

水源から給水までの水質情報監視システム

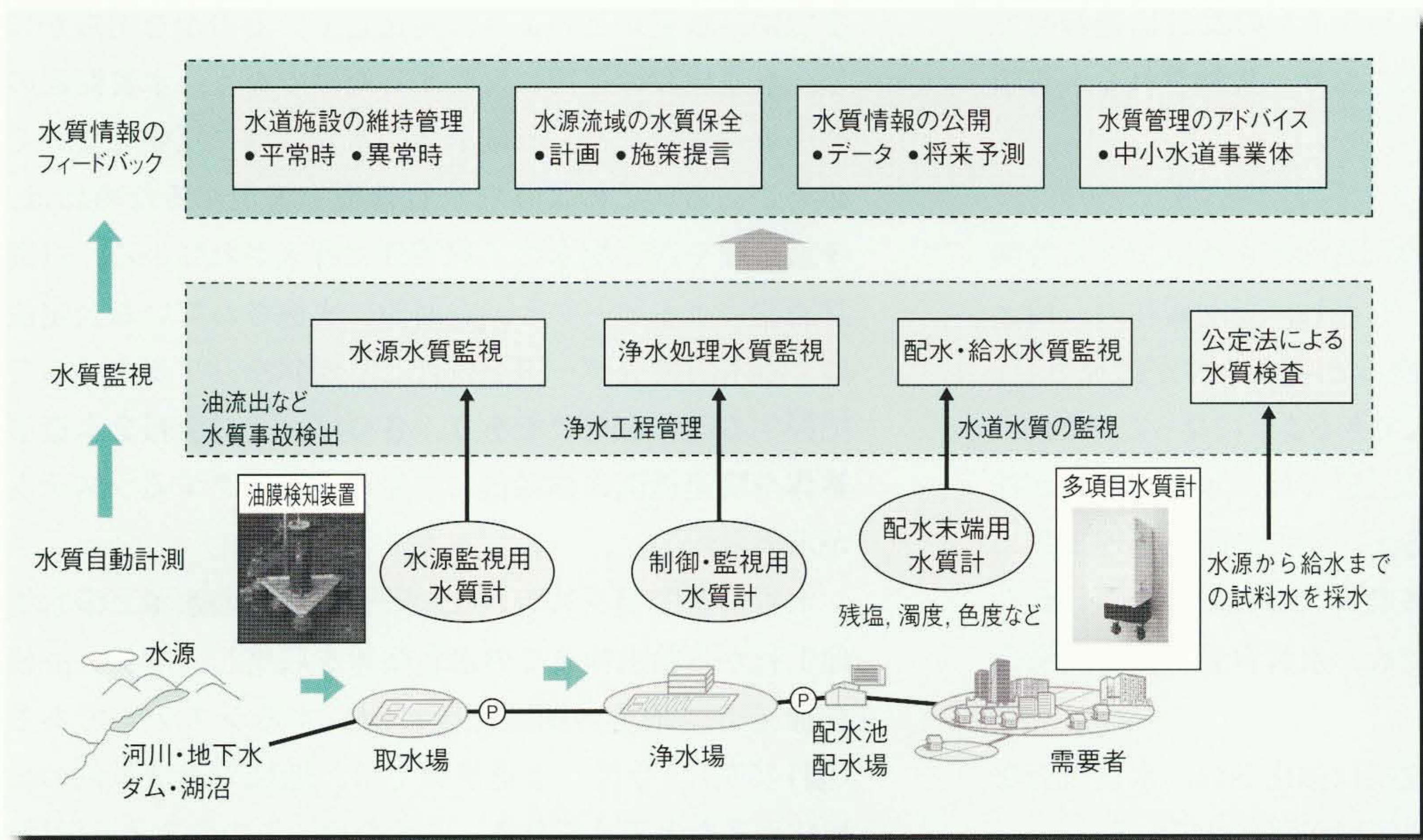
Information Systems for Monitoring Water Quality

原 直 樹 Naoki Hara

早稲田邦夫 Kunio Waseda

齊 藤 功 治 Kôji Saitô

植 松 郁 雄 Ikuo Uematsu



注：略語説明
P (ポンプ)

監視システムによる水質情報の一元管理

日立製作所は、油膜検知装置などの水質事故検出装置や、小型の多項目水質計などの自動計測技術を適用し、水源から給水までの水質情報を監視するシステムの開発に取り組んでいる。

21世紀を目前に控え、水道水質基準の強化、規制緩和や情報公開など、水道事業を取り巻く環境は大きく変化している。今後も水道は、重要な社会基盤施設として、計画的な施設の拡充はもとより、効率的な維持管理によって高度化・多様化している市民ニーズに的確にこたえ、安全で良質な水道水を供給する役割を担っている。

日立製作所は、水道を取り巻くこのような環境変化に対応し、さらに高水準な水質管理を可能にするために、水源から浄水処理工程、給水までの水質を一元的に管理する「水質情報監視システム」の開発に取り組んでいる。

1 はじめに

明治20年(1887年)に創設された近代水道は、100年を超える歴史を背景に、生活や都市活動に不可欠な水を供給する重要な都市基盤施設となっている。経済活動の高度化により、水道水源である公共用水域の汚濁は複雑化の様相を示し、水道水質に対する市民ニーズも高度化、多様化するなど、水道を取り巻く社会環境は大きく変化している。厚生省は、水道基本問題検討会を組織し、「21世紀における水道及び水道行政のあり方」をまとめ、この中で、歴史上前例のない「情報化時代」の到来という新しい時代背景を踏まえ、「需要者の視点」、「自己責任原則」、および「健全な水循環」の三つを基本的視点に置いた提言を示した¹⁾。

河川などの公共用水域から取水された原水は、水道施設によって水道水に変わり、使用後の水は下水道を経て再び公共用水域に戻される。水道はこのような水循環の

流れの一構成要素に位置づけられており、安全に飲用できる水を供給するためには、流域全体に視点を置いた管理が求められる。そのためには水源から蛇口までの水量・水質情報を効率的に監視し、水道施設の維持管理の効率化や計画的な拡充を図ることはもとより、これらの情報の共有化と公開を積極的に進めることも重要である。

ここでは、日立製作所が水環境分野で長年培ってきた水質計測技術や水道施設の監視制御技術、情報通信技術を有機的に組み合わせることにより、水源流域、浄水処理工程から末端給水栓までの水質を管理する「水質情報監視システム」について述べる。

2 水質管理の動向とニーズ

2.1 水質基準の法規制動向

水質管理の基本となる水道水の水質基準は水道法に定められている。1992年には大幅な改正が行われ、合計85項目が水質基準と関連項目として設定された。また最

近, 内分泌かく乱化学物質の問題を踏まえ, 1999年には監視項目にダイオキシン類が加わるなど, 現在は92項目となっている。将来, 2003年に予定されているWHO(世界保健機構)の飲料水質ガイドラインの改訂に合わせて水質基準の見直しが予定されており, 規制される水質項目は今後も増加傾向にある。

2.2 水質検査の規制緩和

水道法第20条では, 水道の水質検査を委託できる機関を公益法人に限定していた。しかし, 規制緩和の一環として, 1998年に公益法人に限るという条件が撤廃され, 水道の水質検査に民間も参入できるようになった。また, 水質基準項目の検査方法(公定法)では, 水質検査員が採水し, 分析するとされているが, すでに浄水処理工程の計測制御には自動計測器が多数導入されている現状から見ると, 将来的には公定法でも, 水質自動計測器の導入が検討されるものと考ええる。

このように, 水質基準の規制は強化され, 水質検査など水道の運用については規制緩和が図られている。

2.3 情報公開

さまざまな分野での情報公開は大きな流れであり, 水道水質に関しても例外ではない。米国では水道に関する情報公開制度がすでに実施され, 規模の大小を問わずすべての水道事業体に対して, 水道水質の情報を需要者へ提供することが義務づけられた。わが国の水道でも, 情

報社会への対応能力が問われる時代になってきた。

2.4 水質情報の一元管理

安全な水を供給するためには, 水源から給水栓に至るまでに, 水質がどのように変化しているのかを明らかにし, 水道施設の運用に反映するだけでなく, 水質問題の解決策の提言など, 流域全体の水質管理に反映していく必要がある。このような水質管理を実現するためには, 浄水処理や送・配水の工程管理に導入されている, 自動計測器によるデータと, 定期的に行われている公定法による水質検査データを統合し, 現状をリアルタイムで把握することが重要であり, さらに, その情報を水道事業体や関連機関に体系的にフィードバックするシステムが求められる。

水質情報監視システムは, 監視地域内の水源と浄水処理工程から給水栓までの水質情報を収集し, 解析・評価を加えた結果を各関連施設に配信するシステムである(図1参照)。今後, 水道事業では, 地域や流域単位の広域化が進むと考えられる。このため, このシステムでは, 中核水道事業体や水質検査受託機関に水質管理センターを設け, 流域単位の水質管理を実施することを想定している。

基本となる水質情報は, 監視地域内に設置した水質自動計測器データと水質分析(公定法)による水質検査データである。河川などの表流水の水質は, 自然界の影響や

水質情報監視システム(中核水道事業体, 共同検査機関, 民間水質検査受託機関)

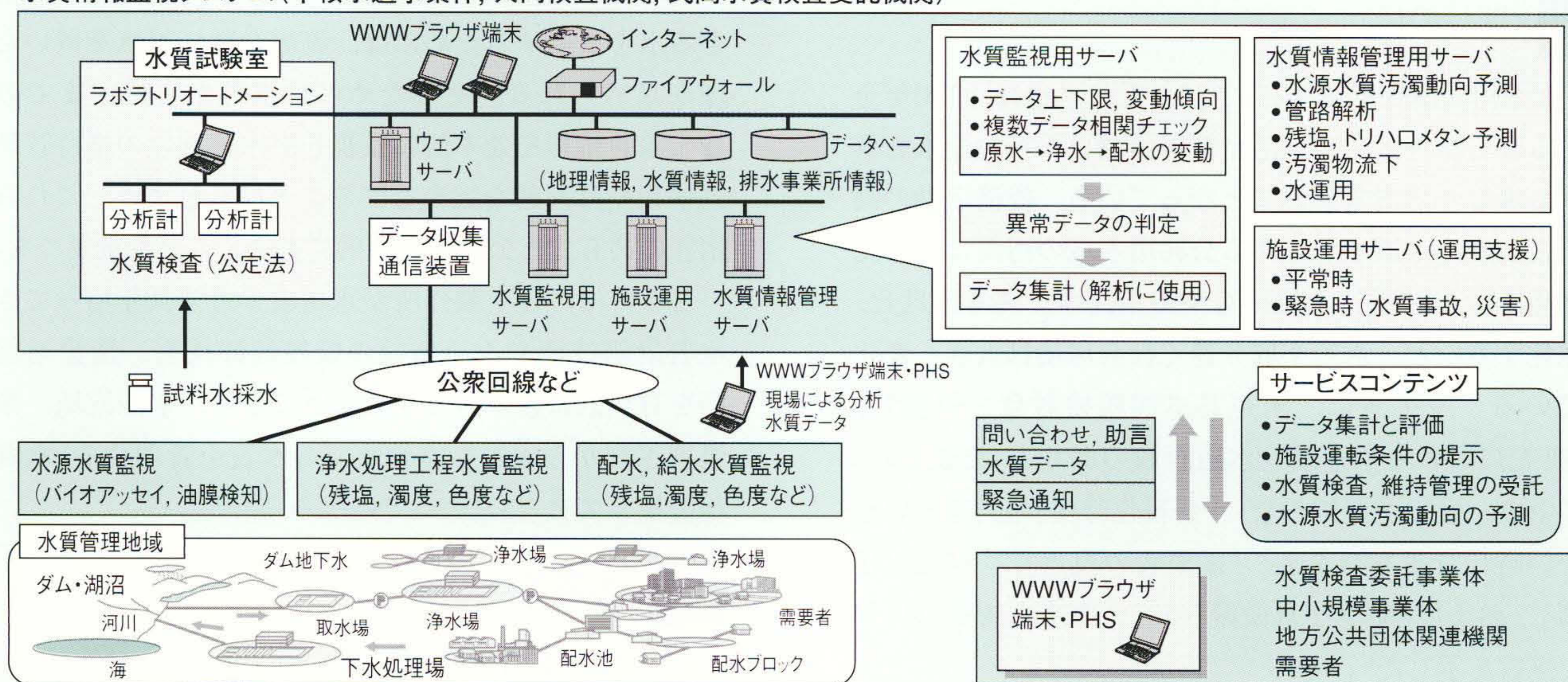


図1 水質情報監視システムの概要

水質情報監視システムは, 水質検査データと自動計測器によるデータを統合し, 現状をリアルタイムで把握するとともに, その情報を水道施設の運用や関連機関に体系的にフィードバックするシステムである。

突発的な水質事故の影響を直接的に受け、大きな変動を示すことから、これらを水源とする地域では、水質自動計測器によるリアルタイム監視が不可欠である。

また、地図情報や管路情報を利用したシミュレーションとのリンクにより、水道施設の運用評価、水質事故や災害時の緊急対応、水源保全に関する施策などについても検討できる。

ウェブや電子メールを活用して関連機関と水質情報の共有を図り、インタラクティブな情報の交換を行うことによって連携をいっそう深めることができる。また、市民に対しても、事業の内容や水道水源の汚濁、その潜在的な問題への水道事業体の対応などを水質情報とともに公開し、意見交換を通じて信頼関係を築いていくことが大切である。

このシステムでは、(1) 水源の水質変化や汚濁の兆候の検出と、(2) 配水管末端や給水栓水質の連続的計測が最も重要な技術と位置づけられ、これらによって水質状況を迅速に監視し、水道施設さらには水源管理にまで反映させることができる。

3 水源の水質情報監視

3.1 水源水質監視

水道水質の安全性確保のためには、水源水質保全を目的とした長期的な監視と、浄水処理の運用を目的としたリアルタイム監視の両面で監視体制の強化が求められる。特に、水源への油や薬品類の流入、毒物混入など突発的な水質事故の検出や、浄水処理の障害となる水質汚濁指標の連続的な計測情報は、迅速かつ的確な初動体制に欠かせない監視項目である。

日立製作所は、水質事故などへの迅速な対応を目的に油膜検知装置などを製品化し、浄水障害となるプランクトン類の計測技術についての開発も進めている。

3.2 油膜検知装置による油流出事故の検出

1998年の1級河川での水質事故発生件数は516件となっており、前年と比較して21%増加するなど、年々増加の傾向を示している。このうち上水道の取水停止に至った水質事故は32件であり、1997年の14件と比べて大幅に増加している。水質事故の発生時には、流出初期の迅速な対応が被害の拡大を防止し、効果的な対策をとるためにも必要である。しかし現状では、事故発見に多大な時間を要する場合も多い。

河川などの公共用水域で発生する水質事故の原因は多種多様であるが、水質事故全体の約85%が油類の流出と

なっており、早期検出が大きな課題であった。そのため、建設省土木研究所とともに平成8年度から3年にわたり、河川での油膜を検知する装置の共同開発を実施した。

油膜検知装置は、水面の反射率を発光ダイオード光によって計測し、反射率の高い油膜を検知するものである。開発に当たっては、実際の排水機場で約1年にわたる長期実験を行い、維持管理性などを検討した。この現地実験では、大きな浮遊物質の除去が可能なスクリーン設備が検知器前に設置されているという好条件下ではあるが、安定した長期計測が可能であり、高い精度で河川からの油流入を検出することができた。この装置の保守作業は半年に1回程度で十分であった²⁾。油膜検知装置のシ

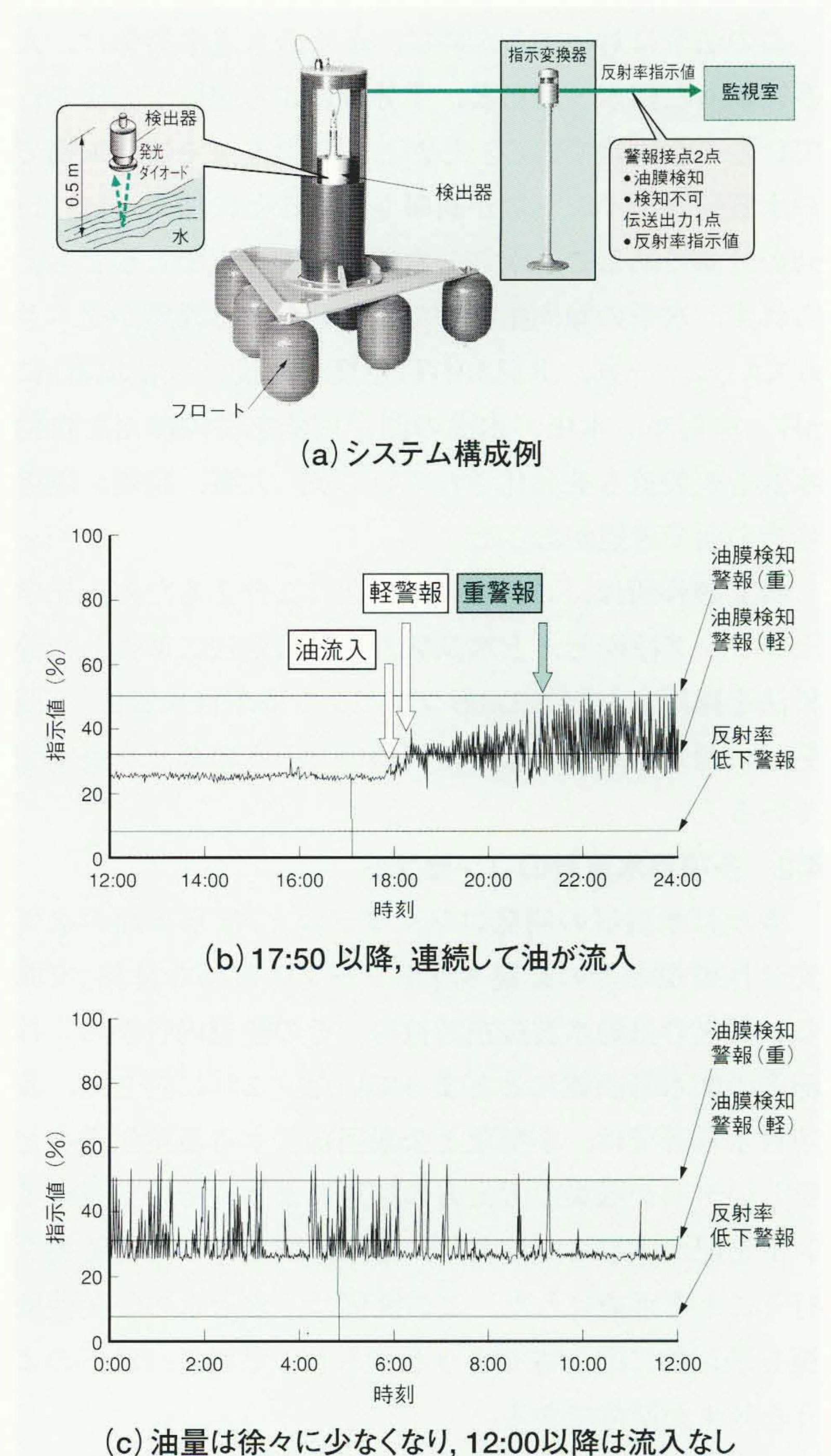


図2 油膜検知装置のフィールド実験結果

水面反射率測定と浮遊設置により、水位変動の影響を受けず、高感度で油膜を検出できる。トレンドグラフ[(b)、(c)]は、実河川での油流入の計測事例である。

システム構成例と油流入時の水面反射率増幅値のトレンド例を図2に示す。

4 配水，給水での水質情報監視

4.1 配水末端での水質監視の動向

水質にかかわる安全性の問題が社会にも関心を集め、O-157などの微生物や、トリハロメタンに代表される有害物質などの混入に対して、「安全でおいしい水」を確保するための配水や給水での水質監視が重要視されている。厚生省の水道法施行規則第15条では、「毎日1回色、濁り、並びに消毒の残留効果に関する検査を行わなければならない」と定めており、その測定場所として配水末端が含まれている。

この法令に対応するために、多くの水道事業体は、人手に頼った採水・運搬と、手分析による記録が実施されているのが現状である。しかし、この方法では、末端での水質監視ポイント数が制限されることに加え、1日に1回の計測であることから、水質データを点でしかとらえられず、水質の傾向把握ができないなどの課題が提示されている。一方、上記3項目(色度、濁度、残留塩素)にpH、導電率、水圧、水温の測定機能を付け加えた自動水質監視装置も製品化されているが、大型、高価、設置場所の面で課題があった。

日立製作所は、これらのニーズにこたえるため、光学センシング技術と、上水試験方法の公定法に準拠した分析法を採用した「AN530形コンパクト多項目水質計」を開発し、配水末端での水質監視のいっそうの普及を提案している。

4.2 多項目水質計のコンセプト

多項目水質計の開発コンセプトは、「配水末端の水質安全性監視とその監視ネットワークの容易な構築」である。従来の自動水質監視装置は、その監視内容から、幹線系の配水管設置にとどまっていた。これに対して、多項目水質計では、小型化と公衆回線による蓄積伝送など新しいデータ収集の考え方の採用により、その監視ポイントを配水末端まで拡大し、給水区域全体の水質監視を行うことを可能にした。この装置は、水道水の安全性監視を飛躍的に向上させようとするものであり、以下のような効果が期待できる。

(1) これまで1日1回の手分析によっていたデータをオンラインで収集でき、水質管理者の負担を軽減するとともに、各地域の水質の傾向がトレンドとして把握できる。その結果、残留塩素の均てん化、注入量の最適化による

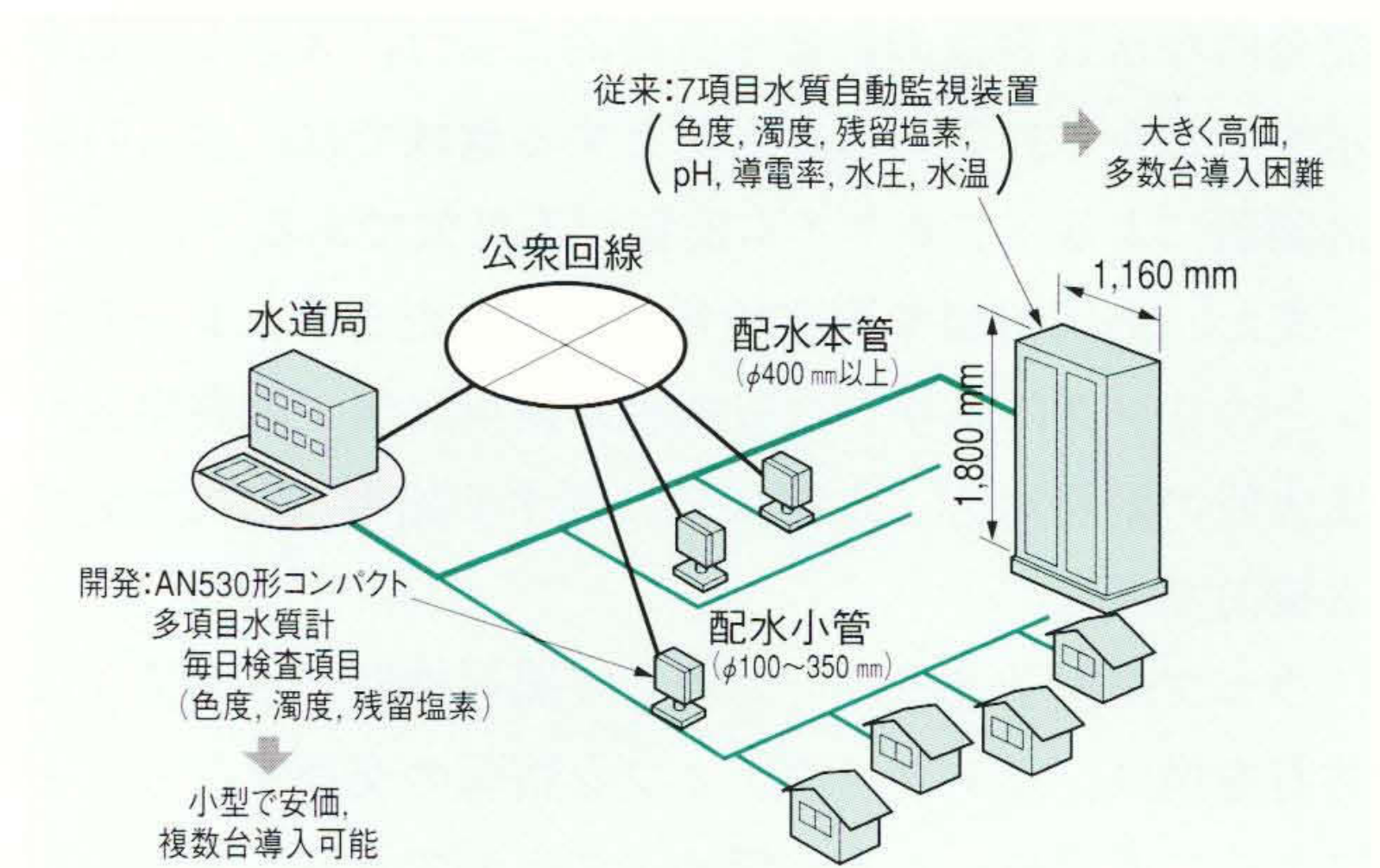


図3 多項目水質計の概念

小型化のメリットとして設置場所の制約緩和と、イニシャルおよびランニングコストの低減が見込まれる。

消毒副生成物の低減など、きめ細かい水質管理と安全監視が可能となる。

(2) 需要者からの水質に関する問い合わせに即座に対応でき、情報公開のスピードアップにつながる。

(3) 配管網上の複数個所の情報が得られるため、災害発生時の管路状態の把握や、異常個所の摘出などを迅速に行うことができる。

(4) 小型化のメリットとして、設置場所の制約緩和、工事費や電気料金、試料水量の低減など、イニシャルおよびランニングコストの低減が見込まれる。

この装置は、単に水質計の小型化と低価格の実現にとどまらず、今後の給水栓末端での新しい水質監視の一つのソリューションとして位置づけられるものと考えている。監視の概念を図3に示す。

4.3 多項目水質計の新技术

多項目水質計の特徴は、A4サイズとコンパクトなことであり、日立製作所従来製品比で容積が約 $\frac{1}{100}$ 、使用水量が $\frac{1}{1,000}$ （使用条件によって異なる。）、使用電力で約 $\frac{1}{50}$ などのほかに、残留塩素、色度、濁度の3項目をオンライン計測することである（図4参照）。これらは、下記のような幾つかの新技术によって実現した。

(1) 分析セルの小型化とマイクロFIA技術

この装置では、分析に必要なミキサや、反応容器、検出器といった一連の構成要素をマイクロセルに集約、一体化し、このセルをベースとしたマイクロFIA (Flow Injection Analysis^{※1)}) 技術の導入により、水質計分析部の飛躍的な小型化を達成している。マイクロセルは、シ

※1) FIA：試料水に試薬などを混合させながら試料水の水質分析を行う手法

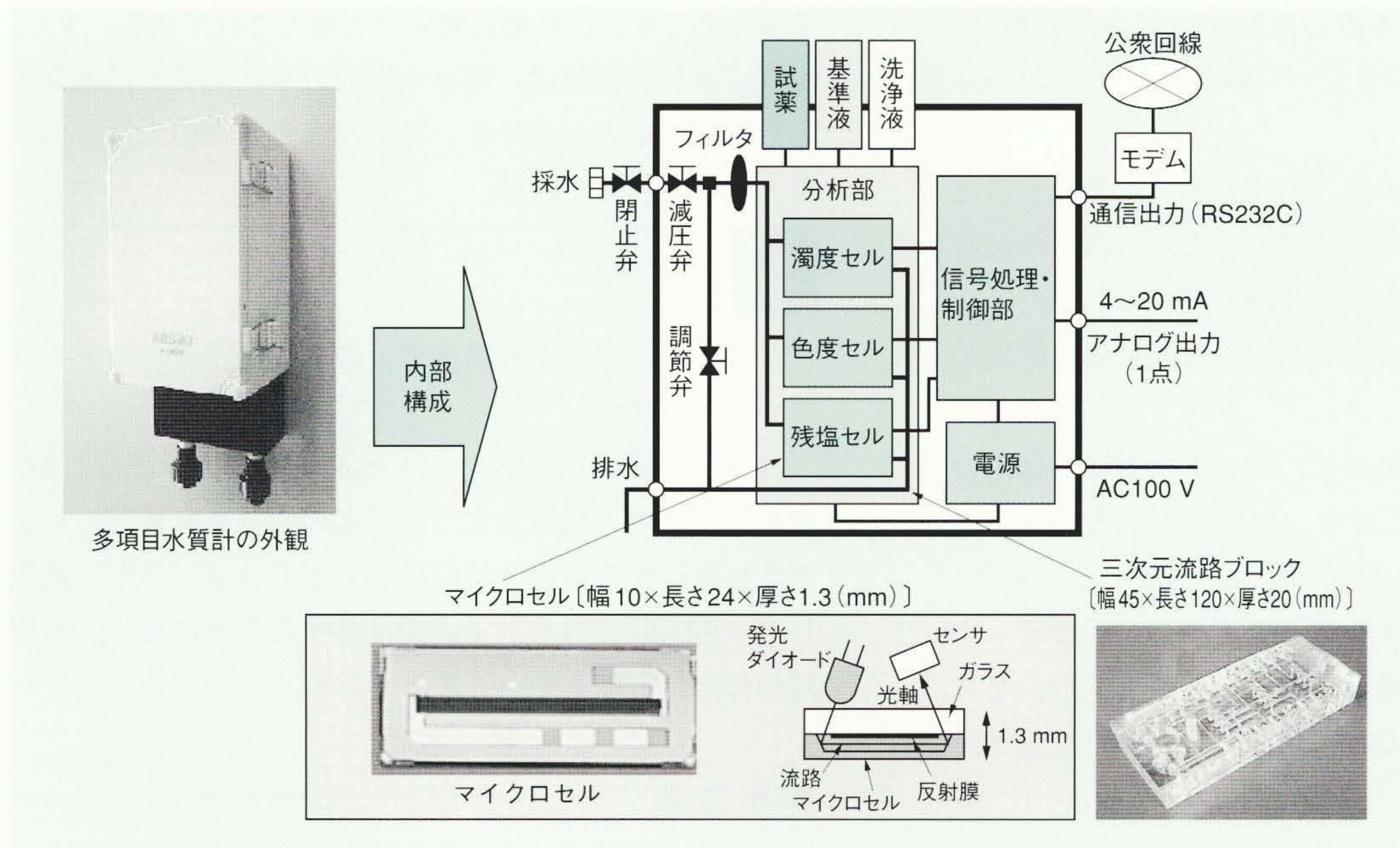


図4 多項目水質計の構成

多項目水質計では、最新のシリコン微細加工技術とマイクロFIA技術により、従来装置に比べて大幅な小型化と低コスト化を実現している。

リコン微細加工技術によってシリコンウェーハ上に流路部やミキサ部を配置し、フォトリソグラフや陽極接合技術を用いて形成したものである。このマイクロセルとミニチュアバルブ、およびポンプの組合せと、試料水・試薬・基準液などの制御を行うマイクロFIA技術の採用により、吸光光度法（残留塩素、色度）と、散乱光測定法（濁度）による多項目測定を可能としている。特に、残留塩素の測定にはDPD（ジエチル-p-フェニレンジアミン）法^{※2}

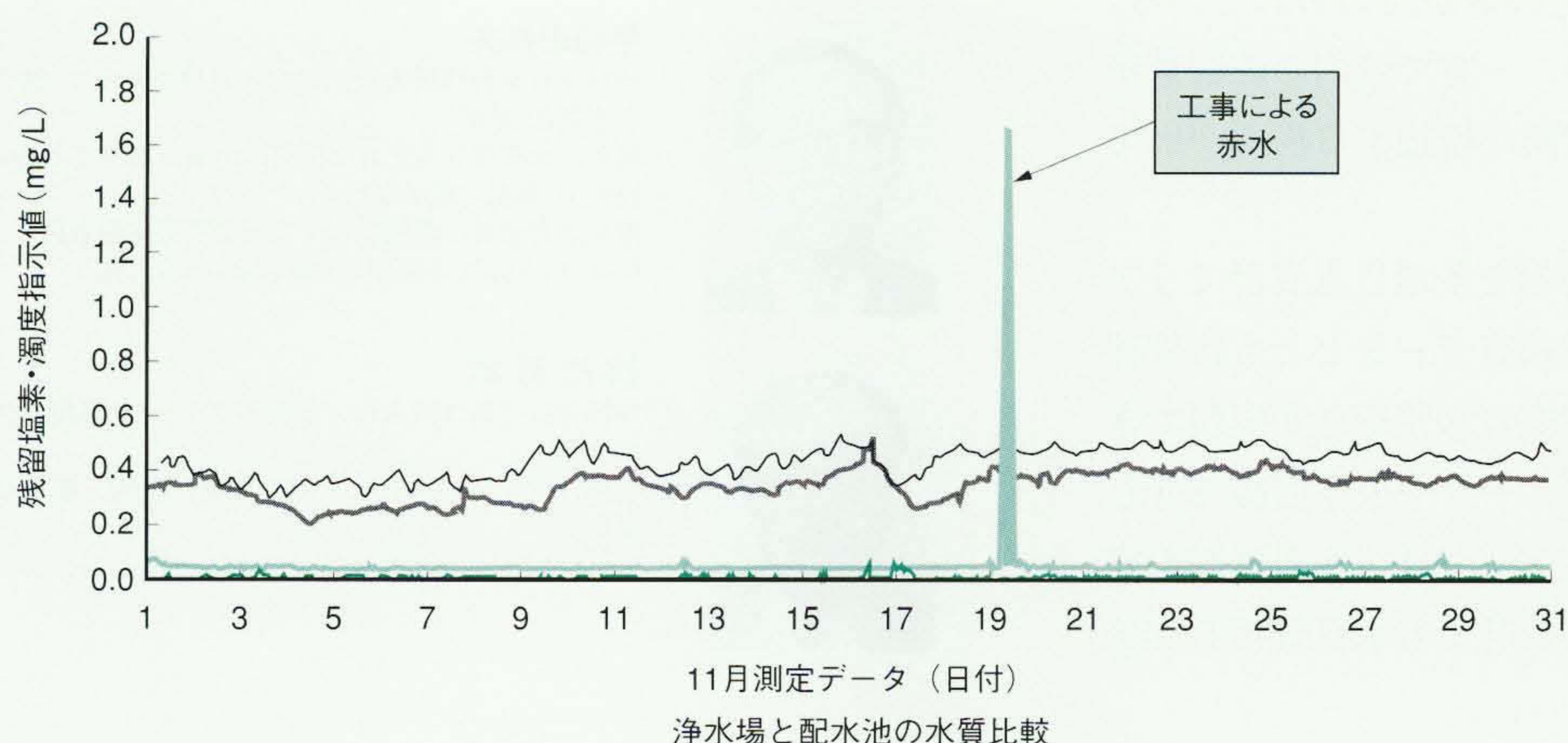
を採用し、従来の手分析を自動化することにより、既存データとの整合性を維持できるようにしている。

これらの結果、単に分析部の小型化にとどまらず、試料水や試薬の消費量低減を実現し、従来の自動水質監視装置に比べてランニングコストの削減を図ることを可能とした³⁾。

(2) 配管の集約化と三次元流路ブロック

法定3項目を測定するための配管類を従来技術で構成すると膨大なスペースが必要となり、分析セル小型化の効果が失われる。この装置では、分析に必要なミニチュアバルブ、ポンプおよびマイクロセルを接続する流路に、配管を集約した三次元の流路ブロックを光造形技術で形成し、作業の効率化や省スペース化を達成している。こ

※2) DPD法：残留塩素がジエチル-p-フェニレンジアミン（DPD）と反応して生ずる桃色や桃赤色を、標準比色液と比較して残留塩素を測定する方法。AN530形では、この発色を吸光光度法を用いて測定している。



注：
 — (配水池残留塩素測定値)
 — (配水池濁度測定値)
 — (浄水場残留塩素手分析値)
 — (浄水場濁度手分析値)

図5 多項目水質計の計測結果

浄水場と配水池での残留塩素と濁度の測定値の比較結果を示す。残留塩素の流達時間とその傾向、配管工事による赤水の発生などを把握することができた。

のブロックには配管数十本分の流路が内蔵されており、マイクロFIA技術が導入できた一つの要因となっている。

(3) 汚れ対策

測定精度を維持するために、測定ごとに基準液との比較測定を行って自動校正をしており、セルの汚れや付着気泡の影響を受けにくい方式を採用している。また、一定時間ごとに酸系の洗浄液を流し、汚れの付着を防止している。

さらに、上記の新技术以外に、データ出力に通信出力(RS232C)を標準装備しており、専用モデムとの接続により、容易にネットワーク化が図れる構成としている。この機能により、従来のテレメータ方式のようなデータ伝送方式に加え、公衆回線による蓄積伝送方式や、さらに、ウェブ接続への展開など、用途に合わせた拡張性を備えている。

多項目水質計を製品化するにあたっては、幾つかのフィールドテストサイトでの長期間にわたるデータ収集により、実使用条件下での問題点摘出と改良を重ねてきた。あるフィールドテストサイトでのデータの抜粋を図5に示す。このテストでは、浄水場から数キロメートル離れた配水末端のトレンド出力と浄水場での残留塩素、濁度の測定値との比較を行った。同図では、残留塩素の流達時間とその傾向、配管工事による赤水の発生などを知ることができ、配水末端での水質トレンドを把握することによって水質管理の質的向上が図れることを示している。

4.4 多項目水質計による水質情報管理

水道事業では、その大部分が、需要者に水を輸送するための送・配水施設で占められている。災害事故に強い水道施設の整備として、水源の異なる基幹浄水場間を結ぶ送水管の強化、主要管路のループ化、配水容量の見直し、配水ブロックの充実やブロック間相互の融通体制の確立などにより、水運用の補完機能が高められている。しかし、管路網の整備・充実は、一方で管内の貯留量が増えることにつながり、滞留時間が増加する場所が出てくることも予想されている。

配水池や配水管網内の水質情報を多項目水質計でリアルタイムに監視し、毎日の水質検査データとともに管理することにより、広域的な管路網の水質管理が実現できる。特に、配水池などからテレメータや公衆回線を介して送信されてくるリアルタイムデータは、水道施設の安全性を遠隔地から確認でき、震災時でも水質管理を実施

するうえで非常に有効に働いたと報告されている。また、水質、水量の情報は、漏水や事故の早期発見と迅速な対応を支援することができ、貴重な水資源の損失対策の一環としても有効である。

5 おわりに

ここでは、水源から給水までの水質情報監視システムについて述べた。

日立製作所は、今後も、上水道、下水道、環境行政、河川管理、農業政策などで関係者の知見を結集し、さまざまな角度から総合的に流域管理ができる、さらに進化した水質情報監視システムを提案することにより、水環境の保全に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) 水道基本問題検討会：21世紀における水道及び水道行政のあり方(1999)
- 2) 田中，外：水質事故検出技術の開発に関する共同研究報告書(2000)
- 3) 石原，外：マイクロFIAを用いた多項目水質計；日本分析化学会，フローインジェクション分析講演会(1999.11.27)

執筆者紹介



原 直樹

1984年日立製作所入社，電力・電機グループ 情報制御システム事業部 所属
現在，上下水道監視制御システムの開発，設計に従事
E-mail：naokih @ omika.hitachi.co.jp



斉藤 功治

1979年日立製作所入社，計測器グループ 環境システム本部 所属
現在，水質分析機器の開発，設計に従事
計測自動制御学会会員
E-mail：saito @ cm.naka.hitachi.co.jp



早稲田 邦夫

1974年日立製作所入社，電力・電機グループ 社会システム事業部 所属
現在，水環境システムの開発，企画，取りまとめに従事
技術士(電気・電子部門)
電気学会会員，環境システム計測制御学会会員
E-mail：kunio_waseda @ pis.hitachi.co.jp



植松 郁雄

1975年日立製作所入社，計測器グループ 環境システム本部 所属
現在，上水道の水質センサの開発，企画，取りまとめに従事
E-mail：Iuematsu @ cm.head.hitachi.co.jp