

150220 第17回環境リモートセンシングシンポジウム

Institute for Laser Technology

赤外吸収を用いた ガス可視化技術の開発 ーメタンガス可視化への初期検討ー

(公財)レーザー技術総合研究所 梁川智弘
千葉大CEReS 眞子直弘、久世宏明

Acknowledgements
本研究は千葉大環境リモートセンシング研究センター共同利用研究(P2014-1)によって遂行されました。ここに謝意を表します。



150220 第17回環境リモートセンシングシンポジウム

Institute for Laser Technology

はじめに

天然ガスは化石燃料の中で燃焼時の環境負荷が最も小さいクリーンなエネルギー資源として火力発電所や都市ガス等に広く利用

天然ガスの99%はメタンガスであり、-162℃まで冷却すると体積が気体比の600分の1の液体になるために、輸送が容易な液化天然ガス(LNG)として利用されている。LNGの輸送・保管時の漏えいモニタリングが従業員、付近住民の安全を守るために必要

↓

LNG漏えいモニタリングのためのガス濃度マッピングシステムの開発
赤外吸収計測に必要なレーザー仕様のシミュレーションを実施

(http://www.osakagas.co.jp/company/efforts/eco/clean/より)



150220 第17回環境リモートセンシングシンポジウム

H22,23年度の共同利用研究:白色光DOAS計測

Institute for Laser Technology

●大気中のCO₂吸収スペクトル計測実験装置図 (Somekawa et al., APEX, 2010 and OI, 2011)

LEUKOS-SM-20-OEM (45mW, < 1ms, 20kHz, 420~2400nm)

Alミラー, Auミラー, 赤外分光器 (浜ホトC9914GS (1100~2200nm))

最長568 mの吸収光路

Beam width angle: 0.31 mrad (collimator adjusted)

Intensity (count) vs Wavelength (nm) graph showing H₂O and CO₂ absorption peaks.

白色光レーザーの赤外吸収を利用して温室効果ガスであるCO₂の測定に成功!

- DOAS法では光路と観測点の2点間の平均濃度しか評価できない
- 赤外域はスペクトル強度が小さい

白色光強度の大きな近赤外域に吸収のある水蒸気、酸素に対して白色光レーザーの差分吸収ライダー(DIAL)へ応用

150220 第17回環境リモートセンシングシンポジウム

H24,25年度の共同利用研究:白色光DIAL計測①

Institute for Laser Technology

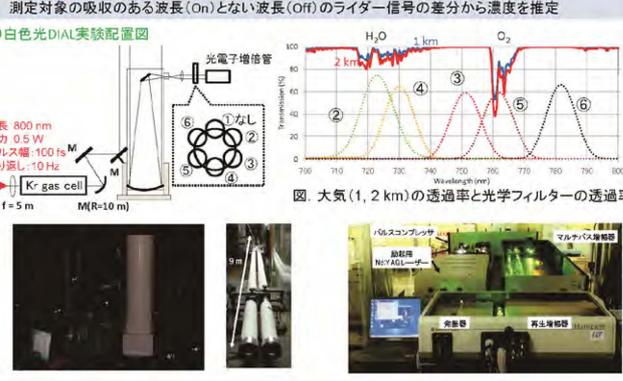
差分吸収ライダー(DIAL)の測定原理
測定対象の吸収のある波長(On)とない波長(Off)のライダー信号の差分から濃度を推定

●白色光DIAL実験装置図

波長 800 nm
出力 0.5 W
パルス幅: 100 fs
繰り返し: 10 Hz
Kr gas cell
f = 5 m
M(R=10 m)

①なし ② ③ ④ ⑤ ⑥

図. 大気 (1, 2 km) の透過率と光学フィルターの透過率



150220 第17回環境リモートセンシングシンポジウム

H24,25年度の共同利用研究:白色光DIAL計測②

Institute for Laser Technology

通常のDIAL手法で近似するαとβの効果を導入

$$m(R) = \frac{1}{2\Delta\alpha R} \ln \left(\frac{P_{On} P_{Off}^2}{P_{Off} P_{On}^2} \right) - \ln \left(\frac{\beta_{On} \beta_{Off}^2}{\beta_{Off} \beta_{On}^2} \right) - \frac{1}{\Delta\sigma} (\alpha_{On} - \alpha_{Off})$$

3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0

R.C. Signal (a.u.) vs H₂O VMR (%)

H₂O Off (751 nm)
H₂O On (723 nm)

ソナーの観測結果
βの補正
α-β補正

白色光DIALで水蒸気の高高度分布を評価するにはエアロゾルの時間変動を考慮することが必要

→ DIAL手法を用いてメタンガスの漏えいモニタリングが実施できないか?

150220 第17回環境リモートセンシングシンポジウム

差分吸収ライダー(DIAL)を用いたガス可視化技術

Institute for Laser Technology

●DIALによるメタンガス可視化の原理

CH₄
λ: 300.0 (K), P: 1.000e+03 (atm), VMR: 1.800e-05

1653.73 nm

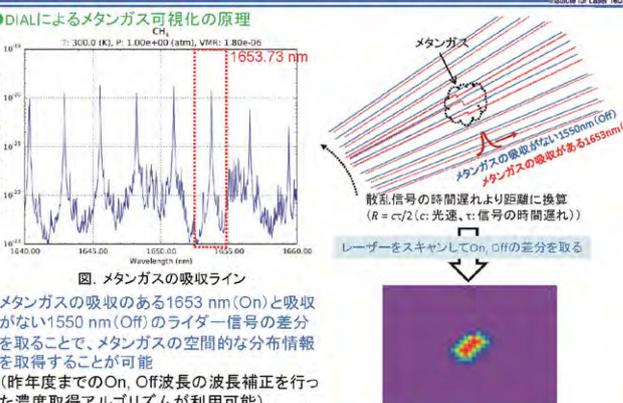
メタンガス
メタンガスの吸収がない1550nm (Off)
メタンガスの吸収がある1653nm (On)

散乱信号の時間遅れより距離に換算 (R = ct/2 (c: 光速, t: 信号の時間遅れ))

レーザーをスキャンしてOn, Offの差分を取る

図. メタンガスの吸収ライン

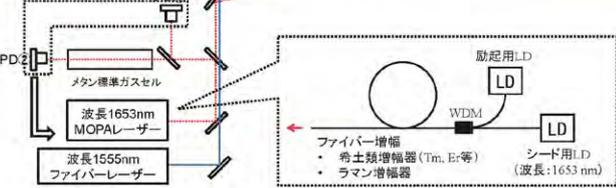
メタンガスの吸収のある1653 nm (On)と吸収がない1550 nm (Off)のライダー信号の差分を取ることで、メタンガスの空間的な分布情報を取得することが可能 (昨年度までのOn, Off波長の波長補正を行った濃度取得アルゴリズムが利用可能)



必要とされる赤外レーザーの仕様

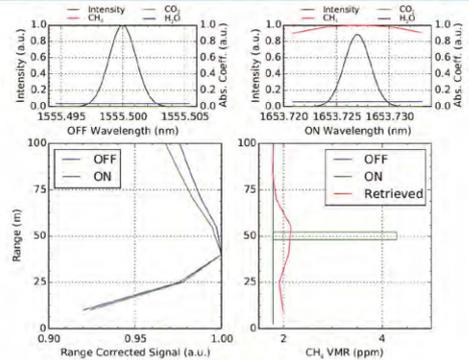
メタンガス可視化システムのレーザー開発案

- ・差分が最大となるようにレーザー波長にフィードバック
- ・値は温度校正にも使用



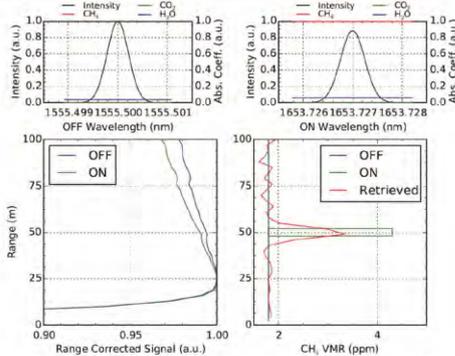
レーザーのパルス幅を10, 20, 100 nsとすると、スペクトル幅はそれぞれ31.5, 63, 315 MHzとなる(スペクトル形状はsech²に仮定)。このシードレーザーを出力1 mJ(繰り返し1 kHz)までファイバー増幅したとしてメタンDIALのシミュレーションを実施
メタンガス分布: 50m先に4 mのメタンガスが10ppm・m(メタンガスの背景濃度を1.8ppmとして合計4.3ppm)で分布しているとしてDIALシミュレーションを実施(横算: 10 s, サンプル間隔はそれぞれのパルス幅の位置分解能である1.5, 3, 15 m)

白色光DIALシミュレーション結果: 線幅315 MHz(100 ns)



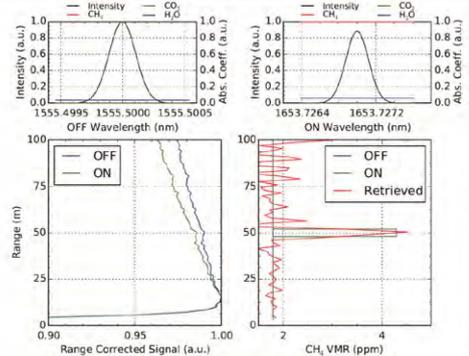
レーザーの線幅がメタンの吸収ラインよりも小さいが、距離分解能が悪く局所的な濃度測定ができない

白色光DIALシミュレーション結果: 線幅63 MHz(20 ns)



レーザーの線幅がメタンの吸収ラインよりも十分小さいが、空間差分によって濃度の算出を行うので、距離分解能と同程度の幅を持つメタンの正確な濃度測定が行っていない

白色光DIALシミュレーション結果: 線幅31.5 MHz(10 ns)



レーザーの線幅がメタンの吸収ラインよりも十分小さく、正確な濃度測定が行えている

まとめ

LNG漏えいモニタリングに向けたメタンガスDIALによるガス濃度マッピングシステムのレーザー仕様をシミュレーションにより検討

メタンの吸収波長1653.73 nm、パルス幅10 ns(線幅31.5 MHz), 20 ns(線幅: 63 MHz), 100 ns(線幅: 315 MHz)、繰り返し1 kHz、出力1 mJの赤外レーザーを用いて、50 m先にある4 mの10ppm・mのメタンガスが計測できるかをシミュレーション

- パルス幅10, 20, 100 nsのレーザーのスペクトル幅はメタンの吸収ラインよりも狭帯域であるために精度の良い濃度評価が可能
- 距離分解能よりも大きな幅を持つメタン漏えいの評価が可能となるため、距離分解能が小さいパルス幅10 nsのレーザーが有効

今後の研究計画

- メタンの吸収波長1653 nmに波長を高精度にロックする手法の検討
- 波長1653nmを増幅できるファイバー増幅器の検討

