

屋外観測向け水蒸気計測 1.53 μm 帯コヒーレント差分吸収ライダーの開発

原口 英介¹, 矢野 謙也¹, 辻 秀伸¹, 今城 勝治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)

Development of 1.53 μm coherent differential absorption lidar for water vapor measurement

Eisuke HARAGUCHI¹, Kenya YANO¹, Hidenobu TSUJI¹, and Masaharu IMAKI¹

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

Abstract: For field measurement of water vapor density using 1.53 μm coherent differential absorption LIDAR, we have demonstrated that the prototyped wavelength stabilization circuit operates in the temperature range from 0 to 60 deg.C. In addition, we demonstrated a first test of water vapor measurement at horizontal range and compared it with a ground-based sensor. From the measurement results, we can observe the time variation of water vapor, and the stability in a certain time domain is 1.7g/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。大気中の水蒸気分布を常時観測して早期に豪雨予測を可能とするセンサとして、水蒸気 DIAL(Differential Absorption LIDAR) の開発を行っている。水蒸気 DIAL は、分子の吸収線強度の差異を利用するため、使用光源の波長を吸収線に安定化させる必要がある。一方で 1.5 μm 帯における水蒸気(H₂O)の吸収量は少なく直接水蒸気吸収線に波長ロックを行うことは困難である。我々は基準レーザと水蒸気計測用に基準レーザからオフセット周波数を付与した波長に波長ロックを行う 2 つの波長ロック方式を採用し、水蒸気計測の原理検証を行ってきたが、外環境下での測定に対し、波長制御の安定性に課題があった¹⁾²⁾。今回、外環境下での水蒸気・風同時計測に向けループ帯域を拡大したアナログ制御による波長制御を試作し、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ー装置構成

本節では、水蒸気 DIAL の構成について述べる。水蒸気 DIAL の概略構成図を Fig. 1 に示す。波長ロックユニットから出力される ON 光 (1531.3840 nm) と OFF Laser から出力される OFF 光(1531.555 nm)とを光スイッチ(光 SW)にて合波する。合波後、光カップラにて信号光路と局発光路に分離する。信号光路では、光位相変調器(PM)と半導体光増幅器(SOA)を用いてパルスセロダイン変調を行うことで、155 MHz 周波数シフトを付加したパルス光を生成する³⁾。ここで、周波数シフト量を考慮すると、パルス信号光の波長は 1531.3828 nm となる¹⁾。パルス光を光増幅器にて増幅後、偏波保持サーキュレータにて送受光路を分離する。送信光路では 4 視線光スイッチにて東西南北に設置したテレスコープから空間出力する。エアロゾルからの後方散乱光は偏波保持サーキュレータの受信光路を通り、偏波保持カップラにて局発光と合波しバランス受信器(BR)にて受信し信号処理を行うことで、風向風速、水蒸気量を算出する。

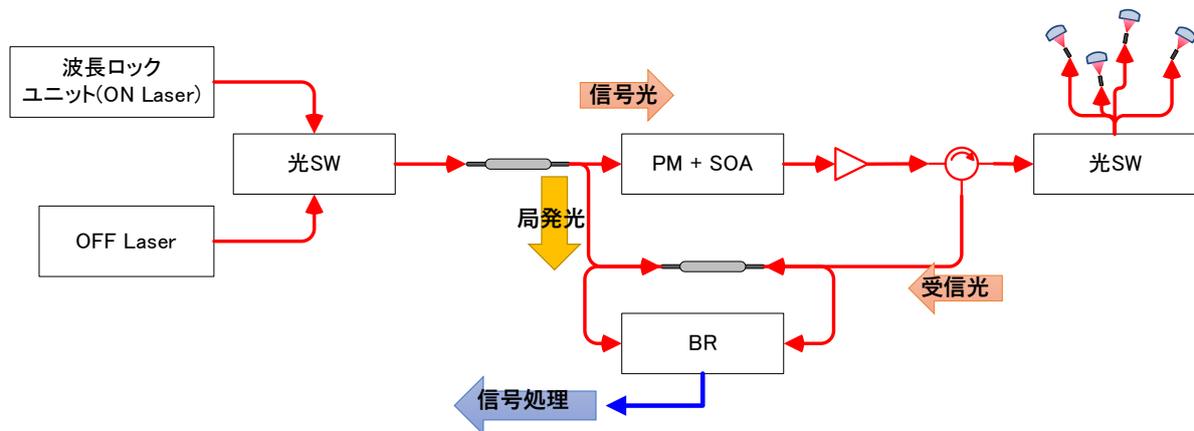


Fig. 1 Schematic diagram of the coherent DIAL for water vapor measurement

3. 波長安定化回路

本節では、水蒸気 DIAL のキーとなる波長ロックユニットの動作について述べる。Fig. 2 に波長ロックユニット内部の波長安定化回路構成ブロック図を示す。まず、波長ロックの基準となる HCN ロックについて述べる(図中(a))。基準光源(Master laser)出力光を偏波保持カップラにて2分岐し、片光路を ON 光源と合波(図中(b))、もう片光路をシアン化水素(HCN)ガスセルの吸収線からの周波数誤差信号抽出に用いる。偏波保持カップラで分離された光は光位相変調器にて位相変調されたのち、HCN ガスセルに入力する。HCN ガスセル透過光をフォトダイオードで受信後、光位相変調器変調信号とミキシングすることで、ガス吸収線からの光周波数変動を検出する。この誤差信号をループフィルタを介して Master laser の注入電流にフィードバックすることで HCN 吸収線に波長ロックを行う。ここで、安定化を行うターゲットは HCN R18 吸収線(1531.2754 nm)とした。一方、オフセットロック系(図中(b))では、ON laser 出力光と HCN ロックした Master laser を偏波保持カップラにて合波後、フォトダイオードで受信する。受信信号を 16 分周したのち、基準 RF 信号(Master oscillator)と位相比較を行いループフィルタを介して ON laser 注入電流にフィードバックすることで、HCN 吸収線から任意の周波数差に安定された ON laser を得る。ここでは、パルスセロダイン変調の変調周波数(155 MHz)を考慮し、ON laser と Master laser の周波数差を 13.734 GHz(16 分周後：858.84 MHz)に設定した。

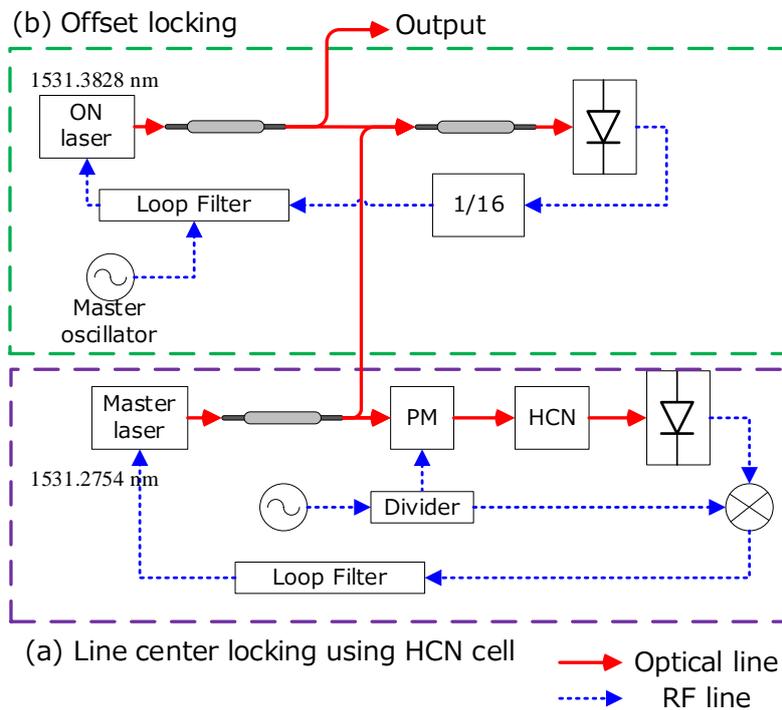


Fig. 2 Schematic diagram of wavelength stability circuits

上記波長安定化回路の動作試験として、各光源(Master laser, ON laser)をそれぞれ恒温槽に設置し 0 ~ 60°Cでの温度試験を実施した。HCN ロックの測定結果を Fig. 3(a)に、オフセットロックの測定結果を Fig. 3(b)に示す。図中上部が波長、または周波数変動を、図中下部を各波長制御の制御電圧を示す。図より、HCN ロック、オフセットロックともに全温度範囲にて安定であることがわかる。ここで、制御電圧の振れ幅は 0.2V ほどであることが読み取れる。各ロックの制御電圧ダイナミックレンジは +/- 0.8 V ほどであることから十分安定であることがわかる。

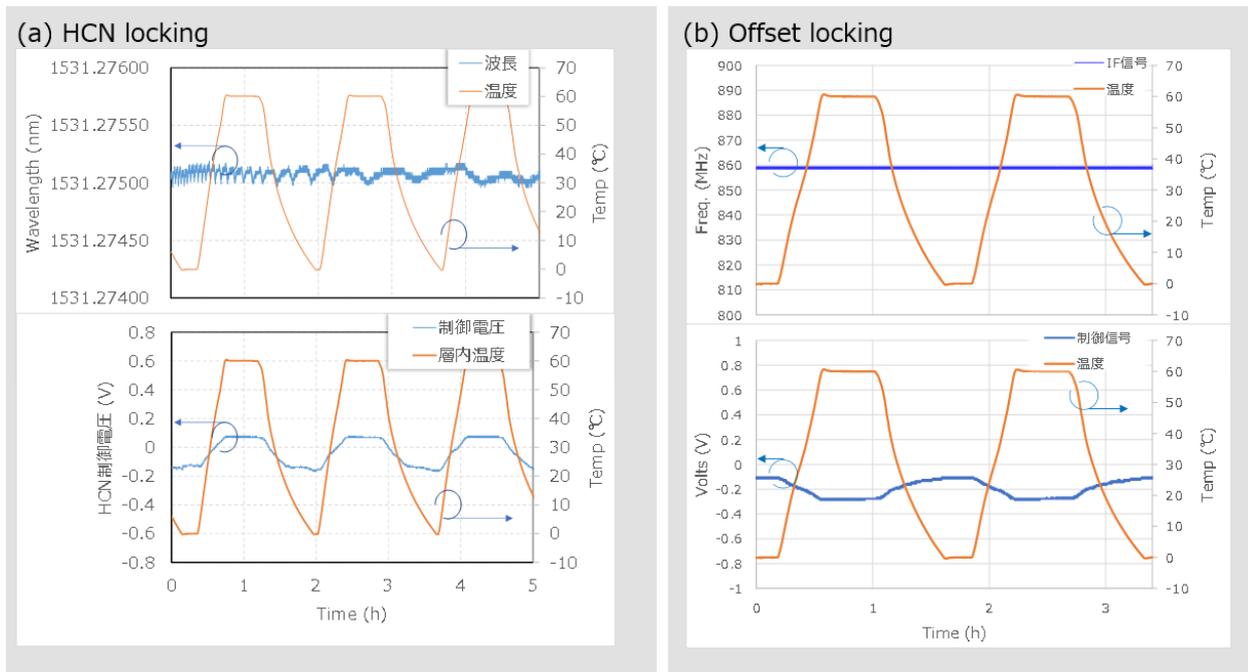


Fig. 3 Measured results :(a) HCN Locking, and (b) Offset locking

4. 水蒸気計測結果

試作した波長安定化回路を用いて水蒸気計測の検証を行った。本検証では、水平方向にビームを照射し、地上データとの比較を行った。測定結果を Fig. 4 に示す。図より、地上アメダスデータから算出した水蒸気量と DIAL の測定レンジ 1,2 に相当する計測距離 200m, 300m での計測結果が良好に一致することを確認した。このとき、地上データと DIAL 計測結果との計測誤差は約 1.7 g/m^3 であった。

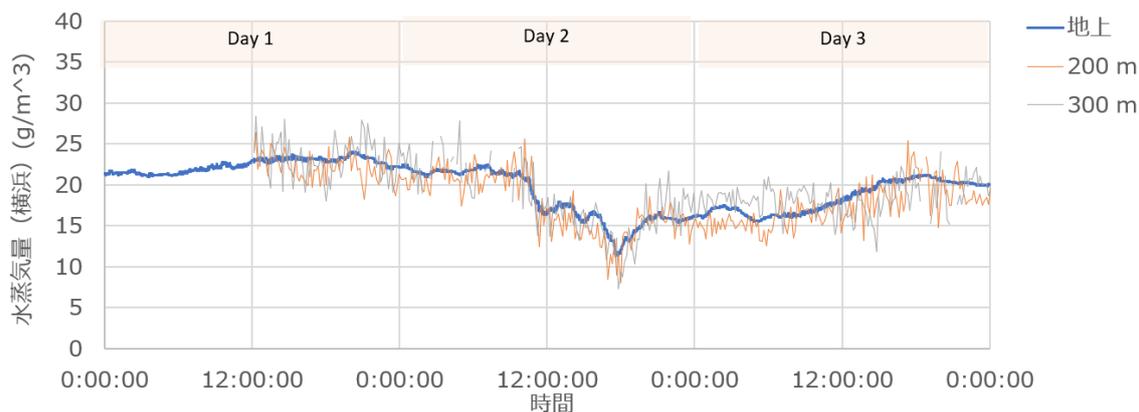


Fig. 4 Measurement result of horizontal water vapor density

5. まとめ

外環境設置型 DIAL に向け波長安定化回路の試作検証を行った。波長安定化回路は $0\sim 60^\circ\text{C}$ の範囲で安定であることを確認した。また、試作した波長安定化回路を用いて水平パスの水蒸気計測を行い地上データと測定誤差(標準偏差) 1.7 g/m^3 で良好に一致することを確認した。

6. 参考文献

- 1) M. Imaki *et al*, Opt.Exp. **28**, 27078 (2020).
- 2) M. Imaki *et al*, Appl. Opt. **59**, 2238 (2020).
- 3) E. Haraguchi *et al*, Appl. Phys. Exp. **12**, 052006 (2019).