

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 23 日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22760302

研究課題名（和文） 直接検波方式アイセーフ・ドップラーライダーの高効率化

研究課題名（英文） Improvement of the performance of an eye-safe direct detection Doppler lidar

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・助教

研究者番号：10305419

研究成果の概要（和文）：3次元の風速分布を測定する目的で、目に安全な波長  $1.5\mu\text{m}$  のレーザーを光源とし、ドップラーシフト検出デバイスとして狭帯域の誘電体多層膜干渉フィルタを用いた新たな直接検波方式の受光部を試作し、性能を検証した。トータルの効率は従来のFBG方式と比較して50%向上した。今回、干渉フィルタを3枚重ねて急峻なエッジを得たため、最大透過率が30%と低下し、大幅なトータル効率の改善は見られなかったが、1枚の低損失干渉フィルタを用いることで大幅な効率改善が見込まれる。

研究成果の概要（英文）：The performance of the new direct detection Doppler lidar using narrow band interference filters for measuring wind speed distribution was evaluated. A light source is an eye-safe 1.5-micrometer laser. Total efficiency improved 50% as compared with the conventional FBG method. Since steep edge was obtained with three interference filters, the maximum transmittance was 30%. Improvement in efficiency is expected by using one low loss interference filter.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、計測工学

キーワード：計測機器

## 1. 研究開始当初の背景

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、エアロゾルによるミー散乱光と大気分子によるレイリー散乱光を受信し、光学フィルタの透過曲線のスロープを利用し、ドップラー効果による周波数変化を光強度の変化に変換して検出する方式である。ミー散乱光を受信し、送信光

とのビート周波数から風速を測定するヘテロダイン検波方式は、短時間で高精度での風速測定が可能であるが、周波数分解能を上げるためパルス時間幅を数百 ns～数  $\mu\text{s}$ （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。本研究では3次元の風速分布を測定するために、目に安全な波長  $1.5\mu\text{m}$  レーザを光源とし、高分解能で計測可能な直接検波方式を用

いる。

申請者らは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) フィルタを光学フィルタに用い、FBG フィルタの透過光と反射光の強度変化から風速を測定する直接検波方式を提案している。しかし、FBG フィルタを構成するシングルモード光ファイバへの散乱光の結合効率が低いのが課題であった。

昨近の技術進歩により立ち上がり急峻な光学フィルタが実現可能となった。従来の FBG フィルタを用いる方式と同様に透過光と反射光が利用でき、急峻な立ち上がりとすることで、ドップラー感度 (ドップラー周波数に対する光強度の変化量) を FBG フィルタと同等もしくはそれ以上とすることが可能であることが数値計算によって確認されている。さらに、光学フィルタは直径 10mm 以上の有効径が可能で、散乱光の損失が FBG フィルタを用いる方法と比較して大幅な改善が予想される。

## 2. 研究の目的

波長  $1.5\mu\text{m}$  の光学フィルタを用いて、大気散乱光に含まれるドップラーシフト成分を従来の FBG 方式より高感度で検出する技術の確立を目指し、以下を明らかにする。

- ・基礎実験に基づくドップラー感度の確認
- ・検証実験 (超音波風速計との比較)

## 3. 研究の方法

(1) 誘電体多層膜干渉フィルタと温度調節器、光学部品、光検出器を組み合わせ、図 1 に示すドップラーシフト検出装置を構成し、 $1.5\mu\text{m}$ DFB 半導体レーザを用いて誘電体多層膜干渉フィルタのフィルタ分布特性およびドップラー感度を測定・評価した。

(2) ドップラーシフト検出装置と現有の光アンプ、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製作する。現有の超音波風速計を配置し、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

(1) 急峻なエッジを得るため、3 枚の干渉フィルタを重ねて使用した。図 1 に干渉フィルタ特性の評価実験ブロック図を示し、図 2 に得られた透過率特性を示す。光源は DFB-LD (20 mW, 線幅 1.2 MHz) を用いた。最大透過率は 30% である。干渉フィルタ方式のドップラー検出感度は従来の FBG 方式と比較して半分になった。しかし、空間配置が可能な干渉フィルタを用いることにより、散乱光の結合効率が 10% と低いシングルモード光ファイバで構成される FBG フィルタよ

り損失が低減され、トータルの効率も FBG 方式と比較して 50% 向上した。

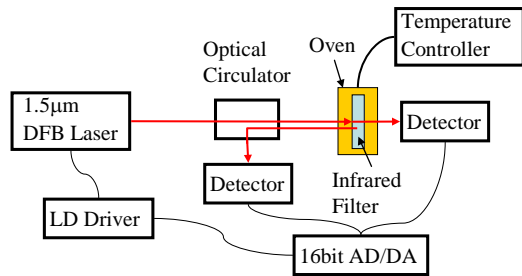


図 1 干渉フィルタ特性の評価実験ブロック図

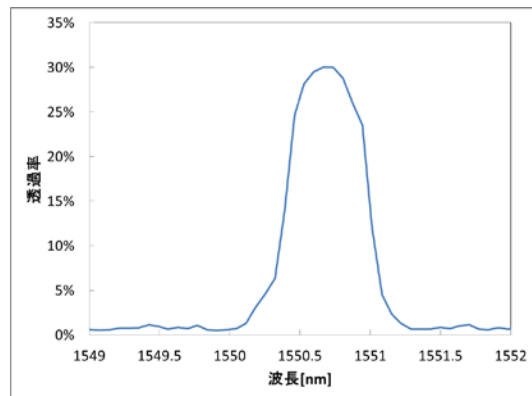


図 2 干渉フィルタの透過特性

(2) 図 3 にパルス光源のブロック図を、図 4 に得られたパルス波形を示す。前出の DFB レーザを AOM (Acousto-Optic Modulator) により 50 kHz, パルス幅 23 ns (距離分解能 3.5 m 相当) にパルス化し、EDFA (エルビウム添加光ファイバー増幅器) を用いてピークパワー 10W に高出力化した。レーザースペクトル幅は約 20 MHz でレイリースペクトル幅より十分狭い。パルス幅は任意に設定できるため、測定の目的に合わせた距離分解能での観測が可能である。

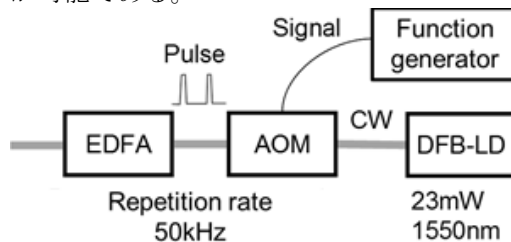


図 3 パルス光源のブロック図

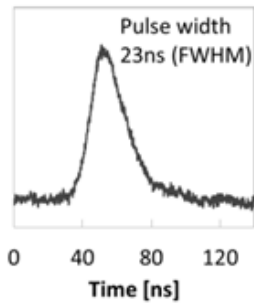


図4 パルス光源の波形

(3) 開発した受光部とパルス光源を用いてドップラーライダーを構成し、超音波風速計との比較実験を行った。図5に示すように超音波風速計 (METEK GmbH, USA-1) をライダーから 60 m 離れた地点に設置し、その近傍をレーザービームが通過するよう光軸を調整した。また、望遠鏡の視野は、超音波風速計近傍で重なり関数が 1 となるよう調整した。超音波風速計とドップラーライダーの風速差の平均は 0.2 m/s であり、本方式の有用性が確認された。

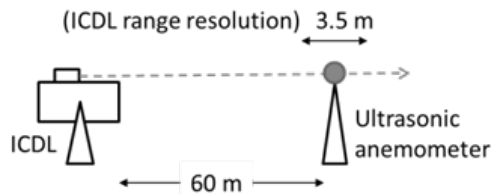


図5 ドップラーライダー(ICDL)と超音波風速計の比較実験概念図

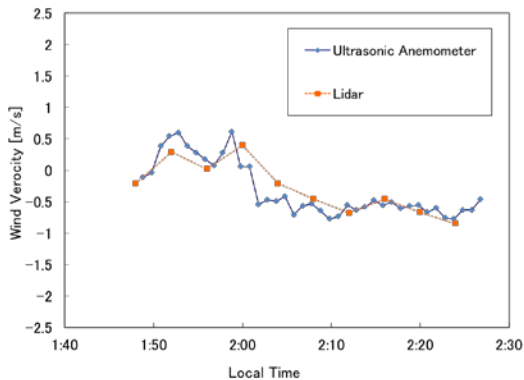


図6 超音波風速計との比較実験

(4) 従来のライダーで背景光除去のために用いられてきた干渉フィルタを、ドップラシフト検出用素子として応用しようという考え方を理論的、体系的に試みた例はなく、新規性がある。また、誘電体多層膜干渉フィルタの利点は、その透過中心波長を任意に設

定できることにあり、用途に応じたレーザー波長の選択が可能である。例えば、目への安全性を考慮する場合は波長  $1.5 \mu\text{m}$  以上のレーザー (ファイバレーザー、OPO、半導体レーザー) を、高い高度までの風速を測定する場合は高出力 Nd:YAG レーザ (532nm) の利用が考えられる。

#### 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 1 件)

- ① 柴田泰邦、長澤親生、阿保真、塚本誠、菅田高行、 $1.5 \mu\text{m}$ ファイバブラッググレーティングフィルタを用いた小型インコヒーレントドップラーライダーの開発、レーザー研究、査読有、Vol. 39、2011、pp. 622-623、

[学会発表] (計 7 件)

- ① 柴田泰邦、風分布計測のための直接検波小型ドップラーライダーの開発、レーザー学会学術講演会第 32 回年次大会、2012 年 1 月 31 日、TKP 仙台カンファレンスセンター (宮城県)
- ② 柴田泰邦、長澤親生、阿保真、塚本誠、菅田高行、 $1.5 \mu\text{m}$ 直接検波小型ドップラーライダーによる風分布計測、第 37 回リモートセンシングシンポジウム、2011 年 10 月 31 日、首都大学東京 (東京都)
- ③ 柴田泰邦、長澤親生、阿保真、塚本誠、菅田高行、 $1.5 \mu\text{m}$ 小型インコヒーレントドップラーライダーの風速測定精度の改善、第 29 回レーザーセンシングシンポジウム、2011 年 9 月 8 日、ホテル海望 (石川県)
- ④ 柴田泰邦、長澤親生、阿保真、塚本誠、菅田高行、 $1.5 \mu\text{m}$ 小型インコヒーレントドップラーライダーの性能評価、第 28 回レーザーセンシングシンポジウム、2010 年 9 月 9 日、琵琶湖グランドホテル (滋賀県)
- ⑤ Y. Shibata, C. Nagasawa, M. Abo, M. Tsukamoto, T. Honda,  $1.5 \mu\text{m}$  INCOHERENT DOPPLER LIDAR USING A FBG FILTER, 25<sup>th</sup> International Laser Radar Conference (ILRC), 1 July, 2010, St.-Petersburg, Russia.

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・  
助教  
研究者番号：10305419

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：