

LD ミニライダーによる霧・煙の可視化と定量評価

志田 侑翼¹, 田中 雅之², 中居 道弘², 花島 正和², 椎名 達雄¹

¹千葉大学 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生 1-33)

²株式会社オプトゲート (〒341-0037 埼玉県三郷市高州 2 丁目 210-1)

Visualization and quantitative evaluation of fog and smoke by using LD mini-Lidar

Yusuke SHIDA¹, Masayuki TANAKA², Michihiro NAKAI²

Masakazu HANASHIMA², Tatsuo SHIINA¹

¹Chiba Univ 1-33, Yayoicho, Inage Ward Chiba City, Chiba 263-8522

²OPTgate Co.,LTD, 2-210-1 Takasu, Misato-shi, Saitama 341-0037

Abstract: The objective of this study is to design and develop a mini Lidar using a 405 nm LD as a light source and to observe and evaluate the initial behavior of fog and smoke. In the experiment, fog and smoke generated in a 1 m³ chamber were observed with this LD-mini-lidar. The results showed a linear correlation between transmittance and Lidar counts in the transmittance range above 90%, indicating a difference in light attenuation between fog and smoke.

Key Words: LD, mini-lidar, smoke, fog, quantitative evaluation.

1. はじめに

霧や煙の発生初期の挙動を捉えることは、危険予測や安全対策への期待ができる。現在、前方散乱計や煙探知機等の技術が霧・煙を捉えるために用いられているが、計測範囲が限られていること、時間応答が遅いことが課題となっている。霧や煙は変化の時空間スケールが小さいことにより、高速で高分解能な計測が必要となる⁽¹⁾。一方でライダーはそのような現象を計測することが可能であり、大気状態の観測に広く使用されている⁽²⁾。しかし、一般的なライダーでは、大きさが 1m³ 以上と大きく、測定時間も長いため、時空間スケールの小さな変化が起こる低層大気や閉空間などの局所大気内での適用には工夫が必要となる。

本研究では、LD ミニライダーを開発し、観測エリア内の霧・煙の初期挙動を可視化させ、ライダーエコーと透過率の時間変化の比較評価を行うことを目的としている。小型化の一方で、光源に LD を、受信システムではフォトンカウンターを用いて積算回数を上げることで、近距離範囲で高速・高感度での測定を可能にしている。

2. 実験装置

2.1 LD ミニライダー

LD ミニライダーの仕様を Table.1 に、外観を Fig.1 に示す。光源の LD(Laser Diode)はパルス回路を用いてパルス発振を行っている。光源の波長は人の眼に対する安全性を考慮して、405nm を選択し、さらに繰り返し周波数やパルス幅を調整することで、尖頭出力が 0.582W(平均 3.60mW)になるようにした。受信部に関しては、受光視野を 0.375mrad とすることで、狭い空間においても狙ったエリアのみの計測が可能である。ライダー全体の大きさとしては、(縦幅×横幅×奥行) = (60mm×100mm×280mm)であり、監視カメラほどの大きさとなっている。約 1.5kg の重さであるため、容易に持ち運び計測が可能である。ライダーサイズを小さくした一方で、高感度な測定を可能にするために、フォトンカウンティング法を利用して一回の測定当たり 100 万回の積算、bin 幅を 1ns とすることで、0.15m の空間分解能と 1.7s の時間分解能での計測を行った。

Table.1 Specification of LD-mini-lidar

Transmitter	
Light source	LD
Center wavelength	405nm
Pulse width	10.4ns
Repetition rate	595kHz
Peak power	0.582W (Ave.3.60mW)
Beam spread angle	0.08mrad-0.44mrad
Receiver	
Aperture diameter	50mm
Interference filter transmission wavelength	405 or 785nm
Receiver field of view	0.375mrad

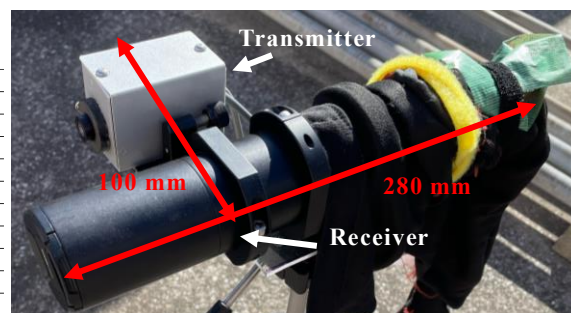


Fig.1 LD-Mini-lidar

2.2 測定用チャンバー

初期的な挙動に近い濃度の薄い霧や煙を安定して測定するために、 1m^3 の測定エリアを持つチャンバーを作成した。作成したチャンバーを用いて、霧や煙などをチャンバー上部空間に注入し、各実験ごとに一定時間安静させたのちに、チャンバーの上部空間と測定エリアとを仕切る仕切りを動かし、測定エリア内に対象物を導入し、測定を行った。霧は Fog machine を用いて人工的に発生させたものを用い、煙には線香の煙を使用した。このチャンバーには、透過率計を設置し、その透過率とライダーカウントとの関係を求めた。

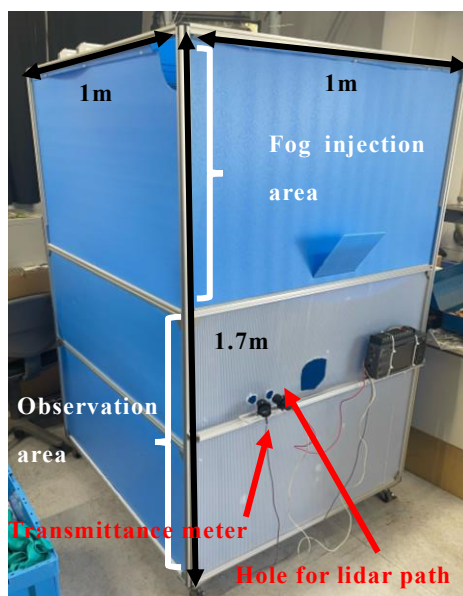


Fig.2 Outline of Chamber.

3. 観測結果と解析

3.1 霧の測定結果

測定は 2024/05/09 の午後 7 時ごろから千葉大学工学系総合研究棟 9 階にて行った。チャンバーはライダーから 15m 先の場所に設置し、測定は約 10 分の連続測定を行った。横軸に計測時間、縦軸にライダーカウントとしてカラースケール表示した霧の信号を Fig. 3 に示す。霧が噴出されてから 3 分後にライダー測定を開始した。ライダーカウントは測定開始からゆっくりと減少をし、350s 以降にカウントが 5000 以下になった。チャンバー内に取り付けられた透過率計による同時刻での測定結果を横軸に、縦軸ライダーカウントとしてプロットしたものを Fig. 4 に示す。

Fig. 4 の結果において透過率が 80%以上の範囲において透過率とライダーカウントの間に線形な相関がみられた。この時の相関係数 R は-0.973 であった。Fig. 4 の結果から、この LD ミニライダーは霧発生初期に近い 90%以上の透過率範囲での測定が可能である。また、80%以上の透過率において、線形を示すことからライダーカウントを基にして、透過率の値を推測することが可能である。一方で、今回のデータでは 98%以上の透過率の値が確認できないが、測定時間を長くすることや、霧の出し方を工夫した別のデータでは既に 98%以上の測定においても同様の相関を持つことを確認している。

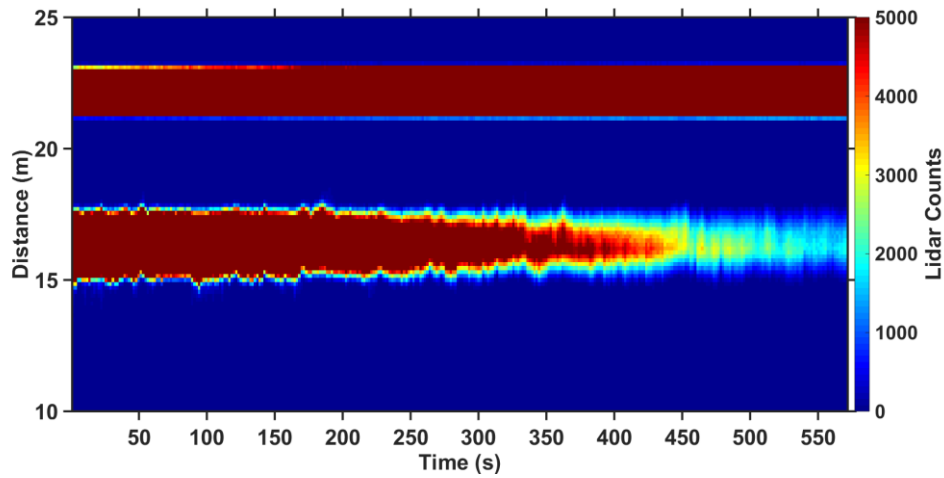


Fig.3 Fog observation result by mini-lidar.

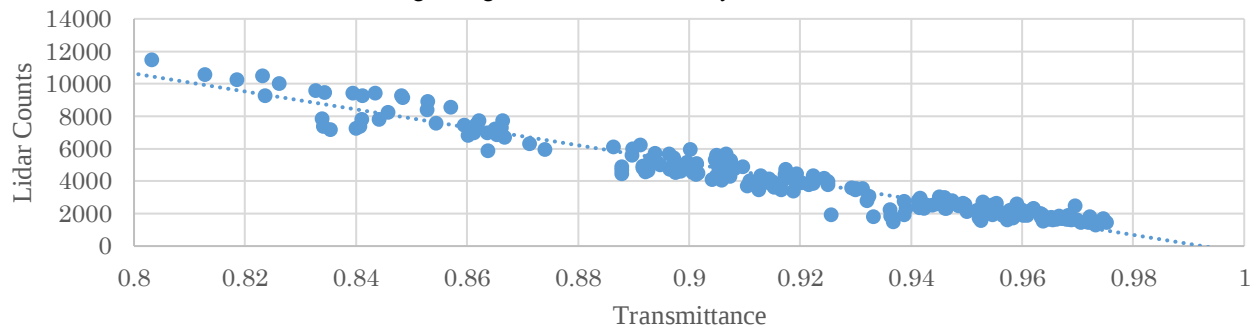


Fig.4 Relationship between Lidar count by fog and Transmittance.

3.2 煙の測定結果

霧測定と同様にして煙の測定を行った. ライダー測定の結果を Fig. 5 に示す. 煙測定ではライダー測定を開始してから 10 秒後に煙をチャンバー内に発生させている. 霧の信号と異なり 50~250s と 200s 間強い信号が見られた後, 200s かけてライダーカウント値は減少していった. 霧の結果と同様に, 横軸に透過率, 縦軸にライダーカウントとしてプロットした結果を Fig. 6 に示す. 煙の結果に関しても透過率が 80%以上の範囲でライダーカウントと透過率の線形な相関がみられた. その時の相関係数 R が -0.632 となった. Fig. 6 の結果において同じ透過率の中でもライダーカウントにばらつきが見られた. このばらつきの原因として, 二つのことが考えられる. 一つは, Fog machine によって均一に出る霧とは違って, 煙が不均一にチャンバー内に広がったためだと考える. 二つ目は, ライダーと透過率計の測定光路が完全には一致していないことによりばらつきが生じたのだと考える.

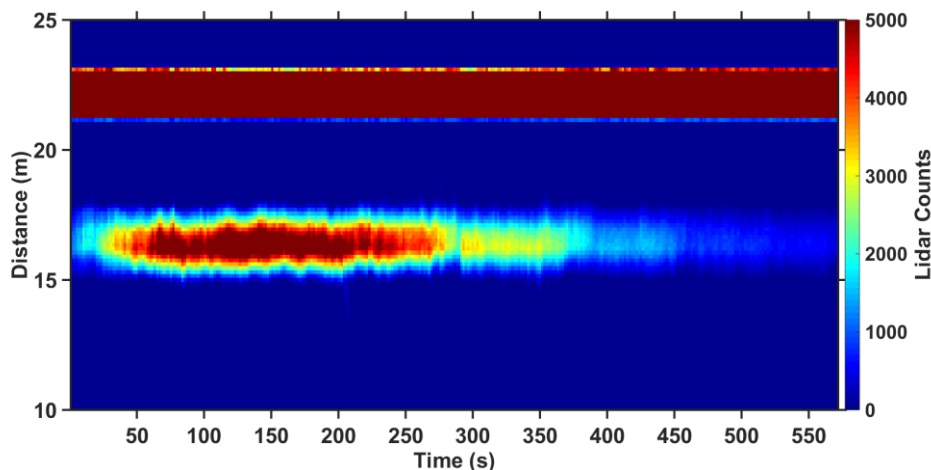


Fig.5 Smoke observation result by mini-lidar.

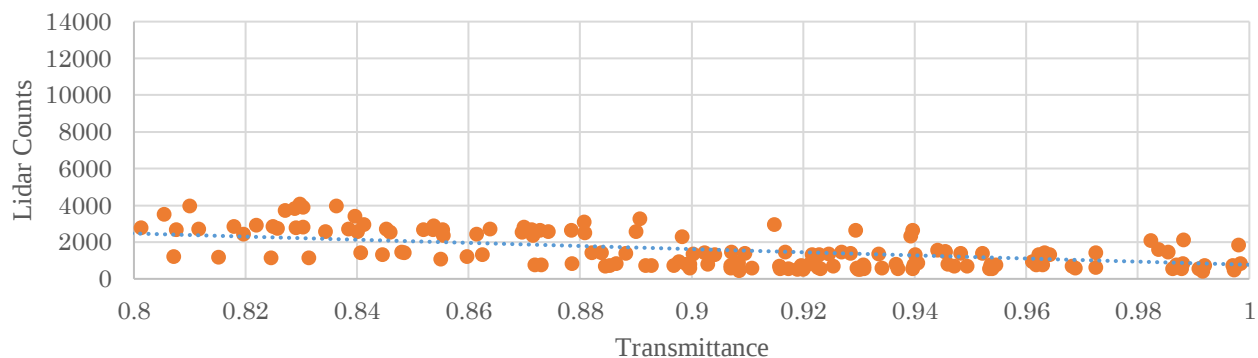


Fig.6 relationship between lidar counts by smoke and transmittance

3.3 霧と煙の比較

Fig. 4 と Fig. 6 の結果を同じグラフにプロットしたものを Fig. 7 に示す。同じ透過率で比較した際に、傾きに約 4 倍の差が見られた。この時、透過率の値と Lambert-Beer の法則である $T = \exp(-\sigma \times L)$ から消散係数を求めることができる。そして、その消散係数と粒子半径 r を基にして考えると、ミー散乱理論からおおよその個数を求めることが可能である。ミー散乱理論の式は $\sigma = N\pi r^2 Q$ であり、煙と霧の粒形はそれぞれ $1\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ である。加えて、霧は散乱のみが支配的であることから $Q=2$ になるが、煙は吸収が含まれると考えられ、 Q の値が大きくなると推定できる。その結果、煙の粒子数が霧の粒子数よりも少ないと推測でき、Fig. 7 にみられる違いが確認できたと考えられる。今後の実験では、実験時に粒子計を設置するなどして粒子の数の違いがカウントにどのような変化をもたらすのかを考察する。

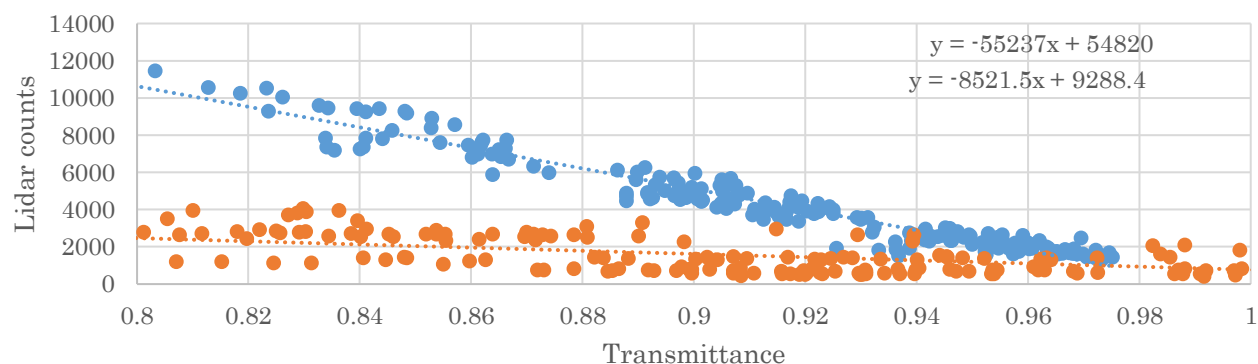


Fig.7 Comparison of fog and smoke correlations

4. まとめ

本研究では、光源に LD を使用した監視カメラサイズの LD ミニライダーを用いて 15m 先のチャンバー内に発生した煙と霧を可視化させることができた。更に、発生初期段階に近い透過率 80%以上の範囲においてライダーカウントと透過率の間に線形な相関があることが確認できた。また、霧と煙の二つの対象の間で、ライダーカウントが約二倍異なることが観測できた。これは、霧に比べ煙の粒子数が少ないこと、粒形が $1/10$ であることなどが原因となって起こることであると考えられる。

今回新たに開発した LD ミニライダーを用いたことで霧・煙の発生初期段階に近い透過率 90%以上の範囲での挙動を捉えることに成功した。このことから、LD ミニライダーは局所空間内の霧や煙といった時空間スケールの小さな現象を評価することができると考えられる。また、今回は定量評価を中心に行ったが、過去の実験では、霧と煙が風によって拡散していく様子を捉える実験にも成功している。

参考文献

- 1)Jinhong Xian, Dongsong Sun, Salvatore Amoruso, Wenjing Xu and Xuan Wang:Parameter optimization of a visibility LiDAR for sea-fog early warnings. Optics Express Vol.28,No.16 (2020) 23829
- 2)Andrei B. Utkin, Fernando Piedade, Vasco Beixiga, Pedro Mota and Pedro Lousa: Scalable lidar technique for fire detection. Proc.SPIE, 2014.