

エアロゾル識別用スタンドオフ計測システムの検討

A feasibility study of stand-off monitoring systems for aerosol discrimination

横澤 剛¹、伊澤 淳²、倉田孝男²、松永 易²、染川智弘³、眞子直弘⁴、久世宏明⁴
○T. Yokozawa¹, J. Izawa², T. Kurata², Y. Matsunaga², T. Somekawa³, N. Manago⁴, and H. Kuze⁴

1. (株) INC エンジニアリング、2. (株) IHI、

3. (公財) レーザー技術総合研究所、4. 千葉大学環境リモートセンシング研究センター

1. INC Engineering Co. Ltd., 2. IHI Corporation, 3. Institute for Laser Technology

4. Center for Environmental Remote Sensing (CEReS), Chiba University E-mail:yokozawa@inc.ihi.co.jp

Abstract :

A feasibility study has been conducted for the discrimination of aerosols from the stand-off observations with aerosol monitoring systems. The target aerosols include various species such as bio-aerosol, chemical mist, and special elements from nuclear power plant, etc. Our result indicates that one of the promising approaches is the laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) using laser irradiation with ns or fs pulses.

1. はじめに

黄砂の飛来や花粉の大量発生の例を待つまでもなく、エアロゾル状物質の発生及び拡散は人類の生活環境に重大な影響を及ぼし、その監視が重要な技術的課題となっている。黄砂や花粉等の自然現象以外では、人為的現象、特に災害時におけるガス状若しくはエアロゾル状の各種有害物質の大気中への拡散の監視は重要で、遠隔からの漏洩監視は避難、対処及び拡散予測の観点から必要な技術である。

現在までに各種のガスやエアロゾルの遠隔計測にライダーを筆頭に各種装置が開発されてきた。しかし、飛散物質の種類や状態に対応して各種の原理に基づく計測装置が開発されているため、方式によってはガスやエアロゾルの種類を仮定しないと計測困難となる矛盾も抱えている。何が発生するか予測できない災害現場や、様々に変動する状況下で監視する用途に適用するには多くの課題がある。

本研究では、数 100 m から数 km の計測領域において 1 台の監視装置 (若しくは少なくとも類似の計測原理により設計及び製造された複数の監視装置) により各種の飛散物質を識別することができる計測機器の開発を目的としている。その目的に対して我々は、ナノ秒レーザー若しくはフェムト秒レーザーを使用したスタンドオフ LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) 等に

着目し、その可能性を検討している。

2. エアロゾルの種類に対する計測原理の検討

Table 1 に、各種飛散物質と識別のために研究されている計測原理に関して整理した。識別といっても計測対象によってその内容が異なる。化学物質等は物質の種類により対処法が異なるため、飛散物質の特定が必要である。生物由来物質は遠隔における各生物の特定は困難であ

Table 1, Stand-off discrimination technique of each suspended matter

No.	Substance	Example	Measurement technique System
1	Chemical (gas, mist)	Leakage Gas (CO,CH ₄) Agricultural Chemicals Chemical Agents	Differential Absorption Lidar (DIAL)
2			Long-Wave Infrared Differential Scattering (DISC)
3			Integrated Path Differential Absorption(IPDA)
4			Differential Absorption by White light Lidar
5			Raman Lidar
6			Laser Induced Breakdown Spectroscopy(LIBS) Filament Induced Breakdown Spectroscopy(FIBS)
7	Biological (aerosols)	Pollens Biological Agents	Laser Induced Fluorescence (LIF) 1Photon Excited Fluorescence(1PEF) (by nsec Laser)
8			Wavelength Normalized Depolarization Ratio(WANDER)
9			n Photon Excited Fluorescence(nPEF) by Ultrafast Laser
10			LIBS, FIBS
11	Radioactive (aerosols)	Cs	LIBS, FIBS
12	Radioactive, Nucleus, Explosive (solid target)	Cs , TNT	Raman Scattering LIBS ,FIBS

り、生物・非生物の識別を期待している。また、放射性物質は通常の状態では自然界に存在しない物質（Cs等）の飛散監視を目指している。更に、固体ターゲットはコンクリートや金属表面に付着した特定物質（放射性物質、火薬等）を想定している。

同表によると、各種物質に共通して計測可能な識別法は構成元素や分子の発光スペクトルを計測する LIBS、(F-LIBS)若しくはラマン散乱であるが、長距離計測を考慮すると LIBS (F-LIBS) が有望な計測手法である。

3、スタンドオフ LIBS の可能性について

スタンドオフ LIBS については様々な報告¹があるが、筆者らの知る限り計測距離 120 m が最遠の報告である²。この研究ではダブルパルスの Nd:YAG レーザ（10 Hz, 750 mJ/pulse, パルス幅 5.5 ns）を使用し、レーザ光の送信及び発光の受光はφ400 mm のカセグレン望遠鏡を使用している。更なる長距離計測の実現には、ビーム径の拡大や出力増加が必要となるが、LIBS 受光信号は計測距離の 5 乗に反比例するとの報告³もあり、ナノ秒のパルスレーザを使用したシステムでは計測距離延長には課題がある。一方、フェムト秒レーザを使用する事により長距離の LIBS 計測の可能性はある。自己収束とプラズマによる拡大がバランスして伝搬するフェムト秒レーザビームのフィラメント効果により長距離の F-LIBS 計測の可能性があり、波長 795 nm, パルス幅 75 fs, レーザエネルギー 350 mJ の Teramobile⁴システムを使用して、レーザから 180 m 遠方の金属ターゲットからのプラズマ発光信号取得にも成功している⁵。

エアロゾルやガスに対する研究例として、フェムト秒レーザを使用して NaCl ミストを 10 m 遠方から計測した例⁶、35 m 遠方からのリボフラビンエアロゾルの計測⁷及び 60 m の遠方からメタンガスの蛍光スペクトル取得に成功した例⁸がある。筆者らも 10 m 先よりエアロゾル状の Cs に対してナノ秒レーザを使用した計測⁹やフェムト秒レーザを使用した計測¹⁰に成功している。更に、エアロゾル状の生物由来物質（リボフラビン等）に対するフェムト秒レーザを使用した試験¹¹も実施し、浮遊エアロゾルの LIBS 等による遠方計測の実現可能性を検討している。また、F-LIBS と類似のシステムで実現できる nPEF (n Photon Excited Fluorescence) に関しても、比較のために並行して検討を実施している。

4、まとめ

筆者らは、化学物質、生物由来物質、放射性物質等のガスやエアロゾルを識別できる監視装置の実現を目指して、最適システムとしてナノ秒レーザ若しくはフェムト秒レーザを使用した LIBS システムに注目し、その遠距離計測の可能性に関して試験を含めて検討している。今後は計測距離に応じた最適な計測システムの概念設計を行い、その実現性を検討してゆく。

参考文献

- ¹ B.Salle, *et al.*, *Spectrochimica Acta Part B* 62 (2007) 739.
- ² J.J.Laserna, *et al.*, *Optics Express*, Vol.17 (2009) 10265.
- ³ S. Palanco, *et al.*, *Spectrochimica Acta Part B* 61 (2006) 88.
- ⁴ H. Wille, *et al.*, *Eur. Phys. J. AP20* (2002) 183.
- ⁵ Rh. Rohwetta, *et al.*, *Spectrochimica Acta Part B* 60 (2005) 1025.
- ⁶ 藤井他；第 24 回レーザセンシングシンポジウム予稿集 (2005) p.23.
- ⁷ G. Mejean, *et al.*, *Appl. Phys. B* 78 (2004) 535.
- ⁸ Y. Kamil, *et al.*, *Optics Communications* 282 (2009) 2062.
- ⁹ J. Izawa *et al.*, *Proceedings of International Conference on Laser Applications in Nuclear Engineering (LANE'13)*, Yokohama, Japan, April 23-25, 2013.
- ¹⁰ 伊澤他；第 31 回レーザセンシングシンポジウムで発表予定。
- ¹¹ 伊澤他；第 31 回レーザセンシングシンポジウムで発表予定。