

フェムト秒レーザーを用いたレーザー誘起ブレイクダウン分光による

セシウムエアロゾルの遠隔検知

Standoff detection of cesium aerosol by laser-induced breakdown spectroscopy using femtosecond laser

藤井 隆¹, 伊澤 淳², 倉田 孝男², 横澤 剛³, 江藤 修三¹

¹(一財)電力中央研究所, ²(株)IHI, ³(株)INC エンジニアリング

Takashi Fujii¹, Jun Izawa², Takao Kurata², Takeshi Yokozawa³, Shuzo Eto¹

¹Central Research Institute of Electric Power Industry, ²IHI Corporation, ³INC Engineering Co., Ltd.

Abstract: We experimentally demonstrated remote measurement of cesium aerosols in air by laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) using femtosecond laser pulses. Laser pulses of 1 ps duration and 74-150 mJ energy were focused at a focal length of 10 m and the pulses irradiated the cesium aerosols in air at a 10 Hz pulse repetition rate. Cesium emission was observed remotely at a distance of 10 m using a 203 mm diameter Cassegrainian telescope, a spectrometer, and an intensified CCD camera. The intensity of cesium emission increased linearly versus laser energy, of which characteristic is different from that using nanosecond laser pulses.

1. はじめに

レーザー誘起ブレイクダウン分光法 (Laser-induced breakdown spectroscopy; LIBS) は、遠隔において元素分析が可能である。一方、近年、高強度の短パルスレーザー光を大気中に照射することにより、フィラメントと呼ばれる細い径のまま安定的に伝播する光が報告され、ライダー等の大気応用に関する研究がおこなわれている^[1]。フィラメントは長距離において生成が可能であり、その光強度は対象物をプラズマ化するのに十分な強度 ($10^{12} \sim 10^{14} \text{ W/cm}^2$) を有しているため、遠隔における LIBS 計測への応用が期待されている^[2]。これまで、ライダー技術と組み合わせることにより、大気中に浮遊するエアロゾルの遠隔検知が実証されている^[3]。

我々はこれまで、LIBS を用いたセシウムエアロゾルの遠隔検知に関する研究を行ってきた^[4-6]。今回、高強度フェムト秒レーザーを用いた LIBS によるセシウムエアロゾルの遠隔検知に関して、レーザーエネルギー等、計測パラメータに対する依存性を測定したので、報告する。

2. 実験系

図 1 に実験系を示す。安定同位体セシウムを用いた塩化セシウム水溶液を、内径 100 mm、長さ 2 m のアクリルパイプ内に端面より噴霧し、セシウムエアロゾルを生成した。セシウムエアロゾルは、アクリルパイプの中央部分より吸引することにより、パイプ内を約 1m の距離において流れるようにしている。繰り返し 10Hz の Ti:Sapphire レーザーパルス焦点距離 10 m の凹面鏡で集光し、セシウムエアロゾルに照射した。エアロゾルからの発光は、凹面鏡近傍に設置したカセグレン型望遠鏡 ($\phi 203 \text{ mm}$) により集光し、バンドルファイバーを介して、分光器 (Acton; SP-300i) と ICCD カメラ (Andor; DH340T-25F-03) により受光した。

3. 実験結果

セシウム原子濃度 16 mg/L のセシウムエアロゾル (塩化セシウム水溶液濃度 : 50 wt%) に、エネルギー 74~150 mJ、パルス幅 ~1 ps のレーザーパルス照射した時の分光計測結果を図 2 に示す。計測時における ICCD カメラのゲート幅は 1 μs 、レ

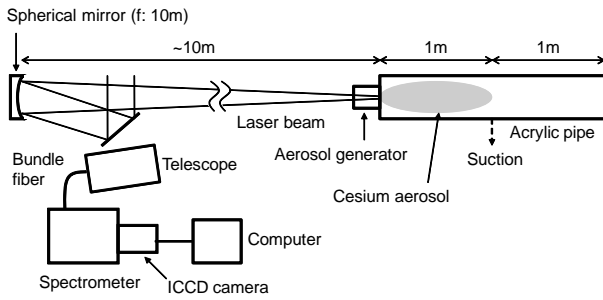


Fig. 1. Experimental setup

レーザー光がエアロゾルに照射されてからのゲート遅延時間は 50 ns とした。各スペクトルに対して、ノイズ除去を目的として 5 点移動平均による平滑化を行った。具体的には、各測定点において、短波長側および長波長側それぞれに近接する 2 点を含む 5 点の平均値を求めた。

図より、セシウムの 852.1 nm の発光ピークが明瞭に観察されていることが分かる。また、セシウムの発光強度はレーザーエネルギーに対して線形に変化した。ナノ秒レーザーを用いた LIBS^[4-5] の場合は、セシウムの発光強度は二次関数的に増加しており、今回、フェムト秒レーザーを用いた場合、異なる結果が得られた。これらの結果より、フェムト秒レーザーを用いた場合とナノ秒レーザーを用いた場合とは異なる結果が得られた。

4. まとめ

フェムト秒レーザーを用いた LIBS により、セシウムエアロゾルの遠隔検知を行った。エネルギー 74~150 mJ、パルス幅~1 ps、繰り返し 10 Hz のレーザーパルスでセシウムエアロゾルに集光し、10 m 離れた距離からセシウムの発光スペクトルを計測した。発光強度は、照射レーザーエネルギーに対して線形に変化し、ナノ秒レーザーを用いた場合とは異なる結果が得られた。

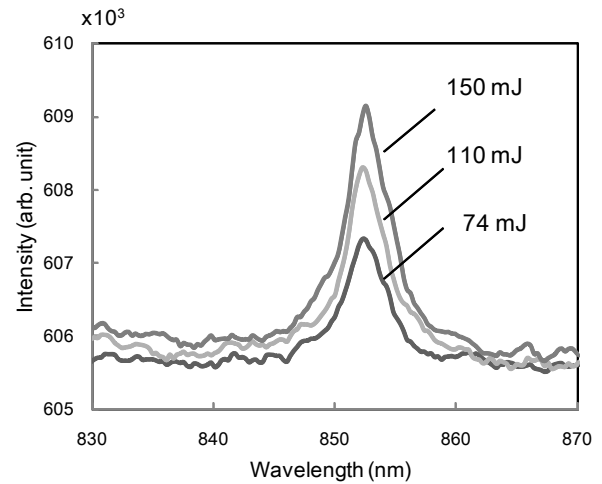


Fig. 2. Dependence of emission spectra of cesium aerosol on laser energy.

参考文献

- [1] J. Kasparian, M. Rodriguez, G. Mejean, J. Yu, E. Salmon, H. Wille, R. Bourayou, S. Frey, Y.-B. Andre, A. Mysyrowicz, R. Sauerbrey, J.-P. Wolf, and L. Woeste, *Science* **301**, pp. 61-64 (2003).
- [2] K. Stelmaszczyk, P. Rohwetter, G. Méjean, J. Yu, E. Salmon, J. Kasparian, R. Ackermann, J.-P. Wolf, and L. Wöste, *Appl. Phys. Lett.* **85**, pp. 3977-3979 (2004).
- [3] T. Fujii, N. Goto, M. Miki, T. Nayuki and K. Nemoto, *Opt. Lett.* **31** pp. 3456-3458 (2006).
- [4] J. Izawa, T. Kurata, T. Yokozawa, S. Eto, and T. Fujii, *International Conference on Laser Applications in Nuclear Engineering (LANE'13)*, LANE-6-3, Yokohama, Japan, April 23-25, 2013.
- [5] 伊澤、横澤、倉田、松永、江藤、藤井、第31回レーザーセンシングシンポジウム予稿集、pp. 120-121、2013.
- [6] J. Izawa, T. Yokozawa, T. Kurata, A. Yoshida, Y. Matsunaga, T. Somekawa, S. Eto, N. Manago, H. Horisawa, S. Yamaguchi, T. Fujii, and H. Kuze, *Proc. of SPIE*, 9253-10 (2014).