

小型飛翔体搭載水蒸気 DIAL における近赤外最適波長の検討

田淵 裕也, 柴田 泰邦

首都大学東京 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Optimization of near infrared wavelengths for small airborne H₂O-DIAL

Yuya TABUCHI and Yasukuni SHIBATA

Tokyo Metropolitan University, 6-6, Asahigaoka, Hino, Tokyo, 191-0065

Abstract: We propose a small airborne H₂O-DIAL. Generally, the observation area of the small lidar narrows due to the limitation of the laser output power and telescope size. However, it is possible to broaden the observation area by the small lidar itself moving. In this study, the optimum wavelength for a small airborne H₂O-DIAL is selected from the H₂O absorption line between 1300nm and 1600nm band which is the eye-safe wavelength. As a result, 1335 nm is best for vertical downward measurement and 1515 nm is best for horizontal measurement. Moreover, it was found that each statistical error is within 5% in day and night measurement.

Key Words: DIAL, near infrared wavelength, airborne LIDAR, H₂O

1. はじめに

近年、距離計測用ライダーを搭載した小型飛翔体による 3 次元マッピングが実用化している。一方、大気中のエアロゾルや微量大気成分の空間分布測定に用いられるライダーは大型システムが多く、地上設置が主流である。また、大気観測用の飛翔体搭載ライダーは人工衛星やジェット機、セスナ機等の航空機に搭載されており、広域の観測を目的としている。そこで、数百 m~数 km 内の比較的狭い空間領域の濃度を、移動しながら分布計測するため、ライダーを小型飛翔体に搭載することを提案する。災害や火災など、人が容易に立ち入ることのできない場所の迅速かつ詳細な空間分布情報の取得は、災害・事故の対応策を考える上で大きく貢献できる。特に大気中の水蒸気を測定することにより、豪雨などの大規模な災害を未然に検知することが可能になるため、水蒸気 DIAL システムを搭載することで立体的に観測することは大いに意義があると言える。

小型飛翔体に DIAL を搭載するためには重量や電力の問題だけでなく、航空法により飛行高度の上限が 150m に制限されるため、至近距離からの計測を想定する。そこで本研究では、近距離測定において DIAL にアイセーフ波長である 1300nm~1600nm 帯の水蒸気吸収線から、数値シミュレーションを行うことにより測定誤差の少ない昼間観測でも対応可能な吸収線の選定について検討を行う。

2. 水蒸気 DIAL

水蒸気 DIAL は、大気中の水蒸気分子に対して吸収の強い波長(on 波長)と吸収の弱い波長(off 波長)の

2 波長を用い、受信信号の違いから水蒸気分子の濃度分布を求める手法である。

対象分子の大気中濃度は以下の DIAL 方程式から求まる。

$$N = \frac{1}{2\Delta\sigma\Delta R} \ln \left[\frac{P_{on}(R_1)P_{off}(R_2)}{P_{on}(R_2)P_{off}(R_1)} \right] \quad (1)$$

ここで、 $\Delta\sigma$:差分吸収断面積、 P_{on} と P_{off} はそれぞれ on 波長、off 波長の受信信号強度である。

また、DIAL 測定誤差要因のうち、受信強度に起因する統計誤差は参考文献より得られた式を用いてシミュレーションを行なった。

3. 水蒸気 DIAL 測定誤差シミュレーション

ドローンや無人ヘリコプターのような小型飛翔体に水蒸気 DIAL を搭載し、航空法の上限である上空 150m からの鉛直下向き、および水平方向の水蒸気濃度分布を測定することを想定する。Table 1 のシステムパラメータを用いて水蒸気 DIAL 測定誤差シミュレーションを行なった。水蒸気モデルは中緯度夏を利用した。

Table 1. DIAL system parameters

	name	vertical	Horizontal
E[mJ]	Pulse energy		0.1
M	Accumulation count	20,000	40,000
A[m ²]	Receive mirror area	$\pi(0.075)^2$	$\pi(0.15)^2$
θ [mrad]	View angle of receive mirror		1.0
ω [nm]	Filter bandwidth		1.0

3.1 最適波長の探索

本研究では、水蒸気吸収帯域の 1300~1600nm 帯域において最適波長の組み合わせ最適化を行なった。on 波長、off 波長の吸収断面積は Fig.1 に示す HITRAN データベースから得た値を用いた。

数値シミュレーションの条件として、on 波長は吸収断面積の極大値を用い、off 波長はその周りの±0.5nm 以下とした。これは on 波長と off 波長の差が 0.5nm 以下の場合、波長の差によるエアロゾルの後方散乱と消散係数の影響を無視することができるためである。

Table1 における各パラメータと上記の条件のもと ①鉛直下向き ($\Delta R=5\text{ m}$)、②水平方向 (測定範囲~3000m、 $\Delta R=100\text{ m}$)、③水平方向 (測定範囲~5000m、 $\Delta R=200\text{ m}$) における最適波長の組み合わせを数値計算から求め、その結果を Table2 に示す。ここで、鉛直下向きの観測は DIAL から地上までの 150m の範囲を測定することになる。至近距離から有効データを得るため、送信レーザー光を 2 系統に分割し、1 系統は DIAL から 30m までの近接場のみ、もう 1 系統はそれより遠方を照射するように設定する。

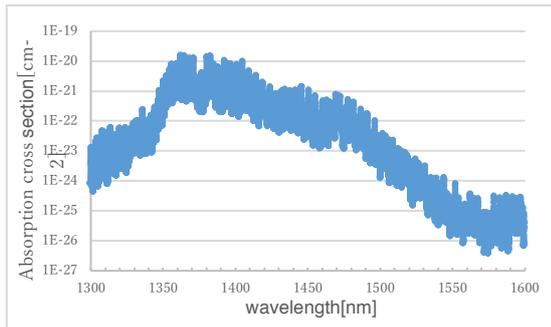


Fig.1 Water vapor absorption cross section.

Table2. Combination of optimum wavelength

① Vertical downward direction	
λ_{on} [nm]	1335.9885
λ_{off} [nm]	1336.4878
② Horizontal direction (3000m)	
λ_{on} [nm]	1512.4022
λ_{off} [nm]	1511.9443
③ Horizontal direction (5000m)	
λ_{on} [nm]	1516.2809
λ_{off} [nm]	1515.7972

3.2 最適波長における統計誤差

Table2 の最適波長の組み合わせを用いた鉛直方向下向き、及び水平方向の DIAL 観測における統計誤差をそれぞれ Fig.2、Fig.3 に示す。

Fig.2、Fig.3 より、数値シミュレーション上では ①鉛直下向き ($\Delta R=5\text{ m}$) は統計誤差 2.5%以内、②水平方向 (測定範囲~3000m、 $\Delta R=100\text{ m}$) は統計誤差 4%以内、③水平方向 (測定範囲~5000m、 $\Delta R=200\text{ m}$) は統計誤差 5%以内で測定することが

可能であった。豪雨災害を予測するための水蒸気量の要求精度は 5%以内といわれており、これらの結果はこの要求基準を十分に満たす。また、昼間と夜間の観測に関して測定誤差の差がほぼなかった。これは 1300nm~1600nm において太陽光の放射エネルギーが比較的小さかったためと言える。これにより、昼間の観測も十分に行えることが示された。

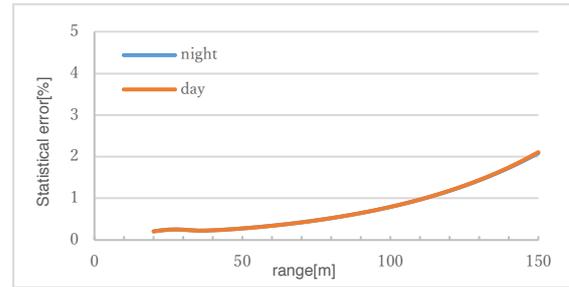


Fig.2 Statistical error in the case of vertical downward measurement. (DIAL platform height: 150 m)

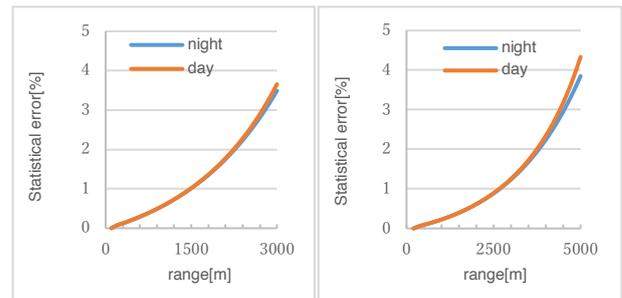


Fig.3 Statistical error in the case of horizontal measurement. (DIAL platform height: 150 m)

4. まとめ

本研究では、小型飛行体に搭載可能な比較的小規模な水蒸気 DIAL システムを新たに開発するための最適波長について 1300nm~1600nm 帯の H₂O 吸収線を用いて、背景光の影響が強い昼間の観測を数値シミュレーションによって探索した。

結果より、最適波長の組み合わせは鉛直方向下向きの測定では 1.3 μm 帯、水平方向の測定では 1.5 μm 帯が最適であるということがわかった。

鉛直方向下向き及び水平方向の観測において、いずれも昼間夜間を問わず統計誤差 5%以内で測定が可能ということを示した。

参考文献

- 1) Syed Ismail, et al., Appl. Opt., 28, 17, 3603-3014, 1989.
- 2) HITRAN データベース, <https://www.cfa.harvard.edu/hitran>