

平野 嘉仁, 柳澤 隆行, 浅香 公雄, 藤坂 貴彦,
若山 俊夫, 酒卷 洋, 大鋸 康功, 和高 修三

Yoshihito Hirano, Takayuki Yanagisawa, Kimio Asaka, Takahiko Fujisaka,
Toshio Wakayama, Hiroshi Sakamaki, Yasuisa Ooga, and Syusou Wadaka

Abstract: We have developed a 1.5mm real-time operational coherent Doppler LIDAR for wind velocity measurement using newly developed Er,Yb:glass Q-switched laser. The maximum measurement range and the range resolution are 5 km and 30 m, respectively. The accuracy of the wind velocity was measured to be less than 0.72 m/s. Real-time operation with data renewal rate per LOS of 2.5Hz was also demonstrated.

keywords: Coherent Doppler LIDAR, Wind Velocity, Single-Frequency, Er:Glass

1. まえがき

コヒーレントドップラライダ (CDL) は、単一周波数発振光のレーザ光を大気中に照射し、大気中の分子やエアロゾルによる散乱光のドップラシフトを計測することにより、風速を遠隔から測定する装置である。CDLによる風速の測定は、電波を用いたウインドプロファイラに比べ、レーザ光のキャリア周波数が高いためドップラシフトが大きく精度の高い測定が可能であるとともに、ビーム幅の狭いため、局所的な風速測定が可能である。また、エアロゾルの散乱を測定するため、晴天での測定が可能となる。これらの特長を生かした用途として、航空機の後方に発生するVORTEXと呼ばれる乱気流を検出し飛行機離発着の管制に用いる用途や、航空機に搭載し、高高度における前方の気流の乱れを検出する乱気流警報装置などへの用途が期待されている。これらの用途では、気象レーダなどのように広範囲な計測は要求されないものの、風速のリアルタイム計測性が重要となる。一方、限られたレーザの出力エネルギーにおいて計測可能な距離とデータ更新レートはトレードオフの関係にある。我々は、距離5 kmまでの風速をデータ更新レート0.15Hz~5Hzで計測可能なCDL実現を目指して開発を行った。特に、これまで開発されてきた波長10 μ m (CO₂¹⁾、波長2 μ m (Ho,Tm:YAG等²⁾) などと比べ、空間分解能 Δx と速度分解能 Δv の積 ($\Delta x \cdot \Delta v = c\lambda / 3.4\pi$) が小さい³⁾、目に対する最大許容エネルギーが約10倍大きい⁴⁾、大気吸収線が少ないため波長選択が容易、光通信用の廉価な光学部品を使用可能、等の利点がある波長1.5 μ m帯を用いた風速検出用CDLの開発を世界に先駆けて行った。ここでは、開発した風速検出用リアルタイムCDLシステムの構成および、開発結果を報告する。

2. 装置構成

Fig. 1 にCDLのブロック図、Fig. 2 に装置外観を示す。装置は、レーザ送信部 (単一周波数発振 Er:Glass Qスイッチレーザ)、送受光学系部、受信回路部、信号処理表示部から構成される。AOシフトにより中間周波数 (85MHz) をシフトさせたローカル光の一部をシード光とした単一周波数発振 Er,Yb:Glass Qスイッチレーザの出力をビームエキスパンダにより拡大し、走査光学系 (スキャナ: 全方位) を通して大気中に照射する。受信光は送受光学系で集光され、出力光と分離した後、単一モード光ファイバへ結合し、ローカル光と合波してヘテロダイン検波される。電気信号に変換された信号を、信

号処理部でA/D変換、レンジゲート毎のFFT、インコヒーレント積分 (4回~128回で選択) することによりドップラシフトにより生じる周波数ずれを検出し、風速に変換して、ディスプレイ表示を行う。

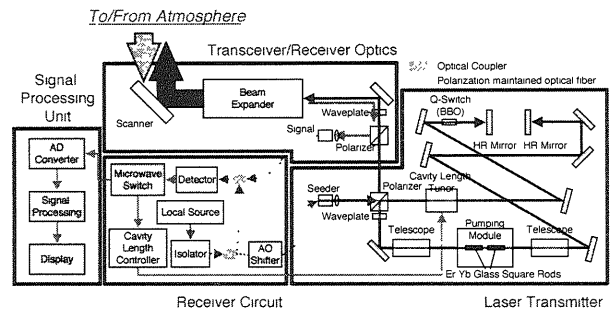


Fig. 1 Block diagram.

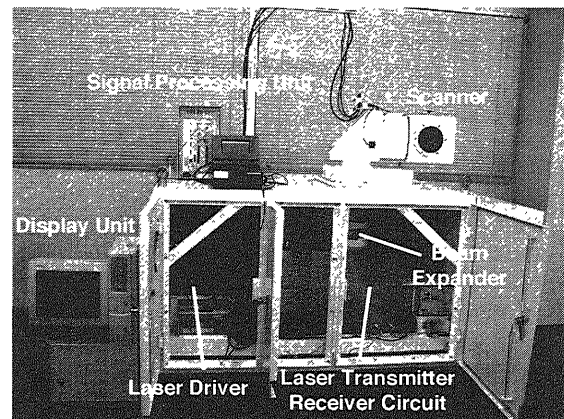


Fig. 2 Outlook appearance.

CDLで用いるレーザは、安定した単一周波数発振、高ピークパワー出力、長パルス幅、高信頼性が要求される。今回開発した単一周波数発振 Er:Glass Qスイッチレーザは、誘導放出断面積が小さく熱伝導率の低いGlassレーザ媒質に対して高効率発振を得るための高強度励起と、非点収差、熱複屈折を補償するための励起モジュール構成、長共振器長で高ビーム品質と安定性を得るための対称型テレスコープ共振器構成、安定した単一周波数発振を行うためのインジェクションシーディングと共振器長制御構成、等の特長を有する。Table 1 に単一周波数発振 Er:Glass Qスイッチレーザの開発結果を示す。

Table 1 Characteristics of Er:Glass laser.

Wavelength	1.534 μ m
Repetition	20Hz
Laser material	Er,Yb:Glass
Maximum output energy	10.9mJ
Pulse width	228nsec
Frequency stability	< \pm 1.9MHz
Side-mode suppression ratio	< -30dB

3. 風速測定結果

3.1 風速測定精度

開発したCDLの性能評価のため、固定目標（速度0）による速度測定精度の評価と、Lバンド帯 Wind Profiler との比較による風速測定精度を評価した。固定目標測定では、速度平均値 0.034m/s、標準偏差 0.14m/sが得られた。また、Lバンド帯 Wind Profiler との比較測定における、測定値の差の標準偏差は0.4m/sであり、この Wind Profiler の風速測定精度 0.6m/s以下⁶⁾を考慮し、今回試作したCDLの風速測定精度として、0.72m/s以下であることが分かった。

3.2 受信S/Nとデータ更新レート

1月の晴天時において、地上約5mの位置に装置を設置し、仰角20度における風速測定を行いSN比の評価を行った。Fig. 3 に単一パルスあたりのS/N比と風速測定結果を示す。風速精度1m/sが得られる単一パルスあたりのS/N比として実験的に3dBが報告されており²⁾、距離5kmにおいては、インコヒーレント積算4回程度でこの精度の風速測定が可能であることが分かる。この場合のデータ更新レートは5Hz（20Hz/4回）となる。装置では、インコヒーレント積算回数を128回まで設定可能であり、データ更新レート0.15Hz（20Hz/128回）では、5kmの測定において回線マージン9dB（128/4）を持って測定が可能であることとなる。

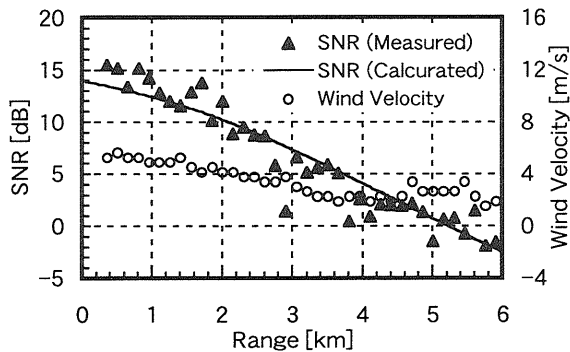


Fig. 3. Range dependence of SNR and Wind Velocity.

Fig.4に、開発した装置を用いての風速分布のリアルタイム計測結果を縦軸高度(km)、横軸距離(km)として示す。インコヒーレント積分回数8回で、(データ更新レート2.5Hz/LOS) 仰角5度から20度を0.2度刻みで測定を行った。30秒ごとに風速が刻々と変化している様子が分かる。

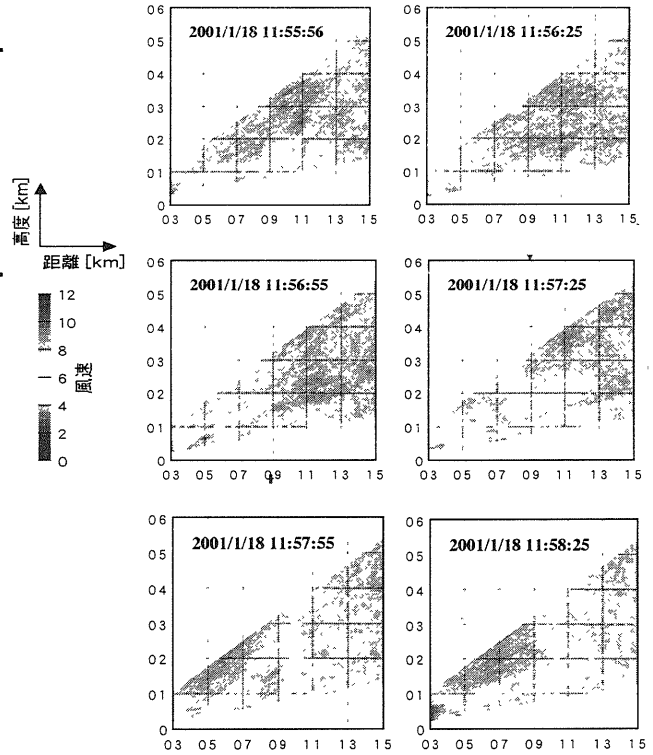


Fig. 4. Real-time operation of the developed CDL.

4. まとめ

波長1.5 μ mで単一周波数発振するEr:Glass Qスイッチレーザを用いた風速測定用リアルタイムコヒーレントドップラライダの開発を行い、風速測定精度、受信SN、およびリアルタイム計測の実証を行った。開発した装置の主な性能をTable 2に示す。

Table 2 Characteristics of the developed CDL.

Wind velocity accuracy	< 0.72 m/s
Maximum measurable wind velocity	\pm 50 m/s
Maximum range	5 km
Range resolution	30 m
Data renewal rate	0.15-5 Hz / LOS

<参考文献>

- 1) R. V. Hess, Proc. SPIE **300**, 44 (1981)
- 2) R. Trag, et. al., Appl. Opt. **35**, 7117 (1996)
- 3) S. M. Hannon, et. al., J. Mod. Opt. **41**, 2175 (1994)
- 4) IEC Publication IEC 60825-1 (International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 1993)
- 5) T. Yanagisawa, et. al, Opt. Lett. **26**, 1262 (2001)
- 6) M. Yamamoto, et. al., Radio Science **23**, 1013 (1988)