

銚子沖洋上観測タワーを用いたデュアルスキャニングライダーによる風速標準偏差の精度検証

Validation of Dual-Doppler LiDAR Wind Speed Standard Deviation Assessment Using the Met-mast at Choshi Offshore Site

○佐々木 亘¹⁾ 福本 幸成²⁾ 猪俣 海斗²⁾ 日東寺 美知夫¹⁾ 石原 孟³⁾
Watarut SASAKI¹⁾ Yukinari FUKUMOTO²⁾ Kaito INOMATA²⁾ Michio NITTOJI¹⁾ Takeshi ISHIHARA³⁾

1. はじめに

風力発電所の事業計画の検討、評価、また、風車設計には精度の高い風況データを取得することが重要である。しかしながら、特に洋上における風況観測マストの設置と施工には多大な時間的・経済的コストを要するため、近年ではリモートセンシング技術を活用したドップラーライダーによる風況観測が行なわれている。

これまでにドップラーライダーによる風速及び風向の精度検証研究が多く行われ^{1,2,3)}、ライダーによる風速・風向が高精度であることが報告されているが、乱流強度の観測精度についての研究は少ない^{4,5)}。

本研究では、デュアルスキャニングライダー (DSL) による洋上風況観測の精度検証を目的とし、銚子沖洋上風況観測タワー (以下、観測タワー) における三杯式風速計及び矢羽根式風向計による計測値を用いて、DSL による風速標準偏差の精度検証を行った。本論文では風況観測の概要と精度検証の結果を報告し、また、種本ら (2022)⁶⁾ による DSL の風速標準偏差の補正についての検証を行う。

2. 風況観測の概要

2.1 DSL による観測

Leosphere 社の WINDCUBE 400S を 2 台用いて銚子沖洋上の風況観測を行った。ライダーの計測位置は、双方のライダーの視線を観測タワーの北東側に位置する 40m (平均海面上) の風速計から反時計回りに 0.05° 回転させて交差した位置とし、60m 高及び 90m 高の計測位置についても観測高以外は 40m 高と同様とした。図 1 にライダー、観測タワー及び計測位置の位置関係を示す。

ライダーの観測モードは FIXED として、3 高度の観測を 20 秒の切り替え時間間隔で行った。ライダーの設定概要については、佐々木ら(2022)⁶⁾を参照されたい。

2.2 銚子沖洋上風況観測タワーによる観測

銚子沖 3.1km に設置された銚子沖洋上風況観測タワーにて観測された風況データを検証用データとして用いた。検証に用いたデータは、3 高度 (40m, 60m, 90m) に取り付けられた 3 台の三杯式風速計及び矢羽根式風向計を用いて観測タワーの影響を極力排除した風況データである⁶⁾。



図 1 ライダー設置位置と観測地点
Figure 1 Location of DSL and met mast.

3. 風速標準偏差の精度評価

DSL による風速、風向、風速標準偏差は既往研究の方法により算出し^{1,7)}、風速標準偏差の精度は、ビン加重平均誤差⁸⁾を用いて評価した。ビン加重平均誤差は式 (1) で定義される。

$$\sum_{k=1}^N f_k (\bar{\sigma}_{DSL,k} - \bar{\sigma}_{Tower,k}) \quad (1)$$

ここで、N は風速ビンの個数を表し、k=1, 2, ..., N である。f_k はタワーの風速計の k 番目の風速ビンの頻度割合を表す。σ_{DSL,k} と σ_{Tower,k} はそれぞれ DSL と観測タワーによる風速階級別の風速標準偏差 (σ_k) を表す。

1) 東電設計株式会社
Tokyo Electric Power Services Company, Limited

2) 東京電力リニューアブルパワー株式会社
TEPCO Renewable Power, Incorporated

3) 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 教授
Professor, Department of Civil Engineering, The University of Tokyo

表1 (補正前) に高度別のビン加重平均誤差を示す。ただし、式 (1) を観測タワーにおけるビン加重平均した風速標準偏差で除すことにより、相対誤差として表した。全観測高において、ビン加重平均誤差は約-20%であり、また、風速が高いほど、DSL の風速標準偏差が観測タワーの風速標準偏差よりも小さい傾向が見られた (図2)。

表1 補正前後のビン加重平均誤差

Table 1 Bin-weighted mean error of $\bar{\sigma}$ before and after correction

観測高	補正前	補正後
40m	-19.8	5.2
60m	-19.2	2.5
90m	-22.0	-0.4

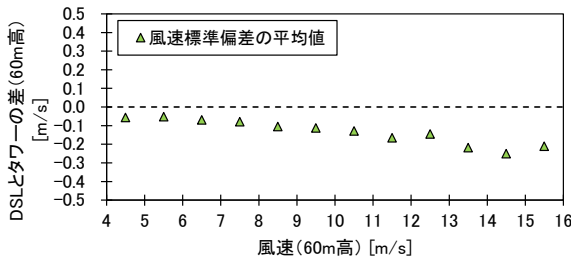


図2 DSL と観測タワーの $\bar{\sigma}$ の差 (DSL- 観測タワー)

Figure 2 Difference between $\bar{\sigma}_{DSL,k}$ and $\bar{\sigma}_{Tower,k}$ (DSL minus met-mast)

4. 風速標準偏差の補正

DSL の風速標準偏差の精度については、ビン加重平均誤差が5%以内であることが求められており、風速標準偏差の補正方法として、佐々木ら (2022)、種本ら (2022) の方法が提案されている。本論文では、種本ら (2022) が提案したシミュレーションを用いた補正方法について検証を行う。

種本ら (2022) による DSL の風速標準偏差の補正方法は、3次元ランダム風速場を空間解像度 1m, サンプル間隔 1秒で生成し、1秒毎の風速を DSL のレンジゲート長で空間平均化することにより補正を行う方法である。詳細については、種本ら (2022) を参照されたい。本研究では、種本らの方法と同様に、NREL (National Renewable Energy Laboratory) で開発された TurbSim を用いて風速階級別に 6 シードのシミュレーションを行った。

図3に補正前後のDSL と観測タワーの風速階級別の $\bar{\sigma}$ を示す。補正後のDSL の $\bar{\sigma}$ は概ね観測タワーの $\bar{\sigma}$ と同じ値となり、補正が良くできていることを示している。表1(補正後) に補正後のビン加重平均誤差を示す。補正により、ビン加重平均誤差は概ね5%以内となった。

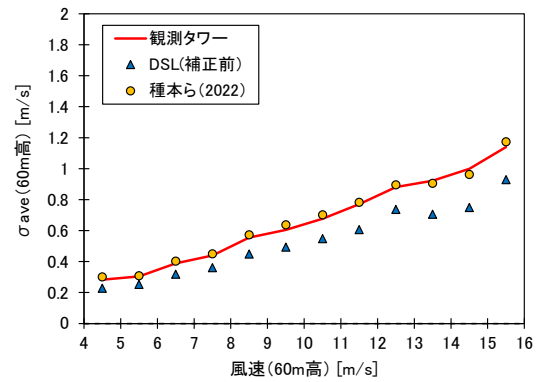


図3 補正前後のDSL 及び観測タワーの $\bar{\sigma}$

Figure 3 $\bar{\sigma}_{DSL,k}$ before and after correction, and $\bar{\sigma}_{Tower,k}$

5. まとめ

銚子沖の洋上 DSL 観測による風速標準偏差の平均値は、観測タワーの値に比較して約20%過小であった。本論文では、種本ら (2022) による風速標準偏差の補正方法の検証を行い、誤差が概ね 5%以内となることを確認した。

参考文献

- 渡邊慶一郎, 高桑晋, 邊見力, 石原孟, デュアルスキャニングライダーを用いた洋上風況観測に関する研究, Journal of JWEA, Vol. 45, No. 2, 2021.
- 嶋田進ら, むつ小川原サイトにおけるスキャニングライダー実験その2 デュアル観測の精度検証, 第43回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集, pp112-115, 2021.
- 大畑静佳ら, むつ小川原サイトにおけるスキャニングライダー実験その4 デュアルスキャン観測パラメータ設定と計測精度評価, 第43回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集, pp120-123, 2021.
- 佐々木亘, 福本幸成, 猪俣海斗, 日東寺美知夫, 石原孟, 第44回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集, pp.152-155, 2022.
- 種本純, 林岑蔚, 高橋和也, 隅田耕二, 白枝哲次, デュアルスキャニングライダーによる乱流強度観測値の補正に関する検討, 第44回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集, pp.156-159, 2022.
- 福本幸成, 大窪一正, 山中徹, 石原孟, 銚子沖における洋上風況観測結果, 第36回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集, pp. 225-228, 2014.
- Simon, E. and M. Courtney, 2016, A Comparison of sector-scan and dual Doppler wind measurements at Høvsøre Test Station – one lidar or two?, DTU Wind Energy. DTU Wind Energy Report E-0112.
- NEDO, 洋上風況観測ガイドブック中間報告, 2022.