

一般セッション(口頭講演) | 3 光・フォトンクス：3.7 光計測技術・機器

2025年3月14日(金) 9:00 ~ 12:15 会 K304 (講義棟)

[14a-K304-1~11] 3.7 光計測技術・機器

小山 勇也(千葉工大)

9:00 ~ 9:15

[14a-K304-1]

オゾン濃度の異なる地域で採取した指標植物葉のOCT計測

○後藤 颯¹、椎名 達雄¹ (1.千葉大学)

9:15 ~ 9:30

[14a-K304-2]

高屈折率プリズムを使ったOtto配置型表面プラズモン水素センサ

○山根 治起¹、柴田 寿人¹ (1.秋田産技センター)

9:30 ~ 9:45

[14a-K304-3]

クラッドレスプラナー光導波路型へのLSPRセンサー実装

○坂本 侑哉¹、Du Haoze²、Ge Lingpu²、吉岡 宏晃²、豎 直也²、佐々 文洋²、興 雄司^{1,2}、林 健司^{1,2}
(1.九大シス生、2.九大シス情)

9:45 ~ 10:00

[14a-K304-4]

SS-OCT方式デジタル光センサにおけるデジタルフィルタによる安定性の検討

○山内 隆典¹、北村 堯之¹、後藤 広樹¹、白畑 卓磨¹、小竹 論季¹ (1.三菱電機(株) 情報技術総合研究所)

10:15 ~ 10:30

[14a-K304-5]

ハイパースペクトルラマンイメージングライダーによる漏洩気体検知

○染川 智弘^{1,2}、松田 晶平³、倉橋 慎理¹、石井 萌⁴、久世 宏明⁵、椎名 達雄⁴ (1.レーザー総研、2.阪大レーザー研、3.原子力機構、4.千葉大院工、5.千葉大CEReS)

◆ 英語発表

10:30 ~ 10:45

[14a-K304-6]

Profiling of Floating Plastic Litter by Portable LD-based Fluorescence LiDAR

○Jumar Cadondon^{1,2,3}、Edgar Vallar³、Maria Cecilia Galvez³、Tatsuo Shiina¹ (1.Chiba Univ., 2.UP Visayas, 3.De La Salle Univ.)

10:45 ~ 11:00

[14a-K304-7]

狭帯域赤外カメラを用いた二酸化炭素ガス排出量の計測

○宮崎 英樹¹、笠谷 岳士¹、木本 一也¹、對木 雄太朗¹、豊島 慶大^{1,2}、齋藤 正浩¹、落合 哲行¹
(1.NIMS、2.東大工)

11:00 ~ 11:15

[14a-K304-8]

低コヒーレンスドップラーライダーによる接地境界層の砂塵・風場計測

○(B)原 悠大¹、大久保 洸祐¹、椎名 達雄¹ (1.千葉大工)

11:30 ~ 11:45

[14a-K304-9]

マイケルソン干渉ゴーストイメージングを用いた散乱媒質内の物体検出

○Xiafukaiti Alifu^{1,2}、呼延 徳才²、椎名 達雄² (1.三菱電機、2.千葉大)

11:45 ~ 12:00

[14a-K304-10]

265nm LEDミニライダーによるオゾン観測

○椎名 達雄¹、川上 康之²、山口 雄大² (1.千葉大院、2.スタンレー電気)

12:00 ~ 12:15

[14a-K304-11]

LDミニライダーによる霧・煙の高透過率領域での定量評価

○大山 聖矢^{1,2}、田中 雅之²、中居 道弘²、花島 正和²、志田 侑翼¹、椎名 達雄¹ (1.千葉大学、2.株式会社オプトゲート)

オゾン濃度の異なる地域で採取した指標植物葉の OCT 計測

OCT Measurement on Indicator Plant Leaves Collected in Different Ozone Concentrations

千葉大学¹ ○後藤 颯¹, 椎名 達雄¹

Chiba Univ.¹ ○Hayate Goto¹, Tatsuo Shiina²

E-mail: gt_h@chiba-u.jp

1. INTRODUCTION

植物は長期間大気に晒されているため、植物の色、触感、内部構造を観測することで、植物が晒されている周囲の大気状態を推測することができる[1]。環境ストレスに敏感な植物を指標植物という。従来の指標植物の観測手法は、破壊的、非定量的、長時間の計測等の問題点がある。本研究では、非破壊、非接触、非侵襲で植物の内部構造を定量的に評価が可能なOCT(Optical Coherence Tomography)を使用して、複数の地域から採取してきたシロツメクサの葉の計測を行った。各地域のオゾン濃度の違いに着目し、オゾン濃度の変化に伴う葉の OCT 画像の変化を、柵状組織の厚み、強度、テクスチャ解析による画像の質感によって評価することを目的とした。

2. METHOD

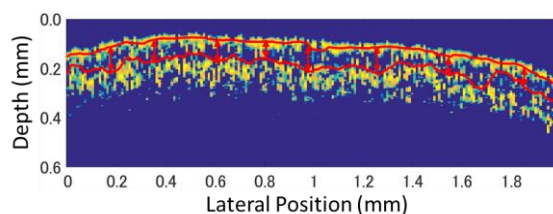
使用した TD(Time Domain)-OCT は植物測定に特化して設計したものであり、DC バッテリーで駆動可能なため、外部に持ち運んで計測が可能である[2][3]。中心波長は 1310 nm であり、クロロフィルによる光の吸収を避ける波長を選択した。Table.1 に使用した TD-OCT の仕様を示す。本研究では測定時の安定性を向上させるために、地域で採取した葉を研究室で測定を行った。千葉市内の 4 つの地域((A)市場町、(B)真砂、(C)都町、(D)西千葉)の葉の OCT 計測を行い、各地域の植物採取時のオゾン濃度はそれぞれ(A)0.04ppm、(B)0.06ppm、(C)0.075ppm、(D)0.08ppm であった。各測定は 16 回の平均を行い、ピーク検出により求めた柵状組織の位置から厚み、強度、テクスチャ解析(GLCM(Gray Level Co-occurrence Matrix)を行った。比較として、研究室で高オゾン濃度(0.2ppm)で育成した葉の OCT 計測も行った。

3. RESULT

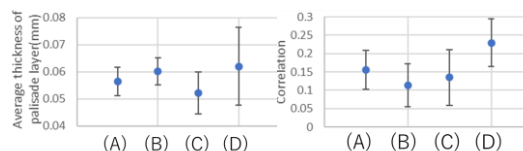
Figure1 に(a)研究室内でオゾンストレスを与えた葉の OCT 画像と(b)各地域から採取した葉の OCT 画像から得られた柵状組織の厚みとテクスチャ解析の結果を示す。Figure1(a)の赤線がピーク検出の結果であり、二つの赤線間の位置が葉の柵状組織の位置である。オゾンは気孔から葉の内部に入り込んで柵状組織に影響を与える。オゾンによって柵状組織が破壊されることで細胞間隙が増加し、柵状組織の厚みが増える。地域別の評価において、厚みと Correlation の値はオゾン濃度が高い(D)の地域で最も高い値を示していた。Correlation の値は画像内部での構造の類似性を示しており、細胞壁の崩壊による細胞間隙の増加が組織内部での信号強度を一定の値に変化させたと考える。

Table:1 OCT specification

Center Wavelength	1310 nm
FWHM	53 nm
Axial Resolution	14.2 μ m
A-scan Rate	25 Hz
Average Times	16
Focal Length	5.12 mm



(a) OCT image



(b) Thickness and Correlation of the OCT image

Figure 1: The OCT image result and texture analysis on white clover leaves

Figure1(b)の結果は、研究室内でオゾンストレスを与えた葉の OCT 画像の解析結果と同じ傾向を示していた。

4. CONCLUSION

本研究では、植物の OCT 計測による各地域におけるオゾン濃度の推測可能性を検討した。人工的にオゾンストレスを与えた結果と、採取した葉の結果が一致したことから、OCT によって植物の周囲の状態の推測が可能と判断できる。今後は他の環境ストレス(温度、光量等)の解析により、より精度の高い解析を目指す。

Reference

- [1] Oishi, Y. *Environmental Pollution*, 234, 330–338 (2018).
- [2] Goto, H. et al. *Optik*, 316, 172065 (2024).
- [3] Shiina, T., et al. *Applied optics*, 42(19), 3795–3799 (2003).

高屈折率プリズムを使った Otto 配置型表面プラズモン水素センサ

Otto-type surface plasmon sensor elements for hydrogen gas detection

秋田県産業技術センター ○山根 治起, 柴田 寿人

Akita Industrial Technology Center, ○H. Yamane, H. Shibata, E-mail: yamane@aitc.pref.akita.jp

脱炭素社会の実現に向けて、水素エネルギーへの期待が高まっている。爆発の危険性が高い水素の活用には、安定かつ信頼性の高い水素センサが不可欠である。著者の一人は、水素感応性を有する光干渉素子(キャビティセンサ)にて、広濃度水素の計測について報告している[1]。本研究では、新たなセンサ素子として、高屈折率プリズム基板上に水素感応光学積層膜を形成した Otto 配置型プラズモンセンサの水素応答について報告する。

センサ素子は、[水素感応金属層/低屈折率誘電体層]/高屈折率プリズムを基本構造として、水素感応層と誘電体層との積層界面における表面プラズモン共鳴 (SPR) を利用することで水素検知を行う。このとき、水素感応層を、図 1 に示すように、[表面触媒層/水素透過層/水素検知層]積層膜で構成して機能分割を図ることで、検知感度や応答速度といった要求性能に応じた材料設計が可能となる。特に、水素透過層の厚さを 100 nm 以上とすることで、表面媒質の屈折率変動やコンタミの影響などが低減でき、水素のみを選択的、かつ安定に検知できる。

図 2 に、[Pt (5 nm)/PdCuSi (150 nm)/Pd (5 nm)/SiO₂ (172 nm)]/基板で構成された Otto 配置型プラズモンセンサの光学シミュレーションの結果を示す。Pt、PdCuSi、および、Pd が、それぞれ、表面触媒層、水素透過層、水素検知層として機能する。積層膜を構成する各材料の誘電率(屈折率&消衰係数)は、分光エリプソメーターにて測定し、また、基板の屈折率は、Ohara S-TIH57 を想定して $n=1.95504$ として計算を行った。水素検知では、センサ表面に接触した水素分子が、Pt 触媒層にて原子状に解離され、PdCuSi アモルファス層を通過して積層膜の内部に拡散・固溶して、Pd 層の光学特性を変化させる。図 2 に示すように、反射スペクトルは、Pd 層の光学特性に敏感であり、Pd の水素化(Pd-H_xの生成)にともなって、大きく変化することが期待される結果となった。一方、プラズモン共鳴角($\theta_1=52.3$ deg.)での反射率の急峻な減少は、表面媒質の屈折率を変えても変化は見られなかった。

水素センサを、スパッタ法を用いて実際に作製して、室温大気中での検知実験を行った。なお、水素検知層には、水素脆化の防止を目的として PdAg 合金膜を用いた。図 3 に示すように、水素-窒素混合ガス(H₂/N₂=4%, 200 ml/min.)の暴露にともなって、検知信号の明瞭な変化が確認された。一方、PdAg を形成していない試料では水素応答は見られなかった。本研究は、科研費(23K04619)の助成を受けて実施した。

[1] 山根他, 電気学会論文誌 E 144, 117 (2024).

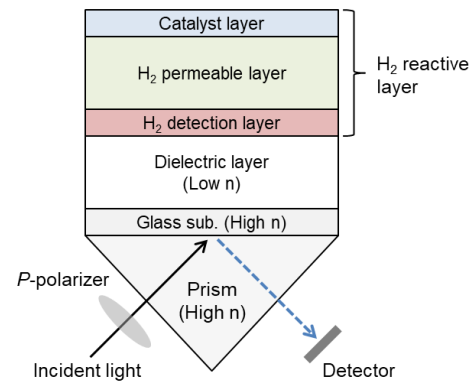


Fig. 1. Schematic for Otto-type SPR sensor element consisting of hydrogen-sensitive stacked film.

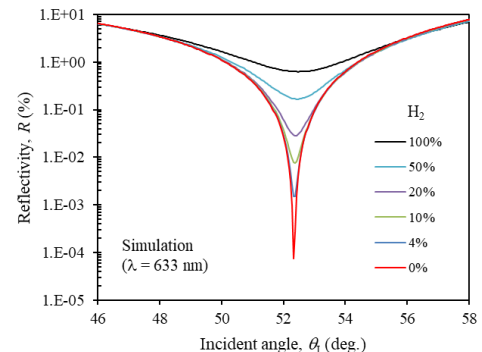


Fig. 2. SPR simulation for [Pt/PdCuSi/Pd/SiO₂] stacked film formed on high refractive substrate.

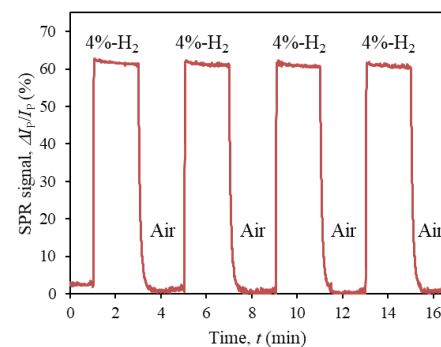


Fig. 3. Optical response in Otto-type SPR sensor to H₂-N₂ mixture gas.

クラッドレスプラナー光導波路型への LSPR センサー実装

Localized Surface Plasmon Resonance Sensor on Clad-less Planar Optical Waveguide
九州大システム生命¹, 九州大システム情報², 坂本侑哉¹, Du Haoze², Ge Lingpu², 吉岡宏晃², 豎直也², 佐々文洋², 興雄司², 林健司²

¹Grad. Sch. of I.S.L.S, Kyushu Univ., ²Grad. Sch. of I.S.E.E, Kyushu Univ.,

Yuya Sakamoto¹, Du Haoze², Ge Lingpu², Hiroaki Yoshioka², Naoya Tate², Fumihiko Sassa², Yuji Oki^{1,2}, Kenshi Hayashi^{1,2}

E-mail: oki@ed.kyushu-u.ac.jp

匂い分子の吸着に伴う局在表面プラズモン共鳴(LSPR)センサーは高感度なガスセンサーとしても注目されており、応答時間・識別性・時空間分布認識などにおいて特徴がある。我々は、「匂いの時空間揺らぎ情報に基づく人探索」において金ナノ粒子の LSPR 現象を用いたガスセンサーを匂い物質検出に応用し^[1]、外部光の反射・散乱で匂い検知を行ってきたが、背景光低減が課題であった。

そこで本研究では、背景ノイズを低減するエバネッセント光結合 LSPR を開発する。

図 1 にセンサーの概念図を示す。クラッドレスなプラナー光導波路として金ナノ粒子を蒸着した極薄ガラスフィルム

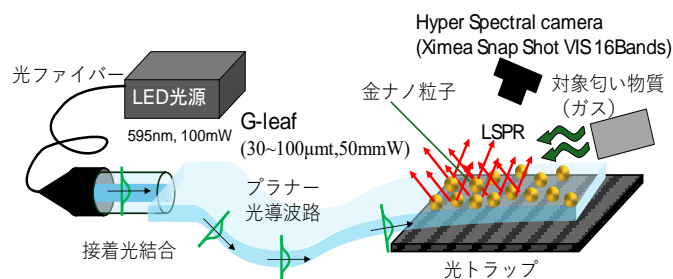


図 1 クラッドレスプラナー光導波路に実装した LSPR センサーの概念図

(Gleaf, 日本電気硝子, 30~100µm厚)を作製し、端面結合で LED(NewDEL N595, 100 mW, Lumedel 社)を結合する。G-leaf 入射端には遮光機能を持つ SOT (Silicone Optical Technology)アダプターを開発して、非結合光の回り込みによるノイズを低減した。

上部からのストリーク光の伝搬に伴う強度減衰は図 2 のように観測された。導波路厚さは 100 nm である。金ナノ粒子の厚さ d が 10 nm 以上では減衰長は長くストリーク光も強いが、これは金ナノ粒子が層を形成しているため、LSPR に寄与しない。一方 d が 5~7nm では減衰長は 5~6mm 程度と短い、金ナノ粒子とエバネッセント結合している状態とみられ、光導波型 LSPR として機能することが期待される。

本研究は JSPS 科研費 JP22K04969 の助成を受けたものである

[1] M. Matsuoka, G. Lingpu, F. Sassa; K. Hayashi: IEEE Sensors Letters 7, (2023) 500704

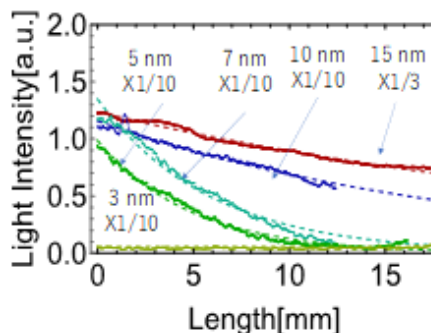


図 2 LSPR 金ナノ粒子コーティング厚に対するストリーク光伝搬減衰プロファイル

SS-OCT 方式デジタル光センサにおける デジタルフィルタによる安定性の検討

A Study on the Stability of the Digital Filter for SS-OCT Based Photonics Sensor

三菱電機(株) 情報技術総合研究所¹ ○山内隆典^{1*}, 北村堯之¹, 後藤広樹¹, 白畑卓磨¹, 小竹論季¹

Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Co.¹, °Takanori Yamauchi¹,

Kitamura Takayuki¹, Hiroki Goto¹, Shirahata Takuma¹, Nobuki Kotake¹

E-mail: Yamauchi.Takanori@ct.MitsubishiElectric.co.jp

我々は距離測定の一手法として波長掃引型光干渉断層計(SS-OCT)をベースとした光センサを提案している[1]. 波長掃引光源を用いて, 対象物までの距離に比例するビート周波数を持つ光を受光しフーリエ変換して得られるスペクトルを用いて測距する[2]. 反射ピークの半値全幅で定義される深さ分解能の信号処理による向上を目的として, スペクトル取得段階におけるフィルタの検討を行う. ウィーナフィルタ[3]の効果を実験により確認したので報告する.

Fig. 1(a) に実験系を示す. 中心波長 1.55 μm の波長掃引光源(Anritsu AQA5500P)を用いた. 照射光は, 光コネクタから空間に照射し, レンズを通して金属表面に集光した. 参照光と合波した後, 反射光と受光部へ結合させた. レンズは自動ステージによって対象物までの距離を 0.05 mm ステップで ± 0.5 mm の範囲で変化させた. それぞれの光は受信部へ結合後にオシロスコープで取得し, MATLAB によって信号処理した. フィルタの生成には焦点における反射ピークの伝達関数を用い他の座標に適用した. 伝達関数には対象物反射を用いた場合と光コネクタ端面におけるフレネル反射を用いた場合で対象物反射ピークの強度と半値全幅と変化をそれぞれ比較した.

Fig. 1(b) に対象物反射ピークの強度の座標依存性を示す. フレネル反射を伝達関数に用いた場合は 2.85 dB 向上した. Fig. 1(c) に対象物反射ピークの半値全幅の座標依存性を示す. 伝達関数にフレネル反射ピークを用いた場合は, 平均で 2.1 μm 改善した. フィルタの適用により, いずれの座標においても安定的に深さ分解能が向上した.

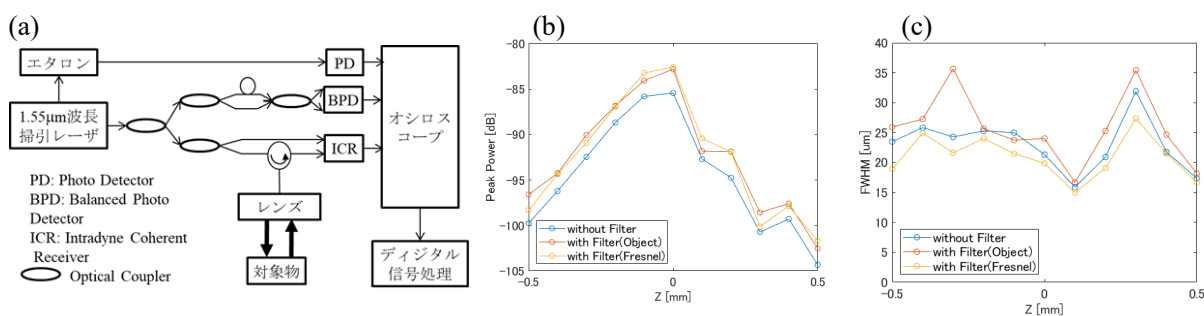


Fig.1 (a)Experimental setup. (b)Dependence of the Power on Z position. (c)Dependence of FWHM on Z position.

[1]山内他, 信学総大, B-10-28, 2019. [2]Huang D., Swanson E. A., Lin C. P., Schuman J. S., Stinson W. G., Chang W., Hee M. R., Flotte T., Gregory K., Puliafito C. A., Fujimoto J. G., "Optical coherence tomography," Science 254(5035), 1178–1181, 1991. [3] S. Kidera, T. Sakamoto, and T. Sato, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 48(4), 1685–1698 (2010).

ハイパースペクトルラマンイメージングライダーによる漏洩気体検知

Leak Gas Detection Technique with Hyperspectral Raman Imaging Lidar

レーザー総研¹, 阪大レーザー研², 原子力機構³, 千葉大院工⁴, 千葉大 CEReS⁵

○染川智弘^{1,2}, 松田晶平³, 倉橋慎理¹, 石井萌⁴, 久世宏明⁵, 椎名達雄⁴

ILT¹, ILE, Osaka Univ.², JAEA³, Grad. Sch. Eng., Chiba Univ.⁴, CEReS, Chiba Univ.⁵

○T. Somekawa^{1,2}, S. Matsuda¹, S. Kurahashi¹, M. Ishii⁴, H. Kuze⁴, and T. Shiina⁵

E-mail: somekawat@ilt.or.jp

東京電力福島第一原子力発電所では廃炉作業が進められているが、原子炉格納容器 (PCV) は事故により一部が損傷していることがわかっており、今後計画されている燃料デブリの取り出しが本格化した際には、気体状あるいはダスト状の放射性物質の漏洩が懸念されている。そこで、PCVからの漏洩気体の検出を目指してリモートセンシング技術を開発している。本発表ではハイパースペクトルラマンイメージングライダー (HSRIL) [1]による大気成分の可視化法について報告する。

ハイパースペクトル (HS) 方式では、カメラレンズ後方のスリットで直線状となった光が、回折格子を搭載したイメージング分光器を通過することにより、スリットと垂直な方向に分光され、カメラに結像される。後方のカメラの水平軸に位置情報が、垂直軸に波長情報が記録され、カメラ素子数分の分光情報が得られる。HS イメージングでは観測視野は幅が狭い直線状のスリット形状と狭くなるが、この直線スリット観測視野の垂直方向にシステムを走査させるだけで、効率的なマッピング観測が期待できる。Fig. 1に HSRIL によって沸騰させた鍋の上空を測定した結果を示す。大気成分の酸素、窒素からの信号に加えて大気中の水蒸気が観測されており、沸騰させた鍋の上空では水蒸気の信号が大きくなっていることがわかる。

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 JPJA23P23813496 によって遂行しました。ご協力いただいた方々に感謝の意を表します。

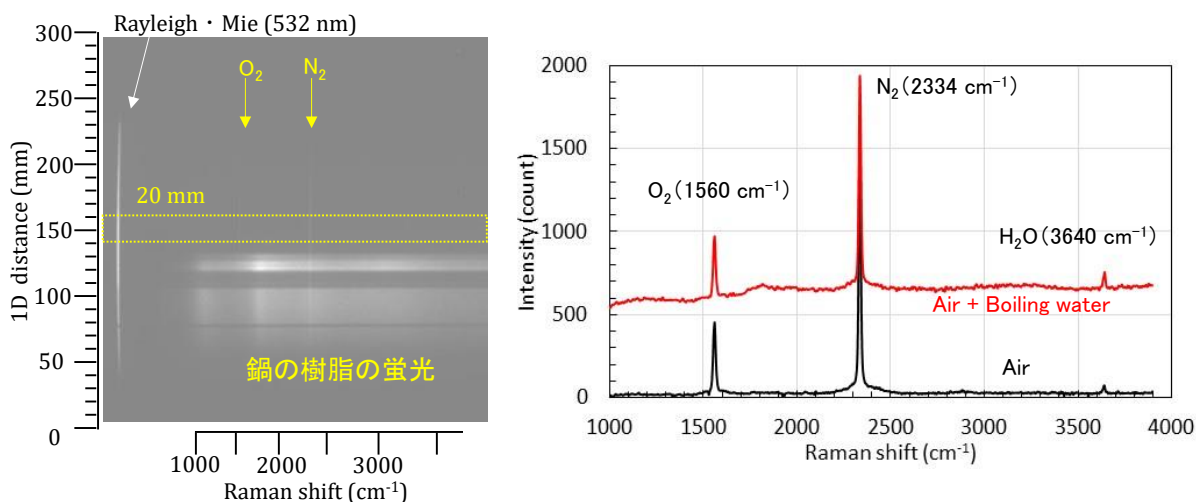


Fig. 1 Remote Raman spectra of the air and boiling water using hyperspectral Raman imaging lidar.

[1] T. Somekawa, S. Kurahashi, S. Matsuda, A. Yogo, and H. Kuze: Opt. Lett., **57** (2025)57.

ポータブル LD ベース蛍光 LiDAR による浮遊プラスチックごみのプロファイリング

Profiling of Floating Plastic Litter by Portable LD-based Fluorescence LiDAR

千葉大学¹, デラサール大学², フィリピン大学³ ○ジュマール・カドンドン^{1,2,3},エドガー・バラール², マリア・セシリア・ガルベス², 椎名達雄¹Chiba University¹, De La Salle University², University of the Philippines³ ○Jumar Cadondon^{1,2,3},Edgar Vallar², Maria Cecilia Galvez², Tatsuo Shiina¹

E-mail: jgcadondon@up.edu.ph

1. はじめに

プラスチックごみ (PL) は、水生生態系の健全性をますます脅かし、人類に社会的・健康的リスクをもたらす地球環境問題である。一方、プラスチックごみ問題は、河川、海、海岸などさまざまな環境で多様化し複雑となり、様々なリモートセンシング技術による貢献が必要であると考えられている。

パナクロマチックカメラ、マルチ/ハイパースペクトルセンサー、熱赤外線センサーなど、いくつかの光学パッシブリモートセンシング技術は、制御された実験または実際の海洋環境で、PL リモートセンシングに関連して既に研究されている[1]。一方、LiDAR による PL 検出の可能性は、まだほとんど検討されていない[2]。本論文では、ハイパースペクトル蛍光 LiDAR を用いて、制御された条件下で行われたプラスチックごみの測定結果を報告する。

2. 観察

本研究では、Figure 1 に示すように、励起波長 405 nm の LD を用い、受信系に屈折望遠鏡を用いたポータブル蛍光 LiDAR システムを開発した。LiDAR の開発に関する詳細な考察は、以前に報告している[2]。

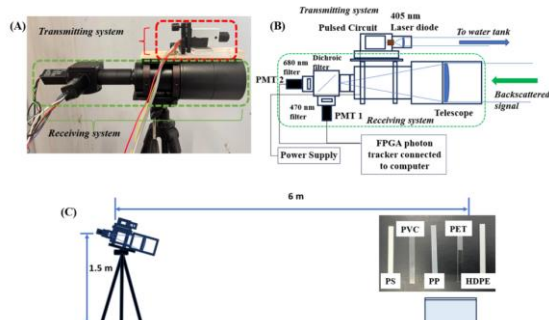


Figure 1. (A) Actual fluorescence lidar system, (B) schematic diagram, and (C) experimental setup and plastic samples used in the laboratory for the fluorescence lidar measurements.

励起発光分光法を用いて、乾燥 PL と水中 PL を分析した (Figure 2)。取得されたスペクトルは、励起波長 405 nm、発光波長 420 nm から 700 nm のスペクトルを室温で使用している。Figure 3 は水試料中の蛍光 LiDAR 信号を示している。バックグラ

ウンドシグナルを差し引くことで、環境要因やフォトンカウンティングデバイスの内部ノイズが低減される [3]。

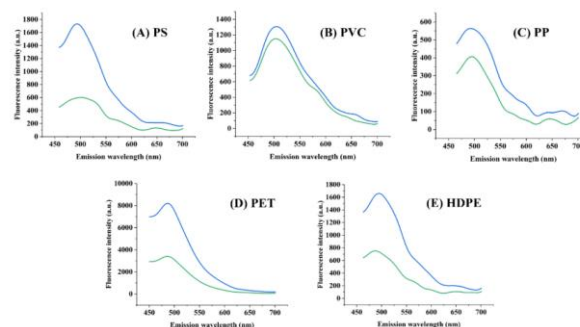


Figure 2. Fluorescence spectra of several plastics using excitation-emission spectroscopy. The green line represents the dry samples, while the blue line represents the submerged samples.

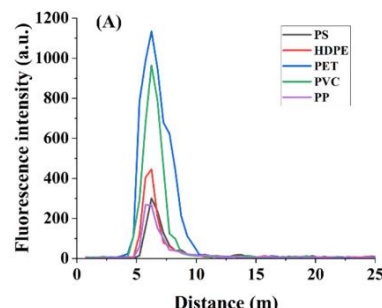


Figure 3. Fluorescence LiDAR signals of water, and several PL samples.

分光データは、乾燥 PL 試料と水中 PL 試料の蛍光パターンに有意な変化を示さなかった。一方、開発した蛍光 LiDAR システムでは、ピーク強度シグナルの変化が観察された。PET の PL サンプルは、他のサンプルと比較して検出されやすいことが観察される。これは、ポータブル 405 nm LD ベースの蛍光 LiDAR が、外洋におけるプラスチックごみモニタリングに適していることを証明している。

参考文献

1. Palombini, Lorenzo and Raimondi, Valentina, Remote Sensing, 14, 5914 (2022).
2. Cadondon, J. et al., Mar. Poll. Bull., 207(2024). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116842>
3. Cadondon, J. et al., Proc SPIE 13264 (2024). <https://doi.org/10.1117/12.3042936>

狭帯域赤外カメラを用いた二酸化炭素ガス排出量の計測

Quantification of CO₂ gas emission based on a narrow-band infrared camera

NIMS¹, 東大工² °宮崎 英樹¹, 笠谷 岳士¹, 木本 一也¹, 對木 雄太郎¹, 豊島 慶大^{1,2},
齋藤 正浩¹, 落合 哲行¹

NIMS¹, Univ. Tokyo² °H. T. Miyazaki¹, T. Kasaya¹, K. Kimoto¹, Y. Tsuiki¹, K. Toyoshima^{1,2},
M. Saito¹, T. Ochiai¹

E-mail: MIYAZAKI.Hideki@nims.go.jp

熱放射やガス固有の吸収スペクトルが現れる中赤外光 (2.5~25 μm) は、温度やガス濃度の計測に重要な波長域である。メタンなどの可燃性ガスについては、石油・天然ガスプラントなどでガスの吸収波長に合わせた冷却狭帯域フィルタ(コールドフィルタ)を取り付けた中赤外カメラを用いてガスが可視化されており[1]、定量計測の試みも進んでいる[2]。我々は、二酸化炭素(CO₂)排出への関心の高まりを受け、CO₂吸収波長(4.26 μm)に合わせたコールドフィルタによりCO₂を高いコントラストで可視化できる狭帯域InSbカメラを(株)フットニクラティスと共同開発し[3]、CO₂排出量の画像計測の可能性を検討してきた。

CO₂の定量計測においては、これまでのメタンなどとは異なる問題に直面する。第1に、CO₂は大気中に普遍的に存在する(約400 ppm)。その中で、特定の排出源から放出されるCO₂だけを選択的に計測できねばならない。第2に、CO₂は燃焼に伴い排出される場合が多いので、大気よりも高温のガスが放出され、それが徐々に冷えていく過程の画像から排出量を計測することとなる。しかし、ガスの見え方は、濃度だけでなく温度にも依存するため(高温のガスは明るく、低温のガスは暗く見える)、濃度や排出量の計測にはガスの温度の考慮が重要になる。

本研究では、ガスの排出を2次元と近似し、排出源を取り囲む閉曲線に連続の式を適用し、画像の輝度から求めた濃度(柱密度、単位: ppm·m)とオプティカルフローから求めた流速ベクトルからCO₂排出量を画像計測するシステムを開発した。大気中に含まれていたCO₂の流れは閉曲線での積分によりキャンセルされるため、排出源から湧き出したCO₂だけを計測できる。また、ガス温度の影響は輻射輸送方程式を通して考慮し、輝度と濃度の関係を補正する。閉曲線を排出直後の領域に設定すれば、ガスの温度が大きく変わる前に計測を終えることができる。

煙突から排出されるCO₂の計測例をFIG.に示す。色は柱密度、左上の数値と下のグラフはCO₂流量、右上の数値はCO₂積算排出量を示す。

ガス温度の簡易的な計測方法、他の計測方法との結果の比較についても、時間が許せば紹介したい。
謝辞 PRISM、NIMS センサ・アクチュエータ研究開発プロジェクト、市村清新技術財団、JSPS 科研費(JP22K18990, JP23K26576)、NEDO 先導研究プログラム/未踏チャレンジ、鉄鋼環境基金、(株)フットニクラティス、福井大学医学部眼科教室、NIMS 施設企画管理室に感謝します。

参考文献 [1] M. Vollmer and K.-P. Mollmann, *Infrared Thermal Imaging, 2nd Ed.* (Wiley, 2018), pp. 561-613. [2] N. Hagen, *J. Opt.* **22**, 103001 (2020). [3] <https://www.youtube.com/watch?v=fcmFokliq2Q>.

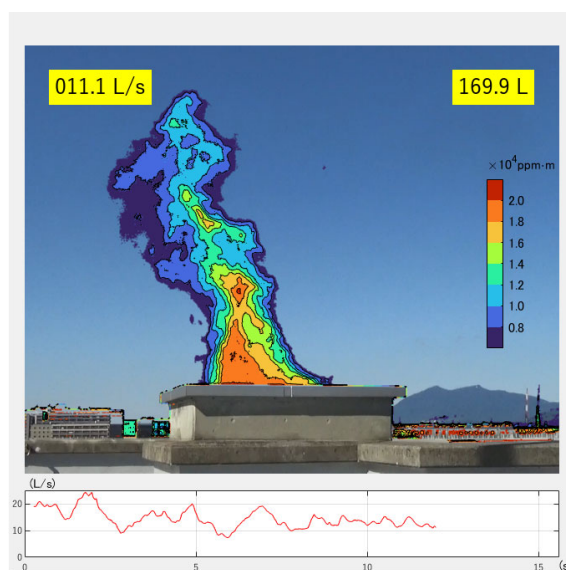


Fig. Quantified CO₂ gas emission from a chimney based on a single-wavelength infrared image. Superimposed on a visible image.

低コヒーレンスドップラーライダーによる接地境界層の砂塵・風場計測

Measurement of dust and wind fields in the surface layer

using a low-coherence Doppler lidar

千葉大学 ○(B)原 悠大, 大久保 洸祐, 椎名 達雄

Chiba Univ., °Yudai Hara, Kosuke Okubo, Tatsuo Shiina

E-mail: 21t1238b@student.gs.chiba-u.jp

1. はじめに

低層大気の流れや粉塵の流は高層大気に比べ急峻に変化し複雑化している。近年 PM2.5 など浮遊粒子状物質が度々問題になり、地表近くの風場や砂塵の動きの計測および可視化の需要が高まっている。計測手法には計測場を乱さずに遠隔でおこなうドップラーライダーが有用である。しかし、空港などに導入されている既存のドップラーライダーでは時空間スケールの大きい鉛直上空大気を 200m から数 km の広範囲で長時間積算するため、数秒・数 m の小さい時空間スケールとなる低層大気の動きを追従しきれない。

本研究では空間分解能 1m で高速計測する低コヒーレンスドップラーライダー (LCDL) の開発を行い、接地境界層での風場をモニタリングするためにグラウンドでの砂塵計測および室内での風場を計測し、砂塵と風の信号の出方が大きく異なり浮遊粒子状物質の区別ができることを報告する。

2. 装置

LCDL の構成は送信系、受信系、ファイバ光学系、ホモダイン検出系、信号処理系からなる。LCDL の仕様を Table 1 に示す。送信系で用いた低コヒーレント光源は DFB-LD (II-VI Incorporated 社の CM96Z400) である。可干渉距離はおおよそ 1m である。送信光の一部を参照光として 99:1 ファイバカプラで取り出す。参照光量は約 1mW である。受信系には開口径 75mm のレンズを用い受信しファイバ結合する。参照光と受信光を 50:50 ファイバカプラで干渉させてバランス検出器で検出する。ドップラーシフトしたビート周波数を FFT 解析することで風速を求める。参照光路に用いるファイバ長を変更することで任意に計測距離を決定できる。

3. LCDL による接地境界層での砂塵・風場測定

まず、開発した LCDL を用いてグラウンドで砂塵計測をおこなった[1]。砂塵の計測結果を Fig.1 の青線に示す。砂塵の信号は速度幅を広く持ったスペクトルで得られた。これは地表の様々な粒子が舞上がったことによる。Fig.1 の赤線は砂塵なしの信号である。バックグラウンドに見られる 3-4MHz 付近の信号については装置に起因するノイズである。

一方、同装置で室内にて風場計測をおこなった。10.5m 先に長さ 1m の風洞を設置し、サーキュレーターで向かい風をつくって測定した。風洞内には風速計 (testo 405i Smart Probe) を設置した。風場の計測結果を Fig.1 の緑線に示す。風の信号は砂塵と異なりスペクトル

ルの狭い単一の形状が見られた。砂塵と風でノイズレベルが異なっているのは参照光量を変化させたことによって発生している。風信号の出方が狭いのは Single Particle Detection の状態になっているからだと考えられる[2]。LCDL で得られた風信号を同時計測の風速計と比較したのが Fig.2 になり、風速計とよい一致を示している。砂塵と風の信号の出方が異なることから、大気中の浮遊粒子状物質の区別が可能となる。

今後は、現在 3~4MHz に発生しているノイズの原因解明および、実風場計測を行っていく予定である。

Table 1. Specifications of low coherence Doppler lidar.

Componet	Qualification	Specification
Transmitter	Center Wavelength	975nm
	Coherence length	1m
	Drive current, Temperature	650mA, 25°C
	Laser power	0.25W
Receiver	Diameter of aperture	75mm
	Bandwidth of balanced detector	200MHz
	Sampling Rate	250MSa/s
	Sampling Time	5ms

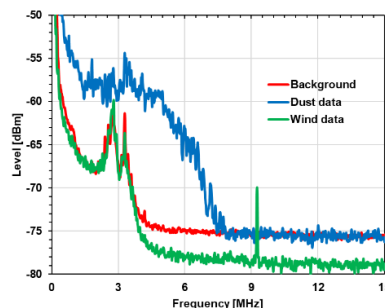


Fig.1. Sand and Wind Signal measured by LCDL

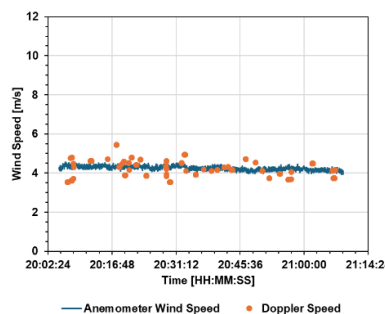


Fig.2. Comparison of velocities obtained from simultaneous anemometer and Doppler lidar measurements

参考文献

- Kosuke Okubo and Tatsuo Shiina, Proc. SPIE 13265, Lidar and Optical Remote Sensing for Environmental Monitoring XVII, 1326502 (2024)
- Shumpei Kameyama, Japanese Journal of Applied Physics 63(4) 042002 (2024).

マイケルソン干渉ゴーストイメージングを用いた散乱媒質内の物体検出

Target Imaging in Scattering Media Using Michelson Interferometer Ghost Imaging

三菱電機¹, 千葉大², °シャフケティ アリフ^{1,2}, 呼延 徳才², 椎名達雄²
Mitsubishi Electric Corp.¹, Chiba Univ.², °Alifu Xiafukaiti^{1,2}, Decai Huyan², Tatsuo Shiina²

E-mail: Xiafukaiti.Alifu@ct.MitsubishiElectric.co.jp

まえがき

散乱媒体中での物体検出を高速かつ3Dイメージングで行うことは、光計測の分野において重要な役割を果たす。マイケルソン干渉計(MI)にゴーストイメージング(GI)を応用した新しいMIGIセンシング手法は、GIの高いノイズ耐性と光干渉による断層計測機能を統合し、走査なしでの3Dイメージングの実現が期待できる。しかし、GIでは被測定物の高品質なイメージを再構築するために、多数の異なる光パターンの照射が必要であり、計測時間の延長が避けられない。本研究では、Migiにおける短時間測定を実現するために、深層学習手法であるDeep Image Prior(DIP)を導入し²⁾、従来手法に比べて計測時間の短縮に顕著な改善が見られた。本報告では、Migiの構成とアルゴリズム、および深層学習の適用過程について述べ、シミュレーションおよび実験により取得した結果を基に、本手法の有効性を評価する。

方法・結果・考察

Migi実験システムはFig.1に示す。SLD光源からの出力光は、コリメーターとビームエキスパンダを通過して拡大された平行ビームに変換され、Digital Micro-Mirror Device(DMD)に照射される。GIに必要なランダムな光パターンを形成するために、DMDを用いて平行ビームの断面光強度をランダムに変調する。シミュレーションと実験では、アルファベット文字「E」を被測定物として使用した。ランダムな光パターンはビームスプリッターを介してサンプル(物体を設置した散乱媒質)と参照ミラーに照射され、サンプルからの後方散乱光と参照ミラーの反射光が干渉を起こし、単一検出器で断面ごとの干渉信号が取得される。

GIの信号処理では、光パターンの照射を用いた計測後に、各光パターンとそれに対応する干渉信号との相関を計算し、サンプルのイメージを再構築する³⁾。一般に、鮮明なサンプルイメージを構築するためには、少なくとも画素数の2乗回の光パターンを照射する必要がある。しかし、この量の照射には多くの時間がかかるため、信号処理の段階で教師データを必要としない深層学習手法であるDIPを導入した。具体的には、任意のノイズ画像を入力とし、実測の再構築イメージを出力とする設定において、DIPは入力から出力への変換を行うネットワークパラメータを勾配降下法で最適化する。その結果、学習の途中でノイズが除去され、品質の高い画像が得られる。

DIPの有無におけるシミュレーションおよび実験結果はFig.2に示す。シミュレーションでは、

従来比12.5%のサンプリングレートで鮮明なイメージを再構成でき、64×64のピクセル解像度に必要な計測時間を87.5%削減した。DIPにて200回の反復処理後、SSIMを用いて再構成イメージの品質を評価した結果、0.9以上の高いSSIM値が得られた。実験では、DIPの最適な学習率0.01で複数のサンプリングレートを用いてイメージを再構成し、従来手法との比較を行った。その結果、12.5%のサンプリングレートで300%の改善率に達し、高いサンプリングレートでは30%~45%の改善率が得られた。また、シミュレーションとは異なり、散乱媒質による多重散乱の影響で0.5程度のSSIM値を得られた。本研究での発想は、大気リモートセンシングにおいて、大気浮遊粒子、風やガスのリアルタイムイメージング、およびイメージングライダーの進化につながる事が期待できる。

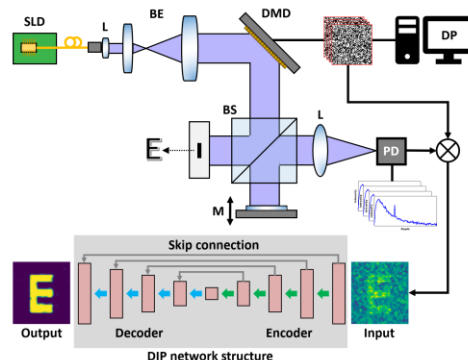


Fig.1 Experiment configuration for target imaging within scattering media using Migi system.

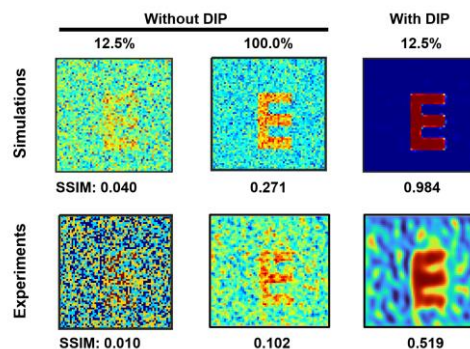


Fig.2 Simulation and experiment results with and without the application of the DIP method.

参考文献

- 1) D. Huyan, et al., Photonics 10, 146, 2023.
- 2) V. Lempitsky, et al., 2018 IEEE/CVF Conf. on Comput. Vis. Pattern Recognit., 9446-9454, 2018.
- 3) F. Ferri et al., Phys. Rev. Lett. 104, 253603, 2010.

265nm LED ミニライダーによるオゾン観測

Ozone gas measurement by 265nm LED mini-lidar

千葉大院¹, Stanley Elec.² ○椎名 達雄¹, 川上 康之², 山口 雄大²

Chiba Univ.¹, Stanley Elec.², °Tatsuo Shiina¹, Yasuyuki Kawakami², Yudai Yamaguchi²

E-mail: shiina@faculty.chiba-u.jp

1. はじめに

昨年 265nm LED ミニライダーを開発し、その昼夜観測について報告した[1]。265nm の光は DUV 領域のソーラーブラインドエリアに入り、大気背景光の影響を除いた大気用ライダーの構成が取れる。この波長域ではエアロゾル散乱体の散乱断面積が大きくなるだけでなく、大気分子による散乱も大きい。本報告では 265nm 波長帯に吸収をもつオゾンガスの計測を試みた結果をまとめる。

2. 大気分子とエアロゾルによる光の消散

DUV となるこの波長域ではエアロゾル散乱体の散乱断面積が大きくなるだけでなく、大気分子による散乱も大きい。具体的な大気エアロゾルの散乱係数と大気分子の散乱係数を次式で見積もった[2]。

$$\alpha_m(\lambda) = \alpha_m(550) \cdot (\lambda/550)^{-4}$$

$$\alpha_p(\lambda) = \alpha_p(550) \cdot (\lambda/550)^{-0.8}$$

その結果、後方散乱係数は $\beta_m(265) = \alpha_m(265)/50 = 7.662 \times 10^{-6}$ [1/m] および、 $\beta_p(265) = 4.094 \times 10^{-6}$ [1/m] と見積もられた。エアロゾルの散乱係数が大気分子による散乱係数と同等の大きさをもつことがわかる。

本研究では大気分子のライダーへの寄与を見る目的でオゾン発生機を利用した実験を試みた。

3. オゾン計測

Figure 1 に 265nm LED ミニライダーを用いたオゾンガス計測実験の構成を示す。15m の距離を持つ廊下で前方をガラス窓で仕切られた半解放の空間にてライダーを設置し、前方 10m のところにオゾン発生機 (FELLAT 社製 10,000mg/h) を配置した。計測では事前に大気計測を行った後、オゾン発生機のスイッチを入れ、以降 5-10 分毎に大気計測を繰り返した。

Figure 2 にオゾン発生の有無でのライダー波形の変化を示す。横軸は計測距離、縦軸はライダーエコーカウントを示している。オゾン発生によってライダーのカウント全体が下がっている様子が伺える。特に発生機をおいた 10m 前後での減り方が大きいように見える。ただ、波形全体ではライダーカウントに大きな違いは見られないため、4.5m-13.5m でのライダーカウントを積算して測定毎にまとめた。その結果を Figure 3 に示す。横軸は測定回を示し、1-3 はオゾン発生なし、その後オゾンを発生開始し、その直後が 4、以降オゾン発生を続けたまま、5-8 の測定を繰り返した。途中、オゾン発生機の向きをライダー方向に変え(7)、最後はオゾン発生機の距離を 6.6m に変更(8)している。Figure 3 を見ると、オゾン発生直後(4)で積算値が下がり始め、8 分後の測定(5)ですでにオゾン発生の影響は廊下の空間全体に広がっている様子が伺える。実際、オゾン臭は発生機のスイッチを入れた直後からライダー側でも感じ

られており、この結果は状況をよく表している。現在、定量的な考察の検討を進めている。

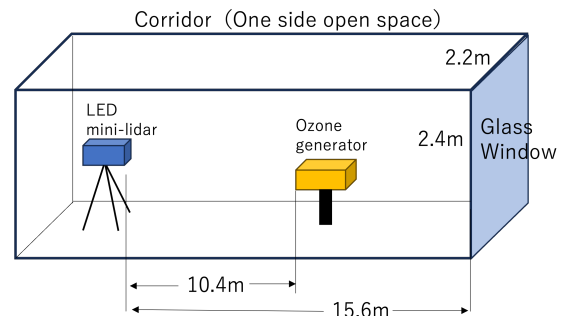


Fig. 1 lidar setup for Ozone measurement.

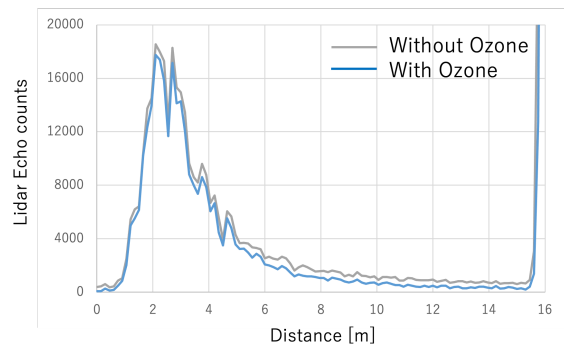


Fig. 2 Lidar echoes with and without ozone gas.

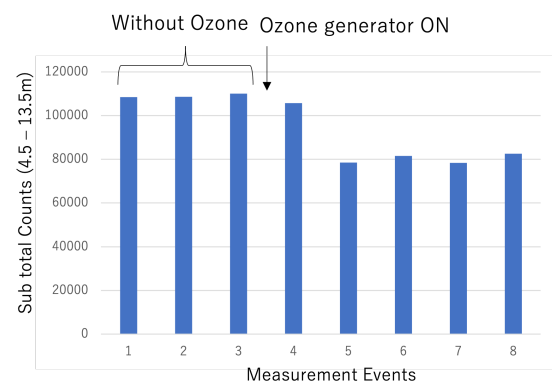


Fig. 3 Sub total lidar echo counts with / without ozone gas.

参考文献

1. 椎名他、応用物理学会春季学術講演会予稿集 (2024) 25p-12B-1
2. J. Xian et al, Optics Express, **28**(16), (2020):23829-23845

LD ミニライダーによる霧・煙の高透過率領域での定量評価 Quantitative evaluation of fog and smoke in the high transmittance range by using LD mini-Lidar

千葉大学¹ 株式会社オプトゲート² ○大山 聖矢^{1,2}, 田中 雅之², 中居 道弘²,
花島 正和², 志田 侑翼¹, 椎名 達雄¹

Chiba Univ.¹ OPT Gate Co.,LTD² ○Seiya Oyama^{1,2}, Masayuki Tanaka², Michihiro Nakai²,
Masakazu Hanashima², Yusuke Shida¹, Tatsuo Shiina¹
E-mail: seiya.oyama@greenconnect.co.jp

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。霧や煙の距離挙動検出の為に、霧や煙の濃度が低い状態、言い換えると光の透過率が高い状態(特に透過率 90%以上の高透過率領域)における定量評価が重要である。

一方で単に高透過率領域において定量するだけでなく、計測に対する時間応答が早く、空間分解能が小さいことも重要である。これは、一般的な大気観測用のライダーではこの用途には適さない事を意味している^{1,2}。本研究では高感度と高速、高分解能を両立するために、フォトンカウンターを採用した LD ミニライダーを開発して測定を行っており、透過率 90%以上の高透過率領域における定量評価を目的としている。

2. 装置

本研究で作成した LD ミニライダーは光源波長が 405nm、尖頭出力が 0.582W(平均 3.60mW)であり、大きさは監視カメラ程度である。測定では、高透過率で安定した測定を行うために、1m³ の測定エリアを持つチャンバーを作成し実験した(Fig.1)。

3. 実験

2024 年 12 月 23 日の測定結果を Fig.2、Fig.3 に示す。Fig.2、Fig.3 はどちらも横軸に透過率計の透過率、縦軸にライダーカウントとして表示させている。また、この時のライダーカウントは、チャンバー内 1m 分のカウントを平均している。

Fig.2 は霧の結果を示している。Fig.2 において透過率 90%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 -0.978 であった。この結果から、今回作成した LD ミニライダーは霧発生初期段階の高透過率範囲での霧の測定が可能である。また線形の相関を示すことを用いて、ライダーカウントから透過率の推定が可能である。

Fig.3 は煙の結果を示している。煙の結果に関しても、発生初期濃度に近い 90%以上の透過率範囲で線形性の相関がみられ、この時の相関係数 R は -0.969 であった。

4. まとめ

本研究では透過率 90%以上の高透過率領域における霧及び煙の定量評価を実現した。霧及び煙の測定結果から算出される消散係数は粒子の径、粒子数、物性の違いが影響していると考えられる。現在、それらの

要因から理論的に求めた消散係数と、実験結果から算出される消散係数とを比較・考察している。

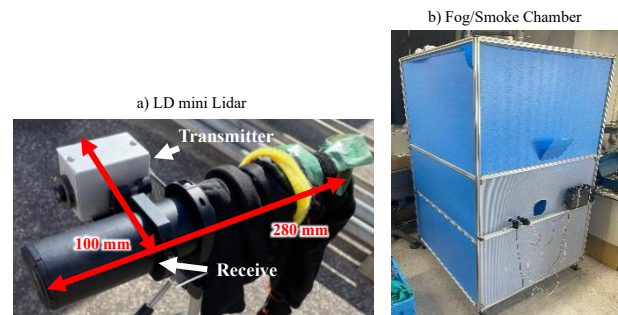


Fig.1 LD mini Lidar and Fog/Smoke Chamber

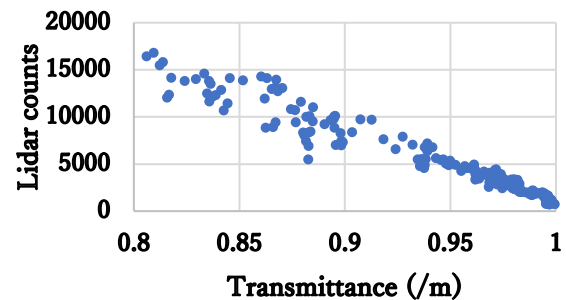


Fig.2 Relationship between Lidar counts and transmittance due to fog

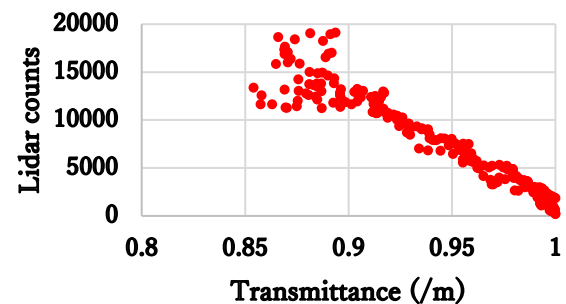


Fig.3 Relationship between Lidar counts and transmittance due to smoke

参考文献

1. Jinhong Xian, et al. Optics Express Vol.28, No.16 (2020) 23829
2. Andrei B. Utkin, et al. Proc. SPIE, (2014)