

THM THMFP	膜分離-蛍光 分光法	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス透過性膜により、THM を試料水中から気相部に抽出・濃縮する。 ・気相中の THM を、ガス透過性膜を介しキャリア液（ニコチン酸アミドとアルカリ混合液）に溶解させる。 ・THM とニコチン酸アミドが反応し、励起光による蛍光を検出する。 		27 28
粉末炭注入量	蛍光分光法	<ul style="list-style-type: none"> ・50 μg/L 硫酸キニーネ-0.1N 硫酸溶液の蛍光強度を 100 とした時の相対蛍光強度と、粉末活性炭吸着特性の相関性を利用する。 ・蛍光強度と THMFP、TOC、KMnO₄ 消費量との相関から粉末炭注入量を予測する。 		29
アンモニア	FIA + 化学発光法	<ul style="list-style-type: none"> ・1-ナフトール法に準じ、液相反応部（FIA 部）でクロラミンを生じさせる。 ※1-ナフトール法…上水試験法のアンモニア性窒素測定法 ・気液分離管で酸化したクロラミンを加熱酸化部で NO に変換する。 ・化学発光部で NO とオゾンとを反応させた時の微弱発光を光電子増倍管で検出する。 		30
有機物	特異的蛍光ス ペクトルサイ ン (SFS)	<ul style="list-style-type: none"> ・水中の有機化合物の蛍光強度を 3 次元スペクトルとして記録する方法。 ・有機化合物の標準スペクトルライブラリーと検水の SFS と比較し、同定する。 		31
臭気	ニオイセンサ	<ul style="list-style-type: none"> ・ニオイセンサと官能試験の比較。 		32
Chl-a、SS、 酸化態窒素、 有機物等	蛍光分光法 散乱スペクトル	<ul style="list-style-type: none"> ・Chl-a…蛍光分光法 ・SS…標準化散乱光強度 (Chl-a による 685nm 蛍光を説明変数に加える) ・有機炭素…変換済散乱光強度 ・酸化態窒素…散乱光強度 		33
TOC		<ul style="list-style-type: none"> ・紫外線酸化-導電率 ・ペルオキシ二硫酸湿式酸化法 ・燃焼法 		34 35
農薬	GC/MS LC/MS LC/ESI/MS	<ul style="list-style-type: none"> ・農薬の一斉分析法の検討 ・固相抽出等の前処理の検討 		36 37 38 39 40
クリプトスポ リジウム	吸光度測定	<ul style="list-style-type: none"> ・紫外/可視領域での吸光度によるクリプトスポリジウムオーシスト、濁度、粒子数の検出方法の検討。 		41
	PCR 法	<ul style="list-style-type: none"> ・PCR 法によるクリプトスポリジウム検出の核酸抽出および濃縮等の前処理の検討。 ・遺伝子解析 		42 43
大腸菌	RNA、 TaqMan PCR PCR	<ul style="list-style-type: none"> ・高感度で迅速な大腸菌の検出方法の検討。 ・遺伝子解析 ・TaqMan PCR ・蛍光発光プローブ技法 		44 45
界面活性剤	ELISA	<ul style="list-style-type: none"> ・ELISA 法による界面活性剤測定の見直し。 ・定量限界、測定妨害物質等の検討。 		46

◎遠隔監視、リモートセンシング等

監視対象項目	概要	実用化の有無	備考
Chl-a 等	<ul style="list-style-type: none"> ・ランドサットデータ等による水質情報の面的分布の検討および解析方法。 ・SS、透明度、水温 		47 48 49
水質事故支援	<ul style="list-style-type: none"> ・GIS（地理情報システム）を活用した水質事故支援システム ・通報支援、事故履歴管理、排出場所特定支援、流下予測等 	実用化	50

5. 3 水源水質監視技術の詳細

文献調査の中で、実際に運用されている監視装置を中心として、研究・開発中の装置も含め以下に技術詳細を記す。

5. 3. 1 生物学的水質監視装置（急性毒性物質等の流入を監視する装置）

先にも述べたように化学物質等の流入事故により、原因物質の特定はできないものの、水質異常の発生を早期に発見するためのものである。魚類の行動監視の他、活動電位や微生物の呼吸活性などを利用した装置が開発されている。

(1) 硝化菌の呼吸活性を利用する方法¹⁾、2)、3)、4)、5)

1) 測定原理

アンモニア酸化細菌 (*Nitrosomonas europaea* ATCC 25978) を生きたまま高分子膜内に固定化した微生物膜と溶存酸素電極により構成された微生物呼吸活性検知型センサ (図5-1、以下、硝化菌バイオセンサ) に対し、アンモニアを含む溶液を連続供給する。アンモニアは硝化菌により亜硝酸に酸化され、溶存酸素が消費される。この時、検水中に有害化学物質が含まれると、酸素消費量が低下(呼吸阻害)するが、これをセンサ出力の変化として捉える。

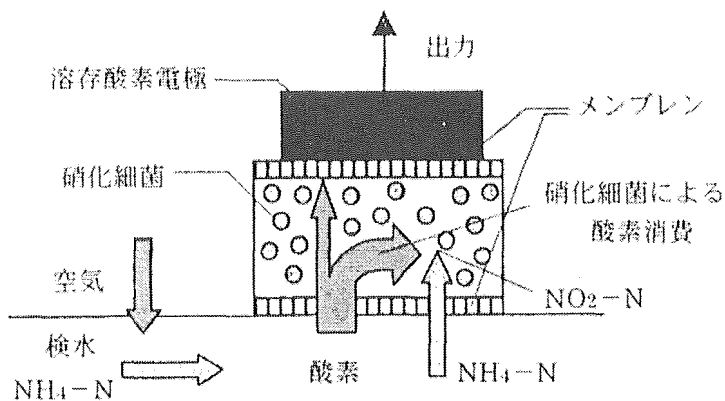


図5-1 微生物固定化膜概略¹⁾

2) 装置構成

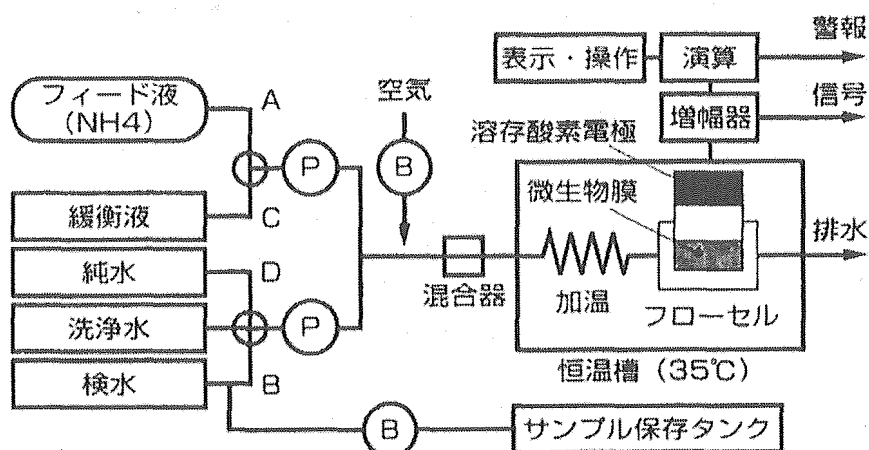


図5-2 硝化菌バイオセンサの装置概要²⁾

図5-2に装置概要を示す。

- ①本体部：CPU、センサ部、電磁弁類、ポンプ部、表示部。
- ②架台部：フィード液、緩衝液、純水、洗浄酸のタンク収納部。
- ③架台部背面：検水導入、異常水採水用のポンプ類、濁質除去用の中空糸フィルタを設置。センサ部は恒温槽構造。
- ④サイズ：700W×700D×1,180H mm

3) 運転方法

①校正方法

一定の割合の緩衝液と純水を空気と混合し、センサ部に供給した時の出力値を酸素消費率0%、フィード液(アンモニア性窒素を過剰に含む緩衝液)、純水、空気の混合液を供給したときの出力値を酸素消費率100%とする。ゼロ校正、スパン校正は1回/日、45分間ずつ自動的に行う。

②監視運転

一定割合のフィード液と検水を空気と混合し、連続的に装置に供給する。

③有害物質の検知

監視運転中に、センサ出力値が10%以上低下したときを「水質異常」として、警報出力し、同時に検水を採取する。センサ出力値は通常6分ごとに実施。信頼性をあげるため、2回連続で出力値が規定値より下回った時に「水質異常」を発信。

4) 維持管理

- ①硝化菌バイオセンサの校正 1回/日 (自動校正)
- ②微生物膜の交換 1回/月

(2) 鉄酸化細菌の呼吸活性を利用する方法^{6)・7)}

1) 測定原理

鉄酸化細菌 (*Thiobacillus ferrooxidans*: 独立栄養細菌) を生きたまま高分子膜内に固定化した微生物膜と溶存酸素電極により構成された微生物呼吸活性検知型センサ(図5-3、以下、鉄酸化菌バイオセンサ)に対し、硫酸第一鉄を含む溶液を連続供給する。硫酸第一鉄溶液中の Fe^{2+} は鉄酸化細菌により Fe^{3+} に酸化され、溶存酸素が消

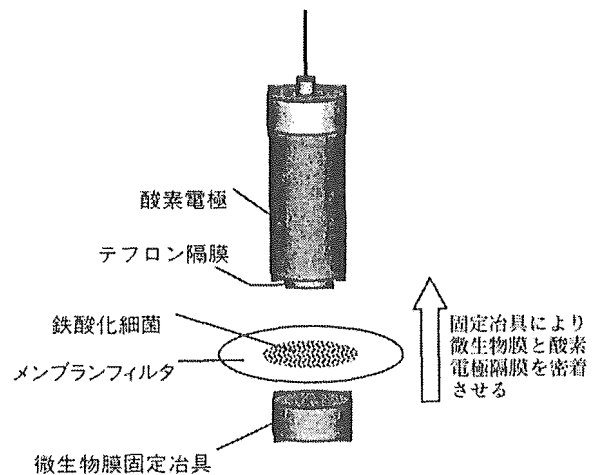


図5-3 微生物固定化膜概略⁶⁾

費される。この時、検水中に有害化学物質が含まれると、酸素消費量が低下（呼吸阻害）するが、これをセンサ出力の変化として捉える。

Thiobacillus ferrooxidans は鉱山等に生息する微生物。Fe²⁺をFe³⁺に酸化する化学合成細菌であり、酸性環境で生息し、他の微生物が繁殖しにくい。

鉄イオン濃度のみ依存する独立栄養細菌で、呼吸活性は有機物濃度に依存しない。原水水質の変動による影響が少なく長期にわたり安定して測定を行える。

2) 装置構成

図5-4に装置概要を示す。

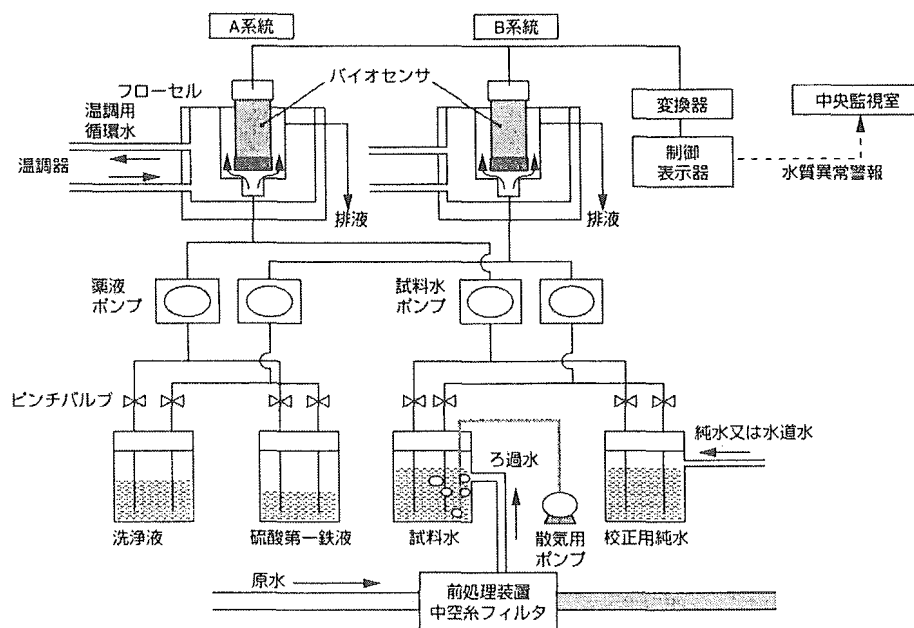


図5-4 鉄酸化細菌バイオセンサの装置概要⁷⁾

3) 運転方法

①ゼロ校正およびスパン調整

校正用の純水を流し、鉄の供給を停止したときの電流をスパン電流、鉄を供給したときの電流をゼロ電流とし、その電流を基準値として、相対的な電流値の変化を指標に有害物質を検出する。汚れ対策のため定期的に自動洗浄を実施するが、洗浄時にあわせて自動校正する。

②監視運転

検水に硫酸第一鉄(FeSO₄·7H₂O)水溶液を添加し、連続的に装置に供給する。

- ・ 試料水のみ …鉄酸化細菌による酸素消費は極わずか。試料水中の溶存酸素に対応した電流値が測定される。
- ・ 鉄液添加時（正常時）…硫酸第一鉄水溶液を添加。Fe²⁺を酸化する際に酸素を消費。酸素電極出力は低いレベルとなる。

- ・有害物質混入（異常時）…呼吸阻害により酸素消費量減少。酸素電極電流値が増加し、水質異常を検出する。

③有害物質の検知

水質指数を計算し、この指数が設定した警報値を超えた場合、何らかの有害物質が混入したものとして水質異常を出力する。

$$\text{水質指数} = \text{測定した電流値} / (\text{スパン電流} - \text{ゼロ電流})$$

※スパン電流とゼロ電流は、直前の校正時の数値を用いる。

④センサ異常警報

微生物膜に鉄酸化物が析出した場合、スパン電流値が低下する。また、鉄酸化細菌の活性が低下した場合は、ゼロ校正時の電流が増加していく。スパン電流とゼロ電流の差の観測によりセンサ異常が検知でき、電流差に応じて、10段階でセンサ劣化、センサ異常警報を出力する。

4) 維持管理

①自動洗浄

配管、微生物膜の試料水による汚れの付着や閉塞、鉄イオンの酸化物析出防止のため pH1.5 の硫酸で洗浄する。鉄酸化細菌は強酸性環境でも生息が可能である。

②監視系統数

自動洗浄時も監視を行うため、2系統のフローを備える。

③自動校正

バイオセンサの劣化補正のため、洗浄時に自動校正を実施。

④生物膜の交換 1回/3カ月

⑤薬液補充

(3) メダカの行動解析を利用する方法⁸⁾

1) 測定原理

検査水槽内のメダカの行動を2台の CCD カメラで撮影し、画像をビデオボードに取り込み、パソコンで 0.2 秒ごとに位置を3次元で検出する。本システムにより、遊泳速度の変化、苦悶、狂奔を正確に検出することが可能となった。

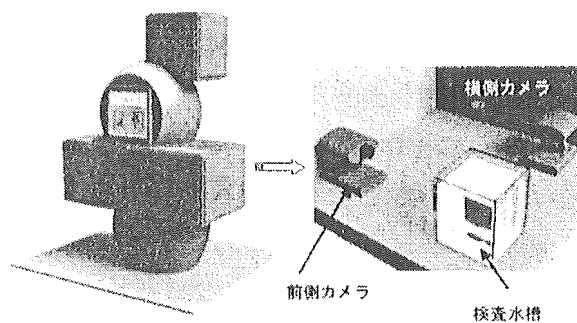


図 5 - 5 装置概要⁸⁾

2) 装置構成

装置概要を図 5 - 5 に示す。

3) 曝露試験例

次亜塩素酸ナトリウム、シアン化カリウム、フェニトロチオンを含有した飼育水にメダカを曝露し、各試験区で6回繰返した。遊泳速度の変化を図5-6に示す。

①次亜塩素酸ソーダ (1 μg/L)

曝露後10分間で、曝露前10分間の67%と有意に減少。10~20分間、20~30分間で41%、34%と減少。

②シアン化カリウム (3 μg/L)

曝露後10分間で有意に減少

③フェニトロチオン (10 μg/L)

曝露後5~10分間、10~15分間で遊泳速度が増加。中枢神経に作用したため、狂奔行動が起こったと考えられる。

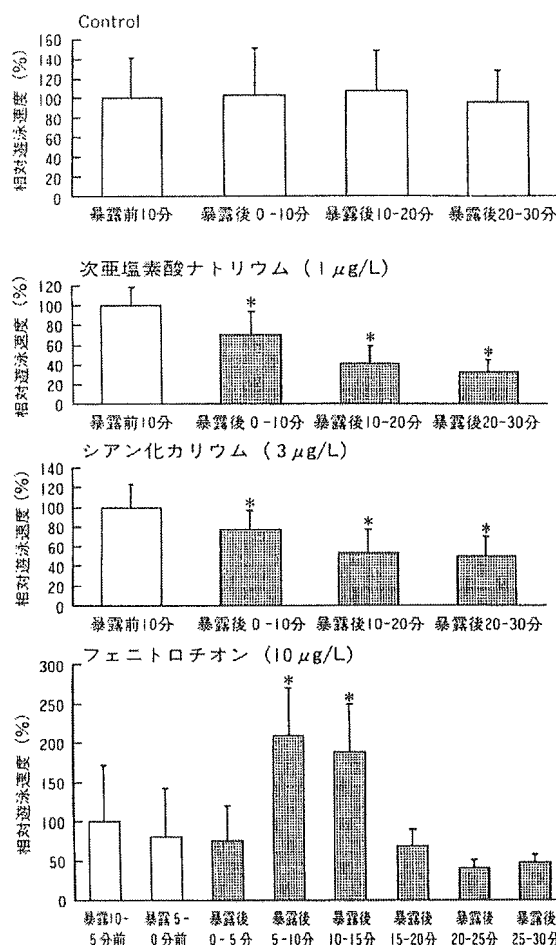


図5-6 曝露試験結果⁸⁾

(4) 魚類と甲殻類の活動電位を利用する方法⁹⁾

1) 測定原理

供試生物(魚等)の遊泳やエラ運動時の筋肉活動に起因する微弱な電位(以下、活動電位)を、監視水槽内に設置した電極(図5-7)により検出する。この活動量が、あらかじめ設定した平常時の上限値(プレアラーム値)を超えた場合は、何らかの水質異常による狂乱状態であると判断してプレアラーム(軽警報)を出力する。また、活動量があらかじめ設定した下限値(アラーム値)以下となると、供試生物が瀕死又は致死状態であると判断してアラーム(重警報)を出力する。

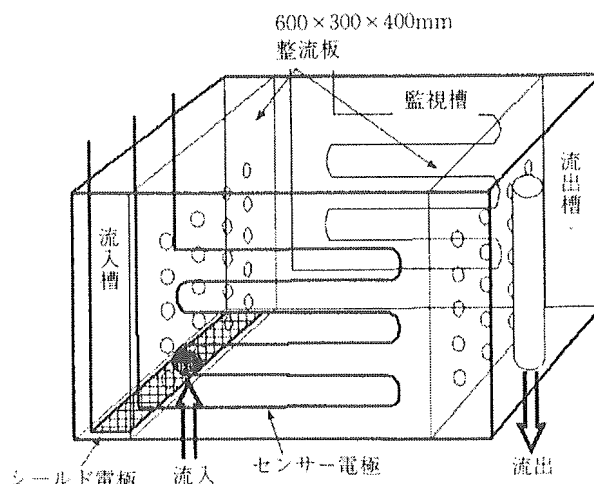


図5-7 監視水槽概要⁹⁾

2) 装置構成

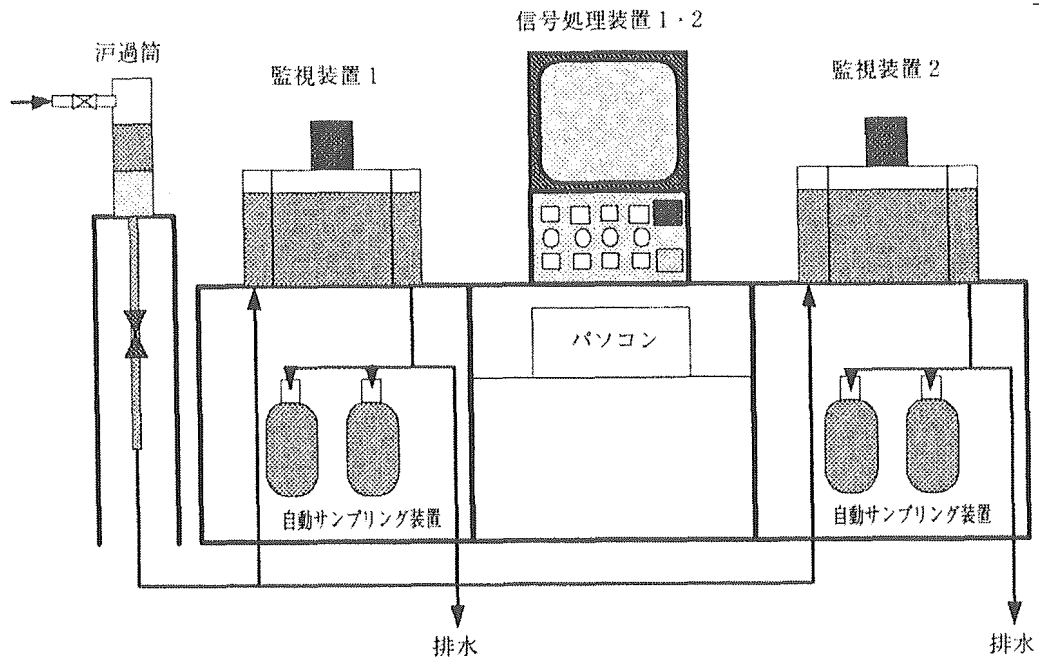


図5-8 監視装置概要⁹⁾

装置概要を図5-8に示す。監視装置は監視水槽、センサ（電極板）、信号処理装置、コンピュータ、CRTディスプレイからなる。

①監視水槽

監視水槽（600×300×400 mm）に整流板を設置し、流入槽底面にネット型のシールド電極と、監視水槽内の両側壁面の電極板にセンサ電極を埋め込んである。検水は流入槽に3～4L/分の上向流で流入し、整流板を通して監視水槽内を均等な流速で流れ、整流板を通じて流出槽のオーバーフロー管から流出する。

②信号処理装置

検出した活動電位を1分間積算して、活動量を計算する。活動量を上限値・下限値と比較してアラームを出力する。

③サンプリング

排水管にプレアラーム用、アラーム用の電磁弁が設置されており、原水異常時に3Lの検水を自動採取する。

3) 運転方法

①供試生物の選定

毒性物質の種類によって感受性が異なるといわれていることから魚類と甲殻類を選定した。飼育管理が容易で安定供給できる小型魚としてメダカ（*Oryzias latipes*）80匹を、甲殻類として脱皮時に共食行動のないヤマトヌマエビ（*Caridina japonica*）40匹を供試した。尚、メダカは水質試験所で増殖し、ヤマトヌマエビは市販品を一括購入し一定期間養生させた後に供試した。

②供試魚の薬浴

飼育当初に新しい環境に馴れるまで、各種ストレスが加わり軽い細菌感染症を引き起こすことが確認された。細菌感染症の魚は水槽壁面に体を擦り付けるなどの異常行動をとることから、瞬間的に高い活動電位が記録される。供試魚を5 mg/Lの過マンガン酸カリウム溶液中で5分程度薬浴させることにより、細菌感染症などの予防に効果があることを確認した。

③給餌

人手による給餌活動が供試魚の活動電位に影響を及ぼすことを排除するため、自動給餌器を使用した。給餌時には活動電位が若干高くなることから、両系列が同時に高くないように各系列の給餌時間に2時間以上の時間差をつけた。給餌頻度は2回/日とした。

④その他飼育条件

水槽底面の反射（鏡構造になる）が供試生物の生活行動に影響をおよぼすことから、黒色シートを敷いた。ヤマトヌマエビを供試する水槽には、エビが定住できる環境として、人工水草を配置した。

⑤プレアラーム値、アラーム値の設定

供試生物を用いた連続試験の結果、人の出入りや給餌時に活動電位が瞬間的に高くなるため、このような値を含んだままプレアラーム値を算出すると、設定値を高くしなければならず、監視精度が低下することになる。

監視の基礎となる活動電位を任意の設定時間（3～60分）で選択できる活動電位の移動平均値とし、瞬時の高活動電位を平均化した。実運用では7分の移動平均値を選択した。

プレアラーム値やアラーム値を効果的に設定する方法として、平常時における供試生物の活動量の平均値と偏差値を利用する方法を次式とした。

- ・プレアラーム設定値＝平均値＋（定数 A×偏差値） 定数 A：2～5
- ・アラーム設定値＝平均値＋（定数 B×偏差値） 定数 B：2～3

⑥警報発信警報出力

- ・軽警報：警報精度を高めるため、両系列が共にプレアラーム値以上に達したと場合に軽警報を発する。
- ・重警報：緊急性を考慮し、系列ごとにアラーム値以下に達すると重警報を発する。

4) 維持管理

①電極の洗浄

監視水槽内に生物を供試しない状態で発生する僅かな電位（ブランク値）を長期間連続測定したところ、1ヵ月程度後に昼間の電位が夜間電位と比較して高い値になることが確認された。原因はセンサ電極に付着繁殖した藻類により、炭酸同化作用の副産物として放出される微細な酸素泡と水との間の僅かな電

位差が生じることによるものと考えられる。センサ電極を専用容器内でアルコール洗浄することにより解消できる。頻度は、夏期で2回/月、冬期で1回/月程度必要である。

②水槽清掃…夏期2回/月、冬期1回/月程度。

③ストック水槽内の供試生物管理と監視水槽内供試生物の管理。

(清掃時に不足数を補給する)

④自動給餌器の管理。

⑤活動量に影響する水温の変化に対応させたプレアラーム値、アラーム値の変更。

(5) 魚類の忌避行動を利用する方法 (ID タグによる位置検知) 9)、10)

1) 測定原理

有害物質に汚染された水域 (対象域) と、汚染されていない水域 (避難域) と、下流の水域 (検死域) を模した監視水槽に、ID タグを装備した供試魚を放流する。汚染された原水が流入したとき、避難域と検死域にいる供試魚をセンサによって検知し、警報を発する。

2) 装置構成

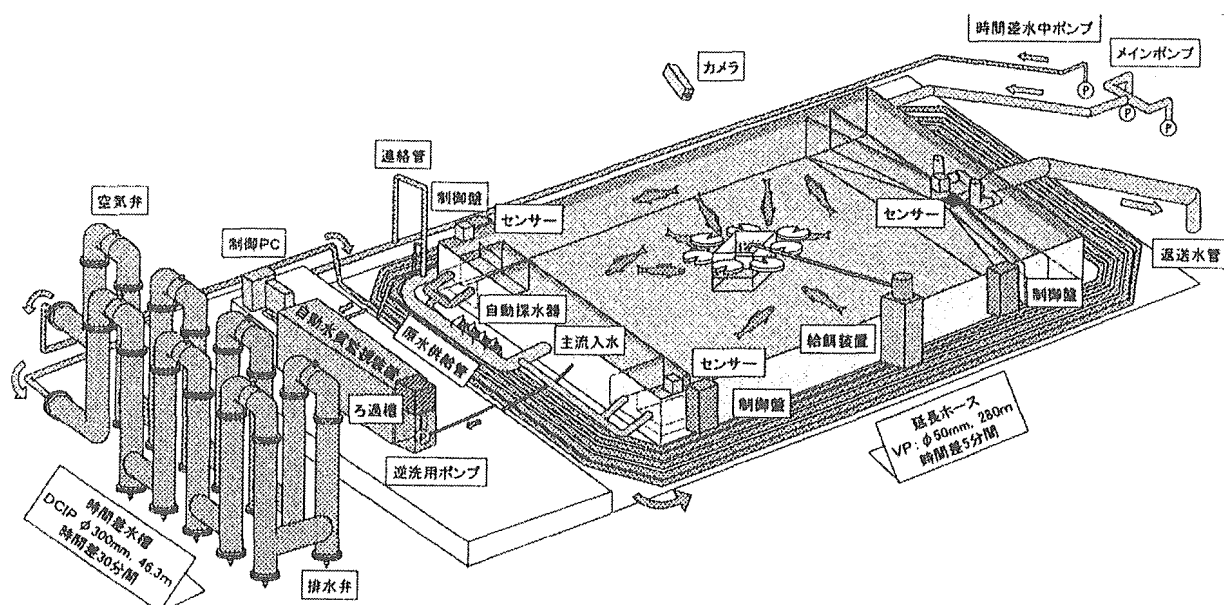


図5-9 監視設備概要図 10)

監視設備概要を図5-9に示す。

①大型監視水槽

- ・寸法：6×4×0.8m、水深0.5m、容量12 m³。整流板により流入槽、飼育槽、流出槽に仕切られている。
- ・流入槽：中央部にメイン水の流入口、片方にメイン水から分岐した対照水

の流入口、もう一方に対照水と同じ構造の時間差水の流入口を設置。

- ・飼育槽：中央部に餌拡散防止枠を設置し、その中へ上方の給餌装置から 1 日 2 回定時に給餌する。餌枠の周囲に発泡スチロール製のハスの葉を配置し、供試魚が定位しやすい環境としている。
- ・流出槽：流出槽にはオーバーフロー管を 2 本設置し、流出水は取水場沈砂池に返送する。
- ・メイン水、対照水、時間差水：メイン水および対照水は監視対象の原水の流れであり、時間差水は 35 分前の汚染されていない原水の流れである。平常時、時間差水の流れに馴れ、避難域に侵入することによる誤報を生じさせないため、時間差水と同様の流れの対照水および対照域を設けている。

②時間差水槽

原水が有害物質等に汚染されたとき、それ以前の汚染されていない原水を監視装置に供給するための貯留槽（鋼管製、 $\phi 300 \text{ mm} \times 46.3 \text{ m}$ ）であり大型水槽までの到着時間を 30 分遅らせる。また、大型水槽の周りに延長ホース（ $\phi 50 \text{ mm} \times 280 \text{ m}$ 、ビニールホース）が布設されており約 5 分間到着時間を遅らせる。これらを合わせ約 35 分間の「時間差」をつくりだしている。原水汚染時には、汚染される前の試水を 35 分間監視水槽へ送水し続けることができ、供試魚はこの時間差水を感じて避難域へ誘導される。

③検出装置

検出装置は供試魚に装着された ID タグ、避難域、対照域、検死域に設置された ID タグからの番号を読みとるためのセンサ、信号変換機、拡張ボード、信号処理装置からなる（図 5-10）。

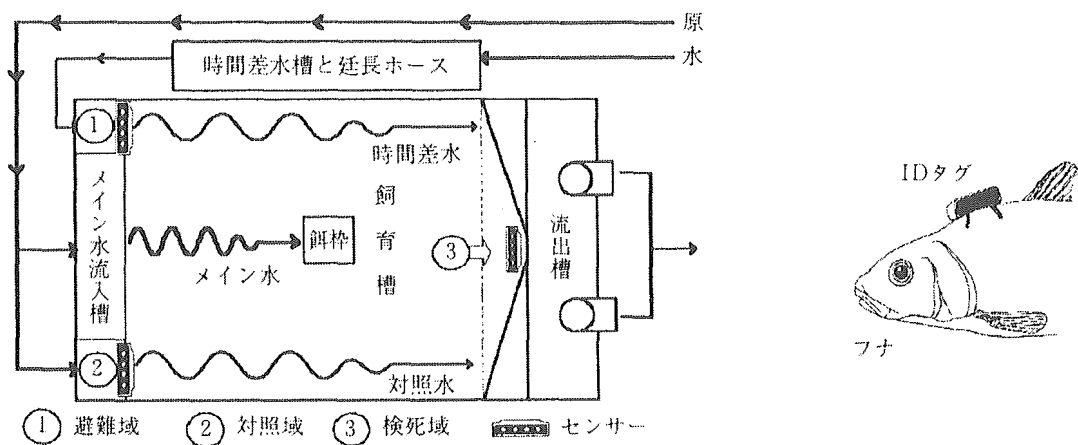


図 5-10 監視水槽の概要とタグの装着⁹⁾

- ・ ID タグ装置

ID タグ (2×6×3 mm、0.4g) は電磁結合型の小型チップを熱収縮チューブで覆いナイロン糸を取り付けたもので、供試魚の頭部と背鰭間の肩の筋肉部に固定する。4桁の固体認識番号を書き込める。

- ・ センサ

センサ (IDA、アンテナユニット、195×45×40 mm) は避難域、対照域、検死域の水面 5 cm に各 1 基ずつ合計 3 基設置されており、タグへの電力供給とタグからの信号を検知する装置である。半径 170 mm 範囲の ID タグを検出する。

- ・ 信号処理装置

センサで受信された信号は、制御盤内の信号変換器に送られた後、信号処理装置に送信される。信号処理装置は、予め設定した条件を満たすと警報を発信する。初期データ設定、データ管理、アラーム管理、アラーム出力からなる。

- ・ 拡張ボード

拡張ボードを利用して、5 点の信号出力が可能となり、運用上の警報出力として利用する。

3) 付帯装置

①採水ポンプ

- ・ メイン水用片吹込渦巻きポンプ

2 基 (予備 1 機) …2.2kW/台。0.625 m³/分/台

- ・ 時間差水用水中ポンプ

1 基…5.5kW、0.34 m³/分

- ・ 採水量

メイン水約 38 m³/時、時間差水約 6 m³/時。

水槽 (12 m³) の水は約 15 分で入れ替わる。

②サンプリング装置

メイン水流入バルブの前に 4 基の自動採水弁が設置されており、警報の発生時に検水が 5L ビンに採水される。

③監視カメラ

屋内の天井に設置されており、管理室からリモートコントロールできる。警報発生時には、供試魚の異常の状態を観察する。

④自動給餌装置

1 日 2 回、自動的に給餌を行う。市販の浮遊性ペレットを給餌器の管を通して飼育槽の餌枠内に落下させる。高水温時と低水温時の給餌量は変え、10 分以内に食べ終わる量を与える。

⑤飼育水槽

供試魚補充用（21 m³）と産卵養育用（18 m³）を設置。

4) 運転方法

①供試魚

体長 15～20cm の大きさのギンブナ *Carassius gibelio longsdorfi* (VALENCIENNES) とし、監視水槽に 50 匹放流する。同じ水域に生息するコイは成長が早い、また、オイカワやムツゴは筋肉が柔らかく脆いので ID タグ装着時のダメージが大きく、寿命も短いために長期の供試には向かない。

供試魚の供給は購入と採捕がある。このサイズのフナは観賞魚用としては流通していないため特注となり、入手魚は捕獲網のスレや、移送時の衰弱などで供試に耐えられず、監視水槽への供給が困難となる。採捕の場合、水田地帯に引かれた農業用水路での採捕が容易に多数入手できる。野生のフナは病気、寄生虫、障害を持ったものが混入することもあり、選別除去作業が必要である。サイズが不揃いのため大（20 cm 以上）、中（15～20 cm）、小（15cm 以下）に分類し、中型魚を供試魚に用い、大型魚は産卵用に、小型魚は養育し次期供試魚とする。

②流速、流向

監視水槽には、流入槽、飼育槽、流出槽を仕切る穴を開けた整流版を設置し、メイン水、時間差水、対照水の流速と流向を決めている。逆流等による流れの乱れを無くすための流入速度を実験により求めた結果、メイン流入管出口での流入速度を 0.84m/秒、対照域と避難域流入管出口の流入速度を 0.38m/秒とした。

③警報発信条件

- ・避難域軽警報…（避難域供試魚数－対照域供試魚数） ≥ 3 で 1 分以上持続
 - ・避難域重警報…（避難域供試魚数－対照域供試魚数） ≥ 4 で 1 分以上持続
 - ・検死域軽警報…検死域流下供試魚数 ≥ 3 で 1 分以上持続
 - ・検死域重警報…検死域流下供試魚数 ≥ 5 で 1 分以上持続
- 尚、設定匹数、継続時間は任意に変更可能

5) 維持管理

①日常管理

テレビカメラ画像によるフナの状態、水槽内の透明度や水槽の汚れ具合の確認。

②水槽清掃

水を抜かない清掃を状況に応じて（原水濁度による）行い、水を抜いての清掃を最低年 3 回は行う。

③電気設備

原則、月及び年 1 回の実施。

④フナの補充

水抜き清掃の時に、匹数及び健康状態のチェック、ID タグの外れのチェックし、必要に応じて補充・交換をする。

(6) 魚類の忌避行動を利用する方法 (画像処理による位置検知) 11)

1) 測定原理

五連監視水槽にコイを放流し、赤外線カメラの撮影画像を 40 秒間隔で 2 値化し、各水槽のコイの匹数を面積計算して、所定の条件になった場合に警報を発する。

2) 運転方法

半円球の 5 個の直列水槽 (図 5-1-1) に体長 10 cm 前後のコイを 6~9 匹飼育する。上流側水槽に給餌装置を設け、通常は第 1 槽で遊泳しておくようにする。有害物質が流入した場合には、下流側に忌避するが、正常時、異常時の条件を定めておき、異常状態になった場合 (図 5-1-2) に警報を発する。

DO 不足による異常行動 (場合によっては斃死) を防ぐため曝気装置を設けると共に、水量 1.1~1.5 m³/時に保持している。また、活動低下を防ぐため水温を 10℃ 以上に維持している。

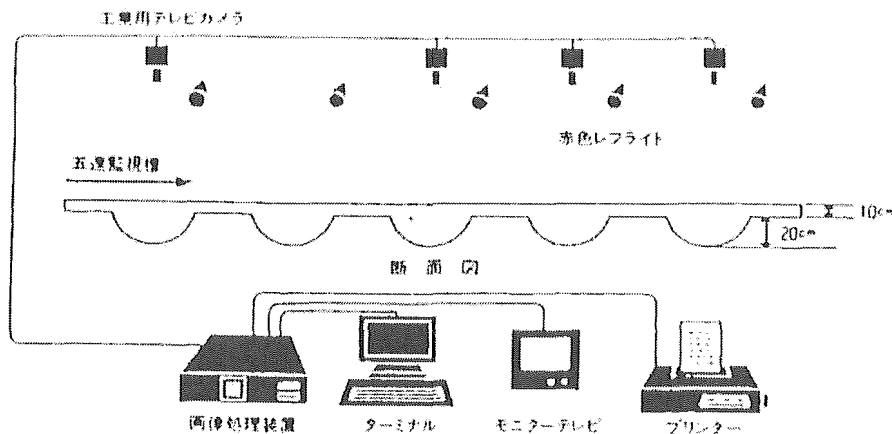


図 5-1-1 監視装置の概要 11)

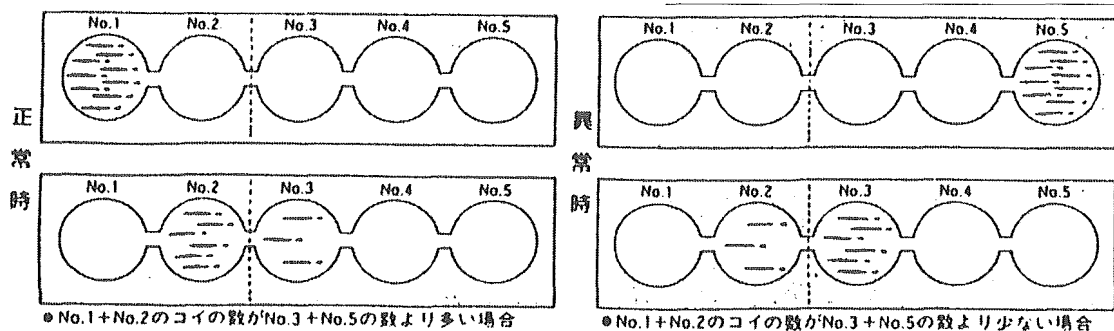


図 5-1-2 コイの行動パターンと設定条件 11)

<海外事例>

(7) 淡水べん毛虫の挙動を利用する方法¹²⁾

1) 原理

淡水べん毛虫の1種 *Euglena gracilis* の挙動を検出終点のパラメータとして用いる。CCD カメラにより撮影し、運動パラメータを実時間画像解析システムで定量化して管理し、試料および対照各一つずつの測定を全自動で6~10分で行えるようになっている。多数の有毒物質に対して感受性が高かったパラメータは重力場における指向性、運動性および速度であり、測定試験の結果、パラメータは試験水の水質の変化を示して大きく変化するものであった。最も感受性の高いパラメータの終点を用いて有害物質の EC₅₀ を求めている。

2) 装置構成

①観察用顕微鏡（注文仕様）

②観察用光源

光指向性による乱れや、光合成による酸素生成の誘発を防ぐため、赤外線ダイオード（875nm）を用いている。

③画像解析

細胞画像を CCD カメラで撮影し、0.08 秒単位でデジタル化してコンピュータへ送られる、解析（256 段階のグレースケール、512×512 ピクセル）される。

3) 運動パラメータ

①r-value…上方へ遊泳する割合

②遊泳速度

③運動性

$$r = \frac{\sqrt{\left(\sum \sin \alpha\right)^2 + \left(\sum \cos \alpha\right)^2}}{n}$$

$0 \leq r \leq 1$ 、 n : トラック数、 α : それぞれの移動角

本装置の特長としては、コントロールや試料の測定を含めても6~10分と短時間であること、全てのポンプやバルブなどを含めても装置の大きさが29×20×19cmとコンパクトであること、安価であることが挙げられる。

(8) 藻類の光合成活性を利用する方法¹³⁾

1) 測定原理

単細胞藻類 (*Chlorella Vulgaris*) にハロゲンランプを照射し、酸素センサによって光合成能を測定する。検水中に有害化学物質が含まれると、敏感に酸素放出に変化をおこすが、これをセンサ出力の変化として捉える。

2) 運転方法

0.25/分で検水を流し、藻の活性値、藻が放出した酸素量 ($\mu\text{g/L}$) を酸素センサによって測定する。数値は ASCII 規格のデータとしてコンピュータに送

信される。

酸素濃度、藻の活性度、日周変化は数値化される。1分間における活性値の変化がある一定パーセント値を超えたときに警報を出せる。最高3つの異なる藻の値を同時測定して、特別な基準をつくることも可能である。

(9) その他の海外事例^{14)・15)}

その他、海外での実用化例として下記に示すような手段も用いられている(表5-1参照)。

1) 魚類行動監視

監視用水槽流出側にワイヤーセンサを設置し、供試魚を用いて間接的に水質信号として変換する。

2) ミジンコの行動解析

赤外線センサにより、ミジンコの行動パターンを10分サイクルで測定する。

3) 藻類活性度

藻類の光合成によって生じた活性を光学的測定器で計測する。検水と標準水を入れた2つフラスコで比較する。

4) 貝の行動検知

貝殻の両端に圧力センサを取付け、貝の開閉状態および個数で異常水を検出する。ムール貝の1種である Mussel や牡蠣などが利用されている。

5. 3. 2 理化学的水質監視装置(特定の化学物質等を検出・同定する監視装置)

(1) 油膜・油類を検出する装置(油膜と水面の偏光比率の違いを利用する方法)⁵⁾

1) 測定原理

レーザー光を水面に47.5度の角度で入射し、反射光を偏光ビームスプリッターで偏光成分(P偏光、S偏光)に分離し、それぞれフォトダイオードで電気信号としてアナログ的に偏光比を求める(図5-13)。反射した光の偏光比は反射した媒体の屈折率に依存し、油と水では大きく異なることを利用して油膜を検出する。

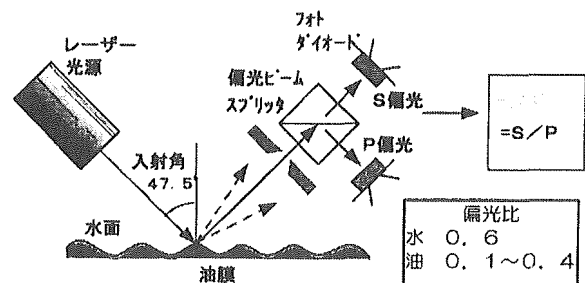


図5-13 偏光解析油膜センサの原理⁵⁾

2) センサの特徴

波の曲率による反射光の絶対光量の変動による影響を受けない。

また、河川浮遊物の大半を占める植物や、濁り、着色成分の影響も受けない。

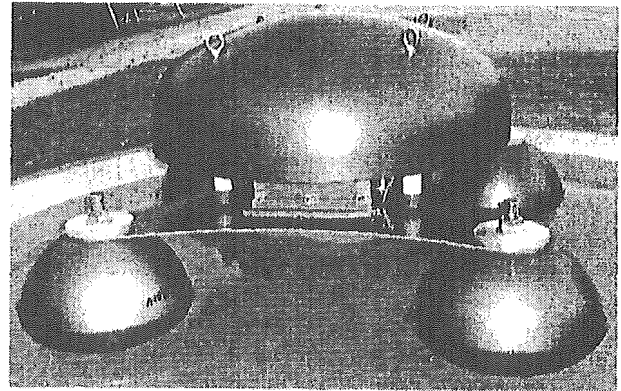


図5-14 油膜センサ概観⁵⁾

3) 検出能力

- ・原油、A重油、劣化絶縁油、エンジン油、灯油等：0.05 μm 膜厚
- ・劣化サラダ油：0.2 μm 膜厚程度

(2) 油膜・油類を検出する装置（水晶振動子式においセンサを利用する方法）^{18)~21)}

1) 測定原理

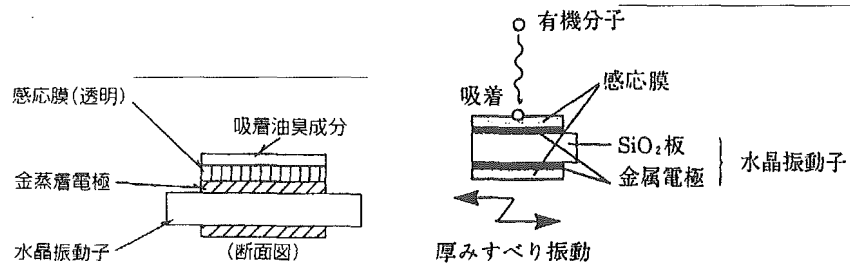


図5-15 においセンサ素子の構造^{18)・19)}

においセンサ素子は、水晶振動子に感応膜を成膜したもので（図5-15）、揮発した油類等の高沸点炭化水素化合物が感応膜に吸脱着することにより水晶振動子の共振周波数が変化する。共振周波数変化から、気相中のにおい分子濃度を定量する。

2) 装置構成

装置概要を図5-16に示す。

① 砂ろ過器

油分の吸着のない珪砂を使用。大きなゴミの除去をする。

② ヒータ

試料水を 40℃あるいは 50℃に加熱する。

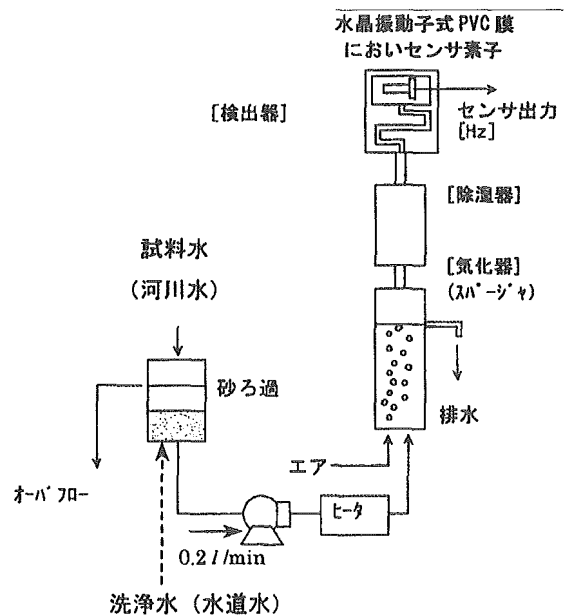


図5-16 油分モニタのシステム構成²⁰⁾

③気化器（スパージャ）

無臭エアを 0.4L/分 で吹き込み、揮発成分（油分等）を気化する。

④除湿器

においセンサ素子が温湿度の影響を受けないように、恒温恒湿に制御する。

3) 運転方法

①砂ろ過器の洗浄

砂ろ過フィルタの詰りを防止するため、一定周期（例えば 1 時間ごと）に洗浄水（水道水）で逆洗浄を行う。

②試料水流量

ポンプ、ニードル弁などによって一定流量（0.2L/分）に調節する。

③油分混入の検知

センサ出力の変化率を計算し、変化率がある一定の警報レベル（例えば 0.5Hz/分）に到達すると油分濃度警報を発生する。

4) スパージャの改良

砂ろ過器はポンプのチェック弁、流量調整用のニードル弁、配管チューブ等の詰りを防止するためには不可欠であるが、装置を設置する水道原水取水口は河川上流部にあるため水道水を確保することが困難な場合が多い。そのような場所では、砂ろ過器は設置できないため、砂ろ過器が不要なサンプリングシステムとして、スパージャを改良している（図 5-17）。

二重円筒構造とし、内筒側面に 2 個の穴（φ10 mm）をあけ、内筒内外の温度差に起因する試料水の密度差によって試料水を循環させるようにしている。内筒内水温を 40℃ に加熱するとき、試料水温度が 0~30℃ の範囲では流量変動は 0.2ml/分 に対し ±20% 程度におさまる。砂ろ過器、ポンプ、ニードル弁などを使うことなく、一定流量の試料水をスパージャに供給できる。

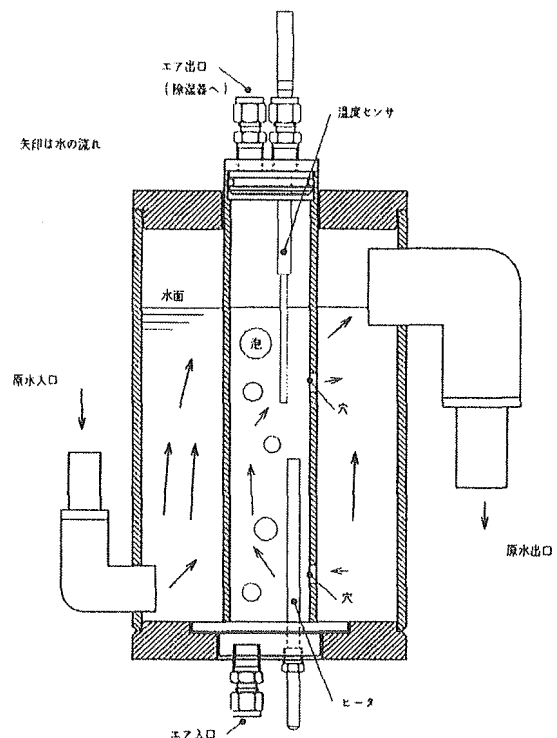


図 5-17 新型スパージャの構成 20)

(3) 毒物、重金属等を検出する装置（味覚センサを利用する方法） 22)、 23)

1) 測定原理

食品加工分野で味覚評価に用いられている味覚センサを利用して、水質評価を行う。特性の異なる複数の人工脂質膜（生体を模倣した脂質膜）を参照電極とともに試料水に入れ、参照電極との電位差を測定する（図5-18）。各脂質膜の（試料水測定前の基準液での測定値－試料水測定値）および（試料水測定後の基準液での測定値－試料水測定値）を解析して、濃度推定式を求める。

試験の結果、シアンでは0ppmと0.2ppmとの識別ができることなどが確認されたが、更に低濃度でも測定可能なように、感度向上や安定性の向上などが検討されている。

人工脂質膜の支持材料としてポリ塩化ビニルを用い、可塑剤（ジオクチルフエニルフォスフォネート）と脂質を約2:3:1の重量比で混合したもので、膜厚約0.2mmである。

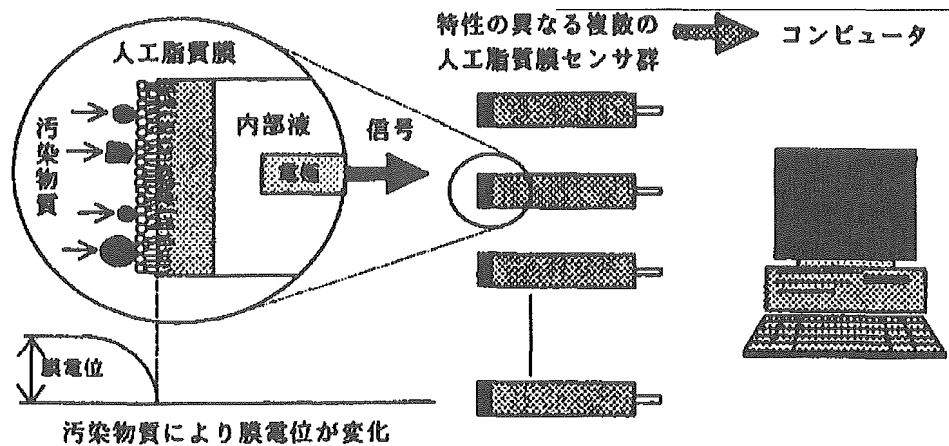


図5-18 味覚センサの原理²²⁾

(4) 揮発性有機炭素（VOC）を監視する装置

(FID ガスクロマトグラフを利用する方法)^{11)、24)、25)}

1) 測定原理

ガスクロマトグラフ（検出器：FID…水素イオン化検出器）により原水中の揮発性有機化合物を定量する（以下、有機センサ）。

2) 装置構成

装置構成を図5-19に示す。

①前処理

メンテナンス性を考慮し、トラップなしのパージ方式。除湿器は単管式。

②バックフラッシュシステム

分離カラムの手前に高沸点成分捕捉用のカラムを置き、測定終了後に窒素ガスを逆流させて排出する。

③配管

パージ装置からガスクロマトグラフまでの配管をテフロンにし、高沸点成分

の残留を抑制する。

④分析用ガス

現場発生方式とし、ポンベ交換をなくす。

- ・窒素…空気を原料とした窒素発生器
- ・水素…水道水のイオン交換水を原料とした水素発生器

⑤砂ろ過装置

懸濁物質による流路閉塞の防止。

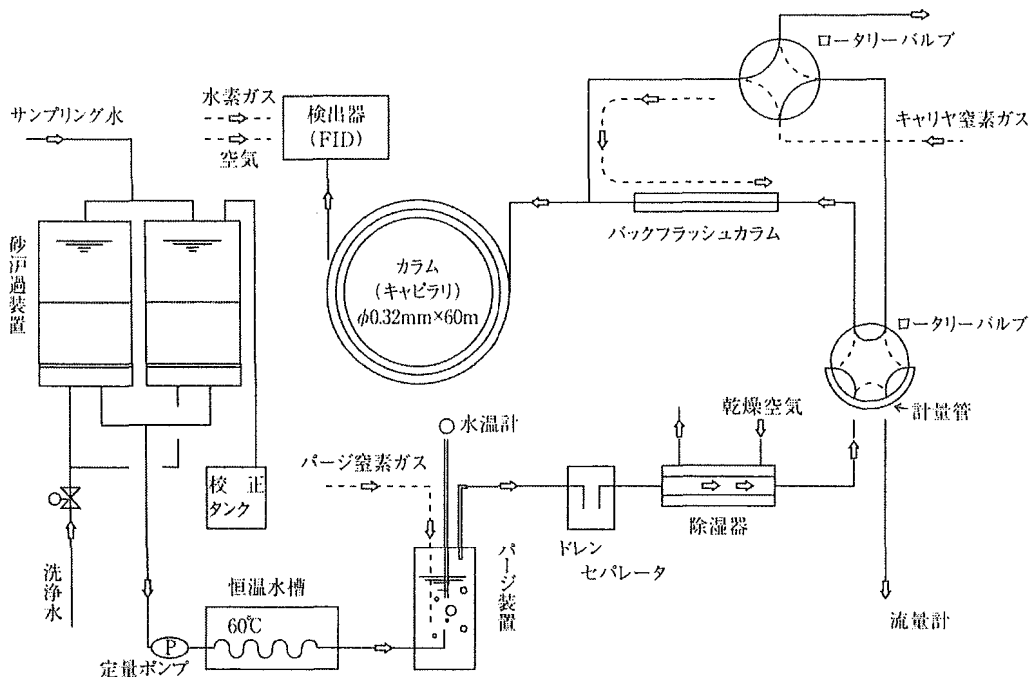


図5-19 有機センサのシステム構成²⁴⁾

3) 運転方法

①校正方法

約 $10\mu\text{g/L}$ の標準液を作成し、希釈して約 $2\mu\text{g/L}$ 、約 $5\mu\text{g/L}$ の標準液を作成して検量線の直線性をチェックする。使用した約 $10\mu\text{g/L}$ の標準機の正確な濃度を GC-MS で定量する。ゆうきセンサでの約 $10\mu\text{g/L}$ の測定値を GC-MS で求めた正確な値に置き換えて、新たな基準面積を計算し、設定する。この基準面積を基にして検体の各濃度を検出する。校正は6カ月ごとに行う。

②警報設定

警報濃度レベルを4段階（濃度が低いほうからレベル1、2、3、4）に設定。揮発性有機物の濃度が基準値や指針値の70%未満を確保することを前提とし、レベル1は水質基準の70%値に設定。レベル2からレベル4は原水に粉末活性炭注入をすることにより浄水濃度が水質基準値等の70%未満を確保できる濃度に設定。

③監視運転

ガスクロマトグラフによる測定を1時間ごとに行い、定量結果は電話回線により管理センターに伝送され、ワークステーションに常時表示される。異常を検知した場合、水質監視センターでは夜間・休日を問わずに水源に出動・採水・分析して発生源を特定できるようにしている。

4) 維持管理

- ①ろ過装置 …砂の補充を1カ月ごと、フィルタ板取替を3カ月ごとを実施。
- ②パージ装置…温度設定を3カ月ごとを実施（原水温度の変化に対応）。
- ③水素発生器…純水補充を1カ月ごとを実施。

(5) 揮発性有機炭素（VOC）を監視する装置

（PID（光イオン化検出器）を利用する方法）²⁵⁾

1) 測定原理

測定ガスは紫外線の照射される部屋へ導かれ、紫外線ランプから金属メッシュ状の電極を通して照射された紫外線（イオン化エネルギー10.6eV）により、ガス分子がイオン化される。この時に放出される電子を電極で捉えイオン化電流として検出し濃度に換算する（図5-20）。測定値は、既知標準ガスの校正に基づいてガス濃度を計算する。ガス成分はPIDでイオン化されるが電極ですぐ元のガス成分に戻り、非破壊という特徴がある。定性能はなく、既知成分の濃度検出や総VOC濃度の検出を目的とする場合に有効。

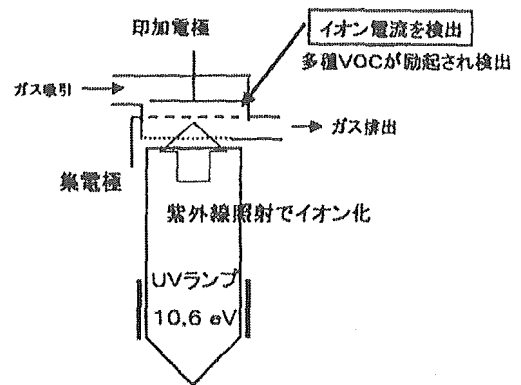


図5-20 PID検出器の原理²⁵⁾

2) 装置構成

装置構成を図5-21に示す。

①前処理部

砂ろ過でろ過後、スパージャーで底部から空気を吹き込んで水中の難溶性揮発性物質を気化させる。

パージガスは電子除湿器で水分を除去された後、センサに導入される。

②アナライザ部

除湿されたパージガスは、PIDセンサに導

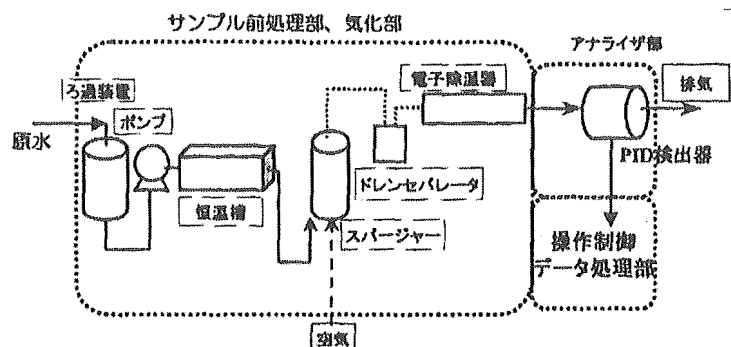


図5-21 PID式簡易型VOC計のシステム構成²⁵⁾