# 「GENESEED system」水の安全・安心をサポートする水質計測システム

田中　良春（たなか　よしはる）　横山　勝治（よこやま　しょうじ）　金川　直樹（かねかわ　なおき）

特集

## 1　まえがき

世界保健機関（WHO：World Health Organization）では，2004年度に飲料水水質ガイドラインを改定（第3版）し，水質安全計画（WSPs：Water Safety Plans）の考え方を加え，食品のHACCP（Hazard Analysis Critical Control Point，危害分析・重要管理点）システムの衛生管理手法の考え方を取り入れた水源から給水までの浄水プロセス管理を推奨している[1]。わが国でもWHOのガイドライン改定を踏まえた水質基準の改定が2004年度に行われ，水道水源や浄水処理方法に応じた効率的な水質管理が望まれている[2]。

わが国の水道は，7割以上が河川，湖沼，ダムを水源としている[3]。特に国土の狭いわが国においては，河川の上流域から下流域まで水が繰り返し循環利用される場合が多い。

水道水質の安全・安心を確保するためには下記の水質の監視と管理が重要と考える。

(1)　水源や水道取水点では有害化学物質や油類，かび臭物質〔2-MIB（メチルイソボルネオール）やジェオスミン〕，消毒副生成物の原因物質となるフミンなど有機物の監視

(2)　凝集沈殿・ろ過プロセスでは適切な凝集剤の注入管理や，ろ過池の濁度を指標とした日常的な運転管理によるクリプトスポリジウムなどの耐塩素性病原虫汚染リスクの監視

(3)　給配水のプロセスにおいては消毒副生成物の監視による塩素注入率の制御

富士電機は，上記の視点から，重要度が高く，特長ある水質計をこれまで鋭意開発・販売してきた。**図1**に一般的な浄水処理プロセスのフローと，それに対応する富士電機独自の水質計のラインアップを示す。

安全・安心・安定を目指す「GENESEED」の思想に基づくこれら製品のラインアップをプロセス順に紹介し，特に2006年10月に発売した新型水質安全モニタ，2007年3月に発売予定の新型トリハロメタン計を中心に紹介する。

## 2　水源・取水水質監視

### 2.1　油膜センサ

河川の水質事故のうち，油類による水質汚染事故は6割以上を占める[4]。

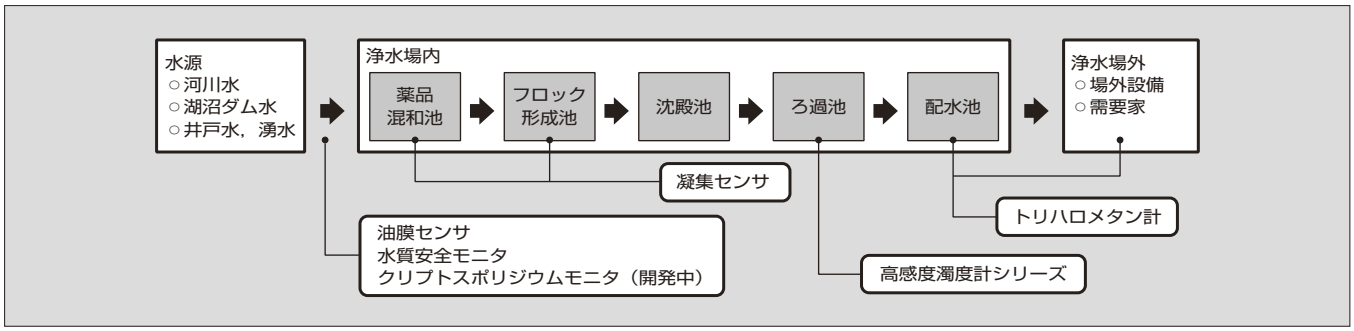
油膜センサは，沈砂池や着水井の入口付近に設置し，水面を浮遊して流入してくる油類を油膜として検知する装置である。外観を**図2**に示す。

測定原理は富士電機が独自に開発した「偏光解析法[5]」を用い，高感度かつ安定な監視が可能である。主な特長として以下の5点がある。

(1)　フロートにより水面に浮上設置できるため，監視したいポイントに直接設置でき迅速な検知が可能

(2)　最短10秒での目視を上回る感度で検出が可能

図1　一般的な浄水処理プロセスのフローと水質計



**田中　良春**

上下水道における水質計の研究開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社環境システム本部開発室担当部長。博士（薬学）。日本水環境学会会員，電気学会会員。

**横山　勝治**

水質計の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社生産技術センター機器技術研究所主席研究員。精密工学会会員。

**金川　直樹**

上下水道における電気・計装設備の設計・開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社水処理統括部GENESEED技術部。環境システム計測制御学会会員。

(3)　偏光解析法の採用により，木の葉など油以外の浮遊物による誤検知が少ない

(4)　フロートによる浮上設置と偏光比の測定により，波立ちの影響を受けない測定が可能

(5)　非接触光学系のため，汚れの影響が少なく，メンテナンスが容易

### 2.2　水質安全モニタ（MKⅡ）[6]

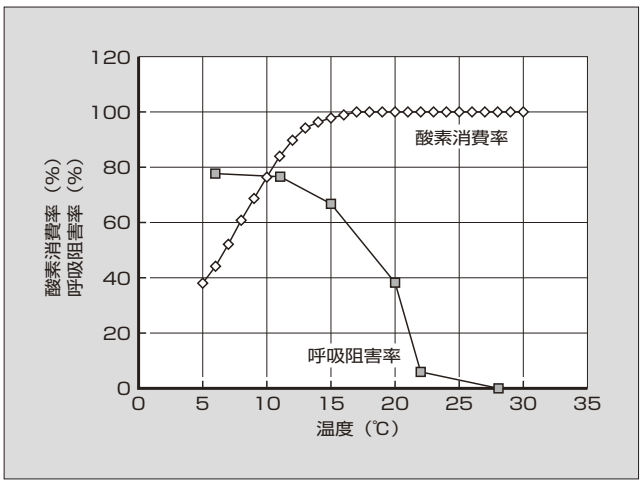
環境中に排出される可能性のある化学物質は多種類に及び，それぞれを個別に測定，監視することは技術的にも経済的にもきわめて難しい。そこで化学物質を生物への毒性作用として総括的に検知するバイオアッセイ法（生物学的監視法）が水質の安全性確認には有効と考えた。

水質安全モニタは有害化学物質に対して鋭敏な反応を示す硝化細菌を利用したバイオアッセイシステムであり，硝化菌の呼吸活性を常時モニタリングし，急性毒性物質混入の有無を検出する装置である。水質安全モニタは化学物質の量を測定するものではなく，毒性作用量（呼吸活性の低下）から毒性物質の有無を判定，出力する点が一般的な水質計器と異なる。

一般にバイオセンサは，使用する生物材料の長期安定性を保つために，至適 pH 条件，至適温度条件にて使用する。

図 2　油膜センサの外観

図 3　温度と酸素消費率と呼吸阻害率の関係




しかしながら，原水水質によっては，水質安全モニタの検出部である微生物膜内の硝化菌の活性や菌数が，水中に含まれる微量栄養成分によって変動し，毒物検知感度が変動する場合があることが分かってきた。

**図 3** に温度を変化させたときのセンサ部に固定化されている硝化菌の酸素消費率と，0.3％アセトン溶液（シアン 0.05 mg/L 注入時の阻害率に相当）を与えたときのバイオセンサの呼吸阻害率との関係を示す。

従来，水質安全モニタの運転条件としていた至適温度条件（30℃）一定では，酸素消費量率は見かけ上 100％（溶存酸素電極出力 0 mV）で飽和しているが，実際の硝化菌の活性はさらに上昇している場合もあると考えられる。一方，温度 15℃付近以下の低温領域では，酸素消費率が低下し，同時に呼吸阻害率が上昇傾向を示していることから，温度を下げることにより硝化菌の活性を抑制し，毒物検知感度を高められることが分かる。

そこで，より安定した毒物検知感度を確保することを目的とし，温度変動制御によって微生物活性度を一定範囲にコントロールする方法を採用し，さらにメンテナンス性を向上させるフルモデルチェンジを行った。

### 2.3　活性度コントロールのフィールドでの性能確認

微生物活性度制御システムを搭載した水質安全モニタ（MK Ⅱ）の性能確認を，財団法人水道技術研究センターの実施した環境影響低減化浄水技術開発研究（e-Water[6]）（2004 年 1 月～ 2005 年 3 月）の持込み研究にて実施した。結果を**図 4** に示す。本実験では 0.1 ～ 0.3％のアセトン水溶液を模擬毒物として使用した。

図中，水質異常警報レベルは，微生物の呼吸阻害率がしきい値（10％）以上になったときに毒物の混入があったと判断する呼吸阻害率のレベルを示す。実験期間中は常に毒物検知レベル以上の毒物検知感度を安定的に維持していることが確認できた。

水質安全モニタ MK Ⅱの外観を**図 5** に，水質安全モニタ MK Ⅱと従来器の比較を**表 1** に示す。

### 2.4　クリプトスポリジウムモニタの開発[7]

水道事業体ではクリプトスポリジウムなどの耐塩素性病原虫の検査が行われているが，その検査は大量の試料水

図 4　水質安全モニタ（MK Ⅱ）のフィールド実験結果

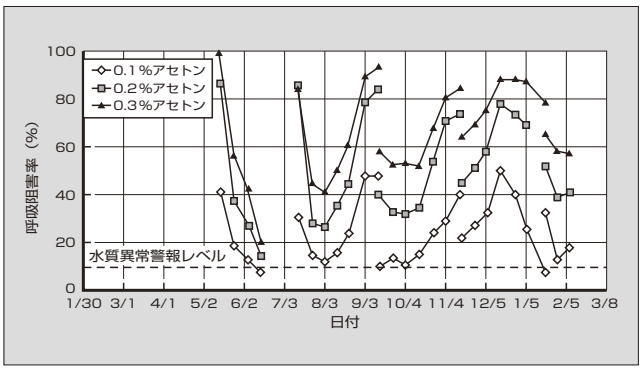


図5　水質安全モニタ MKⅡの外観

表1　水質安全モニタMKⅡと従来器の比較

| 項　目 | | MKⅡ | 従来器 |
|---|---|---|---|
| 微生物活性制御 | | あり | なし |
| 操　　作 | | POD | 専用キーボード |
| ヘルプ機能 | | あり | なし |
| 出力 | アナログ/接点 | 4～20mA×1<br>水質異常ほか10点 | 4～20mA×1<br>水質異常ほか10点 |
| | プリンタ | RS-232C | RS-232C |
| | メモリ | CFカード | なし |
| 標準保守周期 | | 2か月ごと | 1か月ごと |

表2　クリプトスポリジウムモニタ開発目標仕様

| 項　目 | | 目標仕様 |
|---|---|---|
| 分離濃縮 | 方　式 | クリプトスポリジウムオーシストを<br>炭酸カルシウム析出物とし凝集沈殿分離 |
| | 処理量 | 原水　20L/回/h |
| | 処理時間 | 1時間以内 |
| | 回収率 | 90%以上 |
| 測定 | 測定方式 | クリプトスポリジウムオーシストに選択的な<br>蛍光抗体標識・フローサイトメトリ法 |
| | 測定時間 | 2時間以内 |
| | 検出能力 | 1個/100mL |

を用い，煩雑な操作で測定に時間がかかり，熟練を要する方法である。そこで，原水中のクリプトスポリジウムの個数濃度レベルを迅速に把握できれば浄水プロセスの凝集沈殿ろ過プロセスの運転管理に反映させることが可能であると考え，クリプトスポリジウムモニタの開発を進めている。開発目標仕様を**表2**に示す。

## 3　凝集沈殿・ろ過プロセス

### 3.1　高感度濁度計シリーズ

埼玉県越生町で1995年に発生した耐塩素性病原虫クリプトスポリジウムよる集団感染事故を契機に1996年，厚生労働省から「クリプトスポリジウム対策暫定指針」（以下，暫定指針と記す）が通知された[8]。

この暫定指針では凝集沈殿・ろ過プロセスにおいて，ろ過水濁度を指標として適正に運転管理することを定め，ろ過池出口水濁度を0.1度以下に維持するよう求めており，これに対応すべく高感度濁度計を開発，製品化した。

### 3.2　高感度濁度計シリーズの特長

測定原理は富士電機独自の「前方散乱光微粒子カウント方式[9]」であり，指針対策のための高感度濁度計（ZYU）の発売以来，現在では標準器である高感度濁度計（ZYU-MKⅡ）ハイエンドモデルであるハイブリッド微粒子カウンタ（ZVL），水質試験室用に卓上型ハイブリッド微粒子カウンタ（ZVM）の3機種をそろえている。

本シリーズの最大の特長は，微粒子の平均個数濃度を濁度と同時に測定できることである。濁度だけではなく原虫相当である3μm以上の微粒子の平均個数濃度を管理することで，より信頼性の高いろ過池の管理が可能となる。現在までに700台以上の出荷実績がある。

このほかにもメンテナンスが簡単，マスフローコントローラ搭載により安定した測定が可能などの特長がある。

## 4　浄水・配水プロセス

### 4.1　トリハロメタン計

塩素消毒の副生成物であるトリハロメタンについて，2004年に改正された水道法では，総トリハロメタンに関して，省略ができない項目とされ，3か月ごとの検査を義務づけられており，測定法としては一般に，パージトラップ－ガスクロマトグラフ－質量分析法（PT-GC-MS法）が用いられている[2]。この測定法は，測定作業が煩雑で結果を得るまでに時間を要し，作業に熟練が必要で分析精度に個人差が生じるため，プロセス管理へ迅速に反映させることが難しい。

このため富士電機は，膜分離-蛍光計測を測定原理とし，簡単な操作で自動計測可能なトリハロメタン計を開発し，水道向けに展開してきた[10]。

近年，水道水質への一般消費者の関心が高まっていることから，浄水場での水質を管理する用途にとどまらず，水道水を原料として利用する飲料工業などへの用途の拡大を目指し，より低価格で使いやすい新型器の開発を進めている。

### 4.2　トリハロメタン計の課題と主な改良点

トリハロメタン計は，試料水からトリハロメタンを揮発させて分離する分離部と，分離したトリハロメタンとアルカリ性ニコチン酸アミドを反応させる反応部および反応部で生成した蛍光物質の蛍光強度を測定し，トリハロメタン濃度を求める測定部から構成される。トリハロメタン計の測定フローを**図6**に示す。

図6　トリハロメタン計の測定フロー

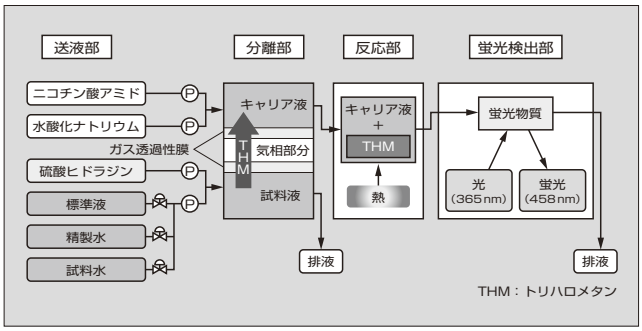



表3　新型トリハロメタン計と従来器の比較

| 項　目 | | 新型器 | 従来器 |
|---|---|---|---|
| 操　作 | | タッチパネル | 専用キーボード |
| 本体構成 | | ユニット構成 | 一体構成 |
| 保守 | 試薬濃度 | 12.5％ | 25％ |
| | 試薬流量 | 0.4 mL/min | 0.5 mL/min |
| | 光源寿命 | 1年 | 2か月 |
| | 校正周期 | 2週間ごと | 2週間ごと |
| | 試薬補充期間（最大） | 約2か月 | 約1か月 |

今回の改良目的の一つはメンテナンスコスト削減であり，このため検出部の光源の見直しによる長寿命化，分離部のガス透過性膜長寿命化，試薬使用量の削減を開発課題とした。以下に検出部の開発について述べる。

### 4.3　検出部の開発

現行器では，測定波長365 nmの励起光を得るためにHg-Xe（水銀－キセノン）ランプを使用している。初期開発時（1988年ごろ）は，他に当該波長の紫外線を出力できる発光デバイスがなかった。Hg-Xeランプは励起波長が広帯域であり，さらに発熱量も多かったことから，高圧電源および大型放熱フィンや波長選択，熱遮へい光学フィルタなどが必要で部品点数も多く構造が複雑であった。また，励起光強度安定化のためには連続点灯仕様である必要があり，このためランプ寿命が短く，トリハロメタンの連続計測を行う場合，光源ランプ交換が頻繁に必要となった。

近年，紫外ダイオード（以下，紫外LEDと記す）が開発されたので，これを新たな光源として採用した。紫外LEDは長寿命・小型・低コストであるうえに，従来光源以上の輝度（4倍）を持ち，発熱量がきわめて少なく（1/20倍），励起波長帯域の選択性が高い，光源の面積が小さいなどの特長を持つ。これにより，光学系に熱遮へい光学フィルタや波長選択性フィルタを必要としない比較的簡単な構造となった。

この結果，検出部は，容積比で1/5，寿命で6倍以上であり，光源部のメンテナンスコストは1/6以下と大幅に低下した。

### 4.4　新型トリハロメタン計と従来器の比較

**表3**に新型トリハロメタン計と従来器との比較を示す。検出部のほか，分離反応部に使用する分離膜に複合構造の新素材を採用し，物理的強度を向上させつつ，膜面積を広く取る構造となるよう見直し，高感度化を可能とした。

試薬濃度を従来の1/2としても従来器と同等以上の感度を得ることができるようになり，試薬消費量を削減することができた。

### 4.5　トリハロメタン計の具体的用途

トリハロメタン計は規制対象となっているトリハロメタン量の確認だけではなく，得られた測定値から以下のような用途や制御に適用でき，管理費の低減に実績をあげている。

(1)　塩素注入の適正化
(2)　粉末活性炭の投入量の適正化
(3)　粒状活性炭の性能評価

## 5　あとがき

新製品を中心に富士電機の特徴ある水質計を紹介した。

今後も新たな水質計の開発を目指し，浄水設備や飲料工場などの水質管理に貢献していく所存である。

### 参考文献

(1)　WHO（世界保健機構）. Guidelines for Drinking-Water Quality（3rd edition）. 2003.
(2)　厚生労働省健康局水道課．新しい水質基準等の制度の制定・改正．http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/seido.html
(3)　日本水道協会．日本の水道の現状（水道水源の状況）．http://www.jwwa.or.jp/frame02.html
(4)　日本水道協会．突発性水質汚染の監視対策指針．2002, p.33-37.
(5)　金川直樹ほか．油膜センサを用いた浄水場沈砂池における油流入の連続自動監視．EICA. vol.7, no.2, 2002, p.187-190.
(6)　横山勝治ほか．バイオセンサを用いた水質監視装置の開発．第56回全国水道研究発表会講演集．2002, p.560-561.
(7)　田中良春ほか．クリプトスポリジウムの自動測定に関する基礎研究．第57回全国水道研究発表会講演集．2006, p.658-659.
(8)　厚生労働省健康局水道課．水質関係情報（水道におけるクリプトスポリジウムの暫定対策指針）．http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/jouhou/suisitu/c2.html
(9)　山口太秀ほか．上水用ワイドレンジ微粒子粒径分布の計測技術．第52回全国水道研究発表会講演要旨集．2001, p.650-651.
(10)　多田弘，大戸時喜雄．トリハロメタンの検出と低減化技術．富士時報．vol.71, no.6, 1998, p.342-346.

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。