

# 低コヒーレンスドップラーライダーの高感度化に関する考察

大久保 洗祐, 椎名 達雄

千葉大院 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

## Considerations on increasing the sensitivity for low coherence Doppler lidar

Kosuke OKUBO, Tatsuo SHIINA

Graduate School of Engineering, Chiba Univ., 1-33 Yayoicho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522 Japan

**Abstract:** Air pollution by particulate matter such as PM2.5 has become a big problem about negative impact in the human body near the ground. A Doppler lidar is a useful method for wind measurement because the spatial distribution of wind can be obtained without disturbing the wind field, while monitoring near the ground requires high spatiotemporal resolution of a few meters and seconds. We have developed a low coherence Doppler lidar (LCDL) with a high spatial resolution of 1m. To improve the sensitivity of the lidar, the optical system was changed from a bistatic system to a coaxial one. Compared to the previous setup, the sensitivity was improved by about 7 dB on rotating target experiment.

**Key Words:** Doppler lidar, low coherence, near range, high resolution

### 1. はじめに

世界人口の大部分が世界健康機関 (WHO) の定める大気環境基準を超える大気汚染によって健康を脅かされている。大気汚染の中でも粒子状物質、特に PM2.5 は粒径の小ささが故に、肺の奥深くや血流に入り込む可能性が指摘され、心血管、脳血管疾患および呼吸器への重大な影響を引き起こす<sup>1)</sup>。そのため地表近くの浮遊粒子状物質の流れやその風場を可視化・モニタリングすることは重要である。地表近くの風場は地形や構造物に依存して急峻かつ複雑に変化するため、計測には高時空間分解能が求められる。

ドップラーライダーは風場を乱さずに遠隔計測できるため有効な観測手段である<sup>2)</sup>。現行のドップラーライダーは鉛直上空の風場が対象であり、数十から百メートルの空間分解能かつ数分の時間分解能で計測している。一方で地表近くの風場は時空間スケールが小さく、現行のドップラーライダーでは計測が困難である。

本研究では地表近くの浮遊粒子状物質の流れや風場を空間分解能 1 m で計測することを目的とした Low Coherence Doppler Lidar (LCDL) の開発を進めている。これまでに開発した LCDL を用いて砂塵などを散布することで粉塵の速度幅や粒径分布など測定してきた<sup>3)</sup>。本報告では風場測定に向けて、LCDL の高感度化について考察したことを述べる。

### 2. 低コヒーレンスドップラーライダー (LCDL)

LCDL は低コヒーレンス光干渉計に基づいて、光ファイバーで構成されている。低コヒーレンス光源はコヒーレント光源に比べてスペクトル幅が広い。時間的コヒーレンスが小さいためコヒーレンス長が短くなる。現行のコヒーレントドップラーライダーの空間分解能はパルス幅に依存するが、LCDL の空間分解能はコヒーレンス長に依存する<sup>4)</sup>。目標地点のみで干渉信号が得られるため、高空間分解能での計測が可能となる。LCDL の光源には II-VI incorporated 社製の CM96Z400 の Distributed feedback laser diode (DFB-LD) を用いた。この DFB-LD のコヒーレンス長は 1m である。送信光出力は 0.35 W である。DFB-LD からの送信光の一部を 99:1 のファイバカップラで参照光として取り出す。参照光量は 1 mW で最適化される。送信光は光サーキュレータを通り、望遠鏡より測定対象に照射される。望遠鏡の開口径は 75mm である。対象からの後方散乱光を望遠鏡で受光し、50:50 のファイバカップラで参照光と重ね合わされる。参照ファイバの長さを任意に変更することで計測距離を変更できる。信号処理として FFT 解析を行う。サンプリングレートは 250 MSa/s であり、波形補足時間は 5 ms である。Fig.1 に LCDL の構成図と Table. 1 に LCDL のパラメータを示す。

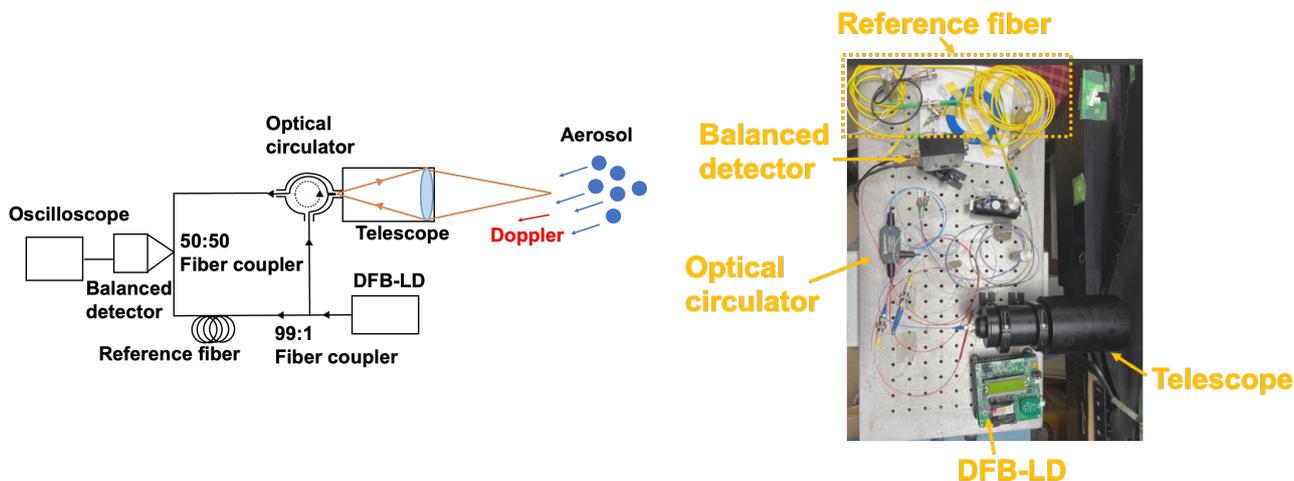


Fig.1 low coherence Doppler lidar configuration.

Table. 1. Specifications of Low coherence Doppler lidar.

Component	Qualification	Specification
Transmitter	Center wavelength	975 nm
	Laser power	0.35 W
	Coherence length	1m
	(Drive current, temperature)	650 mA, 25°C
Receiver	Diameter of aperture	75 mm
	Bandwidth of balanced detector	200 MHz
	Sampling rate	250 Msa/s
	Sampling time	5 ms

### 3. 低コヒーレンスドップラーライダーの高感度化に関する考察

近距離の風場計測を可能にするために LCDL の高感度化について検討した。これまでの LCDL のセットアップはバイスタティック型であり、システム効率を最大にするためには送受信視野を完全に一致させる必要があり光軸調整が困難であった。そのため受信ファイバへのカップリング効率は 15 %にとどまっていた。そこで Fig.1 に示したように光サーキュレータを用いることで送受信同軸型にした。受信ファイバへのカップリング効率を調べると、およそ 50 %まで上昇し 5 dB 分システム効率が改善した。

また計測距離の最適化によるライダーシステムの高感度化を検討した。近距離計測では受信ファイバのコア径よりも望遠鏡で受信された後方散乱光の集光サイズが大きくなり受光効率を低下させてしまう。そこで計測距離に対する集光サイズをレンズの公式より計算し、受信コア面積と比較した。受信コア面積に対しての集光面積を効率とし、1 となる時が完全に重なる時である。Fig.2 に計算結果を示す。計測位置でのレーザーの大きさは 3mm、受信レンズは 2 枚使用していて焦点距離 150 mm、φ75 mm のレンズと焦点距離 2mm のレンズである。レンズ間を 148 mm で計算すると合成焦点距離は 75 mm と求まる。この合成焦点距離を用いて倍率を求め効率を求めると、測定した効率と非常によく一致した。この時効率が 1 となるのは計測距離を 22 m 離れた時である。また焦点距離 150 mm のレンズから焦点距離 75 mm のレンズに変えて計算すると 9 m というさらに近距離で効率が 1 となる。現在 LCDL の測定距離を 10 m 前後としているため短焦点レンズか、少し測定距離を伸ばすことで LCDL を高感度化できる。

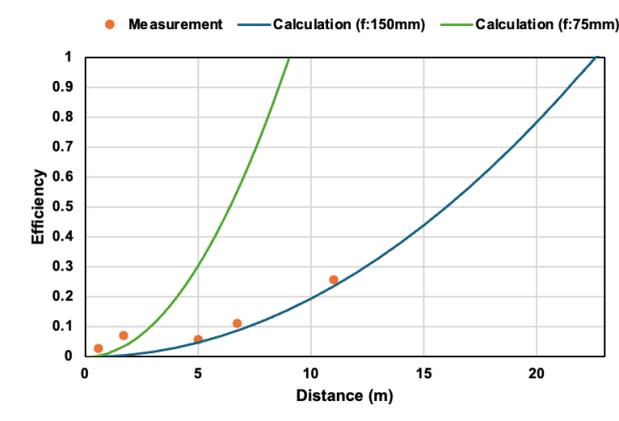


Fig.2 Calculation of receiving coupling efficiency versus measurement distance.

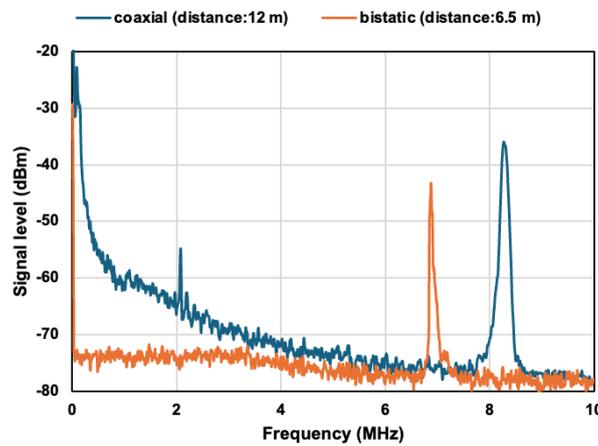


Fig.3 Calculation of receiving coupling efficiency versus measurement distance.

回転体を用いて干渉信号の大きさから高感度化について評価した。回転体を 6.5 m 先に置いて計測を行ったバイスタティック型では SN 比はおよそ 35 dB であるのに対し、12m 先に置いた同軸型での計測では SN 比がおよそ 42 dB と 7 dB 分大きくなった。この結果は同軸にしたことによる 5 dB の改善に追加して、距離を離れたことによる効率が 2 倍となった 3 dB の合計とおおよそ一致する。

#### 4. まとめ

風計測に向けて開発した LCDL の高感度化に関する考察を行った。送受信を同軸にすることや距離を最適化することで SN 比を向上することができた。実際に回転体を用いた比較実験では以前のバイスタティック型より同軸型の干渉信号は 7 dB 大きくなった。現在では研究室内ベースで風洞を用いて安定した風場の測定に取り組んでいる。風場を安定の度合いによって速度幅や SN 比への寄与を調べていく。

#### 参考文献

- 1) Jianhua Wang, and Susumu Ogawa, International Journal of Environmental Research and Public Health, 12, 8, (2015).
- 2) Kameyama, S., Ando, T., Asaka, K., Hirano, Y. & Wadaka, S. Appl. Opt. 46, 1953-1962 (2007).
- 3) Kosuke Okubo, Nofel Lagrosas and Tatsuo Shiina, Scientific Reports 13, 4086(2023).
- 4) Zhengliang Liu 1, Janet F. Barlow, Pak-Wai Chan, Jimmy Chi Hung Fung, Yuguo Li, Chao Ren, Hugo Wai Leung Mak, and Edward Ng, remote sensing, 11, 2522, (2019).