射型⁴⁾であり観測高度は40mから250m、高度分布の表示分解能は最小4mである。また、初期値計測用ライダー設置付近には、ドップラーライダーで取得困難な高度40m以下の領域における風況をべき乗則にて算出するための超音波風向風速計 (VAISALA, WMT52) を設置した。データ取得は2021年2月15日から3月9日にて実施し、本検証では南風の時間帯に対して10分平均値を使用して解析した。

CFD は、オープンソースソフトウェアである OpenFOAM¹⁾を用い、当研究所敷地を含む周囲900m四方で高度200mの領域にて解析を行った。メッシュサイズは平坦な空間では5.00m、構造物付近では1.25m、ソーラーパネルなどの細かい構造物周辺では0.31mとし、メッシュ総数1,656,263とした。ソルバーは SimpleFoam、乱流モデルは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 モデルを用いた。また、入力側の風向・風速の初期条件はライダー計測値を用い、高度40m以下に対しては、水平風速はべき乗則フィッティング値、垂直方向風速は0m/s、風向は高度40~200mの平均値を用いた。

¹ <https://www.openfoam.com/>

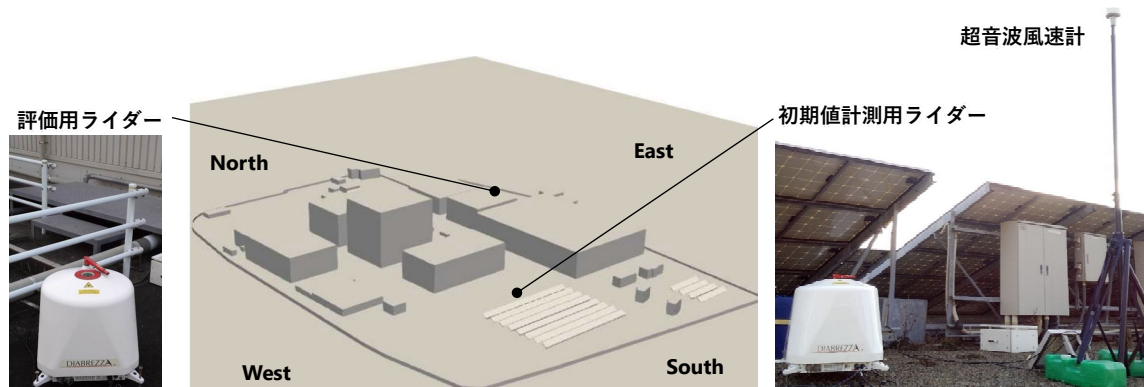


図1 当社情報技術総合研究所の3次元モデルとライダー設置位置

3. 解析結果

2021年2月28日15:20に取得データに対するデータ同化CFD結果を図2に示す。図中央は高度2mにおける水平風速のCFD結果であり、図左側は初期値計測用ライダーの水平風速高度分布とべき乗フィッティング値、超音波風速計計測値、その地点でのCFD結果の高度分布、図右側は評価用ライダーの水平風速高度分布とCFD結果の高度分布である。CFD結果は、ライダーデータに対して良く一致しており、最大誤差は0.3m/s以内であった。また、高度40m以下の推定値に関してはべき乗則ではない非線形な風速値が算出され、これはデータ同化CFDの最大の特徴である、周辺構造物に対する乱流を加味した推定の効果と推察される。

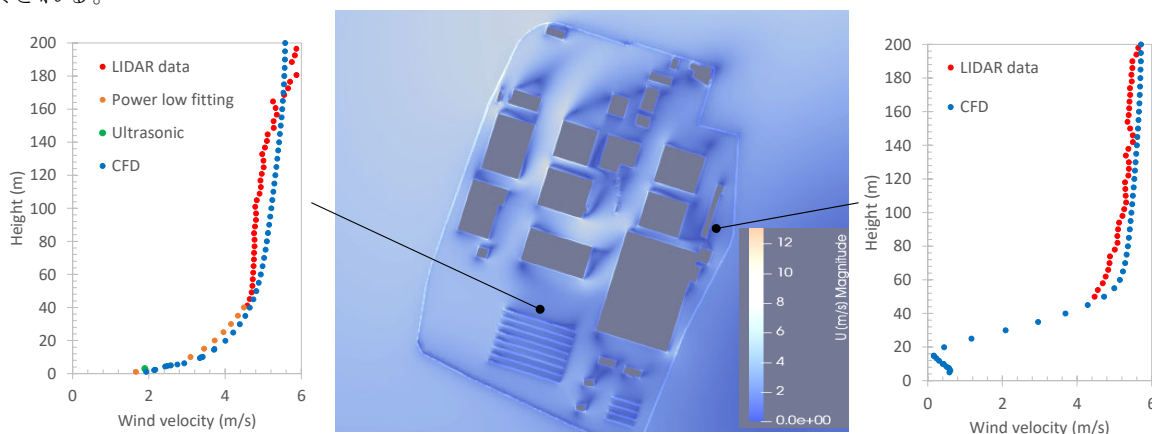


図2 ライダーとCFDによる水平風速の比較結果（2021年2月28日15:20取得データ）

4. まとめ

データ同化CFDに対する風況推定精度検証を行った。その結果、CFD結果はライダーデータに対して良く一致しており、最大誤差は0.3m/s以内であることが分かった。この結果は、ライダーでは取得困難な高度40m以下の風況推定値に対して、CFDの特徴である乱流を考慮した風況推定値が得られたことから、構造物や地形起因による乱流など、ライダーでは計測困難な領域に対する風況推定手法として有効であることを示すものである。さらに、長距離風測定が可能なライダーにおける広範囲計測に対して、所定の条件下においては本稿のような短距離風測定用ライダーを用いたデータ同化CFDが代替手法になりうることを示唆するものである。CFD解析の課題は計算に時間を要することであるため、今後は機械学習等を用いた計算リソース改善検討を進める。

5. 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) 今城：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，第40回レーザーセンシングシンポジウム D4 (2022).
- 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.