

〈研究発表〉

水質監視システムに使用するセンサの実証検証

曽根 啓一¹⁾、田中 良春²⁾、安部 健³⁾

1) 東京都下水道サービス(株) (〒100-8699 東京都千代田区大手町2-6-2、E-mail:keiichi-sone@tgs-sw.co.jp)

2) メタウォーター(株) (〒191-8502 東京都日野市富士町1番地、E-mail:tanaka-yoshiharu@metawater.co.jp)

3) 東京ガスエンジニアリング(株) (〒144-8721 東京都大田区蒲田5-37-1、E-mail:abe@tge.co.jp)

概要

災害や事故等により漏洩した危険物等が、下水道施設に流入する水質事故が発生している。水質事故の再発防止策を立てることはもちろんであるが、何よりも優先されるのは下水道施設に流入した危険物等による人的被害を防ぎ、下水処理能力への影響を最小限に抑えることである。そのためには、水質事故の発生を早期に検知する水質監視システムの開発が望まれる。本研究は、下水道施設に流入してくる有害物質や揮発性可燃物質を連続的に測定・監視するセンサを実フィールドに設置し、下水環境下で実証検証を行ったものである。

キーワード: 水質監視、センサ、有害物質、揮発性可燃物質

1. はじめに

近年、災害や事故などにより保管容器から漏洩した有害物質や可燃物が下水道施設に流入する水質事故が発生している。

このような突発的な水質事故に対しては、人的被害を防ぐことはもちろんのこと、下水道施設や下水処理能力への影響を最小限に抑えることが必要であり、そのためには水質事故の発生を早期に検知する水質監視システムの開発が望まれている。

東京都下水道事業の「経営計画 2007」の主要施策である危機管理対応の強化では、下水道機能の確保として下水処理に有害な物質を自動検知する水質監視モニタ(有害物質検知システムなど)の設置などのバックアップ機能の充実を図ることとしている。

本研究は、下水ポンプ所や水再生センターへ流入する下水に混入した①有害物質や②揮発性可燃物質を連続的に検知・監視するセンサをポンプ所に設置し、下水環境下で実証検証を行った。その結果を報告する。

2. 技術内容

2.1 有害物質検知システム

有害物質検知システムを Fig.1 に示す。このシステムは下水ポンプ所の沈砂池から下水を採水する水中ポンプ、適量の

下水を流すために流量を調整する調整槽、100 μ m以上の固形物を取除くスクリーン、0.4 μ m以上の固形物を取除くMF膜除濁装置、バイオセンサにより下水中の有害物質(主にシアンなど)を検知する毒物モニタから構成される。採取した下水試料は各装置を通過し約13分で毒物センサに到達する。

次に、バイオセンサの有害物質検出原理を Fig.2 に示す。バイオセンサは、有害物質により呼吸阻害を受けやすい硝化細菌の特性を利用したものである。下水中に細菌の呼吸を阻害する物質(生物毒性を示すシアンなど)が含まれると酸素消費が低下する。この酸素消費の低下割合を測定することにより有害物質の存在及び毒性の程度を推定する。

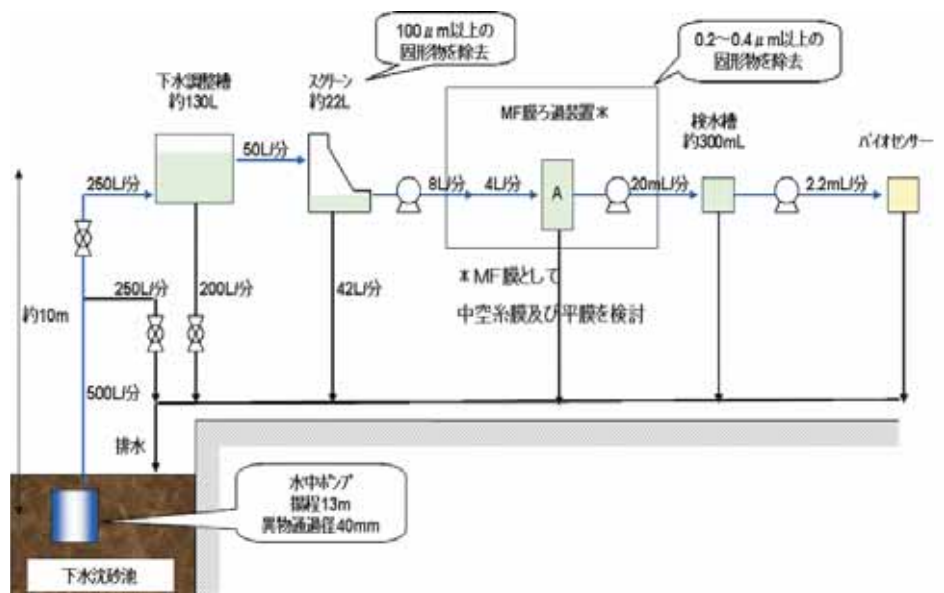


Fig.1 Schematic diagram of toxicants detection system

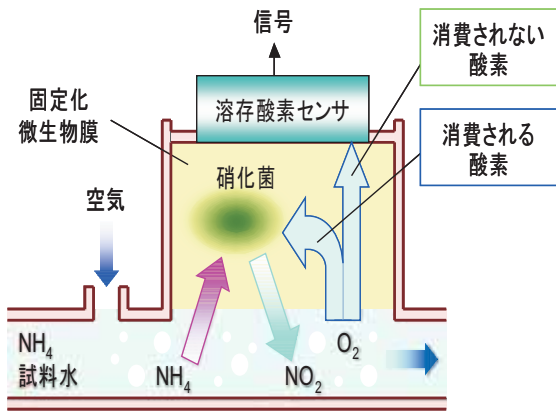


Fig.2 Principle of toxicants detection in biosensor

2.2 揮発性可燃物質検知システム

揮発性可燃物質検知システムを Fig.3 に示す。このシステムは、沈砂池水面上部に滞留するガス（ガソリンなどの揮発性可燃物質は空気より比重が大きい）を池の水位変動に応じて安定的に採取するガス採取装置と採取したガス中のVOC（揮発性有機化合物）を検知する光式ガスセンサから構成される。採取したガスは、ガス採取装置を通過し約2分で検知部に到達する。

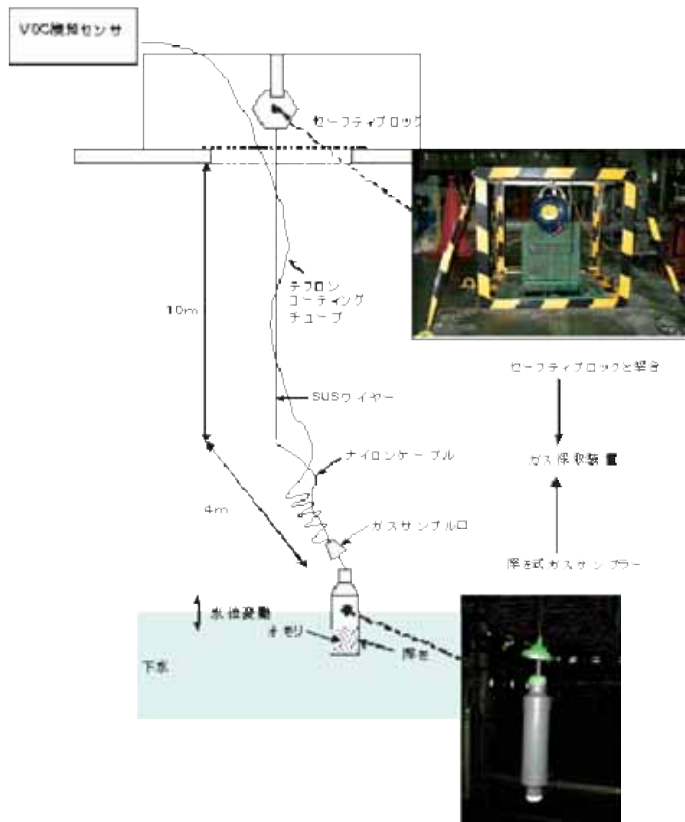


Fig.3 Schematic diagram of volatile flammable Detection system

光式ガスセンサの測定原理を Fig.4 に示す。光式ガスセンサは、レーザー光を高分子薄膜を貼付したセンサチップに照射し、その反射光を検出する検知器から構成されている。

採取ガス中のVOC成分が高分子薄膜に吸収されると高分子膜の厚さが変化する。その膜厚変化に応じた反射光強度の変化を光検知器で検出し、VOC濃度をトルエン換算で計測する。このセンサは、エアークリーンと計測を繰り返すため、汚染による劣化が少なく耐久性に優れている。

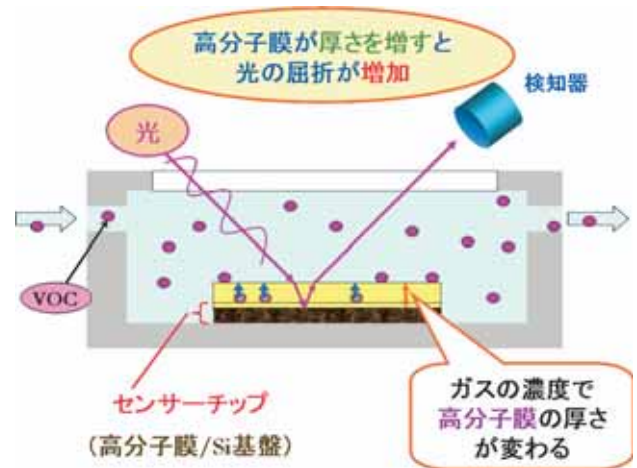


Fig.4 Principle of volatile flammable detection in photometric gas sensor

このシステムでは、常に下水表面に近いところからガスを採取することから、飛沫等によってサンプリングロが目詰まりを起こすことが予想された。そこで、Fig.5 に示す逆フラッシング装置を設置し、定期的に圧縮した空気を逆流させて常に検出部内が清浄に保たれるようにした。

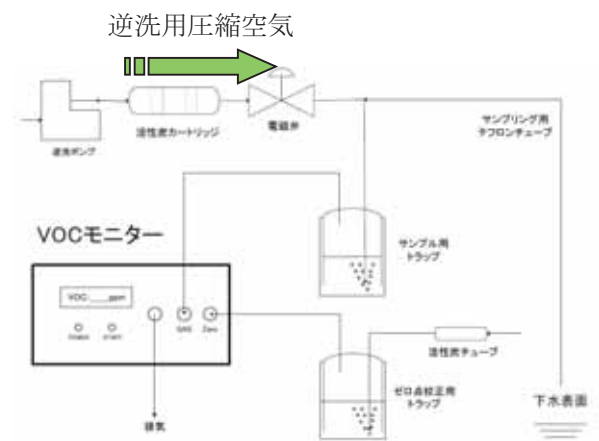


Fig.5 Backwash system for photometric gas sensor

3. 調査結果と考察

3.1 有害物質検知システムの調査結果

(1) バイオセンサの有害物質への応答

Fig.6 に流入水中のシアン濃度が 0.05mg/L 検出したときのバイオセンサの応答を示した。

バイオセンサはシアンに敏感に反応して急激に酸素消費率が低下し、純水でセンサを洗浄しても流入シアンの影響を受け、酸素消費率の十分な回復が得られていない状態を示している。

次に流入水中に重金属類が検出したときのバイオセンサの応答を Fig.7 に示した。このとき同時採取した下水から亜鉛 2.4mg/L、銅 1.5 mg/L、クロム 0.94 mg/L が検出された。また、シアンは検出されなかったものである。

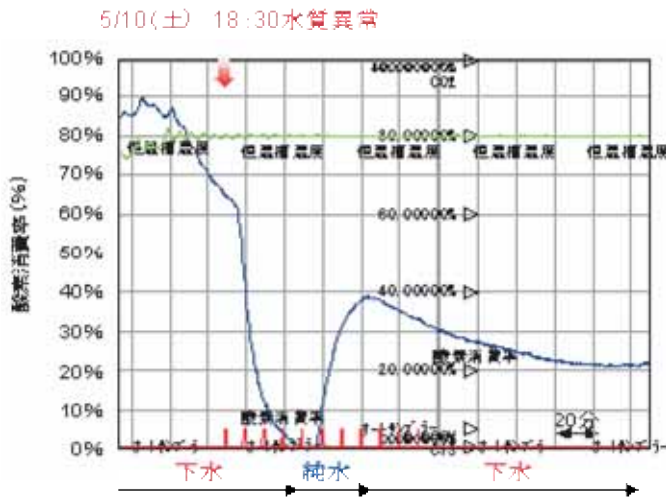


Fig.6 Response for cyanide in biosensor

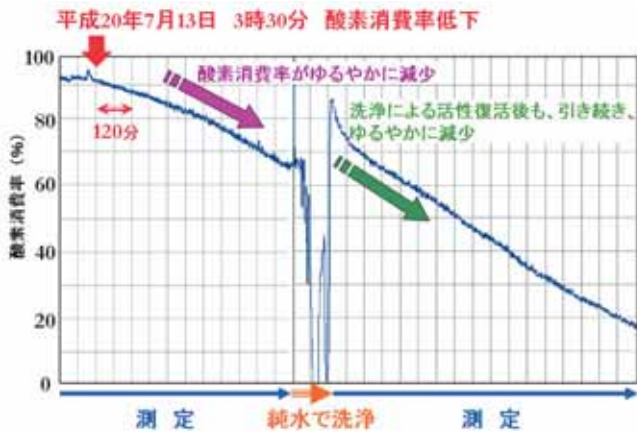


Fig.7 Response for heavy metals in biosensor

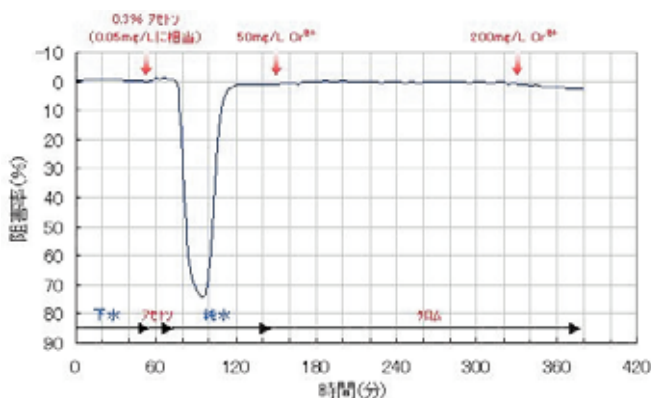


Fig.8 Response for hexavalent chromium in biosensor

これを見ると酸素消費率はシアンに比べてゆるやかに減少しており、有害物質の種類によるバイオセンサの感受性の違いが出現しているものと推察された。

さらに、重金属類のうち、六価クロムに対するバイオセンサの感受性を確認するため、下水に六価クロムを 0.05 mg/L、50 mg/L、200 mg/L 添加してその応答を調査した。その結果を Fig.8 に示す。

これから、六価クロムに対する本バイオセンサの応答は、200 mg/L 添加で酸素消費率の低減は 3% 程度であり、その感受性が小さいことが分かった。

(2) バイオセンサ感度の経日変化

バイオセンサは生きた硝化細菌の呼吸活性を連続でみているので、センサの持続時間の調査を行った。

調査は模擬毒物として 0.3% (V/V) のアセトンを用い、経過日数による呼吸阻害率の変化をチェックした。アセトン 0.3% (V/V) は 0.05mg/L シアンに相当する。Fig.9 にこの結果を示す。

これから、バイオセンサは連続運転で 54 日を経過しても、70% 程度の呼吸阻害率を保持しており、2ヶ月程度の連続運転が可能であることが実証された。

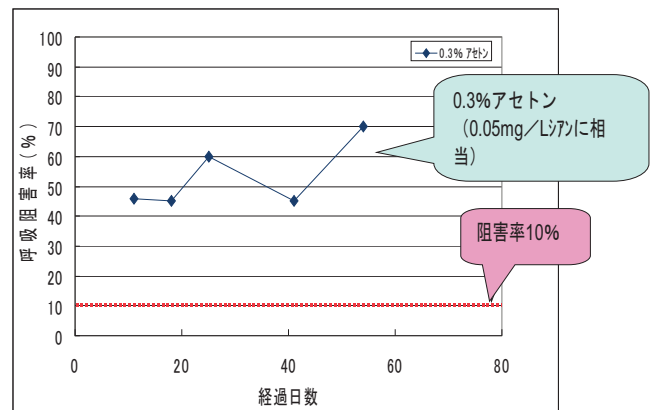


Fig.9 Respiration inhibition of nitrifying bacteria using acetone

3.2 揮発性可燃物質検知システムの調査結果

可燃性ガスセンサについては様々な測定方式のものがその用途に応じて使用されているが、下水道管渠やポンプ所沈砂池のように厳しい条件下で安定した測定が可能なものとして、光式ガスセンサを用いた揮発性可燃物質検知システムの適用性を調査した。

光式ガスセンサは、極めて薄い高分子膜が VOC 成分を吸収して、そのわずかな膜厚さの変化を光干渉で検出するので、低濃度の VOC でも精度良く検出することができる。

Fig.10 にポンプ所で検出した事例を示す。トルエン換算した揮発性可燃物質が 50 p p m 以下の感度で検出している。

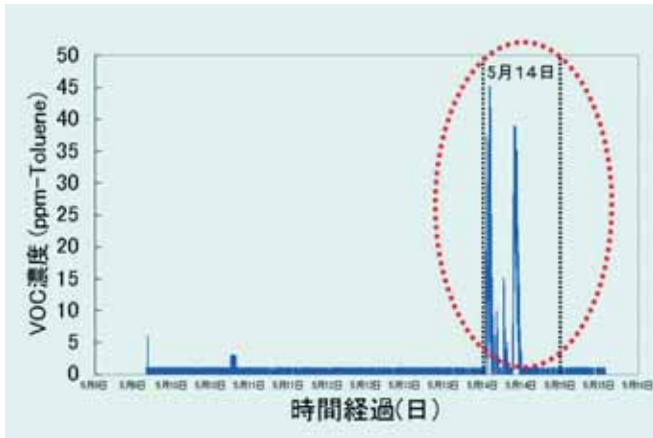


Fig.10 Validation for flammable substance of gas sensor

(1) 可燃性ガスの爆発下限値(LEL)とセンサ感度

光式ガスセンサはトルエンに対し感度がよく、本センサでトルエン 50 ppm はガソリンで 20 ppm に相当することを確認している。

気相中のガソリンとトルエンの爆発下限値(LEL)は、それぞれ 1.4vol% (14,000ppm)、1.27vol% (12,700ppm) と言われており、この光式ガスセンサで計測できる 20 ppm のガソリン濃度は 0.14% LEL に相当し、高感度性能を有している。

これは、ガソリン等の可燃性物質が下水に流入してきた場合にそのわずかな兆候でも捕捉できることを示している。

(2) センサ感度の持続性

今回の調査でセンサ感度の持続性を検証するため、連続測定を行いながら、定期的にトルエン 50 ppm の校正ガスを打ち込みセンサ出力を記録した。その結果を Fig.11 に示す。

これから、本センサは、流入下水の連続測定環境下で 250 日以上にわたって十分な感度を持続することを確認した。

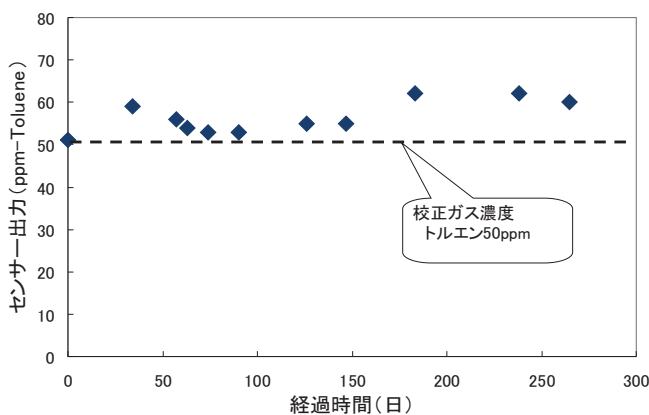


Fig.11 Sensitivity duration of photometric gas sensor

4. まとめ

有害物質検知システムでは、アセトンを模擬毒物とした毒物感度試験により、シアン 0.05mg/L 相当を検知する感度を保持(約 50 日間以上)していることを確認した。さらに、バイオセンサの試薬補充などの保守頻度から 1 ヶ月以上の連続測定と無保守を確認した。

揮発性可燃物質検知システムでは、ガソリン 20 ppm (LEL 0.14%)、トルエン換算で 50 ppm 相当を検知する感度を有することを確認するとともに、250 日以上連続運転が可能であることを確認した。

[参考文献]

- 1) H. TANAKA et al. :Development of a toxicity monitor using nitrifying bacteria , Proceedings of WEFTEC' 98, Water Environmental Federation, 71, 4, pp. 165-168, (1998)
- 2) 岡安祐司, 田中宏明, 田中良春, 乾貴誌: 硝化菌バイオセンサを用いた下水処理場への化学物質の流入回避について, 環境計測システム計測学会誌, Vol. 9, No. 2, pp. 67-74, (2004)