

福島原子炉建屋内観測のためのラマンライダーによる漏洩窒素計測

石井 萌¹, 染川 智弘², 倉橋 慎理², 松田 晶平³, 久世 宏明⁴, 椎名 達雄¹

¹千葉大学大学院 融合理工学府 (〒263-8852 千葉市稲毛区弥生町 1-33)

²公益財団法人レーザー技術総合研究所 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-6)

³国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 (〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1)

⁴千葉大学環境リモートセンシング研究センター (〒263-8852 千葉市稲毛区弥生町 1-33)

Measurement of nitrogen leakage by Raman lidar for observation inside the Fukushima reactor building

Moe ISHII¹, Toshihiro SOMEKAWA², Shinri KURAHASHI², Shohei MATSUDA³,
Hiroaki KUZE⁴ and Tatuo SHIINA¹

¹Chiba Univ., 1-33 Yayoi-cho, Inage, Chiba 263-8522

²Institute for Laser Technology, 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

³Japan Atomic Energy Agency, 1-1-1 Sayo, Hyogo 679-5148

⁴Center for Environmental Remote Sensing Chiba Univ., 1-33 263-8852

Abstract: In the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, hydrogen gas was generated by the reaction of nuclear fuel with water, which caused an explosion and radioactive leakage. To prevent the recurrence, the reactor containment vessel is maintained under nitrogen gas. Lidar technology provides the remote sensing with high spatial resolution for long-distance measurements. In this study, we aimed to investigate aerosol flows and nitrogen leakage using the developed compact Raman lidar with a 355nm 50 kHz DPSS laser.

Key Words: Lidar, Raman scattering, Leakage, Nitrogen, Nuclear reactor building

1. 背景

福島第一原発では震災後発生した水素による爆発を防ぐため原子炉格納容器を窒素雰囲気下で管理している。しかし施設損傷による気体漏洩が懸念されているため、安全に解体作業を進めるために遠隔かつ素早く気体の漏洩箇所を検出する技術が求められている。光計測技術ライダー(Light Detection And Ranging)は高速、高分解能で遠隔無人測定が可能であるため安全に原子炉建屋内部の漏洩箇所を探ることができる。加えてライダーで物質固有のラマン散乱光を計測することで、原子炉建屋内部の気体漏洩箇所の検知だけでなく、気体種や量を推定することが期待できる。本研究では小型で搬送可能なラマンライダーを開発し、充填気体の漏洩を計測することを目的として、ライダー作成と窒素ガス計測を行なった。

2. 小型ラマンライダー

原子炉建屋内部の運用を考え、測定範囲は約 30m を想定している。漏洩気体やダストの流れをとらえるために、光源には繰返し周波数 50kHz、中心波長 355nm の高出力 DPSS レーザーを用いて時間応答を高めた。受光系は Mie 散乱、窒素、酸素、水、水蒸気ラマンの 5 チャンネルである。Table1 に計測対象気体のラマンシフトと、光源に対するラマン散乱光波長を示す^{1,2)}。ライダーから照射した光は開口径 102mm、焦点距離 500mm の望遠鏡で受光され、ショートパスフィルタを通してダイクロックミラーで波長ごとに分けられる。そして各チャンネルの波長に対応するバンドパスフィルタを通した後 P M T で受光される。Table2 に用いるフィルタの特性を示す。完成したライダーで人工的に噴出させた水及び窒素ガスを測定し評価した。Fig1 にライダーの装置図及び実験系を示す。積算回数は水の時に 10 万回で計測時間 2 秒、窒素ガスの時に 100 万回で 20 秒である。

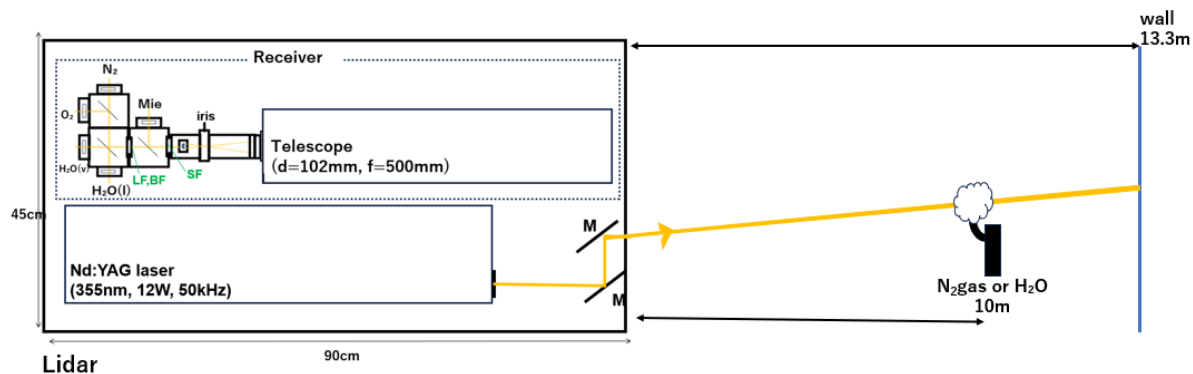


Fig. 1 Schematic diagram of Raman lidar system for nitrogen gas measurements.

Table. 1 Raman shift and Stokes scattering wavelength appropriate for 355 nm laser.

	<i>Raman shift</i> (cm^{-1})	<i>Raman wavelength</i> $[\text{nm}]$
O ₂	1556	375
N ₂	2331	386
H ₂ O(l)	3300	403
H ₂ O (v)	3652	407

Table. 2 Specification of LIDAR system.

	Central wavelength $[\text{nm}]$	Bandwidth $[\text{nm}]$	Transmission Band(>91%)	OD
Mie Band pass filter	355.00	2.50		6
O ₂ Band pass filter	375.00	10		6
N ₂ Band pass filter	387	15		6
H ₂ O(l) Band pass filter	405.00	5		6
H ₂ O(v) Band pass filter	407	1.5		6
Band pass filter (BF)	390	40		6
Long pass filter (LF)			383-1600	4
Short pass filter (SF)			300-417	4

3. 実験

3.1 水ラマン信号計測

まずライダー観測の定量性を評価するために加湿器を用いて水ラマン信号の計測を行なった.Fig.2 に水ラマンチャンネルで計測した加湿器の距離に該当するライダー信号ピーク値のカウント数と,加湿器の水の噴出量の関係を示す.水の噴出量が増えるほど,ライダーカウント数は増加し決定係数は0.98と高い線形の相関を示した.よって作成したライダー信号で漏洩気体を定量的に評価できると判断した.

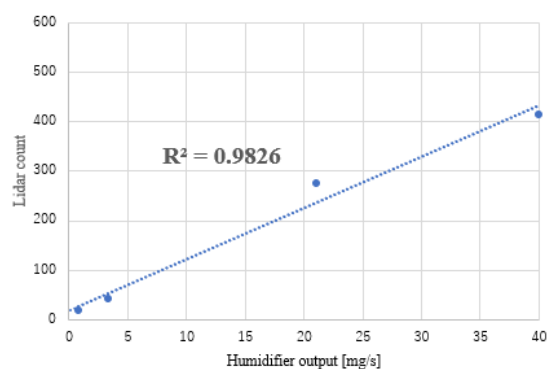


Fig. 2 Relationship between humidifer output and Lidar count.

3.2 窒素ラマン信号計測

Fig. 3(a)の橙線は流量計を用いて 10L/min でノズルから窒素ガスを噴出させたときのライダー観測結果であり、青線は窒素ガスを噴出していないときの結果だ。6m付近のピーク信号が視野重なりによる大気のピーク信号であり、13mのピークは壁からの蛍光である。蛍光の値は測定によって大きく変動する。窒素ガスありのデータからなしのデータの差分を取った結果がFig. 3(b)である。この時、大気窒素の混合比は場所や時間に寄らずほぼ一定と見なして、大気窒素のピーク値を合わせた後に差分を取った³⁾。この結果より、差分をとることによって窒素ガスを噴出させた位置に信号ピークを確認した。12m以降の信号の急激な変化は壁の蛍光のばらつきが影響している。また Fig. 3(c)のように窒素ガスを発生させる位置を変化させることで、信号ピーク位置の変化を確認した。今回の結果より、窒素ガスありの信号からなしの信号の差分を取ることで大気中に 80%存在する窒素と、局所的に存在する 100%の窒素を判別することができる。

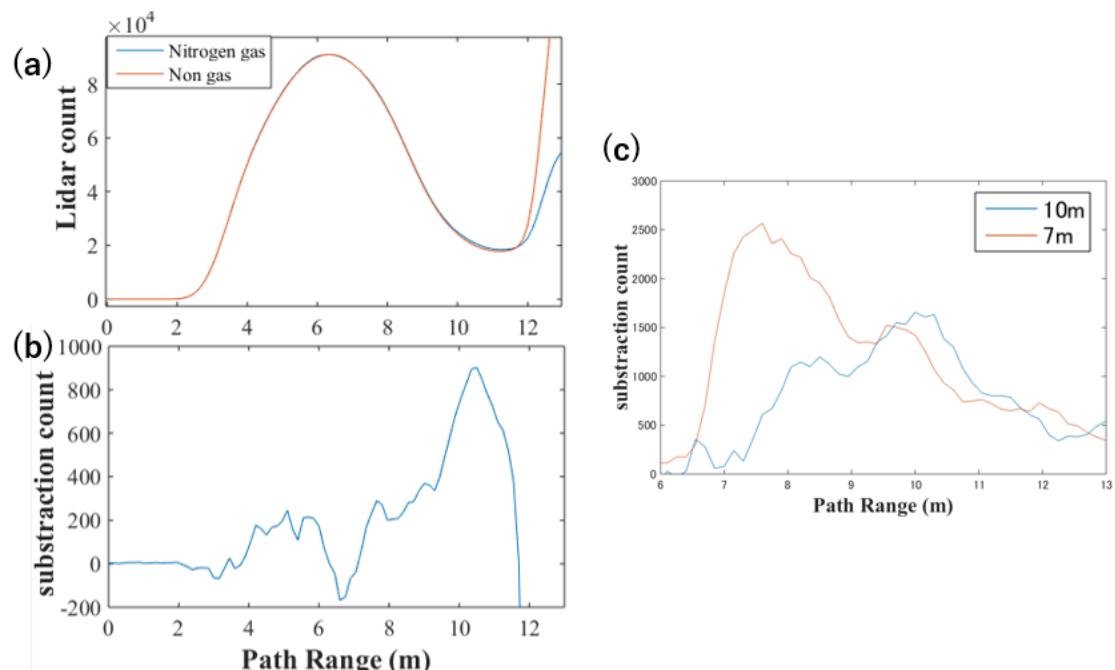


Fig. 3 (a)Lidar signal with and without nitrogen gas. (b)Substraction of Lidar signal.
(c) Substraction of Lidar signal when nitrogen gas position is changed.

4 まとめ

充填気体の漏洩を計測することを目的としてライダー作成と窒素ガス計測を行なった。窒素ガスありのデータからなしのデータの差分をとることによって漏洩箇所を探れることができた。よって建屋内の漏洩による窒素量の増加も周囲のデータと差分をとることにより検知でき、漏洩箇所の発見に繋がることが期待できる。今後は秒単位の短時間スケールで漏洩室を可視化させその下限値を探る。また酸素チャネルなど別のラマン信号を同時に測定し、関係性や漏洩窒素をみるために最適な解析方法を探っていく。

謝辞：本研究は、JAEA 英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業 R05i109 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 富永 靖徳, 天羽 優子:水の動的構造:ラマン散乱分光(2006) 121.
- 2) 二宮 英樹:レーザーラマン散乱による漏洩水素ガスの遠隔検知(2011) 602.
- 3) 染川 智弘:ラマンライダーによる数値予報モデルへの水蒸気同化(2013)