

LED ライダーによる産業粉塵の定量計測
Quantitative measurement of industrial dusts using LED LIDAR

山田園子, 椎名達雄
Sonoko Yamada, Tatsuo Shiina
 千葉大学 融合科学研究科
Chiba University

Abstract

LED mini-lidar has been developed for measurement of aerosols and dusts in short range. In this study, we measured and evaluated industrial dusts by using this LED lidar. These measurements were done at the near distance of 10m. The results indicated the linear relationship between the fallen weight of dusts and the echo counts and we estimated the mass concentration and backscatter cross-section from this echo counts.

1. はじめに

汚染大気やダストなどの計測技術に、従来は吸引・接触式センサが用いられているが、これらは分布の取得に複数点計測が必要で、広範囲計測、高所や屋外での設置が難しい。ライダーは対象からの散乱光を遠隔で受光し、その距離を計測する為、光路内で容易に分布を得られる。従来のライダーは遠方計測を目的とするが、近距離計測では光源の瞳への安全性、近距離計測の為の装置の携帯性・頑丈さ、速い気流への追従などの条件が必要である。先行研究では瞳に安全で素子が丈夫、放熱機構が不要で装置の小型化ができ、高繰り返し可能といった特長を持つ LED(Light emitting diode)素子を用い、近距離計測用 LED ミニライダーが開発された[1]-[2]。

本研究では LED ミニライダーを用いて産業ダストの計測と識別を行った。またダストの種類や大きさ、落下量に対するライダー信号と、そこから推定した散乱断面積や質量濃度を比較した。

2. 装置構成

LED ミニライダー本体の構成図を Fig.1、Table.1 に仕様を示す。装置サイズは 270mm×270mm×380mm(幅×高さ×奥行)である。本ライダーは送受信を一つの光学系で行う同軸型の構成を用いている。送信は、穴あきミラーを光軸に対し 45° に設置しその穴から送信光を射出する。このとき光源はレンズの焦点位置より内側に位置する。対象による後方散乱光はこのミラーによって光軸に対し直角に反射、ピンホール位置に集光される。このように受信光と送信光を分離している。本研究ではより遠くの距離(~400m)の大気、近距離の速い大気の変化を観測するために出力を 100mW から 260mW、繰り返しを 100kHz から 380kHz に改良して計測を行っている。

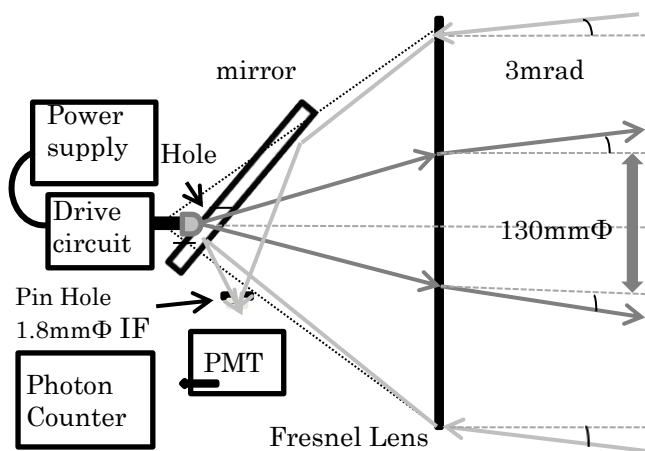


Fig.1 Lidar system.

Table1 Lidar specification.

Transmitter	
Light source	LED
Wave length	392nm
Pulse width	10ns
Pulse power	260mW
Beam size	130mmφ
Beam divergence	3mrad
Repetition rate	380kHz
Receiver	
Type	Fresnel Lens
Aperture	250mmφ
Focal distance	310mm
Field stop aperture	1.8mmφ (FOV 3mrad)

3. 計測方法

LED ミニライダーを用いてダストの計測を行った。計測にはダストサンプル A,B,C(比重がそれぞれ約 2, 1.5, 5)を使用した。Fig.2 で示すように LED ライダーから 10m ほど離れた所で、簡易チャンバーを設置し、その上から一定数の穴をあけた皿にダストを入れて振り落とすようにして散布させて計測した。この際に、穴の大きさを変えた(> $\phi 0.5\text{mm}$)容器を数種類用意し、それぞれ落下した質量を計ることによって定量的な計測を行った。

ダストからのエコーは、ダストを散布させた時のエコーと散布しない時のエコーとの差分により求められる。積算回数は 25 万回×16 回(10.5s)を 1 データとして計測した。これまでの計測から安定してダストが計測できる回数である。

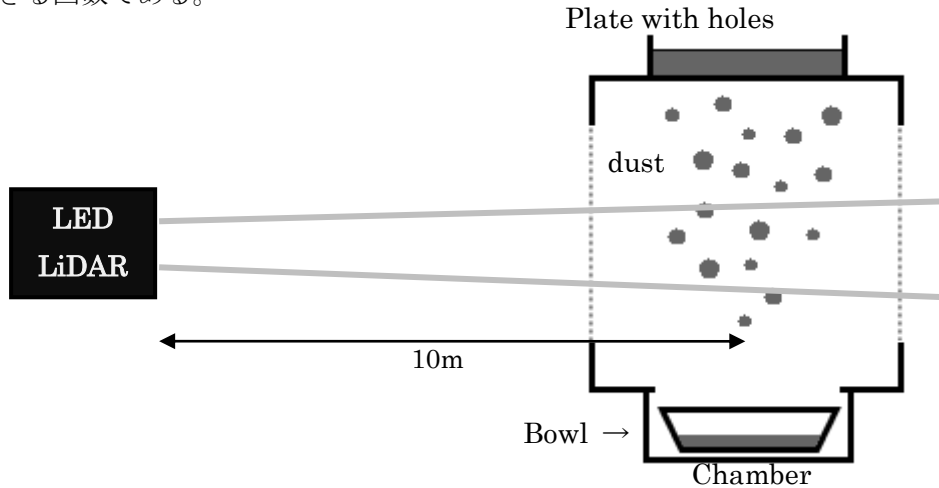


Fig.2 Dust observation

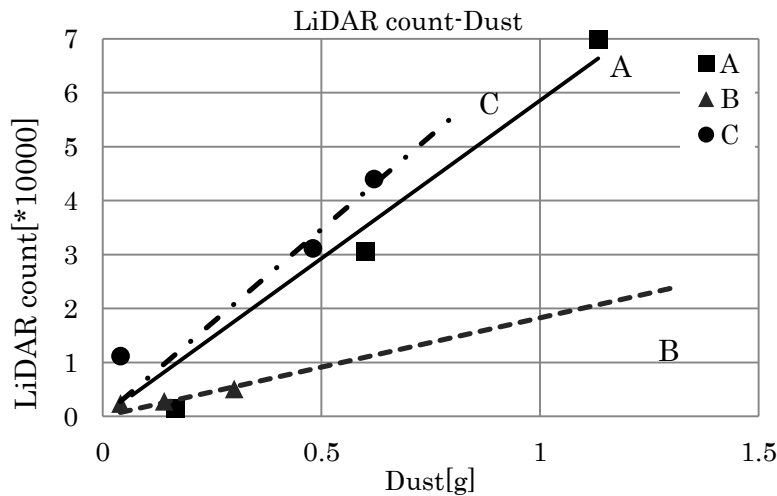


Fig.3 Correlation with echo counts and fall amount of dust

4. 結果

Fig.3 にダスト 3 種の落下量に対するエコーカウントの結果を示す。ダスト 3 種共、落下量が大きくなるにつれてカウント値も大きくなる相関が得られた。また単位質量当たりのカウント値を見ると、B は他二つに比べてカウント値が小さいことが確認出来る。これはダストの落下質量で比較しているが、ダストの大きさや形状は不明でばらつきがある。そのため小さいダストが多くダストの形状が非球形で歪な場合は散乱断面積が大きく、散乱断面積の違いがライダーのカウントの違いに現れる。また、これらのダストはダマになって落ちる性質があり、ダマの形状も散乱断面積に影響する。しかし、サンプルダストは粒径などが不明で散乱断面積を求められない。その為、先行研究で計測した性質既知のジルコニアビーズの質量とカウントの関係から、散乱断面積を推定し、ライダーカウントとの比較を行った。

5. 散乱断面積/質量濃度の推定

《散乱断面積》

散乱断面積についての相関の違いからもダストの種類が識別できると考えた。しかし計測に用いたダストは粒径不明で散乱断面積を求められない。そこで性質既知のジルコニアビーズ(ZrO₂)の結果から各粉塵の散乱断面積を推定した。その推定方法は以下の通りである。

Fig.4①は ZrO₂ 粒子の計算から求めた散乱断面積に対するライダー信号を示す。ZrO₂ 粒子 1 粒子の散乱断面積 S[mm²]は、密度 6[g/cm³]を用いて、下式(1)から求めた。

$$S = \frac{d}{6 \times (4/3) \times r^3} \cdot 2 \pi r^2 \quad (1) \quad d: \text{落下量[g]、} r: \text{粒径[mm]}$$

Fig.3 で得られた質量に対するライダー信号を Fig.4②にし、(2)式のように①の傾きを②の傾きで割ることで、その散乱断面積に対する落下量の相関を推定出来る。

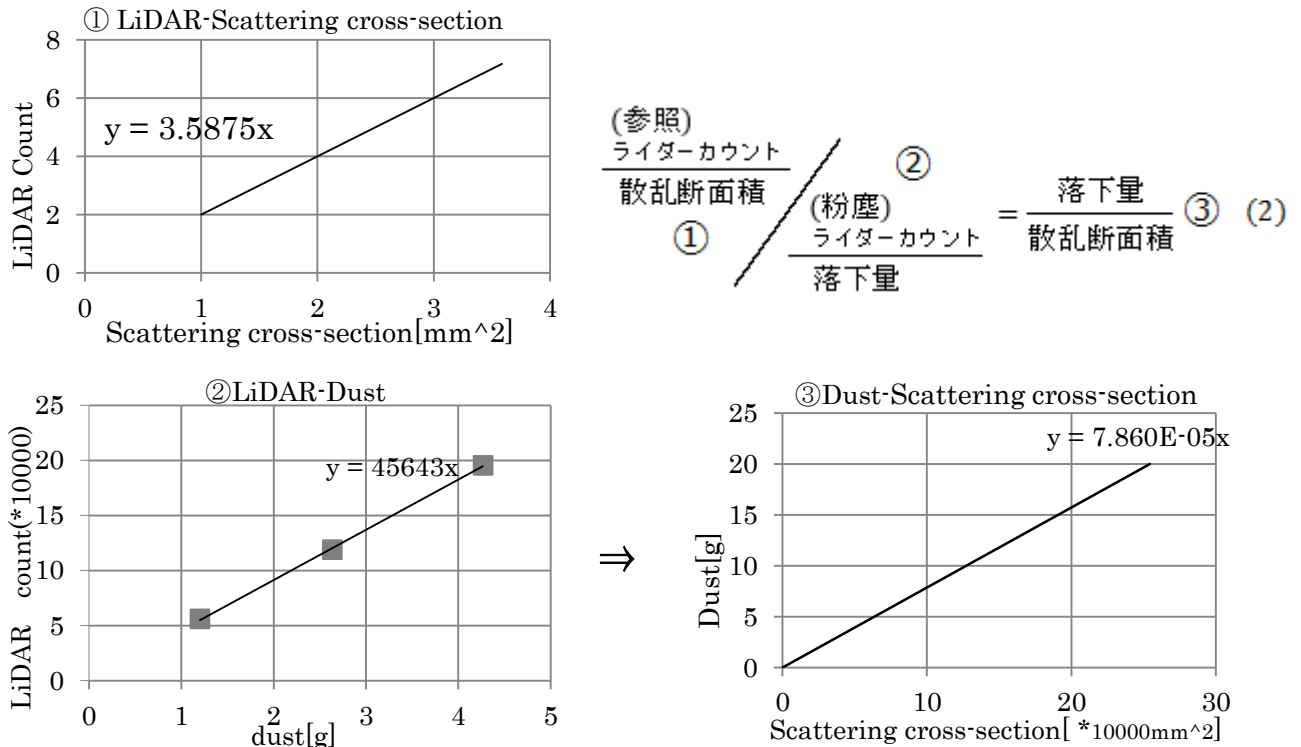


Fig.4(①-③) Estimation of the scattering cross-section

《質量濃度》

ライダーカウント1つがダスト一粒であると仮定し、一粒(1カウント)がビーム内にある瞬間を考える。

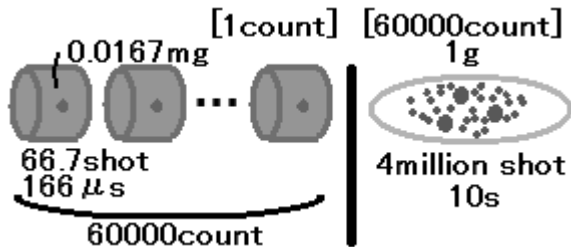


Fig.5 Estimation of mass concentration

Table.2 Estimation of mass concentration

time[s]	10	Integration number[shot]	4000000
Dust[g]	1	count	60000
①[mg/count]	0.0167	②[shot/count]	66.67
④Volume[m ³]	0.03097	③[μs/count]	166.67

今、Table.2 のような計測結果のとき、①は一粒(1カウント)当たりの質量、②1カウント返るまでに発したパルス、③パルスの時間変換を表しており、Fig.5 のように図示できる。これは、66.7パルスの間ビーム体積中に 0.0167mg ダストがあると考えられ、質量濃度は以下のように推定できる。

∴ 質量濃度[mg/m³] = ①0.0167mg/④0.03097m³ = 0.538[mg/m³]

6. 結果

5で推定した結果から質量と散乱断面積の関係と、ライダーカウントと質量濃度の関係をそれぞれ Fig.6 と Fig.7 に示す。Fig.6 の関係から、B は A,C に比べ、落下質量に対し散乱断面積が小さいことが確認できる。ここから B は同じ質量落下しても散乱が小さいと分かるので、ダストがダマになっていた、形状が球形に近いなどの理由から散乱が小さく出たと考えられる。反対に C は、落下質量に対しての散乱が大きく出ている。ここから、ダストがダマにならずに落ちた、ダスト粒子の形状が複雑で球形ではなかったなどの理由から散乱が大きく出たと考えられる。

また、Fig.7 の結果から種類によってライダーカウントに対応する質量濃度が異なることが確認できた。それぞれの比重(A:2, B:1.5, C: 5)と比較すると、B は比重も濃度も最小だが、A と C は逆転している。ここで C の濃度が小さいとした時、ライダーカウントが過剰に大きい為に濃度の推定の際一つ当たりの重量が小さくなったと考え、C は散乱断面積が大きいと言える。散乱断面積の大きさは、粒子の形状に依存する為に C は形状が複雑であると考えられ、これは Fig.6 の結果とも一致する。A は反対に散乱が小さく球形に近いと予想できる。

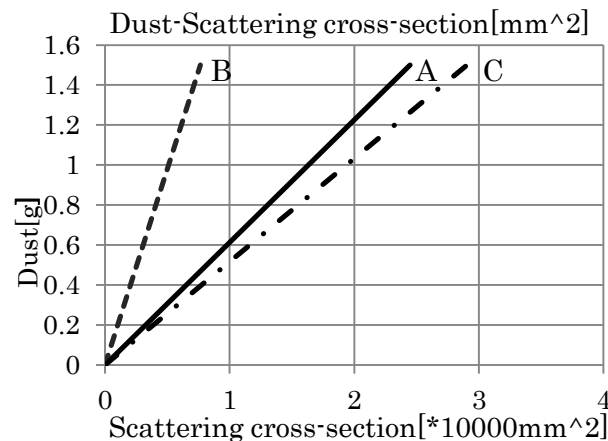


Fig.6 Correlation with Dust and Scattering cross-section

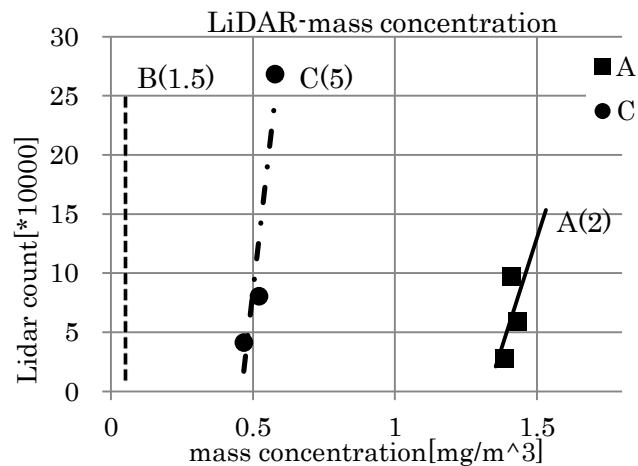


Fig.7 Correlation with LiDAR and Scattering cross-section

7. まとめ

本研究では LED ミニライダーを用いて 3 種のダストサンプルの計測・評価を行った。結果から単位グラム当たりのカウント値が種類で異なることが分かった。更に散乱断面積によるライダーカウントの違いも確認した。今後は解析方法の改良や、ダストの比重などを考慮していく。

8. 参考文献

- [1] 千明倫之、椎名達雄、「LED ミニライダーによるダストエコーの評価」、第 31 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集, pp.60-61 (2013)
- [2] 千明倫之、椎名達雄、「LED ミニライダーによるエアロゾルの計測」電気学会光応用・視覚研究会資料 巻 : LAV-13 号 : 1-7 pp.25-28 (2013)