

1.53 μm 帯コヒーレント差分吸収ライダによる水蒸気分布の計測結果

今城 勝治¹, 廣澤 賢一¹, 亀山 俊平¹, 柳澤 隆行¹

¹三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 (〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1)

Water vapor profile measurements using 1.53 μm coherent differential absorption LIDAR

Masaharu IMAKI¹, Kenichi HIROSAWA¹, Shumpei KAMEYAMA¹, and Takayuki YANAGISAWA¹

¹Mitsubishi Electric Corporation Information Technology R&D Center, 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501

We have been developed a ground based coherent differential absorption LIDAR for water vapor density using 1.53 μm laser wavelength. We selected the 1531.382 nm and 1531.555 nm for ON and OFF wavelength, respectively. We demonstrated the first test of water vapor measurements in horizontal range, and compared with in - situ sensor. From the measurement results, the time variation of water vapor can be observed and the fluctuation of the measurement value in constant value region is about 0.8 g/m³.

Key Words: Water vapor, Differential absorption, Coherent, LIDAR

1. はじめに

早期の集中豪雨の予測のため、集中豪雨の要因となりうる積乱雲の発達に強く影響する大気中の水蒸気密度分布を、高精度に測定することが求められている。そこで、我々は、昼夜によらず安定した観測性能が得られる 1.53 μm 帯コヒーレント差分吸収ライダ（以下、CDIAL: Coherent Differential Absorption LIDAR）の開発を行っている [1]。本構成の受信方式としてヘテロダイン検波方式を用いたため、ランダムな位相情報をもつ太陽光等の背景光の影響を受けず、昼夜に関係なく安定した性能が得られることが特長である。さらに、当社の製品である風計測用ドップラライダで実績のある 1.53 μm 帯平面導波路型レーザ増幅器 [2] を、短波長化してポストアンプとして用いることで、測定距離の延伸を図っている。

これまで、本 CDIAL に対して吸収波長と非吸収波長の最適化を行い [1,3]、波長安定化回路 [4] を試作した。今回、CDIAL を構成し、大気中の水蒸気計測を行った結果について報告する。

2. コヒーレント差分吸収ライダ装置

吸収波長の波長安定化回路の構成を Fig.1 に示す。1.53 μm 帯の水蒸気の線吸収強度は 1×10^{-24} cm/molecule と小さく、波長吸収量の変化から波長を制御して安定化する小型の参照用ガスセルでは十分な吸収量が得られないため、波長を吸収線に安定させることが困難である。そのため、我々は、1.53 μm に吸収のある Hydrogen Cyanide (HCN) の吸収線に波長を安定化し、左記波長に対して所定の周波数オフセットを与えることで、水蒸気の吸収波長に安定化させる方式を用いた。

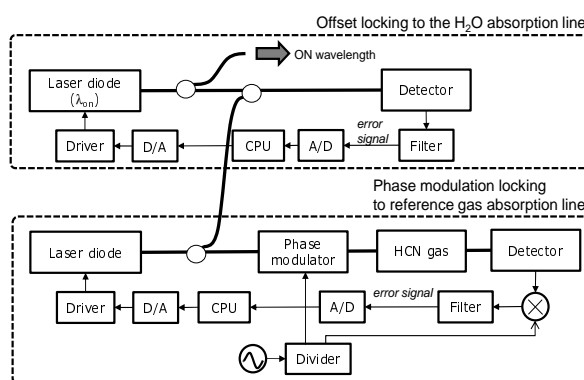


Fig. 1. Schematic diagram of wavelength stability circuits.

CDIAL の装置構成を Fig.2 に示す。水蒸気の吸収波長と非吸収波長に波長を安定化したレーザ光を、光スイッチにて選択し出力する。選択したレーザ光を光分配器で分け、一方を強度変調器でパルス化し、光アンプで増幅した後、光アンテナを通して大気中に照射する。大気中に照射したレーザ光は空気分子やエアロゾル等によって散乱される。散乱光を送信時と同じ光アンテナで集光し、光分配器のもう一方の光と合波する。合波した光を光受信機でそのビート成分を電気信号に変換し、CPU にて時間領域毎で周波数解析し、そのピーク強度を導出する。

試作した装置では、レーザエネルギーは 0.3 mJ、パルス幅 1.4 μs 、繰返し周波数 16 kHz、受信口径 110 mm である。また、吸収波長と非吸収波長はそれぞれ 1531.382 nm と 1531.555 nm であり吸収断面積は、吸収波長で 8.57×10^{-24} cm²、非吸収波長で 1.00×10^{-25} cm² である。一定時間毎に切り替え、各波長それぞれ累計 5 分 (4.8×10^6 shots) のデー

タを平均して、距離毎での周波数ピーク強度を算出する。最後に、吸収波長と非吸収波長での受信信号強度分布より光学的厚さを算出し、水蒸気分布を導出する。また、ピーク周波数のシフト量から、視線方向の風速分布の計測を行う。

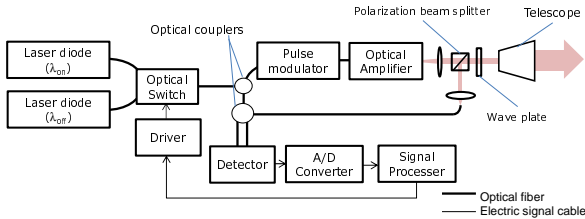


Fig. 2. Schematic diagram of CDIAL.

3. 水蒸気分布測定

水平方向にビームを照射して得られた差分吸収量から算出した、水蒸気分布の測定結果を Fig.3 に示す。本実験では、距離分解能 300m で測定し、距離 450m から 2600mm までの水蒸気計測を計測した。図より、水平方向にほぼ一定の水蒸気量が得られていることから、水平方向には、ほぼ一様に水蒸気が分布していることがわかる。また、同時に計測した視線方向の風速値も、ほぼ一様の値であった。

次に、観測点に設置した温湿度計と CDIAL の最近距離の測定結果を比較した。Figure 4 に、2017年2月3日から6日の3日間の連続観測結果を示す。観測期間中、2月5日の夕方より雨が降り始めており、その時間帯の水蒸気量が、 4g/m^3 から 7g/m^3 と増加することが確認できる。この様子は温湿度計だけではなく、水蒸気差分吸収ライダーでも測定されており、温湿度計と CDIAL で測定した水蒸気量の時間変化がほぼ一致していることを確認した。また、値がほぼ一定の時間帯である2月3日 18:00 から2月4日 6:00の時間帯を切り出したデータから、本装置による水蒸気量の変動を算出した結果、計測誤差として 0.8g/m^3 (標準偏差) を得た。

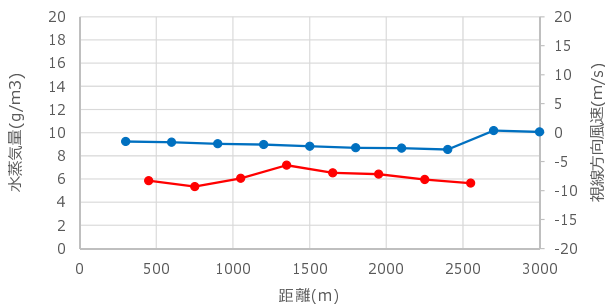


Fig. 3. Horizontal profile of water vapor density and wind velocity. The range resolution is 300 m and

averaging time is 10 min.

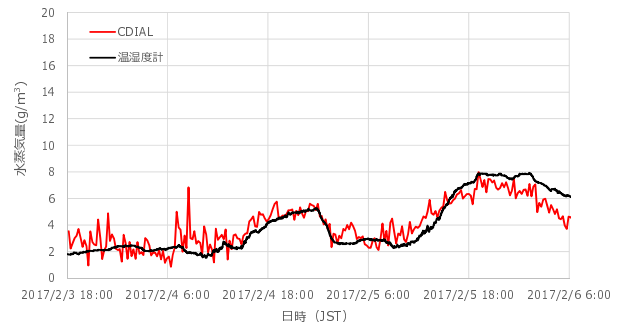


Fig. 4. Experimental results of CDIAL.

4. まとめ

1.53 μm 帯コヒーレント差分吸収ライダーによる水蒸気計測を実施した。本装置では、吸収波長 1531.382 nm に安定化させるため、HCN の吸収線を用いており、水蒸気分布と風速分布を同時に計測できることが特長である。

水平方向にレーザー光を照射して水蒸気の距離分布を検出した結果、距離 450m から 2600m で水蒸気分布が測定できることを確認した。また、地上に設置された温湿度計で算出した水蒸気量と比較した結果、水蒸気量、及びその時間変化が一致した。さらに、水蒸気量の測定誤差 (標準偏差) について、地上設置された湿度計の実測値がほぼ一定となっている安定した時間帯を切り出し算出した結果、標準偏差で 0.8g/m^3 が得られていることが分かった。

参考文献

- [1] 今城, 他, “水蒸気計測向け 1.53 μm 帯コヒーレント差分吸収ライダーの回線検討,” 34 回レーザーセンシングシンポジウム 2016.
- [2] T. Sakimura, *et al.*, “1.5- μm high average power laser amplifier using an Er,Yb:glass planar waveguide for coherent Doppler LIDAR,” Proc. of SPIE Vol. 8526. 2012.
- [3] M. Imaki, *et al.*, “Preliminary study on ground based coherent differential absorption LIDAR for vertical profiling of water vapor density using 1.53 μm wavelength,” 18th Coherent Laser Radar Conference 2016.
- [4] M. Imaki, *et al.*, “Development of wavelength locking circuit for 1.53 micron water vapor monitoring coherent differential absorption LIDAR,” 28th International laser radar conference 2017 .