

〈研究発表〉

上下水・産業プラントにおける臭気の計測

隅 倉 みさき¹⁾, 三 宮 豊²⁾, 横 井 浩 人³⁾, 高 武 直 弘⁴⁾

¹⁾ (株)日立製作所 研究開発グループ
(〒319-1292 日立市大みか町7-1-1 E-mail: misaki.sumikura.mf@hitachi.com)

²⁾ (株)日立製作所 研究開発グループ
(〒319-1292 日立市大みか町7-1-1 E-mail: yutaka.sangu.nf@hitachi.com)

³⁾ (株)日立製作所 環境ビジネスユニット 水事業部
(〒101-0021 東京都千代田区外神田1-5-1 E-mail: hiroto.yokoi.vb@hitachi.com)

⁴⁾ (株)日立製作所 研究開発グループ
(〒185-8601 東京都国分寺市東恋ヶ窪1-280 E-mail: naohiro.kohmu.vw@hitachi.com)

概 要

プラント運転・維持管理の現場では、異常/状態変化を検知するために種々の検知器に加え作業員の五感が活用されている。本研究では、点検者が定期的に現場で確認している臭気を常時監視して状態変化を検知し、機器/設備の運転管理へ活用するシステムの開発を検討している。本発表では小型臭気センサを用いて、上下水プラントにおける臭気を検知を試みた結果について報告する。

キーワード：臭気, 異常検知, 状態監視

原稿受付 2022.6.30

EICA: 27(2・3) 65-67

1. はじめに

プラント内の設備や機械の異常を早期に検知し、操業への影響を回避あるいは抑制することは、プラントの運転・維持管理において重要である。従来、現場の異常検知は点検する運転員の五感に依っていたが、近年は各種センサを用いた遠隔での連続監視が導入されている。五感のうち視覚・聴覚・触覚には、光・音・圧力/熱といった物理量を計測するセンサが対応している。それに対して、嗅覚と味覚は、嗅/味細胞上の分子の受容といった化学量の計測であることや、対象物質の種類の高さと濃度の低さといった課題があり開発が遅れてきたが、近年、様々な計測方式によるセンサの実用化が進められている^{1,2)}。本研究では、上下水や各種産業プラントにおける異常検知を目的として、臭気センサを用いた臭気の連続監視を検討した。

2. 臭気の計測

2.1 臭気センサ

におい/臭気を感じる嗅細胞は受容体が400種類程度あるとされ、物質により検知閾値や濃度に対する臭気として感じる強度が異なる。また、においの原因となる物質は数十万種あるとされ、味覚の5原味に相当する原臭はまだ定義されていない。さらに、複数のにおい物質間の相互作用があり、成分分析の単純な足し合わせでは嗅覚での感じ方を再現することは難しい。

このため、検知する物質が異なる複数の臭気センサによる出力を、統計的な手法で解析する計測システムが開発されている²⁾。計測データの解析手法には、主成分分析やサポートベクトルマシンといった機械学習が多く用いられている³⁾。

臭気センサには様々な方式があり、電気的/電気化学的/熱的/光学的/重量的などに分類される。なかでも、酸化物/有機半導体式と、感応膜を組み合わせた水晶振動子式は実用化が進んでいる。半導体式は長寿命で無機ガスの検知可能、水晶振動子式は出力特性が人の嗅覚に近い、といった特長がある。いずれも識別機能を有する計測システムも開発されており、様々な分野で利用されている¹⁻³⁾。

2.2 臭気センサの選択

臭気のセンサや計測システムの機能・特性には、i) 臭気の強度の計測、ii) 臭気の変化/相違の検知、iii) 臭気の種類識別、iv) 人の嗅覚との対応、などがある。臭気を計測する目的に応じて、求められる機能・特性をもつセンサやシステムが選択される。例えば、悪臭の計測、異常検知、製造プロセスの監視や品質管理に対しては、それぞれi), ii), iii) とiv) の機能・特性が有用と考えられる。

プラントの管理において、臭気が発生/変化する異常な事象としては、各設備での原材料/薬品/廃液などの漏洩、回転機器/電気設備などの焼付き、換気/脱臭装置の不具合などがあげられる。適用する臭気セ

ンサには、これらの事象にともなう臭気の変化を検知する機能が求められる。

2.3 光音響分光方式

本研究では、プラント内での異常検知に向け、現場の臭気を連続計測して変化を検知することを目的に、光音響分光方式による臭気センサの適用を検討している。光音響分光方式は、対象の物質が光エネルギーを吸収した際に放出される熱を、熱膨張によって生じた圧力変化（音響波）として検出する手法である⁴⁾。におい分子の構造および濃度によって吸収する光の波長や量が異なり、発生する音響波の強度やパターンが変化する。**Fig. 1**にこの手法を用いた光音響センサによる臭気計測の概念図を示す。光音響センサでは、音響セルと呼ばれる容器内で測定対象のガスに光を照射し、発生した音響波をマイクロフォンにより検出する。小型、非接触／非破壊、省メンテナンス、といった特長があり、ガスセンサなどに応用が進められている。

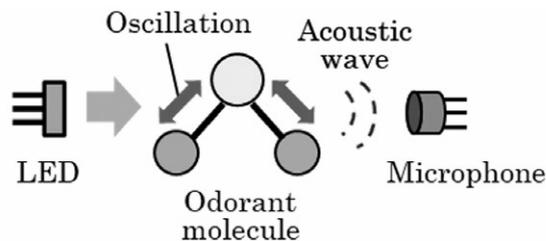


Fig. 1 Measurement principle of photoacoustic gas sensor

3. 実験方法

3.1 光音響センサ

実験に使用した光音響センサの音響セルは、設置場所での雰囲気ガスの臭気計測を想定して、セル内外に空気を流通する孔を有する開放型とした。開放型は密閉型に比べ微弱な音響信号の検知感度が低いため、共振信号を増加させる効果を有する Helmholtz 型共振セルを用いた。**Fig. 2**および**Fig. 3**に、音響セルの全体図および断面の概念図を示す。空気の流通孔の形状を円錐台型とすることで生じる共振効果により、小孔と同孔径の円柱型孔の場合に比べ約 18 倍 (240 Hz の場合) の共振信号強度が得られている⁵⁾。この共振効果で得られた音響信号を、低ノイズ (増幅回路の雑音密度 ~ 数 $[\ln V/\sqrt{\text{Hz}}]$) かつ高ゲイン (>1000 倍) な増幅回路で増幅することで、1 ppm 以下の低濃度ガスの臭気検出が期待できる。

3.2 試料ガスの採取・計測

下水処理場の沈砂池建屋内空気をエアポンプを用いてガスバッグ (PET 製, 30 L) に採取した。この採

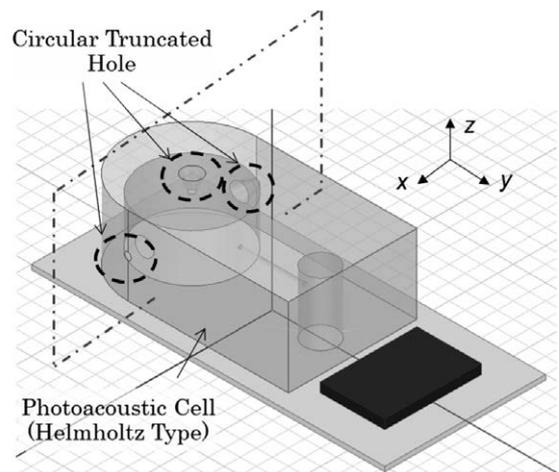


Fig. 2 Photoacoustic cell (overall)

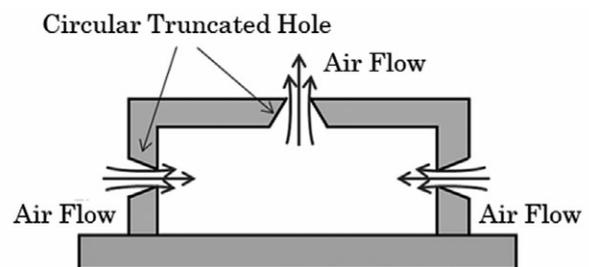


Fig. 3 Photoacoustic cell (cross-sectional view)

取した試料ガスと光音響センサを計測用の容器 (アクリル製) に封入し、波長 3000 ~ 4000 nm の LED 光に対する光音響信号を計測した。

4. 結果と考察

ガスクロマトグラフによる成分分析の結果、下水処理場の試料ガスにはメチルメルカプタン、硫化水素、二硫化メチル等が含まれていた。**Fig. 4**に (a) 下水処理場の試料ガスと (b) 実験室の屋外空気 (無臭)

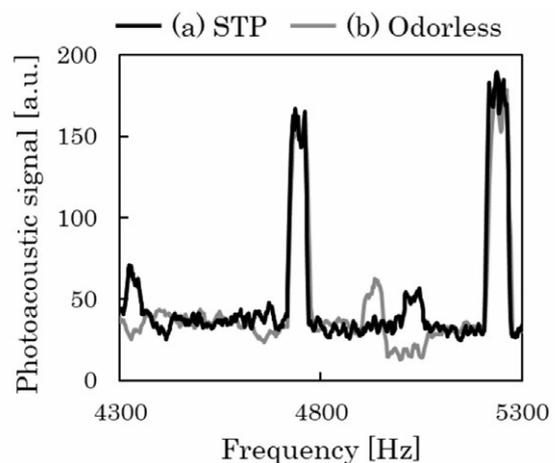


Fig. 4 Photoacoustic signals for air at STP (sewage treatment plant)

についての、計測音波の周波数に対するセンサの音響信号出力を示す。周波数 4300 ~ 4400 Hz, 4600 ~ 4700 Hz, および 5000 ~ 5100 Hz 付近で (a) と (b) の音響信号出力に有意な差が確認され、光音響センサにより下水処理場内での臭気の変化を検知できる可能性が示唆された。本センサは開発途上であり、今後、上下水や産業プラントの各設備・機器において発生が想定される臭気成分の検知感度や判別などについて、検討を進める予定である。

5. 結 言

プラントにおける異常検知に対して、現場の臭気を連続監視する臭気センサの適用を検討した。開発中の臭気センサで、実際の下水処理場の建屋内空気と無臭空気との差を検知可能であることを確認した。

参 考 文 献

- 1) 南戸秀仁：においセンサーシステムの開発現状および応用分野、におい・かおり環境学会誌, Vol.37, No.3, pp.154-163 (2006)
- 2) (一社)日本電気計測器工業会 HP, <https://www.jemima.or.jp/tech/4-02-04.html>
- 3) Junichi Kita and Kiyoshi Toko, Fragrance and Flavor Analyzer Using Odor Deviation Map, Sensors and Materials, Vol. 26, No. 3, pp.149-161 (2014)
- 4) 沢田嗣郎：光音響分光法とその応用-PAS, 日本分光学会測定法シリーズ1, (1982)
- 5) Naohiro Kohmu, Yoh Miyamoto, Kunihito Kawamura, Makoto Ito, and Yoshiaki Baba: A compact photoacoustic gas sensor utilizing resonant cell with frustum hole for indoor air quality control, Photonics West SPIE OPTO, Proceedings, Vol.11693 (2021)