

広帯域波長同調レーザーによる大気成分測定の見直し

Estimation of Atmospheric Constituent Measurement by Wide-range Tunable Lasers

鳥海良一, 田井秀男, 竹内延夫*

Ryoichi TORIUMI, Hideo TAI and Nobuo TAKEUCHI

東京ガス (株) インフォメーションテクノロジー研究所

Information Technology Reserch Institute, Tokyo Gas Co., Ltd.

*千葉大学映像隔測研究センター

Remote Sensing and Image Reserch Center, Chiba University

Abstract

Detectabilities of differential lidars (DIAL) using solid state lasers have been evaluated. Frequency mixing of a Ti:Al₂O₃ laser and a Nd:YAG laser was considered as a light source, because of its wide-range wavelength-tunability from ultraviolet to infrared. Twelve gases were selected for the evaluations in view points of global environment, atmospheric pollution, and industrial gas leakage. As a result, detection limits of H₂O, CH₄, and NO₂ were, for examples, 4.2km, 4.1km, and 1.8km for average atmospheric concentrations, under the S/N criterion of 10.

1. はじめに

差分吸収レーザーレーダは、地球環境、大気汚染、排煙拡散の観測や大気構造の研究を行なう目的で開発が進められ、観測が行なわれてきた。しかしながら、従来のシステムでは被測定ガスの吸収線に波長を合致させるための波長可変光源にエキシマレーザーやYAGレーザー励起の色素レーザーが利用されていたため、メンテナンス性に劣る欠点があった。

一方、チタンサファイアレーザーに代表される波長可変固体レーザーが製品化され、光パラメトリック発振を利用した広帯域波長可変レーザーも製品化されている。そして近年の環境問題の高まりから各種大気成分の濃度をモニタリングする必要性が高まりつつある。そこで、項目ごとに大気成分を分類し代表的なものについて、固体ベースの波長可変レーザーによる差分吸収レーザーレーダシステムを想定しその感度評価を行なった。

2. 各種大気成分およびレーザー光源

地球環境、大気汚染、工業計測の3つの観点から重要なガスについて分類を行なった。地球環境、大気汚染の観点では温暖化、酸性雨、オゾン層破壊ガスが代表的であり以下に例を挙げる。

温暖化: O₃, CHCl₃, CCl₄, CH₂Cl₂, CO₂, CH₃CH₃, CH₄, N₂O, H₂O, CF₄, C₂F₆, CF₃Cl, CF₂Cl₂, CHClF₂, CFCI₃

酸性雨: NH₃, HCl, O₃, CO, HNO₃, SO₂, NO₂, H₂SO₄, HCO₂H, H₂O₂

オゾン層破壊ガス: NO₂, N₂O, CF₄, C₂F₆, CF₃Cl, CF₂Cl₂, CHClF₂, CFCI₃, OH, ClO

工業計測の分野では半導体製造工場で多数の有害ガスが使用される。これらのほか日本、アメリカ、ドイツの各国の環境基準について調査し、各成分の排出源、影響についてまとめた。それらの中で先の3つの観点から大きな影響を与える成分や各項目に重複する成分を約50種選択し、その吸収領域を調べた。これらを2波長切り替え方式差

分吸収レーザレーダで計測する場合を想定した。吸収領域での波長に合致させる光源としてはチタンサファイアレーザおよびその波長変換によるものとした。励起光としてはパルス発振Nd:YAGレーザ光の第2高調波とし、チタンサファイアレーザ光の基本波およびYAGレーザ光との和、差周波さらにチタンサファイアレーザ光をポンプ光とした光パラメトリック発振を想定した。これらにより得られる波長と上記の吸収領域とを対応させた。このうち12種の大気成分について感度評価を行なった。吸収データはAFGL（現Phillips Lab.）の大気モデル計算プログラム（FASCODE）および実測データを使用した。

3. 計算結果

感度評価に用いたパラメーターをTable 1に示す。Fig.1にH₂O、Fig.2にCH₄、Fig.3にNO₂の計算結果を示す。ここで光源として、H₂Oはチタンサファイアレーザの基本波（レーザ出力100mJ）、CH₄はチタンサファイアレーザ光とYAGレーザ光との差周波（同10mJ）、NO₂はチタンサファイアレーザ光とYAGレーザ光との和周波（同20mJ）とし、検出器としてH₂O、NO₂は光電子増倍管、CH₄は液体窒素冷却InSbとした。計算の結果、濃度のSN比が10の距離を検出限界とすると、夜間の場合H₂O,CH₄,NO₂はそれぞれ4.2km,4.1km,1.8kmまで測定できることがわかった。

Table 1 Specification of a DIAL system

laser repetition	10Hz
visibility	5km
receiving lens diameter	0.3m
field of view	3mrad
efficiency of receiving optics	50%
transmitting spectral	3nm
integral time	10sec
background radiance	0 (night) $8 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2/\text{nm/sr}$ (daytime)

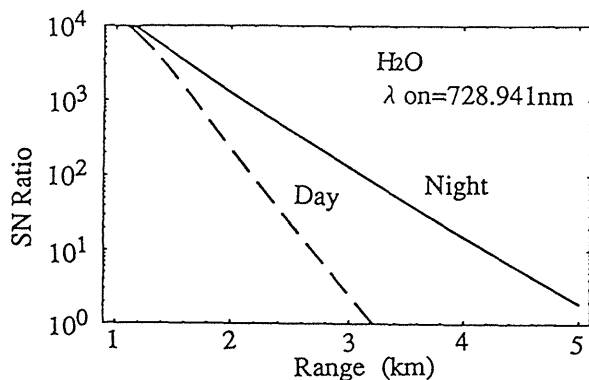


Fig.1 Calculated SN Ratio for Measurement of H₂O Concentration (Conc.=1.1%, ΔR=10m)

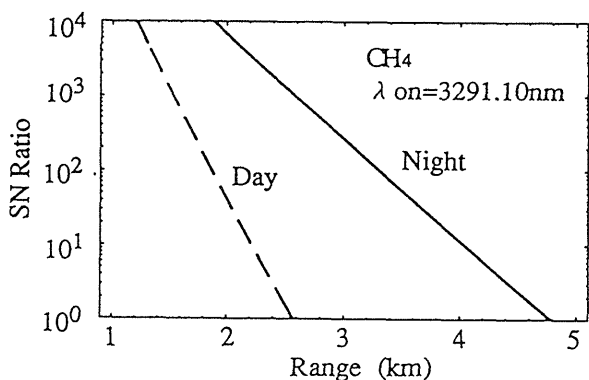


Fig.2 Calculated SN Ratio for Measurement of CH₄ Concentration (Conc.=1.7ppm, ΔR=100m)

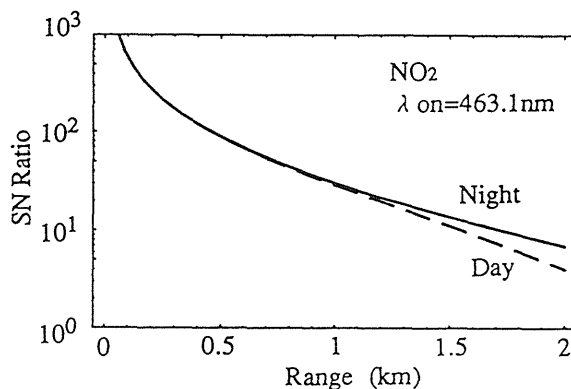


Fig.3 Calculated SN Ratio for Measurement of NO₂ Concentration (Conc.=5ppb, ΔR=10m)