

令和元年6月5日現在

機関番号：22604

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18956

研究課題名(和文) 気温と風の空間分布をリアルタイムに測定する革新的フラッシュライダー

研究課題名(英文) Innovative flash lidar for real time measurements of temperature and wind

研究代表者

長澤 親生 (Nagasawa, Chikao)

首都大学東京・システムデザイン研究科・名誉教授

研究者番号：80145664

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、気温と風の3次元空間分布を連続的にリアルタイムで観測するための革新的なフラッシュライダーを提案し、シミュレーションにより、気温測定誤差0.6K以下、風速測定誤差は0.1m/s以下が実現可能であることを示した。基礎実験では狭帯域レーザとファイバーアンプで構成した狭帯域パルス光源の製作・評価、凸レンズの焦点面に複数の光ファイバコネクタを配置したユニークな広視野望遠鏡の設計・製作、高速フォトディテクターを用いた複数のコヒーレント検波システムを製作・評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案したフラッシュライダーは従来のスキャン方式と異なり、カメラでフラッシュ撮影をする要領で広げたパルスレーザ光を空中に照射しアレイ状検出器で散乱光スペクトルを測定することにより、サーモグラフィのように短時間で気温と風の立体構造の測定を可能とするものである。これが実用化すると用途は、ヒートアイランド対策効果の測定、竜巻など局地的気象現象の予測、火山噴火監視、室内温度分布測定など多岐にわたる。

研究成果の概要(英文)：A new compact flash lidar system for observations of three-dimensional temperature and wind distribution in the atmosphere was proposed. This system uses a flash lidar technique with an eye-safe pulsed laser and an array sensor. Temperature broadened and Doppler shifted spectrum of receiving lidar signal is obtained by the coherent detection technique. From computer simulation, we showed the temperature measurement error was 0.6 K or less, and the wind speed measurement error was 0.1 m/s or less. We have developed and evaluated (1) the compact laser source composed of the seeded optical fiber amplifiers with high repetition rate and narrow bandwidth, (2) the unique wide FOV telescope, and (3) the multi coherent detection system.

研究分野：レーザー計測

キーワード：リモートセンシング ライダー 自然災害 火災 火山 ファイバーレーザ

1. 研究開始当初の背景

(1) 大気科学や気候学および気象予測のために基本的な観測要素として、気温と風の鉛直分布は極めて重要なデータであるが、現在行われているラジオゾンデによる気温と風の観測は、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が期待されている。また、気温や風の情報は大気科学や気象学に限らず、火山噴火や大規模火災、原子力事故など防災の面からも重要であるが、現場に持ち運べるような装置は実現されていない。

(2) 一方近年、レーザを使った3次元計測装置として、地形や建造物の形状測定装置、自動車の自動運転用障害物センサ、月や惑星への着陸機用センサとしてフラッシュライダーという装置が開発され製品化されている。しかし、現在開発されているフラッシュライダーは、強い反射光からの到達時間という単純な情報を得るだけであるのに対し、気温と風の計測には、微弱な空気からの散乱光の「スペクトル形状」情報を「連続的に」取得する必要があるため、この両者には大きな技術的ギャップがあった。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、今までに全く実現されていない、気温と風の3次元空間分布を連続的にリアルタイムで観測するためのフラッシュライダーの開発を目指した。本装置は従来のスキャン方式と異なり、カメラでフラッシュ撮影をする要領で広げたパルスレーザ光を空中に照射しアレイ状検出器で散乱光スペクトルを測定することにより、最終的にはサーモグラフィのように短時間で気温と風の立体構造の測定を可能とするものである。

(2) 用途は、遠距離システム(距離数 km まで測定可能)では遠方からの竜巻など局地的気象現象の予測、火山噴火監視などが可能になり、近距離システムでは、火災現場、原子炉棟内など、人が立ち入ることが困難な場所の屋内の気温分布測定や、小型化しヘリコプタなどに搭載することにより、近距離からの高分解能な火山火口や火災現場などの気温分布測定が可能となり、捜索・救助隊や作業員の安全性の確認にも利用可能である。

3. 研究の方法

(1) 気温と風の測定原理としては大気分子からのレイリーブリルアン(RB)散乱スペクトル(図1)の形状が温度に依存することを利用し、ヘテロダイン検波方式による高スペクトル分解能ライダーによって得られるRB散乱スペクトルから温度と風速を同時に計測する手法を新たに提案した。ヘテロダイン法は昼夜においてSN比があまり変化しない利点がある。

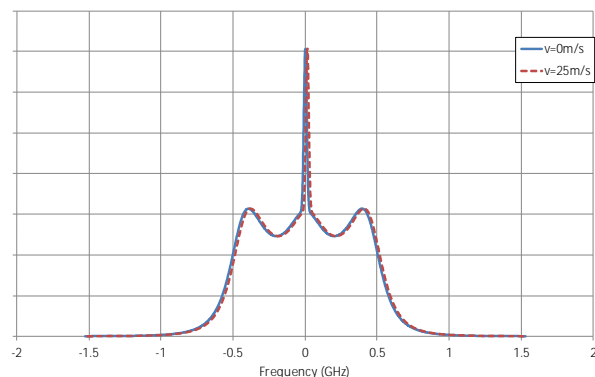


図1 レイリーブリルアン(RB)散乱スペクトル

(2) コンピュータシミュレーションにより RB 散乱スペクトルをヘテロダイン検波により計測する手法を用いた場合の気温と風の同時観測の可能性、最適波長、期待される測定誤差を求める。

(3) フラッシュライダ用のコンパクトで高繰り返しのパルス光源の方式を検討し、設計、開発、評価を行う。方式としては半導体レーザー単体、半導体レーザー+半導体増幅器、半導体レーザー+ファイバ増幅器、ファイバレーザーを候補とする。

(4) フラッシュライダ用の受信系として、アレイ検出器を用いた方法と光ファイバをアレイ状に配置して個別の検出器を用いる方法を比較検討し設計、開発、評価を行う。

(5) 大気散乱光に対し高速光ディテクターを用い、時間領域で広帯域のビート信号を検出し、マイクロ波周波数変換を行うことにより、数十 MHz の周波数分解能の光散乱スペクトルの検出を行うコヒーレント（ヘテロダイン）検波システムを構築し、評価する。

4. 研究成果

(1) コンピュータシミュレーションにより、ライダーの光源として用いられている主要な 5 波長(355, 532, 800, 1064, 1550nm)の SN 比を求め、1064nm が最適波長であり、気温測定誤差は 0.6K 以下、風速測定誤差は 0.1m/s 以下が実現可能であることを示した。

(2) 狭帯域 DFB レーザ（波長 1.06 μm）をシードとして Yb 添加ファイバ増幅器（YDFA）を組み合わせた波長 1064nm のフラッシュライダ用狭帯域パルス光源(図 2) を製作し評価した。

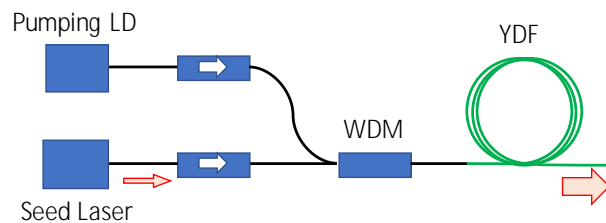


図 2 試作したファイバ増幅器のブロック図

(3) フラッシュライダの受信系で重要となる広視野受信系を、凸レンズの焦点面に 9 個の光ファイバコネクタを配置したユニークな多方向広視野望遠鏡(図 3) を設計・製作し、その有用性を評価した。

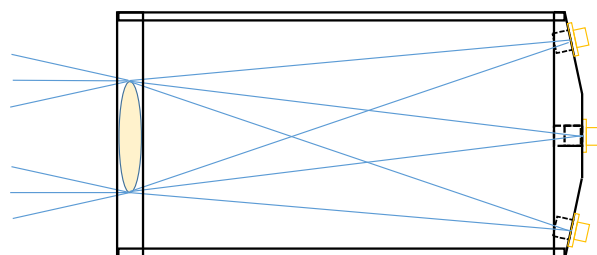


図 3 多方向広視野受信系の断面図

(4) 異なる方向の散乱体からの受信信号を同時に検出するために、高速フォトディテクターをミキシング光検出器としたコヒーレント検波システムを複数製作し、その性能を評価した。

(5) 以上の各要素の評価とともに、これらを組み合わせてフラッシュライダの原型システムを構築し、近距離ではあるが散乱光のスペクトルの取得に成功した。まだ実用的なシステムでは無いが、原理検証並びに基本要素の設計は完了しており、今後システムのスケールアップにより実用化が期待できる。

5．主な発表論文等

〔学会発表〕(計3件)

長澤親生，阿保 真，柴田泰邦，光ファイバアンプを用いた小型 DIAL 用光源の開発，第 36 回レーザセンシングシンポジウム，2018

増山光治，柴田泰邦，長澤親生，阿保 真，ヘテロダイン検波による Rayleigh-Brillouin スペクトル計測のための最適波長の検討，第 36 回レーザセンシングシンポジウム，2018

長澤親生、阿保 真、柴田泰邦，小型コヒーレントライダー用光源の開発，第 35 回レーザセンシングシンポジウム，2017

6．研究組織

(2)研究協力者

研究協力者氏名：阿保 真

ローマ字氏名：Abo Makoto