

# ガス漏洩検知のための赤外メタン可視化装置

## Infrared Imaging of Methane for Gas Leak Detection

田村雅之, T. J. カルプ\*, T. A. ライカート†\*, R. P. バンバ\*, K. コサーリ\*\*  
Masayuki Tamura, Thomas J. Kulp\*, Thomas A. Reichardt\*, Ray P. Bambha\*, Kiran. Kothari\*\*  
(社)日本ガス協会, \*サンディア国立研究所, \*\*ガステクノロジーインスティテュート  
The Japan Gas Association, \*Sandia National Laboratory (USA), \*\*Gas Technology Institute (USA)

### Abstract

In this paper, we describe a compact active imaging system that allows real-time video visualization of methane plumes. The development of this instrument is motivated by the need for technology to allow the rapid identification and localization of natural gas leaks by the gas industry. In order to achieve a compact form and to minimize complexity of the laser the device operates in a line-scanned format using a pulsed optical parametric generator (OPG) as its lightsource.

### 1. はじめに

都市ガス供給の保安向上のために、より迅速なガス漏洩の発見および漏洩箇所の特定が望まれる。近年、メタン(天然ガスの主成分)を遠隔より検知する装置が実用化された<sup>(1)</sup>。この装置は半導体レーザーの発振波長を 1.6 $\mu\text{m}$  のメタン吸収帯に合わせて吸収を計測するものである。この装置は良好に働くが、レーザーの出射は直線的であり、単一のラインオブサイト上の検知のみを可能とするものである。より効率的な手法である可視化が可能となれば、2 次元的に漏洩箇所を直ちに発見する手法を提供できることになる。ここでは約 5m の距離から 10ppm-m 程度の感度でメタンを検知可能な携帯型メタン可視化装置の試作について紹介する。画像化のためには高速な検知が必要であるため、本研究で製作した装置は 1.6 $\mu\text{m}$  よりも吸収強度の強い 3.3 $\mu\text{m}$  の小型光源を搭載するものである。

### 2. 装置概要

光源はパルス駆動の OPG を採用した。小型パッシブ Q-スイッチ YAG レーザーによる 1064nm 光によって励起される PPLN 結晶を使用、同時に DFB レーザー(波長 1.577 $\mu\text{m}$ )からのシード光を入射し、発生する中赤外光の狭帯域化と波長の調整を行う。シングルパスの OPG によって 1577.3 nm のシグナル光と 3270.4 nm のアイドラ光を生成する。メタンの検知に使用するのはアイドラ光である。OPG の出力線幅は 0.05  $\text{cm}^{-1}$  であり、約 80 $\mu\text{J}$ (2.5 ns パルス長)で励起すると、約 5 $\mu\text{J}/\text{pulse}$  のアイドラ光出力を発生する。これはアイドラ光への変換効率が 7%であることに相当する。

本装置の特徴は、画像の生成法にもある。過去のガス可視化装置は、ラスタースキャンカメラと連動させた cw レーザー<sup>(2)-(4)</sup>または 2 次元焦点面アレイ(FPA)と連動させたパルスレーザー<sup>(5)</sup>を採用していた。後者の装置は、差分イメージングを実証するために使用されたものであるが<sup>(6)</sup>、共鳴波長と非共鳴波長の照射間隔が比較的長いいため、その間の視野ずれに対してセンシティブとなることがわかった。これに対し、本装置は「パルスラインスキャン法」を採用した(Fig. 1)。レーザー出力光をシリンドリカルレンズによって水平方向のみに拡げターゲットエリア上の一つの直線を照射する。この直線領域は 100 $\mu\text{s}$  間隔で放射される共鳴・非共鳴波長の光によって照射される。それぞれの散乱信号を InSb 一次元アレイ検知器で受光する。このパルスペアの放射を 550 $\mu\text{s}$  の間隔で繰り返し、その一回ごとにガルバノスキャンミラーでレーザーの照射領域および検知視野を垂直方向に動かしてゆく。アレイからのラインデータはシングルボードコンピュータで差分画像へと処理される。画像は 180(H) $\times$ 256(W)画素であり、毎秒 10 コマの動画を生成可能である。差分処理によってメタンの画像のみが強調され、高感度の検知が可能となる。このとき背景は消えることになるが、感度を犠牲にすれば差分処理しない一波長方式によっても使用可能である。

装置は Fig. 2 に示すようなものであり、手に保持するカメラ部と背中に背負うバックパック部とからなる。主としてカメラ部は光学系、バックパック部は電子回路系の要素が収納されている。

### 3. 試験結果

Fig. 3~6 に本装置で撮影したガス漏洩の様態を示す。13A と呼ばれる都市ガス(メタン 90%)の場合、毎分 10 cc の微小漏れまで検知可能であった。その他、実際の漏洩現場に近い状況を再現したガス会社の訓練施設において試験を行ったところ、ドアの反対側や壁と床の隙間、床下点検口の蓋の隙間などからの漏洩を容易に検知でき、装置の有効性が確認された。

### 4. まとめ

3.3 $\mu\text{m}$  の小型光源を搭載するメタン可視化装置を試作し、約 5m の距離から 10ppm-m 程度の感度でメタンを検知可能で

あることを実証した。ガス漏洩を再現した訓練施設での試験により、その性能は良好であることを確認した。現時点では装置価格が実用化への課題である。各要素のコストダウンができれば実用化が可能となると考えられる。

### 参考文献

- (1) T. Iseki, H. Tai and K. Kimura, "A Portable Remote Methane Sensor using a Tunable Diode Laser," Meas. Sci. Technol. **11** 594-602 (2000)
- (2) T.G. McRae and T.J. Kulp, "Backscatter Absorption Gas Imaging - A New Technique for Gas Visualization," Appl. Opt. **32** 4037-4050 (1993).
- (3) T.J. Kulp, R. Kennedy, M. Delong, D. Garvis, and J. Stahovec, "The Development and Testing of a Backscatter Absorption Gas Imaging System Capable of Imaging at a Range of 300 m", Proceedings of SPIE, Applied Laser Radar Technology, (Society of Photo-Optical Instrumental Engineers, Bellingham, WA, 1993) Orlando, FL, pp. 204-213.
- (4) U.B. Goers, T.J. Kulp, P.E. Powers, and T.G. McRae, "A PPLN OPO based backscatter absorption gas imaging (BAGI) system and its application to the visualization of fugitive gas emissions", SPIE Proceedings, 3758, 172-180 (1999).
- (5) T.J. Kulp, P. Powers, R. Kennedy, and U.B. Goers, "Development of a pulsed backscatter-absorption gas-imaging system and its application to the visualization of natural gas leaks", Appl. Opt. **37** 3912- 3922 (1998).
- (6) P.E. Powers, T.J. Kulp, and R. Kennedy, "Demonstration of differential backscatter absorption gas imaging", Appl. Opt. **39** 1440-1448 (2000).

### 謝辞

本研究は経済産業省プロジェクト「ガス導管漏洩対策技術開発」の一環として行われ、福井大学小林喬郎教授、千葉大学久世宏明助教授、国立環境研杉本伸夫博士のご指導をいただきました。

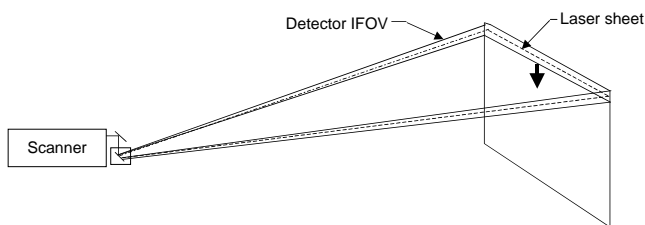


Fig. 1 Pulsed line scan method.

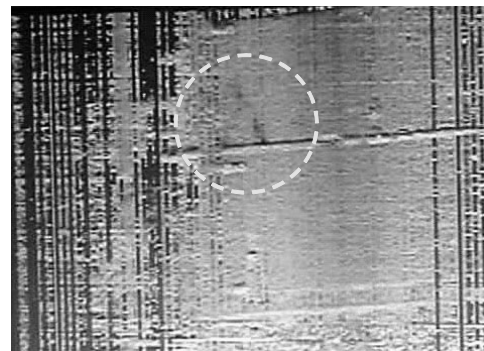


Fig. 4 Visualization of leak at connector (14 cc/min, from range of 6 m).



Fig. 2 Appearance of the system.

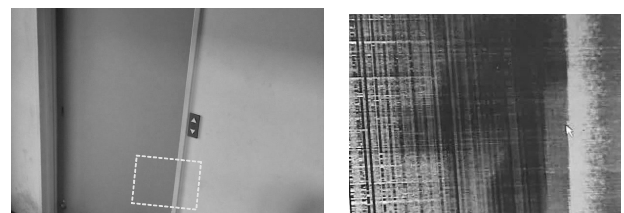


Fig. 5 Visualization of leak from the door gap.

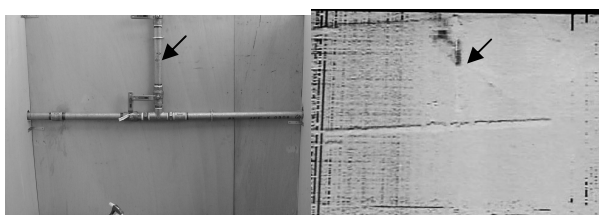


Fig. 3 Visualization of pinhole leak (160 cc/min).

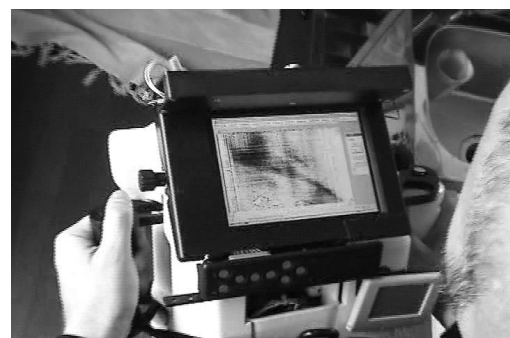


Fig. 6 Visualization of leak from under the carpet.