昭和40年6月3日　第三種郵便物認可　平成13年8月10日発行（毎月1回10日発行）富士時報　第74巻　第8号（通巻第797号）　ISSN 0367-3332

富士時報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

8

2001 VOL.74

水循環系を見守る水処理技術特集

FUJI ELECTRIC

聞こえてきますか、技術の鼓動。── 富士電機

地球が生まれた時から,すべての生命を支え続けてきた水。その健やかな循環を守り,
先の,先の世代へと受け渡していくために,水質の向上をはじめさまざまな取組みが求められています。
私たち富士電機は,最新のテクノロジーと豊富なノウハウをもつ,水処理のエキスパート。
いま必要とされる課題の分析をはじめ,システムの企画,構築,運用,管理まで
下水道事業のあらゆるニーズに,最適なソリューションとサービスでおこたえします。
水の明日は,人と地球の明日。いつまでも豊かな水環境のために,先進の技術を提供します。

富士電機の水処理ソリューション

お問合せ先：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 電話(042)585-6110

富士時報
FUJI ELECTRIC JOURNAL

8
2001 VOL.74

水循環系を見守る水処理技術特集

目　次

電気と水，技術原理の先祖帰り 434（2）
藤田　賢二

循環型水環境の現状と展望 435（3）
臼井　正和　・　木田　友康　・　多田　弘

湖沼水質保全システム 438（6）
佐川　学　・　明瀬　郁郎　・　野田　直弘

環境水質（湖沼・河川・上水）を見守るセンサ技術 444（12）
青木　隆　・　平岡　睦久　・　菊池　智文

オゾン処理における臭素酸イオン生成を抑制するためのオゾン注入制御システム 449（17）
加藤　康弘　・　森岡　崇行　・　星川　寛

高効率オゾン併用膜沪過システム 454（22）
野中　規正　・　角川　功明　・　本山　信行

エネルギー自立型の浄水場 459（27）
山本総一郎　・　長倉　善則　・　伊藤　一

環境水質（下水）を見守るセンサ技術 464（32）
宮入　康寿　・　佐藤　匡則　・　田中　良春

水環境を守る下水の高度処理制御システム 469（37）
奥田　昇　・　岡田　好丘　・　佐々木康成

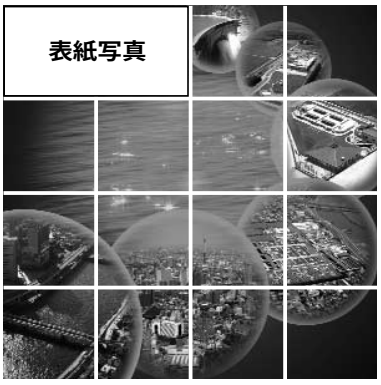
上下水道事業における IT 時代のオープン監視制御システム 474（42）
髙見澤真司　・　川戸　研二　・　本山　浩

上下水道施設の省エネルギーとリサイクル 480（48）
山本総一郎　・　増澤　栄一　・　佐藤　治

水道施設の運転管理ソリューション 483（51）
筧　誠　・　丸山　智史　・　秋山　浩秀

最近の学会発表――パワー半導体国際会議（ISPSD '01） 487（55）

表紙写真



わが国の一人あたりの水資源量は 3,350 m³/年・人（世界平均：7,100m³/年・人）と乏しく，水系内には高度文明社会の負の遺産が残存している。一見清浄な河川・湖沼流域においても底泥のたい積と表流水への有害物質の溶出が進行している。21 世紀の持続的水利用を実現するためには，水環境の復元能力を超過させない水利用へのパラダイムシフトが必要である。

富士電機は，水環境を常時監視する豊富なセンサ群（急性毒物バイオセンサなど），藻類増殖シミュレーション，水処理プロセス制御（臭素酸生成を抑制するオゾン注入制御など）を提供して水環境の保全・復元に貢献していく。

表紙写真は，水環境系の中で水環境に排出された汚濁物質は利用者に帰還するということの警鐘をイメージ的に表現したものである。

電気と水，技術原理の先祖帰り

藤田　賢二（ふじた　けんじ）
東京大学名誉教授　工学博士

電気以前

電気技術が生まれる遙か以前から水道は存在していた。ローマの水道はいうにおよばず，ずっと下って，江戸の水道でも，ライデン瓶がつくられた頃（1745）には，100万人の市民に水を供給していた。

水道が近代の形を備え，浄水処理をするようになっても電気の力を借りることはなかった。緩速濾過は基本的に電気の力を必要としない。人力で操作できる。流量計も水位計も機械仕掛けで動く。ポンプを駆動したのは蒸気機関であった。

電気が本格的に使われるのは，ジーメンスが実用的な発電機を発明した1866年以降であるが，それでも，電気の用途は電灯や電気めっきや通信などであった。すべて，電気力の直接利用である。同時代にジーメンスが発明したオゾン発生器もこの系譜に属する。19世紀は電気の用途開発の時代であったと見ることができる。

電気と水の蜜月

電動機が初めてポンプを駆動したのは1894年である。爾来，電気と水とのつきあいが始まった。

半世紀前からは凝集ー沈殿ー急速濾過が水処理の主流になった。凝集池の攪拌は重力を利用するにしても，急速濾過池を電気力なしに運転することはむずかしい。急速濾過池には１池に５～６個の弁があり，これを毎日操作する。小さな施設ではともかく，大きなプラントでは膨大な数の大口径弁を人力で操作することは実質上できないし，蒸気やガソリンエンジンで駆動する弁のアクチュエータは想像することもむずかしい。急速濾過法が今の隆盛をみたのは，電気技術とくに電動機の恩恵によっている。

近代水道の要件は「浄水」と「圧力配水」であった。現代水道はこれに「計測」が加わる。1960年代の空気式計器との攻防に打ち勝った電子式計器は，さらに，機械的変位を電気信号に変換する方式から，流量，圧力，水位を直接電気信号に変換する方式に劇的に変わった。

先祖帰り

水と電気という，異なる分野の技術を比較するのは，ディメンジョンの異なる数値を比較するようなものかもしれないが，電気・電子技術は約２世紀先行していた水処理技術に追いつき，いまやそれを遙かに抜き去った。両者の進歩軌跡の交差点は，トランジスタの発明（1948）と半透膜の実用化（1953）があった1950年頃であろうか。

トランジスタは鉱石検波器に第３の電極を入れたものであり，膜は水中の固形分を濾し取っていた布を緻密にしたものである。真空管は金属を熱して電子流をつくり，それを制御して検波や増幅をした。凝集・沈殿処理は，水に金属塩を添加して，いわば，一度水を汚してから懸濁物を分離している。両者とも精妙な技術ではあるが，余分な操作が加わるだけ複雑になる。

凝集・沈殿・濾過から膜分離へ，真空管からトランジスタへ，ベンチュリー管から電磁流量計へ，水も電気も計装も前処理を省いた直接的な技術に移っている。古く簡素な原理が新しい衣をまとって高度な技術になった。技術原理の先祖帰りといってよい。

電気技術への期待

電気力を機械力に変換することなく，電気の特性を直接利用する技術，いわば先祖帰りの技術に注目している。

水処理分野では，オゾン処理，電気透析，紫外線照射，磁気分離などの技術がすでにある。これらの効率向上に努力するだけでなく，レーザ光線，マイクロ波，電気分解，超音波など，他の原理の応用開発が望まれる。

汎用の物理量測定の分野では電磁流量計や感圧素子，超音波素子がすでに広く使われている。今後はとくに水質測定装置の技術開発に期待したい。においや味の測定，微生物の検出，毒物の迅速検知などである。

電気の用途開発が盛んであった19世紀を思い起こし，21世紀の水循環を見・守る技術が開発されることを切に願っている。

循環型水環境の現状と展望

臼井　正和（うすい　まさかず）　　木田　友康（きだ　ともやす）　　多田　　弘（ただ　ひろし）

1　地球環境変化の動向

20世紀は，高度な科学技術の発展により豊かな文明社会を実現した。しかし，その一方では人類の生活基盤である地球環境に大きな負担をかけた時代であった。資源の大量消費や環境への大量・多種の廃棄物排出は，地球規模での保有資源の減少，先進国を中心とした大気・水・土壌環境系の破壊，その結果として生態系の不均衡化を及ぼし，これらは，もはや地球の復元能力を超えるものとなった。

21世紀の社会・環境については，次のようにいわれている。世界人口は，開発途上国を中心として増加が続き，2050年には100億人を突破する。地球温暖化は，今後に特段の対策を講じなかった場合は，10年あたり0.3 ℃上昇し，今世紀末には現時点より約３℃上昇する。オゾン層破壊は，既定の規制が遵守された場合は，同層の減少が見られ始めた1970年代末の水準へ2045年ごろに回復する。しかし，開発途上国での急激な経済活動の立上げと不十分な政策下での化石燃料の大量消費により，大気汚染，酸性雨，有害廃棄物の越境移動などの環境破壊が進行するとの予測である。

わが国においては，少子化による人口増加率の減少が続き，人口は2010年をピークとして減少すること，特に若年層の減少による労働力の低下が大きな問題であり，経済社会そのものの持続可能性の低下が懸念されている。環境への影響の一つとして，温室ガスである二酸化炭素の吸収源としての森林の保全能力の低下が挙げられており，今後のエネルギー消費に関して，生産，流通，消費といった経済活動の各段階での一層の抑制が必要となろう。これらのことから，今世紀は，前世紀が残した負の遺産と，それに加えて今後しばらくの間は増大するであろう環境悪化との共生を強いられざるを得ない。

2　日本の水環境の動向

自然界では，水は，蒸発→降雨→貯水→土壌浸透→地表流出→水利用→海洋流入への循環系を構成しており（**図１**），その過程で汚濁物質が浄化されるメカニズムとなっている。

日本では，河川に沿って都市が形成されてきた。水利用の利便性からである。最初に下流域に都市が発展し，人口の増加とともに中・上流域にも都市が開拓された。都市の生活排水は，汚水処理され河川に放流された。このため，下流域では，中・上流域の生活処理水がその水源となった。時期を同じくして，都市の治水・利水能力の向上を目的として，ダム，人造湖などの人工的貯水が行われた。これらは，洪水・渇水を抑制する一方で，日本特有の急しゅんな河川による短期間での水循環系を長期化させた。さらに，技術が高度化し，生活の一側面では有益とはいえ，自然環境下では浄化が困難なさまざまな化学物質が製造・利用され，環境に排出された。

このような，水を繰り返し利用する形態，停滞水域の出現による自然流下能力の低下，難浄化物質の環境への流出は，わが国の水循環系の浄化能力を超え，水系内への汚染物質の蓄積・濃縮を加速させ深刻な問題となった。今後，PRTR（環境汚染物質の排出・移動登録）制度，環境会計などの政策が進展したとしても，水系内に残存する汚濁物質の早急な除去は困難であり，水環境の飛躍的な改善は期待できない。

われわれにとって必要なことは，今後，いかにして環境への排出負荷を自然界本来の浄化能力以下に抑制し，環境悪化に歯止めをかけていくかということであろう。

3　富士電機の水環境保全への取組み

富士電機は，長年の間，水処理のスペシャリストとして，水環境のセンサ，プロセス制御，システムの技術開発に携わってきた。今世紀も継続する上述の課題に対して，ソリューション技術を提供し，健全な水環境の形成に貢献していく。

以下にセンサ・プロセス制御技術について述べる。

湖沼などの閉鎖性水域における課題は，富栄養化の進行による都市用水水源としての水質悪化である。特に最近では，藻類の異常増殖による異臭味，藻類毒などの利水障害が高頻度で発生している。富士電機は，湖沼内の水理・生

臼井　正和

上下水道，環境分野の電気・計測システムに従事。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長。電気学会会員，計測自動制御学会会員。

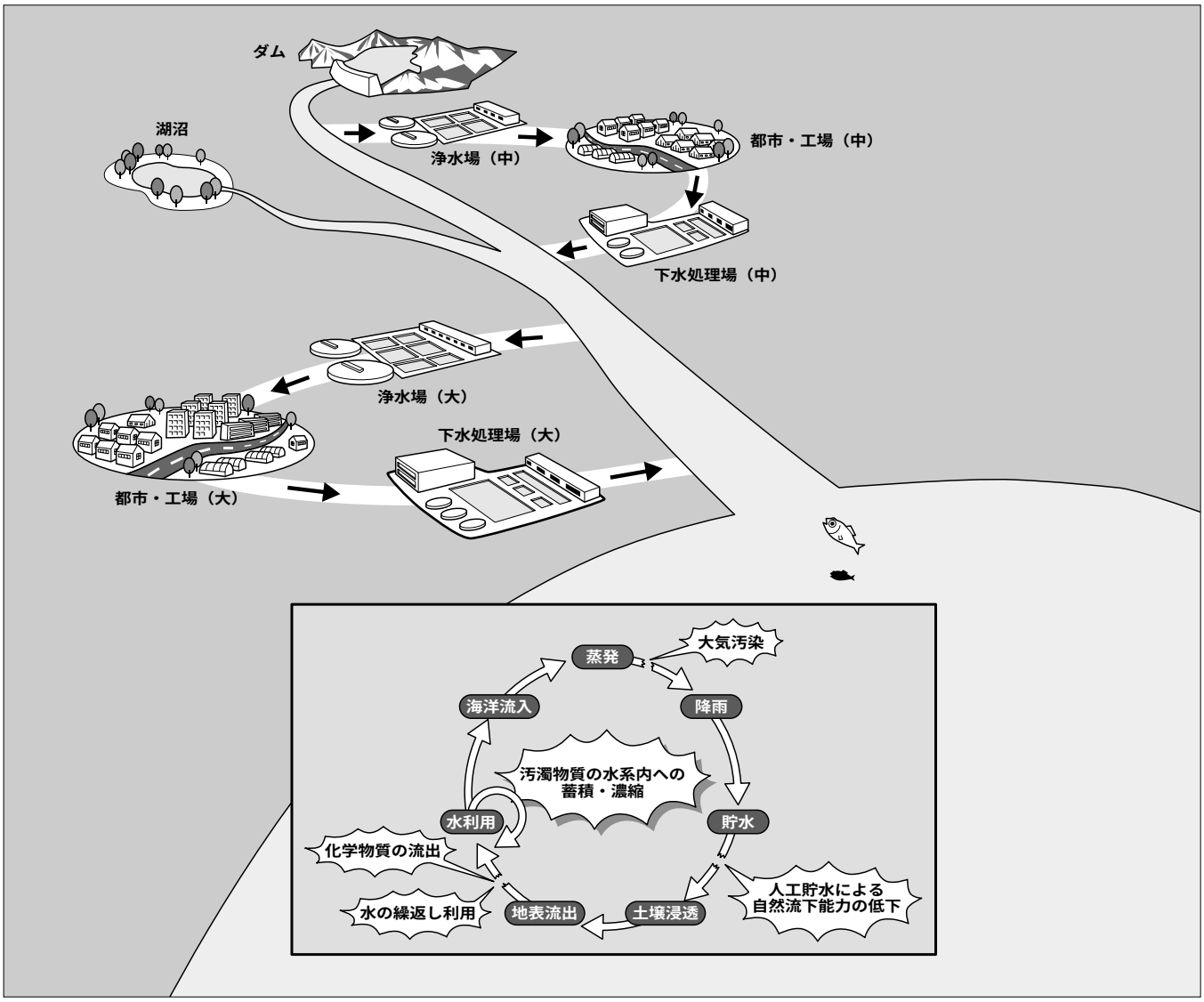
木田　友康

電気・電子制御機器の製品開発企画，上下水道の電気・計測システム設計に従事。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長。電気学会会員。

多田　　弘

上下水道の電気・計測システム設計に従事。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公共技術部長。電気学会会員，日本水環境学会会員，環境システム計測制御学会会員。

図１　日本の水環境イメージ



態系をモデル化し，窒素・リンの栄養塩濃度，日射などの条件から藻類増殖をシミュレーションする技術を開発している。これを活用することで，中長期的な水質保全計画に向けての有益な情報支援が可能と考えている。

上水道における課題は，水源対策（突発性水質事故，病原性微生物，富栄養化，環境ホルモン，地下水汚染など），浄水過程での消毒副生成物対策（トリハロメタン，臭素酸など）である。各種物質の迅速検知とリスク低減を目指したプロセス制御が望まれている。富士電機は，刻々と変化する水環境をオンライン監視するセンサ群を豊富にラインアップしている。水道原水の水質事故用センサとしては，油膜センサと急性毒物バイオセンサを保有している。日本の水道原水は，約 70 %が河川・ダムなどの表流水に依存しており，これらは生活影響を受けやすい。

全国の一級河川への油の流出，農薬をはじめとする化学物質の流出による水質事故は，年間500件以上も頻発し，水道の取水停止被害が発生している。油膜センサは，観察水面で反射したレーザ光の偏光を解析する測定原理であり，目視能力を超える油膜検知を可能とした。また，検出部が水面と非接触なため維持管理の長期化が可能であり，測定原理にレーザ光路長の要素を含まないため水面の波立ち影響を受けないという特長を持っている。急性毒物バイオセンサは，下水生物処理で活用されている硝化菌に対する毒物暴露による代謝阻害を検知するもので，広く普及している魚類の挙動監視に比べて低濃度の毒物検知を可能とした。さらに，水道原水のトリハロメタン生成能計も発売準備を進めている。本装置の測定値を基にして，浄水場の活性炭注入，凝集沈殿，塩素注入の各工程へのフィードフォワード制御を可能にした。

上水プロセス制御では，消毒副生成物を抑制する高度浄水処理システムを開発した。オゾンによる高度浄水処理は，オゾンの強力な酸化分解による異臭味除去などに効果が大きい一方，近年では，海風に由来する臭化物との反応による新たな消毒副生成物である臭素酸が問題視されている。富士電機は，オゾン酸化反応過程の解明，および実プラントでのフィールドテストを重ね，オゾン処理本来の目的である異臭味除去，病原性微生物の不活性化，トリハロメタン生成能の低減を図りつつ，残存オゾンコントロールによ

る臭素酸生成の抑制を両立する制御システムを構築した。これにより今後広く普及するであろう高度浄水処理システムへの一層の安全性が期待できる。また，同じく消毒副生成物質であるトリハロメタンの浄水・送配水過程における増加シミュレーションによるトリハロメタン低減化システム，浄水中の微粒子カウント方式の高感度濁度計を活用した沪過池洗浄システムなど，最近の浄水課題への適応システムを広く保有している。

下水道における課題は，流入水への化学物質混入対策，放流水の高度処理対策である。事業所排水が流入する下水処理場においては，全国的に前者の事故が散発し，活性汚泥の壊滅などの危機的被害が発生している。富士電機は，下水用の急性毒物バイオセンサと毒物混入時の処理システムの開発を進めている。これらが実用化すれば，毒物流出の早期発見による被害の局所化，下水排出元に対するけん制にもなり，リスク管理が強化されることから期待が大きい。

下水道のプロセス制御では，オンライン型のプロセスシミュレータを開発中である。嫌気・無酸素・好気法（A2O 法）などの高度処理プロセスは窒素・リン除去に優れる一方で，処理プロセスの十分な機能発揮のためには細心の運転管理が必要である。特に，雨水流入による低流入負荷時は，運転パラメータの再設定が必要となる。富士電機は，生物処理反応をモデル化して各種運転条件における処理水質を予測できるシミュレータを完成した。流入下水の量質変動に左右されることなく，水循環系の富栄養化抑制に貢献できる。

富士電機は，上述の水環境を24時間見守るセンサ群，処理プロセスの潜在能力を最大限に発揮するプロセス制御技術を用いて水環境への保全技術を提供していく。

参考文献

(1) 環境行政調査会編集．環境行政総覧．環境保全研究会出版，1998，p.20–22.
(2) 中杉修身．環境化学物質の管理とバイオアッセイ．環境庁未来環境創造型基礎研究推進制度プロジェクト講演要旨．2001.
(3) 田中宏明．バイオアッセイの下水道への利用．環境庁未来環境創造型基礎研究推進制度プロジェクト講演要旨．2001.

解　説　バイオアッセイ

環境中の化学物質が人や生物に及ぼす影響を評価するための一手法である。具体的には，細胞，細菌，小型生物を用いて化学物質の暴露による有害作用を検出するものである。数限りない化学物質の生体への影響を個別に評価することは不可能であるため，総合的に評価できるこの手法が最近の環境リスク管理に活用されている。

バイオアッセイへの期待は，簡便，低コスト，多数の化学物質の複合影響の把握であり，課題は本手法と人体との定量的な関係の把握である。

湖沼水質保全システム

佐川　　学（さがわ　まなぶ）　　明瀬　郁郎（みょうせ　いくお）　　野田　直広（のだ　なおひろ）

1　まえがき

国連環境計画（UNEP）が世界50か国の科学者を対象に実施したアンケート[(1)]によると，21世紀には淡水資源の不足と汚染が，気象変動とともに最も懸念される環境問題になると報告している。地球上に存在する淡水資源のうち，極地や地下に存在するものを除いた，飲料水として利用できる湖沼・河川水はわずか 0.3 %程度である。湖沼やダム湖は，淡水資源を蓄え，飲料水を供給する水源として重要な役割を持つ。しかし近年，上流域からの自然または人為的な汚濁負荷流入により，短期間に湖沼の富栄養化が進み，さまざまな利水障害が生じるようになった。

本稿では，湖沼の富栄養化を予防し，将来にわたって貴重な淡水資源を保全するためのソリューション技術として，

(1)　生態系モデルを用いた水質予測シミュレーション
(2)　湖沼水質のモニタリング
(3)　湖沼の直接浄化技術

について紹介する。

2　最近の湖沼環境にかかわる動向

日本には灌水（かんすい）面積が 0.1 km^2 以上で，流域面積が 1 km^2 以上の湖沼が約 1,120 個ある。その約 8 割がダム湖やため池などの人工湖である。閉鎖性の水域である湖沼は，産業系，生活系，農業畜産系など多様な排水による負荷が滞留して富栄養化が進行しやすい。汚濁負荷源のうち産業・生活系などの点源負荷は，下水道普及率の向上などにより減少している。しかし最近，森林，田畑，市街地など面源の負荷である「ノンポイント負荷」（解説参照）の削減が新たな問題としてクローズアップされている。例えば琵琶湖では，ノンポイント負荷が流入汚濁負荷量の 44 %を占めるといわれている[(2)]。湖沼の富栄養化は藻類を増殖させ，著しい場合には，淡水赤潮やアオコ現象を生じて，さまざまな利水上の障害をもたらす。例えば，飲料水を供給する浄水処理プロセスの立場からみると，次の問題点がある。

○水処理障害（凝集不良，沪過閉そく）が生じる。
○トリハロメタン生成能を高める。
○異臭味（かび臭）物質を生産する。

藻類はその細胞外物質が浄水処理プロセスにおける凝集・沈殿・沪過効果を阻害するほか，光合成によって水中の重炭酸イオンを吸収利用する結果，pH をアルカリ側にシフトさせて凝集剤の過剰注入という問題を発生させる。また，多量の藻類は，浄水場での塩素接触によって消毒副生成物質であるトリハロメタンの生成能を高める可能性がある。さらに，異臭味の発生に関しては，浄水場の着水井に大量の活性炭を投下する吸着除去や，オゾン処理と生物活性炭を組み合わせた高度浄水処理を行うなど，その除去には膨大な投資を必要とする。このほか，一部の藻類には有毒物質を産生するものがある。1996年には，ブラジルでダム湖に発生したアオコ（らん藻類）の産生する毒素 Microcystin が水道水に混入し，透析患者50人が死亡するという深刻な水質事故も発生している[(3)]。

湖沼の富栄養化を予防し，水質を保全していくためには，国，地方自治体，企業，住民が連携しながら，さまざまな施策を実施する必要がある。国は，富栄養化の原因物質であるリンと窒素について，1982年に「リン及び窒素に係る環境基準」を設定し，1993年度までに，琵琶湖（2 水域）など合計48水域（44 湖沼）について類型指定を行った。また1985年には「リン及び窒素に係る排水基準」が設定され，リンについては 1,066 湖沼，窒素についてはこのうち 78 湖沼を排水規制対象とした。

しかし，いったん汚濁が進んだ湖沼の水質を改善するこ

表１　湖沼の富栄養化対策

物理・化学的対策	生物学的対策
①藻類の直接除去 ②ばっ気による湖水の強制循環 ③凝集剤添加による栄養塩の沈殿 ④吸着材による栄養塩除去 ⑤導水希釈 ⑥底泥のしゅんせつによる栄養塩回帰の低減	①食物連鎖網を利用した生態系操作（バイオマニピュレーション），例えば藻類を捕食する魚類の投入と漁獲 ②水生植物（ウォーターレタス，ホテイアオイ，ヨシなど）による栄養塩除去 ③殺藻ウイルス投入による藻類除去

佐川　　学

上下水道用電気・計装・コンピュータシステムの設計に従事。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公共技術部マネージャー。電気学会会員。

明瀬　郁郎

上水道用の新エネルギー活用システム，湖沼の水質保全システムの企画・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営業統括部水環境事業推進室課長補佐。日本水環境学会会員。

野田　直広

水質計測器の研究開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所機器技術研究所。

とは容易ではなく，全国の湖沼における有機汚濁にかかわる水質環境基準の達成率は約 40 %と，海域・河川に比べると低くなっている。規制的措置による湖沼外からの流入栄養塩の削減には限界があることから，湖沼内を直接浄化して，富栄養化を防止するためのさまざまな対策が**表１**のとおり実施されている。

③　湖沼水質保全システム

湖沼水質保全のための技術を以下に紹介する。

3.1　生態系モデルを用いた水質予測シミュレーション

3.1.1　藻類増殖のメカニズム

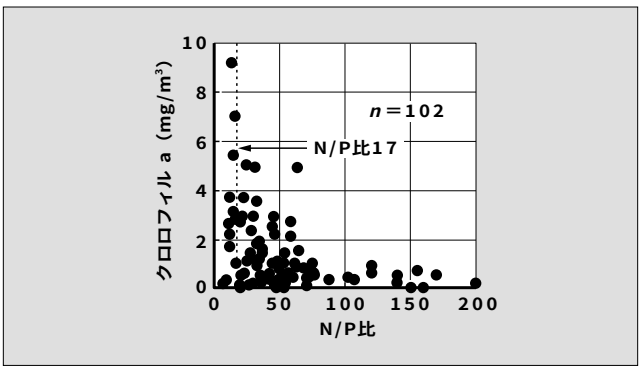
藻類増殖は湖沼水質保全における中心的問題であるため，ここでは特に，そのメカニズムの一端を紹介する。

湖沼は川や海と異なり，閉鎖性，滞留性があるため富栄養化が進行しやすい環境である。湖沼水質は，外部から流入する栄養負荷のほか，湖沼内生物による生産・消費・分解の影響を受ける。利水障害の原因となる藻類の増殖現象も，生物間に作用する物質・エネルギー循環のバランスの上に成り立つ。藻類の増殖には，無機態の栄養塩（特にリンと窒素），光，水温，滞留時間の四つの因子が影響する。特に，制限栄養塩であるリンと窒素の挙動を把握することは，藻類増殖を予測するうえで重要である。

一般に栄養が十分な条件下で生育している藻類の細胞内には，窒素（N）とリン（P）が 16 ： 1（モル比）で含まれている。このため，藻類の増殖を評価するには窒素とリンの絶対量とともに，それらの比率（N/P 比）が重要である。OECD（経済協力開発機構）では，この N/P 比が 17 以上で「リン制限」と定義している。日本の湖沼の多くはリン制限型であり，リンの存在量が藻類増殖を左右していると考えてよい。富栄養化により，リンが増加して N/P 比が低下すると藻類が増殖しやすい環境に変化する。**図１**に手取川ダム湖（石川県）における N/P 比と藻類増殖の指標であるクロロフィル a 濃度の相関を示す[4]。N/P 比の低下とともに藻類が増殖する傾向から，リンが藻類増殖をコントロールしている様子が分かる。

このほか，藻類種ごとに増殖に適した水温や日射強度が存在することや，洪水調節機能を持つダム湖の場合には滞留時間の季節変動が増殖に影響を与える点などを考慮する必要がある。藻類増殖の機構解明のためには，フィールドで得られたデータを多面的に分析する必要がある。

図１　N/P 比とクロロフィル a 濃度の相関（手取川ダム湖）



3.1.2　湖沼水質予測モデル

湖沼水質保全のための施策を立案していく場合には，

○対象水域内の水質は将来どう変化するのか。

○水質保全対策により水質はどの程度改善するか。

という定量的な情報が必要である。水質予測モデルは，想定される環境条件や保全対策の条件を入力し，保全目標となる水質項目に関する予測値を得るために用いられる。モデルは対象水域内の物理学，化学，生物学的な変化の過程を，時間・空間的に表現し，次に示す三つの部分で構成される。

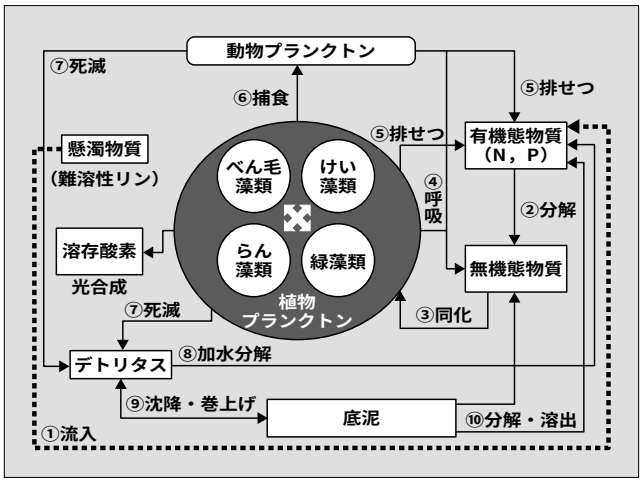
(1)　水域分割（コントロール，ボリューム）モデル
(2)　水質変化（生態系）モデル
(3)　水理流動（移流，拡散）モデル

湖沼における水質予測モデルでは，(2)の生態系モデルの記述が重要である。藻類は光合成により，無機態のリンや窒素，炭素を取り込みながら増殖していく。この結果，有機物を増加させ，COD（化学的酸素要求量）の増加，炭酸同化に伴う pH の上昇という水質変化が生じる。また，藻類に利用される栄養塩類は，河川から流入するもの以外に，生物の排せつ物や死がい，微生物分解に伴って溶存酸素の消失した底泥からの溶出など湖沼内部の物質循環に由来するものも考慮する。さらに，藻類を捕食する動物プランクトンの動態も藻類生産に影響を与える重要な要素であるのでモデルに組み込む。

図２に，貧ないし中栄養湖である手取川ダム湖の水質予測に用いた生態系モデルの例を示す[5]。本モデルでは，過去９年間の生物・水質観測データや藻類の培養実験に基づき，同定した各種パラメータと，予測対象期間のアメダスデータ（気温，日射量）を用いて，浄水処理上問題となる藻類４種それぞれの増殖速度を連立微分方程式により表現した。

特徴は，特定藻類の優占的な増殖現象を予測できることと，ノンポイント負荷として，河川から流入する濁質に含まれる難溶解性リンの分解過程を考慮（破線部）しており，

図２　生態系モデルの例（手取川ダム湖）



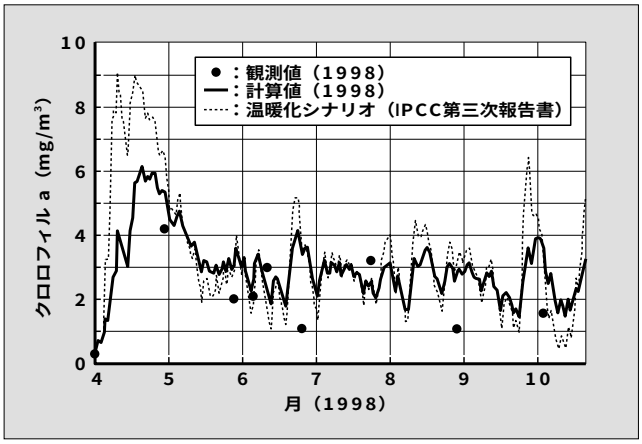
濁度上昇に伴う藻類増殖を予測できることである。

3.1.3 水質予測シミュレーション結果

図2に示した生態系モデルを用いて，手取川ダム湖の1998年４月から10月において水質予測シミュレーションを実施した結果を**図3**に示す[6]。評価に用いた水質指標は，藻類４種のクロロフィルａ濃度（合計値）である。

計算値（太線）と観測値（黒丸）はおおむね一致していることが分かる。リンや窒素など他の水質指標に関しても計算値と観測値の傾向は一致した。これらのシミュレーション結果から，モデルに基づく水質予測が可能であることが示唆される。次に，温暖化シナリオとしてIPCC（気候変動に関する政府間パネル）第三次報告書の予測結果を用いたシミュレーション結果を破線部に示した。温暖化の影響で，所々ピークが鋭くなっている箇所があるが，これは高温を好む種の優占化をシミュレートした結果である。このように，将来の環境変化を想定したうえで水質予測を行うことは，リスクアセスメントや水質保全対策を立案していくうえで，有用な情報となる。

図3　水質予測シミュレーション結果（手取川ダム湖）



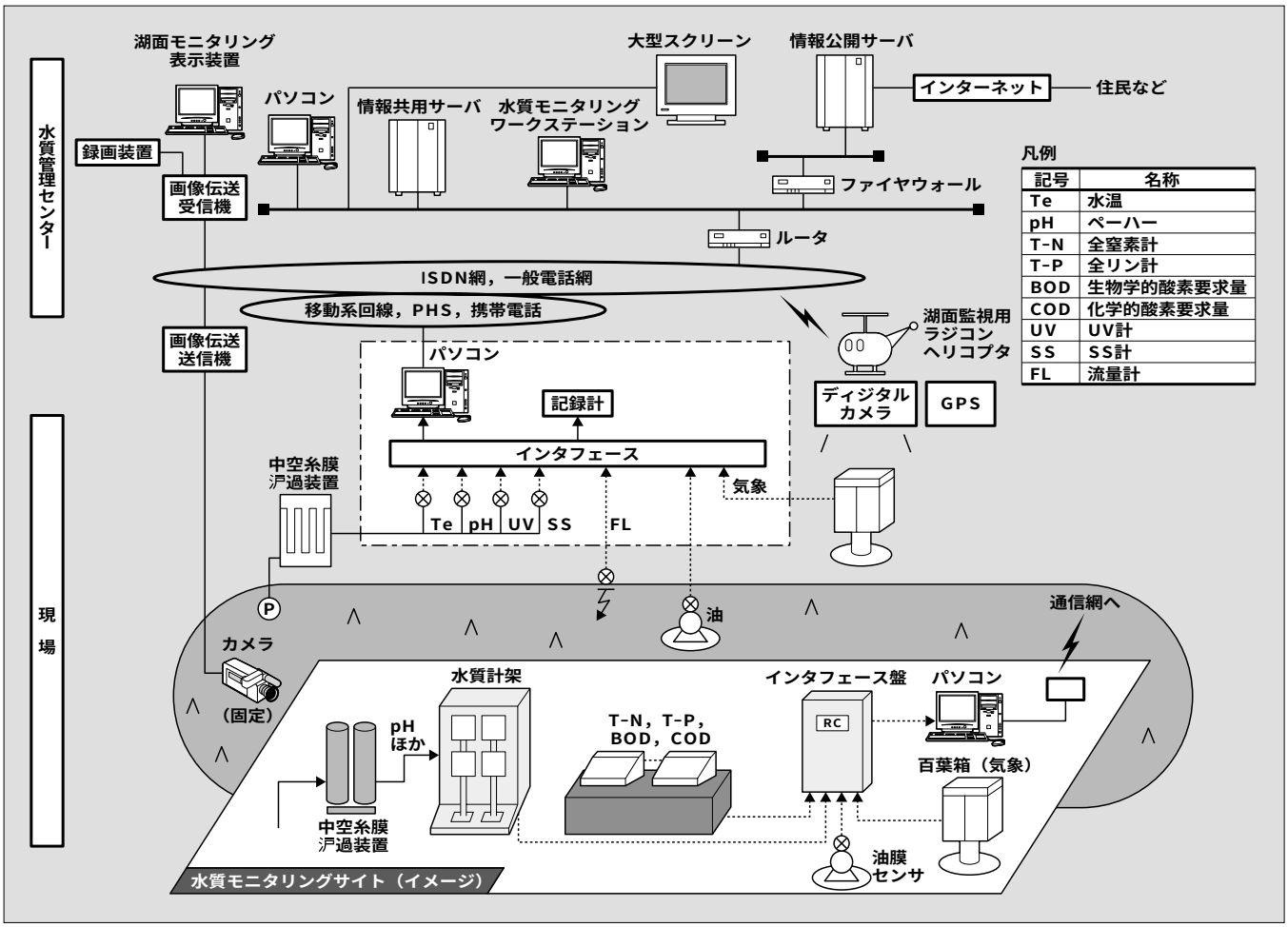
3.2 自動計器による水質モニタリングシステム

3.2.1 水質モニタリングの必要性

前述のように湖沼生態系のモデル化と，水質予測の技術は，昨今，大きく進展した。しかし，個々の湖沼はそれぞれ固有の地理的条件を持ち，その水質は季節，気象条件，河川からの流入水質などさまざまな要因で変化する。したがって，実際の湖沼の生態系を把握し，有限のエネルギーとコストで実効性のある水質保全や利水障害防止を行うには，水質情報に基づいて予測モデルを個々のフィールドにフィットさせる必要がある。

湖沼の水質およびそれを左右する環境要因は，時々刻々変化するため，保全に役立てるための水質情報はリアルタイムに近いデータでなくてはならない。また，有毒物質を

図4　水質モニタリングシステム



内包していることから問題となっている Microcystis の優先増殖には，日照やリン濃度の垂直分布，アオコの垂直移動が関与することが Okada らによって示されているが[7]，こうした状況を把握するためには，多点でしかも三次元的な水質情報が必要である。今後の水質保全においては，従来以上に高度なモニタリングが求められるようになろう。

富士電機は，化学・光学・バイオの技術によって新たに開発した水質計や，ネットワーク技術を用いた遠隔集中監視によって，**図４**に示すような湖沼水質保全および利水障害解消を目指した水質モニタリングシステムを提供している。

3.2.2　水質保全に向けたモニタリング

図５は湖沼の水質保全に向けた監視項目を図示したものである。ここでは特に，Microcystisの優先増殖に着目し，Microcystis の優先増殖につながる因子を白抜き文字，藻類全般の増殖に正に作用する因子を黒太字，藻類増殖の負因子を黒細字，どちらともいえない因子を小さい字で示している。これら水質項目のモニタリング結果と前節の予測シミュレーションの知見とを併せることで，個々の湖沼に適した保全対策が可能である。さらに，短期的には水質改善が困難なケースにおいても，最低限，Microcystis の優先増殖を防止するなどの対策がとれる。

図５　水質保全に向けた監視項目

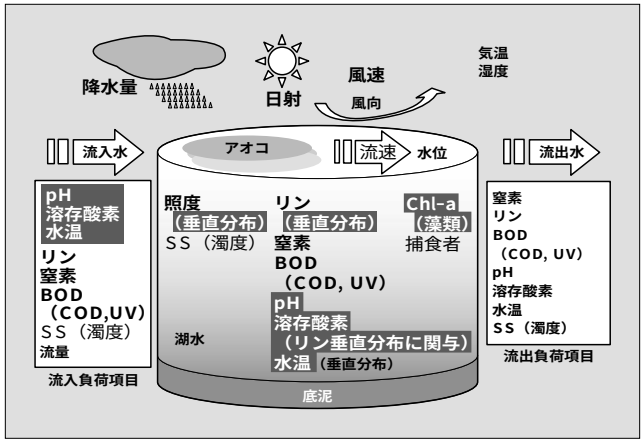
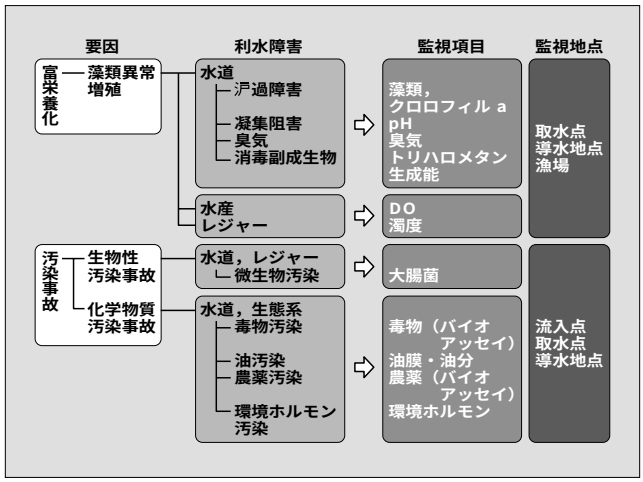


図６　利水障害とそれに対応する水質監視項目



3.2.3　利水障害防止に向けたモニタリング

図６は湖沼の水質汚濁から引き起こされる利水障害とそれに対応するための水質監視項目，有効と考えられる設置点を示したものである。これらの項目を常時監視し，その情報を水道事業者や住民など利水者に周知すれば，異常時にも被害が防止できる。

浄水処理は水源水質によってさまざまな影響を受けるが，富士電機は，水源水質に対応して浄水処理プロセスを最適制御する研究に取り組んでいる。その成果として，例えば，藻類量に応じて塩素注入量を制御したり，pH に応じて凝集沈殿プロセスを制御するシステムを目指している。

また，有毒化学物質の漏えいや不法投棄に対しては，バイオ技術を用いた水質安全モニタによるモニタリングが有効である。水質安全モニタはすでに河川を中心に多くの稼動実績を持つ装置であり[8]，湖沼のモニタリングにも適用可能と考えている。

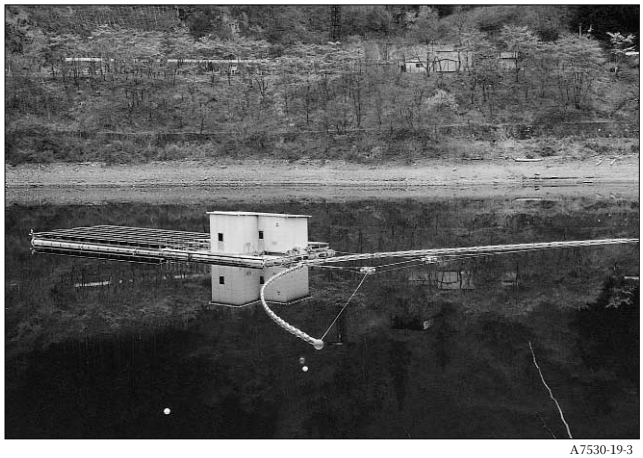
3.3　水質保全のための直接浄化技術

湖沼の水質改善には発生源対策が最も効率的である。しかし，前述のとおり，富栄養化が問題になっている湖沼の多くで生活排水やノンポイント負荷が主たる汚濁要因となっており，これらを抜本的に対策，削減するのは困難である[9]。こうしたケースでは何らかの直接浄化技術が必要となる。浄化手法は，目標水質に応じて選定しなくてはならない[10]。浄化のレベルは次の５段階に分けられる。

（レベル１）固液分離：SS（浮遊性物質），浮遊成分〔BOD（生物学的酸素要求量），COD，窒素，リン〕
（レベル２）易分解性有機物の除去：溶解性 BOD
（レベル３）栄養塩類の除去：窒素，リン
（レベル４）難分解性有機物の除去：溶解性 COD
（レベル５）微量汚染物質の除去：細菌，農薬，有害物質全般

近年の取組みの中心はレベル３である。富士電機は，特に，自然エネルギーや生態系が持つ浄化機能を生かしたシステムに取り組んでいる。その事例を以下に紹介する。

図７　小河内貯水池の水質保全装置



A7530-19-3

3.3.1 小河内貯水池水質保全装置

水道専用ダム湖として，1957年に運用を開始した小河内貯水池（東京都）では，近年，表層の水温が上昇する夏季に，河川流入部を中心に藻類が増殖する現象が見られるようになった。このため，1998年度に富士電機は東京都水道局と共同で，藻類を回収する水質保全装置（**図7**）を設置し，現在その効果を検証している。[11]

水質保全装置は，湖面の台船に設置した太陽電池のみを動力源とし，最大処理水量は30m³/hである。藻類を藻類回収ポンプで吸い込み，沪過・脱水処理を経て，太陽電池を推進動力電源とした電動船「ひだまり」により陸上に運搬する。藻類回収により，リンや窒素を湖外に効率よく除去できる。また，ダム湖底への有機物の沈降を抑制して，循環期における表層への栄養塩回帰を低減させる効果が期待できる。

3.3.2 水生植物を利用する浄化技術

富栄養化で問題となる窒素とリンを水生植物に吸収させた後，それを収穫し系外に持ち出す浄化方法は，自然の浄化作用を利用する合理的なシステムである。形態は異なるが，前項同様，太陽エネルギーを活用した方法といえる。

水生植物を利用するシステムには次のような長所がある。

○光合成を利用するため，栄養塩吸収に関するエネルギー効率がよい。

○枯渇が懸念されているリンの回収・再利用が可能である。

○植物による直接的な浄化作用以外にも生物相の多様化など副次的な効果が期待できる。

一方，課題としては次のような点が挙げられる。

○浄化能力が植物生育面積で制約され，処理の絶対量を増やすには広大な面積が必要（これまでの実験検証例では処理量が少ない）である。

○回収を行わないと枯死した植物体が汚染源になる。

○水分含有量が多くなると，輸送の負担が大きくなる。

富士電機は，回収した植物が付加価値を持った商品となり，経済的な面からも，資源の循環利用が成り立つシステムを追求している。

そうしたシステムに適した植物として，ケナフ，ウォーターレタス，カラーなどが青井らによって検討されている。[12] 特にウォーターレタスは10日で2倍の質量になるほど成長が速く，梅雨期の低日照時，夏季の高温時いずれの場合も，従来広く検討されてきたホテイアオイより高い増殖速度を示す。[13] また，単一の株で水面に浮かんでいるため回収が容易である。

図8は太陽電池ボートによるウォーターレタス自動回収装置と組み合わせた水質浄化システムである。回収されたウォーターレタスはカリウム濃度の高いたい肥にすることができる。一般に汚泥たい肥は窒素・リンが豊富でカリウムが不足しているため，ウォーターレタスたい肥との混合によって栄養バランスのよいたい肥を製造できると考えられる。

3.3.3 湖水の強制循環による浄化技術

ばっ気による湖水の強制循環法は，深層の溶存酸素濃度を上げることで，底泥からのリンの溶出を防止し，また，表層の藻類を光の届かない深層に引き込むことで，その増殖を抑える。湖沼の浄化技術は，評価の複雑さから定量的効果が未確認のものが少なくないが，その中で，ばっ気による強制循環法は浄化能力が確認されている技術である。[14]

図9は釜房ダム，相模湖などで行われている全層ばっ気法を模式的に表したものである。

ばっ気による強制循環法には次のような長所がある。

○浄化のメカニズムが把握されている。

○実施例が多数あり，かなり確実に効果が予測できる。

○ばっ気，循環という人為的操作で系を制御できる。

図9　ばっ気・循環による浄化

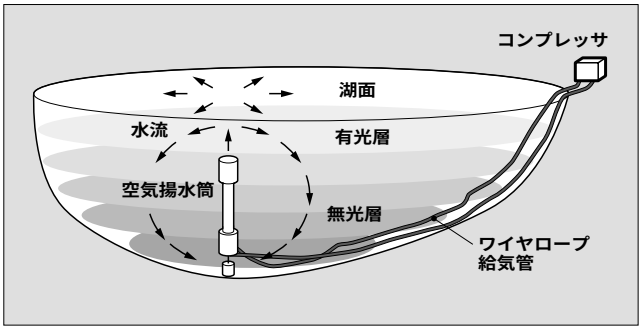
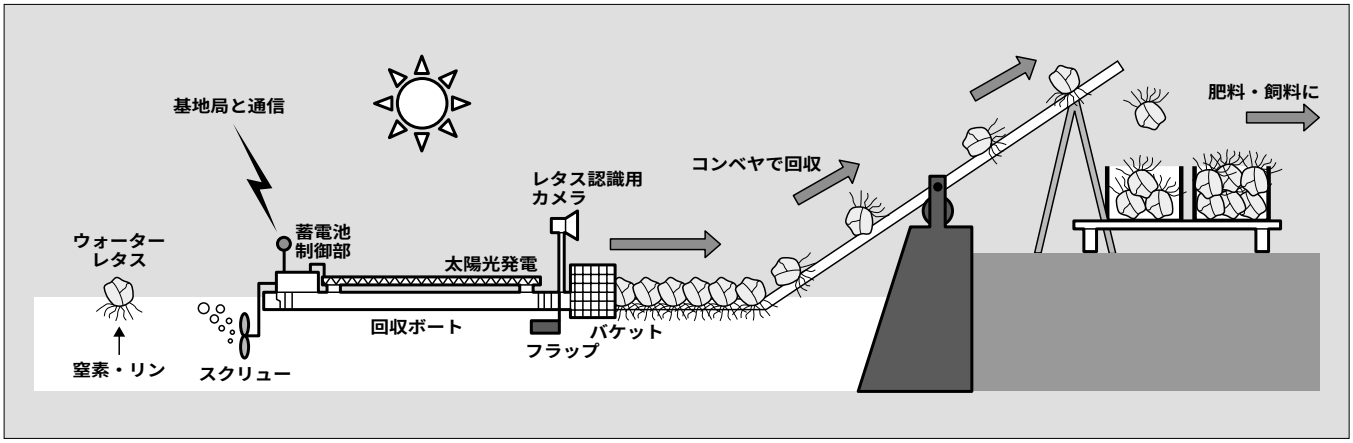


図8　水生植物を利用する水質浄化システム



一方，課題は次のとおりである。

○水深５m 以浅では効果がない。

○底泥の巻上げにより水中の栄養塩濃度が高まり藻類増殖を増長する場合がある。

○ダム湖の場合，放流水温低下による影響に注意が必要である。

4 あとがき

21世紀は地球規模での環境の世紀といわれている。水分野においては「水環境」を悪化させる要因をとらえ，水循環の仕組みを理解し，有効な水質保全対策を実施していくことが強く望まれる。

本稿では，湖沼水質保全システムについて述べた。富士電機は，今後も水道水源とする湖沼の保全について取り組んでいく所存である。

最後に，湖沼の直接浄化における水生植物利用について有益なご助言をいただいた群馬工業高等専門学校の青井透教授に謝辞を申し上げる次第である。

参考文献

(1) UNEP. Global Environment Outlook 2000 Overview. 1999，p.9-15.

(2) 日本水環境学会編．日本の水環境行政．ぎょうせい，1999，284p.

(3) Dunn, J. British Medical Journal （BMJ）. vol.312, 1996，p.1183-1184.

(4) 石川県企業局．水質試験年報．第５～11集，1990-1998.

(5) 明瀬郁郎，中森義輝．藻類除去によるダム湖の水質保全効果予測シミュレーション．第35回日本水環境学会年会講演集. 2001，p.370.

(6) 明瀬郁郎．ダム湖の水質保全を目的とした藻類増殖モデルの構築と制御．北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科修士学位論文．2001，p.81.

(7) Okada, M. et al. Biotechnol. Bioeng. vol.24, 1982，p.143.

(8) 岡安祐司ほか．硝化細菌を用いた毒物モニタによる河川水質モニタリング．土木研技術資料．vol.41-9，1999，p.44.

(9) 宗宮功編著．琵琶湖．技報堂出版，2000.

(10) 田中宏明編著．河川，湖沼，ダム貯水池等の浄化手法についての総合的検討．建設省土木研究所，1998.

(11) 山本総一郎，小野正敏．太陽光発電利用貯水池水質保全システム．富士時報．vol.73，no.4，2000，p.253-256.

(12) 青井透．上流域における水生植物による水環境の浄化．環境施設．Vol.82，2000，p.74-78.

(13) 大月伸浩ほか．ウォーターレタスの回収技術と堆肥化の検討．第34回環境工学研究フォーラム講演集．1997，p.49-51.

(14) 小島貞男．かび臭対策としての湖水人工循環法の経験．用水と廃水．vol.26，1984，p.837-844.

解　説　ノンポイント負荷

湖沼に流入する汚濁負荷のうち，事業所や家庭からの負荷と違い負荷源が特定できない面源負荷のことを「ノンポイント負荷」と呼ぶ。一般に，森林，田畑，市街地などから雨水を通じてもたらされる負荷を指す。ノンポイント負荷はその汚染源が把握しにくく，流出を抑制することが現状では困難である。

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沪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

浄水場沪過池出口にて，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。

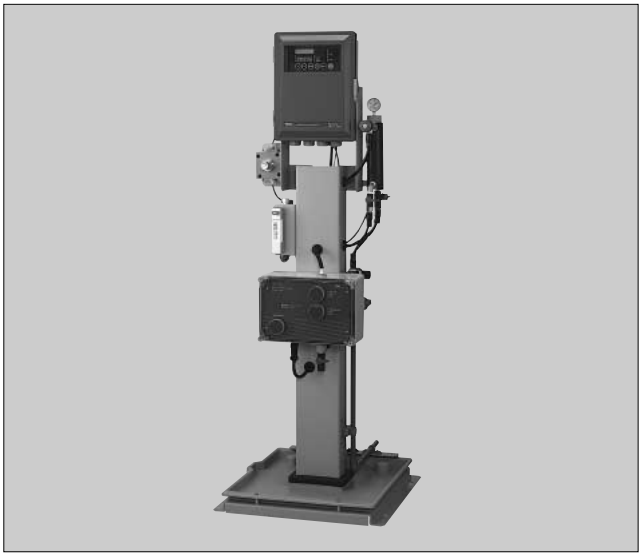
これまで厚生省（現厚生労働省）発令の「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」に基づき，沪過池出口濁度を 0.1 度以内に維持・管理することが求められていた。さらに最近では，欧米をはじめとして，ジアルジア（5 ～ 15 μm）やクリプトスポリジウム（4 ～ 6 μm）などの原虫対策として各粒径ごとの微粒子漏えい管理，沪過池閉そくの原因となる藻類（数 μm～100 μm）の管理が注目されている。

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，浄水場沪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ている。

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

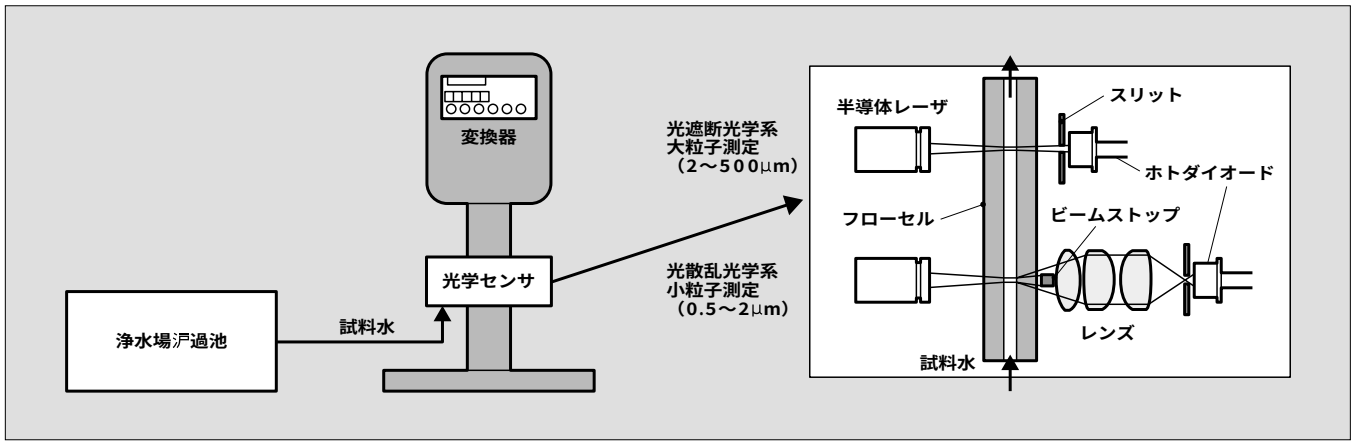


表１　ハイブリッド形微粒子カウンタと従来機の仕様比較

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

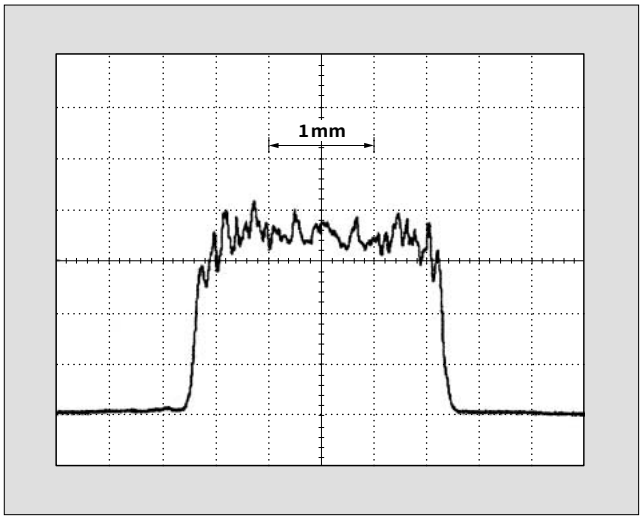
(1)　１台で藻類相当径の微粒子個数と低濁度が測定可能

(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）

図３　レーザのビームプロファイル



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，沪過池の管理，制御を検討中である。具体的には，本センサの出力を基に沪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ロースタート・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で，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，①操作が煩雑である，②分析に時間がかかる，③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ー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，キャリヤ液（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。

図 4　トリハロメタン生成能計の外観

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。

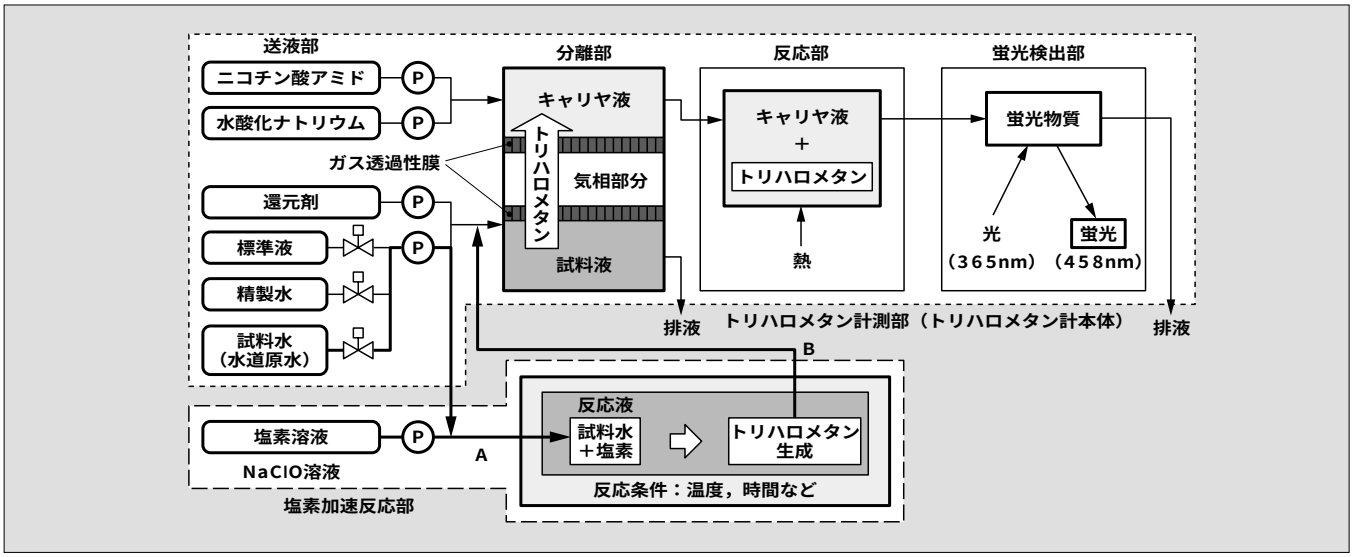
4.3　特　長

(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		ー	0～200 μg/L 公定試験法クロロホルム当量

図 5　トリハロメタン生成能計の測定原理



(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。レーザ光線は，紙面に垂直な振動方向のＳ偏光成分と，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計測法を採用した。しかし，従来の反射強度によるレーザ計測では，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 6　油膜センサの外観

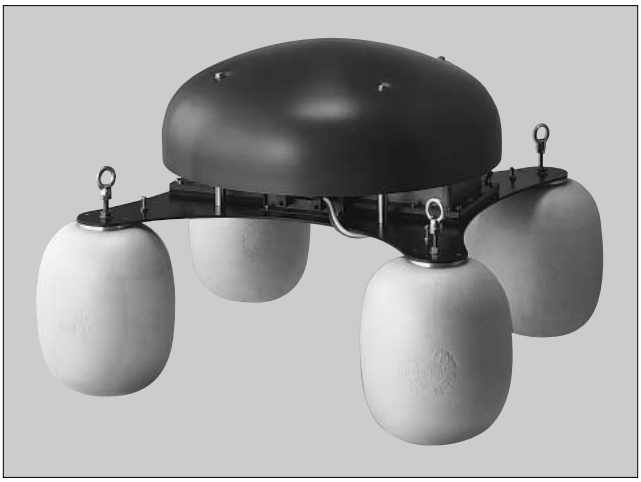


図 7　油膜センサの測定原理

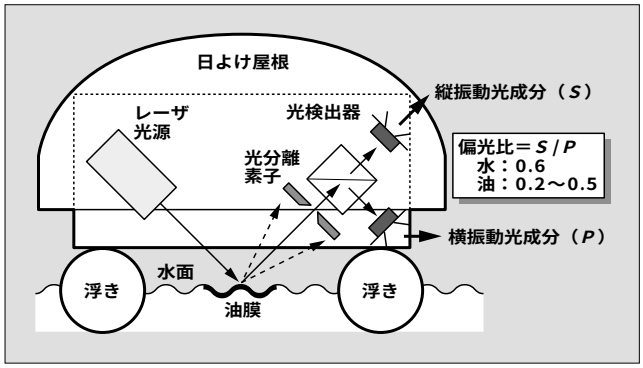
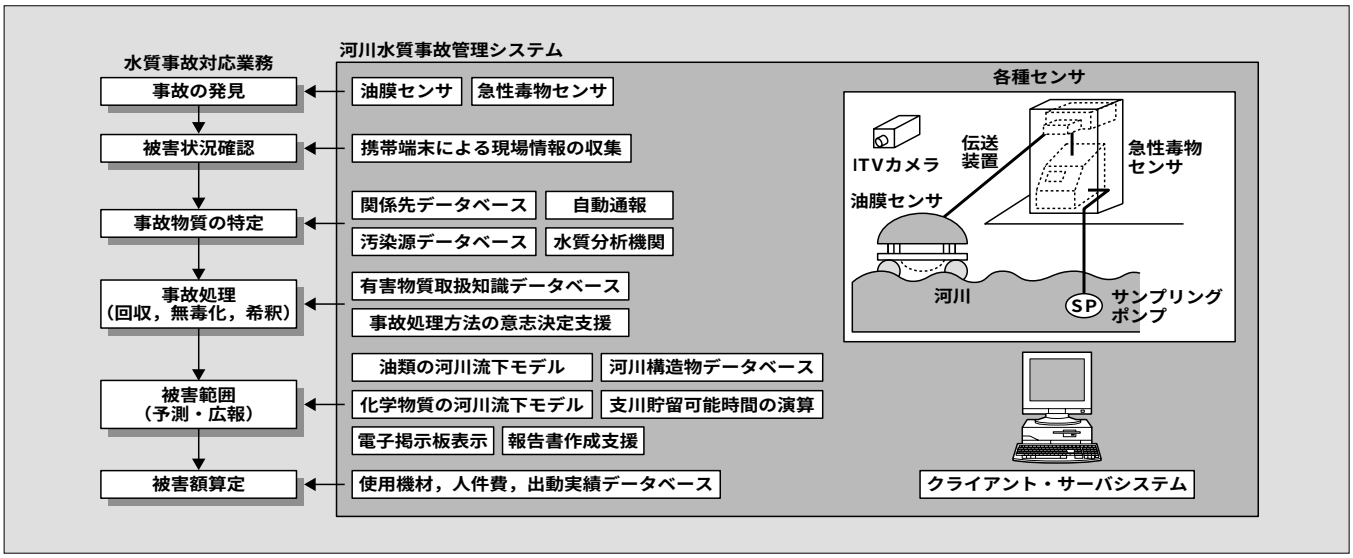


表 3　油膜センサの概略仕様

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	835×835×589（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，迅速かつ的確な対策により，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はなく，他のセンサや IT（Information Technology）との組合せによりトータル的な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.

オゾン処理における臭素酸イオン生成を抑制するためのオゾン注入制御システム

加藤　康弘（かとう　やすひろ）　　森岡　崇行（もりおか　たかゆき）　　星川　　寛（ほしかわ　ひろし）

1　まえがき

安全でおいしい水への要求が高まる中，異臭味やトリハロメタンの低減を目的に，オゾンと活性炭処理〔生物活性炭（BAC：Biological Activated Carbon)〕を中心とした高度浄水処理プロセスの導入が進められ，効果を上げている。

オゾン処理はその強力な酸化作用により，選択的に有機物質などを酸化分解していくが，原水の水質や処理条件によって，さまざまな副生成物を生成することが分かっている。

オゾンと有機物の反応副生成物としては，アルデヒド類，カルボン酸などが挙げられる[1]。これらは概して親水性あるいは生物分解性が高い物質であり，オゾン処理の過程で生成しても，後段の BAC により除去・抑止が可能である。

それに対して，近年特に問題視されているのは臭化物イオン（Br^-）の酸化物である臭素酸イオン（BrO_3^-）である。

国際癌研究機関（IARC）では臭素酸イオンを発がん性物質としてグループ 2B（発がん物質の可能性があるもの）に分類しており，WHO（世界保健機構）では1993年に25μg/L の勧告値[2]が示された。その後，USEPA（米国環境保護局）では 10μg/L の規制値が示され，特に原水中の臭化物イオン濃度が高く，臭素酸イオン生成が問題となる浄水場について対策が義務づけられた。

臭素酸イオン生成量は，原水中の臭化物イオン濃度，オゾン注入率，反応時間などに比例する[3]。したがって，オゾン処理を行う際には，除去対象物質の酸化分解と臭素酸イオンの生成抑制を両立するようなオゾン注入制御を行う必要がある。

そこで本稿では，①原水水質と臭素酸イオン生成特性について概説し，②オゾン処理によるトリハロメタン生成能（THMFP）低減特性と臭素酸イオン生成特性実験結果に基づいて，③臭素酸イオン生成抑制とトリハロメタン低減を両立するオゾン注入制御システムについて述べる。

2　原水水質と臭素酸イオン生成特性

臭素酸イオンの生成量は，原水中の臭化物イオン濃度，オゾン処理条件（オゾン注入率），反応時間などに比例する。また，アンモニウムイオン（NH_4^+）などが共存する場合[4]や，フミン質などの有機物濃度が高い場合に，臭素酸イオン生成が抑制されることが報告されている[5]。

日本国内の場合，一般的な水道原水となる河川水の臭化物イオン濃度は 20 ～ 50μg/L 程度であり（荒川水質，東京都水道局平成11年度水質年報），このレベルの臭化物イオン濃度であれば，通常のオゾン注入制御を行った場合に問題となる濃度（10μg/L 以上）の臭素酸イオンは生成しないと考えられる。

しかし，原水が海水や写真工業の排水の影響を受けやすい場合，また塩分を含む地下水などの場合には臭化物イオン濃度が高い値を示すことから，オゾン処理による臭素酸イオン生成が大いに危惧（きぐ）される。

最近の報告例を挙げると，沖縄県企業局北谷浄水場では臭化物イオン濃度が定常的に高く（100 ～ 200μg/L），臭素酸イオン生成が顕著であるため，オゾン注入制御指針値の見直しや，生成予測手法の検討などが行われている[6]。

国内では今後数年の間に厚生労働省の主導により，毒性の再評価や実態調査が進められていく中で，オゾン処理を導入した事業体，あるいは今後導入を予定する事業体に対して何らかの形（監視義務など）で規制が設けられることは十分に考えられる。したがって，いかなる原水水質の場合でも，オゾン処理設備を導入する際には，臭素酸イオン生成抑制手法を確立しておく必要があるといえる。

3　オゾンによる THMFP 低減特性と臭素酸イオン生成特性

臭素酸イオンの抑制とトリハロメタン低減を両立するオゾン注入制御の指針を得るため，オゾンによる THMFP 低減特性と臭素酸イオン生成特性について実験的検討を行った[7]。

加藤　康弘

オゾンを用いた上水の高度処理技術開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所環境技術研究所。

森岡　崇行

オゾンを用いた上水の高度処理技術開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所環境技術研究所グループマネージャー。工学博士。日本水環境学会会員，国際オゾン協会会員。

星川　　寛

上下水道分野の水処理技術と水質分析計の研究・開発・企画に従事。現在，電機システムカンパニー環境システム本部技師長。工学博士。AWWA 会員，日本水環境学会会員，電気学会会員。

また，実際の浄水処理施設では，オゾン処理の後段にBACを設置するのが一般的である。そこでBACも含めた処理性能の予測を行うため，オゾン処理による生物分解性向上効果についても検討を行った。

3.1 実験方法

(1) 原水調製方法

供試水には都市近郊河川水を用い，実施設と同様の条件にて凝集沈殿処理を行った。ただし，微量の濁質が残存すると，後の生物分解性評価にばらつきが生じることから，凝集沈殿後の上澄み水を，ガラス繊維沪紙を用いて沪過した。

臭素酸イオン生成特性を調べるため，臭化物イオンとして，市販の臭化ナトリウムを適宜添加した。

(2) オゾン処理方法

オゾン処理は**図1**に示す半回分式接触槽（ステンレス鋼製，実効容積9.0 L）を用いて行った。注入オゾン濃度は1.0，0.5 g/Nm^3，オゾンガス流量は4.5 L/min（オゾン注入速度：0.5，0.25 mg/L/min）とし，20分間オゾン処理を行った。初期pHは7.0に調整し，実験時の水温は20 ℃に保った。

(3) 生物分解性評価方法

供試水およびオゾン処理水の生物分解性評価は，西嶋ら[8]の方法に従った。その方法は次のとおりである。

生物処理を行うための微生物源（植種液）として，凝集沈殿前の原水（未殺菌の河川水を2 μm フィルタで沪過したもの）を用いた。

オゾン処理実験により経時的に採水した各サンプルについて，植種液を1 vol %の割合で加え，20 ℃の暗所で14日間静置し，生物分解を進行させた後に再度水質を測定した。

(4) 分析項目

評価項目は，溶存オゾン濃度，THMFP，臭素酸イオンおよび臭化物イオン濃度，溶解性有機物濃度（DOC），紫外部吸光度（UV_{260}）とした。UV_{260}とは共役炭素二重結合（C=C）を持つ有機物の指標であり，色度や臭気物質の代替指標として用いられるものである。

3.2 実験結果および考察

実原水のオゾン処理特性を**図2**に示す。オゾン注入速度は0.5 mg/L/minである。供試水の臭化物イオン濃度は150 μg/L，THMFPは38.0 μg/Lであった。図では横軸をオゾン消費量としてプロットした。オゾン消費量とは注入したオゾンのうち，処理水中に移行・溶解したオゾン量であり，（注入オゾン量－排オゾン量：処理水1 Lあたり）の積算値である。このオゾン消費量は，ほぼオゾン注入率とみなすことができる。

臭素酸イオンはオゾン消費量が0.75 mg/Lを超えたあたりから生成し始め，その後消費量に応じて増加し，最終的にオゾン消費量1.25 mg/Lにおいて11.6 μg/Lとなった。溶存オゾン濃度はオゾン消費量0.5 mg/L 付近から増加しており，先の臭素酸イオンより立上りが速いことが分かる。一方，THMFPはオゾン処理開始直後から低下し，オゾン消費量0.75 mg/L以降では，ほぼ一定の値を示した。

これらの水質変化を経時的に総括すると，オゾン反応の初期の段階ではオゾンとトリハロメタン前駆物質の反応が優先的に進行し，その後余剰のオゾンが溶存オゾンとして残留し，臭素酸イオンの生成が進行していると考えられる。

したがって**図2**の例では，オゾン消費量（＝オゾン注入率）0.75 mg/L程度でオゾンの注入をとどめておけば，THMFPは十分低減されると同時に，10 μg/L以上の臭素酸イオンは生成しないことが分かる。このときの溶存オゾン濃度は約0.1 mg/Lとなることから，溶存オゾン濃度を

図1　オゾン処理実験装置

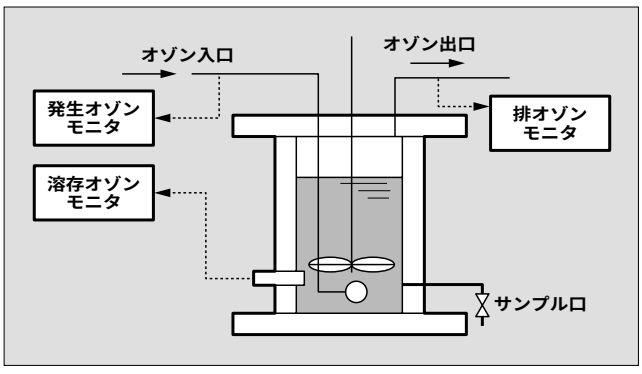


図2　実原水のオゾン処理特性

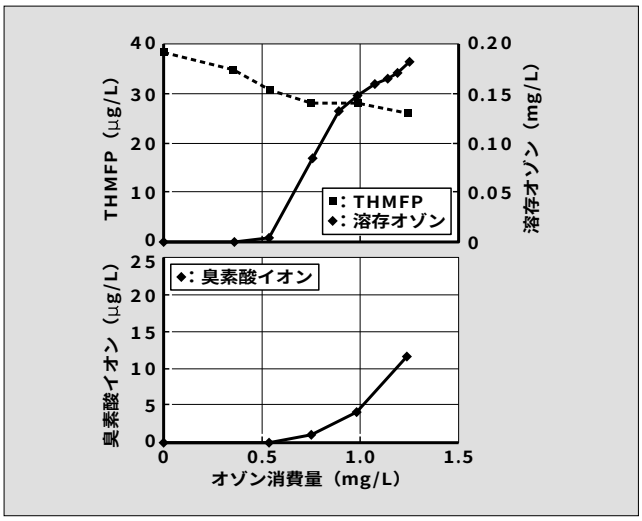
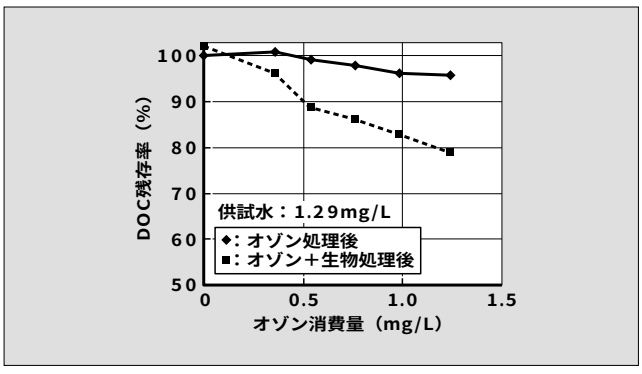


図3　DOC残存率による生物分解性評価結果



厳密に監視し，必要最少量のオゾン注入制御を行うことで，臭素酸イオン抑制と THMFP 低減の両立は可能であると考えられた。

図 3 には，オゾン消費量と DOC 残存率の関係（図中凡例：オゾン処理後）と，各サンプルについて先述の方法により生物処理を行った後の DOC 残存率を示す。この系列を「オゾン＋生物処理後」と呼ぶことにする。

オゾン処理のみでは DOC の低減，すなわち有機物の無機化はあまり起きず，オゾン消費量 1.25 mg/L における DOC 残存率は 96 %であった。

一方，オゾン＋生物処理後の値をみると，オゾン消費量に応じて DOC 残存率は低下し，オゾン消費量 0.75 mg/L および 1.25 mg/L の場合，残存率はそれぞれ 86 %，79 %となった。この残存率の低下は，生物分解によるものと判断できる。また，オゾン消費量 0 mg/L では DOC がまったく低減されないことから，オゾン処理は生物分解処理の前処理として，非常に有効であることが分かる。また，その効果は**図 2** に示した THMFP の低減効果と同様，オゾン処理開始後速やかに起きていることから，臭素酸生成を抑制すべく，オゾン注入量を抑制した場合でも，ある程度の生物分解性向上効果は期待できることが推察された。

図 4 は，THMFP および UV_{260} を指標とした場合の生物分解性評価結果である。この実験では，特に反応初期の処理特性を調べるため，オゾン注入速度を 0.25 mg/L/min に下げて行った。また，初期臭化物イオン濃度の影響を見るため，供試水の臭化物イオン濃度を 360 µg/L とした。

オゾン処理を行った結果，オゾン消費量 0.9 mg/L における臭素酸イオン濃度は 5.5 µg/L，溶存オゾンは 0.06 mg/L であった。これは先の**図 2** とほぼ同等の値であり，臭化物イオンの初期濃度の影響はあまり受けていないといえる。

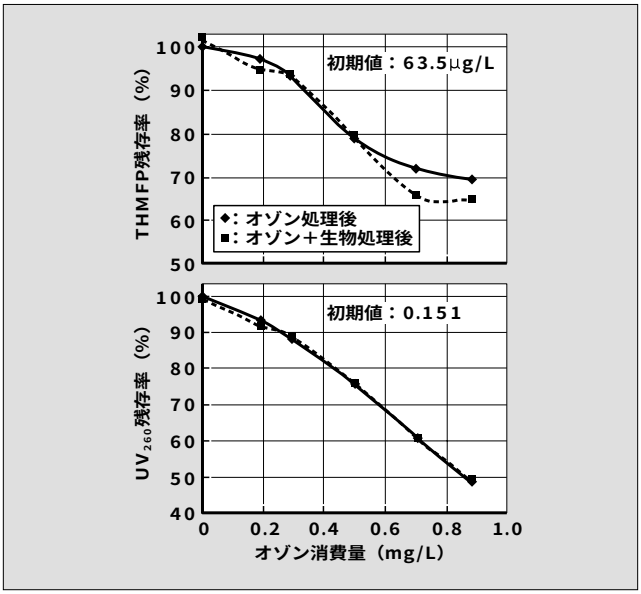
THMFP はオゾン消費量 0.7 mg/L 付近まで速やかに低減された。

オゾン処理後とオゾン＋生物処理後の値を比較すると，特にオゾン処理の初期（オゾン消費量 0 〜 0.5 mg/L）では，THMFP 残存率に差が見られない。このことからオゾン処理の初期段階では，生物処理よりもオゾン処理による THMFP 低減効果の方が大きいことが分かる。

また，UV_{260} は生物処理によりまったく変化しないことが分かる。UV_{260} 低減に関しても，オゾン処理の効果が卓越しており，生物分解による低減効果は期待できないことを意味している。

以上から，オゾンと生物処理を組み合わせた処理プロセス（O_3 ＋ BAC）は，オゾンによる有機物の質的改善効果，ならびに生物処理による有機物の量的低減効果の双方が効率的に得られるプロセスであることが分かる。

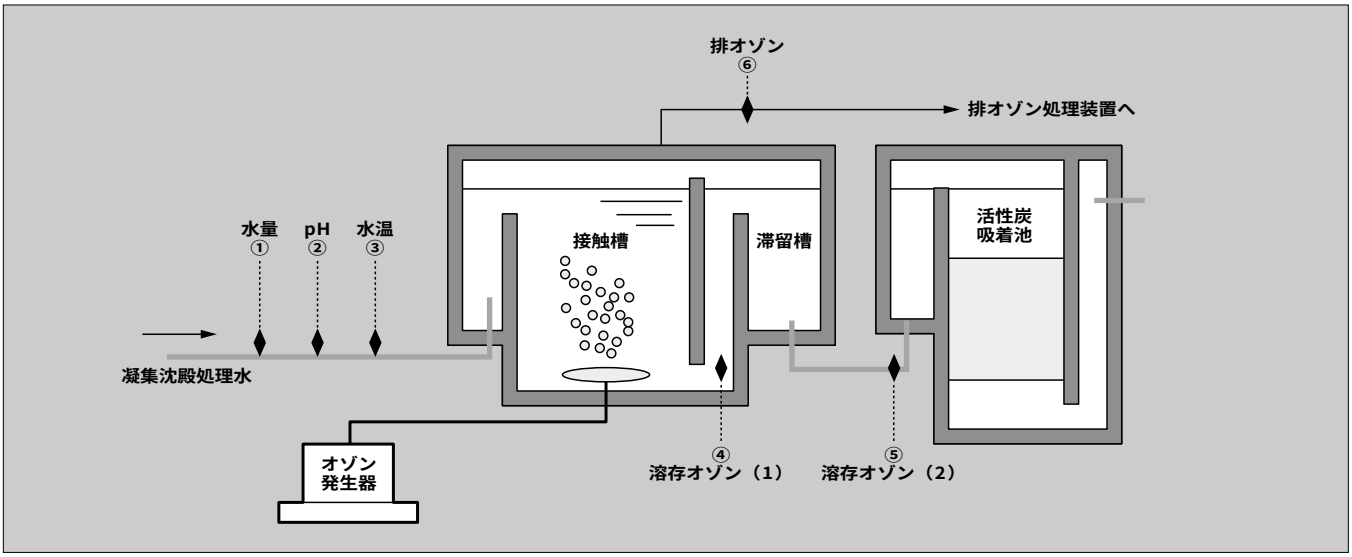
図 4　THMFP，UV_{260} 残存率による生物分解性評価結果



4　臭素酸イオン生成抑制のためのオゾン処理施設

以上の結果から，臭素酸イオン生成を抑制し，かつトリ

図 5　臭素酸イオン生成抑制オゾン処理フロー



ハロメタン低減を可能とするオゾン処理フロー，およびオゾン接触槽回りの主な計装項目を**図5**に示す。

4.1 運用制御の考え方

実施設におけるオゾン注入制御は，溶存オゾン濃度を監視するのが一般的である。溶存オゾン濃度による発生量制御は，各地の浄水場で運用実績があるが，特に臭素酸イオン生成抑制のためには，きわめて低い溶存オゾン濃度を，オゾン接触後速やかに監視する必要がある。したがって，溶存オゾン濃度の監視点としては，従来のような滞留槽出口ではなく，オゾン接触槽出口，あるいはその近傍（**図5**中④）であり，制御値としては前項の実験結果や機器の安定性を考慮すると，0.1 mg/L 程度が妥当であると考えられる。

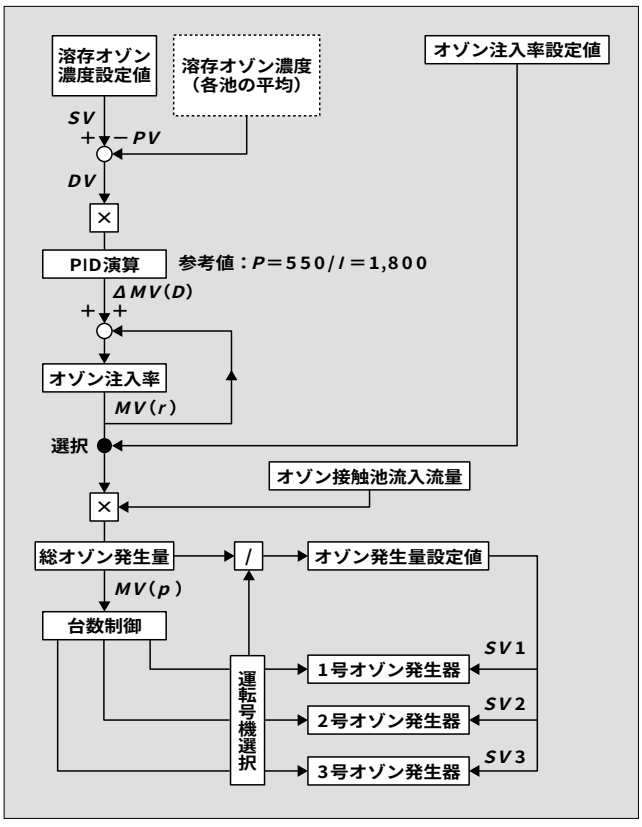
4.2 制御方法

図6に溶存オゾン制御における制御ブロック図を示す。臭素酸イオン生成を抑制する場合も，基本的な考え方は同じだが，特に重要な点を以下に述べる。

4.2.1 計測ポイントの選定

溶存オゾン濃度のサンプリングポイントは，検出可能な溶存オゾンが存在し，水流や気泡の影響で計測値が不安定になりにくい場所を選ぶ。従来は反応槽出口でサンプリングするケースが多かったが，前述のとおり，臭素酸イオン生成を抑制する目的においては，オゾン接触槽の直後とする。

図6　溶存オゾン制御ブロック図



4.2.2 応答時間

プロセス制御を感度よくコントロールするためには，プロセス応答が速いほどよい。具体的には，サンプリングポイントを滞留槽から接触槽の直後にすることで応答時間は短くなる。そのほか，応答時間を短くするためには，サンプリング距離や流量，計測器自体の応答速度などを考慮する。

4.2.3 計測器の感度

臭素酸イオン抑制のためには，溶存オゾン濃度を高くしないことが重要で，低レベルでのコントロールが必要となるため，0.01 mg/L レベルまでを安定して計測できる機器を選定する。具体的には，ポーラロ電極式や紫外線吸収式（気相置換式）の実績がある。

図5中④のサンプリングポイントは接触槽の出口であり，溶存オゾン濃度が最も高まるポイントである。気泡や水流の影響を若干受けるため，測定値の安定性では滞留槽出口には劣るがプロセス応答は速くなる。必要な場合は入力処理で外乱を抑える。臭素酸イオン生成抑制のためには，ここでの目標値を 0.1 mg/L 前後で制御する。

4.2.4 臭素酸イオン生成抑制のための運転支援システム

臭素酸イオン生成のリスクを低減するため，本制御法では，以下のような運転支援システムを付加する。

(1)　溶存オゾン濃度リミット

活性炭吸着池の入口に溶存オゾン濃度計を設け，ある一定値以上の溶存オゾン濃度が検出されたら，強制的にオゾン発生量を抑える。これは，オゾン消費性物質が少なく，臭化物イオン濃度が高く，水温が低い条件で溶存オゾンが残留し，臭素酸イオン生成に寄与することを抑止するためである。

(2)　オゾン反応シミュレーションの活用

オゾン反応槽の形状が決まり，各種計測値（水温，pH，排オゾン濃度，溶存オゾン濃度，処理水量，オゾン発生量など）のデータがあれば，その時点でのオゾン処理特性をオゾン吸収，反応シミュレーションにより計算することが可能である。シミュレーションでは溶存オゾン濃度， CT（濃度×時間）値，臭気物質除去率， 臭素酸イオン生成濃度，クリプトスポリジウム不活化率などの項目が演算可能である。臭素酸イオン生成抑制という観点では，反応槽内の最大溶存オゾンが，例えば 0.1 mg/L となるようなオゾン注入率をシミュレーション演算で求め，その値を制御に反映するなどの高度な制御を行うことができる。

5　あとがき

(1)　オゾンによるトリハロメタン前駆物質の酸化，分解反応は，臭素酸イオン生成反応よりも優先的，かつ速やかに進行することから，溶存オゾン濃度を監視し，必要最少量のオゾン注入制御を行うことで，臭素酸イオン生成の抑制，および THMFP 低減の両立が十分可能である。

(2)　本制御法では低濃度の溶存オゾン濃度を迅速に検知する必要から，オゾン接触槽出口，あるいはその近傍にお

ける溶存オゾン濃度を監視する。制御値としては0.1 mg/L程度となる。また，臭素酸イオン生成のリスクを低下させるための運転支援システムを備えることで，制御をより確実なものとする。

(3) オゾン処理による有機物の生物分解性向上は，THMFPの低減反応と同様，オゾン注入後速やかに進行するため，臭素酸イオン生成を抑制すべくオゾン注入量を抑制した場合でも，BACとの併用効果は，従来と同様に期待できる。

本制御方法を適用するにあたっては，該当原水による長期的な制御安定性の評価や，制御指針（溶存オゾン制御値）の高精度化などを予定している。

今後は他の除去対象物質への影響やBACとの併用効果の実証などを通じ，より確実で効率的なオゾン注入制御方法の確立を推し進めていく所存である。

参考文献

(1) 山田春美．副生成物とTHMFPの挙動．水道協会雑誌．vol.64，no.10，1995，p.21-26.

(2) WHO．Guidelines for drinking water quality．second edition vol. 1，1993.

(3) Bourgine, F. P. et al．Ozone and the Formation of Bromide in Water Treatment．Water Environment Management，vol.7，no.6，1993，p.571-576.

(4) 佐谷戸安好ほか．水中臭素イオンのオゾン酸化による次亜臭素酸イオン変換に及ぼす共存無機化合物の影響．水道協会雑誌．vol.59，no.12，1990，p.19-24.

(5) 浅見真理ほか．オゾン処理による臭素酸イオンの生成における共存有機物の影響．水環境学会誌．vol.19，no.11，1996，p.930-936.

(6) 赤嶺永正ほか．オゾン処理副生成物の低減化対策と生成因子の検討．日本オゾン協会第10回年次研究講演会予稿集．2000，p.27-30.

(7) 加藤康弘ほか．オゾン処理による消毒副生成物低減と生物分解性に関する検討．日本水道協会第51回全国水道研究発表会予稿集．2000， p.162-163.

(8) 西嶋渉ほか．活性炭に対する吸着性及び生物分解性に基づく溶存有機物の分画．水道協会雑誌．vol.65，no.4，1996，p.25-30.

高効率オゾン併用膜沪過システム

野中　規正（のなか　のりまさ）　　角川　功明（かどかわ　なるあき）　　本山　信行（もとやま　のぶゆき）

1　まえがき

1980年代末に欧米において浄水プロセスに膜分離技術が導入され始めた。膜分離技術は従来の凝集・沈殿・沪過を主体とする技術と異なり，その運転，維持管理，処理水質でさまざまな利点を有することが明らかになった。この成功に刺激され，日本でも1991年から官・学・民が一体となったナショナルプロジェクト「膜利用型新浄水システム開発研究（MAC 21 計画）」が行われた。この実験の成果を受け，1995年に，ガイドライン，技術認定などの水道膜沪過施設導入への体制が整えられ，それ以降，簡易浄水場を主として，飲料用の膜処理施設が導入され，2000年 6 月現在で 185 か所に達した。

1999年には北海道の西空知浄水場に処理水量 6,000 m^3/日の膜沪過式浄水場が建設され，2001年 3 月には栃木県今市市の瀬尾浄水場において処理水量 10,000m^3/日の膜沪過式浄水場が稼動を始めた。このように膜沪過式浄水場は当初の簡易浄水場から次第に中・大規模の浄水場へ導入され始めた。欧米においてはすでに処理水量 10 万 m^3/日規模の膜沪過式浄水場が建設され，稼動している。[(1)(2)] このように処理施設の規模が大きくなるに伴い，簡易浄水場における膜沪過施設の導入目的であった浄水場運転の自動化，安定した処理水質，病原菌などの微生物除去の目的から，さらに，原水の汚濁に対応した膜沪過技術が要求されるようになった。

浄水場に使用される膜の種類としては，精密沪過膜（MF 膜），限外沪過膜（UF 膜）が中心であり，外国においてはナノ沪過膜（NF 膜）も応用されている例があるが，その使用のためには前処理，濃縮液の処分などが必要とされ，コスト，技術面で解決すべき課題があり，まだ普及は進んでいない。MF 膜，UF 膜の場合，除濁・除菌については非常に優れた能力を発揮するが，溶解性物質に対してはその除去能力は小さい。

都市における中・大規模浄水場においては，原水中のマンガン，微量有機物などの影響を考慮する必要があり，その処理が大きな問題となっている。また，浄水場の規模を問わず，クリプトスポリジウムなどの病原性微生物に対応した処理技術がますます必要となってきている。MAC 21 計画に引き続いて行われたプロジェクト「高度処理 MAC 21 計画」においては，上記微量有機物除去のための NF 膜処理技術，活性炭吸着やオゾン処理と膜沪過の組合せ技術などの開発が進められ，その有効性が確認されている。しかしながら，既存の高度処理技術に対する優位性が確立されるためには，なお一層の技術開発が必要であり，高度処理 MAC 21 計画に引き続き実施されている「高効率浄水技術開発研究（ACT 21 計画）」においてもさまざまな試みがなされている。その中でオゾン耐性膜の開発は，既存高度処理プロセスで実証されている処理効果を活用しながら，膜沪過施設が有する長所を生かす処理プロセスとして大きな期待を抱かせた。

本稿では，オゾン処理で培われた技術を活用し開発した，高効率オゾン併用膜沪過システムを紹介する。

2　膜のファウリング

ファウリングによる沪過膜の性能低下を回復させるためには，一般的に薬品による洗浄が行われる。しかしながら，膜の薬品洗浄は膜を劣化させたり，使用する薬品によっては廃液の処理が難しく，浄水プロセスに膜沪過を導入する場合の大きなネックとなっている。浄水プロセスにおけるファウリング物質として，下記のものが挙げられる。

(1)　懸濁物質

懸濁物質の粒子径，荷電などにより膜のファウリング状態に与える影響が異なる。凝集剤の使用によりファウリングを抑制する方法がよく利用される。

(2)　溶解性無機物

膜面あるいは膜の内部に蓄積して膜の目づまりを引き起こす。浄水プロセスでは，マンガンがファウリング物質として関心を集めている。

(3)　溶解性有機物

水道水の消毒副生成物の原因物質としてだけではなく，膜沪過においては膜に吸着されファウリング物質として膜

野中　規正

水処理のエンジニアリング業務に従事。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水環境技術部。技術士（衛生工学部門）。電気学会会員。

角川　功明

膜を用いた上水の高度処理技術開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所環境技術研究所。

本山　信行

オゾン，膜を用いた上水の高度処理技術開発に従事。現在，電機システムカンパニー環境システム本部営業統括部水環境事業推進室課長。日本水道協会会員，日本内分泌撹乱化学物質学会会員。

の性能低下を引き起こす。

(4) 微生物

膜面に付着した微生物は膜面で増殖すると同時に，多糖類などの菌体外高分子化合物を生産し分離膜表面に生物膜を形成する。生物膜は形成されると，塩素の内部への浸透が困難であるため，逆洗などでは除去できずファウリング物質としてたい積することとなる。

これまで目づまりを抑制するためのオゾンの適用技術が検討され[3)〜5)]，その有効性は徐々に明らかになってきているが，オゾンの詳細な作用機構については不明な点が多いのが現状である。

このような状況で，ファウリング物質の蓄積を抑制するためのオゾンの操作条件，膜沪過装置の運転条件などについての技術開発が求められていた。

3 オゾンを併用した膜沪過システムの実証実験

3.1 前オゾン注入式膜沪過システム

3.1.1 目 的

本システムは，オゾン耐性を有する精密沪過膜（以下，オゾン耐性 MF 膜と記す）とオゾン処理を組み合わせることにより，高い膜沪過流束を得ることおよび併せて高度処理を行うことを目的としている。

前処理としてオゾンを注入し，膜沪過水中にオゾンを残留させながら沪過することにより，ファウリングが抑制されるため高い膜沪過流束においても安定して運転ができる方式で，従来システムの膜沪過流束が 1.0 〜 1.5 m^3/（m^2・日）で運転されているのに対して，本システムでは 5 m^3/（m^2・日）を目標とし，高効率化を目指している。

3.1.2 実験方法

(1) 実験場所

北千葉広域水道企業団北千葉取水場

(2) 実験期間

2000年 2 〜 8 月

(3) 実験設備

実験設備は，オゾン処理ユニット，膜沪過ユニットおよび活性炭処理ユニットから構成され，処理水量は約30 m^3/日である。実証実験装置フローを**図1**に示す。また，膜モジュールの仕様を**表1**に示す。なお，本設備による膜沪過ユニットの上限膜差圧は 200 kPa である。

原水は着水槽から取水した江戸川河川表流水を 100 μm のオートストレーナで処理して用いた。**図1**の(a)，(b)，(c)にて原水，膜沪過水および活性炭処理水を採取し，上水試験方法に準拠して水質分析を行った。

(4) 運転方法

表2に実験期間における運転条件を示す。オートストレーナで処理した原水に，PAC（ポリ塩化アルミニウム）を 2 mg/L（Al_2O_3 換算）ライン注入し，膜沪過流束 5 m^3/（m^2・日）でクロスフロー沪過およびデッドエンド沪過にて実施した。20分ごとに，逆洗＋エアスクラビングおよびフラッシングの物理洗浄をした。また，通常，膜の薬品洗浄は膜差圧が上限に達したところで実施するが，本実験においては，およそ 2,000時間で実施し，新しい運転条件で次の運転を行うこととした。なお，この 2,000時間の薬品洗浄間隔は，MAC 21 計画時に，同原水を用いた通常の膜沪過法による実験の薬品洗浄間隔が約 2,000時間であるものが多かったことから設定した[6)]。また，活性炭処理は沪過速度 250 m/日，洗浄間隔 2 日で運転した。

図1　前オゾン注入式膜沪過システムの実証実験装置フロー

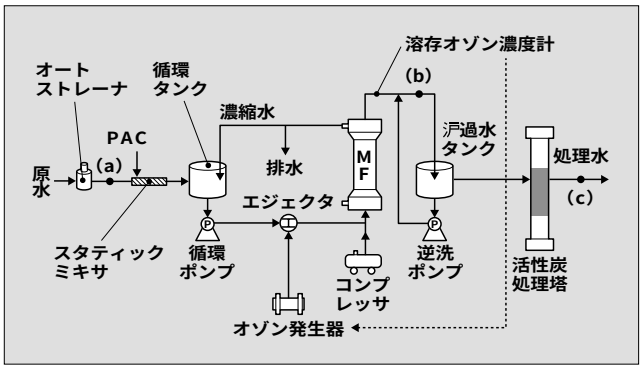


表1　膜モジュールの仕様

型　式	外圧式中空糸
公称孔径	0.1 μm
材　質	ポリふっ化ビニリデン
寸　法	外径1.25 mm，内径0.7 mm
面　積	7 m^2

表2　前オゾン注入式膜沪過システムの運転条件

運転期間		RUN1	RUN2
		2000年2〜4月	2000年4〜8月
前処理	PAC注入率（アルミナ換算）	2 mg/L	
	オゾン注入方法	エジェクタ	
	溶存オゾン濃度	1.0〜2.6 mg/L	0.5〜1.0 mg/L
膜沪過	沪過方式	クロスフロー沪過	デッドエンド沪過
	膜沪過流束	5 m^3/(m^2・日)	
	運転工程	沪過→逆洗＋エアスクラビング→フラッシング	
	物理洗浄間隔	20 分	
	薬品洗浄間隔	2,000 時間	
活性炭処理	沪過速度	250 m/日	
	洗浄間隔	2 日	

3.1.3 実験結果および考察

(1) 運転性能評価

図2に，RUN1 における膜差圧の連続運転結果を示す。膜差圧に大きな影響を与える原水濁度，水温および膜沪過水中の溶存オゾン濃度も併せて示す。膜沪過水中に 1 mg/L 以上の溶存オゾンを残留させながら沪過することにより，膜沪過流束 5 m^3/（m^2・日）においても約 1,900 時間の連続運転を達成することができた。なお，本実験においてはここで運転を停止したが，本装置の上限膜差圧が 200

kPa であることと，この時点における膜差圧が 150 kPa 程度であることから，2,000時間の無薬品洗浄連続運転をすることは可能と推定された。

この結果から，膜沪過水中にオゾンを残留させ，ファウリングを抑制する本システムにおいて，膜沪過流束を向上させることが可能であることを実証した。

図３に，RUN2 の連続運転結果を示す。膜沪過水中に 0.5 ～ 1 mg/L のオゾンを残留させることにより，2,000時間以上の無薬品洗浄運転を達成することができた。また，運転期間中に原水濁度が 150 度程度まで上昇することがあったが，膜沪過水中の溶存オゾン濃度を 1 mg/L に保持することにより，安定して沪過を継続することができた。

以上の結果から，デッドエンド方式においても，膜沪過水中の溶存オゾン濃度が 1 mg/L 以上になるようにオゾン注入率を制御することにより，長期間安定して高い膜沪過流束で運転できることを確認した。

(2)　処理水質

表３に実験期間中に実施した水質分析結果の一例を示す。活性炭処理水は，いずれの水質項目も水道水質基準を満たした良好なものであった。また，定期水質分析として 11 回行った色度，pH，過マンガン酸カリウム消費量，マンガン，鉄，一般細菌，大腸菌群の 7 項目を含め，水道水質基準 46 項目すべて基準値を満足した。

マンガンに関しては，膜沪過での除去率は低かった。これはオゾン注入によりマンガンの一部が 7 価まで酸化され，過マンガン酸イオンとなって溶解したためと考えているが，活性炭処理により検出限界以下まで除去可能とされることを確認した。

図２　前オゾン注入式膜沪過システムの連続運転結果（RUN1）

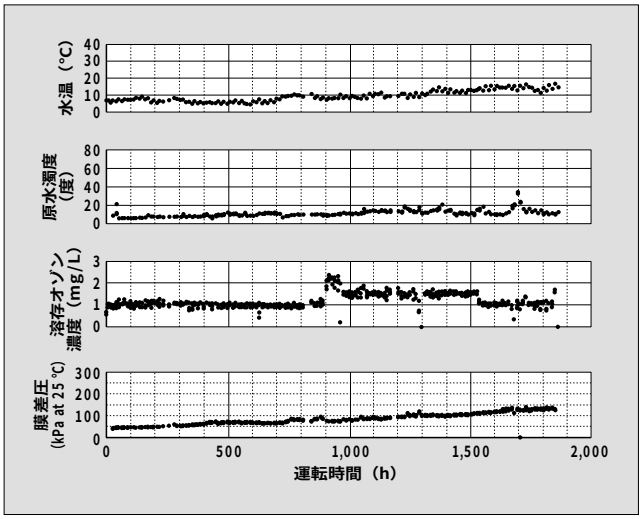
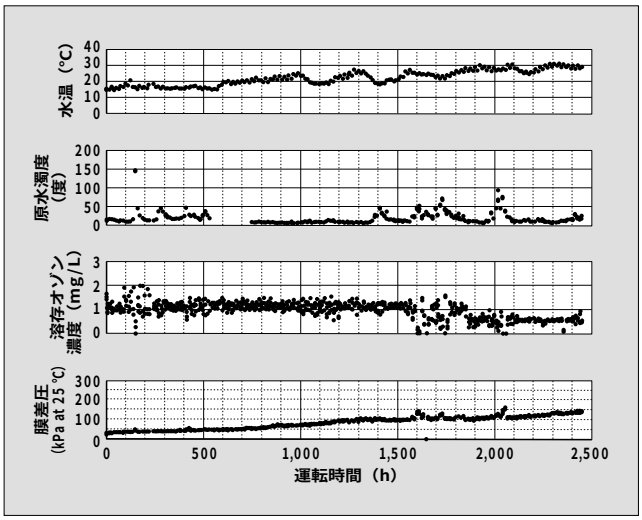


図３　前オゾン注入式膜沪過システムの連続運転結果（RUN2）



3.2　オゾン洗浄式膜沪過システム

3.2.1　目　的

本システムは，膜沪過法にオゾン水を用いた洗浄を組み合わせることによりファウリングを抑制して，高い膜沪過流束を得ることを目的とした。

3.2.2　実験方法

(1)　実験場所

北千葉広域水道企業団北千葉取水場

(2)　実験期間

2000年 2 ～ 11 月

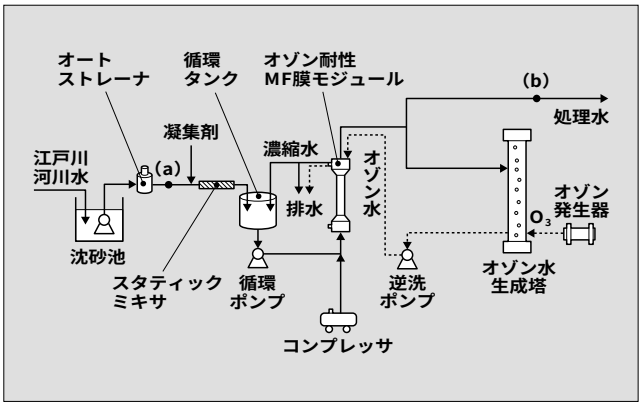
(3)　実験設備

実証実験装置フローを**図４**に示す。処理水量は12 ～18 m^3/日で，原水および膜モジュールは前オゾン注入式膜沪過システムと同様のものを用いた。そして，**図４**の(a)，(b)にて原水および膜沪過水を採取し，上水試験方法に準拠して水質分析を行った。

表３　前オゾン注入式膜沪過システムにおける水質分析結果

水質項目	単位	原水	膜沪過水	活性炭処理水	水道水質基準
濁　　度	度	30.0	＜0.1	＜0.1	2以下
色　　度	度	10	＜1	＜1	5以下
pH	－	6.8	7.0	6.8	5.8～8.6
過マンガン酸カリウム消費量	mg/L	11.4	3.4	2.2	10以下
マ ン ガ ン	mg/L	0.06	0.02	＜0.005	0.05以下
鉄	mg/L	1.30	＜0.01	＜0.01	0.3以下
一 般 細 菌	個/mL	860	0	6	100以下
大 腸 菌 群	－	陽性	陰性	陰性	検出されない

図４　オゾン洗浄式膜沪過システムの実証実験装置フロー



(4) 運転方法

表４に実験期間における運転条件を示す。オートストレーナで処理した原水に適宜 PAC を注入し，膜沪過流束 2 ～ 3 m³/（m²･日）でクロスフロー方式にて沪過した。20 分ごとに，逆洗＋エアスクラビングおよびフラッシングの物理洗浄をした。ここで，逆洗はオゾン水を用いて行っており，**図４**に示した点線のラインである。なお，逆洗に使用したオゾン水はオゾン水生成塔にて膜沪過水を用いて製造した。

3.2.3 結果と考察

(1) 運転性能評価

表４　オゾン洗浄式膜沪過システムの運転条件

項目＼運転期間	RUN1	RUN2	RUN3
	2000年 2～6月	2000年 6～9月	2000年 10～12月
PAC注入率（アルミナ換算）	2 mg/L	なし	0→2 mg/L
沪過方式	クロスフロー沪過		
膜沪過流束	2 m³/(m²･日)		3 m³/(m²･日)
運転工程	沪過→逆洗＋エアスクラビング→フラッシング		
物理洗浄間隔	20 分		
逆洗水オゾン濃度	5～7 mg/L	7 mg/L	
薬品洗浄間隔	2,000 時間		

図５　オゾン洗浄式膜沪過システムの連続運転結果

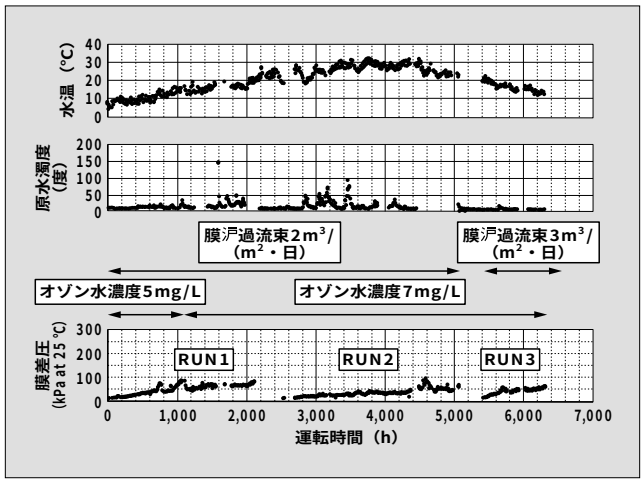


表５　オゾン洗浄式膜沪過システムにおける処理水質

水質項目	単位	原水	膜沪過水	水道水質基準
濁度	度	5.0	＜0.1	2以下
色度	度	4	＜1	5以下
pH	－	7.6	7.6	5.8～8.6
過マンガン酸カリウム消費量	mg/L	3.1	2.1	10以下
マンガン	mg/L	0.02	＜0.005	0.05以下
鉄	mg/L	0.28	＜0.01	0.3以下
一般細菌	個/mL	4,300	0	100以下
大腸菌群	－	陽性	陰性	検出されない

図５に連続実験における連続運転結果を示す。RUN1 において，逆洗水中の溶存オゾン濃度を 5 mg/L に設定して膜沪過流束 2 m³/（m²･日）の条件にて運転を開始した。約 1,000時間運転した時点で膜差圧の上昇速度が大きくなったため，逆洗オゾン水の溶存オゾン濃度を 7 mg/L まで上げたところ，膜差圧の上昇は抑えられ，2,000時間以上，2 m³/（m²･日）の高流束で安定して沪過することができた。薬品洗浄を行った後，RUN2 において，PAC を添加せずに膜沪過流束 2m³/（m²･日）の条件で運転を再開した。実験期間中，濁度が 40 ～ 80 度程度まで上昇することが５回以上あったが，2,000 時間以上安定して運転することができた。さらに薬品洗浄後，RUN3 において膜沪過流束を３ m³/（m²･日）まで上げて運転を行ったところ，１か月間以上安定沪過でき，さらなる膜沪過流束向上の可能性が確認された。

これらの結果から，逆洗にオゾン水を用いるオゾン洗浄式膜沪過システムにおいても，オゾンの効果でファウリングを抑制でき，膜沪過流束を向上することが可能であると実証された。

(2) 処理水質

表５に実験期間中に実施した水質分析結果の一例を示す。処理水は，いずれの水質項目も水道水質基準を満たした良好なものであった。また，定期水質分析として 18 回行った色度，pH，過マンガン酸カリウム消費量，マンガン，鉄，一般細菌，大腸菌群の 7 項目を含め，水道水質基準 46 項目すべて基準値を満足した。

前オゾン注入式における膜沪過システムではマンガン除去率が低かったが，本システムでは膜沪過のみでも十分に除去することができた。マンガンの除去率は PAC の添加の有無にかかわらず実験期間中 93 %以上であった。

4 システムの仕様

4.1 オゾン併用膜沪過装置の仕様

オゾン併用膜沪過システムは，実証実験に示した二とおりの方式がある。実証実験から得られた装置の仕様を**表６**に示す。高度処理が必要とされる原水に対しては前オゾン注入式膜沪過システムを，高度処理が不要な原水に対してはオゾン洗浄式膜沪過システムを採用することにより，オゾンの効果的な適用ができ，システム全体の高効率化が図

表６　システムの仕様

項目＼分類	前オゾン注入式 膜沪過システム	オゾン洗浄式 膜沪過システム
対象原水	高度処理必要	高度処理不要
オゾン適用法	前オゾン注入	オゾン水逆洗
膜沪過流束	5 m³/(m²･日)	2～3 m³/(m²･日)
凝集剤	PAC適宜注入	
処理フロー	オゾン→膜沪過→活性炭	膜沪過
処理水質	水道水質基準を満足 ただし，濁度は0.1未満	

図6　前オゾン注入式膜沪過システムを用いた場合の給水フロー

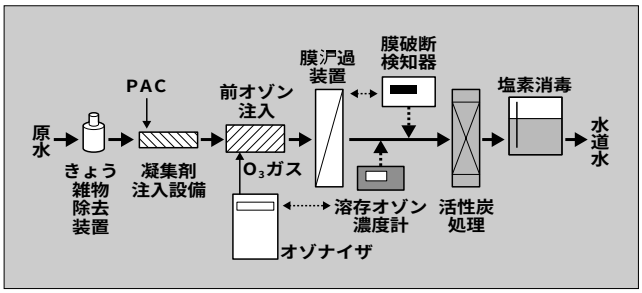
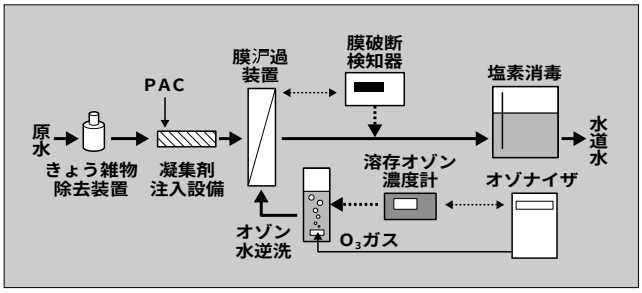


図7　オゾン洗浄式膜沪過システムを用いた場合の給水フロー



られる。

4.2　オゾン併用膜沪過装置のフロー

前オゾン注入式膜沪過システムおよびオゾン洗浄式膜沪過システムを用いた給水フローを**図6**および**図7**に示す。それぞれの方式ともに，膜の損傷や膜モジュール入口などの閉そくを防止するために原水をきょう雑物除去設備にて処理したのちに，各プロセスを経て処理水が得られ，最終的に塩素殺菌して給水されるものである。また，膜の破断対策として高感度濁度計もしくは微粒子カウンタを用いて系列ごとの膜沪過水の水質を計測し，異常が生じた場合には，その系列の運転を停止する安全な制御となっている。

4.3　オゾン注入量制御

前オゾン注入式膜沪過システムでは，膜沪過水中の溶存オゾン濃度を所定値（原水水質，膜沪過流束，薬品洗浄間隔により設定）に維持することが，沪過水を安定供給するうえで重要となる。本システムでは，膜沪過水中の溶存オゾン濃度を計測し，それを基に供給オゾンガス濃度を制御することによって，必要最低限のオゾン注入率にて運転を行う。

オゾン洗浄式膜沪過システムにおいても，逆洗水の溶存オゾン濃度が所定値となるように，供給オゾンガス濃度を制御することにより，必要最低限のオゾン注入率にて運転を行う。

5　あとがき

オゾン耐性を有するＭＦ膜を用いた高効率オゾン併用膜沪過システムとして，「前オゾン注入式膜沪過システム」と「オゾン洗浄式膜沪過システム」を紹介した。今後は，ファウリング物質に与えるオゾン作用機構の解明をさらに進め，個々の水道原水に適した高効率で高品位な処理水を得るための浄水システムを提供する所存である。

なお，本実証実験は，ACT21 計画第３研究グループの持込研究として，旭化成(株)，磯村豊水機工(株)および日本鋼管(株)との共同で実施したものであり，遂行にあたっては，北千葉広域水道企業団の関係各位にご協力いただいた。ここに感謝の意を表する次第である。

参考文献

(1) Crapper, J. et al. CMF-S Microfiltration Plant to Treat 126ML/day. 第２回国際水道膜フォーラム講演要旨集. 2001, p.13.
(2) States, S. et al. Membrane filtration as posttreatment. JAWWA. vol.92, 2000, p.59-68.
(3) 橋野昌年ほか. 耐オゾン膜モジュールを用いたオゾン併用プロセスの検討. 第50回全国水道研究発表会講演集. 1999, p.212.
(4) 角川功明ほか. オゾン耐性膜を用いた湖沼水の浄化に関する基礎的検討. 第51回全国水道研究発表会講演集. 2000, p.202.
(5) 澤田繁樹ほか. オゾンを共存させた MF 膜ろ過におけるファウリング抑止効果. 水道協会雑誌. vol.69, no.7, 2000, p.12-21.
(6) 国包章一ほか. 膜ろ過実証プラント実験における膜ろ過流束と浄水能力の関係. 第46回全国水道研究発表会講演集. 1995, p.206.

エネルギー自立型の浄水場

山本 総一郎（やまもと　そういちろう）　長倉　善則（ながくら　よしのり）　伊藤　　一（いとう　はじめ）

1　まえがき

地球温暖化，酸性雨などに見られる地球環境の悪化を受けて，気候変動枠組み条約第３回締約国会議（COP3）において「京都議定書」が採択（1999年４月）されて以来，「『エネルギーの使用の合理化に関する法律』の改正法（改正省エネルギー法）」（1998年６月），「地球温暖化対策の推進に関する法律」（1999年４月），「循環型社会形成推進法」（2000年５月）と法整備も進み，21世紀に地球環境に優しい循環型社会を構築する素地が形成された。水道事業体においても水道事業への環境会計の導入，浄水場の環境ISO（ISO14001）の取得など，このような社会構築に向けた取組みが行われ始めている。

新エネルギー機器の導入により，通常時は地球環境に優しいエネルギー利用によって省エネルギーと環境性の改善を行い，震災などの災害時には自前のエネルギーとして水道施設を停電させることなく自立的に稼動させることで，環境保全およびライフラインとしての水道施設機能保全の双方に寄与する取組みが行われている。

本稿では，このような環境保全と災害対策の意味合いを併せ持つ設備として，東京都水道局東村山浄水場に納入した水力発電設備，コージェネレーション設備，太陽光発電設備などの事例について紹介する。

2　東村山浄水場の特徴

東村山浄水場は新宿から西方約20 kmの東村山市内にあり，施設能力は126.5万 m^3/日（平均給水量約90万 m^3/日）で，都内の７区部と多摩地区の約200万人に給水している浄水場である。

東村山浄水場の水運用面での特徴として，

(1)　多摩川系・利根川系の原水連絡接点となっており，双方の原水を処理できる。

(2)　比較的標高の高い場所に位置するため，区部へは自然流下により給水することができる。

ことが挙げられ，震災などの災害時においても施設機能を維持することができれば，拠点施設として稼動することが可能である。また施設面では，

(1)　貯水池から自然流下の導水路を有している。

(2)　熱利用が可能な排水処理設備を有している。

(3)　配水池の上部に広大なスペースを有している。

ことが挙げられ，水力発電，コージェネレーション，太陽光発電の各設備導入に適した施設環境であるといえる。

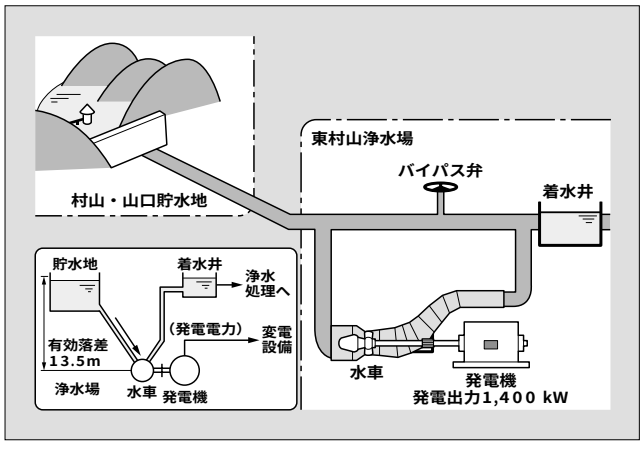
また東村山浄水場は，東京都水道局の環境保全のためのモデルサイトとして，水源管理事務所とともに2001年２月にISO14001を取得し，環境マネジメントシステムを運用する浄水場としても注目されている。

3　発電設備

3.1　原水流入導水管に適用した水力発電

東村山浄水場の取水系統のうち村山下貯水池（多摩湖）からの導水管は，浄水場との間の落差を利用して自然流下方式により導水を行っている。この導水管を分岐して水車を設置し，浄水場内負荷への電力供給を行う水力発電設備が2001年４月から稼動している。設置場所は地下とし，地上部にあるのは水力発電所の入口および換気排風口のみである。施設フローを**図１**に，設備の外観を**図２**に示す。

図１　東村山浄水場水力発電設備の施設フロー



山本 総一郎

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。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首都圏技術部次長。電気学会会員。

長倉　善則

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。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首都圏技術部課長。電気学会会員。

伊藤　　一

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。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首都圏技術部。

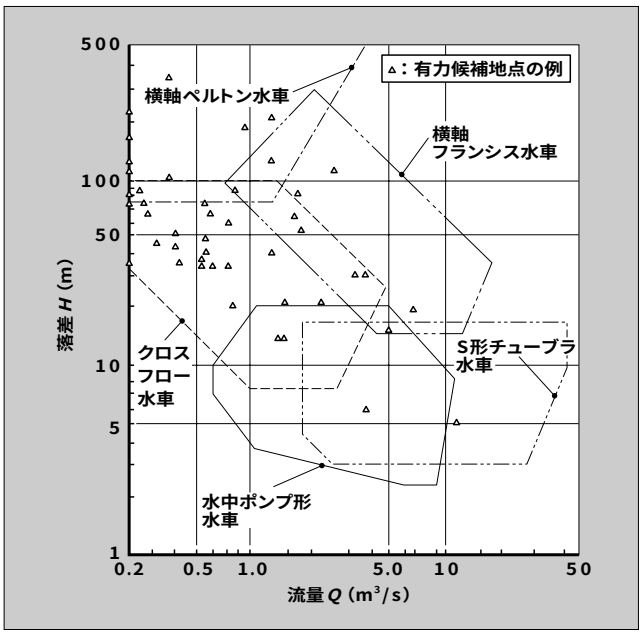
3.1.1　水力発電設備の仕様

東村山浄水場における過去10年間の貯水池からの導水量は 0 ～13 m³/s 程度の範囲で変動があり，貯水池との落差は約 11 ～22 m で運用されている。また導水管の管路損失により，流量が大きい場合には有効落差が小さくなり，流量が小さい場合には有効落差が大きくなる。**図３**の水車の形式選定グラフで上記の条件を満たし，部分負荷でも効率がよく，運転範囲も広い特徴を持つことから，S形チューブラ水車を採用した。水力発電設備の主な仕様は以下のとおりである。

(1)　定格流量：13 m³/s
(2)　定格有効落差：13.5 m
(3)　定格水車出力：1,490 kW
(4)　発電機定格出力：1,490 kVA（同期発電機）

図２　東村山浄水場向け水力発電設備の外観

図３　水車の形式選定[(1)]グラフ



3.1.2　水力発電システムの特徴

浄水場における水力発電システムの特徴として，

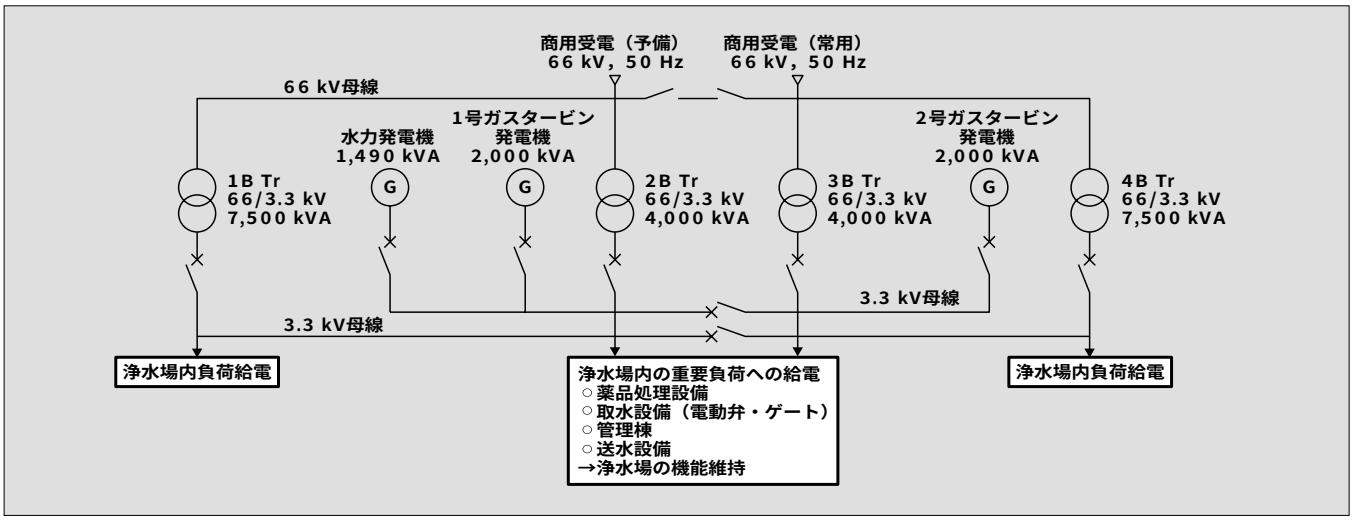
(1)　水の位置エネルギーにより発電しているため，地球温暖化などの環境破壊につながる二酸化炭素（CO_2），窒素酸化物（NOx）などの大気汚染物質を発生しないクリーンエネルギー源である。
(2)　ダム，水路などの施設については既存のものを使用できるので，電気事業者の設置する発電設備に比較して少ない建設コストで済むことやランニングコストがほとんどかからないことなどによりコスト削減効果が大きい。
(3)　エネルギー源は水のため，浄水場が導水していれば発電が可能となり，震災などの災害時における自前の電源の一つとして有効である。

などが挙げられ，経済的にも有効でかつ環境保全にも寄与し，震災時の電源として使用可能であるなど，非常に有利な点が多い発電システムであるといえる。

3.1.3　水力発電による発電電力

水車定格点での発電電力は約 1,400 kW で，**図４**に示すように浄水場内の変電所設備にて 3.3 kV 系統で商用電源と系統連系し，場内負荷への給電を行っている。水力発電による発電電力は導水量と有効落差に依存し，水位差が同じであれば導水量が大きいほど得られる電力は大きくなる。計画では，年間約590万 kWh の発電電力量を見込んでお

図４　東村山浄水場の電源系統図



り，浄水場全体の消費電力の約 25 %を補うことが可能となる。

3.2　都市ガス燃料によるコージェネレーションシステム

コージェネレーションシステム（CGS）は石油，天然ガスなどの燃料から発電を行い，発電時の排熱を回収して有効利用することで総合熱効率を高めるシステムで，オフィスビル，病院，スポーツ施設などの民生分野では広く導入されているものである。

東村山浄水場では，都市ガスおよび灯油を燃料として発電を行い，発電時の排熱回収により蒸気を発生させて排水処理の熱源とする CGS が1998年10月から稼動している。東村山浄水場の CGS フローを**図 5** に示す。

3.2.1　発電設備

発電には定格出力 1,600 kW のガスタービン発電機 2 台を用いており，常用時は都市ガスを燃料とした運転，非常時（商用電源の停電時）には都市ガスまたは場内燃料タンクに備蓄した灯油を燃料とした運転を行う。場内燃料タンク容量は 40 kL で，これは発電装置 2 台が24時間稼動可能な容量となっている。また，災害時などの主電源として位置づけられることから，燃料二重化のほか，下記の配慮を行った。

(1)　補機類は共通補機を設置せず，おのおの独立で運用できる設備とした。

(2)　発電機の設計にあたっては，インピーダンスの配慮を行い，発電機運転中に商用停電が発生したときなどいかなる場合でも運転継続できるような設備とした。

発生した電力は，**図 4** に示したように浄水場内の変電所設備の 3.3 kV 系統で商用電源と系統連系して場内負荷への給電を行っており，浄水場全体の消費電力の約 43 %を賄い，契約電力の低減に寄与している。

3.2.2　排熱利用設備

発電時に発生する排熱は排熱ボイラにより蒸気として回収（常用圧力 0.83 MPa，100 %負荷時 4.9 t/ｈ）し，浄水場内で発生する汚泥の加温用熱源として利用している。浄水場内の水処理プロセスで発生する汚泥は，場内の排水処理設備において濃縮・脱水され，含水率 50 ～ 60 %のケーキ（発生土）となって，園芸用培養土として有効利用したり処分地で処分される。この脱水プロセスで汚泥を 40 ℃程度に加温すると，沪過時間が非加温時の 1/2 程度となるため，脱水機運転台数の低減，消費電力の削減が可能となる。東村山浄水場では**図 5** に示すように，濃縮汚泥を加温するための加温槽，脱水機に汚泥を供給するための給泥槽に対して蒸気を注入するシステムとしている。

3.3　太陽光発電設備

太陽光発電設備は下記のような特徴を持つ発電システムである。

(1)　大気汚染物質を排出しないクリーンエネルギーである。

(2)　エネルギー密度が小さく，設置にあたっては広大な面積を要する。

東村山浄水場では，1995年に配水池の上部空間を利用して太陽光発電設備を設置した。1995年度から1998年度の４年間は東京都水道局と新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）と東京都環境保全局とが共同でフィールドテストを実施した。それ以降は東京都水道局による運用を行っており，現在も稼動中である。設備の外観を**図 6** に示す。

本設備の発電出力は最大 70 kW で，発電した電力は浄水場内の薬品処理設備の低圧系統にて商用電源と系統連系

図 5　東村山浄水場の CGS フロー

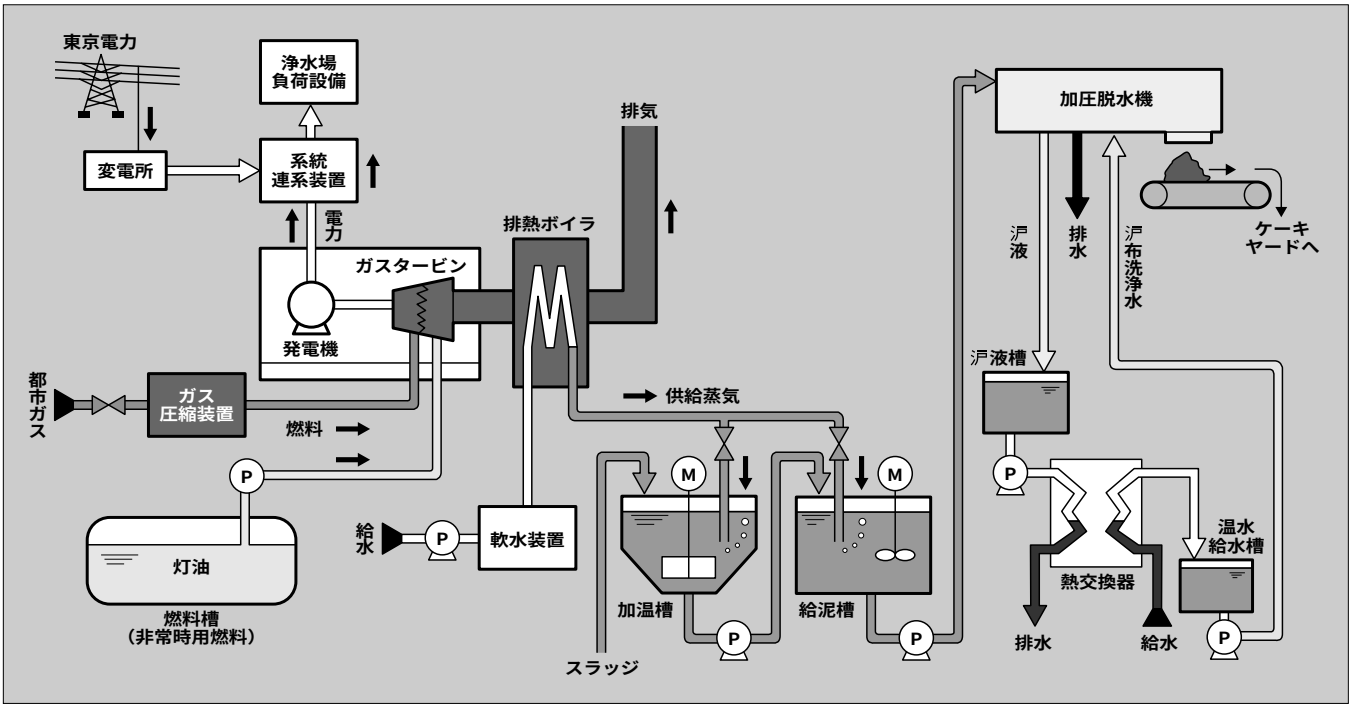


図6　東村山浄水場向け太陽光発電設備の外観

図7　東村山浄水場向け風力発電設備の外観

し，浄水場内負荷への給電を行っている。設備の稼動状況は，

(1)　年間発電電力量：約 69,400 kWh
(2)　年間発電時間：約 3,000 時間
(3)　平均発電電力：約 23 kW

となっている。

3.4　風力発電実験設備

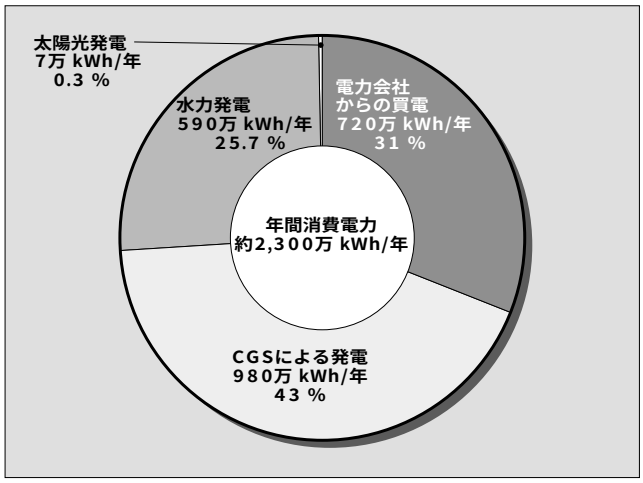
2001年 3 月に，風力エネルギーの有効活用法を検討するための風力発電調査実験設備を設置した。設備の外観を**図7**に示す。

発電装置の定格出力は 1 kW で，実験設備専用の負荷に対し給電する設備となっている。2001年度以降，風速などの基礎データの収集，発電電力データの収集を行い，今後の風力発電設備実用化に向けた基礎資料とする予定である。

4　各発電設備の運用

東村山浄水場における電力消費量は年間約 2,300 万 kWh となっており，各発電設備導入後の電力運用状況は**図8**に示すようになる。また災害時などの商用停電時においては，CGS と水力発電を運用することで，ほぼ平常どおりの浄水場の機能を維持することが可能となっている。

図8　東村山浄水場の各発電設備導入後の電力運用状況



各発電設備の運用にあたっては，おのおのの運用上の条件を考慮した経済的・効率的な制御を行うことが必要である。以下に主な発電設備である CGS と水力発電設備の運用について述べる。

4.1　CGS の運用

東村山浄水場では商用電源系統への売電を行っていないため，CGS 運転時には商用電源からの受電電力が一定となるように CGS 発電電力を制御（設定した最小受電電力以上の電力を常に受電）し，負荷の変動に追従した電力制御を行っている。最小受電電力の選定にあたっては，深夜帯に頻繁に発停するポンプ容量をもとに 200 kW 程度に定めている。また同時に発電機が出力する無効電力の制御も可能であるため，受電無効電力を一定にする制御も行っており，既存の受電力率改善コンデンサによる段階的な無効電力制御と併用することで，細やかな無効電力制御を可能としている。

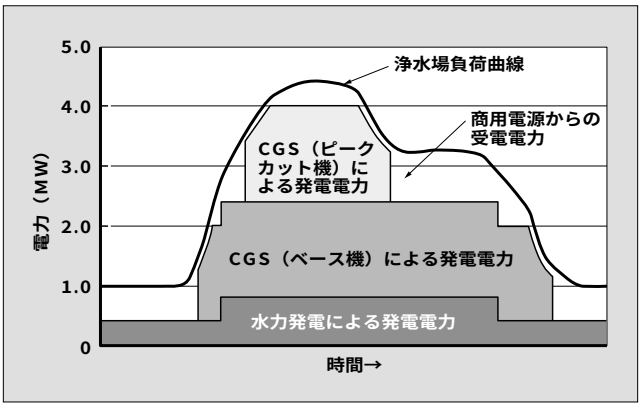
CGS は，排熱利用による総合熱効率向上，消費電力ピーク時の発電による契約電力削減といった効果を主目的として運用する必要がある。東村山浄水場では脱水設備が朝から夕方にかけて稼動するため，CGS 発電機 2 台のうち 1 台がその時間帯にほぼ 100 %負荷運転で発電・排熱回収を行って総合熱効率の向上を図り，もう 1 台は昼間数時間のピークカット機としてほぼ 100 %負荷運転で発電を行って契約電力低減に寄与する運転パターンで運用している。

商用電源停電時には，CGS が運転中であれば場内の負荷制限を自動的に行って重要負荷への給電の継続を可能としており，CGS が停止状態であれば即時自動起動して給電を開始する。

4.2　水力発電の制御

水力発電電力は流量および有効落差により発電電力が決定するが，本発電設備に導水される水は浄水場の原水であるため，決められた流量を確保することに主眼を置いた制御が必要となる。そこで，本設備ではガイドベーンにより

図９　東村山浄水場における CGS および水力発電設備の運転例



設定流量になるよう流量制御し，そのときの流量および有効落差に応じた発電電力を得るという制御方式をとっている。したがって，本水力発電設備単独では運用せず，必ず商用電源あるいは CGS との併用が前提となり，負荷に追従した電力調整を行わせるようにする必要がある。

また，水力発電設備を使用しない場合にも導水を確保することが必要となるため，水車をバイパスする配管と弁を設けている。故障発生時や水車始動動作中・停止動作中は水車設備（入口弁，ガイドベーン），バイパス弁，着水井入口の減勢弁を連動させて設定流量となるよう自動流量調整し，浄水場の水運用に影響が出ないよう配慮している。

4.3　発電設備の運用例

図９に CGS および水力発電設備の運転例を示す。図の例は，水力発電は導水量に応じた発電電力で24時間運転，CGS のうち１台は早朝負荷の増加に伴い起動して深夜の負荷減少に伴い停止（昼間はボイラを運転して汚泥の加温に蒸気を利用），もう１台は午前中の負荷ピーク時間帯にのみ運転を行うものである。

⑤　環境負荷の低減効果

地球温暖化や酸性雨などの地球環境問題は，化石燃料を中心としたエネルギー消費によって発生する CO_2，NOx などに起因している。ここでは，化石燃料消費すなわち商用電源からの受電電力量を抑え，水力発電や太陽光発電などのクリーンエネルギー消費に切り換えることによる大気汚染物質排出量の低減効果について述べる。

5.1　水力発電による大気汚染物質の低減効果

年間 590 万 kWh の電力量を水力発電に置き換えたことによる CO_2，NOx の削減量は以下のとおりである。

(1)　発電電力量　：5,900,000 kWh/年
(2)　CO_2 削減量　：約 3,400 t/年
(3)　NOx 削減量：約 1,400 kg/年

※算出にあたって使用した排出原単位は次のとおりである。

CO_2 ： 0.52 kg/kWh
NOx： 0.22 g/kWh

〔出典：東京電力(株)「環境行動レポート」2000年７月〕

5.2　太陽光発電による大気汚染物質の削減量

年間 69,400 kWh の電力量を太陽光発電に置き換えたことによる CO_2，NOx の削減量は以下のとおりである。

(1)　発電電力量　：69,400 kWh/年
(2)　CO_2 削減量　：約 40 t/年
(3)　NOx 削減量：約 17 kg/年

⑥　あとがき

ここで紹介した CGS，未利用エネルギーの有効利用は，環境対策の CO_2 削減に非常に効果があり，地球環境対策に対しても有効であるといえよう。また，水力発電所の浄水場への適用のみならず下水処理場への適用も期待される。

新エネルギーを活用し自立型浄水場，下水処理場を普及させることで，今後とも社会に貢献できるよう努力する所存である。

参考文献

(1)　新エネルギー財団．中小水力発電ガイドブック．
(2)　中原泰男ほか．水処理施設における新エネルギー技術．富士時報．vol.71，no.6，1998，p.316-323.
(3)　東京電力．環境行動レポート．2000-7.

環境水質（下水）を見守るセンサ技術

宮入 康寿（みやいり こうじゅ） 佐藤 匡則（さとう まさのり） 田中 良春（たなか よしはる）

1 まえがき

下水道は，これまで７次にわたる５か年計画の推進により，普及率は全国平均 60 %（1999年度末）に達し，都市部の生活環境の改善や河川の水質改善などに一定の成果を上げてきた。しかしながら最近の都市化の進展や産業の発展は水循環の変化をもたらし，都市型水害の頻発，大量の廃棄物や微量有害物質の排出による水環境の悪化など深刻な問題を引き起こした。特に環境問題は，人の健康，生活環境に目に見えない形で徐々に影響を与え始めている。こうした背景により，1993年には，下水道法で定められた公共用水域の水質保全を目的とした「水質環境基準」にジクロロメタンなど 15 項目の水質基準が新たに追加された。

このように環境問題がますます多様化していくと，今後下水道に求められる役割は，大きな水循環システムの中で生態系の維持，自然界の循環システムを健全に保つなど重要な構成要素と位置づけることができる。こうした時代のニーズに対して富士電機は，上下水道分野で長年培ってきたさまざまなセンサ技術，システム技術により水環境問題の解決に貢献している。

本稿では，最近の水環境変化の現状とそれに対応する下水道の新しい水質センサおよび光水位計について紹介する。

2 最近の水環境の変化[(1)]

わが国で採用されている都市下水の処理方式はほとんどが標準活性汚泥法であり，生物処理に依存している。したがって，生物処理の安定化は，放流先の水質基準達成に非常に重要である。しかしながら流入下水中には，法的規制を受けていないさまざまな化学物質が混入していることが最近分かり始めている。こうした背景から今後，流入水質の監視が重要となる。また，下水道から発生する下水汚泥は，全産業廃棄物の約 17 %（質量比）を占めるため，環境保全の視点から減量化，リサイクル化の促進が求められている。こうした循環型社会構築に加えて，発生汚泥量を安定的に連続監視することが，処理水質の安定化と発生汚泥量の減量化を実現するために重要となる。

一方，近年の都市化の発達と異常気象などにより，豪雨時の浸水被害が多発している。雨水対策は，雨水ポンプ場に代表されるように迅速かつ効率的に排水することが求められる。このために広範囲をカバーする河川情報システムとの連携によるポンプ運用ルールの作成およびポンプ場上流側に設置した複数箇所の水位データをもとにポンプ運転支援システムの確立を急ぐことが望まれている。

3 環境変化に対応したセンサ技術

前述のような水環境の変化に対応するため，富士電機では質と量の管理ができる新しいセンサ技術を開発してきたので代表的なセンサを紹介する。

3.1 水質変化への対応技術

生活・生産活動の変化に伴い家庭系排水や産業系排水も変化していくが，これらを受け入れている下水道は，健全な水環境を守る最後の防波堤と位置づけられる。この下水道の機能を守り，良好な放流水質を維持するため，富士電機では新しい水質計の開発に取り組んでいるので以下に紹介する。

3.1.1 下水用毒物センサ[(2)]

下水処理場に流入する化学物質の種類はきわめて多く，すべての種類の化学物質を個別に分析することは，理化学分析の煩雑さから限界がある。そこで，生物への影響度を評価するバイオアッセイ法が注目されている。この方法は，化学物質を物質量のかわりに生物に対する毒性面から総括的に評価できる特徴があり，最近注目されている。富士電機は土木研究所との共同研究により，「硝化細菌を用いた毒物センサ」を開発し，下水処理施設における流入水質監視への適用を検討している。

(1) 毒物センサの原理

活性汚泥微生物の中で特に硝化細菌のアンモニア酸化反応が有害化学物質により阻害を受けやすいことに着目し，これを応用した。すなわち，純粋培養した硝化細菌を固定

宮入 康寿

上下水道電気・計装システムの設計に従事。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公共技術部課長。電気学会会員。

佐藤 匡則

上下水道電気・計装システムの設計に従事。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。

田中 良春

バイオセンサ，水環境計測機器の研究開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所機器技術研究所。電気学会会員，日本化学会会員，日本水環境学会会員。

化した微生物膜と溶存酸素電極により構成された呼吸活性検知型のバイオセンサに，試料水とともに硝化細菌の基質となるアンモニア態窒素を連続的に供給し，硝化細菌の酸素消費速度を連続的に監視する。もし，試料水中に生物の呼吸を阻害するような物質が存在すると，硝化細菌のアンモニア酸化活性が阻害されて酸素電極の出力が変化する。これにより毒物の流入を検知できる。

(2)　装置の構成

装置は，流入下水中のきょう雑物を除去する除濁装置と上記毒物センサから構成される。試料水は汚水ポンプ井から水中ポンプによりくみ上げられ，除濁装置，毒物センサの順に通水される。

図１に除濁装置の構成を示す。除濁装置は，スクリーンおよび中空糸膜除濁装置を組み合わせ，下水中の浮遊物などを除去し，装置流路の閉そくを防ぐ目的がある。除濁装置のメンテナンス頻度は毒物センサの頻度と同様の，１回/月を目標としている。**図２**に毒物センサの装置構成を示す。純水と緩衝液〔pH 9.0，10 mM（M：mol/L）ほう酸緩衝液〕をそれぞれ 3.5，0.5 mL/min の流量で酸素律速とならないよう空気と混合し，熱交換器で 30 ℃に加温してフローセルに送る。このときの硝化細菌の内生呼吸状態のセンサ出力を 0 %として記憶する。次に緩衝液に換えてアンモニアを過剰に含む緩衝液（フィード液）を送液すると膜内の硝化細菌によりアンモニアが酸化され，溶存酸素が消費されて一定のセンサ出力が得られる。これをセンサの正常な状態の酸素消費率 100 %としてセンサ出力の校正を終了した後，純水に換えて検水とフィード液を連続的に送液し測定を行う。センサ出力が 10 %以上変化したときに，検水中に生物に有害な化学物質が混入していると判断し，「水質異常」の警報信号を出力する。この際，採水装置が稼動し，有害化学物質特定のため，精密化学分析用に検水を保存する。

(3)　開発状況と今後の課題[(3)(4)]

現在，流入下水による連続モニタリング実験を進めており，以下の結果が得られている。

(a)　硝化細菌の呼吸を阻害する有機溶剤のアセトンを模擬毒物として流入下水を連続的に通水した場合の感度変化を測定の結果，0.5 ～ 1.0 %のアセトン溶液に対する感度変動は約 10 %以内であった。

(b)　排水基準の監視項目であるフェノール類について，流入下水と純水とで感度に大きな差異は認められなかった。

(c)　除濁装置の改良を行い，月１回程度のメンテナンスで連続運転が可能となった。

今後さらに実プラントでの長期モニタリング実験を行い，メンテナンス性のさらなる向上，下水処理プロセスへの適用研究を進める。

3.1.2　超音波式汚泥界面計

下水処理施設などの浄化処理工程におけるたい積汚泥量の計測器にはさまざまな方式があるが，超音波式は可動部がないのでメンテナンス性が容易という特徴がある。しかしながら，従来の汚泥界面計は，浮遊汚泥による界面の誤認識があり界面検出の信頼性に問題があった。

富士電機では，浮遊汚泥の影響を軽減し，精度よく汚泥界面を検出し，汚泥引抜き制御への適用が可能な超音波振動子をアレイ化した汚泥界面計の開発に取り組んでいる。

(1)　原理・装置構成

装置の構成を**図３**に示す。本装置はアレイ化した超音波振動子，位相制御機能を保有した送・受信回路，界面位置を求める演算部と表示部から構成されている。各超音波振動子の送･受信信号に対して，焦点位置で各振動子からの音圧波面が合致するように遅延を施すことにより，焦点位置で音波ビームが集束される。特徴として，水深方向に最大三つの領域に分割し，各領域ごとに集束位置を設定でき，超音波ビームが集束した各領域をつなぎ合わせることによ

図１　除濁装置の構成

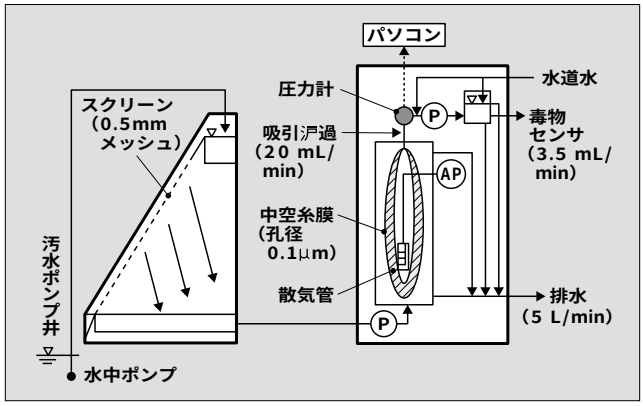


図２　毒物センサの装置構成

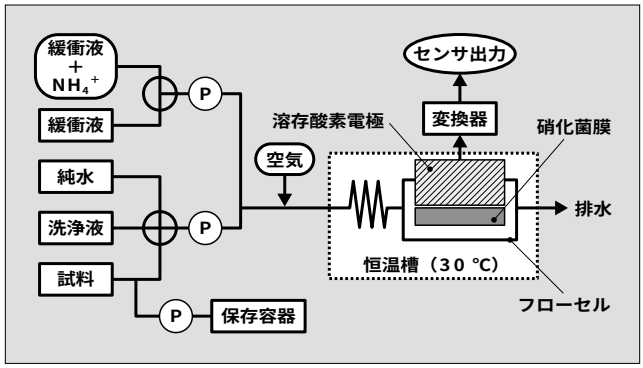
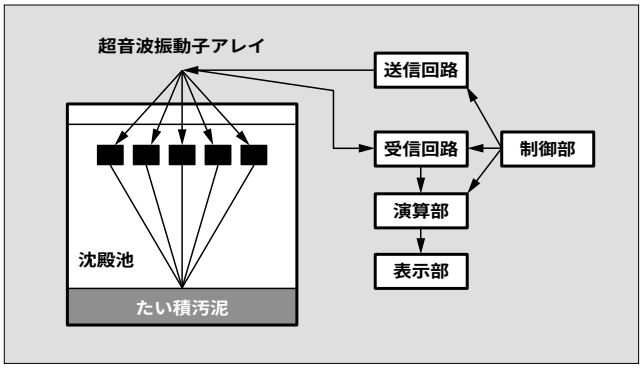


図３　超音波式汚泥界面計のシステム構成



り，広い領域で高分解能で鮮明な画像が得られる。

⑵ 開発状況と今後の課題

(a) アレイ化による効果の確認

実使用上の課題である浮遊汚泥の影響の評価について，浮遊汚泥の模擬体として，φ 100 mm の球体を設定し，超音波振動子アレイの前方 0.5 m の位置で左右に移動した場合の影響をモデルで解析を行い比較した。この結果，単一振動子の場合に比べてアレイ構成の場合は，浮遊物による SN 比の低減がほとんどなく，浮遊物の影響を受けずにたい積汚泥の測定が可能なことが分かった。

(b) 試作品の製作

汚泥界面計の試作品の表示例を**図 4** に示す。高解像度なカラー表示部では，設置状況に応じた調整が簡単に行えるように対話形式による設定ができるようにした。

① 界面画像の表示

水深に対応させて超音波の反射強度を色彩表示する時刻歴表示およびバーグラフ表示する受信強度表示。

② 深さに応じた感度調整

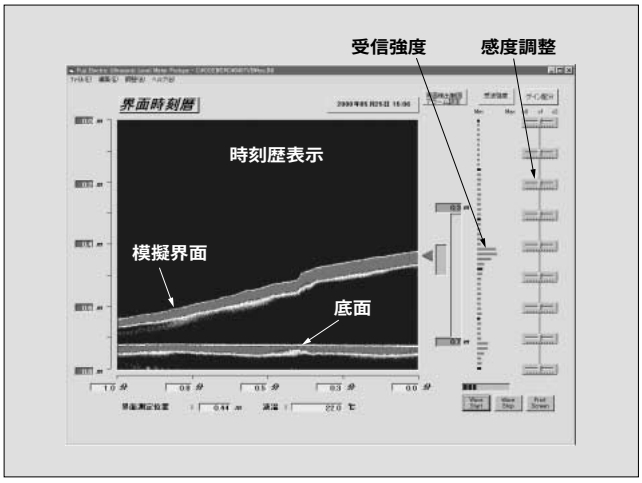
全領域の受信感度の調整以外に各領域の視認性向上のため，水深に対する受信感度を微調整できる感度調整。

③ 監視領域の設定

界面位置を検出する範囲とアラーム設定範囲を水深に対応する形式で設定・表示。

今後は，実プラントでの検証を実施しながら，センサの配置および超音波周波数の選定を行う予定である。

図 4　超音波式汚泥界面計試作品の表示画面例



3.2 水量変化への対応技術

富士電機では従来，伝送路に光ファイバを利用した各種センサを光ファイバ式フィールド計装システムとして製品化してきたが，下水管きょの水位測定という要求により，既存の光ファイバ式投込み式水位計をベースにした光水位計を開発したので紹介する。

3.2.1 光水位計

情報インフラストラクチャーの発展とともに，下水道管きょ内に光ファイバケーブル（OFC）を布設する都市が急増している。この光ファイバネットワークを利用して，下水道施設の関連データ（プロセスデータ，音声・画像データ）を集中管理することにより施設の運転管理，維持管理を安全かつ効率的に行うことが可能となった。特に大都市の雨水ポンプ場は，ポンプ井の水位による台数制御だけでは運転管理が難しい場合がある。こうした状況の中で，既設の雨水ポンプの最適制御と雨水排水区の広域的な防災管理に光水位計を導入し有効利用することが期待されている。

富士電機では，名古屋市上下水道局との共同研究により伝送路に OFC を利用し，下水道管きょ内に設置できる新しい光水位計を開発した。

(1) 装置の構成

本装置は光水位計，光中継器，中空光ケーブルから構成される。今回開発した光水位計システムの特徴は，従来地

図 5　光水位計のシステム構成

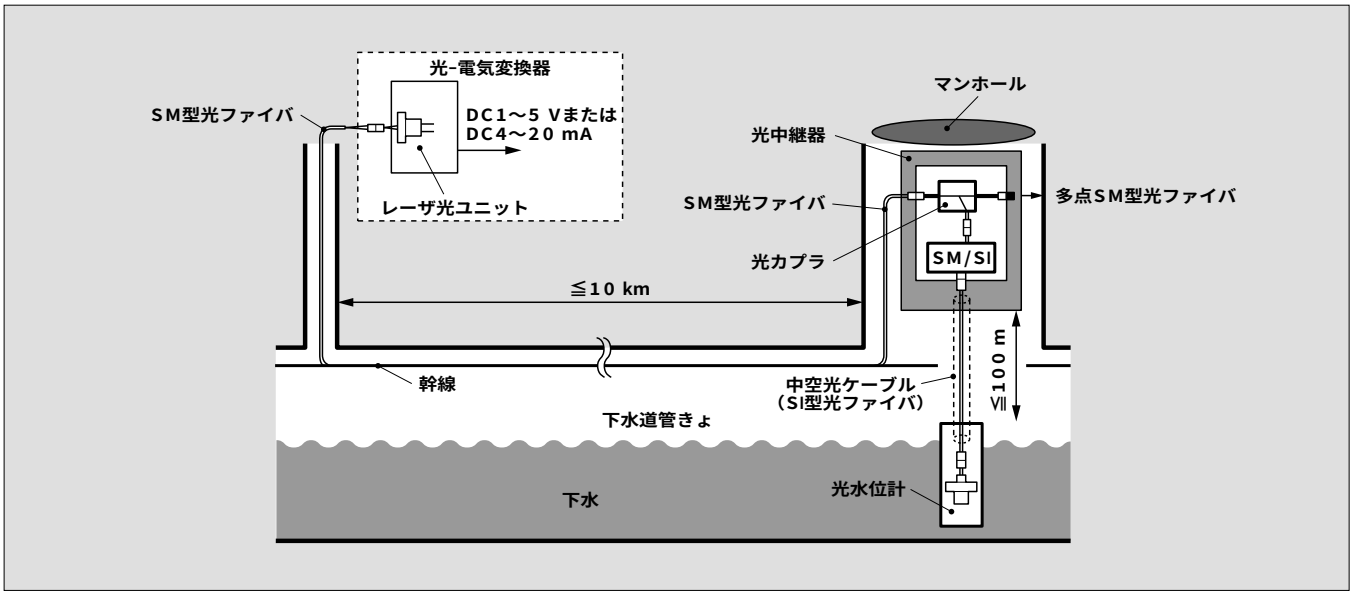


表１　光水位計の仕様

項　目	機能・性能
測　定　範　囲	0～15 m
適用光ファイバ	SI（Step Index）型 コア/クラッド径　110/150 μm
伝　送　距　離	最大100 m（光水位計ー光中継器）
バッテリー寿命	10年
自　己　診　断	測定範囲異常，検出部異常 バッテリー電圧低下
精　　度	±0.5 %
材　　質	外筒：SUS316 検出ダイアフラム：SUS316L 保護ダイアフラム：クロロプレンゴム 中空光ケーブル：PVC 被覆
材質外皮構造	JIS C 0920 水中型

表２　光中継器の仕様

項　目	機能・性能
接　続　台　数	6 台
伝　送　距　離	最大 10 km（光中継器ー光電気変換器）
適用光ファイバ	SM（Single Mode）型 コア/クラッド径　9.5/125 μm
周　囲　温　度	0 ～ 50℃
計測/通信周期	2 秒
バッテリー寿命	2 年

上部に設置していたディストリビュータ，テレメータ装置などを収納した伝送装置盤をなくし，その機能をすべて管きょ内に設置したことである。これにより，周囲の景観を損なうことなく設置が簡単に行える。**図５**に光水位計のシステム構成を示す。

(2)　装置の仕様

従来の光水位計は，主に上水向けに使用されてきたが，今回は下水の流入管，ポンプ井などの水位を測定するために開発したものである。このことから耐環境性，メンテナンス性について改良を加えた光水位計の構造，伝送部，電源部について以下に説明する。また，**表１**に光水位計の仕様，**表２**に光中継器の仕様を示す。

(a)　光水位計の構造

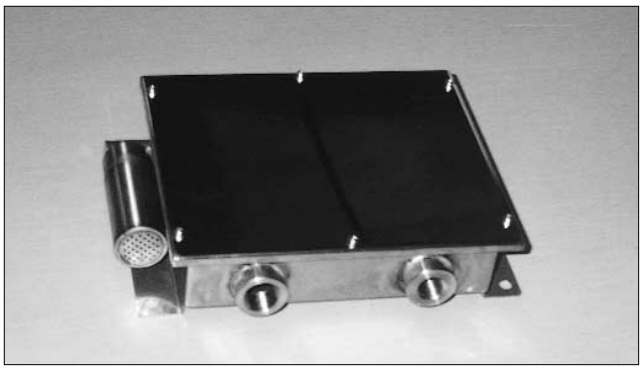
検出部筐体（きょうたい）材質は，腐食性ガス，湿気，じんあいなどに対して十分な耐久性を持つ構造，材質とした。また圧力検出部への下水汚泥などの付着・たい積対策として検出ダイアフラムの外側に保護ダイアフラムを設ける構造とした。**図６**に光水位計の外観，**図７**に光中継器の外観を示す。

(b)　光伝送部

光中継器からの信号伝送路は，シングルモード（SM）型光ファイバを採用することにより，最大 10 km まで無中継で伝送が可能である。また，光ファイバの有効利用を図るために，同一心線上に最大６台まで光水位計をマルチドロップ接続できるようにした。この接続には光カプラを使用して光学的に伝送路を分岐しているため，一つの水位計が故障しても他の正常な水位計の信号伝送に影響を与えることがなく，システムとして信頼性の高いものとなっている。

図６　光水位計の外観

図７　光中継器の外観



(c)　電源部

電源は自立駆動できる内蔵バッテリー方式とした。このバッテリーは検出部の回路用と光中継器内の SM ユニット用に使用される。それぞれ，低消費電力回路，低消費電力素子によりバッテリーの長寿命化を図っている。

4　用　途

4.1　下水用毒物センサ

下水道への有害化学物質の流入事故は年々増加傾向にあり，下水の二次処理・高度処理工程に障害を与え，放流水の水質悪化を招くことが懸念されている。**図８**に1999年度の一級河川の原因物質別水質事故発生件数を示す。こうした事故を未然に防止し，生物処理工程の正常な機能を維持するためには，下水道へ流入する有害物質を早期に把握し，処理場への流入を回避することが重要となる。適用例としては，工場，事業場排水の流入量の多い主要な幹線に連続

図8　1999 年度一級河川の原因物質別水質事故発生件数

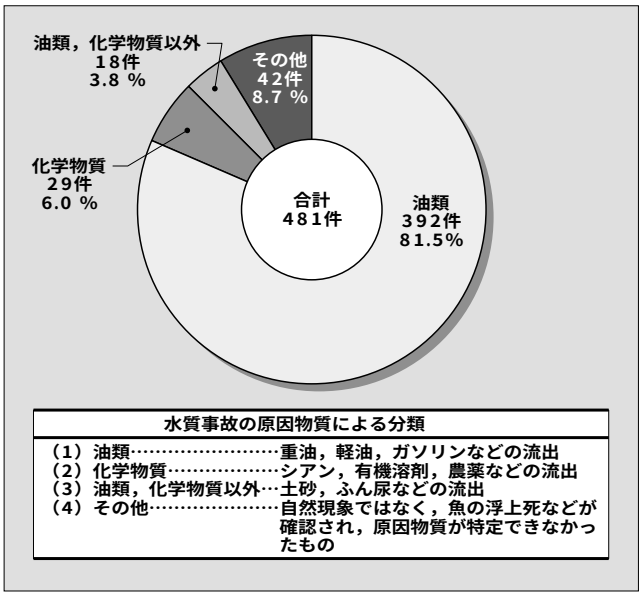
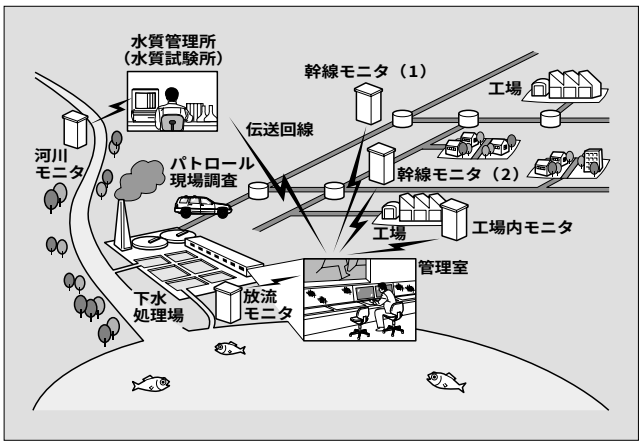


図9　水質常時監視システムのイメージ

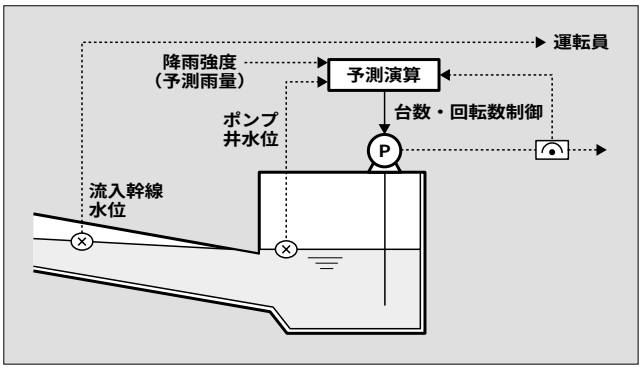


モニタリング装置として設置し，処理場または水質管理所にて有害化学物質の流入の有無を一括集中監視したり，また処理場内の放流点に設置し，有害化学物質の除去や希釈などの無害化処理の管理指標として使用することなどが考えられる。**図9**に水質常時監視システムのイメージを示す。

4.2　超音波式汚泥界面計

汚泥の減量化の度合いは，汚泥処理プロセスの濃縮工程の管理をいかに適正に行えるかに大きく依存する。また，適正管理を行うことにより，後続の汚泥処理施設（消化槽，脱水機，焼却炉など）の設備容量を縮小することが可能となり，脱水プロセスにおいても薬添率の節減が図れる。また，水処理プロセスにおいては余剰汚泥引抜量を適正に管理することで最終沈殿池の MLSS（Mixed Liquor Suspended Solids）濃度を一定に保つことができ，安定処理を行うことができる。従来，汚泥重力濃縮槽または最終沈殿池からの汚泥引抜量は，１回/日の割合でサンプリングにより汚泥濃度を測定し引抜量を調整していたが，本設備の導入により汚泥界面を逐次測定できるので，より精度の高い汚泥引抜量制御が実現できる。

図10　雨水ポンプの予測運転システム



4.3　光水位計

都市部における雨水排出機能は，流入傾向の急しゅん化に伴い，雨水ポンプの運転をより迅速に行う必要がある。このため，流入幹線の上流水位をリアルタイムに監視し，豪雨時の急激な流入を早期に把握することによりポンプ運転の迅速な操作判断に役立てることができる。さらに上記運転の実績を積み重ね，データを収集解析することにより流入予測モデルを作成すれば，より迅速で効率的な予測運転制御が可能となる。このシステムを**図10**に示す。

5　あとがき

下水用毒物センサ，超音波式汚泥界面計および光水位計について紹介した。これらは近年，新たに顕在化してきた有害化学物質の監視，汚泥発生量の監視，ポンプ場流入側水位の監視を行うことで環境保全，廃棄物の減量化および浸水被害の防止に貢献することを説明した。今後は，IT（Information Technology）化時代の到来により下水道をより効果的に運転管理するためには，広域的な情報収集と河川管理システムとの連携によるリスク管理の合意が重要となる。これらの課題に対して本稿がその一助となれば幸いである。

今後も，水環境・水循環の保全，安全な都市生活の確保に貢献する新たなセンサ技術の開発，制御技術の開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

(1)　下水道ハンドブック（1997 年度版）．建設産業調査会，p.42-60.
(2)　乾貴誌ほか．発生源監視をきちんと行おう～効率的な事業所監視とバイオセンサの可能性～．月刊下水道．vol.23，no.12，2000，p.10-12.
(3)　岡安祐司ほか．硝化細菌を用いた毒物センサの下水道施設への適用．第 34 回日本水環境学会年会講演集．2000，p.76.
(4)　乾貴誌ほか．硝化細菌を用いた毒物センサの下水道施設への適用試験．第38回下水道研究発表会講演集．2001，p.924-926.

水環境を守る下水の高度処理制御システム

奥田　　昇（おくだ　のぼる）　　岡田　好丘（おかだ　よしたか）　　佐々木 康成（ささき　こうせい）

1　まえがき

近年，富栄養化による湖沼の水質汚濁に伴う水道の異臭味被害や，東京湾，伊勢湾などに代表される内海の赤潮と漁業被害が問題となっている。富栄養化は，生活排水や農業用水に含まれる栄養塩類（窒素，リンなど）が閉鎖性の湖沼や海へ流入することにより促進される。現在，全国で使用される生活用水は年間約 160 億トンで，そのうちの７割強である約 124 億トンが下水道を経由して河川や湖沼，海に流れ込んでいることを考えると，水環境問題解決のためには下水処理水質の改善がきわめて重要となる。

しかし，標準活性汚泥法に代表される有機物除去を主体とした従来の処理方式では，窒素・リンの除去に限界がある。近年は嫌気・無酸素・好気法（A2O 法）などの高度処理を導入して，処理水質の高度化を図る例が増加しつつある。

富士電機は従来からこうした高度処理プロセスの計測制御技術，処理水質の向上を視点とした，総合的な技術開発に積極的に取り組んできた。窒素除去を担う硝化菌の活性を良好に保つことを目的とした，バイオセンサによる有害物質監視[(1)]はその一例である。また，プロセス技術では小規模設備向けの窒素・リン同時除去法である２槽式間欠ばっ気法を独自に開発し納入[(2)]している。さらに，オゾン処理による脱色，消毒事例も多く，最近の大きな課題である下水処理水中の環境ホルモンの除去についても研究中である。

このような下水の高度処理に対応した富士電機の取組みの中で，本稿では「水環境を守る下水の高度処理制御システム」に焦点を絞り，高度処理プロセスの制御方策，納入事例，シミュレーションを利用した処理水質向上の試みなどを紹介する。

2　高度処理プロセスの制御方策

2.1　高度処理に対する基本的な考え方

窒素・リン除去を目的とした高度処理では，凝集剤併用型循環式硝化脱窒法，ステップ流入式多段硝化脱窒法，A2O 法など種々の方法が実用化されている。しかし，こうした処理法において窒素・リン除去は，

(1)　硝化・脱窒による窒素除去
(2)　脱リン菌によるリン除去
(3)　凝集剤によるリン除去

に原理的に集約できる。したがって，富士電機では高度処理プロセスに共通する基本制御方策を構築し，それを基盤としつつ各処理法に最適な計測制御システムを提供することとしている。以下に各槽の処理機能を原理面から解析し，解析結果に基づいて立案した制御方策を，A2O 法を例に説明する。

2.2　A2O法を例とした基本制御方策

図１に代表的な高度処理プロセスである A2O 法のフローシートと基本制御システムの構成例を示す。窒素・リンを安定して効率よく除去するため，各処理段階で次のような制御を行う。

(1)　最初沈殿池

リン除去の安定化を目的とした初沈バイパス制御を提案する。通常の運転では最初沈殿池越流水が嫌気槽に流入し，嫌気槽では越流水の有機物を食物として脱リン菌が活動している。しかし，雨天時には BOD（Biochemical Oxygen Demand）が雨水で希釈され脱リン菌に十分な有機物が供給されず，脱リン菌の活性が低下してリン除去が悪化することがある。この対策として，固形性の有機物を多く含む生下水をバイパス水路で直接嫌気槽に流入させ，有機物の不足を補い，リン除去率の低下を防止する制御を行う。水路の切換は雨天時の流入水量増加を指標として自動的に行う。

(2)　嫌気槽

酸化還元電位（ORP）の監視と，ORP 測定値を運転へ反映させることがポイントとなる。脱リン菌が活発に活動する ORP は－200 ～－300 mV であるので，測定値がこの範囲にあるか常時監視し，値が高くなった場合（例えば，－100 mV のとき）は有機物が不足し活性低下と判断して，前述の初沈バイパス制御などを行う。また，生物脱リン機

奥田　　昇

上下水道用電気・計装・監視制御システムの計画，設計に従事。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首都圏技術部課長。

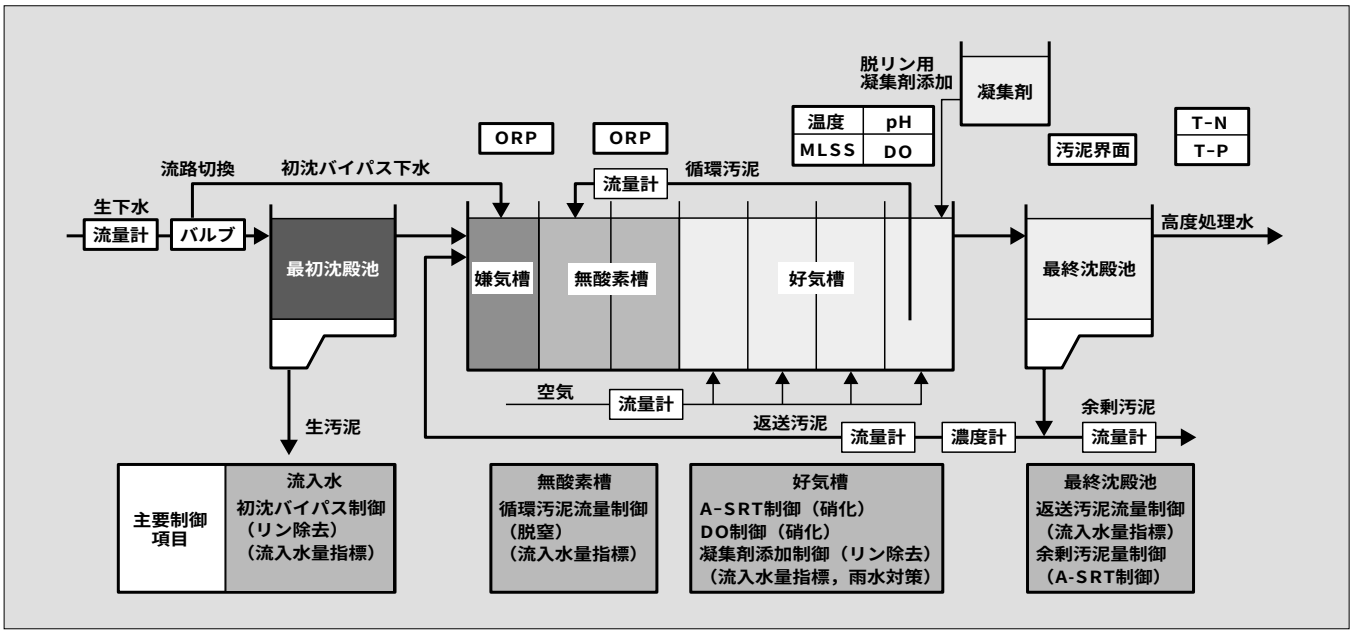
岡田　好丘

上下水道用電気・計装・監視制御システムの設計に従事。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公共技術部。

佐々木 康成

下水，産業廃水のプロセス技術，制御技術開発に従事。現在，（株）富士電機総合研究所環境技術研究所主席研究員。技術士（水道部門）。日本水環境学会会員。

図１　高度処理プロセス（A2O 法）のフローシートと基本制御システムの構成例



能の低下を補うために好気槽に脱リン用凝集剤を添加するか否かの判断にも利用する。さらに嫌気槽のかくはんは，省エネルギーのため活性汚泥が沈まない程度に緩やかにかくはんを基本とする。これは次の無酸素槽のかくはんも同様である。

(3)　無酸素槽

高効率脱窒のために，流入水量に比例した循環流量の制御を行う。無酸素槽で進行する脱窒反応は，嫌気槽から流入してくる有機物の量で制限される。したがって，脱窒能力に対応した硝酸性窒素を循環する必要があり，循環量が過剰になると酸素持込みによる脱窒速度低下，循環ポンプのエネルギー浪費を招くことになる。循環流量の設定でもORP 測定値が指標となり，−100 〜−200 mV が望ましい。

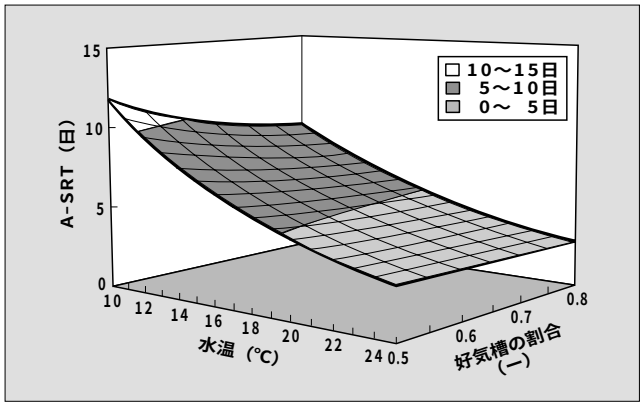
(4)　好気槽

A-SRT（好気槽の活性汚泥が入れ替わる平均日数）制御が最も重要である。窒素除去では安定した硝化が不可欠であるが，好気槽における硝化菌濃度は A-SRT で管理される。**図２**に A2O 法全体に対する好気槽の割合，水温，維持すべき A-SRT の関係を示した。**図２**は富士電機が独自に開発した硝化菌濃度計算ソフトウェア[(3)]を使って求めたもので，好気槽の割合や温度が低いほど A-SRT を長くする必要がある（活性汚泥濃度を高くする）ことを示している。すなわち低水温などの条件では硝化菌の増殖速度が低下するため，活性汚泥濃度の増加が要求される。A-SRT 制御は余剰汚泥抜出量制御として行われ，窒素除去の基本となる重要な制御である。さらに，好気槽では硝化菌の増殖速度を維持するため DO（Dissolved Oxygen）を１〜２ mg/L に制御する。また，生物脱リン機能が不調の場合，流入水量に比例して脱リン用凝集剤（PAC など）添加制御を行う。

(5)　最終沈殿池

返送汚泥流量制御は，活性汚泥を嫌気槽に返送する，沈

図２　好気槽の割合と水温，A-SRT の関係



殿池における汚泥滞留時間を適切に保ち，活性汚泥中の脱リン菌がリンを放出し処理水質を悪化させるのを防止するなどの機能を果たしている。また，前述の A-SRT 制御を目的に，余剰汚泥抜出量制御を行う。放流水質については，全窒素（T-N）・全リン（T-P）計による監視が望ましい。

以上のように，窒素・リン除去を行う高度処理プロセスの機能と制御はかなり複雑であり，明確な制御方策が要求される。富士電機が提供する計測制御の特徴は，プロセス技術と計測制御技術が融合したソリューションにあると考えている。

3　高度処理制御システムの適用例

3.1　N浄化センターの概要

N浄化センターは伊勢湾に面した高度下水処理場である。処理施設はステップ流入式２段嫌気・好気法（１系，1996年供用開始）と，A2O 法（２系，1999年供用開始）からなっている。流入水量は約 11,000 m^3/日，生物反応槽の滞留時間は約12時間で，良好な運転がなされている最新の処

図３　N 浄化センターの処理フローと計測ポイント

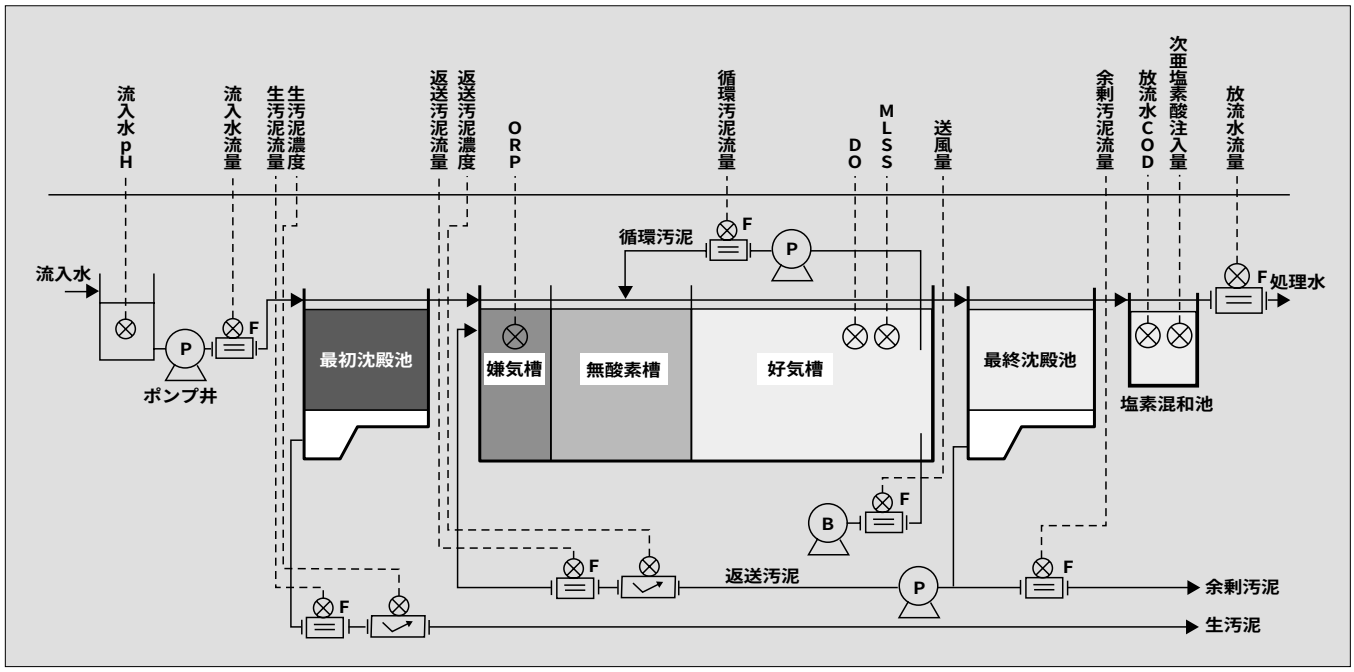
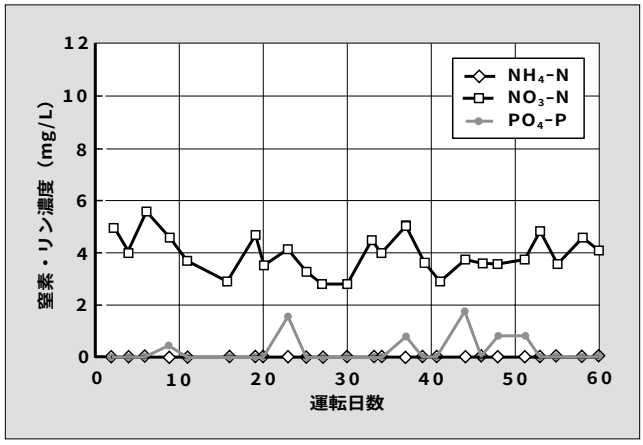


図４　好気槽の処理水質データ



理施設である。

3.2　計測制御方式と運転結果

図３に A2O 法の処理フローおよび計測ポイントを示す。

流入水 pH の測定は，工場廃水の流入とそれに伴う pH 変化を検出することが主な目的である。嫌気槽では ORP 監視が運転管理に利用されており，無酸素槽への循環水量は流入水量を考慮して調節され，脱窒の安定化が図られている。好気槽の A-SRT 制御は，MLSS（Mixed Liquor Suspended Solids）濃度，返送汚泥濃度（余剰汚泥濃度と同じ），余剰汚泥流量を測定し，

$$\text{A-SRT} = \frac{\text{好気槽容積} \times \text{MLSS 濃度}}{\text{余剰汚泥濃度} \times \text{余剰汚泥流量}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

としてなされる。A-SRT を簡便に求めるため，式(1)に対応した自動計測演算機器を備えている。A-SRT は約12日と余裕があり，MLSS は約 2,200 mg/L に維持されている。また DO は 0.5～1.5 mg/L である。返送汚泥は流入水量比例制御である。

こうした計測制御と運転管理の結果，A2O 法の処理水質は良好に推移している。**図４**は運転開始半年後の好気槽での約 2 か月間の処理水質データであるが，アンモニア性窒素（NH_4-N）はほぼゼロで，硝化が非常に安定していることが分かる。また，硝酸性窒素（NO_3-N）は 4 mg/L 程度と脱窒も良好で，アンモニア性窒素と硝酸性窒素の合計（全窒素にほぼ相当）も目標の 10mg/L の半分以下となっている。またリンについては，リン酸イオン（PO_4-P）が平均して 0.3 mg/L 程度であり，目標の 2 mg/L 以下は十分に達成している。

4　処理水質向上への取組み

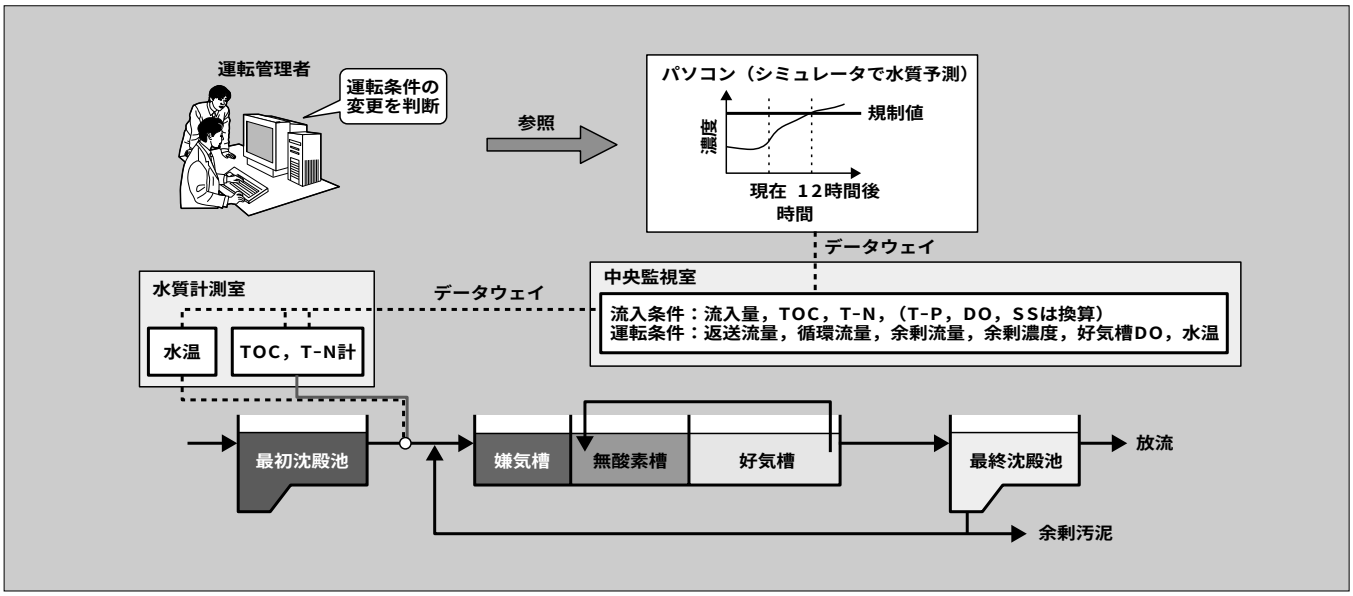
4.1　目　的

A2O 法のように生物学的に窒素・リン除去を行う場合，処理性能は流入水質の影響を受けやすい。例えば**図４**において，リン酸イオン（PO_4-P）濃度が 2 mg/L 近くまで上昇する例が数回示されている。これは雨水の流入により脱リン菌の活性が低下し，リン除去性能が悪化した場合に見られる現象である。この例では，処理性能悪化時にも目標の 2 mg/L 以下は維持されているが，流入水質や運転条件によってはリン濃度が目標値を超えてしまうケースも想定される。こうした場合への対応策として，富士電機ではN 浄化センターと共同で，オンラインシミュレータを利用した処理水質の向上に取り組んでいる。[4]

4.2　システム構成と水質予測

図５にオンラインシミュレータを導入した A2O 法の水質予測システムの概要を示す。シミュレーションプログラムはパソコンに搭載されており，流入水質として，流入水

図5　オンラインシミュレータを利用した水質予測システム



の TOC（有機物），T-N（全窒素），水温の測定値がオンラインで常時入力されている。また，流入水の全リン（T-P），DO，SS も前記測定値から換算されて入力データとなる。さらに，既設の計測制御システムから各種流量，好気槽 DO，余剰汚泥濃度などのデータがオンライン入力され，こうしたデータをもとにシミュレータが一定時間後の処理水質変化を予測する構成となっている。

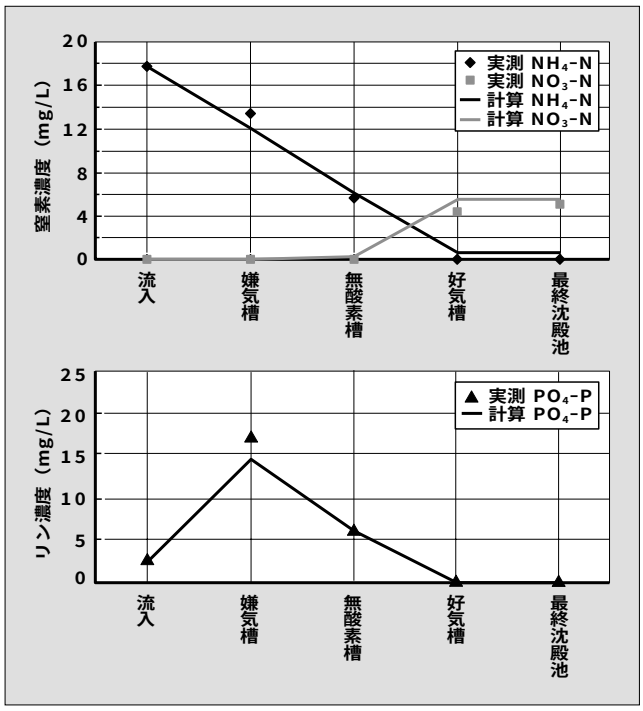
オンラインシミュレータには予測した処理水質が管理値を逸脱すると警報通知する機能があるので，運転管理者は警報通知されたときに予測画面をチェックすることで，いつ，どの水質項目が管理値を逸脱する可能性があるのか確認することができる。その結果，管理者はばっ気量の増加，返送汚泥流量変更，凝集剤添加などの処置を即座に行うことができ，処理水質の変動を管理値以下に抑えることが可能となる。

こうした水質予測システムの信頼性は，シミュレーションの予測性能に依存する。**図6**にN浄化センターの各槽に対する水質シミュレーション結果を示す。窒素については NH_4-N 濃度が嫌気槽，無酸素槽では希釈により低下し，好気槽では硝化によってほぼゼロとなる傾向が示され，実測値と計算値はよく一致している。NO_3-N も好気槽で増加し，計算でも再現されている。これは PO_4-P でも同様であり，嫌気槽における脱リン菌からのリン放出と濃度上昇，無酸素槽での脱窒に伴うリン吸収，さらに好気槽でのリン吸収と，濃度低下が実測値と計算値でほぼ一致している。このようにシミュレーションによる窒素，リンの予測性能はほぼ実用レベルに達している。

現在，**図5**のシステムを用いて利用技術の改善，水質予測性能の向上などを目的とした開発を進めており，まずはオフラインで運転管理者が利用していく予定である。さらに，将来はオンライン制御への展開も視野に入れている。

A2O 法をはじめ，各種高度処理プロセスのフロー，処理原理は微生物の機能を深く認識することにより理解できるもので，これまでの運転管理では，制御条件の設定などはベテランの維持管理技術者の経験と勘に依存する面があった。しかし，水質シミュレータ利用技術が進展すれば，こうした維持管理負荷は軽減され，処理水質の向上が期待される[5]。

図6　N 浄化センターの水質シミュレーション結果



5　あとがき

環境への関心の高まり，公共用水域の水質保全の重要性を反映して，下水処理施設における高度処理の導入はさらに進展すると予想される。

都市の高度処理ではエアレーションタンクの容量増が困

難であるため，担体に硝化菌を固定化し処理時間を短縮した方式が普及すると思われる。富士電機では担体型高度処理についても実験的，理論的な検討を進めており，生物反応シミュレーションにも着手している。

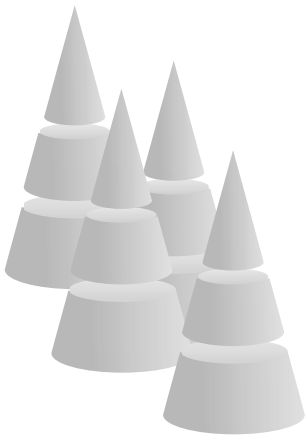
一方，小規模処理ではOD（Oxidation Ditch）法の運転方法の改善による高度処理への対応が主流になると考えられる。具体的には間欠ばっ気による窒素除去，凝集剤添加によるリン除去などが導入されるであろう。富士電機ではすでに窒素除去のトラブル診断機能を備えたOD法維持管理支援システム（パソコン用ソフトウェア）を商品化している。

高度処理はさらに，環境ホルモンのような微量有害物質の除去，窒素・リンのさらなる削減，余剰汚泥の削減などの方向に進むと想定され，「超高度処理」が次のキーワードといわれている。富士電機はプロセス技術と計測制御技術の両面から研究開発を進め，顧客各位に運転管理と水質の総合ソリューション技術を提供する所存である。各位のご指導，ご意見を賜れば幸いである。

最後に，高度処理のシミュレーション技術開発にご協力をいただいた関係各位に深謝申し上げる次第である。

参考文献

(1) 乾貴誌ほか．発生源監視をきちんと行おう．月刊下水道．vol.23，no.12，2000，p.10-20.
(2) 並川秀隆ほか．DO・ORP制御による生物学的窒素・リン同時除去の実施設における追試・改良．第37回下水道研究発表会講演集．2000.
(3) 佐々木康成ほか．A-SRT制御における亜硝酸菌濃度の簡易計算方法．第36回下水道研究発表会講演集．1999.
(4) 奥山幸俊ほか．実施設A_2O法運転状態のモデルによる検討．第38回下水道研究発表会講演集．2001.
(5) 古屋勇治ほか．活性汚泥プロセスシミュレーターの開発状況．水環境学会誌．vol.23，no.5，2000，p.17-20.



上下水道事業におけるIT時代のオープン監視制御システム

髙見澤 真司（たかみさわ しんじ） 川戸 研二（かわと けんじ） 本山 浩（もとやま ひろし）

1 まえがき

近年の上下水道事業においては，その普及率の向上に伴い市域内の施設ストックは飛躍的に増大しており，これを安全かつ安定的に運転管理する維持管理業務は指数関数的に増大している。しかし，それを管理運転する人員の数は，税収の低下，事業収入の伸び悩みなどにより十分確保できない状況にある。加えて，現行の運転管理員の夜間勤務の低減や，休日労働の低減など労働環境の改善要求にもこたえねばならず，まさに，維持管理の効率化が「事業経営のかぎ」となっている。

一方，ここ数年のIT（情報技術）化の流れは，iモードの爆発的な普及，高速インターネット回線の低価格化，パソコンの高性能化などにより，ビジネス分野だけでなく，一般家庭にまで浸透したといえる。

本稿では，こうした状況下において，前述の問題を解決できるIT時代のオープン監視制御システムについて述べる。

2 オープン監視制御システムへの要求とシステム概要

2.1 従来の監視制御システム

富士電機では水処理プラント向け監視制御システムとして，FAINSシリーズを提供している。このシステムの中核である中央監視システムは，監視卓・操作卓やグラフィックパネルにより，現場の情報がすべて中央（監視室）に集約されており，常に専任の運転管理員が24時間体制で常駐し，監視していることを前提としているシステムである。

一方，近年，監視制御用の電子機器の処理能力増大によるシステムのダウンサイジング化が進み，かつて，コンピュータでしかできなかった制御をプログラマブルコントローラ（PLC）で，PLCでしかできなかった制御を現場機器で可能になった。その結果，旧来，中央から行っていた運転操作は極端に減少し，プラントの制御はほとんど自動監視制御システムが行い，中央における運転管理員の役割は，突発的な事故対策と日常の運転記録の整理が主なる作業となってきている。

2.2 ITを利用した次世代監視制御システム

2.2.1 最新のITの概況

国内のみならず全世界的にITの進歩が目覚ましい。特にインターネットを使った情報提供・情報収集技術が顕著である。情報をインターネットでWeb表示させることにより，どこでもだれでもその情報を得ることができる。また，インターネットを高速で利用するための通信技術の進歩も目覚ましい。例えば，数年前までは公衆回線を使用したモデム接続で1Mバイトのデータをダウンロードする所要時間は数時間であったが，いまや数十秒で可能である。今後ISDN〔最大64kビット/秒（bps）〕，ADSL（最大1.6 Mbps）や光ファイバ（最大100 Mbps）を使った通信が普及すれば，さらに大量なデータを高速で通信することができる。

また，CATV回線を利用したインターネットサービスも多くなってきた。CATV回線は高速通信（最大1.5 Mbps）が可能であり，現状のCATV回線をそのまま利用できることがメリットである。

モバイル機器として，携帯電話の利用も普及しており，多くの人々が情報伝授・情報収集（Web表示）に使用している。現状での通信速度は，携帯電話（PDC）で9,600 bps，PHSで64 kbpsであるが，今後，次世代携帯電話「IMT-2000」の開発により，通信速度の大幅な向上が段階的に計画されている。

家電分野もITを利用した製品が発売されている。例えば，テレビはディジタル化の流れによりパソコンと同等機能を併せ持つ機種も発売されており，家庭生活も変貌を遂げようとしている。

2.2.2 次世代のオープン監視制御システム

このようなITを次世代の監視制御システムに生かすことにより，次世代の監視制御システムとしてオープン監視制御システムの実現が可能である。

髙見澤 真司

上下水道の電気，計装，コンピュータの企画，設計に従事。現在，電機システムカンパニー環境システム本部水処理事業部公共技術部課長。計測自動制御学会会員，電気学会会員。

川戸 研二

上下水道の電気，計装設備のシステム設計に従事。現在，東京システム製作所第一システム技術部。

本山 浩

上下水道向けコンピュータシステムの設計に従事。現在，電力・公共システム統括部環境ソリューション部。

次世代のオープン監視制御システムの特徴は，旧来から求められている「オープンソフトウェア」「標準 LAN/バス」などのシステムアーキテクチャのより一層のオープン化の進展に加えて，機能面でのオープン化が強く要求されていることである。この機能面でのオープン化とは，従来の監視体制・監視場所にとらわれないシステムである。つまり，決まった場所で，決まった時間に，決まった管理員が対応するのでなく，どこでも，いつでも，だれでも監視制御が可能なシステムである。オープン監視制御システムの概念を**図１**に，その目的を以下に記す。

(1)　操作員の中央監視室からの開放

旧来，中央監視室に常駐を強いられていた操作員をこのシステムにおいては空間的に解放できる。

具体的には，監視データ・監視現場の画像を Web にて表示させることによりインターネットを経由したシステムの監視が可能である。また，公衆回線や携帯電話の回線を使用して直接監視制御システムに接続して監視することもできる。したがって，従来，中央監視室の監視卓・ CRT の前に居なければできなかったことが，他の場所で，例えば，事務所でも自宅でも現場でも場所を問わず実現できるようになる。

(2)　操作員の夜間・休日勤務の低減

水道監視制御の運用管理において，処理水量が安定している夜間は，緊急対応しなければならない事態が発生する可能性は少ない，しかしながら，まったく監視体制をおかないのでは緊急時の対応ができないので，最低人員で対応している状況である。このような場合は，IT を使えば夜間監視の問題も解決する。つまり，緊急事態発生時のみ監視員に中央監視制御システムが自動的に通報する。監視員は，ポケットベル（ポケベル）や携帯電話で連絡を受け，携帯端末などで中央監視制御システムに接続して，現場の故障情報や現場の画像を Web 画面などで把握し，その緊急性を判断するとともに，必要に応じた的確な対応が可能となる。

夜間のみならず，休日でも同様なことが可能である。

(3)　操作員の専任性の低減

従来のコンピュータシステムはメーカー・機種ごとに操作方法が異なり，専任の操作員しか操作できないシステムが多かった。しかしながら最近のパソコンの処理性能向上・普及に伴い，パソコンを操作できる人口が大多数となってきた。またパソコンによる二重化システム構築などが実現でき，システムの信頼性も向上した。したがって，だれでも操作ができるパソコンによる監視制御システムが

図１　オープン監視制御システムの概念

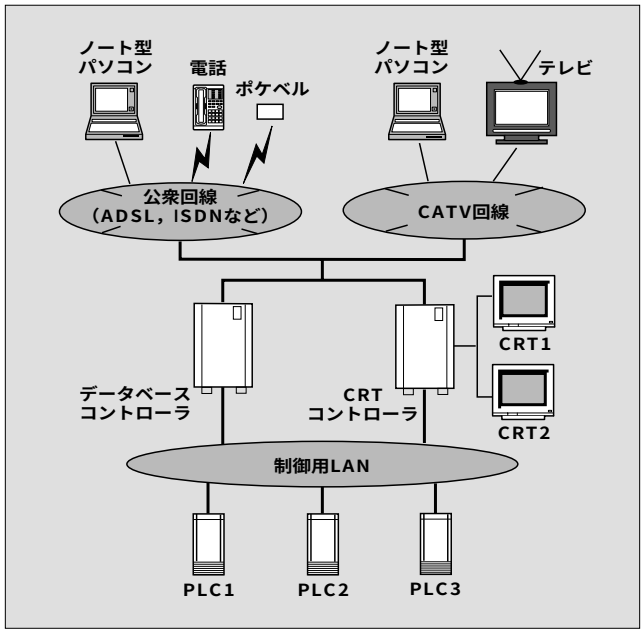
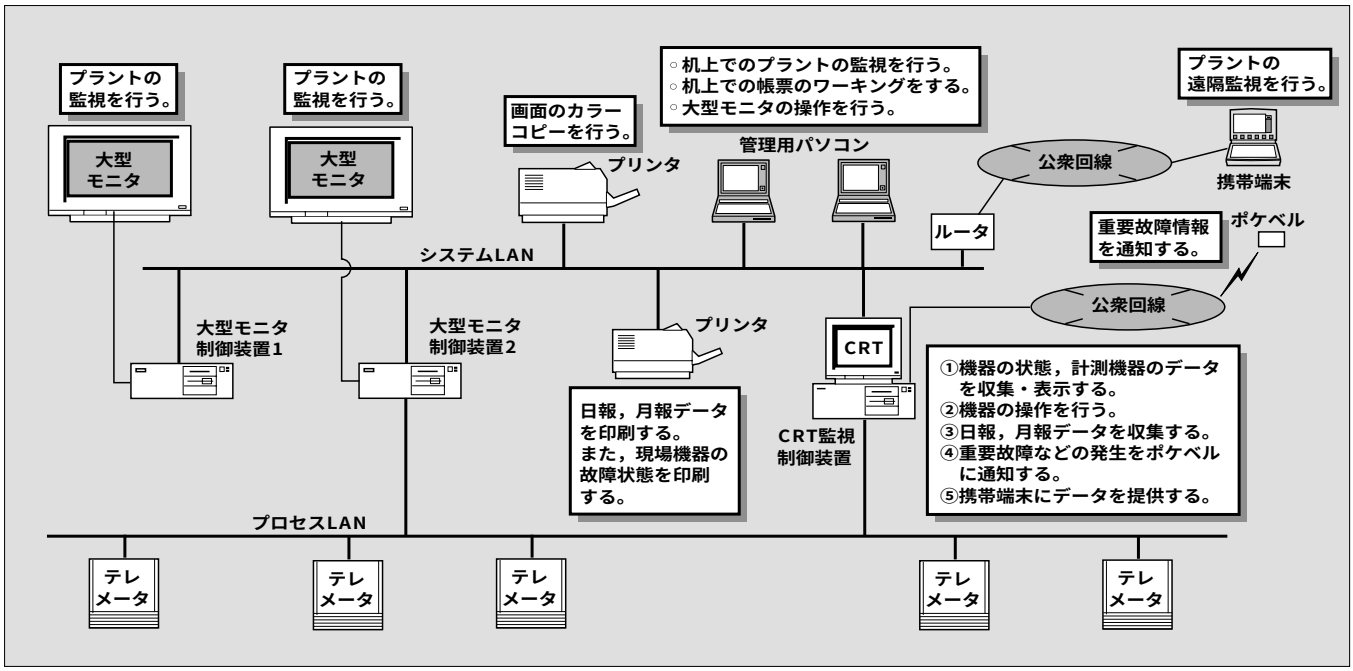


図２　オープン監視制御システムの構成例



構築できるようになり，システム上の特殊な知識がなくとも運転管理が可能である。

このように「いつでも，どこでも，だれでも監視できるシステム」では，管理員が，自宅にいても，移動中でも，現場で機器の調整をしているときでも，プラント全体の監視が可能である。

2.3 オープン監視制御システムの導入例

近年，オープン監視制御システムを指向したシステムの導入が始まっており，そのようなシステムの事例を以下に紹介する。

このシステム構築時の要求機能は以下であった。

(1) 役所の職員がシステムの運用管理を兼務しているため，CRT の前で監視している常駐の運転員を不要としたい。

(2) 夜間・休日には監視室の職員が不在になる。複数の職員が，故障発生時は何らかの方法で故障情報をキャッチしたい。

(3) 夜間・休日の警報発生時や監視室に職員が不在な場合でも，常に施設全体の状況を把握し対策を打てるようにしたい。

(4) システムは信頼性の高いものにしたい。

以上のような要求機能に基づき，システムの構築を行った。

システムの構成例を**図 2** に示し，システム化のポイントを以下に記す。

(1) 役所の壁に大型ディスプレイ装置（42 インチ，テレビ画面も表示可能）を設置して，監視画面（監視室の CRT 画面と同等の画面）を表示することにより，多くの職員が施設全体の状況を把握できる。また大型ディスプレイの画面切換は，複数の職員のノート型パソコンから操作できるものとした。

(2) 故障発生時は公衆回線経由で複数の職員が携帯するポケベルへ通知するものとした。

(3) 携帯端末から，公衆回線を通じて監視室の監視制御システムに接続することにより，携帯端末で監視制御ができるものとした（外部から公衆回線で接続できるため，システムへ接続する際，ユーザー ID，パスワード，IP アドレスによりセキュリティチェックを行うこととした）。

(4) システムは信頼性を上げるため二重化システムとした。

現在，このシステムはその導入を完了し，運用を開始したところである。本システムは，次世代オープン監視制御システムの機能的オープン性の基本要素を実現しており，今後ますますこのようなシステムが増加していくものと考えられる。

3 オープン監視制御システムを実現するコンポーネント

図 3 にオープン監視制御システムの一般的なコンポーネント構成を示す。本稿ではこの構成の各階層（管理，広域，オペレーション，コントローラ，PIO，ネットワーク）において富士電機が提供できる代表的なコンポーネントについて紹介する。

3.1 管理ステーションのコンポーネント

「FAINS On Web」は従来の監視制御システムにサーバコンポーネントを増設することによって，監視制御シス

図 3　オープン監視制御システムのコンポーネント構成

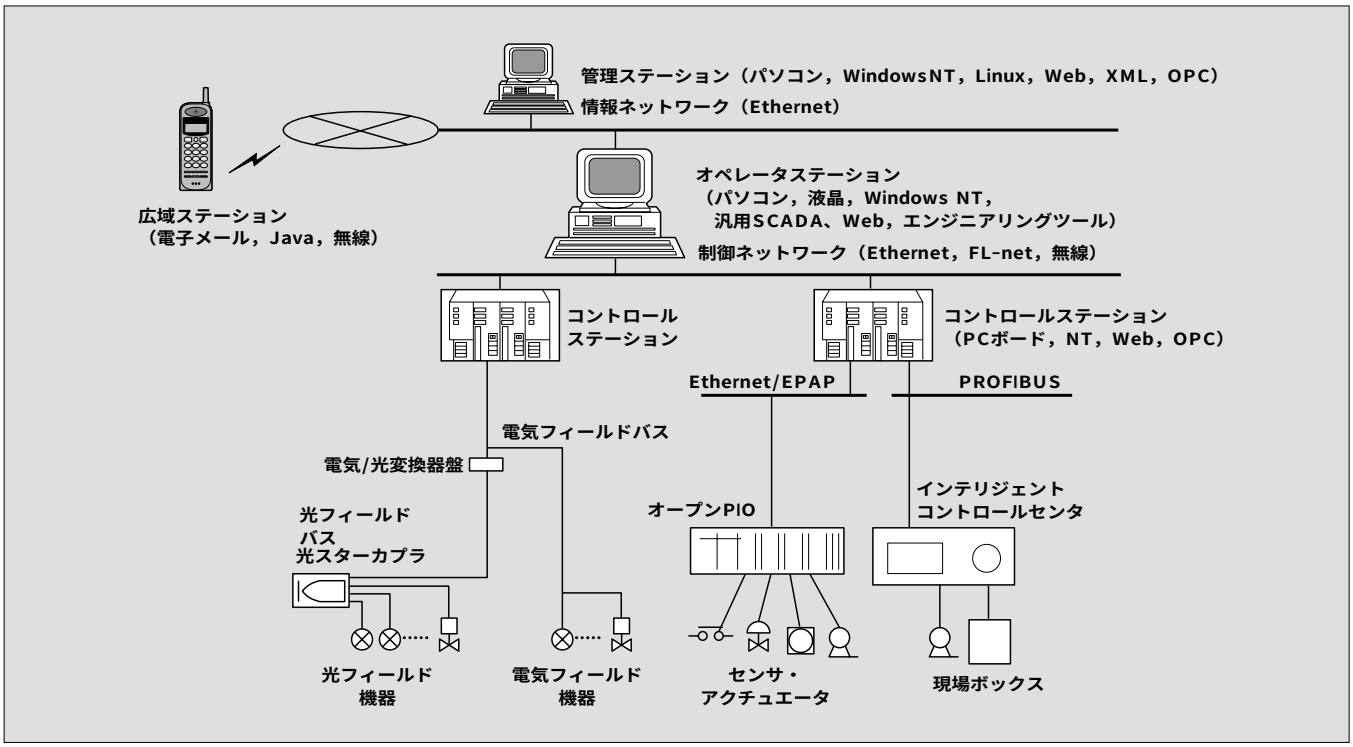
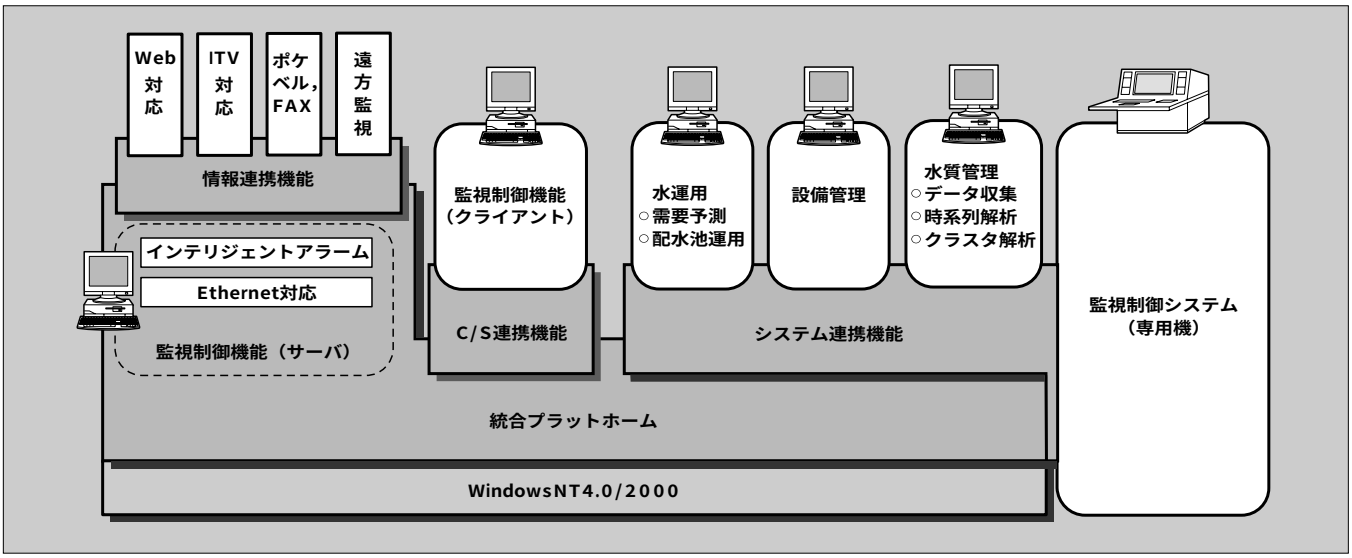


図4　「FAINS On Web」の機能ブロック



テムの情報をWWWブラウザに配信することができるコンポーネントである。**図4**に機能ブロック図を示す。本システムの特長は次のとおりである。

(1) WWWブラウザから監視情報の参照が可能なため，情報アクセスの場所を選ばない。また，ネットワークに接続されたパソコンがあれば情報を参照可能である。

(2) 監視制御システムで管理する帳票データ・トレンドデータをWWWブラウザを介して，パソコンに取り込むことによりデータ活用が可能な EUC（End-User Computing）環境を提供できる。

(3) ユーザー認証機能や IP アドレスフィルタリング機能により，アクセス権限のないユーザーからの不正アクセスを防止できる。

(4) ブラウザから目標値設定などの簡易的な操作・設定も可能である。

3.2 広域ステーションのコンポーネント

「広域通報システム」は，オペレータステーションや，コントローラステーションで検出された機器故障情報を携帯電話，パソコン（メール），FAX に通知するシステムである。

なお，広域通報システムのデータベースには Web サーバを搭載しており，インターネット/イントラネットに接続されているクライアントパソコンのブラウザから通知先などの変更も可能である。

3.3 オペレータステーションのコンポーネント

オペレータステーションのコンポーネントとしては，比較的大規模向けの「オープン AX」，中規模向けの「FOCUS」，小規模向けの「パートナー IT」がある。このうち中規模・小規模向けシステムはどちらも SCADA ソフトウェアと呼ばれる計測データの制御および監視用のシステムをパソコン上で構築するための世界ドラフト標準ソフトウェアをプラットホームとしたシステムである。これにより専用のハードウェアを導入しなくても，パソコン上で自由に監視制御システムを構築できることを特徴としている。

(1) 大規模監視制御システム「オープン AX」

「オープン AX」は，“進化と継承”をコンセプトとし，MICREX-PⅢ/IX の資産を継承しつつ，OS に Windows NT4.0/2000〈注1〉を使用し，制御 LAN/情報 LAN には Ethernet〈注2〉（10 Mbps，100 Mbps）を使用したオープンな監視制御システムである。**図5**にシステム構成を示す。

制御 LAN には規格化された標準プロトコルである FL-net（トークンパス方式によるコリジョンレス）を採用することで，制御データを保証しており，回線の二重化も可能である。

さらには，操作卓には LCD デスク（液晶モニタ）も用意しており，公衆回線による遠方監視も容易に実現できる。

(2) 中規模監視制御システム「FOCUS」

「FOCUS」は，SCADA（InTouch〈注3〉）の画面をベースに標準画面とプロセス固有のプラント画面で構成しており，マウスまたはタッチスクリーンによる簡単操作を特徴とするシステムである。**図6**にそのシステム構成を示す。

制御 LAN，情報 LAN として Ethernet を採用し，OPC インタフェースを介して，FA，OA など他システムとのデータ連携が容易である。さらには，前述の管理ステーションや，広域ステーションと組み合わせることで，公衆回線を利用した遠方監視も可能である。

(3) パソコン監視制御システム「パートナー IT」

「パートナー IT」は，中小規模システム向けにパソコンを採用するメリットを高め，かつ安心したプラント運用を実現するためのシステムであり，本システムにおいてはネットワーク機能やオープンインタフェース，冗長化機能を包含する SCADA ソフトウェア「CITECT 5」のうえに，

〈注1〉Windows：米国 Microsoft Corp. の登録商標

〈注2〉Ethernet：米国 Xerox Corp. の登録商標

〈注3〉InTouch：米国 Wonderware 社の登録商標

図5　オープン AX のシステム構成

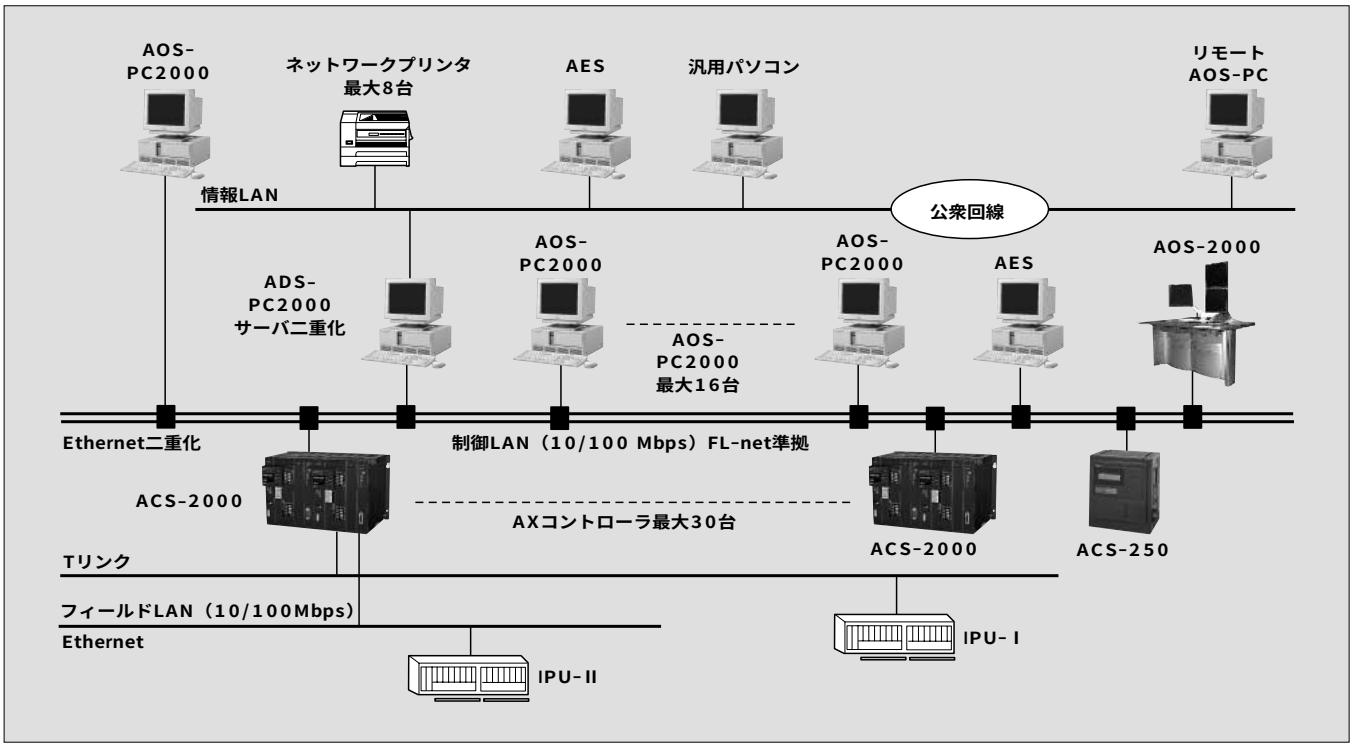
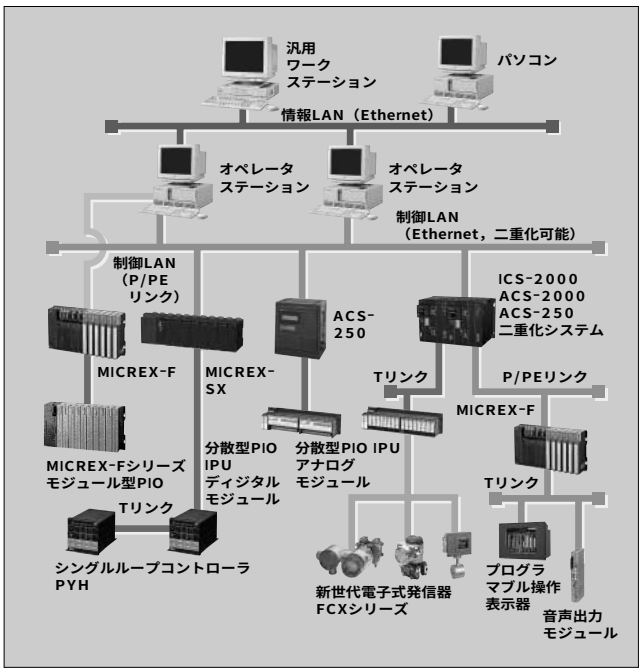


図6　FOCUS のシステム構成



高機能トレンドなどの標準画面や機能，業務対応ソフトウェアを構築したフレキシブルで信頼性の高い監視制御システムである。**図7**にシステム構成を示す。このシステムは富士電機の PLC のほか主要各社の PLC との接続が可能であり，ソフトウェアのオープンインタフェース化により外部ソフトウェア連携がきわめて容易である。

3.4　コントローラステーションのコンポーネント

コントローラステーションのオープンコンポーネントとしては大規模ステーション ACS-2000 向けの「PC ボード」と中小規模ステーション MICREX-SX 向けの「Web サーバモジュール」がある。

(1)　ACS-2000-PC ボード

大規模分散型コントローラ ACS-2000 に汎用 CPU を搭載した PCU（Personal Computer Unit）を実装することにより，パソコンからブラウザにて各種監視制御情報の収集を可能とするコンポーネントである。さらには，汎用言語（C 言語など）を使用して従来，コンピュータなどで行っていた高機能制御や，HCI 機能も実現できる。

(2)「PIO-Web サーバモジュール for SX」

「PIO-Web サーバモジュール for SX」は，現場のプロセスデータを，インターネットやイントラネットを経由して，パソコンのブラウザ画面から，監視・操作することを可能にする PLC 直結の装置である。

本装置は現場 PLC 本体に Web サーバを内蔵し瞬時値，AI トレンド，イベントログなどの情報をブラウザ画面として提供するとともに DO 出力操作を可能とし，イベントによる電子メール自動発信機能を有する。さらにセキュリティ機能として，運用者などを制限することが可能である。

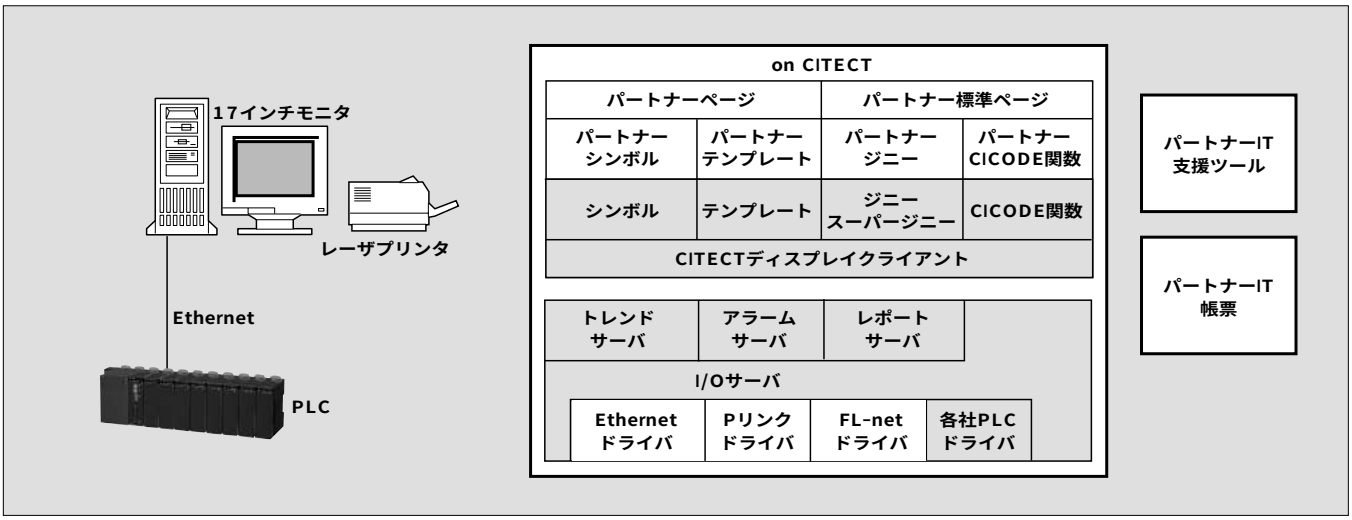
3.5　PIO ステーションのコンポーネント

PIO ステーションのコンポーネントとしては，主として計装回路向けの「オープン PIO」と電源回路向けの「IFC」がある。

(1)　オープン PIO

情報・制御システムのオープン化の流れはコンピュータネットワークから始まり，制御機器やフィールド機器に広がりつつある。

図7　パートナー IT のシステム構成



オープン化対応プロセス入出力装置「オープン PIO」は，オープンネットワークに対応した小型，高速，高信頼かつ耐環境性のある新時代の PIO である。これらの技術的な特長に加えて，インタフェース仕様の公開など情報のオープン化を推進することにより，オープン PIO は従来の監視技術への適用だけでなく，今後の成長が期待される監視を主体とした新しい分野でもデファクトスタンダードとなり得るものである。

(2)　IFC

IFC はオープンバスにより上位システムおよび I/O と接続して，保護・監視・制御が行える低圧回路制御装置である。この装置は欧州で主流の制御用バス（PROFIBUS）を採用し，シーケンス制御，アナログ制御の機能も統合するとともに，上位コントローラ二重化，伝送ライン（光ファイバ）二重化による冗長化構成が可能である。

本システムを適用することにより I/O 装置を大幅に削減できるとともに，究極の危険分散型（負荷ごとに現場伝送を独立）やグループ制御型（グループ負荷ごとに現場伝送を独立）などのフレキシブルなシステム構築が可能である。

3.6　ネットワークのコンポーネント

ネットワークのオープンコンポーネントとしては有線方式の「FL-net」と無線 LAN があげられる。

(1)　FL-net

開放型コントローラ間ネットワーク「FL-net」は，（財）製造科学技術センター（MSTC）が提唱し，国内 20 社以上のメーカーならびにユーザーが参加して規格化された制御用途向け標準 LAN である。FL-net は Ethernet をベースとし，その上位にシステムの信頼性やデータの到達保証，またサイクリック伝送やメッセージ伝送機能などの制御用途機能を持っている。

富士電機ではこれに対応した製品として，汎用 PLC である MICREX-SX，FLEX-PC およびプラントコントローラ MICREX-AX を開発した。

これにより，異社間の PA システムや FA システムにおいての相互接続が可能となり，FL-net 機器を自由に混在できるマルチベンダシステムの構築が可能となった。

(2)　無線 LAN

無線 LAN は，特定省電力無線である SS（Spread Spectrum：スペクトラム拡散）無線通信方式（無線免許が不要）を採用した通信システムで，プラントの運転状態，トレンドデータ，警報・故障情報など，どこにいてもプラント全体を監視する機能が容易に実現できる。

無線 LAN システムの特長は，通信費がかからない，ケーブル工事が少ないなどが挙げられる。このことにより，従来の設置型監視システムと比べ，プラント監視の自由度がきわめて高い。

例えば，機場から離れた見通しの良い高台の配水池の水位信号や配水流量を，中央に集める場合，従来は，公衆回線を使用した有線テレメータ設備を使用したが，無線 LAN を適用することで，比較的簡単にシステムを構築でき，加えて回線使用料の低減が図れる。

また，無線 LAN を監視システムに適用することで，プラント場内のどこにいても監視が行えるシステムを構築することが可能となり，旧来，多くの面数の現場操作盤が必要であったシステムでもその代用として，ノート型パソコン（PC）を持ち歩くだけでビジュアルに設備監視が行えるシステムが構築できる。

4　あとがき

上下水道事業においては，建設の時代から維持管理の時代へ入ったといわれてはや10年を経過した。今こそ本当により効率のよい維持管理が求められているといえる。一方，世界では，IT が国家のすう勢を決めるともいわれている。富士電機は，この要求の実現に向かって，最新の IT を駆使し，より導入しやすく，より使いやすいシステムを提供していく所存である。

上下水道施設の省エネルギーとリサイクル

山本 総一郎（やまもと　そういちろう）　　増澤　栄一（ますざわ　えいいち）　　佐藤　　治（さとう　おさむ）

1　まえがき

周知のとおり，二酸化炭素による地球温暖化，窒素・硫黄酸化物による酸性雨などの地球環境破壊に警鐘が鳴らされて以来，地球環境保全に対する取組みが「気候変動枠組み条約第３回締約国会議」（地球温暖化防止京都会議：1997年12月）以降本格化している。

「改正省エネルギー法」（エネルギーの使用の合理化に関する法律の改正法：1999年４月施行）や「グリーン購入法」（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律： 2001年１月施行）のような具体的な目標を示した法整備も行われ，また水道事業体において環境会計の導入など，環境対策と経営効率の調和を目指した取組みも行われ始め，環境負荷軽減による環境保全への取組みが実現しつつある。

このような状況のもと，上下水道事業のエネルギー消費の伸びは，水道事業の 2.1 %/年，下水道事業の 5.1 %/年といわれており，日本のエネルギー消費の伸び（3.1 %/年）がこれらの平均値近傍となっている。近年の高齢化，少子化などにより給水人口の伸びは鈍化すると考えられているが，水源環境の悪化などが水処理プロセスの負担増加を招き，エネルギー消費（原単位）を増大させること，生活の質の向上に伴い利用水量が増加することなど，上下水道におけるエネルギー消費状況も楽観視できない。

本稿では，環境負荷軽減の観点から最近の電気設備の省エネルギーとリサイクル技術について述べる。

2　法整備が求める省エネルギー，リサイクルと対応

2.1　改正省エネルギー法

2.1.1　省エネルギー法改正の背景と主旨

省エネルギー法は内外におけるエネルギー消費量の著しい増加，大量のエネルギー消費が環境に及ぼす影響に対する懸念の高まりなどのエネルギーをめぐる経済的・社会的環境の変化に応じた燃料資源の有効な利用の確保に資することを目的として改正された。

特に，地球温暖化防止京都会議の議論を背景に，二酸化炭素の発生起源であるエネルギーに関し徹底した使用合理化の推進が必要と判断され，工場・事業場におけるエネルギー使用合理化の徹底を目的として，以下の主要な項目が創設された。

(1)　エネルギーの多消費工場である現行エネルギー管理指定工場（第１種エネルギー指定工場）において，計画的なエネルギー使用合理化の取組みを促すため，合理化に関する将来の計画の提出を義務づける項目

(2)　中規模エネルギー消費工場・事業場（第２種エネルギー指定工場）において，省エネルギーを徹底するための項目（エネルギー管理員の選任，省エネルギー講習受講義務，エネルギー使用状況の記録義務）

2.1.2　上下水道施設への適用

改正省エネルギー法では，上下水道施設（事業所）はエネルギーの使用量に応じて第２種エネルギー指定工場に該当する場合がある。

対象は，原油換算 1,500 kL/年（電力 600 万 kWh/年）以上のエネルギーを使用する事業所で，平均受電電力が 680 kW 程度以上の事業所は対象となる可能性がある。

第２種エネルギー指定工場の取り組むべき義務は，

(1)　判断基準に沿って合理化する努力義務

(2)　エネルギー管理士選任義務

(3)　省エネルギー講習受講義務

(4)　エネルギー使用状況の記録義務

であり，合理化の努力義務については施行規則の定める判断基準に照らして著しく不十分な場合，勧告を受けることになる。

2.1.3　主要な判断基準と対応する省エネルギー機器

電気使用設備について定められた合理化の目標と計画的に取り組むべき措置に対する判断基準の主な項目は以下のとおりである。

(1)　高効率電動機の採用を検討する。

(2)　負荷に応じた運転制御のため，回転速度制御装置などの設置を検討する。

山本 総一郎

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。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首都圏技術部次長。電気学会会員。

増澤　栄一

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。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首都圏技術部主任。

佐藤　　治

水力，火力，原子力などの発電設備用配電盤の構造設計および上下水道用電気・計装システムの設計に従事。現在，東京システム製作所システム装置部。

(3) 受電点の力率 95 %以上を目標とし，力率改善用コンデンサの設置などにより力率の向上を検討する。

(4) 電気使用設備ごとに，電気使用設備にかかわる電気の使用状態（電気の使用量，電気使用により得られた動力・熱などの状態，利用過程で生じる排ガスの温度など）を把握し，的確な計測とエネルギー管理の実施を検討する。これらに関連する省エネルギー電気機器を**表１**に示す。

省エネルギーへの取組みには，まず事業所内における設備の稼動状況とエネルギー使用状況を把握し，改善可能なエネルギーの量と改善への投資額を見積もり，次に設備の補修，改良，更新計画と整合した長期的な省エネルギー計画を立案し実施することが求められている。さらに，省エネルギーの検討については個々の機器・装置から，システム，プロセス，事業環境全体の視点が求められており，継続的で広範囲な対策をこれらの機器を用いることをはじめとして実施する必要がある。

また，省エネルギー技術は日進月歩しており，これらの最新技術により省エネルギー計画を適時最適化することも重要である。

2.2 グリーン購入法

2.2.1 グリーン購入法の目的と対応

グリーン購入法の目的は，国，独立行政法人，地方公共団体が環境物品（一部または全部の再使用，再生利用によりリサイクルが可能な物品，使用に伴って温室効果ガスなどの環境への負荷が少ない物品，環境負荷を低減する製品を用いて提供される役務）の購入を促進することで，環境負荷の少ない持続的発展が可能な社会を構築することである。

木材を原料にする紙製品は森林破壊の問題などにより再資源化が早くから実施されており，これらと同様な取組みが広がってきている。(財)日本環境協会のエコマークの商品類型も多種になっており，これらの取組みの広がりが確認できる。

電気設備機器については，ダイオキシンの発生を抑制した配線用のケーブル，電線などが製品化されているだけで装置としての取組みはこれからであるが，富士電機は，雰囲気の悪い環境に設置され経年劣化の進行度が早く，設置数量も多い現場盤に着目し，エコロジー化項目を適用した製品系列（エコロジー配電盤）を開発した。

2.2.2 エコロジー配電盤

(1) エコロジー配電盤におけるエコロジー化実施状況

環境物品として求められることは，環境汚損物質の発生抑制（reduce），再利用（reuse），再資源化（recycle）である。

エコロジー配電盤でみれば，発生抑制は，製造段階ではめっき作業などに伴う重金属の使用抑制のように有害物質を使用しないこと，再資源化段階，廃棄段階においては加工，処分時にダイオキシンなどの環境汚損物質を発生させないこと，使用段階においては省エネルギーによって間接的に二酸化炭素の発生を抑制することである。再利用，再資源化は，長寿命化によって部品の一部が補修程度でそのまま再使用できるか，別の材料の原料にできることである。

今回，現場操作盤で実施したエコロジー化項目とエコロジー化率（製品質量換算値）を**表２**に示す。この例では，板金材料の再利用と廃棄素材の分離と回収を容易にした，板金構造の薄板リベット構造化が 77 %を占めている。ま

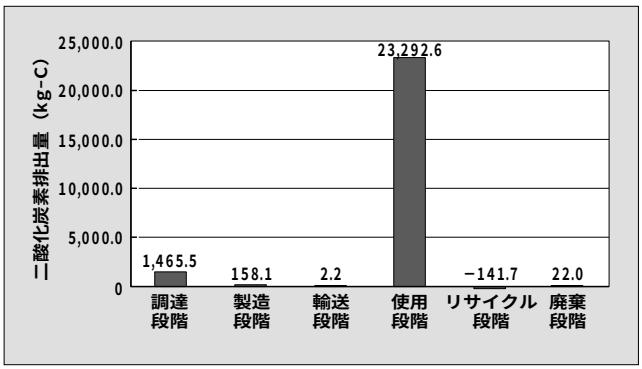
表１　主な省エネルギー電気機器一覧

区分	機器名称	概　要	用　途	効　果	その他
電力設備	アクティブフィルタ	○高調波による電気機器の過熱，異音，振動などの悪影響や損失抑制 ○無効電力の補償	○可変速制御装置，無停電電源装置，整流器などの高調波発生機器	○高調波による過電流抑制 ○力率改善による電力料金低減	高調波抑制対策ガイドラインの適用範囲 ＜受電電圧＞　＜高調波機器合計＞ 6.6 kV　：　50 kVA 超過 22 kV　：　300 kVA 超過 66 kV　：　2,000 kVA 超過
	デマンドコントローラ	○契約電力の監視制御	○受電点電力量デマンド	○契約電力低減 ○契約電力超過防止	
	自動力率調節器	○無効電流による抵抗損の抑制	○変圧器励磁保障 ○誘導電動機	○電力料金低減 ○電力損失低減	○電圧降下の低減や設備容量の利用率の増加効果もある。
	モールド変圧器	○鉄心材料およびモールド技術による損失の大幅な低減	○受変電設備，動力設備，照明設備	○従来の乾式に対し無負荷損約2/3，負荷損を1/2から2/3に低減	○台数切換運用 ○最高効率点での運用
ポンプ動力設備	可変速制御装置VVVF	○周波数と電圧を変化させ高効率運転を実現	○汎用として0.2 kW から900 kW のかご形誘導電動機	○70%速度にて約65%低減	
	サイリスタセルビウス	○二次滑り電力を電源へ返還させ高効率運転を実現	○100 kW から5,000 kW 程度の巻線形誘導電動機		
	高効率電動機	○最新設計と低損失材料の使用により高効率を達成	○誘導電動機	○軽負荷（50%以上）での高効率維持	
照明設備	節電装置	○過剰電圧を適正電圧に抑え余剰電力分を節電	○低圧動力照明設備	○使用電力を10%から20%低減	○機器の延命効果も期待できる。
その他	待機電力削減	○国際エネルギースタープログラムにより省エネルギー機器にロゴマークを与える。	○コンピュータ，ディスプレイ装置，プリンタ，ファクシミリ，複写機	○ほとんどの OA 機器に普及	ロゴマーク

表２　エコロジー配電盤（現場操作盤）のエコロジー化率

区分	名称	質量（kg）	エコロジー適用質量（kg）				適用内容
			発生抑制	再使用	再利用	合計	
盤内器具	表示灯	6.3	6.3	0	0		省電力化
	コンタクタ	43.3	43.3	0	0		省電力化
	端子カバー	0.7	0.7	0	0		ハロゲンフリー化
	（小計）	50.3	50.3	0	0	50.3	
筐体（きょうたい）構成部品	板金	1,077.0	0	1,077.0	0		解体性向上再利用化
	電線・配線材料	116.9	116.9	0	0		ハロゲンフリー化
	塗装取っ手	3.7	3.7	0	0		重金属抑制
	（小計）	1,197.6	120.6	1,077.0	0	1,197.6	
その他	適用外盤内器具	152.1	0	0	0		
	（小計）	152.1	0	0	0	0	
質量合計		1,400.0	170.9	1,077.0	0	1,247.9	
エコロジー率			12%	77%	0%	89%	

図１　エコロジー配電盤（現場操作盤）の LCC 評価



た，ハロゲンフリー（焼却時のハロゲンガスの発生抑制）を主体とした発生抑制は 12 %で，現場操作盤の 89 %をエコロジー化した。

(2)　エコロジー化とライフサイクルコスト

エコロジー化を製品に適用するにあたってエコロジー化の結果，製造，使用，廃棄といった製品の寿命期間において環境負荷が増加しないことも重要で，二酸化炭素排出量の指標としてライフサイクルコスト（LCC）で評価している。**図１**に今回エコロジー化を適用した現場盤の20年間の寿命期間での LCC を示す。

使用段階で必要な電力を二酸化炭素排出量に換算した値が約 23.3 t と最も大きく 94 %を占め，省エネルギーの重要性がうかがえる結果となっていること，リサイクル段階（再利用，再資源化）の排出量が再使用を可能にしたことでマイナスになっている点が注目される。

図２　エコロジー配電盤（現場操作盤）

(3)　エコロジー化の今後

盤内器具ではまだエコロジー対応できないものもあり，今回適用しなかったエコロジー化項目がある。

使用材料のハロゲンフリー化，はんだフリー化を徹底し環境汚損物質の発生をさらに抑制すること，再使用，再資源化の困難な使用部品は長寿命化し寿命期間中の廃棄物化の抑制を検討するなどが今後のエコロジー化の課題である。

図２にエコロジー配電盤を示す。

3　あとがき

横須賀市などの地方自治体や東京都水道局（2000年度から），大阪府水道部（1999年度から）などの水道事業体において，環境会計が導入されている。経営効率と環境対策の費用対効果のバランスをとった，自治体の地球環境保全への取組みとして注目されている。これらの環境会計の中で省エネルギー（新エネルギー分も含む）は，環境負荷低減コストで 25 ～ 52 %，経済効果（回収）で 28 ～ 41 %，環境保全効果（二酸化炭素削減量）で 43 ～ 88 %程度を占めている。

また，リサイクルは，環境負荷低減コストで 46 ～ 65 %，経済効果（回収）で 59 ～ 72 %，環境保全効果（二酸化炭素削減量）で 12 ～ 56 %程度を占めている。環境会計の面で省エネルギーとリサイクルの意義は同等である。

富士電機は，プロセスやシステム全体の省エネルギー技術と電気設備機器のエコロジー化の開発をさらに進め，地球環境保全の取組みに寄与したいと考えている。

参考文献

(1)　中原泰男ほか．水処理施設における新エネルギー技術，富士時報．vol.71，no.6，1998，p.324−329.
(2)　環境庁．環境会計システムの確立に向けて（2000年報告）.

水道施設の運転管理ソリューション

筧　誠（かけい　まこと）　丸山　智史（まるやま　ともふみ）　秋山　浩秀（あきやま　ひろひで）

1　まえがき

日本における上水道は全国ベースの普及率が1999年度末に96.4％に達し，人口密度の高い地域ではほぼ100％の普及率を達成している。しかし，水源開発の負担，給水区域の拡大に伴う配管工事などの負担により，水道事業体の経営は全般に苦しく，住民サービスの向上，老朽化施設の更新などの必要な施策を十分に推進していくことが困難な水道事業体も少なくない。こういった中で，厚生省（現厚生労働省）は2000年12月，生活環境審議会答申を受け，安全な水道水の安定給水を目指した水道法の改正を提案し，2001年6月26日に国会で可決・成立した。

このように法律による条件整備が行われる中，多くの水道事業体は第三者への業務委託や事業の統合，さらには広域化へ，管理体制の効率化を目指して動きを活発にしていくものと予想される。

本稿では，このような環境の中で富士電機が水道施設の運転管理ソリューション事業を進めていくうえでの基本的な考え方を述べる。

2　日本の水道事業の現状と運転管理委託

2.1　日本の水道の現状

日本の水道は**表1**と**表2**に示すように，15,281事業体あるが，そのうちの1,964が水道事業である。しかし，大部分は給水人口10万人未満の中小規模の事業体であり，全体の90％を占めているが，これらによる総給水量はわずか32％に過ぎない。

多くの事業体は，不況の中，需要量の伸びは期待できず，水道料金についても据え置かれている状況にある。一方，バブル期に行った水源開発や設備投資に伴う，企業債の償還は水道事業経営を一層苦しめる結果となっている。特に，水道事業体の大部分を占める中小規模の水道事業体は財政的な基盤が弱いため，専門技術者の確保が困難で不在であったり，また，一人の職員が多職種の業務を兼務するなどの状況にあり，施設の維持管理レベルなどの低下も心配されている。

表1　日本の水道事業体数

事業区分	事業体数
水　道　事　業	1,964
簡易水道事業	9,370
水道用水供給事業	110
専　用　水　道	3,837
合　計	15,281

表2　給水規模別事業体数と給水量

給水人口	事業体		給水量	
	事業体数	比率	総給水量（m^3/日）	比率
50万人以上	21	1.1%	15,645	35.5%
10万～50万人未満	182	9.4%	14,378	32.6%
1万～10万人未満	1,124	57.7%	12,364	28.1%
1万人未満	619	31.8%	1,671	3.8%
合　計	1,946		44,058	

〈注〉18事業体は建設中のため除外した。

このような状況の中で，中小の水道事業体を中心にさらなる効率的な経営が求められており，水道法の改正を契機に事業運営の見直しの試みが活発に行われると考えられる。

2.2　水道法の改正案と水道業務の外部委託

先に述べたような状況の中，管理体制が十分でない水道事業，未規制水道などに対して管理体制を強化し，安全な水道水を安定的に供給するため，より柔軟な施策がとれるよう下記の内容で水道法は改正された。

(1)　第三者への業務委託の制度化
(2)　水道事業の統合手続きの簡素化
(3)　専用水道の範囲の拡大（管理範囲の拡大）
(4)　事業者から需要者への情報公開の充実
(5)　受水槽水道の管理の充実

この改正を受けて，各事業体はこれまで水道料金の収受

筧　誠

上下水道用電気・計装・コンピュータシステムの設計に従事。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長。電気学会会員。

丸山　智史

水処理分野の営業に従事。現在，電機システムカンパニー環境システム本部営業統括部全国営業推進部水管理事業推進プロジェクト。

秋山　浩秀

水処理分野のコンピュータシステムの応用ソフトウェアの開発に従事。現在，電機システムカンパニー環境システム本部営業統括部全国営業推進部水管理事業推進プロジェクト。

や，植栽の管理，排水処理施設の運転管理など，一部の業務にとどまっていた業務委託を，浄水施設管理，送配水管理，水質管理などの水道事業の中心となる業務の外部委託拡大を行うことが予想される。さらに，事業統合の規制の緩和に伴い，広域化水道への移行や広域水道運用の外部委託化が可能となる。

2.3　水道の運転管理の外部委託と民営化

海外においては，イギリスでの公の資産を株式公開により売却し民営化に移行した例や，パリのコンセッション契約の例が有名であるが，いずれも国または公の事業認可権者の規制は存続しており，消費者の利益が損なわれないような厳しい監視が継続的に行われている。コンセッション契約とは，施設の運転，維持管理，拡張のための投資を含む経営全般を委託するものである。施設は公共部門が所有するが，20～30年間の契約期間中は管理権が民間企業にゆだねられ，契約終了時に返還される。

国際協力銀行の調査によると世界における民営化の例は162件に及んでいる。民営化を導入した都市では，経営的にも大幅に改善され，市民へのサービスも格段に向上するなどの成功例も多く見られるが，政府の継続的な支援が得られないなど，民営化のための環境整備が不十分で，期待した成果を得ることができず，契約を解消した例もある。水道の運転管理の外部委託は，さまざまな困難な状況に置かれている水道事業体が経営的な改善，送配水の安定性，さらに水質の安全性の一層の確保を図ることなどにより市民サービスの向上を目指して行うことが一義的な目的である。運転管理を外部委託することによる水道事業体の利点として次の諸点があげられる。

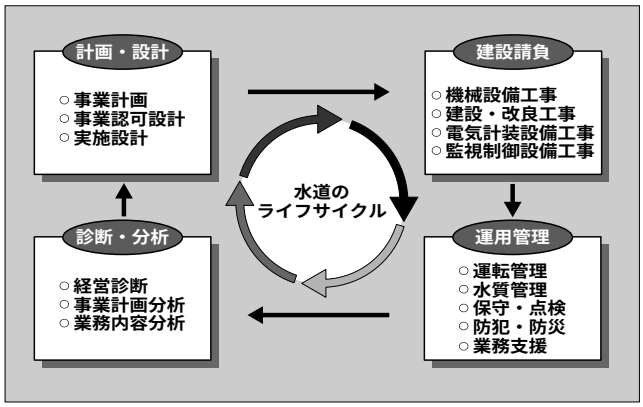
(1)　総務，人事，労務など人的管理業務が軽減される。
(2)　施設管理に伴うさまざまな問題点・障害への対応が大幅に軽減される。
(3)　施設管理に最新技術の適用が容易になり，管理の安定性，効率性の大幅な向上が期待できる。
(4)　高い技術力と専門の技術に関する研究開発能力を有する民間企業に，総合管理を委託することにより，施設の的確な管理に加え，水量管理の効率化，水質の最適管理が期待できる。
(5)　受託企業の社内人材の幅広い経験による多面的な検討が行え，迅速な問題解決が可能となる。
(6)　将来に向けた研究開発に民間の活力が導入でき，迅速な対応が可能となる。

3　トータル運営委託の提案

3.1　現場と経営のトータル管理

水道事業ではそれぞれ経営部門（総務・経理・営業），設計・建設部門，維持管理部門，運用計画・監視部門などがあり，これらが組織されて「水道事業運営管理」（以下，「水管理」と略す）が行われている。これまでの水道事業における民間委託は，各部門の業務を細分化してそれぞれテーマごとに受託業者に発注していた。つまり，民間委託するメリットである効率化は業務範囲が狭く工夫の余地も少ないことから，わずかな効率化しか図られなかった。しかし，水道事業全体の運営を考えた場合，運転管理，保守・点検，水質管理などの現場の業務をでき得る限りトータルで管理した方が，委託者側の業務管理が簡素になるだけでなく，IT（Information Technology）など民間の創意工夫の余地が広がり，全体として効率的な事業運営が期待できる（運用管理）。

図1　水道のライフサイクル



こうした現場における管理を通じて得た知識・ノウハウを生かし，現状の運営や施設について診断・分析を行ってはじめて，改善・改良提案ができる（診断・分析）。

さらに，診断・分析の結果を施設の更新時にその施設設計に反映することができれば，実際に運用管理をしている人の目からみた施設・設備の改善・改良ができるため，効率面だけでなく安全面からも優れた施設が構築される。例えば，施設更新の時期についても，定期的に決められたとおりに実施するのでなく，運用管理の経験を生かし，必要な箇所を計画的に更新していくなど，安全性の高い，効率的な施設更新が期待できる（計画・設計）。

このように，①「現場の運用管理」→②「診断・分析」に基づく改善提案→③運用管理からみた「更新計画・設計」→④効率的かつ安全な「施設の建設」という理想的な水道のライフサイクル（**図1**）にそった施設運用のトータル的な管理を提案していく。

3.2　ベストパートナー（水処理の専門技術集団）

水道事業においてトータルに幅広い委託を実現するためには，受託業者の技術能力，信頼確保が不可欠である。浄水場運転管理，電気機械の保守・点検，配水管網管理，水質管理，防犯・防災管理などそれぞれの分野で質の高いサービスを提供するためには，それぞれ高い専門知識や技術能力が必要である。そこで富士電機は「水管理」の事業推進を行うにあたり，さまざまな専門企業と提携することによって，富士電機を中心とした「水管理」の企業集団を構成し，事業展開を行う。

例えば，水道事業の経営ノウハウや水質管理を踏まえた運転ノウハウを保有している専門の研究所と提携し，水道

図２　「水管理」の専門技術集団の構築

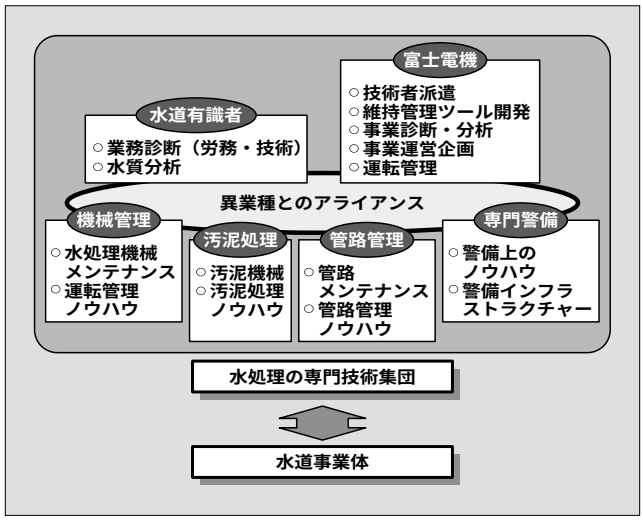
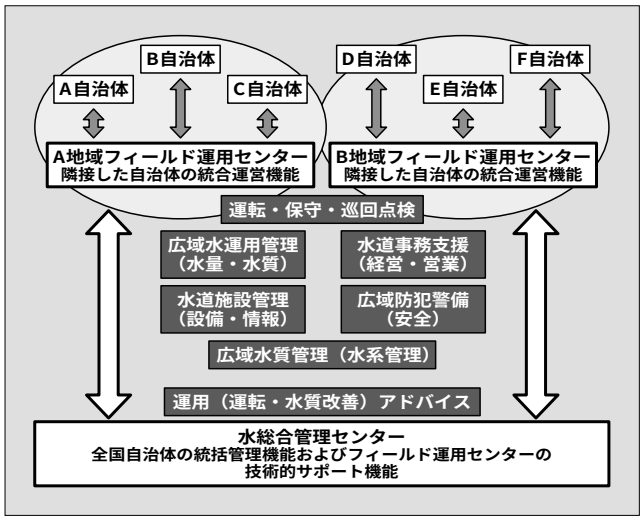


図３　「水管理」における広域管理手法



事業体に対して経営診断などの業務の総合分析や，施設の運転方針を立案するなどのサービスを提供する。

また，管メーカーや機械メーカーとの提携により施設設備の広域的な点検修繕体制を整備し，電気・機械，さらに配水管網を含めたトータル設備の保守・保全が可能である。さらには，浄水場および施設を民間が管理することに対するセキュリティ面での不安については，専門警備会社と業務提携し解消する。

このようにさまざまな専門業種との提携で「水管理」の専門技術集団を結成し，水道事業体にとってのベストパートナーとして，業務のあらゆる部門で信頼される高レベルのサービスを提供できる体制を整える（**図２**）。

4　富士電機の「水管理」委託の事業内容

4.1　提供商品とサービスの概要

水道事業全体の運営業務を受託し，それぞれの分野の専門技術と専門技術者により下記の商品とサービスを提供していく（**表３**）。

(1)　業務分析・診断サービス

水道事業体の事業状態，業務内容などを分析診断し，どの業務をどの範囲まで委託するか，標準化，無人化，広域化などを含めた包括的な運転管理方針の立案と発注業務などの支援を行う。

(2)　運転管理サービス

IT 群で構築した運転管理システムとそのシステムに最適な運転保全経験者を配置する。

(3)　水質管理サービス

水質管理，浄水プロセスの基礎を身につけている人材を適正に配置し，高度水質モニタ類の導入により精度の高い水質監視を実施する。また，水質検査結果を運転データに反映できるよう検査結果に対する処方せんや，浄水場での水質制御の改善点を提供する。

(4)　保守・点検サービス

各種設備の保守・点検業務を通じて，状況を分析，評価し，設備の維持・安定的な稼働のための報告のみならず，予防保全や施設改善を見通した新しい提案も含めた保守・点検業務サービスを提供する。

(5)　防犯セキュリティサービス

浄水場内外の防犯警備や緊急時の一次対応など，防犯警備の専門的視点によるセキュリティシステムとサービスを提供する。

4.2　広域的管理方法の提供と委託の形態

給水人口10万人未満の中小規模水道は，事業規模が小さいため事業全体の掌握が比較的容易であるが，一般的に人員不足，財政上の問題などから需要家へのサービス，水質管理体制，施設の拡充と更新，維持管理の効率化，水源開発，緊急時の体制など共通の課題を抱えている。

これらの課題を解決する手段として，幾つかの中小規模の水道事業体を統合的に管理運営する広域的管理は有効である。広域的管理により，規模の拡大による集積効果が発揮されて，取水から給水までの各施設の安全性，リスク管理，管理水準の向上などが期待できる。

富士電機は広域的管理を推進するためにフィールド運用センターと水総合管理センターの構築を計画している（**図３**）。フィールド運用センターは地域または水系ごとに構築し，その地域をトータル的に運用するセンターとして機能する。水管理センターはフィールド運用センターへの日常の施設運用における改良・改善や水質改善アドバイスなどの技術的支援のほか，おのおのの自治体の水量，水質，各種故障・異常などを遠隔監視し，運用・制御技術支援を行う機能を有する。

フィールド運用センターの提供機能は次のとおりである。

(1)　運転・保守・巡回点検
(2)　広域水運用管理（水量，水質）
(3)　広域水質管理（水系管理）
(4)　水道施設管理（施設・設備管理）
(5)　水道事務支援（経営，営業）
(6)　広域防犯警備（安全）

表3　富士電機の水管理委託サービスの概要

分　類	水管理サービス	サービスの概要	サービスメニュー	サービス形態		
				コンサルティング	専門労務	システム
サービス	業務分析サービス	分析・診断（事業再評価）	総合計画立案サービス	○		
			経営分析・診断サービス	○		
			各種統計調査サービス	○		
			水質向上コンサルティング	○		
	水質管理サービス	水質管理の受託	水質検査サービス	○	○	○
			水質監視サービス	○	○	○
			水質保全サービス	○	○	○
			薬品管理・調達サービス	○	○	○
	水源管理サービス	水源管理の受託	河川情報サービス	○	○	○
			水源水質管理サービス	○	○	○
	運転管理サービス	運転監視操作業務の受託	運転監視業務受託サービス	○	○	○
			配水調整運転業務サービス	○	○	○
			異常時一次対応業務受託サービス	○	○	○
			薬品管理業務サービス	○	○	○
	保守・点検サービス	保守点検の受託（施設維持の受託）	無線保守点検業務受託サービス	○	○	○
			場内点検業務受託	○	○	○
			場外巡回点検業務受託	○	○	○
			取水施設点検業務受託	○	○	○
	管網管理サービス	配水管理業務の受託	配水管布設コンサルティング受託	○		
			配水管理業務受託サービス		○	○
		給水管理業務の受託	給水台帳管理サービス		○	○
			給水メータ管理サービス		○	○
	防犯セキュリティサービス	安全警備	防犯警備診断	○		
			浄水場内外警備業務受託サービス		○	○
			電気・機械異常時の対応		○	○
フィールドサポート	フィールド運用センターサポート	隣接した自治体の統合運営	広域水運用（水量・水圧）管理サービス	○	○	
			広域水質管理サービス	○	○	
			広域防犯警備サービス	○	○	
			水道施設管理サービス	○	○	
			水道事務（経営・営業）支援サービス	○	○	
センターサポート	水管理総合センターサポート	全国自治体の統括管理機能	広域水運用（水量・水圧）管理サービス	○		
			広域水質管理サービス	○		
			広域防犯警備サービス	○		
			水道施設管理サービス	○		
			水道事務（経営・営業）支援サービス	○		
			運用ガイダンス	○		

5　あとがき

水道法の改正は，今後の水道事業体の再編成の素地と，民間活力導入の素地を作ると考えられる。従来，水道事業体が独自に計画し建設，運営，維持しながら経営していた，安定かつ安全でおいしい水の供給という水道の使命を果たすための枠組みの変化が確実に起こり始めている。

富士電機はこの水道の使命を維持し，発展させるためさらに貢献していく所存である。

参考文献

(1)　日本水道協会．水道維持管理指針．1998.
(2)　日置潤一．水道法の改正に向けて．水道技術ジャーナル．no.19，2000-4，p.4-7.

最近の学会発表

パワー半導体国際会議（ISPSD '01）
(The 13th International Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs)

パワー半導体およびパワーICの最も重要な国際会議であるISPSD'01（The 13th International Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs）が，2001年６月４日から７日まで大阪国際会議場にて開催された（日・米・欧の順で年１回の開催）。

参加者は426人，うち海外18か国から140人，発表論文は96件，うち日本・アジア40件，欧州33件，北米23件であった。

富士電機関係の発表論文は12件（全体の12.5％）で，うちパワー半導体関係10件，IC関係２件であり，発表部門は富士電機(株)松本工場，(株)富士電機総合研究所，富士日立パワーセミコンダクタ(株)（FHPS）であった。そのうち２件は，それぞれケンブリッジ大学，トロント大学との共著論文（共同研究）である。その中で，特に注目された発表などの概要を以下に紹介する。

まず，藤平（FHPS）の“High-Voltage Power MOSFET Reached Almost to the Silicon Limit”は理論限界に迫る超高性能パワーMOSFET（Super FAP-Gシリーズ）の実現に対して，また武井（総合研究所）の“600V IGBT with Reverse Blocking Capability”は電力変換技術の革新に寄与する逆方向耐圧を持つ独創的なIGBTに関する初めての発表で，共に参加者の大きな注目を集めた。そのほか，吉川（総合研究所）の4.5kV平型IGBTに関する発表，藤島（総合研究所）の独特なトレンチ横型パワーMOSFET（トロント大学との共同研究）の発表，当社とケンブリッジ大学との共同研究の横型スーパージャンクションデバイスについての発表なども大いに注目された。ケンブリッジ大学のヌン氏はこの発表で，本会議の“Young Researcher Award”を獲得した。

この会議を特徴づける技術の流れとして，まず次世代半導体材料のシリコンカーバイドを用いたデバイス，特に実用化を目指したダイオードに関する研究の活性化があげられる。また，携帯電話などへの適用を主目的としたRFデバイスの研究の高度化，縦型および横型スーパージャンクションデバイスの開発研究の本格化，IGBTやパワーMOSFETの性能限界に向けてのトップ企業間の熾烈（しれつ）な開発競争などが印象的であり，パワー半導体，パワーICおよびその適用分野の技術革新をますます加速するものと期待される。

この会議のバンケットにおけるキーノートスピーカーとして富士電機(株)の沢社長が，前電気学会会長として，“My Experience in Development of Power Electronics－What I expect to young researchers and engineers”と題して講演を行った。講演は，以下に述べるように沢社長のパワーエレクトロニクスエンジニアとしての体験に基づく技術革新への挑戦の内容であった。

(1) サイリスタ電力変換装置が常識であった時代にパワートランジスタによる，高速・高効率・小型軽量化の可能性に着目し，あえてパワートランジスタを用いた電力変換装置の開発を目指した。

(2) 新分野に挑戦し続ける富士電機におけるパワートランジスタの開発の歴史。特にプレーナ型のパワートランジスタの選択，新型モジュール・パッケージの開発，破壊耐量ほかの新評価技術の開発など。

(3) パワートランジスタならびにそれを用いた電力変換装置を普及させる努力。デバイスの特性を最大限生かすためのスナバ回路などの応用技術の開発を進め，パワーエレクトロニクス技術者とパワーデバイス技術者との間の接点を重視し，単行本『パワートランジスタ読本』を著して互いの啓蒙に努めた。

(4) 研究開発に携った経験を通して得られたことは，

① 社会が要求するものの本質を早く正確に把握し，要求実現に向けて強い意志を持って挑戦すること。

② 実現するための技術を明確にし，その理想の実現に向けて執念を持って追求をすること。

③ 理想の実現には，研究者・技術者の専門領域を越えた関連技術の理解と専門領域を越えた技術者同士の協力が不可欠であること。

④ 新技術の普及には時として抵抗があるが，開発した技術の普及・拡大に向けての最大限の努力を行えばそれを加速することができること。

最後に，パワーエレクトロニクスならびにパワーデバイスは，将来とも地球上のエネルギー循環システムの中でますます重要な位置を占めることは疑う余地はなく，若い研究者・技術者が夢と希望と困難に立ち向かう勇気と強い意思を持って，この分野の研究開発に励むことを切に期待するという結びであった。

以上の沢社長自身の体験に基づいた，非常に具体的で示唆に富んだ講演は，国内外の参加者に深い感銘を与えた。

カンパニー別営業品目

電機システムカンパニー

情報・通信・制御システム，水処理・計測システム，電力システム，放射線管理システム，FA・物流システム，環境システム，電動力応用システム，産業用電源，車両用電機品，クリーンルーム設備，レーザ機器，ビジョン機器，電力量計，変電システム，火力機器，水力機器，原子力機器，省エネルギーシステム，新エネルギーシステム

機器・制御カンパニー

電磁開閉器，操作表示機器，制御リレー，タイマ，ガス関連機器，配線用遮断器，漏電遮断器，限流ヒューズ，高圧受配電機器，汎用モールド変圧器，電力制御機器，電力監視機器，交流電力調整器，検出用スイッチ，プログラマブルコントローラ，プログラマブル操作表示器，多重伝送機器，インダクションモータ，同期モータ，ギヤードモータ，ブレーキモータ，ファン，ポンプ，ブロワ，汎用インバータ，サーボシステム，加熱用インバータ，UPS，ミニ UPS

電子カンパニー

磁気記録媒体，パワートランジスタ，パワーモジュール，スマートパワーデバイス，整流ダイオード，モノリシック IC，ハイブリッド IC，半導体センサ，サージアブソーバ，感光体およびその周辺装置

流通機器システムカンパニー

自動販売機，コインメカニズム，紙幣識別装置，貨幣処理システム，飲料ディスペンサ，自動給茶機，冷凍冷蔵ショーケース，ホテルベンダシステム，カードシステム

富士時報	第 74 巻 第 8 号	平成 13 年 7 月 30 日 印刷 平成 13 年 8 月 10 日 発行 定価 525 円（本体 500 円・送料別）
編集兼発行人	高井 明	
発行所	富士電機株式会社 技術企画室	〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目 11 番 2 号 （ゲートシティ大崎イーストタワー）
編集室	富士電機情報サービス株式会社内 「富士時報」編集室	〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号 （新宿コヤマビル） 電話（03）5388 －7826 FAX（03）5388 －7369
印刷所	富士電機情報サービス株式会社	〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号 （新宿コヤマビル） 電話（03）5388 －8241
発売元	株式会社オーム社	〒101-8460 東京都千代田区神田錦町三丁目 1 番地 電話（03）3233 －0641 振替口座 東京 6－20018

© 2001 Fuji Electric Co., Ltd., Printed in Japan（禁無断転載）

富士時報論文抄録

循環型水環境の現状と展望

臼井　正和　　木田　友康　　多田　弘
富士時報　Vol.74 No.8 p.435-437（2001）

日本の水環境は，水の繰返し利用，多様な化学物質の環境への流出により，依然として汚染物質の水系内への蓄積・濃縮が進行している。今後は環境への排出負荷を自然界本来の浄化能力以下に抑制し，環境悪化に歯止めをかけていく必要がある。富士電機は，刻々と変化する水環境をオンライン監視するセンサ群，湖沼など閉鎖性水域での藻類増殖シミュレーション，上下水道プラントの保有能力を最大限に発揮するプロセス制御技術などの水環境保全技術を提供していく。

湖沼水質保全システム

佐川　学　　明瀬　郁郎　　野田　直弘
富士時報　Vol.74 No.8 p.438-443（2001）

湖沼やダム湖は，淡水資源を蓄え，飲料水を供給する水源として重要な役割を持つ。しかし近年，上流域からの自然または人為的な汚濁負荷流入により，短期間に湖沼の富栄養化が進み，さまざまな利水障害が生じるようになった。本稿では，湖沼の富栄養化を予防し，将来にわたって貴重な淡水資源を保全するためのソリューション技術として，①生態系モデルを用いた水質予測シミュレーション，②湖沼水質のモニタリング，③湖沼の直接浄化技術，について紹介する。

環境水質（湖沼・河川・上水）を見守るセンサ技術

青木　隆　　平岡　睦久　　菊池　智文
富士時報　Vol.74 No.8 p.444-448（2001）

最近の環境水質問題は，突発性水質事故，富栄養化による藻類の発生，農薬・内分泌かく乱物質・有機化学物質による原水および地下水汚染，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，モニタリングの自動化による安全性向上と低減のためのソリューション技術を提供してきた。本稿では，新たに開発したハイブリッド微粒子カウンタ，トリハロメタン生成能計，油膜センサとその応用システムについて述べる。

オゾン処理における臭素酸イオン生成を抑制するためのオゾン注入制御システム

加藤　康弘　　森岡　崇行　　星川　寛
富士時報　Vol.74 No.8 p.449-453（2001）

原水に臭化物イオンを含む場合，オゾン処理による副生成物として臭素酸イオンが生成される。本稿では実験的検討を通じ，オゾンによるトリハロメタン生成能の低減反応は，臭素酸イオン生成反応よりも優先的，かつ速やかに進行することから，溶存オゾン濃度を監視し，必要最少量のオゾン注入制御を行うことで，臭素酸イオン生成抑制が十分可能であることを示した。また，臭素酸イオン生成のリスクを極力低下させるための運転支援システムを提案した。

高効率オゾン併用膜沪過システム

野中　規正　　角川　功明　　本山　信行
富士時報　Vol.74 No.8 p.454-458（2001）

上水へ膜沪過設備を導入するうえで重要な技術的課題である膜のファウリング抑制に対して，オゾンの適用を検討した。その結果，設備性能の指標である膜沪過流束は，沪過の前段でオゾン注入した場合 5 m^3/（m^2・日），逆洗水に注入した場合 2 ～ 3 m^3/（m^2・日）となり，オゾン注入しない方式に比べ数倍の高流束を達成した。また，オゾン注入は，前者では膜沪過水中の溶存オゾン濃度を，後者では逆洗水中の溶存オゾン濃度を計測し，それぞれが所定濃度となるように制御した。

エネルギー自立型の浄水場

山本 総一郎　　長倉　善則　　伊藤　一
富士時報　Vol.74 No.8 p.459-463（2001）

水道事業体においては，新エネルギー機器の導入により地球環境に優しいエネルギー利用によって省エネルギーと環境性の改善を，また災害時にはこれら機器により自前の電源を確保することでライフラインとしての水道施設機能維持を両立させる取組みが行われている。本稿では東京都水道局の東村山浄水場にこれまで納入した水力発電設備，コージェネレーション設備，太陽光発電設備などについて紹介する。

環境水質（下水）を見守るセンサ技術

宮入　康寿　　佐藤　匡則　　田中　良春
富士時報　Vol.74 No.8 p.464-468（2001）

最近の都市化の進展や産業の発展はさまざまな環境問題を引き起こし，下水処理場が水環境に果たす役割は重要となっている。本稿では，下水処理場に流入する有害化学物質が下水の生物処理の機能を阻害するため，有害物質を事前に監視できる毒物モニタを設置することの重要性とその原理などを述べる。また，汚泥の減量化，再資源化を推進し，処理場内の汚泥発生量の管理を厳密に行うための超音波式汚泥界面計と大都市の豪雨時，雨水ポンプ場のポンプ制御を効率的に行うための光水位計について紹介する。

水環境を守る下水の高度処理制御システム

奥田　昇　　岡田　好丘　　佐々木 康成
富士時報　Vol.74 No.8 p.469-473（2001）

近年，湖沼や内海の富栄養化に伴う水道の異臭味被害，赤潮による漁業被害などが問題となっている。富栄養化は生活排水などに含まれる窒素，リンなどの栄養塩類が河川，湖沼，海に流入することにより促進されることから，都市部を中心に窒素・リン除去を主目的とした下水道の高度処理化が推進されている。本稿では，下水道の高度処理化に対応した富士電機の取組みの中から，高度処理プロセスの制御方策，納入事例，シミュレーションを利用した処理水質向上の試みなどを紹介する。

Abstracts (Fuji Electric Journal)

Water Quality Maintenance System for Lakes and Marshes

Manabu Sagawa Ikuo Myose Naohiro Noda
Fuji Electric Journal Vol.74 No.8 p.438-443 (2001)

Lakes, marshes, and reservoirs play an important role in reserving water resources and supplying drinking water. Recent natural or artificial pollutant inflow from the upstream area has rapidly made these water resources eutrophic and caused various obstacles to water utilization. This paper describes the following solution technologies for preventing lakes and marshes from eutrophication and maintaining the valuable water resources for the future: (1) simulation for water quality prediction using an ecosystem model (2) monitoring of lake and marsh water quality (3) direct purification technology for lakes and marshes.

Present Status and Prospects for the Circulating Water Environment

Masakazu Usui Tomoyasu Kida Hiroshi Tada
Fuji Electric Journal Vol.74 No.8 p.435-437 (2001)

In Japan s water environments, pollutants still continue to accumulate and concentrate in the water system due to the repeated use of water and various chemical substances discharged into the environment. It is necessary in the future to control the discharge load into environment lower than nature s own purification capacity and stop environmental deterioration. Fuji Electric supplies water environment technologies, such as sensor groups to on-line monitor the momentarily changing water environment, the simulation of algae multiplication in closed water areas, and process control technology to operate water/sewage treatment plant capacity to the maximum.

Ozone Injection Control System Against Bromate Formation

Yasuhiro Kato Takayuki Morioka Hiroshi Hoshikawa
Fuji Electric Journal Vol.74 No.8 p.449-453 (2001)

Ozonations of water containing bromide leads to the formation of bromate as a by-product. The experimental investigation showed that the reaction of decreasing trihalomethane formation potential is prior to and faster than that of bromate formation. This paper suggests that bromate formation can fully be controlled by monitoring dissolved ozone concentration and controlling ozone injection at the necessary minimum. Also it proposes an operation support system to minimize risk of bromate formation.

Water Quality Sensor Technologies for Various Environments (Lakes, Rivers, and Drinking Water)

Takashi Aoki Mutsuhisa Hiraoka Satofumi Kikuchi
Fuji Electric Journal Vol.74 No.8 p.444-448 (2001)

Recent environmental problems to water quality have been diversified. For example, sudden water quality accidents; algae multiplication caused by eutrophication; raw water and underground water pollution caused by agricultural chemicals, endocrine disrupter and organic chemicals; reduction of by-products from disinfection; and risk management against pathogenic microbe such as cryptosporidium. Fuji Electric has developed various water quality sensors and solution technologies for safety improvement and labor saving by automated monitoring. This paper describes the newly developed hybrid particle counter, trihalomethane formation potential meter and oil-on-water sensor, as well as their application systems.

Water Purification Plants Using Self-Supply Energy

Souichirou Yamamoto Yoshinori Nagakura Hajime Ito
Fuji Electric Journal Vol.74 No.8 p.459-463 (2001)

Water service utilities are tackling the introduction of new energy facilities to improve energy consumption and environmental preservation using environment-friendly energy, as well as in case of a disaster, maintain the water service function as a lifeline ensuring their own power supply by these facilities. This paper describes the hydroelectric power generating equipment, cogeneration system, and solar power generating equipment so far supplied to the Higashi-murayama water purification plant of the Tokyo Metropolitan Waterworks Bureau.

Advanced Microfiltration System with Ozonation

Norimasa Nonaka Naruaki Kadokawa Nobuyuki Motoyama
Fuji Electric Journal Vol.74 No.8 p.454-458 (2001)

Ozone application was investigated to prevent the foulant of membrane, an important technical problem in applying membrane filtration to drinking water systems. As the result, the permeate flux was 5 $m^3/(m^2 \cdot day)$ with ozone pretreatment under the condition of residual ozone in the permeate, and 2 to 3 $m^3/(m^2 \cdot day)$ when injected into backwashing water. The flux in the system with ozonation was several times higher than that without ozonation. The ozone dosage was adjusted in order to maintain the required dissolved ozone concentration in the permeate or backwashing water.

Advanced Sewage Treatment Control for Water Environment

Noboru Okuda Yoshitaka Okada Kousei Sasaki
Fuji Electric Journal Vol.74 No.8 p.469-473 (2001)

Recently, the bad smell and taste of service water and fishery damage from red tides due to the eutrophication of lakes, marshes, and inland seas have become a problem. Because eutrophication is accelerated by nutritious salts of nitrogen and phosphorus contained in waste water flowing into rivers, marshes, and seas, advanced sewage treatment mainly aiming at nitrogen and phosphorus removal has been promoted. From among Fuji Electric's activities to meet advanced sewage treatment, this paper describes the method of controlling the advanced treatment process, examples supplied, and trials using simulation to improve treated water quality.

Sensor Technologies Monitoring the Environmental Water Quality of Sewerage

Koju Miyairi Masanori Sato Yoshiharu Tanaka
Fuji Electric Journal Vol.74 No.8 p.464-468 (2001)

Recent advance in urbanization and industrial development have caused various environmental problems. The role of sewage treatment plants in the water environment has become important. Harmful chemicals flowing into sewage treatment plants obstruct the biological function of sewage. This paper describes the importance of toxicant monitor installation to discover harmful chemicals in advance as well as its principle. It also introduces a supersonic sludge interface meter that advances the reduction and recycling of sludge and strictly controls the amount of sludge in the plant, and an optical water level meter for efficient pump control in the rainwater pumping plant against a heavy rain in large cities.

上下水道事業における IT 時代のオープン監視制御システム

髙見澤 真司　　川戸 研二　　本山 浩
富士時報 Vol.74 No.8 p.474-479（2001）

近年，上下水道事業においては，その普及率の向上に伴い操作員不足を引き起こしており，加えてその労働環境の改善への要求も強い。本稿では，この問題を解決する一助として IT を応用した次世代のオープン監視制御システムについて，その要求機能と導入事例を紹介する。次に，そのシステムの構築に適用できる富士電機のシステムコンポーネントについて，上位管理ステーション，広域ステーション，オペレータステーション，コントローラステーション，PIO ステーション，およびネットワークの各階層に分けて記述する。

上下水道施設の省エネルギーとリサイクル

山本 総一郎　　増澤 栄一　　佐藤 治
富士時報 Vol.74 No.8 p.480-482（2001）

地球温暖化防止京都会議を契機に，環境負荷軽減のための施策が実施されつつある。「改正省エネルギー法」「グリーン購入法」などの法整備も進み，施策の実施がさらに加速されるものと期待されている。本稿では，環境会計の柱ともなっている，省エネルギーとリサイクルについてこれらの法令に対応した製品を紹介し，今後の対応方法の一例を提言する。

水道施設の運転管理ソリューション

筧 誠　　丸山 智史　　秋山 浩秀
富士時報 Vol.74 No.8 p.483-486（2001）

経営に苦しんでいる水道事業体が多い中，2001年６月に改正された水道法は水道事業体の広域化統合，第三者への業務委託の制度化を図るとともに，需要者への情報公開，受水槽水道への規制強化による質の向上を目指している。このような環境の中で，富士電機は業務分析，運転管理，水質管理などのサービスメニューを整備し，水道事業体からの業務委託にこたえる体制を整えるとともに，業務委託を支援する広域管理センター構想を提案する。

Energy Conservation and Recycling in Waterworks and Sewerage

Souichirou Yamamoto Eiichi Masuzawa Osamu Sato
Fuji Electric Journal Vol.74 No.8 p.480-482 (2001)

Taking the opportunity of The Third Session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, plans for reducing environmental load have been going on. Revised Law Concerning Rational Use of Energy and Law on Promotion of Green Purchasing were prepared and completed and it is expected that implementation of the plans is accelerated further. In relation to energy conservation and recycling that support environmental accounts, this paper introduces products that meet these laws and suggests an example of a method of coping with the future situation.

Open Supervisory Control and Data Acquisition System with Web Technology in Waterworks and Sewerage

Shinji Takamisawa Kenji Kawato Hiroshi Motoyama
Fuji Electric Journal Vol.74 No.8 p.474-479 (2001)

In recent waterworks and sewerage, their diffusion has caused the shortage of operators as well as strong claims for improvement in labor environment. This paper describes the required functions and introduced examples of the next-generation open supervisory control and data acquisition (SCADA) system using information technology as a help to solve the problems. Then it gives descriptions of Fuji Electric's system components applicable to the system construction, classifying them into management stations, wide-area stations, operator stations, controller stations, PIO stations and networks.

Solutions for the Operation and Management of Waterworks Facilities

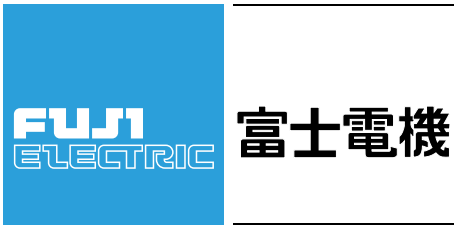
Makoto Kakei Tomofumi Maruyama Hirohide Akiyama
Fuji Electric Journal Vol.74 No.8 p.483-486 (2001)

Many water supply utilities are suffering from deficit operation. Amendments to the Waterworks Law in June, 2001 aims to integrate water supply utilities to wide-area ones and systemize of management contracts to third parties as well as to disclosure information to consumers and improve quality by stricter regulation to water supply to receiving tanks. In this circumstance, Fuji Electric has prepared a solution menu for work analysis, operation control and water quality control to receive management contracts from water supply utilities as well as proposes the planning of a management center to support wide-area operation.

富士電機株式会社

本社事務所	☎(03)5435-7111	〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目11番2号（ゲートシティ大崎イーストタワー）
北海道支社	☎(011)261-7231	〒060-0042 札幌市中央区大通西四丁目1番地（道銀ビル）
東北支社	☎(022)225-5351	〒980-0811 仙台市青葉区一番町一丁目2番25号（仙台NSビル）
北陸支社	☎(076)441-1231	〒930-0004 富山市桜橋通り3番1号（富山電気ビル）
中部支社	☎(052)204-0290	〒460-0003 名古屋市中区錦一丁目19番24号（名古屋第一ビル）
関西支社	☎(06)6455-3800	〒553-0002 大阪市福島区鷺洲一丁目11番19号（富士電機大阪ビル）
中国支社	☎(082)247-4231	〒730-0021 広島市中区胡町4番21号（朝日生命広島胡町ビル）
四国支社	☎(087)851-9101	〒760-0017 高松市番町一丁目6番8号（高松興銀ビル）
九州支社	☎(092)731-7111	〒810-0001 福岡市中央区天神二丁目12番1号（天神ビル）
北関東支店	☎(048)526-2200	〒360-0037 熊谷市筑波一丁目195番地（能見ビル）
首都圏北部支店	☎(048)657-1231	〒330-0802 大宮市宮町一丁目38番1号（野村不動産大宮共同ビル）
首都圏東部支店	☎(043)223-0701	〒260-0015 千葉市中央区富士見二丁目15番11号（日本生命千葉富士見ビル）
神奈川支店	☎(045)325-5611	〒220-0004 横浜市西区北幸二丁目8番4号（横浜西口KNビル）
新潟支店	☎(025)284-5314	〒950-0965 新潟市新光町16番地4（荏原新潟ビル）
長野システム支店	☎(026)228-6731	〒380-0836 長野市南県町1002番地（陽光エースビル）
長野支店	☎(0263)36-6740	〒390-0811 松本市中央四丁目5番35号（長野県鋳物会館）
東愛知支店	☎(0566)24-4031	〒448-0857 刈谷市大手町二丁目15番地（センターヒルOTE21）
兵庫支店	☎(078)325-8185	〒650-0033 神戸市中央区江戸町95番地（井門神戸ビル）
岡山支店	☎(086)227-7500	〒700-0826 岡山市磨屋町3番10号（住友生命岡山ニューシティビル）
山口支店	☎(0836)21-3177	〒755-8577 宇部市相生町8番1号（宇部興産ビル）
松山支店	☎(089)933-9100	〒790-0878 松山市勝山町一丁目19番地3（青木第一ビル）
沖縄支店	☎(098)862-8625	〒900-0005 那覇市天久1131番地11（ダイオキビル）
道北営業所	☎(0166)68-2166	〒078-8801 旭川市緑が丘東一条四丁目1番19号（旭川リサーチパーク内）
北見営業所	☎(0157)22-5225	〒090-0831 北見市西富町163番地30
釧路営業所	☎(0154)22-4295	〒085-0032 釧路市新栄町8番13号
道東営業所	☎(0155)24-2416	〒080-0803 帯広市東三条南十丁目15番地
道南営業所	☎(0138)26-2366	〒040-0061 函館市海岸町5番18号
青森営業所	☎(0177)77-7802	〒030-0861 青森市長島二丁目25番3号（ニッセイ青森センタービル）
盛岡営業所	☎(019)654-1741	〒020-0034 盛岡市盛岡駅前通16番21号（住友生命盛岡駅前ビル）
秋田営業所	☎(018)824-3401	〒010-0962 秋田市八橋大畑一丁目5番16号
山形営業所	☎(023)641-2371	〒990-0057 山形市宮町一丁目10番12号
新庄営業所	☎(0233)23-1710	〒996-0001 新庄市五日町1324番地の6
福島営業所	☎(024)932-0879	〒963-8033 郡山市亀田一丁目2番5号
いわき営業所	☎(0246)27-9595	〒973-8402 いわき市内郷御厩町二丁目29番地
水戸営業所	☎(029)231-3571	〒310-0805 水戸市中央二丁目8番8号（櫻井第2ビル）
茨城営業所	☎(029)266-2945	〒311-1307 茨城県東茨城郡大洗町桜道304番地（茨交大洗駅前ビル）
金沢営業所	☎(076)221-9228	〒920-0031 金沢市広岡一丁目1番18号（伊藤忠金沢ビル）
福井営業所	☎(0776)21-0605	〒910-0005 福井市大手二丁目7番15号（安田生命福井ビル）
山梨営業所	☎(055)222-4421	〒400-0858 甲府市相生一丁目1番21号（清田ビル）
松本営業所	☎(0263)33-9141	〒390-0811 松本市中央四丁目5番35号（長野県鋳物会館）
岐阜営業所	☎(058)251-7110	〒500-8868 岐阜市光明町三丁目1番地（太陽ビル）
静岡営業所	☎(054)251-9532	〒420-0053 静岡市弥勒二丁目5番28号（静岡荏原ビル）
浜松営業所	☎(053)458-0380	〒430-0945 浜松市池町116番地13（山崎電機ビル）
和歌山営業所	☎(073)432-5433	〒640-8052 和歌山市鷺ノ森堂前丁17番地
鳥取営業所	☎(0857)23-4219	〒680-0862 鳥取市雲山153番地36〔鳥電商事(株)内〕
倉吉営業所	☎(0858)23-5300	〒682-0802 倉吉市東巌城町181番地（平成ビル）
山陰営業所	☎(0852)21-9666	〒690-0007 松江市御手船場町549番地1号（安田火災松江ビル）
徳島営業所	☎(088)655-3533	〒770-0832 徳島市寺島本町東二丁目5番地1（元木ビル）
高知営業所	☎(088)824-8122	〒780-0870 高知市本町四丁目1番16号（高知電気ビル別館）
小倉営業所	☎(093)521-8084	〒802-0014 北九州市小倉北区砂津二丁目1番40号（富士電機小倉ビル）
長崎営業所	☎(095)827-4657	〒850-0037 長崎市金屋町7番12号
熊本営業所	☎(096)387-7351	〒862-0950 熊本市水前寺六丁目27番20号（神水恵比須ビル）
大分営業所	☎(097)537-3434	〒870-0036 大分市寿町5番20号
宮崎営業所	☎(0985)20-8178	〒880-0805 宮崎市橘通東三丁目1番47号（宮崎プレジデントビル）
南九州営業所	☎(099)224-8522	〒892-0846 鹿児島市加治屋町12番7号（日本生命鹿児島加治屋町ビル）
エネルギー製作所	☎(044)333-7111	〒210-9530 川崎市川崎区田辺新田1番1号
変電システム製作所	☎(0436)42-8111	〒290-8511 市原市八幡海岸通7番地
東京システム製作所	☎(042)583-6111	〒191-8502 日野市富士町1番地
神戸工場	☎(078)991-2111	〒651-2271 神戸市西区高塚台四丁目1番地の1
鈴鹿工場	☎(0593)83-8100	〒513-8633 鈴鹿市南玉垣町5520番地
回転機工場	☎(0593)83-8100	〒513-8633 鈴鹿市南玉垣町5520番地
松本工場	☎(0263)25-7111	〒390-0821 松本市筑摩四丁目18番1号
山梨工場	☎(055)285-6111	〒400-0222 山梨県中巨摩郡白根町飯野221番地の1
吹上工場	☎(048)548-1111	〒369-0192 埼玉県北足立郡吹上町南一丁目5番45号
大田原工場	☎(0287)22-7111	〒324-8510 大田原市中田原1043番地
三重工場	☎(0593)30-1511	〒510-8631 四日市市富士町1番27号
(株)富士電機総合研究所	☎(0468)56-1191	〒240-0194 横須賀市長坂二丁目2番1号
(株)FFC	☎(03)5351-0200	〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目30番3号（新宿コヤマビル）

昭和40年6月3日　第三種郵便物認可　平成13年8月10日発行（毎月1回10日発行）富士時報　第74巻　第8号（通巻第797号）



本誌は再生紙を使用しています。

定価525円（本体500円）