

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：22604

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12850

研究課題名(和文)火山ガス分布計測のための飛翔体搭載ライダーの実現

研究課題名(英文)Airborne lidar for volcano gas distribution measurement

研究代表者

柴田 泰邦 (Shibata, Yasukuni)

首都大学東京・システムデザイン研究科・准教授

研究者番号：10305419

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：購入したDPSSレーザー(593nm, 20mW)の筐体に温調機構(安定度 ± 0.01)を取り付け、波長安定度1pm/h以下を実現した。また、43.5pm/で発振波長を制御でき、DIAL観測時の波長同調および同調精度の要求を満たすことができた。また、噴気孔付近は高温になることから、吸収断面積の温度依存性を考慮した波長選定について検討した。第2高調波発生機構を製作したが、効率の改善には至らなかった。そこで、高出力DPSSレーザー開発に向けた基本設計及びパルス出力光の数値シミュレーションを行った。これらの成果は、今後の飛翔体搭載SO₂-DIAL実現のための貴重な基礎資料となった。

研究成果の概要(英文)：Active volcanoes eject large amounts of air pollutants into the atmosphere. Variations in gas emissions and the changes in the gas composition could also be important in predictions of volcanic activity. In this study, we discuss the combination of optimal wavelengths for a new SO₂ differential absorption lidar (DIAL) system using the second harmonic generation of a compact diode pumped solid state (DPSS) laser 593 nm. By the selection of appropriate measurement wavelengths, the effects of ozone and aerosols can be suppressed. In principle, the accuracy can be improved to below 10 % for 20 m range resolution. Moreover we founded that the wavelength fluctuation of the DPSS laser is less than 1.0 pm with 0.01K temperature control. It is enough for the SO₂ concentration measurement by the DIAL system.

研究分野：ライダー、レーザー工学、環境計測に関する研究

キーワード：ライダー 差分吸収 SO₂ 火山ガス 遠隔計測 リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

火山は景勝地として、また温泉をもたらすなど、我々の生活を豊かなものとする自然の恵みである。しかしながら、大きな災害を引き起こす危険な存在でもある。2014年の御嶽山と口永良部島の噴火、2015年の箱根山の小規模噴火と、最近では日本全土で火山活動が活発化している。このような火山災害の防止・減災を目的とした様々な観測が実施されている。その中でリモートセンシングによる火山監視は重要な観測の一つであり、リモートセンシングによる火山監視は、火山表面や大気中に限定されるが、面的、周期的、定量的な観測を実施することが容易であるため、大きな役割を果たすと期待されている。

研究代表者はリモートセンシング技術の一つであるライダー（レーザーレーダー）による大気環境計測システムの開発に長年従事している。特に二酸化炭素や水蒸気、オゾンといった大気中の微量気体の濃度分布計測を行う差分吸収ライダー（DIAL: Differential Absorption Lidar）の開発に重点を置いている。差分吸収ライダーは特定気体の吸収波長と非吸収波長における散乱光強度の差分を計測し、その差分量から濃度分布が計算される。また航空機に搭載した測距用ライダーは、地表を高密度でサンプリングし、極めて精度の地形マップを生成することができ、写真測量のような従来の調査手法に代わる費用対効果の高い方式として利用が拡大している。

本研究では差分吸収ライダーによる高精度での微量気体成分計測と空間分布計測が可能で飛翔体搭載ライダーの優位性を活かし、火山ガスの一種であるSO₂の濃度分布を、小型飛翔体（所謂ドローン）から遠隔計測するための小型DIALを開発することを最終目標とする。

従来のDIALシステムは大気中の微量気体を高精度で計測できる半面、大型レーザーを用いることが多いため機動性に欠ける[1]。今回開発するDIALシステムは5VDC電源でも駆動可能な小型DPSSレーザーを用いることで、DIALシステム全体を小型軽量化・省電力化できる点が新しい。2015年の箱根山の事例では噴火の危険が迫ったため、火口付近の火山ガスの状況を知ることが困難となり、温泉供給停止などの経済的影響が長期化した。飛翔体搭載DIALにより、火山ガスの状況をリアルタイムで把握することは防災・減災のみならず、経済活動への影響を最小限に抑えることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究は、リモートセンシング技術の一つであるライダーを用い、小型の無人飛翔体から火山ガス中のSO₂濃度分布を計測するためのシステムを開発することを目的とする。微量気体成分の分布を計測する小型無人飛翔体搭載型のライダー装置は研究されておら

ず、斬新な取り組みである。飛翔体に搭載するため、システムを小型軽量化する必要がある。従来の大型レーザーに替わり、近年実用化された半導体レーザーをベースにまったく新しい光源を開発することで、これを実現するための基礎データを得る。

3. 研究の方法

設備品費購入の593nm DPSSレーザーの筐体温度を制御し、1pm以下の波長安定度を実現する。また、吸収断面積の温度依存性を考慮し、噴気孔付近の高温場においてもSO₂濃度観測が容易に行えるよう、SO₂吸収断面積の温度依存性の小さい波長を選定する。さらに、選定した波長へのレーザー波長同調技術を新たに開発する。また、第2高調波発生機構を新たに開発し、SO₂-DIAL実現の可能性について評価する。

4. 研究成果

SO₂とO₃の吸収断面積を図1に示す。SO₂ガスの人体への影響は、0.3~1ppmで臭いを検知、5ppm~で上気道を刺激、30~40ppmで呼吸困難、50~100ppm濃度下では1時間以上留まると危険であり、400ppm~では数分で生命に危険が及ぶ。SO₂濃度分布をライダーからの水平距離400~600mの地点で30ppm、それ以外の地点では地表付近の平均値0.07ppmとした。また、O₃の濃度は地表付近の平均値0.005ppm一定とした。SO₂-DIALの諸条件は、パルスエネルギー1mJ、積算回数600,000、望遠鏡直径10cm、量子効率30%、距離分解能20m、背景光は成層圏オゾンによる吸収効果により0と仮定した。294nm以下の波長帯域では対流圏オゾンによる吸収が影響し、298nm以上の波長帯域ではオゾン層による太陽光吸収効果が弱い。そこで、294~298nmを測定波長範囲とする。また、吸収断面積の温度依存性を考慮するため、HITRANデータベースを利用し、298Kと358Kにおいて測定誤差が最小となるonとoff波長の組み合わせについて検討した。結果、on波長297.82nm、off波長297.77nmの組み合わせが最適であることがわかった。

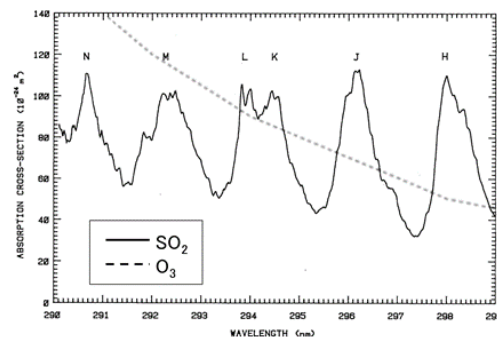


図1 SO₂とO₃の吸収断面積

購入した DPSS レーザ (593nm, 20mW) の諸特性を計測した。発振波長に 30 pm/ の温度依存性がみられるため、DPSS 本体の断熱・温調機構を製作した。図 2 に温調あり/なしでの DPSS 発振波長の時間変化を示す。温調なしの場合、±10pm/h 以上の揺らぎが生じ、その揺らぎは室温変化に同期した。一方、±0.01 で DPSS 光源本体を温調した場合、波長計 (Highfiness WS6) の精度内 (±1 pm) で安定させることができた。また、温調による波長制御が 43.5 pm/ であることが分かり、必要な 2 波長への波長同調が温調により可能であることが分かった。

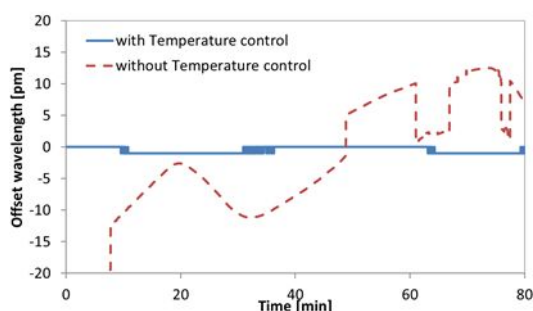


図 2 DPSS 発振波長の時間変動

試作機用の DPSS 光源は連続光でそのままでは距離分解能を得ることができない。また、基本波出力が弱いため SHG 効率が低く、至近距離の観測しか行えない。そこで、実用化に向けた高出力パルス DPSS 光源の検討を並行して行っている。図 3 に検討中の光源のブロック図を示す。2 台の 808 nm LD 励起 Nd:YVO₄ から 1064 nm と 1342 nm をそれぞれ得る。本ライダーシステムは可搬性が重要視されることから、1000 ~ 1500 nm の波長範囲で効率的な過飽和吸収体 V³⁺:YAG 結晶のパッシブ Q スイッチを用いることで、小型かつ省電力の光源を実現する。この 2 波長を PPKTP に入射することによって和周波の 594 nm を発振させ、BBO 結晶によってその第 2 高調波 297 nm を得る。入出力特性に関する数値シミュレーションを行い、30W@808nm × 2 台の励起光源から出力 3W、パルス幅 15ns の 593nm パルス光の生成が可能であることが分かった(図 4)。

本研究において、DPSS レーザが 1pm 以下の波長安定度を必要とする DIAL に利用可能であることを実験的に示した最初の例である。また、SO₂ 吸収断面積の温度依存性を考慮した SO₂-DIAL の設計例はなく、本研究が初めての試みである。以上から、本研究で得られた成果は、SO₂-DIAL 実現のために、貴重な基礎データとなった。

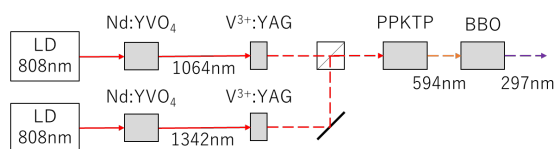


図 3 高出力パルス DPSS のブロック図

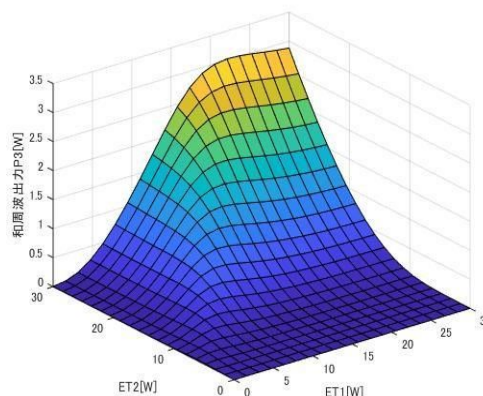


図 4 808nm 入力 (ET1, ET2) に対する 593nm 出力 (P3) 特性

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 5 件)

1. 柴田泰邦、加藤美憂、大川裕司、火山ガス中の SO₂ 濃度分布計測用ライダーの開発、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、2018

2. 柴田泰邦、加藤美憂、可搬型ライダーによる火山ガス分布計測システムの開発、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、2017

3. 加藤美憂、柴田泰邦、小型半導体励起固体レーザーを利用した可搬型 SO₂-DIAL の検討、第 35 回レーザーセンシングシンポジウム、2017

4. 加藤美憂、柴田泰邦、火山ガス分布計測用の可搬型差分吸収ライダーに関する研究、第 42 回リモートセンシングシンポジウム、2017

5. 柴田泰邦、加藤美憂、火山ガス分布計測のための可搬型ライダーの開発、レーザー学会学術講演会第 37 回年次大会、2017

[その他]

ホームページ等

<http://www.comp.tmu.ac.jp/lidar/labo/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

柴田 泰邦 (SHIBATA Yasukuni)

首都大学東京・システムデザイン研究科・

准教授

研究者番号：10305419