

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：22604

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26550014

研究課題名(和文) 金属蒸気レーザ・フィルターを使った新しい気温計測ライダー

研究課題名(英文) New Lidar with a Metallic Vapor Laser and a Metallic Vapor Filter for Temperature Measurement

研究代表者

阿保 真 (Abo, Makoto)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：20167951

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：気象要素の一つである気温の遠隔連続観測は、未だ安定した手法が実現していないのが現状である。本研究では、金属蒸気レーザ等取扱いが容易な光源と安定した狭帯域特性が得られる金属原子フィルタを使った新しい高スペクトル分解能方式の気温計測ライダーの開発を行った。受信部にはカリウム原子ファラデーフィルタを用いることを提案した。室内実験ならびに屋外の上空200mの気温計測実験を行い、温度計の値と良く一致することを確認した。本システムは地表から対流圏全域にわたる気温の鉛直分布を測定するための小型で無人観測が可能なライダーへの拡張が可能であり、気象学、環境学、防災工学などへの大きな寄与が期待される。

研究成果の概要(英文)：The lidar technique for stable measurement of temperature has not been realized. A new high-spectral-resolution lidar technique is proposed for measuring the profiles of atmospheric temperature in daytime. Based on the theory of high resolution Rayleigh scattering, the feasibility and advantages of using potassium Faraday dispersive optical filters as blocking filters for measuring atmospheric temperature are demonstrated. Furthermore, I have developed two type of transmitter for the compact and simple temperature lidar. One is a metallic vapor laser and the other is tapered semiconductor optical amplifier system by seeding with continuous-wave diode laser. I succeeded actual remote temperature measurement of indoor air and upper air using this technique.

研究分野：レーザー計測

キーワード：応用光学・量子光工学 環境計測 リモートセンシング ライダー 気象観測

1. 研究開始当初の背景

大気科学や気候学および気象予測のための基本的な観測要素として、気温の垂直分布は極めて重要なデータである。現在行われているラジオゾンデによる気温観測は、観測の無人化が不可能なため、無人化が可能で頻度の高い観測も可能な小型気温分布観測ライダーの開発が期待されている。申請者はカリウム蒸気セルを利用した高スペクトル分解能ライダーを開発し、温度プロファイルの測定に成功しているが、レーザーの波長安定化が連続観測の障害となっている。他の気温計測方式もレーザーの波長安定化に課題が残っており、ライダーによる特に対流圏の気温連続観測は実現していないのが現状である。

2. 研究の目的

ライダーによる気象要素の鉛直プロファイルの観測は、風についてはドップラーライダー、水蒸気については、ラマンライダーや差分吸収ライダーにより実用化の段階に来ている。しかし、気温については未だ安定した観測が実現していないのが現状である。本研究では、金属蒸気レーザーと金属蒸気フィルタを使った新しい高スペクトル分解能方式の気温計測ライダーの実現を目指す。本ライダーの開発に成功すると、波長調整が不要で安定に動作する気温計測ライダーが実現でき、気温の連続的な鉛直プロファイルが可能になり、気象学、環境学、防災工学などへの大きな寄与が期待される。

3. 研究の方法

本研究では、取扱いが容易な光源と安定した狭帯域特性が得られる金属蒸気フィルタを使った新しい高スペクトル分解能方式の気温計測ライダーの開発を行った。

(1)光源として金属蒸気レーザー並びに半導体レーザーと半導体光アンプ方式の開発を行った。金属原子としてはカリウム、ルビジウム及びセシウムを候補とした。はじめにシミュレーションにより最適な金属蒸気セルの設計を行った。セルの長さ、温度、バッファガスの種類等を先行研究の文献等を参考に確定し、特注セル並びにレーザー共振器用ミラーを用いて基本的な特性を測定した。励起光源としては半導体レーザー並びにアレキサンドライトレーザーを用いた。

(2)受信部の金属蒸気フィルタの検討を行った。シミュレーションにより最適な透過特性を得るための、金属蒸気セルの設計を行った。方式は、背景光の大きな昼間の観測にも有利であることからファラデーフィルタ方式を検討した。特に、ファラデーフィルタでは磁場の安定度が温度測定精度に大きく影響を与えることが明らかになったので、その対応

法を検討した。

(3)カリウム原子ファラデーフィルタを用いた場合の気温測定誤差シミュレーションを行った。

(4)気温観測ライダーの実用化に向けて、気温測定実験を行った。まず室内実験は気温を一定に保ったBOX内に、狭帯域レーザーを照射し、レンズで集光した散乱光を異なる磁場に設定したファラデーフィルタで透過光強度を測定した。得られた透過光強度比の気温依存性を理論値と比較した。さらにレーザー光を屋外の上空 200m に向けて照射し屋外の気温計測実験を行い、屋上設置の温度計と比較した。

4. 研究成果

(1)カリウムファラデーフィルタの詳細設計を行い、透過特性をシミュレーションによって求め、実際にフィルタを製作しその透過特性の確認を図1の実験系により行った。透過率特性の測定は、セル温度の調整に温度制御が可能なヒーターを用い、セルにかかる磁場の発生にはソレノイドコイルを使用した。図2に比較例を示す。両者は良く一致した。

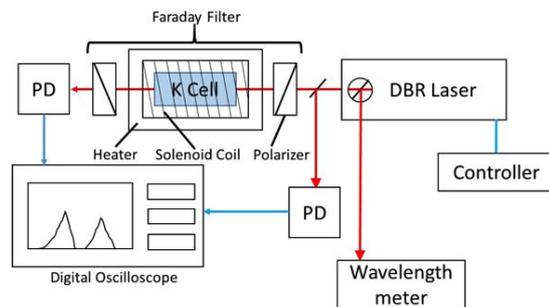


図1 透過率特性測定実験の概要図

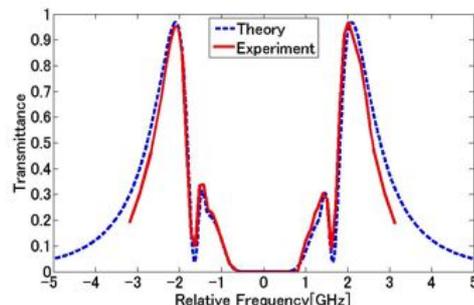


図2 ファラデーフィルタの透過特性の理論値と実験値の比較結果

(2)フィルタにかかる磁場の安定度が気温測定誤差に与える影響について検討し、磁場の変動の影響が少ないフィルタの組み合わせ

を求め、高度毎の気温測定誤差をシミュレーションにより求めた。ライダーの設定仕様は、パルス出力：1mJ、繰り返し周波数：10kHz、波長：770.108nm、望遠鏡口径：20cm、高度分解能：200m、積算時間：10分である。この組み合わせにより求めた高度 0~6km の昼間の気温測定誤差を統計誤差、磁場変動誤差、トータルの誤差をそれぞれ図3に示す。磁場変動を加味しても高度 4km 程度まで 1K 以内で測定可能であることが明らかとなった。

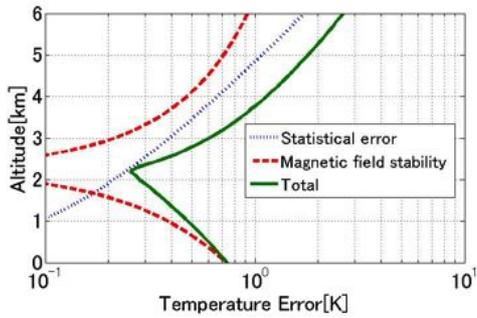


図3 高度に対する昼間の気温測定誤差 (統計誤差、磁場変動誤差、トータルの誤差)

(3)図4に示すように、気温を一定に保ったBOX内に、波長770nmに同調した狭帯域CWレーザを照射し、レンズで集光した散乱光を異なる磁場に設定したファラデーフィルタで透過光強度を測定した。得られた透過光強度比を理論値と比較した結果を図5に示す。両者は測定誤差の範囲内で良く一致していることが確認出来た。

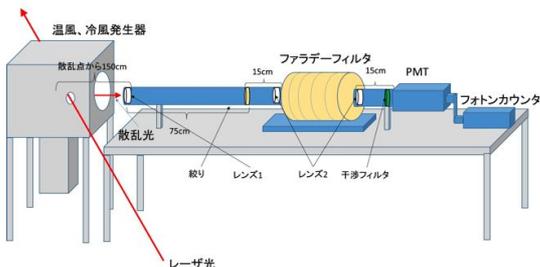


図4 室内気温測定実験概要図

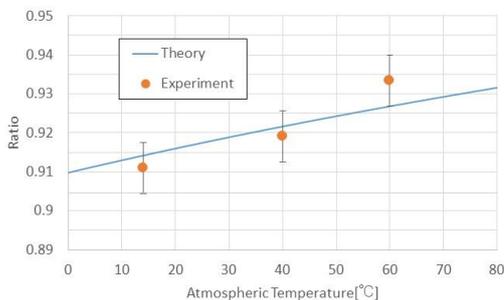


図5 大気温度に対する透過比の実験結果と理論値

(4) 図6に示すように、レーザ光を屋外の上空 200m に向けて照射し屋外の気温計測実験を行い、屋上設置の温度計と比較した。結果を図7に示す。両者は測定誤差内で一致することが確認出来た。

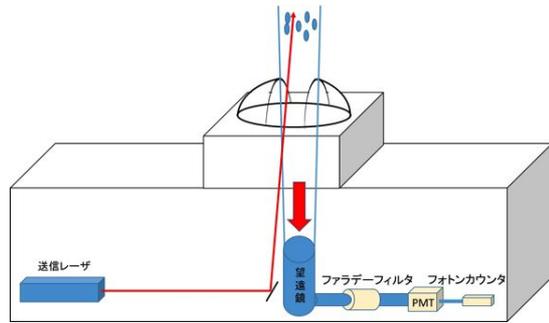


図6 外気温測定実験の模式図

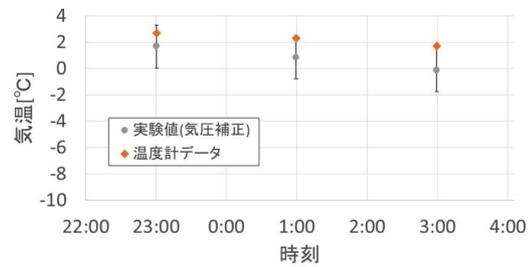


図7 外気温測定実験の実験値と温度計データの比較

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 7件)

阿保 真、有賀幸輝、Pham Le Hoai Phong, カリウムファラデーフィルタを用いた気温測定実験, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 2016/3/19-22、東京工業大学 (東京都目黒区)

阿保 真、有賀幸輝、Phong Pham Le Hoai, 長澤親生、柴田泰邦, 気温観測ライダー用ファラデーフィルタの磁場安定度依存性, 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 2015/9/13-16、名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)

有賀幸輝、阿保 真、柴田泰邦, ファラデーフィルタを用いた気温観測用高スペクトル分解能ライダーにおける磁場変動の影響, 第33回レーザセンシングシンポジウム, 2015/9/10-11、大田区産業プラザ (東京都大田区)

Makoto Abo, Phong Pham Le Hoai, Kouki Aruga, Chikao Nagasawa, Yasukuni Shibata, High Spectral Resolution Lidar Based on a Potassium Faraday Dispersive Filter for Daytime Temperature

Measurement, The 27th International Laser Radar Conference, 2015/7/5-10
ニューヨーク (米国)

阿保 真、菊田達也、有賀幸輝、Pham Le Hoai Phong, 都市大気遠隔稠密観測用ライダーの開発(招待講演), 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015/5/24-28、幕張メッセ (千葉県千葉市)

Makoto Abo, Takahiro Ishikawa, Phong Pham Le Hoai, Chikao Nagasawa, Yasukuni Shibata, High spectral resolution lidar with a potassium Faraday dispersive filter for daytime temperature measurement, SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2014, 2014/10/14、北京 (中国)

有賀幸輝、阿保 真、柴田泰邦、長澤親生, 金属蒸気レーザ及びファラデーフィルタを用いた気温計測ライダーの検討, 第 32 回レーザセンシングシンポジウム, No.P-14, 2014/9/4 高山市民文化会館 (岐阜県高山市)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

阿保 真 (ABO, Makoto)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号 : 20167951