

全光ファイバ型ドップラーライダーを用いた上層風測定—超音波風向風速計との比較結果

Upper-air wind observation with an all-fiber Coherent Doppler lidar system (Comparison of ultrasonic wind measurement sensor)

松田 知也¹、安藤 俊行¹、古田 匡¹、平野 嘉仁²、中山 隆晴³、大津 譲司³、込山 有人⁴

¹三菱電機㈱通信機製作所、²三菱電機㈱情報技術総合研究所、

³東京電力㈱福島第二原子力発電所、⁴東京電力㈱原子力技術・品質安全部

Tomoya Matsuda¹, Toshiyuki Ando¹, Masashi Furuta¹, Yoshihito Hirano², Takaharu Nakayama³, Joji Ohtsu³,
and Sumito Komiyama⁴

¹Communication Systems Center, Mitsubishi Electric Corporation, ²Information Technology R & D Center, Mitsubishi Electric Corporation, ³Fukushima Nuclear Power Plant, Tokyo Electric Power Company, ⁴Nuclear Power Engineering, Quality & Safety Management Department, Tokyo Electric Power Company

Abstract: An all-fiber coherent Doppler lidar has been developed by Mitsubishi Electric Corporation (MELCO). Concept of this lidar, which can detect upper-air wind speed and its direction up to 2km, is using eye-safety wavelength, compact-designed and comparably low-cost.

To evaluate its performances, we compared this lidar with an ultrasonic wind direction and speed sensor located at the top of the tower (103m height) in September, November and December /2004. We have gotten good result of coincidental relationships between those wind data detected (Correlation coefficient was 0.972), which means the lidar has a possibility to be one of the widely-used sensors for wind detection instruments in the near future.

1. はじめに

現在風向風速を測定する測器としては、三杯式風向風速計・超音波風向風速計が主として用いられている。しかしながらこれらの測定器は原理的に遠隔測定が困難であるため、上空数百 m の風向風速を測定する場合、高層建築物の頂上などに設置するしか方法がないのが現状である。最近ではウィンドプロファイラ・ドップラーソーダなどが風向風速の遠隔測定測器として販売されているが、前者は電波免許取得の問題、後者は騒音の問題で容易な導入が困難である。そこで三菱電機㈱では免許申請が不要・無音かつアイセーフ波長帯の近赤外光を用いた風監視用コヒーレントドップラーライダーシステムを開発した。本製品は設置の容易さ・比較的安価な構成であることから、上空の遠隔風向風速測定には適切な測器であるといえる。なお、安価に高出力光パルスが実現できる全光ファイバ方式を採用している。

2. 三菱電機㈱が開発したライダー

2.1. 測定原理およびシステム緒元

三菱電機㈱が開発したライダー (図 1) は、遠方空間 (～2km) の風速ベクトル測定を目的とした装置であり、測定方式は、パルスコヒーレントドップラー方式、すなわちコヒーレントなレーザパルス光を空間に放出

し、大気中のエアロゾル散乱光をヘテロダイン検波により検出する方式である。このため距離分解能はパルス長によって決定する。測定距離はパルス光のラウンドトリップ時間から、レーザ視線方向風速はエアロゾル移動に伴う周波数偏移 (ドップラーシフト) から算出する。なお送信パルス生成に全光ファイバ方式を取っているため、小型かつ安価に製造が可能となっている。水平風速は VAD 法 (Velocity Azimuth Display) により求める。VAD 法とは上空の風 (風向、風速) が一様と仮定した場合に水平面内の風速および風向を求める方法であり、水平面走査を行った際にライダーで測定される正弦波状の視線方向風速の振幅および位相を最小自乗近似することにより算出する方法である。主なシステム緒元を表 1、VAD 法の概要を図 2 に示す。



Fig1. Outlook of the all optical-fiber type Doppler Lidar developed by Mitsubishi Electric Corporation.

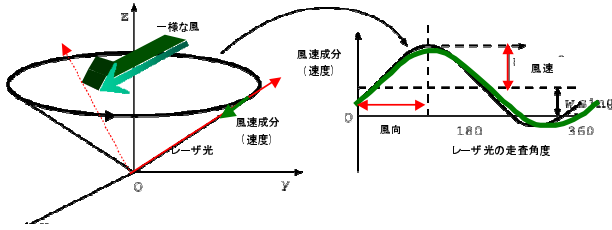


Fig 2. An image of VAD method.

Table1 Specifications.

	項目	仕様
1	最大測定範囲	1.5km(視線方向、75m 分解能)
2	距離分解能	30m/75m より選択
3	最大測定風速	30m/s 以上 (視線方向)
4	速度分解能	0.5m/s 以下
5	送信波長	1.5ミクロン帯
6	送信繰返し周期	4KHz
7	ビーム走査方式	2 段ウェッジプリズムによる光学走査方式
8	AD 変換レート	216MHz
9	光出力	10W
10	パルス繰返し周波数	4KHz
11	検波方式	ヘテロダイン検波方式
12	変調周波数	160MHz
15	ダイナミックレンジ	48dB
16	有効開口径	Φ110mm
17	出力データ	視線方向ドップラ速度、速度幅、S/N 比 風向風速の鉛直分布
18	電源	AC100V
19	消費電力	0.6KVA 以下

2.2. システム構成

図3にシステム構成を示す。本システムは送受信望遠鏡／スキャナ駆動部（光アンテナ）・光送受信部・スキャナ制御部・信号処理装置および制御表示装置（ノート PC）より構成される。光送受信部で生成されたコヒーレントレーザパルス光は光アンテナ部を介して空中に射出される。光アンテナ部上部には送信光角度を変化させることができるウェッジプリズムが二枚あり、このプリズムを制御することにより、送信光の水平面走査を行う。エアロゾル散乱光が光アンテナ部を介して光送受信部にはいり、ヘテロダイン検波後電気信号に変換される。電気信号は光送受信部にて FFT などの信号処理が行われ、モーメント法によりドップ

ラ速度（視線方向速度）を算出する。算出されたドップラ速度は制御表示装置で保存されると同時に VAD 演算処理を行い、水平風向風速を算出する。

2.3. ライダの長所および短所

本節では風監視ライダの長所および短所について、風向風速計・ドップラソーダ・ウィンドプロファイラとの比較との観点で列挙する。

2.3.1. 長所

- 1) 遠隔測定が容易である。そのため新たな建造物が不要である。また高層建築物が不要となることから落雷による機器破損の可能性が著しく低下する。
- 2) 測定時に音が出ず、周囲の音の影響を受けない。このため騒音について考慮する必要が無い。
- 3) 無線免許、電監申請等の諸手続きの必要が無く、自由に測定できる。よって容易に移設・運用中の条件変更が可能である。
- 4) ビーム径が極めて小さいため、主ビーム方向を任意の方向に向けることが可能となる。（ドップラソーダ、ウィンドプロファイラではビーム径が広がり広範囲な領域を測定しているため、主ビーム方向は直上である必要がある）
- 5) 地形反射・周辺建造物の影響を受けないため設置に際して周囲の建物の状況を考慮する必要が無い。ただし、測定方向が開けている必要はある。

2.3.2. 短所

- 1) 視線が遮断されるような気象条件（濃霧、豪雨雪等）下では、欠測となる可能性がある。
- 2) 大気中のエアロゾル量の変動により、測定データの質に影響が出る可能性がある。
- 3) レーザ光射出部位（ウィンドウ）の汚損により、測定への影響が出る可能性がある。

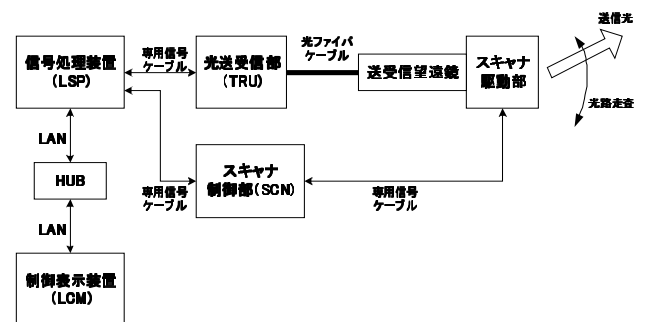


Fig 3. System Configuration

3. 超音波風向風速計との比較測定

3.1. 測定概要

図4に測定概要を示す。天頂より15°傾けて上空に光パルス射出し、水平面走査を行った。測定期間は、2004/9/10-9/17(連続1週間)、および2004/11/17-12/24(連続1ヶ月)の間で行った。測定データは気象観測鉄塔に取り付けられている超音波風向風速計と比較することにより検証を行った。

持ち帰ったデータについては、1回転/1分で水平面走査したデータに対して6分の平均処理を行った後、評価した。

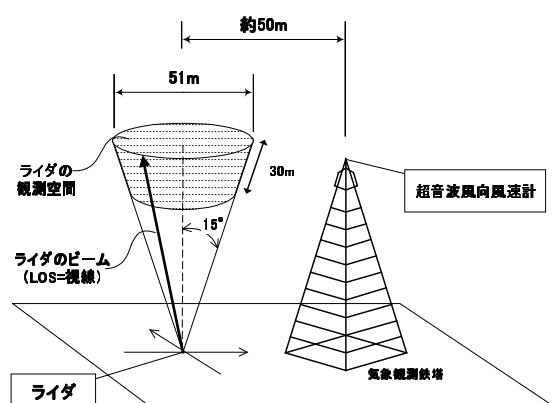


Fig 4. Outlook of measurement at Fukushima nuclear power plant.

3.2 結果および考察

連続1週間および連続1ヶ月で取得したデータの解析を実施した。連続1週間測定時のデータを図5～図7に示す。図5は風向風速計と本ライダの相関、図6および図7は風向風速の時系列データ比較である。

解析結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) ライダの連続動作：連続1週間および連続1ヶ月の連続運転ができたことより、ハードウェアが安定して動作したことを確認することができた。
- 2) 超音波風向風速計との相関：超音波風向風速計との相関も0.972(連続1週間測定時)と相関係数も良い値を示した。ただし、風速が大きくなるとばらつきが大きくなる傾向がうかがえる。
- 3) データ欠損：11月度測定時においては、降雨後にデータ欠損が発生していた(11月度測定の全期間に渡るデータ取得率は84%であった)。原因として、降雨後のエアロゾル量低下またはウィンドウ表面への雨滴などの付着により受信信号レベルが低下し、その結果ドップラ速度の誤検出が誘発されたことが考えられる。気象条件によるエアロゾル量の変動は避けられないのに対して、ウィンドウ表面の汚損については、雨滴を除去するなど対策は可能であ

る。したがって実運用化に際してはウィンドウ表面の汚損対策も検討事項とすべきである。

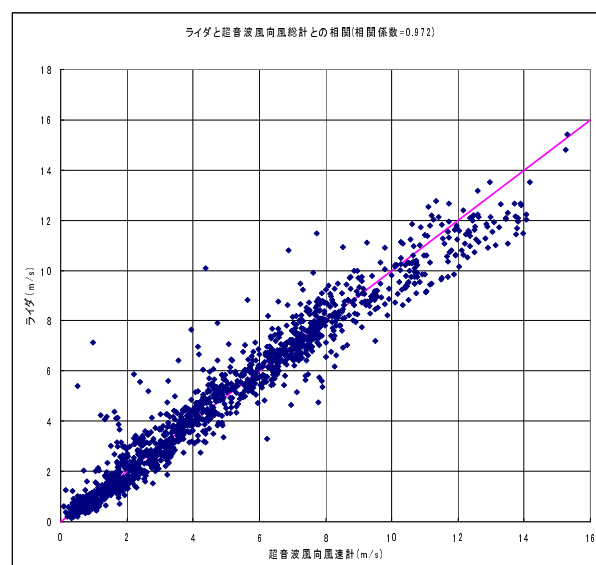


Fig 5. Correlation between the lidar and the ultrasonic wind direction and speed sensor (Correlation coefficient is 0.972)

4. おわりに

三菱電機㈱が開発したライダと超音波風向風速計との長期にわたる比較実験を行った結果、本ライダが連続1ヶ月稼動したこと、およびライダ性能が超音波風向風速計と同等レベルであることを示すことができた。反面、エアロゾル量変動およびレーザ光射出部位の汚損に起因すると思われるデータ欠損も確認され、実運用化への今後の課題も同時に認識することができた。

本測定結果より、ドップラーライダが風向風速測定における汎用測器になり得ることが示された。今後はさらに廉価かつ安定性のある製品開発に取り組む予定である。

5. 謝辞

本測定実験を行うにあたり、東京電力株式会社 福島第二原子力発電所殿より測定場所のご提供ならびに気象観測鉄塔における超音波風向風速計データのご提供および測定期間中の工事監理にご尽力をいただきました。ありがとうございました。

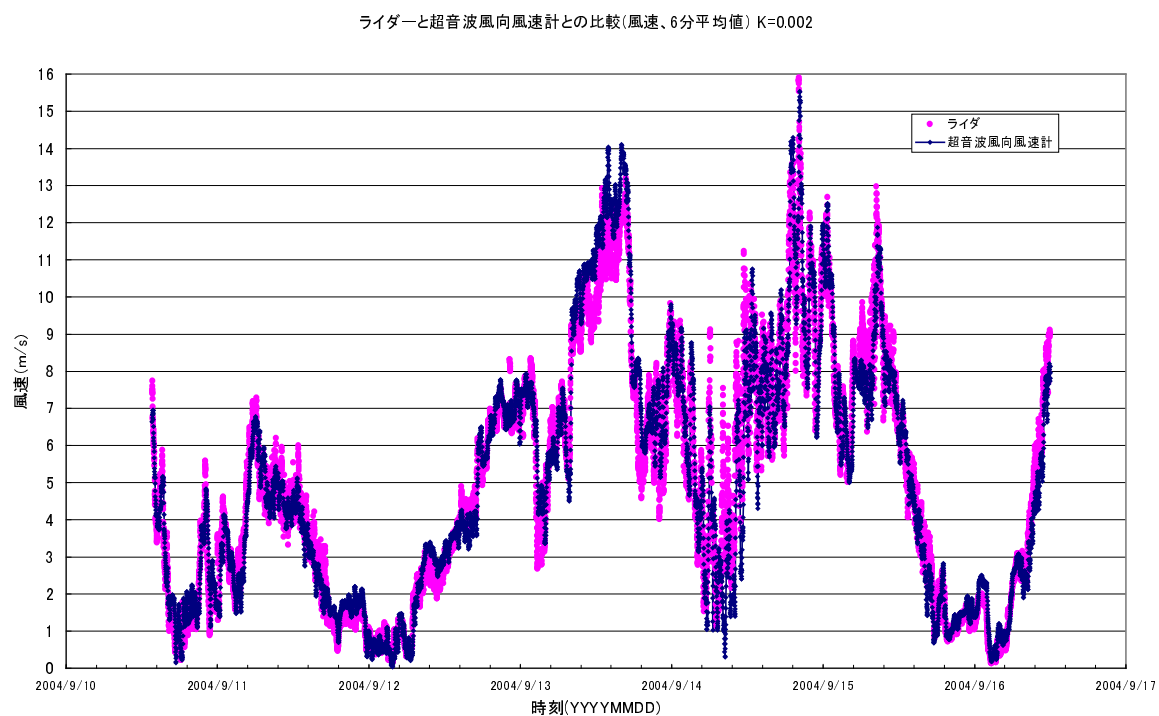


Fig 6. Comparison of wind speed between the lidar and the ultrasonic wind sensor.

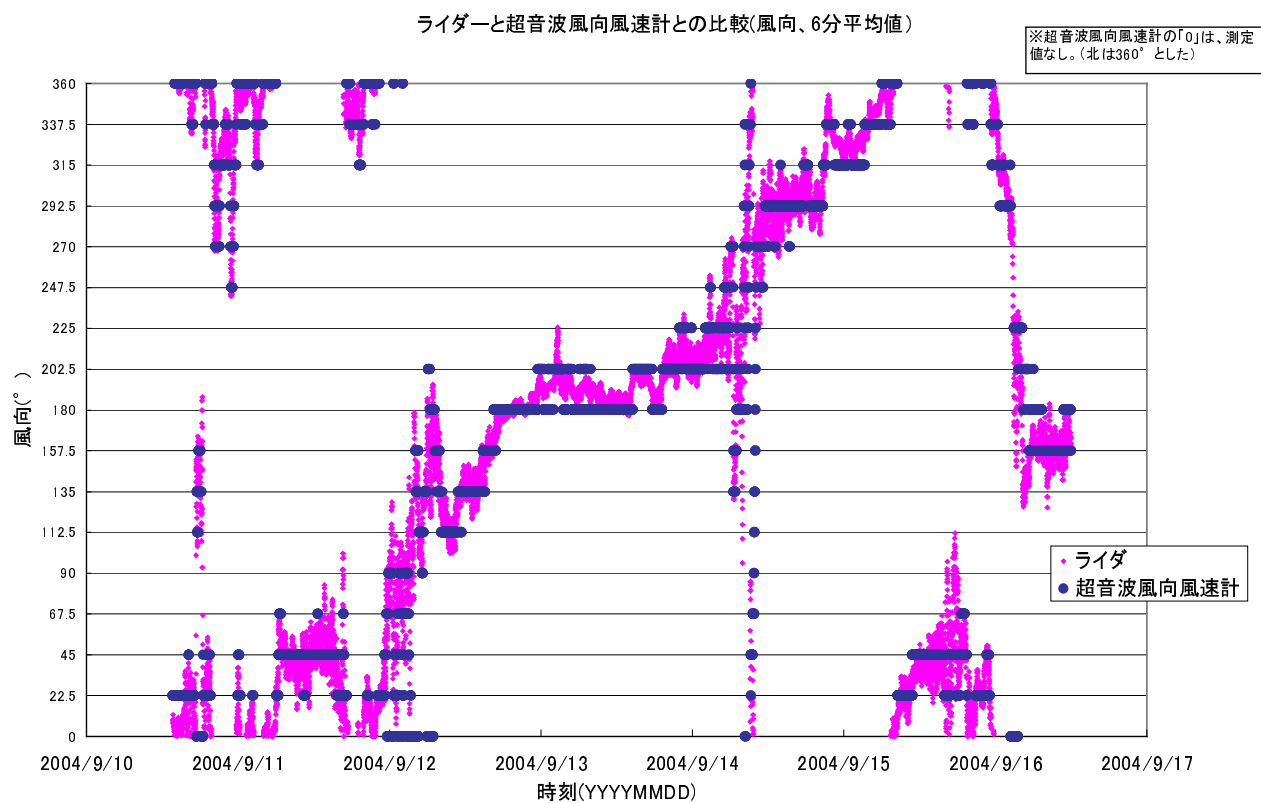


Fig 7. Comparison of wind direction between the lidar and the ultrasonic wind sensor.