

3次元気温・風分布観測用フラッシュライダーの提案

長澤 親生, 阿保 真, 柴田 泰邦

首都大学東京 システムデザイン研究科 〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6

Proposal of a Flash Lidar for 3D Temperature and Wind Distribution Observations

Chikao NAGASAWA, Makoto ABO, and Yasukuni SHIBATA

Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

Abstract: A new flash lidar system for observations of three-dimensional temperature and wind distribution in the atmosphere is 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.

Key Words: flash lidar, atmospheric temperature, wind, eye-safe, coherent detection

1. はじめに

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、気温と風の鉛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の実用化が期待されている。

一方、温度分布を測る装置として熱赤外線イメージングセンサを利用したサーモグラフィが実用化されているが、これは物体表面の温度しか測定できず空気の温度（気温）は測定できない。例えば地面の温度は分かっても実際に歩いている人間が感じる気温は測定できない。

我々はこれまで気象観測の観点から気温の鉛直分布計測に重点をおいて研究を進めていたが、日射の当たる地表付近の気温の空間分布は垂直方向だけでなく水平方向にも大きな違いがあり、また気温の分布は風の影響を受けることから風の場の情報も必要である。

大気分子による散乱光のスペクトルはレイリーブリルアン散乱と呼ばれる主に分子の熱運動のドップラー広がりを持っている。このスペクトルの広がりが主に温度によって変化するため、この広がりや風によるドップラーシフトを同時に測定することにより、気温と風の同時測定が可能となる。散乱スペクトルの広がりやドップラーシフトは、コヒーレント検波により同時計測が可能である。この原理とフラッシュライダー技術を組み合わせた、新しい3次元気温・風分布の同時観測が可能でライダーシステムを提案する。

2. フラッシュライダー

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が開発、製品化されている。フラッシュライダーは Fig.1 の原理図に示すように、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物体に照射し、CMOSカメラなどアレイ状素子で反射光の到達時間（TOF: Time Of Flight）を測定することにより物体の各点までの距離すなわち物体の形状を測定するものである¹⁾。これは、従来のスキャン方式のライダーに比べて「瞬時」に情報が得られるという特徴がある。

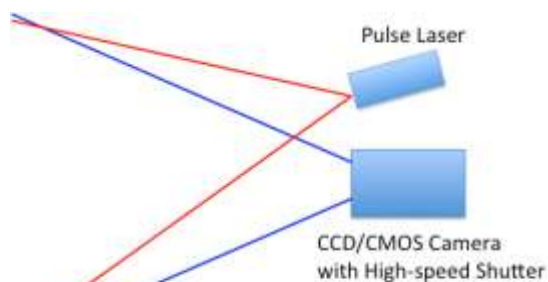


Fig.1 Principle of the flash lidar.

今回提案する気温と風の3次元分布計測用フラッシュライダーは、フラッシュライダーの原理を拡張し、単なるターゲットの距離測定ではなくレーザ光が照射された空間の気温と風の分布を

コヒーレント検波と赤外パルスレーザ技術により同時にリアルタイム測定し、あたかもサーモグラフィのように「瞬時」に3次元的に気温と風の空間分布測定を目指す。

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、短時間で気温と風の3次元構造の測定が可能となるとともに、従来のライダーに比べて小型化、調整の容易化が期待できる。

3. 仕様とニーズ

測定対象は屋内屋外を問わず空間の気温及び風の分布である。目標仕様は気温測定精度 1K 以下、風の測定精度 1m/s 以下、測定可能最大距離 1km、奥行き方向の距離分解能 50~100m、視野角 50 度、1km 先の空間分解能 100m、500m 先の空間分解能 50m、測定時間 1 分である。距離分解能・空間分解能と時間分解能はトレードオフの関係がある。また、測定可能最大距離を限定すれば、距離分解能・空間分解能と時間分解能を向上させる事が可能である。

ニーズとしては、屋上緑化などのヒートアイランド対策効果の評価、竜巻や局地的大雨など局地的気象現象の発生予測の基礎データ取得、火口付近の噴気温度と周辺風モニターによる火山噴火監視・予測研究、体育館やホールなどの室内温度分布測定による空調設計・管理、農地や森林における農産物生産管理などが想定される。

4. 測定装置の技術

4.1 コヒーレント検波

Fig.2 に示すように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²⁾。信号処理のフィッティング技術を組み合わせて、精度の良い気温と風の同時計測を可能にする。

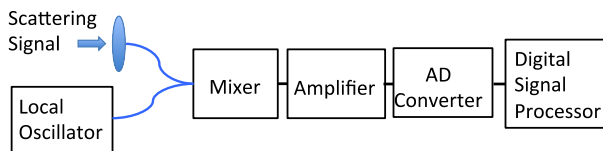


Fig.2 Block diagram of coherent detection system.

4.2 アレイ受信光学系

フラッシュライダー方式を実現するためにはアレイ状の受光素子が必要である。しかしライダ

ーとして空間分解測定をするためには、CMOS や CCD 素子では数十 MHz の周波数成分までの光ビート信号検出が困難である。そこで、Fig.3 のように、ファイバアレイをアレイ受光素子の代わりに受信望遠鏡の焦点面に配置し、その各ファイバ出力に対して上記の光コヒーレント検波を行うことにより実現する。1km 先の空間分解能 100m とすると、10×10 のファイバアレイを用いれば実現可能である。

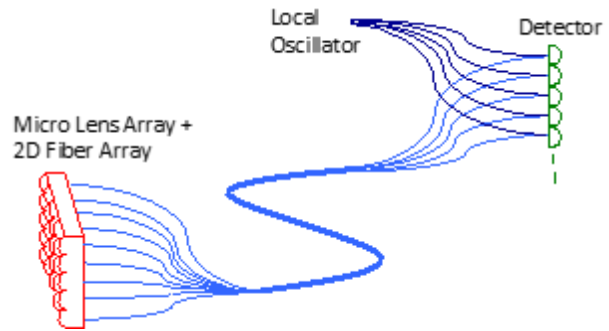


Fig.3 Schematics of the array detection system using a 2D fiber array.

4.3 送信レーザ

送信レーザの波長は、光コヒーレント検波の効率と、目への安全性を考慮し 1.5 μm とする。レーザは広げて照射するためある程度の出力が必要となる。またコヒーレント検波を行うためには送信レーザのスペクトルが狭帯域である必要がある。一方、レーザの絶対波長の制御は必要としない。レーザ光源の候補として、すでに CO₂ 濃度測定ライダー用として開発している YAG レーザ励起 OPG レーザをよりコンパクトにするアプローチと、出力は高くないが繰り返し周波数が高いファイバレーザを複数用いるアプローチの両方を検討している。

5. おわりに

フラッシュライダーはコンパクトで面倒な調整が不要なシステムとなり得るので、コストを下げる事が出来れば、多数のライダーをネットワーク状に配置することにより、さらに広い空間の大気の3次元構造を捉えることが可能となる。現在プロトタイプの試作に向けた準備を進めている。

参考文献

- 1) O. Elkhaili, et al.: IEEE J. Solid-State Circuits **39**, (2004) 1208.
- 2) C. F. Abari et al.: EPJ Web of Conferences **119**, 25005 (2016).