

多波長 LED ライダーの特性評価

シャフケティ アリフ, ラゴロサス ノフェル, 椎名 達雄
千葉大学大学院工学研究院 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

Characterization of Multi-Wavelength LED Lidar

Alifu XIAFUKAITI, Nofel LAGROSAS, and Tatsuo SHIINA
Chiba Univ., 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba, Chiba 263-8522

Abstract: A multi-wavelength lidar system with a Light Emitting Diode (LED)-based light source is designed and developed to monitor near-surface atmosphere at nighttime. The LED light sources with wavelengths of 365, 450, 525 and 630 nm are used as lidar transmitters to detect hard target and atmospheric echoes. The pulse circuit for realizing the pulsed oscillation of the LED lights is applied by the avalanche breakdown of the transistor. These LED pulsed lights can be synchronized by serially concatenated to the circuit. The LED has a pulse width of around 17 ns, repetition frequency of over 250 kHz, and each peak power of up to 2 W. With these LED transmitter characteristics, the lidar system accomplishes monitoring the atmosphere's rapid activities in the near-range measurement. This report discusses the characterization and practical test of the multi-wavelength LED lidar.

Key Words: LED pulsed light, multi-Wavelength lidar, photon counting

1. はじめに

ライダーシステムによるリモートセンシングでは、大気汚染の変動が観測でき、大気の光学特性の推定において有用な情報を提供する¹⁾。ライダーに使用したレーザー光源は動作寿命が短く、連続的な動作に伴い出力や安定性の低下を引き起こす²⁾。長寿命の動作をもつ LED 光源は、発光させ続けても低温で、発光効率が低下せず、調色・調光・点滅が自在、防水構造も容易という特長があり、ライダーの送信システムに応用することで連続的でより安定的な長期観測の実現が可能となる。ライダー送信光を LED としたことでレーザーよりも紫外から近赤外に渡る広い波長範囲を自由に選択でき、低消費電力で、機器使用の際の安全性も確保できる。先行研究では、独自に開発した LED ライダーによって局所大気の静的インタラクションの可視化が実現できた³⁾。本研究では、簡易に移動できる多波長 LED ライダーを開発し、地表付近における多目的リモートセンシングを目指す。多波長化かつパルス化した LED ライダーを開発することで、低層大気における大気エアロゾルの粒径分布とオングストローム指数を導出することが可能となる。本報告では LED ライダーの特性評価について、四波長で LED のパルス化、高い繰り返し周波数により短時間におけるハードターゲット計測と低層大気計測を報告する。

2. システム構成と解析方法

2.1 多波長 LED ライダー

多目的リモートセンシング用多波長 LED ライダーシステムの構成を Fig.1 に示す。それぞれ、365 nm, 450 nm, 525 nm と 630 nm の四波長で LED のパルス化を行った。パルス回路では、トランジスタの Avalanche Breakdown によるパルス発振を採用した⁴⁾。Avalanche Breakdown は高い電圧を印加することで半導体中の自由電子を増加させる現象であり、本ライダーシステムでは 17 ns のパルス幅と 2 W の尖頭出力をもつ LED の発光が実現できた。送信光学系が最適なコリメートになるため、異なる焦点距離のレンズと LED 光源の組み合わせで 20 mrad のビーム広がりを得た。受光光学系は、直径が 153 mm ϕ の望遠鏡と 8 mm ϕ のピンホールで構成され、5 mrad の受信視野を設定した。LED ライダーは送信光量が小さい (<10 nJ) ため、受光量は離散的なフォトンカウントし、500 kHz の高い繰り返し周波数に追従するマルチチャンネルケーラとフォトンカウンティング法を利用することで表層大気のエアロゾル動きを実現できた。実測に 1000 万回積算回数と 5 ns の bin 幅 (時間分解能) を使用した。

2.2 解析方法

多波長 LED ライダー水平観測による解析では、バックグラウンド補正と距離二乗補正を行った後方散乱光信号の移動平均を行い、有効な信号を選択した。レーザー用いたライダーでは、ビーム広がりを受光広が

りより狭いため、視野ごと完全に重なる（重なり関数 $Y(z) = 1$ ）。しかし、LED を用いたライダーでは、ビーム広がり受光広がりより数倍も大きいため、LED 光量の一部しか受光視野に入らない。ここで、実際の大气消散係数を算出するため、LED ビームの重なり関数 $Y(z)$ を用いて受光信号を補正する必要がある。近傍での重なり関数と遠方でのノイズの影響を除いて大气境界層内のエアロゾル消散係数を解析するため、Slope 法⁵⁾を用いて参照距離での消散係数の値を算出し、Klett 法⁶⁾を用い、消散係数の距離依存性を求めた。

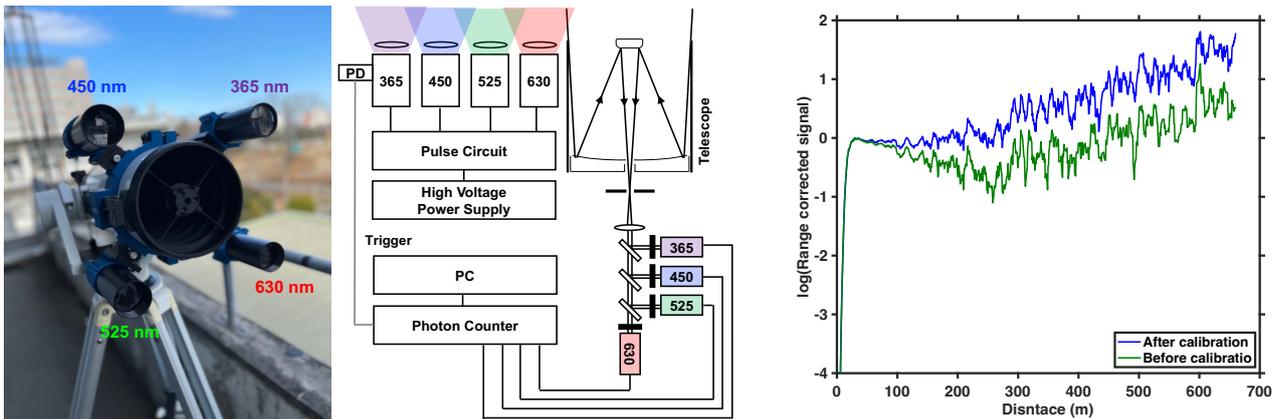


Fig. 1 (a) Schematic diagram of the multi-wavelength LED lidar system and logarithm range corrected signals calibrated from overlap function of LED lidar.

3. 結果と考察

多波長 LED ライダーを用いたハードターゲット計測で取得した後方散乱光信号の結果を Fig.2 に示す。ライダーシステムから約 40 m の場所にある建物をハードターゲットとして用いられた。後方散乱光信号では、距離 40 m 付近に高いピークが建物の信号として表示された。また、距離 0~30 m の範囲に建物の信号よりも小さい大气信号が表れた。波長チャンネルが 365 nm の場合、4 つの波長の中で最も高い出力をもつため、ハードターゲットの最大信号が得られた。つまり、ハードターゲット信号の順序から LED パルスの出力に依存することが確認できた。

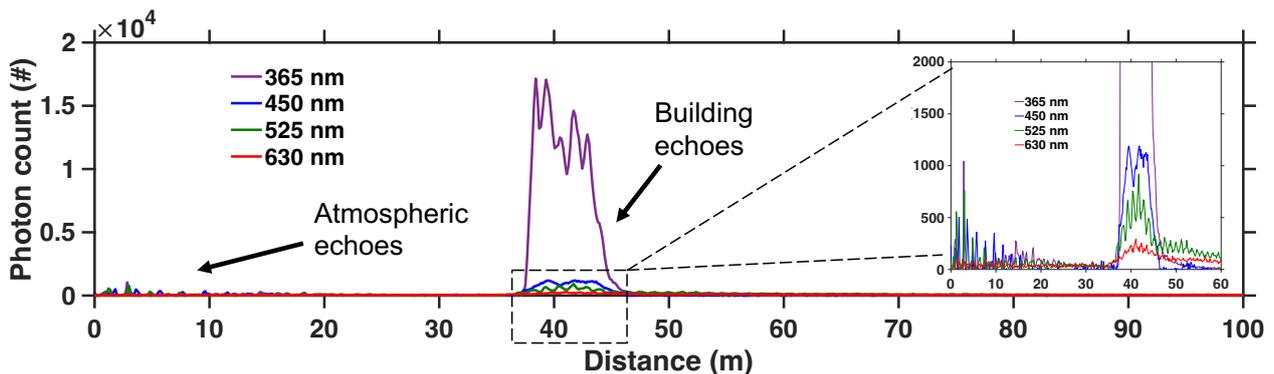


Fig. 2 Hard target observations using the multi-wavelength LED lidar.

多波長 LED ライダーシステムとネフェロメーターは、千葉大学の環境リモートセンシング研究センターへの 9 階屋上に設置し、2022 年 5 月 5 日 22:00 から 5 月 6 日 04:30 まで連続的に同時計測を行った。計測場所の特性は、交通混雑の高速道路方向に 2 km、工場と船舶の入出港が多い東京湾方向に 3 km の距離を持ち、各種類のエアロゾル観測が可能である。LED パルス光は水平方向より 5° の仰角で南西方向（225°）の東京湾上大气に出射される。ライダーデータの解析では、Slope 法と Klett 法より大气の全消散係数が得られ、完全重なり距離における波長 365 nm と 450 nm の全消散係数の時間分布を Fig.3 (a) に示す。その結果、同様の時間変化を示し、短波長の散乱が強いため波長 365 nm の全消散係数は 450 nm の値より大きくなった。さらに、波長 450 nm における LED ライダーの全消散係数とネフェロメーターの散乱係数は同様な平均値を表す。Figure 3 (b) と (c) に波長 365 nm と 450 nm の全消散係数の時空間分布を示し、大气変動

が弱いため両方の波長で得た全消散係数に顕著な変化がなかった。同じ場所で測定された気象モニター (Davis Vantage Pro2) の記録によると、相対湿度は 10% (80%から 90%) しか変化せず、この全消光係数の時空間は多波長 LED ライダーの計測安定性を示している。昼間の測定の場合 (04:30 以降)、背景光量が高いため、後方散乱信号を観測できなく、04:00 から徐々に測定範囲が狭くなった。

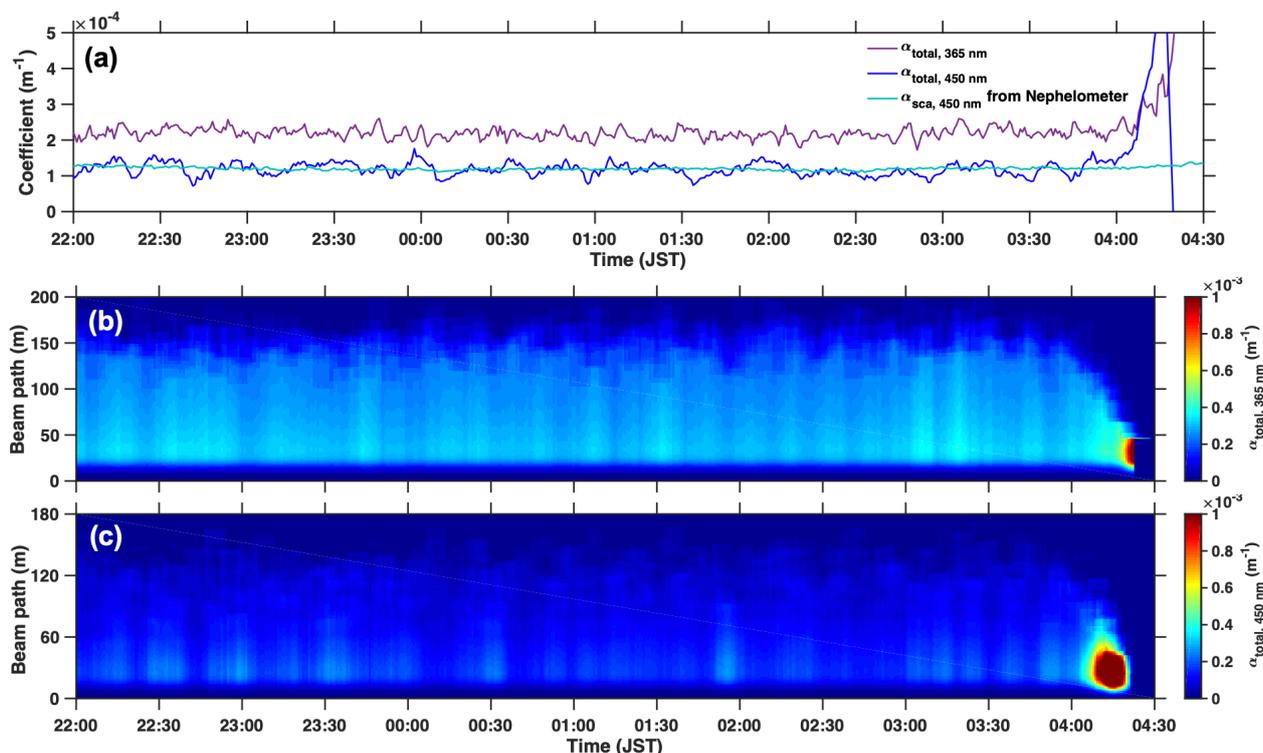


Fig. 3 Temporal variations of multi-wavelength lidar measurements, and nephelometer observed for the period from 5 May to 6 May 2022: (a) total extinction coefficient from the LED lidar, scattering coefficient from the nephelometer, (b) 365 nm, and (c) 450nm space-time indications of total extinction coefficient from the Klett analysis of the LED lidar data.

4. まとめ

本研究では、多目的リモートセンシング用多波長 LED ライダーシステムの設計、開発および特性評価を行った。LED 光源は四波長でパルス化に成功し、17 ns のパルス幅、250 kHz 以上の繰り返し周波数、および 2 W の尖頭出力を得た。波長 365 nm、450 nm、525 nm と 630 nm の LED パルス光を用い、ハードターゲットの検出に成功した。大気計測では、Slope 法と Klett 法を使用して 365 nm と 450 nm の全消光係数が取得され、ネフェロメーターの値と一致した。今後、次の段階として多波長観測データを使用し、大気エアロゾルの粒径分布とオングストローム指数を解析する予定である。

参考文献

- 1) C. Weitkamp: *Lidar, Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere* (Springer, New York, NY, USA 2005).
- 2) A. Xiafukaiti, N. Lagrosas, P. M. Ong, N. Saitoh, T. Shiina, and H. Kuze: *Appl. Opt.* **59** (2020) 8014.
- 3) T. Shiina: *Sensors* **19** (2019) 659.
- 4) J. Williams: *30 nanosecond settling time measurement for a precision wideband amplifier* (Linear Technology Application Note 79, 1999).
- 5) G. J. Kunz, and G. Leeuw: *Appl. Opt.* **32** (1993) 3249.
- 6) J. Klett: *Appl. Opt.* **24** (1985) 1638.