

# A1 大気中水銀計測用 DIAL システムの開発

Development of DIAL system for measurement of Atmospheric Hg

森 秀人\*1、名雪 琢弥\*2、曹 念文\*2、福地 哲生\*2

藤井 隆\*2、根本 孝七\*2、竹内 延夫\*3

Hideto Mori\*1, Takuya Nayuki\*2, Nianwen Cao\*2, Tetsuo Fukuchi\*2,

Takashi Fujii\*2, Koshichi Nemoto\*2, Nobuo Takeuchi\*3

\*1 東京工業大学 \*2 電力中央研究所 \*3 千葉大学

\*1 Tokyo Institute of Technology

\*2 Central Research Institute of Electric Power Industry\*3 Chiba University

A differential absorption lidar (DIAL) system for measuring vertical concentration profiles of atmospheric Hg was developed. The laser transmitter consists of a Nd:YAG pumped dye laser with LDS765 dye and a sum frequency generation (SFG) system using a pair of KDP crystals. The transmitter can emit laser pulses of wavelength 253.64 nm and 253.66 nm on alternate pulses, which are used as the “off” and “on” wavelengths in measurement of atmospheric Hg. Using the DIAL system with SFG, Hg concentration profiles of about 0-0.5 ppt were measured for vertical range 400-600 m.

## 1. まえがき

水銀は生体に対する毒性が非常に高く、また食物連鎖の過程において濃縮されてゆく特性を持っているため、環境中の水銀濃度を把握することは非常に重要である。大気中水銀濃度の高精度計測法の一つとして差分吸収ライダー (Differential Absorption Lidar: DIAL)がある<sup>(1)</sup>。我々は長時間連続計測を目的とし、寿命の長い LDS765色素の第3高調波を光源とする水銀計測用 DIAL システムを開発した。

## 2. 実験装置および実験方法

レーザーライダーは送信系と受信系から構成されている。送信系は、Nd:YAG レーザーの第2高調波を励起光源として用い、LDS765 色素レーザーと第3高調波発生器から成る。この色素レーザーは、チューニングミラーを2枚使用することにより2波長交互発振が可能である<sup>(2)</sup>。第3高調波発生器は2個の KDP 結晶で構成され Fig.1 に示す配置となっている。Fig.1 の上流側の結晶では色素レーザーの第2高調波を発生させ、下流側の結晶では上流側の結晶で発生させた第2高調波と変換されなかった基本波から水銀計測に必要な 253.64nm および 253.66nm の第3高調波を発生する。一方受信系では、直径 50cm のニュー

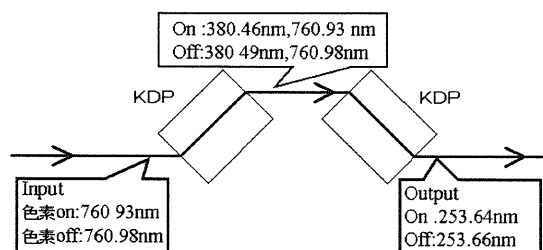


Fig.1 Crystal arrangement

トン型望遠鏡により後方散乱光を集光し太陽などの背景光による影響を減らすために、中心波長 261.76nm、半値全巾 33.58nm の干渉フィルタを通過させた後、光電子増倍管(PMT)で受光信号を得る。PMT からの電気信号はサンプリングレート 20MHz、分解能 12 ビットにて A/D 変換し、コンピュータで記録する。また、今回は低高度における水銀濃度を計測するために、ニュートン型望遠鏡の副鏡上部に小型のミラーを設置し、そのミラーを利用して上空にレーザーを射出する同軸型配置にて実験を行った。

## 3. 計測結果

(財)電力中央研究所狛江研究所(東京都狛江市, 35°38'N, 139°35'E)にて 2001 年 7 月 28 日 1 時に得られた距離補正信号  $P(R) \times R^2$  を Fig.2 に示す。この結果は 10Hz 動作のレーザーを 10 分間(各波長につき 3000 ショット)積

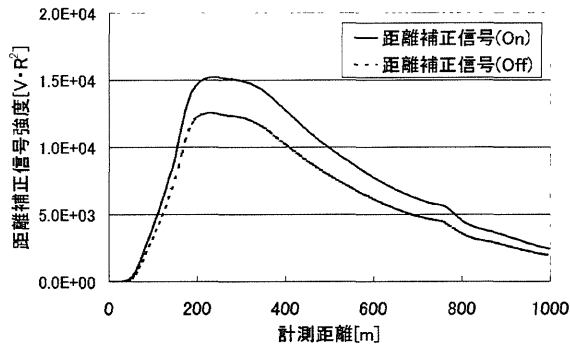


Fig.2 Range corrected signal

算した結果である。レーザーレーダーにおいて照射レーザーから距離  $R$  と  $R+\Delta R$  との間の後方散乱による受光信号  $P(R)$  は以下の方程式により与えられる。

$$P(R) = E_0 \eta A \frac{\Delta R}{R^2} \beta \times \exp \left[ -2 \int_0^R \alpha dR \right] \quad (1)$$

(1)式から、大気による散乱や吸収の影響は  $\beta$  および  $\exp[]$  の項で効くため、これらを考慮に入れると、高度 400m 付近よりレーザー光は望遠鏡視野に完全に入っていると考えられる。

水銀濃度の DIAL 計測結果および、同一のレーザー波長を用いて計測した Null 分布を Fig.3 に示す。水銀の濃度を求めるための差分吸収断面積は  $3.3 \times 10^{-18}$  とし<sup>(1)</sup>背景光を差し引いた値から計算した。Null 分布は原理的に 0 になるはずだが、実際は装置に起因する誤差等によってずれが生じる。今回の計測結果では Fig.3 に示すように、Null 分布には計測距離 400-600m において平均で 0.03ppt に相当するずれがあることから、計測装置に起因する誤差も同程度と考えられる。また、計測距

離 600m 以遠における誤差の増大はレーザー受光信号の減少に起因する。これらのことから高度 400-600m において 0-0.5ppt 程度の水銀濃度が計測されたことが分かる。この時刻における地上の水銀濃度が 0.5ppt であったことから、計測結果は妥当なものと考えられる。

#### 4. むすび

LDS765 色素レーザーと第3高調発生器を用いた水銀計測用 DIAL システムを開発し、大気中における水銀濃度の高度分布を計測した。計測結果から、高度 400-600m において 0-0.5ppt 程度の水銀濃度が得られた。今回、水銀濃度を求めるための差分吸収断面積および水銀計測に使用したレーザーの on 波長と off 波長は文献(1)の値を利用した。今後は水銀セルなどを利用し、我々のレーザー装置を用いた実際の吸収断面積を評価する。

#### 謝辞

地上の水銀濃度を提供して頂いた電力中央研究所の丸本幸治氏に感謝致します。

#### 参考文献

- (1) H. Edner, G. W. Faris, A. Sunesson and S. Svanberg, "Atmospheric atomic mercury monitoring using differential absorptin lidar techniques", Appl. Opt. 28, 921-930 (1989).
- (2) 福地、藤井、後藤、根本、竹内 電論誌 C 120, 1265-1271 (2000).

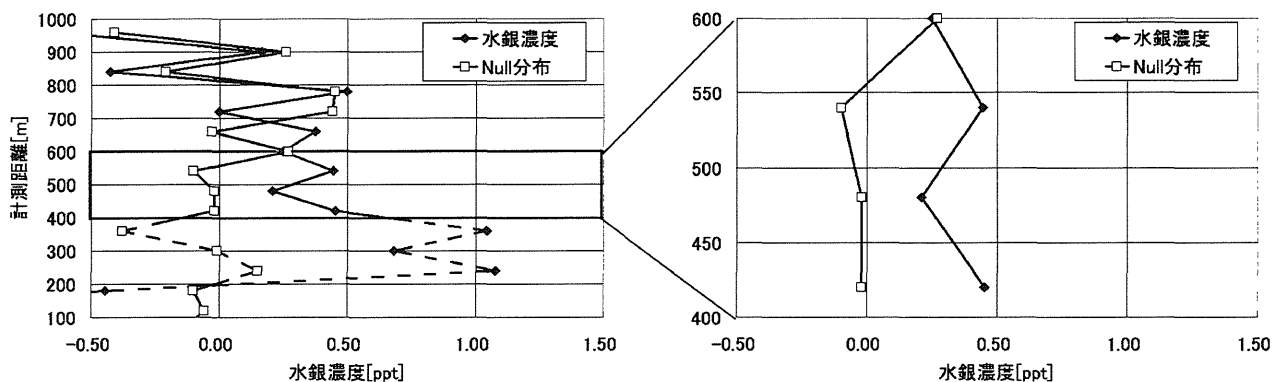


Fig.3 Hg profile measured by DIAL system