

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02383

研究課題名（和文）表層大気・ガスの特異な挙動の可視化と挙動メカニズムの解明

研究課題名（英文）Visualization of Peculiar Dynamics of Surface Atmosphere and Gas and its mechanism

研究代表者

椎名 達雄 (Shiina, Tatsuo)

千葉大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：80304187

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では表層大気・ガスの得意な挙動の可視化と挙動メカニズムの解明を目的に研究を推進した。本研究で開発したLEDライダーは機能化を図り、Mie散乱、Raman散乱および偏光計測に応用を図った。それぞれのライダーの同期計測を行い、粉塵の定量計測ならびに波浪の挙動計測を行った。本研究では目的としていた表層大気・ガスの得意な挙動の可視化と挙動メカニズムの解明を大きく前進できた。加えて、LEDライダーのパルス発振回路を新たに開発し、その潜在的な価値を飛躍的に前進できている。この成果は次の研究課題（基盤研究B 23H01645）へと引き継ぎ、表層大気・ガスの乱流場の挙動メカニズム解明へと発展させる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

表層大気・ガスはそれ自身がセル（空気だまり）として移動する際、地形や地表面状況、構造物等によってその挙動は強く影響を受ける。同時に温湿度や風、気圧、日射等の気象因子にも表層大気の挙動は大きく反映される。砂面や海表面のように砂塵や波浪が生じるような場合、表層大気とのインタラクション（相互作用）はさらに複雑さを増し、風を含む大気が砂塵や波浪を牽引するのか、砂塵や波浪が大気を牽引するのか、状況によって異なる現象を生じる。表層大気と地表面・海表面との動的インタラクションの解明は物質境界での現象把握による関心が高く、境界層での物質拡散、輸送、及びそれらへの地形・気象因子の効果といった観点が興味深い。

研究成果の概要（英文）：This study has been conducted with the purposes to visualize peculiar dynamics of surface atmosphere and gas and to clear its mechanism. The LED lidar had its function of Mie scattering light, Raman scattering light and polarized light measurements. Those LED lidars were used synchronously, and observed dust flow quantitatively and sea wave dynamics. This study could achieve their visualization successfully. We developed a new pulse oscillation circuits for LED lidar. Its potential is quite high because of higher optical power of >10W and short pulse width of <1ns. Those achievements will be succeeded to the next study subject (Grant-in Aid for Scientific Research B) for turbulent field monitoring of surface atmosphere and gas.

研究分野：光電計測

キーワード：LEDライダー 表層大気 ガス 挙動 インタラクション 可視化

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

表層大気・ガスはそれ自身がセル（空気だまり）として移動する際、地形や地表面状況、構造物等によってその挙動は強く影響を受ける。同時に温湿度や風、気圧、日射等の気象因子にも表層大気の挙動は大きく反映される。砂面や海表面のように砂塵や波浪が生じるような場合、表層大気とのインタラクション（相互作用）はさらに複雑さを増し、風を含む大気が砂塵や波浪を牽引するのか、砂塵や波浪が大気を牽引するのか、状況によって異なる現象を生じる。トンネル内ガスや火山性ガスの発現場での挙動も同様である。

一般に地形因子や気象因子等の要件を条件としてモデル化し、表層大気の挙動を検証する方法が用いられるが、モデルの条件選択の因果関係が大きすぎ、特に実際の現場、局所的な表層大気の変化状況を把握するには解析の結果と実際に大きな隔りがある。そもそも現場での因子の選択が容易ではなく、時空間でのエリア内センシングがモデル構築の基礎データとなり、また、モデル解析の結果が上記エリア内センシングの結果のアルゴリズム解釈に不可欠な状況にある。

表層大気と地表面・海表面との動的インタラクションには地形・気象因子を含めた時系列の挙動メカニズムが働く。この表層大気・ガスの挙動メカニズムの解明は物質境界での現象把握による関心が高く、境界層での物質拡散、輸送、ならびにそれらへの地形因子・気象因子の効果といった観点が興味深い。本研究は表層大気と海表面との動的インタラクションによる挙動においてどちらが他方を牽引するかといった学術的な問いに答え得る内容である。

2. 研究の目的

本申請では地表面／海表面と表層大気・ガスの動的インタラクションの得意な挙動の可視化とその挙動メカニズムの解明を目的とする。先行研究（平成 28 年度採択 基盤研究 B 代表椎名）では独自に開発した LED ミニライダーによって局所大気の静的インタラクションの可視化が実現できた。0.15m の高い分解能、0.2s の高速な積算時間で装置手前数 m からの局所大気・ガスを可視化できた。擬似ランダム変調の導入し、人工照明下（建物内、構造物内）ならびに日中日陰での観測を可能とした。

本研究では、先行研究で開発した LED ミニライダーを元に自立化・機能化によって課題解決を図り、表層大気・ガスと地表面／海表面との動的インタラクションの挙動を可視化させる。光源を LED としたことでレーザーよりも紫外から近赤外に渡る広い波長範囲を自由に選択でき、低消費電力で機器使用の安全性も確保できる。このため、自給型電源を電源で長時間駆動でき、かつ Mie 散乱、Raman 散乱、ならびに偏光抽出を利用した機能化を図ることができる。一方で、先行研究ではキャンペーン測定（時間、期間を定めた現地測定）によって表層大気と地表面との静的インタラクションは可視化できたものの、表層大気・ガスの動的インタラクションの可視化ならびに挙動メカニズムの把握には長時間・長期間の計測が必要となり、課題が残された。長時間計測の課題とは、測定間の数値の整合、多点計測時の時空間補正等である。加えて機器の安定性、整合性を向上させることが長時間・長期間計測時の要件になる。

本申請では自立型、機能化したシステムとすることでキャンペーン測定としてではなく、実環境下での長時間・長期間にわたる挙動変化を可視化によって捉える。自立型とは太陽光発電と蓄電池による自給での電力供給によってライダーシステムを自立させ、スキャニングや観測方向の特定を遠隔制御する。LED 光源による低消費電力、安全性の高いシステムだからこそ実現できる。機能化とは、気象因子を含めて Mie 散乱、Raman 散乱、ならびに偏光情報を利用した同期したライダー観測を行うことを指す。これらの工夫によって表層大気と地表面との動的インタラクションの可視化と挙動メカニズムの解明を目指した。

近距離大気、特に表層大気を高分解能(0.15m)、高速(0.2s 積算)で可視化させる技術は他になく、独自の技術である。これまで可視化できなかった表層大気と地表面との動的インタラクションを可視化させることは独創性に富む。挙動メカニズムが解明できれば、ガスだまりの移動や局所濃度の高騰といった危険回避、ダスト濃度モニタや操作、エリア開発構想・計画等への状況予測、さらには作業現場での安全・安心の保証といった現場監視に有効である。

3. 研究の方法

従来の大気観測用ライダーはレーザー光源のき弱性のため、また大きな駆動電流のため、バッテリーでの稼働が叶わず、公用電源が不可欠であった。局所大気の挙動把握には現場へ機器を設置するため、公用電源の確保が難しい。本研究では LED 光源を使用していることで機器の安全性と小消費電力、メンテナンスフリーを実現してバッテリー駆動を可能とする。遠隔制御を通してシステムの制御と観測を自動化させる。太陽電池と蓄電池を組み合わせた自立したシステムを構築することで設置場所を選ばず、監視カメラ型のシステムを開発することで現場への導入が容易となる（図 1）。

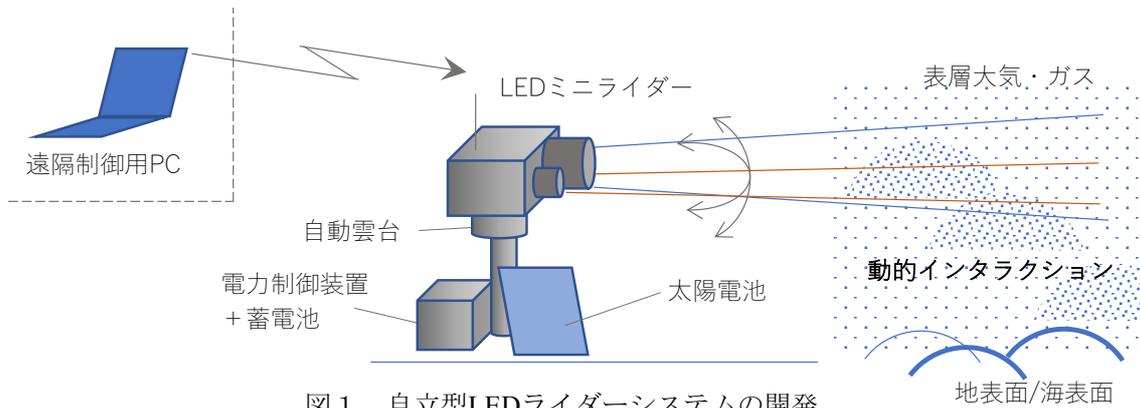


図1 自立型LEDライダーシステムの開発

本研究ではLEDライダーの自立化と機能化（偏光、ラマン散乱、蛍光）を図り、表層大気と地表面・海表面との動的インタラクションの可視化を実地で計測し、実証を行った。以下にその計測結果を示す。

4. 研究成果

4.1 局所挙動の可視化と定量評価

火星探査用ローバに搭載することを想定したLEDミニライダーを開発している。LEDライダーは光学機器の脆弱性を回避し、電力消費や機器サイズ、許容重量の観点で選択している¹⁾。装置仕様を表1に示す。現状でホトンカウンタの消費電力が2W/chと大きいのが、他は設計指針を満たす構成を実現している。最大0.2sの積算時間で30m～の大気を可視化させることを可能としている。これにより、時間変化の速い旋風の挙動を捉える。

定量計測の評価には2m³の粉塵チャンバにグリセリン粒子を充填させ、その沈降の様子を観測することで行なった²⁾。10mほど離れた場所からライダーで観測した。透過率計、パーティクルカウンタを用いて同時計測を行い、その相関を解析した。図2に結果を示す。消散係数による評価で、線形的な相関と、0.015以下ではライダーエコーがノイズに埋もれている状況を示している。

図3は霧が濃く立ち込めた中でその挙動を観察した結果である。図3(a)は5分間の短い時間に0.2s積算で得た結果であり、時間変動が捉えられている。単調な増加、減衰の変化ではなく、濃くなったり薄くなったりの強弱を繰り返して変動する様子が見て取れる。時間にして5-10秒ほどの周期で強弱を繰り返し、空間的にも数m-5mほどの変動が観察された。

図3(b)は30分間に霧が晴れていく様子を捉えた結果である。図3(a)の0.2s積算での変動をみると10sほどの細かな強弱を繰り返しながら変化していく様子が捉えられている。

定量計測の考察をこの霧の結果に当てはめた。視程τと霧水量との間には式(1)の関係がある³⁾。

$$Visibility = \frac{2a_e \rho}{3\omega} \log \frac{1}{\Delta} \quad (1)$$

a_e は有効半径、 ρ は密度、 ω は霧水量である。霧の粒径を15 μ m($a_e = 7.5\mu$ m)として、図2の線形の範囲で霧水量と散乱断面積を算出した。その結果、0.015 - 0.025/mの消散係数の範囲に対して霧水量は0.1 - 0.167 g/m³という値づけを得られた。これは霧が自ら浮遊する性質を表した結果として妥当である。

表1. 火星探査ローバのためのLEDミニライダー

Transmitter	
Light Source	NCNU034B (Nichia Co. Ltd.)
Wavelength	385nm
Pulsed Power	0.75W (=7.5nJ/10ns)
Beam Diameter	30mmφ
Beam Divergence	100mrad
Repetition Frequency	500kHz
Receiver	
Telescope Type	Cassegrain type
Aperture	100mmφ
Field of View	<5mrad.
Detector	PMT - Photon Counting R6530P (Hamamatsu Co. Ltd.)
Optical Filter	Bandwidth 11nm Center wavelength 387nm

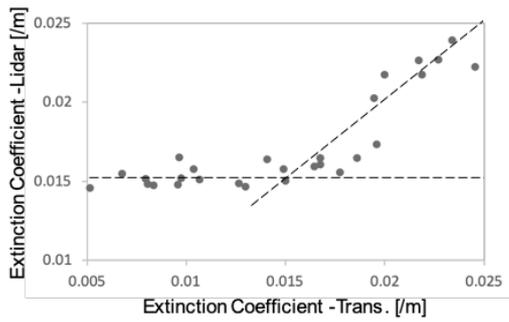


図2 ライダーエコーと透過率計の相関

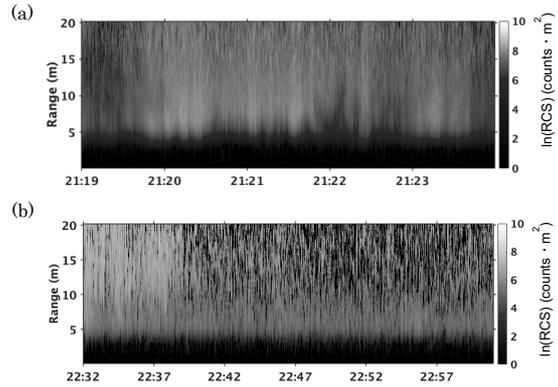


図3 LED ミニライダーによる霧の挙動観測 (8th Jan. 2020 千葉市).

(a) 5 mins short period (b) 30 mins long period.

4.2 波浪と表層大気挙動の可視化

波浪用 LED ミニライダーはパルス光送信部を改良し、送信尖塔光出力は 1W から 15W に、またパルス幅は 10ns から 5ns に短パルス化している。さらに偏光成分をとるため 2つの PMT を用いている。波浪（風波）は 0.1 – 1Hz の周期をもつため、LED ライダーは 0.2s 積算で 0.15m の空間分解能を持たせている。そのための専用の光子カウンタを開発し、利用している。観測サイトは千葉県内、東京湾側 (Site 1: 検見川浜 35.6257° N, 140.0512° E) 並びに外海（太平洋側）(Site 2: 外川漁港 35.6949° N, 140.8576° E) を利用した。

図4には Site2(太平洋側 外川漁港) で 2020 年 1 月 15 日に観測した結果である。100m 先方から打ち寄せる波が捉えられており、その周期的な波浪の様子と合わせて大気の挙動が可視化されている。波浪によって生じた飛沫がゆっくりと沿岸に向かって伝わる様子が捉えられている。ピンク色の矢印で示しており、その速度は徐々に緩やかになっているようにも見受けられる。最初(グラフ左①)は 1.67 m/s、次の②では 1.14 m/s、やがて③で 0.43 m/s と見積もられた。波浪の速度は変わっていないことから、大気の流れに寄るものと考えられる。大気エコーには風紋が現れていることも興味深い。波浪の強弱と大気の相互作用を考える上でも有益な結果である。

観測の俯角が大きくなると観測される波浪はライダーへと近づく。つまり、観測される波浪は沿岸へと近づく。従って、沿岸に近づくにつれ、海底は浅くなり (Shallow)、その結果として波速は速くなることが示唆される。つまり、海底の深さと波速ならびに波高との相関が現れていることを示唆している。これらの情報は護岸技術や船舶の自動操舵に有効である。

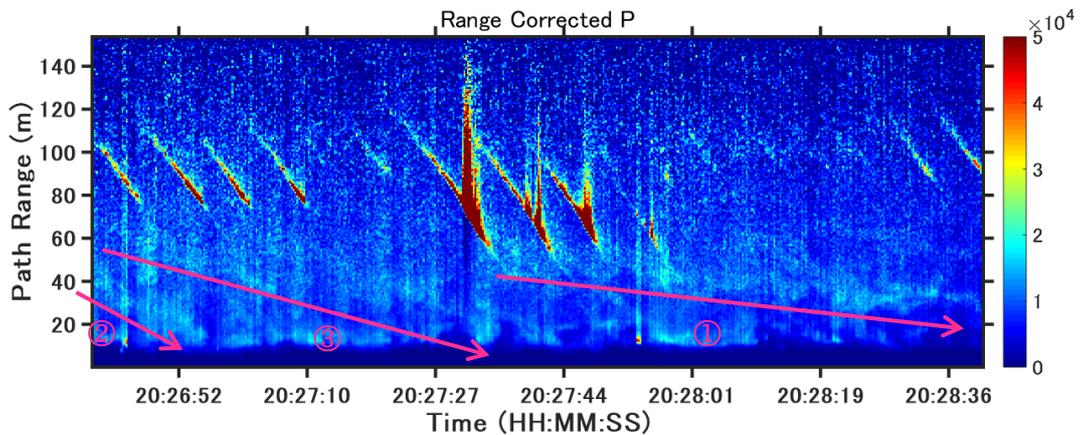


図4 波浪観測例 Site 2: Sotokawa at 20:26 - 20:28 (JST) on 15th Jan. 2020. Dep. Angle 2 degrees.

4.3 LED ライダーの高出力化

本研究ではパルス回路を工夫する中でトランジスタのアバランシェ効果を利用した極めてシンプルでパルス駆動回路にて、尖塔出力 $> 10\text{ W}$ 、パルス幅 \sim 数百 ps、高繰返し周波数 $< 10\text{ MHz}$ といった設計自由度の高い自励式光パルス発振回路の指針を得た。特にパルス光尖塔出力、パルス幅は変わることなく繰返し周波数のみを可変できる特徴は他のレーザー発振機構にはない。

V_{CEO} が大きいほど降伏電圧も高くなる。一方で、降伏電圧が高いほどパルス繰返し周波数は低くなる傾向があった。これらの特性は T_r の選定が光強度（パルス繰返し周波数による平均光出力）を決めることとなる。LD/SLD では定格の 3-5 倍程度、LED では 15 倍もの尖塔出力を得るに至っている。実際に LED ライダー用光源として、定格 1 W(CW) の LED デバイスで $15\text{ W}@5\text{ ns}(250\text{ kHz})$ の出力を得た。

4.4 まとめ

本申請では地表面/海表面と表層大気・ガスの動的インタラクションの得意な挙動の可視化とその挙動メカニズムの解明を目的とし、研究を遂行した。

システムの自立化では、LED ライダーは本体やフotonカウンタ、計測用 PC を含めて全て DC 電源で駆動でき、太陽電池やバッテリー（発電機やポータブル蓄電池）での稼働を可能としている。これによって野外の電力インフラのない場所でも自由に長時間駆動、計測が可能となった。また、機能化では大気エアロゾル計測の Mie 散乱計測を始め、ダストや波浪の偏光計測、大気窒素、水蒸気のラマン散乱光計測、ならびに藻類のクロロフィル蛍光計測を実現した⁷⁸⁾。それぞれの同期計測も実施しており、計測事例を蓄積している。

表層大気と地表面・海表面との動的インタラクションの可視化では様々な事例を実地で計測し、実証を行った。4 節に示した他、人工竜巻の挙動計測や農場、草原で巻き上がる砂塵の可視化、発煙の挙動解析にも応用している。

本研究では LED パルス光源の高出力化にも取り組み、新しいライダーようパルス光源回路の提案に至った。光パルスは 1 ns 以下にでき、光出力もこれまでの 1 W から 10 W 以上に高出力化し、かつパルス繰返し周波数を自在に可変できる。近距離用ライダー光源として好ましい特性を有するものである。

本研究は、次期研究課題（基盤研究 B 23H01645）「局所大気・ガスの乱流場と周辺表層大気の定常場との境界で生じる挙動メカニズムの解明」へと引き継がれ、本研究で開発した LED ライダーを用いて、局所大気・ガスの乱流場の挙動解析を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 椎名, 千秋, 乙部, はしもと, 川端, "ローバ搭載用 LED ミニライダーの開発とダストの挙動観測", 日本リモートセンシング学会誌, Vol.38 No.4, pp.317-324, 2018.
- 2) 椎名, "LED ミニライダーによる表層大気の挙動計測", レーザー研究, Vol.48 No.11, pp.604-608, 2020.
- 3) 柴田, 光の気象学(朝倉書店), 139, 1999.
- 4) 小山, 椎名, 「超小型 LED ライダー用光源の開発」, レーザー研究, **39**, pp.617-621, 2011.
- 5) 津守, 「超高速・大出力パルスの発生」, 生産と技術, **39**, pp.29-31, 1987.
- 6) J. Williams, Linear Technology Application note, 45, AN45, 1991.
- 7) J. G. Cadondon, E. A. Vallr, T. Shiina, and M. C. D. Galvez, "Real-Time Chlorophyll-a Pigment Monitoring of *Chlamydomonas reinhardtii* in a controlled Environment Using Portable Pulsed LED Fluorescence Lidar System", MDPI Photonics, **10**, pp.144-1 - 12, 2023.
- 8) J. G. Cadondon, P. M. B. Ong, E. A. Vallr, T. Shiina, and M. C. D. Galvez, "Chlorophyll-a Pigment Measurement of Spirulina in Algal Growth Monitoring Using Portable Pulsed LED Fluorescence Lidar System", MDPI Sensors, **22**, pp.2940-1 - 19, 2022 .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 J.G. Cadondon, E.A.Vallar, T. Shiina, and M.C.D. Galvez	4. 巻 107
2. 論文標題 Chlorophyll-a Characterization of Chlamydomonas reinhardtii Using Absorbance Fluorescence Spectroscopy and Portable LED Fluorescence Lidar System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 1559-1568
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Xiafukaiti Alifu, Lagrosas Nofel, Mariel Ong Prane, Saitoh Naoko, Shiina Tatsuo, Kuze Hiroaki	4. 巻 59
2. 論文標題 Comparison of aerosol properties derived from sampling and near-horizontal lidar measurements using Mie scattering theory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 8014 ~ 8014
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/AO.398673	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 椎名達雄	4. 巻 48
2. 論文標題 LEDミニライダーによる表層大気の挙動計測	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 604 ~ 608
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Cadondon Jumar G., Vallar Edgar A., Shiina Tatsuo, Galvez Maria Cecilia D.	4. 巻 10
2. 論文標題 Real-Time Chlorophyll-a Pigment Monitoring of Chlamydomonas reinhardtii in a Controlled Environment Using Pulsed LED Fluorescence LiDAR System	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Photonics	6. 最初と最後の頁 144 ~ 144
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/photonics10020144	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Okubo Kosuke, Lagrosas Nofel, Shiina Tatsuo	4. 巻 13
2. 論文標題 Dust flow analysis by low coherence Doppler lidar	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4086-1 - 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-30346-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Peng Ziqi, Bai Hongzi, Shiina Tatsuo, Deng Jianglong, Liu Bei, Zhang Xian	4. 巻 13
2. 論文標題 LED-Lidar Echo Denoising Based on Adaptive PSO-VMD	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Information	6. 最初と最後の頁 558 ~ 558
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/info13120558	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Sugimoto Sachiyo, Asahi Ippei, Shiina Tatsuo	4. 巻 46
2. 論文標題 A practical-use hydrogen gas leak detector using CARS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 19693 ~ 19703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2021.03.101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ong Prane Mariel, Lagrosas Nofel, Shiina Tatsuo, Kuze Hiroaki	4. 巻 11
2. 論文標題 Surface Aerosol Properties Studied Using a Near-Horizontal Lidar	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 36 ~ 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/atmos11010036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shiina Tatsuo	4. 巻 19
2. 論文標題 LED Mini Lidar for Atmospheric Application	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 569 ~ 569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s19030569	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計13件(うち招待講演 5件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Tatsuo Shiina, Kosuke Okubo, Nofel Lagrosas, Alifu Xiafukaiti
2. 発表標題 Interaction between sea wave and surface atmosphere by shallow angle LED lidar
3. 学会等名 International Laser Radar Conference 2022 (ILRC30) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Alifu Xiafukaiti, Nofel Lagrosas, Tatsuo Shiina
2. 発表標題 Multi-wavelength LED lidar for near ground atmospheric monitoring
3. 学会等名 International Laser Radar Conference 2022 (ILRC30)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 椎名 達雄, Nofel Lagrosas, 千秋 博紀, 乙部 直人, はしもと じょーじ
2. 発表標題 ローバ搭載用LEDミニライダによるダストの挙動観測 その6 - 野外同時観測 -
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuo Shiina, Nofel Lagrosas, Hiroki Senshu, Naoto Otobe, George Hashimoto
2. 発表標題 Quantitative measurement of 10cm ³ LED mini-lidar for Mars rover
3. 学会等名 SPIE Future Sensing Technologies 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kosuke Okubo, Nofel Lagrosas, Tatsuo Shiina
2. 発表標題 Particle velocity measurement by low-coherence Doppler lidar
3. 学会等名 SPIE Future Sensing Technologies 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nofel Lagrosas, Kosuke Okubo, Tatsuo Shiina
2. 発表標題 Horizontal lidar for monitoring small radioactive carrying dust in Fukushima Japan
3. 学会等名 AGU Fall meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuo Shiina
2. 発表標題 LED Mini-lidar Development for Surface Atmosphere Activity Observation
3. 学会等名 OSA optical sensors and sensing congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 椎名達雄
2. 発表標題 ローバ搭載用LEDミニライダーによるダストの挙動観測 その4 ー定量計測と濃霧観測ー
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tatsuo Shiina
2. 発表標題 Sea wave dynamics visualization and its interaction with the surface atmosphere by LED mini-lidar
3. 学会等名 SPIE Remote Sensing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuo Shiina
2. 発表標題 Atmospheric Activity Measurement by LED Raman Mini Lidar
3. 学会等名 ILRC29 (International Laser Radar Conference 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuo Shiina
2. 発表標題 Propagation Control of Non-diffractive Beam in Random Media
3. 学会等名 Physics 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 椎名達雄
2. 発表標題 小型偏光ライダーによる除染作業ダストのモニタリング と放射能濃度分布の推定
3. 学会等名 レーザー学会東京支部大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 椎名達雄
2. 発表標題 環状光による長距離伝搬 –大気ゆらぎの影響抑制と高散乱媒質中での伝搬特性–
3. 学会等名 レーザー学会年次大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
中国	湖南文理学院		