

環境水質（湖沼・河川・上水）を見守るセンサ技術

青木 隆（あおき たかし）

平岡 睦久（ひらおか むつひさ）

菊池 智文（きくち さとふみ）

① まえがき

近年、公共用水域の水質が悪化する一方、公共事業経営の効率化が求められ、2001年の水道法改正には水道事業の管理体制の強化を趣旨とする「運転管理や水質管理等、高い技術力を要する業務についての第三者への業務委託の制度化」が盛り込まれた。これらの改正では、民間活力の導入を含めた効率的な取組みによる経営基盤の強化が期待されている。そして、その実現に向けて複雑化、高度化する水質問題に対して高度な水質管理を安全でかつ効率よく行うため、富士電機では、センサ技術とセンサを用いた水質ソリューション技術を開発している。

② 水質管理強化に対する富士電機の取組み

最近の水質問題は、水質汚染対策（突発性水質事故、富栄養化による毒性藻類、農薬、内分泌かく乱物質、有機化学物質による地下水汚染）、浄水処理における残留アルミニウムの低減、消毒副生成物の低減、クリプトスポリジウムなどの病原性微生物のリスク管理など多様化している。

富士電機では、これらの課題に対し、さまざまな水質センサを開発し、自動監視による水質の安全管理とモニタリングの省力化・低減のためのソリューション技術を提供してきた。既報告のセンサとしては、毒物などによる突発性水質事故を監視する水質安全モニタ、浄水処理における凝集剤の最適注入（残留アルミニウムの低減）制御に寄与する凝集センサ、消毒副生成物のトリハロメタンを監視するトリハロメタン計、給水の多項目水質（色、濁り、残留塩素、pH、電気伝導率など）を遠隔監視する給水水質モニタなどがある。

以下、新たな水質管理を可能にする新開発のセンサ群として、クリプトスポリジウムなどの病原性微生物の汙過池漏えい管理を行うハイブリッド形微粒子カウンタ、消毒副生成物の生成予測と管理を行うためのトリハロメタン生成能計、原水の突発性油汚染事故の監視を行う油膜センサについて紹介する。

③ ハイブリッド形微粒子カウンタ

浄水場汙過池出口にて、濁度と微粒子を測定する高感度濁度計シリーズは、発売以来多くの実績を残してきた。

これまで厚生省（現厚生労働省）発令の「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」に基づき、汙過池出口濁度を0.1度以内に維持・管理することが求められていた。さらに最近では、欧米をはじめとして、ジアルジア（5～15μm）やクリプトスポリジウム（4～6μm）などの原虫対策として各粒径ごとの微粒子漏えい管理、汙過池閉そくの原因となる藻類（数μm～100μm）の管理が注目されている。

しかし、従来機の高感度濁度計（MK2）は、微粒子の測定区分が制限されていたため、ジアルジア、藻類などの比較的大きな粒子の測定には、対応が不十分であった。

また、浄水場汙過池出口の微粒子漏えい対策として推奨されている膜処理施設の膜破断検出が重要な課題となってきた。

富士電機では、これらの課題に対応するため新しい測定

図1 ハイブリッド形微粒子カウンタの外観



青木 隆
上下水道電気計装システムの設計・開発に従事。現在、電機システムカンパニー環境システム本部水処理システム事業部企画設計部副参与。



平岡 睦久
光応用計測器、水質計の研究開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所機器技術研究所主任研究員。



菊池 智文
発信器の設計、環境計測のシステム開発に従事。現在、電機システムカンパニー環境システム本部環境システム事業部環境システム技術部。

図2 光学系と装置の構成

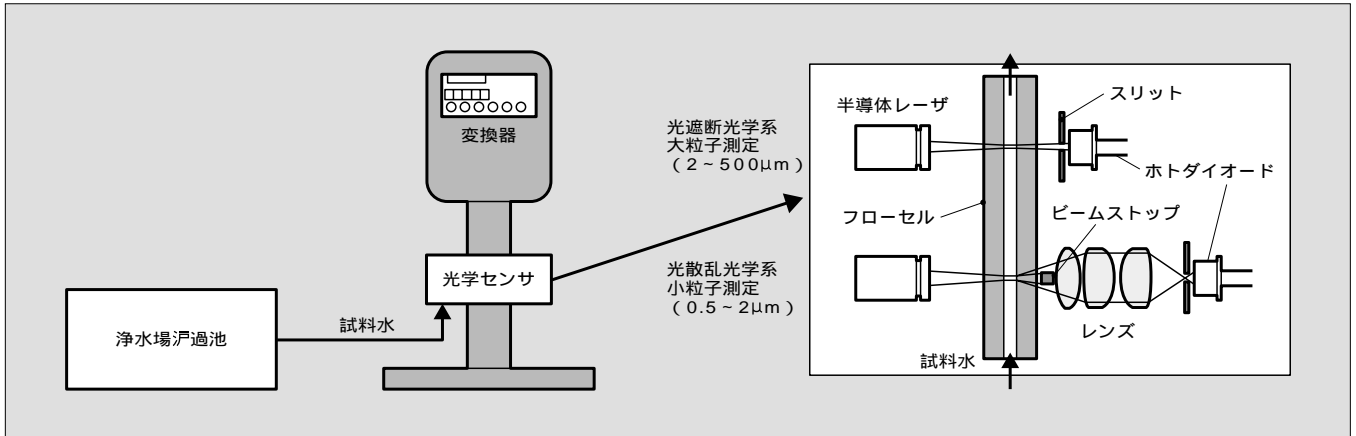


表1 ハイブリッド形微粒子カウンタと従来機の仕様比較

製品名 項目	ハイブリッド形微粒子カウンタ	高感度濁度計 (MK2)
測定方式	光遮断・前方散乱	前方散乱
測定粒径	0.35 ~ 500 μm	0.35 ~ 10 μm
設定粒径	0.5 ~ 100 μm の範囲で10区分可能	0.5, 1, 3, 7 (μm)
濁度測定	0 ~ 2.0000 (mg/LまたはFTU)	

方式である光遮断・前方散乱ハイブリッド光学系を採用し、測定する微粒子の粒径区分の見直しと大粒径粒子の測定を可能としたハイブリッド形微粒子カウンタを開発した。図1に外観を示す。

3.1 測定原理

図2に測定原理（光学系と装置の構成）を示す。

従来機種で採用していた前方散乱光方式では、高感度化のためにレーザービームを細く絞って粒子に照射しており、小粒径の粒子の測定には適していたが、大粒径の粒子の測定を不得意としていた。本装置では、前方散乱光方式と大粒径の粒子の測定に適した光遮断方式との組合せにより測定範囲の拡大と高精度化を実現している。

光遮断方式は、レーザーから照射された幅の広いビームを、フローセルに通過させ、ホットダイオードで受光する。このときビーム中を微粒子が通過すると光が遮られ、ホットダイオードで受光する光量が低下する。光電変換された電気信号はパルスとして観測され、電子回路にてこのパルスの波高が粒子径に、パルス数が粒子数に変換される。

また、本方式は幅の広いビームを粒子に照射しているため、大粒径の粒子も精度よく測定できる。

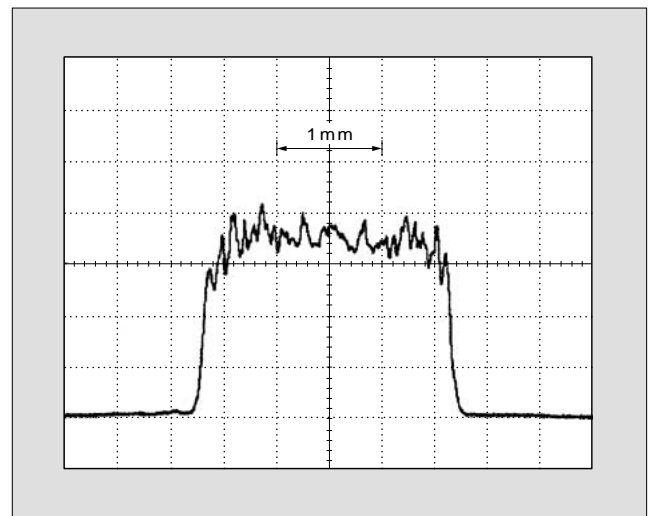
3.2 仕様

表1にハイブリッド形微粒子カウンタと従来機の仕様比較を示す。

3.3 特長

- (1) 1台で藻類相当径の微粒子個数と低濁度が測定可能
- (2) 大粒径粒子の測定が可能であり、欧米形の粒径区分に

図3 レーザのビームプロファイル



対応した粒子監視が可能

- (3) 粒径範囲が自由に変更可能（最大10区分）
- (4) 光学系に特殊レンズを採用し、光ビームの分布を均一化、高精度な粒径測定を実現（図3参照）

3.4 応用システム

本センサを使ってクリプトスポリジウム漏えい防止のため、汚過池の管理、制御を検討中である。具体的には、本センサの出力を基に汚過池逆洗浄のタイミング制御、逆洗浄後の捨水時間制御、逆洗浄時における通水流量のスタート・スローダウン制御の最適化である。

④ トリハロメタン生成能計

水源二法の施行以来、水道水源や産業排水などの有機物汚濁指標として、トリハロメタン生成能の測定が重要視されている。トリハロメタン生成能とは、一定条件下で試料水の塩素処理（前処理）により生成するトリハロメタン量のこと、フミン質などトリハロメタン前駆物質量の指標となるものである。

トリハロメタン生成能の公定試験法(上水試験方法など)

は、手分析法であり、操作が煩雑である、分析に時間がかかる、微量分析であり熟練を要する、などの課題があり、リアルタイム監視には不向きである。

また、トリハロメタン生成能の代替指標として E260、TOC（全有機性炭素量）、COD（化学的酸素要求量）があるが、水質変動時に公定試験法との相関が低いなどの問題点がある。

富士電機は、浄水の総トリハロメタン濃度を短時間かつ全自動で計測するトリハロメタン計を製品化しており、現在、本製品を応用し世界初のトリハロメタン生成能計を開発中である。図 4 に外観を示す。

4.1 測定原理

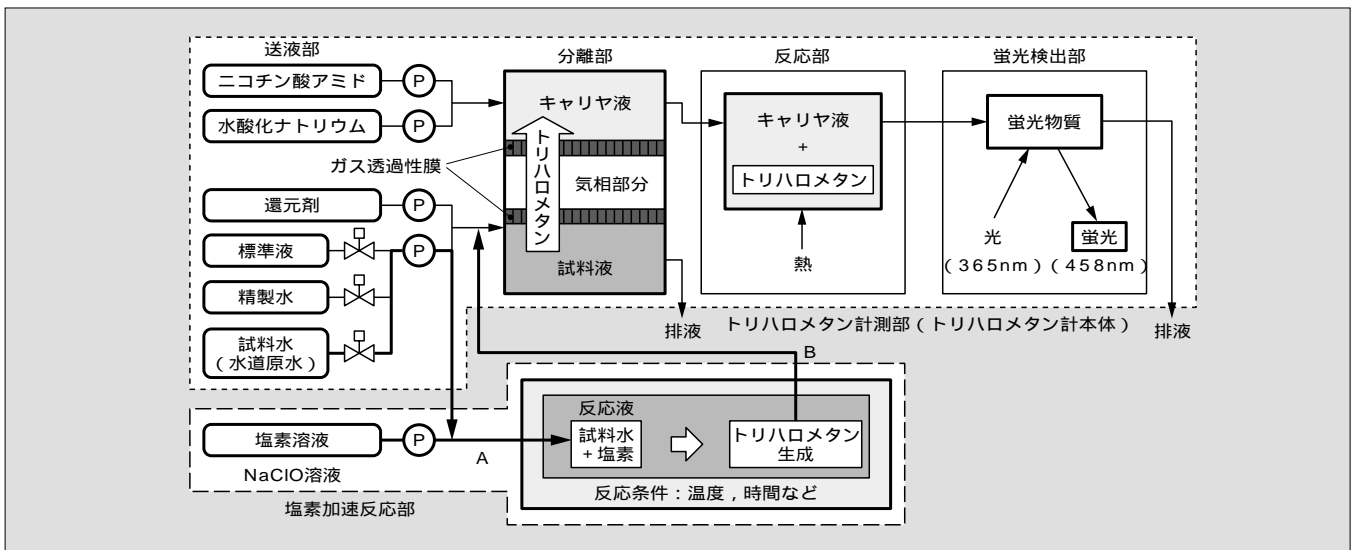
図 5 にトリハロメタン生成能計の測定原理を示す。

本装置は、大きく二つのユニットで構成されている。塩素加速反応部は、試料水と高濃度塩素（次亜塩素酸ナトリ

図 4 トリハロメタン生成能計の外観



図 5 トリハロメタン生成能計の測定原理



ウム溶液)の混合液を塩素反応器にて高温で反応させ、短時間で安定したトリハロメタンを生成するユニットである。トリハロメタン計測部は、先に紹介したトリハロメタン計で使用している膜分離-蛍光計測法により水中のトリハロメタン濃度を計測するユニットである。本計測部ユニットでは、水中の残留塩素を還元剤で分解後、トリハロメタンを膜分離し、キャリア液（アルカリ性ニコチン酸アミド溶液）との反応で生成される蛍光物質の蛍光強度を測定することにより、水中のトリハロメタン濃度を間接的に求めている。

4.2 仕様

表 2 に本装置の仕様と公定試験法との比較を示す。

切換により原水のトリハロメタン生成能計測のほか、浄水中のトリハロメタン濃度の測定も可能である。

4.3 特長

- (1) pH 調整などの前処理が不要で自動連続計測が可能

表 2 トリハロメタン生成能計仕様と公定試験法との比較

項目	分類	公定試験法	トリハロメタン生成能計 (達成仕様)
塩素反応条件	方式	バッチ式 (手動)	連続自動フロー式
	塩素濃度	残塩 1 ~ 2 mg/L となる濃度 (不定)	0.05% (一定)
	温度	20	70
	反応時間	24 ± 2 時間	6 分
	pH	pH7	pH調整不要
分析条件	方式	バッチ式 (GC法)	トリハロメタン計測部 (自動)
	前処理	20 , pH7 で 1 時間	不要
	分析時間	1 時間程度	約 45 分
合計測定所要時間		約 2 日間 (前処理 + GC 分析)	1 時間 (塩素加速反応部 + トリハロメタン計)
測定範囲		-	0 ~ 200 µg/L 公定試験法クロロホルム当量

- (2) 公定試験法に比べ非常に短時間で測定が可能
- (3) 公定試験法との相関が良好（フィールドテストの結果、公定試験法との相関はトリハロメタン生成能の代替水質である E260, TOC, COD などよりも相関が高かった。）

4.4 応用システム

本装置から得られるトリハロメタン生成能計測値を基に、以下の応用システムの研究・開発を進めており、計測の自動化だけでなく、トリハロメタンの生成を抑える処理を実行する制御システムを検討している。

- (1) 前塩・中塩処理切換ガイダンスシステム
- (2) 粉末活性炭の自動注入システム

5 油膜センサ

水道原水である河川の水質事故の 80% 近くは、油流出事故であり、浄水場の取水停止や下流の生態系の破壊という重大な被害を引き起こす。油事故の原因は、工場・事業所などの人的ミスが最も多く、次に交通事故、不法投棄と続く。いずれも予測が難しく、夜間・休日の事故は発見するまでに時間がかかるため、油事故を24時間連続監視することが望まれる。また、油は拡散しやすく、被害が急速に広がるため、拡散した初期の微量な油を早期に発見可能な、高感度のセンサが必要とされている。

さらに、河川、取水口などの監視場所は、管理事務所から離れた場所にあることが多く、メンテナンスの容易なセンサが要求されている。

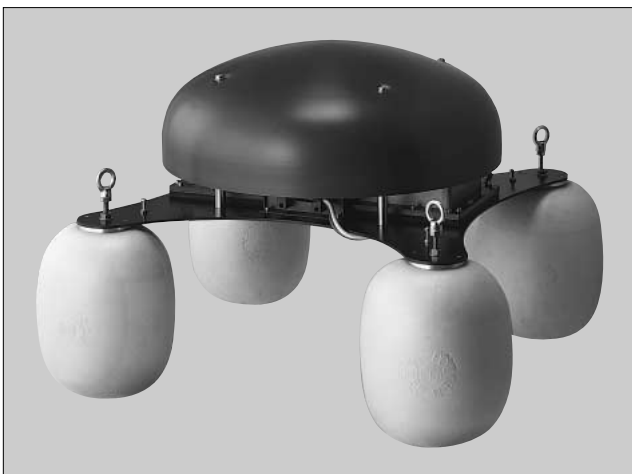
富士電機は、偏光解析法という独自の原理により、目視限界を上回る 0.05 μm の膜厚感度で、波や風の影響なく、非接触で簡便に油膜を検知できるセンサを開発した。図 6 に油膜センサの外観を示す。

5.1 測定原理

図 7 に油膜センサの測定原理を示す。

レーザー光線を油膜の浮遊する波立った水面に斜めから照射する。レーザー光線は、紙面に垂直な振動方向の S 偏光成

図 6 油膜センサの外観



分と、紙面に平行な P 偏光成分の 2 成分から成る。反射光の P 偏光成分と S 偏光成分を光分離素子で分離し、P 偏光成分と S 偏光成分の光量比（偏光比）を算出する。この偏光比は水と油膜で異なるため、これにより油膜を検知できる。

油膜センサにはメンテナンスの容易さが要求されるため、非接触な測定原理にこだわりレーザー計測法を採用した。しかし、従来の反射強度によるレーザー計測では、水面が波立っている場合、光が水面で乱反射し、反射光量がばらつくため、測定が不安定になるという問題があった。しかし、本原理では、P 偏光成分と S 偏光成分の光量比（偏光比）をモニタしているため、S 偏光成分と P 偏光成分の光量のばらつきは、除算の過程でキャンセルされる。したがって原理的には、水面の波の影響を受けず、常に安定で高感度な測定を行うことができる。これにより、目視感度を超える 0.05 μm という高い膜厚感度でかつメンテナンスの容易なセンサを実現した。

5.2 仕様

油膜センサの概略仕様を表 3 に示す。

5.3 特長

- (1) 重油類、灯油、絶縁油、エンジンオイルなど、さまざまな種類の油膜を検知できる。
- (2) 目視を上回る高感度（膜厚感度：A 重油 0.05 μm ）で

図 7 油膜センサの測定原理

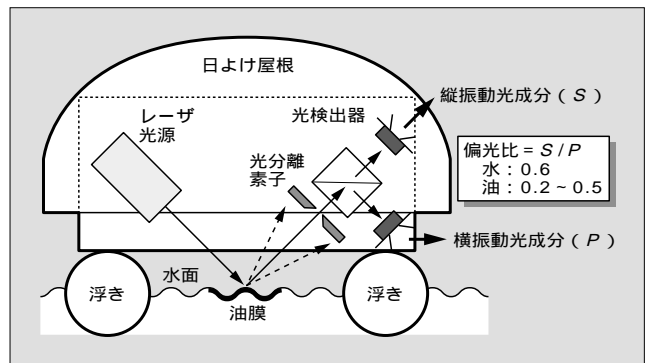
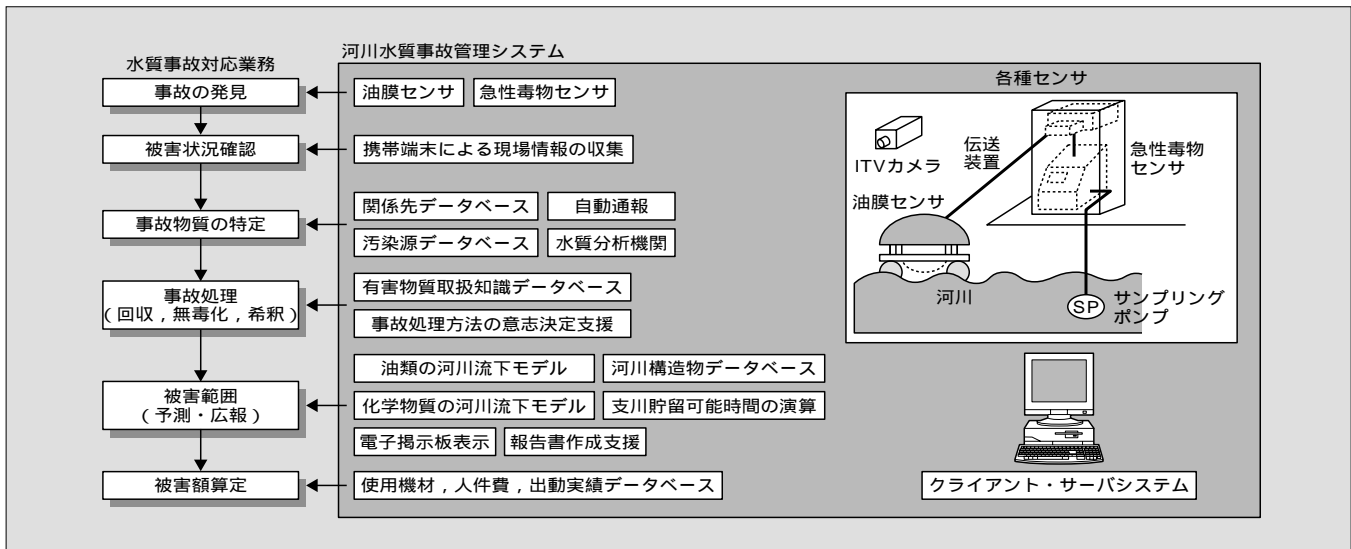


表 3 油膜センサの概略仕様

項目	仕様
検出対象	水面上の油膜
測定方式	レーザー偏光解析法
検出感度	A 重油 0.05 μm 膜厚相当以上
検出油類	重油類、軽油、灯油、機械油、エンジンオイルなど 検出部を連続して1分以上流れる油膜
周囲温度	- 5 ~ + 45 （凍結なきこと）
試料水条件	温度：0 ~ 35 （凍結なきこと） 流速：0.5 m/s 以下 波：振幅 10 cm, 波長 1 m 以下 風：8 m/s 以下
電源	AC100 V, 500 VA 以下（ヒータ含む）
外形寸法	835 x 835 x 589 (mm)

図8 河川水質事故管理システム



ある。

- (3) 非接触測定であり，汚れの影響が少なくメンテナンスが容易である。
- (4) 原理的に，水面の波立ちの影響を受けにくい。
- (5) 応答時間が3分以内と速く，迅速な事故対応が可能である。

5.4 河川水質事故管理システム

一度，水質事故が発生すると，迅速かつ確な対策により，被害を最小化しなければならない。そのためには，油膜センサ，毒物センサなどの水質事故検知センサと各種業務支援システムを組み合わせた，河川水質事故管理システムが有効である（図8）。

本システムは，各種センサにより水質事故を早期に発見し，関係機関先へ通報する。そして，汚染源のデータベース（DB）検索，水質分析機関 DB 検索機能を使用し，事故物質の特定を支援する。さらに，事故処理方法 DB 検索，処理機材 DB 検索，被害範囲予測，被害額算定などの機能により事故処理業務を支援する。これらにより，河川水質事故という不測事態の被害を最小化できる。

⑥ あとがき

以上，3種類の環境水質センサを紹介した。富士電機で

は，これからも特長あるセンサの開発を進めるだけでなく，他のセンサやIT（Information Technology）との組合せによりトータルの環境モニタリングシステムならびに水質の改善やモニタリングの省力化を図るソリューション技術を提供していく所存である。

参考文献

- (1) 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．全国水道研究発表会講演集．2001．
- (2) 船水尚行ほか．低濃度濁度計の基礎的性能評価に関する研究．水道協会雑誌．no.792，2000．
- (3) 川上幸次ほか．トリハロメタン生成能自動測定装置の開発．第51回全国水道研究発表会．2000．
- (4) 川上幸次ほか．トリハロメタン生成能の迅速・自動計測．学会誌「EICA」．vol.5，no.1，2000，p.153-158．
- (5) 平岡睦久ほか．偏光解析法による油膜センサの開発．第50回全国水道研究発表会講演集．1999．
- (6) 讃岐育孝ほか．河川および取水口監視のための偏光解析型油膜センサ．第12回環境システム計測制御（EICA）．研究発表会論文集．vol.5，no.1，2000，p.167-172．
- (7) 多田弘ほか．河川水質管理システム・給水水質モニタリングシステム．富士時報．vol.70，no.6，1997，p.307-313．



*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。