

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560526

研究課題名(和文) 高分解能ドップラーライダーによる大規模施設空間の風速分布計測法の開発

研究課題名(英文) Development of the Doppler lidar for wind measurement at large facility space

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) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：ホールや体育館など、直接気流の空間分布を得ることが困難な大規模施設の風速分布を測定する目的で、受信系に低損失で狭帯域の大口径ブラッグ・グレーティングフィルター(VBG)を用いた新たな直接検波方式のドップラーライダーを開発した。

VBGの波長シフト量の温度依存性は11.2 GHz/℃と、従来法で用いていたFBG1/6以下と小さいことがわかった。さらに、実際に室内の風速測定を行い、超音波風速計との標準偏差0.34 m/sとよい一致を得ることに成功した。

研究成果の概要(英文)：In order to measure directly wind profile in the large facilities, I developed a new direct detection Doppler lidar using a volume Bragg grating filter (VBG). The temperature dependence of the VBG wavelength shift is 11.2 GHz/℃. This is 1/6 or less of the conventional method of FBG wavelength shift. Furthermore, actually perform wind measurements in the room, and succeeded in obtaining a standard deviation 0.34 m/s in good agreement with the ultrasonic anemometer.

研究分野：ライダー

キーワード：ライダー 風速

1. 研究開始当初の背景

パルスレーザ光の大気成分による散乱光の周波数偏移を計測することにより、視線方向のドップラー効果から風速の視線方向分布を遠隔計測するライダー装置をドップラーライダーという。ドップラーライダーは光の検出方法によりヘテロダイン検波方式と直接検波方式に分類される。直接検波方式は光学フィルタの透過曲線のスロープを利用して、ドップラー効果による大気散乱光の周波数変化を光強度の変化に変換して検出する方式で、パルス幅を数十 ns と短くすることで数 m 程度の高分解能測定が可能である。ヘテロダイン検波方式は大気散乱光と送信光とのビート周波数から風速を測定するが、周波数分解能を上げるためパルス時間幅を数百 ns ~ 数 μ s (距離分解能: 数十 m ~ 数百 m 相当) と長くする必要があり、局所的な風観測は困難である。

申請者は先行研究として、光通信において波長分別フィルタとして利用されている FBG (Fiber Bragg Grating) フィルタや誘電体多層膜干渉フィルタを用いて風速を測定する直接検波方式を新たに開発したが、従来法と比較してドップラー検出感度は向上するものの、システム全体の効率が低下した。そこで、システム全体の効率向上を図るため、空間利用可能な大口径の体積 Bragg Grating (VBG: Volume Bragg Gratings) を用いたドップラーライダーを開発することとなった。VBG の温度による波長シフト量は 5pm/ 程度と FBG の 70pm/、誘電体多層膜干渉フィルタの 90pm/ より一桁小さい利点がある。

先行研究を進める中で、体育館やホール、ホテルのロビーなどの大規模空間において、実際に人がいる状態での空気の流れ(風)を実測し、空調機の効率を改善したいという要求が複数の研究機関、企業からあった。ホールなどの大規模空間における空調管理は、施設壁面付近に設置した温度センサーによって得られる温度情報を基に行っているため、広い空間でどのような温度状況になっているか把握できていない。また、気流は設計時にモデルを用いた数値計算により評価しているだけで、実際に利用者がいる中での状況は把握できていない。

そこで本研究では、大規模施設空間の風速分布測定を高分解能で行うため、目に安全な光源を用い、大気散乱光に含まれるドップラーシフト成分を VBG を用いた直接検波法で検出する技術の確立を目指した。

2. 研究の目的

ホールや体育館など、直接気流の空間分布を得ることが困難な大規模施設の風速分布を測定する目的で、目に安全なレーザを光源とし、受信系に低損失で狭帯域の大口径ブラ

ッグ・グレーティングフィルタを用いた新たな直接検波方式のドップラーライダーを試作し、性能を検証する。この方式は、従来法より高分解能な風速の空間分布測定が期待できる。

3. 研究の方法

連携研究者の協力を得て、VBG の仕様をシミュレーションにより決定する。消耗品費購入の VBG、光学部品、電子部品および現有の温度調節器、レーザを用いて VBG の諸特性およびドップラー感度を測定・評価する。

次に、開発したドップラーシフト検出装置と現有の望遠鏡を組み合わせ、ドップラーライダーライダー試作機を連携研究者と協力して製作する。送受信は同軸とし、送信光と受信光は消耗品費購入の光学部品を組み合わせた光サーキュレータで分離する。光源は連携研究者の協力を得て設備品費購入の高出力レーザと現有の AO 変調器とファンクションジェネレータでパルス幅 33ns (距離分解能 5m 相当) にパルス化する。

最終的に、学内の体育館やホールにライダーを持ち込み、現有の超音波風速計近傍の風速を測定し、風速測定の性能について評価する。

4. 研究成果

図 1 に示すドップラーシフト検出装置を構成し、VBG の諸特性(ドップラー感度に直結するフィルタ分布特性、見かけ上のドップラーシフトの原因となる干渉フィルタの温度安定性)を測定・評価した。図 2 に実験に使用した VBG の回折効率特性を示す。

- ・ドップラー感度 : 0.063 %/(m/s)
- FBG 方式の 0.093 %/(m/s) の約 2/3 だが、光ファイバ結合による損失がないためシステム全体の効率は 3 倍程度に改善。
- ・波長シフト量の温度依存性 : 11.2 GHz/
- FBG 方式の 1/6 以下と小さい。
- ・見かけ上のドップラーシフト : 0.1 m/s 以下
- レーザ波長と VBG 透過率 50% の波長を同調させる制御により、見かけ上のドップラーシフトを 0.1m/s 以下に抑えることができた。

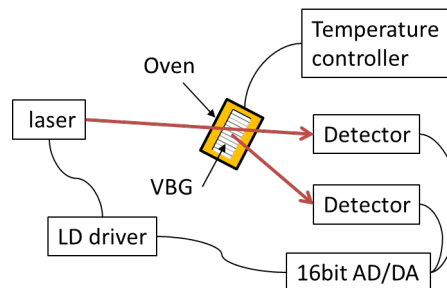


図 1 VBG 特性の評価実験ブロック図

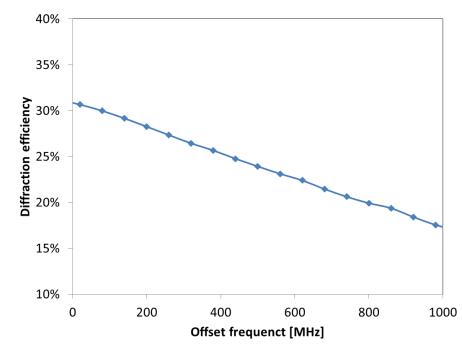


図 2 VBG 回折効率

次に、ドップラーライダーの性能評価実験を行った。ミラーを取付けた回転体に向け図 1 の安定化レーザ光を照射し、ミラーからの反射光を図 3 の受光系で受光し、回転速度を計測した。図 4 の結果より、既知である実際の回転速度に対して標準偏差は 0.25m/s と、良い一致を示した。以上から、VBG を用いたドップラーライダーが実現可能であることが示された。

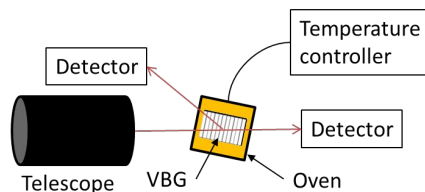


図 3 VBG を利用したドップラーライダー受光部

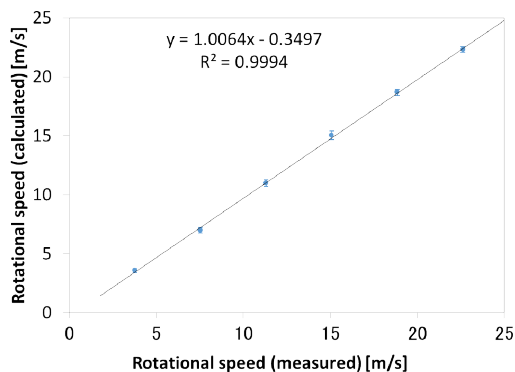


図 4 回転体を用いたドップラーシフト測定結果

以上の結果を受け、実際に室内の風速を測定した。教室 (10m × 12m) 内にライダーと超音波風速計を配置し、超音波風速計の直近をレーザービームが通過するようセッティングした。教室内はエアコンを効かせ、風速が適宜変化する環境とした。図 5 に実験結果を示す。ライダーと風速計の測定結果は標準偏差

0.34m/s でよく一致し、風速の変化を捉えている。

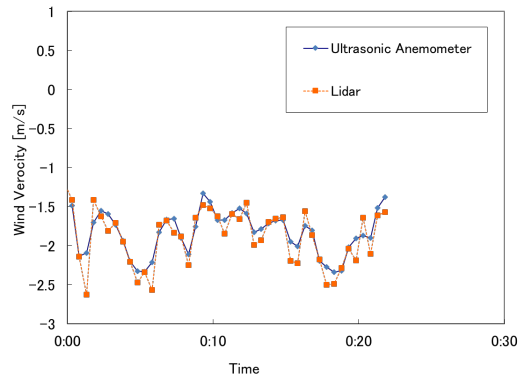


図 5 室内におけるライダーと音波風速計の比較実験

以上の結果から、VBG を用いた風速測定用ライダーは一定の成果を得ることができた。現状ではレーザー出力がライダー送信部直近ではアイセーフを得られていない点、空間分布の取得が間に合わなかったことが、今後の課題である。

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)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 7 件)

1. C. Nagasawa, Y. Shibata, Direct detection 1.6μm DIAL/Doppler lidar for measurements of CO2 concentration and wind profiles, AGU fall meeting 2013, 9-13 Dec, 2013, The Moscone Center (San Francisco, USA)

2. 柴田泰邦, 長澤親生, 1.6μm 直接検波 DIAL による CO2 濃度と風の観測、第 39 回リモートセンシングシンポジウム、2013 年 11 月 15 日、東京農業大学 (東京都)

3. Y. Shibata, C. Nagasawa, Scanning 1.6μm lidar measurements of atmospheric CO2 concentration and wind profiles, SPIE remote sensing 2013, 23-26 Sep, 2013, Internationals Congress Center Dresden (Dresden, Germany)

4. 柴田泰邦, 長澤親生, 直接検波ドップラーライダーのための体積ブラックグレーティングを用いた受光システムの開発、第 74 回追うよう物理学会学術講演

会、2013年9月16日～9月20日、同志社大学（京都府）

研究者番号：80145664

5. 柴田泰邦、長澤親生、1.6 μm 直接検波 DIAL による CO₂ 濃度と風のスキャン観測、第 31 回レーザーセンシングシンポジウム、2013 年 9 月 12 日～9 月 13 日、ホテル岡田（神奈川県）
6. 柴田泰邦、長澤親生、1.57 μm スキャニングライダーによる CO₂ 濃度と風の測定 (2)、第 60 回応用物理学関係連合講演会、2013 年 03 月 27 日～2013 年 03 月 30 日、神奈川工科大学（神奈川県）
7. 柴田泰邦、長澤親生、高出力 1.6 μm OPG による直接検波ドップラーライダー観測、第 30 回レーザーセンシングシンポジウム、2012 年 09 月 06 日～2012 年 09 月 07 日、オリビア小豆島（香川県）

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

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

(3) 連携研究者

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