

バイオセンサーの特徴について

テロ対策・水質事故対策を効果的に進めるにあたっては、テロ・事故の想定を行った上で予防対策と応急対策を行うことが基本とされている。この予防対策の1つに、水質事故等の発生を検知する手法として物理・化学センサーやバイオセンサー等の水質監視機器の設置が挙げられる。取水源の水質特性や過去の事故事例などから浄水場毎に監視が必要なターゲットを選定する必要がある。個別の物質や物性を検知できる物理・化学センサーや、生物の反応を検知するバイオセンサーをどのように用いるかは、費用や効果の面から判断する必要がある。物理・化学センサーは油、シアン、溶存酸素量、アンモニウム態窒素等を直接検知するものや濁度、電気伝導度等の水質異常を検知するものがある。また、バイオセンサーは、水質異常を生物を用いて検知するものであり、原因物質は特定できないものの、生物に対して急性毒性を持つ毒物について連続監視することが可能となる。

つまり、バイオセンサーは危機管理として、水質異常を検知する一次的なチェック機能としての役割を果たすものとして期待される。現在、水道事業者にて活用されている供試生物として微生物、魚類が一般的である。それぞれの特徴について下記に示す。

(1) 微生物を用いたセンサー

微生物を用いたバイオセンサーは、現在複数メーカーで製造・販売されているが、ここでは硝化細菌を用いた事例を示す。

① 測定原理

センサーは、毒性物質に感応する固定化微生物膜と溶存酸素電極により構成されている。これに微生物の餌となるアンモニア性窒素と検水を混合して供給する。アンモニア性窒素があれば、微生物膜内の細菌の呼吸により水中の溶存酸素が消費される。しかし、水中に毒性物質が存在すると、細菌の呼吸活性が低下し、溶存酸素の消費量が低下することで溶存酸素電極からの出力が増加する。この溶存酸素電極の出力変化から毒性物質の有無を検知する。

② 検出感度

主にヒトへの慢性影響をもとに定められている水道水質基準の濃度レベルは検知できないが、急性毒性レベルであれば、比較的短時間での暴露によっても検出可能である。物質により感度に差はあるものの、魚類を用いたバイオセンサーよりも比較的高感度で検出できる。

③ 維持管理

十分な精度を保つには、1ヶ月に1回の液の調整、補充、微生物膜やフローセル、エアフィルター等の交換、3ヶ月に1回のエアポンプの交換、1年に1回の溶存酸素電極、中空糸膜フィルターの交換、受送ポンプのチェック等の維持管理が必要となる。

(2) 魚類を用いたセンサー

水質事故の発見においては、河川における魚の斃死から発見されることが多く、供試生物

として従来から魚類を対象とした研究・開発が行われてきている。検出方法としては、概ね次のタイプに分類される。

① 個体位置分布等の変化を検知

監視水槽を側面からテレビカメラで連続撮影し、供試魚の位置分布を測定する。通常魚類は水槽底部を魚群を作って遊泳するが、毒物混入時に水面付近まで浮上する習性や群れを崩す習性、安全な水域へ逃げる習性などがあるため、画像解析により供試魚の位置分布に変化が生じた場合に異常行動として判断するもの。具体的な指標としては、個体位置分布、魚群重心位置分布、魚群分散度分布、移動速度分布がある。

② 生体電位の測定による検知

供試魚の遊泳や鰓を動かすときの筋肉活動に起因する微弱な電位（活動電位）を電極により連続測定する。毒物混入時には供試魚が狂乱行動を起こして電位が高くなったり、致死して電位が低くなったりする。また、自発電器官を持つ供試魚の放電電位が低くなった場合などを検知する。

③ 職員による監視

職員が直接目視又はテレビカメラを通じて、供試魚の異常行動を確認する方法。機器を用いたセンサーではないことから、監視者は魚類の異常行動の特性を十分理解しておく必要がある。一定時間毎の観察という労力が必要であるが、人件費以外の余分な経費をほとんど要しないことから、導入コスト、維持管理コストは低く抑えることができる。平成29年3月に各水道事業者に対して実施したアンケート調査でも、バイオセンサーを導入している事業者の約半数（給水人口ベース）が採用している方法である。

なお、上記①～③の維持管理としていずれにも共通していることとして、給餌、水槽の清掃、交換魚の飼育・馴化が必要となる。

主なバイオセンサーの特徴（厚生労働省調べ）

	微生物センサー	魚類センサー(位置分布検知法)	魚類センサー(生体電位法)	魚類飼育(職員が監視)
測定原理	微生物の酸素消費量の変化を検知	監視カメラ等による生物の異常行動を検知	生物の筋肉活動に起因する微弱電位を検知	人の目視等による生物の異常行動の確認
供試生物	硝化細菌など	金魚、ヒメダカなど	金魚、タナゴなど	金魚、ヒメダカなど
導入コスト	1,000万円以上	500～1,200万円程度	1,000万円以上	低コスト
維持管理コスト(年間)	100～500万円程度	100～200万円程度	100万円以下	低コスト
応答感度	比較的高い	普通	普通	監視者の注意力による
応答速度	比較的早い	普通	普通	監視体制による
原水ろ過の必要性	必要	濁度が高いと必要	不要	濁度が高いと必要

(3) その他

微生物や魚類を用いたセンサーのほか、甲殻類であるヌマエビの生体電位の測定による検知の事例もある。また、海外では、イガイ（二枚貝）、藻類、発光バクテリアを用いた監視を実施している事例もある。

(参考1) 水源・原水における水質監視の目的

(突発水質汚染の監視対策指針 2002 社団法人日本水道協会 p53)

	日常の水質監視	突発水質汚染の監視
監視目的	<ul style="list-style-type: none"> ○水道水の安全性確保 ○浄水処理の水質情報の提供 ○水源水質の将来動向予測 ○浄水施設の処理性の評価 ○将来水質動向に併せて施設の更新・改良 	<ul style="list-style-type: none"> ○突発水質汚染事故の監視（被害の未然防止） ○浄水施設の防衛 水道水に対する危険性の回避・排除
要因／原因	<ul style="list-style-type: none"> ○季節的な要因に基づく水質変動 <ul style="list-style-type: none"> ・ 四季の気温変化 ・ 降水量による河川流量の変化 ・ 融雪、梅雨、台風等、我が国の気象上の特徴 ○特定施設からの放流水等の影響 ○その他 <ul style="list-style-type: none"> ・ 特定施設での化学物質の使用 ・ 水稲栽培期の農薬散布 ・ 藻類の増殖 ・ 河川工事 ・ ノンポイント汚染 <p>(情報の蓄積により予見される水質変動)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○水環境に被害・影響を及ぼす人為的な行為（不可抗力、故意、過失を問わない） <ul style="list-style-type: none"> ・ 火災 ・ 交通事故 ・ 工場の操作ミス ・ 管理放棄 <p>(予見できない事象／出来事、事故による水質異常)</p>
監視方法	<ul style="list-style-type: none"> ○限られた水質項目の連続監視 (日常の水質変動の把握) ○定期的な水質調査 (水源の汚染物質や汚染濃度の把握) 	<ul style="list-style-type: none"> ○水道事業者（浄水場）で監視の必要なターゲットを選定 ○監視方法は、水道事業者によって様々 (どんな手法でも良い) ・ 理化学的監視方法 ・ <u>生物学的監視方法</u>

(参考2) 自動水質監視の概略

(突発水質汚染の監視対策指針 2002 社団法人日本水道協会 p57)

水源水質監視 (河川水系・湖沼水系・地下水系)	河川管理者・環境部局の水質自動監視装置	現状	水温計、pH計、溶存酸素計、電気伝導度計、濁度計、アンモニア窒素計、化学的酸素要求量計、シアン計、水銀計、窒素計、リン計
		将来	インターネット等による水質測定速報値の情報公開
	水道事業者の水質自動監視装置	現状	pH計、電気伝導度計、魚類・ITV監視カメラ、油分及び油膜計
		将来	水質変動の把握、予測、水質データと汚染源マップの結合
原水水質監視 (河川水系・湖沼水系・地下水系)	原水用監視計器	現状	水温計、濁度計、pH計、電気伝導度計、アルカリ度計、塩素要求量計
		将来	水道事業者間の水質情報のオンライン化
	有害・有毒物質監視計器	現状	<u>魚類監視装置、バイオセンサー</u> 、シアン計、揮発性有機化合物計、油分及び油膜計、フェノール計、界面活性剤計、全有機炭素計、紫外吸光度計、かび臭計、工業用監視カメラ (ITV)
		将来	物質の同定・定量可能な計器 (HPLC、LC-MS、GC、GC-MS、ICP、ICP-MS 等のラボ用計器類) のオンライン化、臭気センサー
浄水工程水質監視及び給・配水監視	浄水工程用監視計器	現状	濁度計、pH計、残留塩素計、トリハロメタン計、かび臭計
		将来	臭気センサー、低濃度濁度計、微粒子計、味センサー、色度計
	給・配水監視計器		濁度計、pH計、残留塩素計、トリハロメタン計

参考文献

- ・水質事故対策技術 (2001年版) 国土交通省水質連絡会編
- ・突発水質汚染の監視対策指針 2002 社団法人日本水道協会