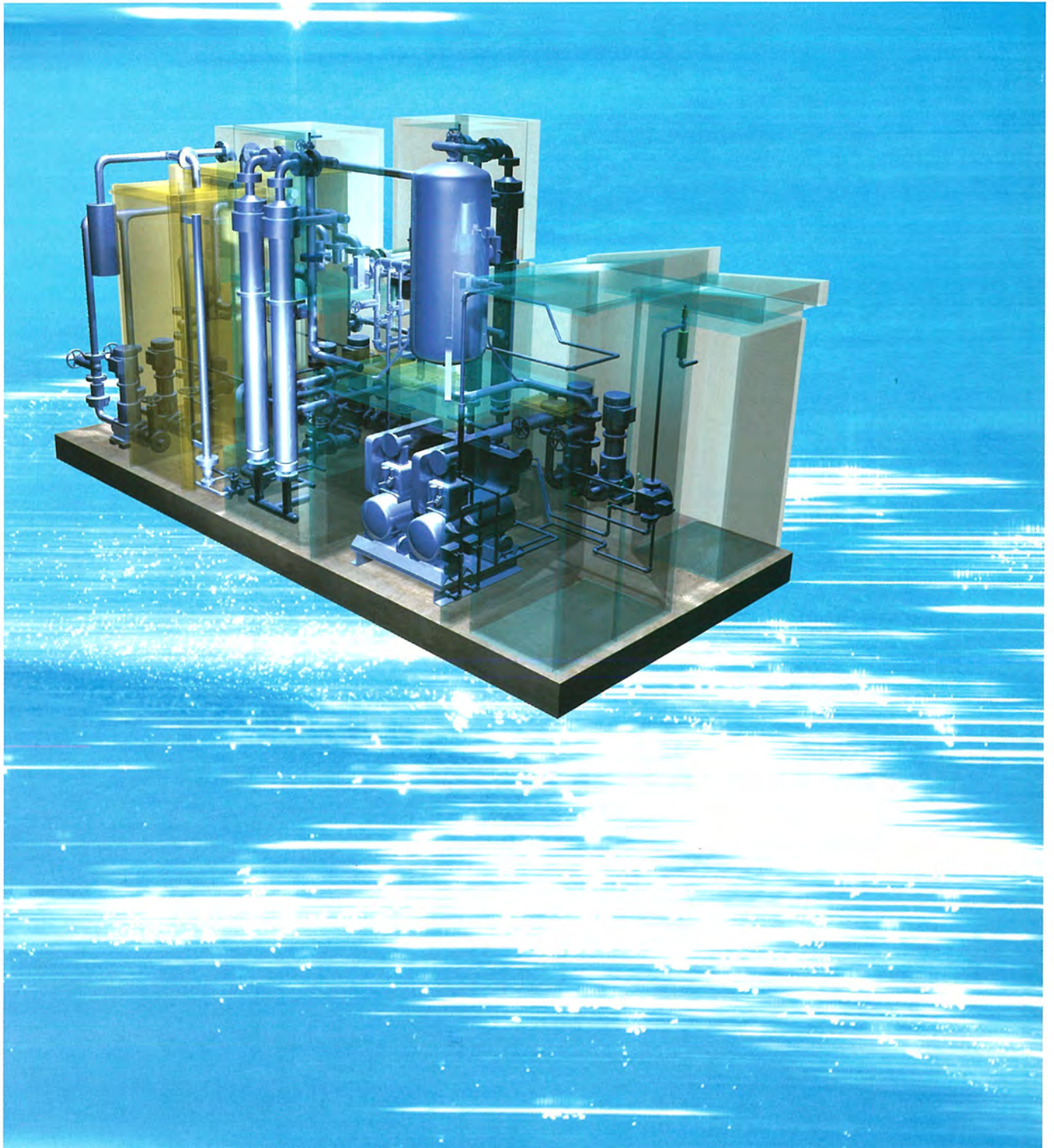


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.76 No.10

特集「IT応用水環境システム」

2002 10



目次

特集「IT応用水環境システム」

「IT応用水環境システム」特集に寄せて 藤田正憲	1
IT応用水環境システムの展望 吉積敏昭・畑辺 健・廣辻淳二	2
上下水道広域統合監視制御システム 成原弘修・中道功二・古林三郎	10
インターネットを使った上下水道企業と需要家の情報共有 川田卓嗣・石丸昌克・鹿島理華	15
上下水道維持管理支援ASP情報サービス 外崎道夫・道行泰代・南部雅彦・今村 誠	19
上水水源用油臭センサ応用システム 増田直人・土方健司・上山智嗣・古川誠司	23
省エネルギー型窒素・りん除去下水処理制御システム 古川誠司・田中久雄	29
三菱パッケージ型オゾン・膜応用高度浄水設備“ハイパーMAX-O ₃ ” 田村哲也・石田稔郎・真田欣将・成原弘修・神谷俊行	34
消化ガスを燃料とするマイクロガスタービン コージェネレーションシステム 三好英明・谷口哲也・小沢建樹	39

普通論文

完全固体高集光高出力・波長変換レーザ 小島哲夫・古田啓介・竹中裕司	43
第二世代X線リソグラフィ 糸賀賢二・丸本健二・炭谷博昭・熊田輝彦・北山豊樹	49
LSI配線用Cu-CMP技術 深田哲生・高田 裕・佐藤一直	54

特許と新案

「光磁気記録媒体」「リチウムイオン二次電池及びその製造方法」	59
「イメージセンサ」	60

スポットライト

携帯電話応用プラント監視システム	(表3)
------------------	------

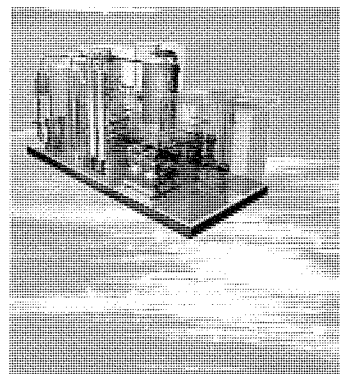
表紙

三菱パッケージ型オゾン・膜応用高度浄水設備“ハイパーMAX-O₃”

水道水に起因する病原性原虫クリプトスポリジウムによる感染症が国内でも発生し、その対策が浄水処理の重要な課題となっている。

“ハイパーMAX-O₃”(CG図)は、オゾンと膜を組み合わせることにより、コンパクトでありながら浄水場のすべての機能を完備し、クリプトスポリジウム、色、臭(におい)等を完全に除去し、安全でおいしい水を供給できる小容量浄水場向けのパッケージ型浄水設備として開発し製品化した。

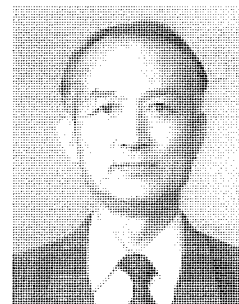
“ハイパーMAX-O₃”は、大幅な省スペースを実現したワンベース一体構造で、建設コストも削減でき、小規模市町村の簡易水道設備等への適用のほか、緊急時の可搬型浄水設備としても適用可能である。



「IT応用水環境システム」特集に寄せて

大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻 教授
(併)評議員, (併)保全科学研究センター長

藤田正憲



長引く経済停滞にいらいらを募らせている人が多い中、人口の平衡、若年層の減少、高齢化対応、税収の落ち込みなど、経済成長にとってのマイナス要因を盛り込んで、これまで公共事業の名の下に進めてきた社会(環境)インフラ建設の見直しが真剣に考えられている。一例が、東京都の上・下水道局で行われているPFIの試みである。ここでは、コジェネレーションを応用した新エネルギー導入を柱に、次亜塩素酸ソーダの製造、汚泥の処理・処分、メタンの有効利用など、より広範なプロセスを包含している。一方、今年下水道展で目立ったのが省エネルギー型エアレーション装置、循環型社会に適應した汚泥処理装置、合流式下水道の放流水質改善装置、下水管渠(かんきょ)の点検・補修装置、広域洪水監視制御システムなどであった。共通して言えることは、最少の費用で最大の効果を得るという当たり前の原則に戻ったことである。その中に異業種で培われた技術の活用が随所に見られ、連携の重要性を再認識した。

日本では、上・下水道システムの全面的な民営化より、雇用・税制などから一部をPFIに任せるスタイルが当面続きそうであるが、これまでの入札とは異なり財務、技術に加え、システムの管理力が勝敗を決める厳しい競争となる。例えば下水処理場にバイオガスの利用を組み込んだ新エネルギーを導入する場合に、本来は消化ガス発電などのエネルギー施設だけでなく、メタン発酵の効率化、消化汚泥の処理・処分、脱離液(消化上澄み液)や脱水ろ液の扱い、余剰汚泥の発生率など、水処理工程全体を眺めながら、コスト削減と処理の高度化を両立させなければならない。また広域洪水監視制御システムや合流式下水道の放流水質改善などシステムのスケールは異なるが、最適解を求めるため

には、優れたモデルだけでなく、多くの環境情報を集め、的確にデータ処理し、素早く指令(解)を伝達する、ITと環境の統合が鍵(かぎ)となる。

話は変わるが、近代的な上・下水道の歴史はちょうど100年を超えたところである。その間、多くの技術が実用化されたが、中には時代に合わないという理由で忘れられた技術やシステムも多い。ところが、それらの中に、少し工夫をすれば今求められている技術として蘇(よみがえ)るものも存在する。例えば、窒素除去法として注目されているステップ流入式嫌気・好気活性汚泥法は、設計思想は異なるが、ステップエアレーション法に嫌気・好気式を組み合わせたものであり、下水道技術者に理解されやすい。若い世代の技術者が新たな開発を行う上で、100年という歴史の中で開発・実用化され、中には忘れられた技術を、ITを駆使し、ビジュアルで直接操作できる環境情報として集大成し、いつでも勉強できる環境を作ることも今後の技術開発に必要な仕組みであろう。

最後に、i-モードの生みの親の松永さんはおにぎり、団子を携帯する文化がモバイルのヒットを支えたと説明されていたようであるが、同じことはファーストフードとしてのカップヌードルやマクドナルド、めんこ・ビーダマや双六(すごろく)に代わるテレビゲームなどのヒット商品にも当てはまる。すなわち、文化の進化軸に沿っていたために抵抗なく受け入れられた商品と言えよう。ITを活用した省エネルギー、コスト削減型社会システムでも、常に文化の流れに沿っていることを意識して開発することが大切である。と同時に、一日も止められないという姿勢で水環境システムの危機管理にも対応しなければならない。

IT応用水環境システムの展望



吉積敏昭*



畑辺 健**



廣辻淳二***

要 旨

水環境事業の中で中心的な役割を果たす上下水道は国・自治体の施策によって整備が進み、2001年度には水道96%、下水道62%の普及率に達している。しかし21世紀を迎え、上下水道には、単なる水の安定供給・汚水/雨水対策の範疇(はんちゆう)を越えて、安全な都市生活の確保、地球環境に配慮した循環型社会の形成といった新たな役割が期待されている。また、上下水道事業の経営効率化及び経営基盤強化も重要な課題であり、水道法改正・市町村合併などの動きとともに、上下水道事業は今大きな変革期に差し掛かっている。

このような時代の変化の中で、三菱電機は、“安定運用と水環境保全”“経営効率化”“災害対策の充実と市民サービス”という上下水道事業における継続的な重要課題に対し、

IT(Information Technology)システムを中心とした最新技術を適用してお客様の抱える様々な課題の解決を図っている。具体的には、より高レベルの安定運用を可能とする流入量予測ポンプ自動運転システム、閉鎖性水域の水環境保全に寄与する硝化制御システム、少人数での運転管理に効果が期待できる広域統合監視制御システム、災害対策の質的向上が期待できる災害被害判読システムなど幅広い“上下水道IT応用水環境システム”の開発により、お客様の考える21世紀の水環境事業創造に貢献していくことを目指している。

この特集では、当社の“上下水道IT応用水環境システム”とそれを支える最新技術について紹介する。



上下水道IT応用水環境システムの概要

三菱電機では、高度化・多様化・複雑化している上下水道事業の課題解決に向けて、“IT系”及び“プロセス系”のIT応用水環境システムを開発し製品化している。

1. ま え が き

日本は5分の4が山で、周囲を海に囲まれており、河川・湖沼・海域・地下水など多くの水資源に恵まれている。また、平野部が狭く人口が都市部に集中しているため、安全な水の確保・安定供給が重要な課題である。このため、河川・湖沼等の水源及び都市部の親水空間等を意味する水環境の保全・創造は、国の重要な施策の一つとなっている。水は、“自然環境を形成する河川・海等の水”“上下水等の市民生活にかかわる水”“工場廃水等の生産活動にかかわる水”に大きく分類され、それぞれに環境保全・創造を実現する水環境事業が存在する。この特集では、水環境における都市の代謝・循環システムの確立において中心的役割を果たす上下水道事業に適用されるIT応用システムに焦点を当て、当社の取り組みを述べる。

上下水道事業では、“安定運用と水環境保全”“経営効率化”“災害対策の充実と市民サービス”が継続的重要課題である。最近は、特に環境・安全・省エネルギー等に対する市民意識の高まりにより、これらの課題のより良い対応策が求められている。

一方、高速・大容量通信、インターネットやWeb、画像処理、GIS(Geographical Information System: 地理情報システム)、モバイルコンピューティング、センサ、シミュレーション等IT応用技術の進歩が著しく、これらの適用によって、上下水道事業の抱える様々な課題を効率的に解決するシステムが実現されつつある。

現在、各自治体では、市町村合併に伴う上下水道の広域統合化、民営化・PFI(Private Finance Initiative: 民間活力導入施策)による建設・維持管理費用の低減等によってこれらの課題解決に向けた取り組みが進められており、そのための有効な手段の一つとして、上下水道IT応用水環境システムの適用が急速に拡大している。

2. 上下水道事業の市場動向・技術動向

2.1 安定運用と水資源のリサイクル

(1) 安全・高品質な水の安定供給

水道の普及率は既に高く96%を超えている。今後は更に安全で高品質な水の供給に注力されるものと考えられる。例えば、耐塩素性原虫クリプトスポリジウムによる健康被害の予防や、トリハロメタン(THM)などの有害な消毒副生成物、及び農薬や環境ホルモン等の有害化学物質の低減が、現在課題となっている。このため、これまでの砂ろ過技術の改良や膜技術などの新しい固液分離技術、塩素代替消毒剤による消毒技術、オゾンやラジカルを使った有害化学物質の酸化分解技術などが今後重要になると考えられる。また、過不足なく薬剤を使用して水処理施設をきめ細かく効率的に運用するためのプラント制御技術も重要となる。

また、水道水源への下水処理水の流入や農地からの農薬流出などに代表されるノンポイント汚染による水源水質悪化により、これまでに導入されてきた浄水単独での処理高度化だけでは対応が困難となっている。このため、これまでの上水処理から枠を広げ、清浄な水道水源の保全や水源の循環による有効利用など、下水処理と連携した取り組みが必要になっている。さらに、清浄な水道水源を守るための方策として、下水処理水や工場廃水の流入なども考慮した広域な水道水源監視技術など、ITを応用した水環境の監視技術の必要性が今後増すものと考えられる。

(2) 水環境の保全

下水道の普及率は、大都市では既に99%に達している。これに対して、人口5万人以下の市町村では普及率は27%にとどまっており、今後も小規模下水処理場が順次整備されていくと考えられる。現在、小規模処理場は、水道水源となる河川に処理水を放流している場合が多い。このため、下水処理水から安価に窒素やりんが除去できる省エネルギー型の処理技術が必要となっている。

また、閉鎖性水域における富栄養化対策も重要である。第5次水質総量規制では、2004年度から、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海を対象に、従来のCOD(Chemical Oxygen Demand: 化学的酸素要求量)に加え、富栄養化の原因物質である窒素・りんも排出量規制対象となる。このため、窒素・りん除去プロセスの省エネルギーで効率的な運用制御システムのニーズが高まっており、閉鎖性水域での窒素・りんのモニタリングシステムの導入や、これら水域に処理水を放流している下水処理場においては、窒素・りんを除去する高度処理施設の整備が加速されつつある。

(3) 水環境における都市の代謝・循環システムの確立

循環型社会の形成に向け、都市における健全な水循環の形成の観点から、下水処理水を都市の新しい水資源としてとらえ、現在よりも更に高度に処理し、河川に還流、又は都市内で再利用することの重要性が増してくる(図1)。このため、大規模集合住宅等でのオンサイトの水リサイクルに適したコンパクトな装置による下水の高速処理技術や、生物処理では分解が困難な有害化学物質の分解技術、各サイトに点在する水処理装置を遠方から集中監視制御する運用監視システムの開発が必要となる。

一方、下水道の普及や高度処理の普及により、発生汚泥量は今後ますます増加するものと予想されている。下水汚泥の最終処分場の処理能力は今後およそ10年で限界に達するという予測もあり、下水汚泥の有効利用の方策として、リサイクル化等が重要な課題となっている。現在ではれんがや建材などに再利用する試みもあるが、資源の循環システムに組み入れる方策の決め手とはなっていない。さらに、将来は家庭にディスポーザが普及し、破碎された生ごみが下水道へ排出されることも想定されるので、これを念頭に

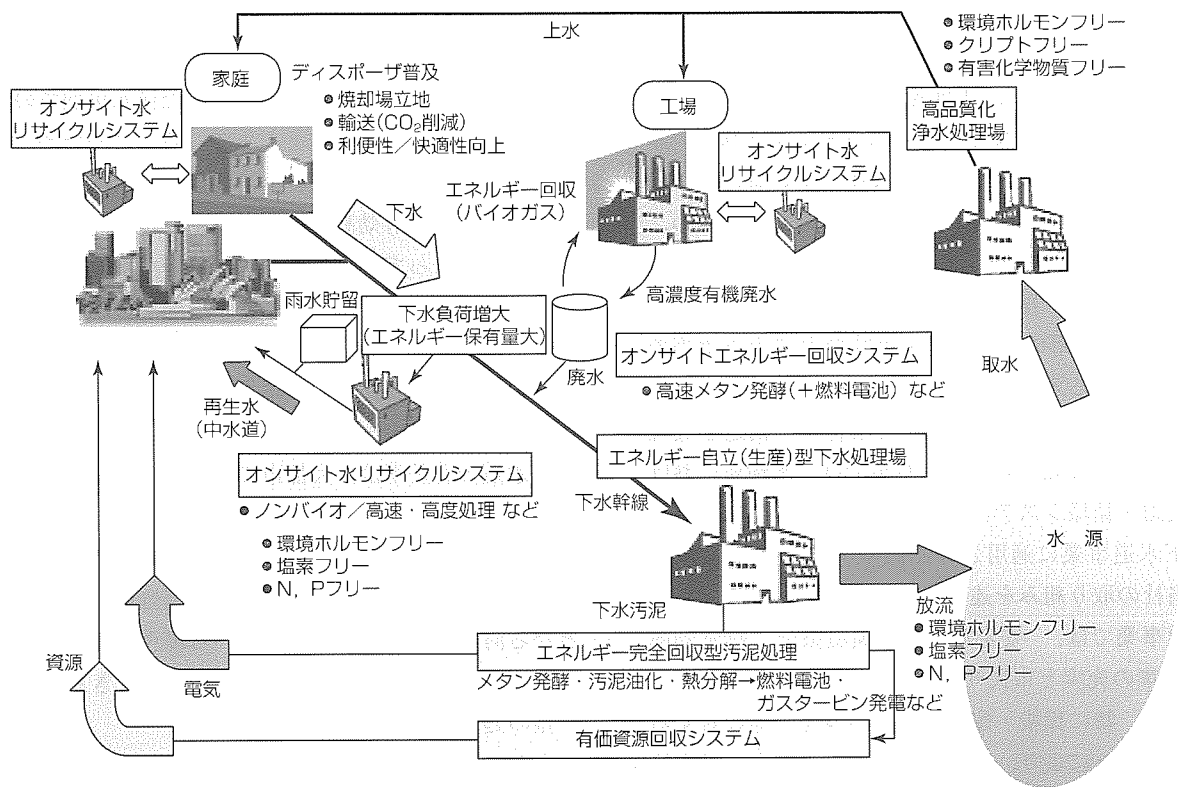


図1. 水環境における都市の代謝・循環システム

置いた対応が必要である。下水汚泥には有機物が多く含まれており、年間100億kW・hの潜在エネルギーを保有するという試算もある。このため、下水汚泥等の有機汚泥をメタン発酵処理し、発生したメタンガスを使って発電して、電気エネルギー及び熱エネルギーとして回収することは、CO₂発生量削減の観点からも重要である。また、下水汚泥中には有価資源が多く含まれている。特に、石油よりも早く枯渇すると言われているりんについては、我が国はそのほとんどを輸入に依存しているため、この回収技術の開発は循環型社会構築の観点から重要な課題である。

このため、りんなどの有価資源回収技術、汚泥の減量化技術、高効率に汚泥をメタン発酵する技術、さらに、メタンガスを有効利用するコジェネレーションシステムなどの開発が重要になると予想され、これらを効率的に運用するためのITシステムの必要性が高まるものと考えられる。

2.2 上下水道事業の経営効率化

水道では既に高い普及率が達成され、多くの事業者が安定した水の提供に貢献してきた。しかし、現在、全国の多くの浄水施設は老朽化が進み施設更新の時期を迎えている。全国的に水需要が頭打ちとなり料金収入の増加が見込めない中で、今後、微量有害物質の安定除去が可能な施設への更新が大きな課題になるものと予測される。これらを背景に、水道事業の経営効率化が強く求められている。さらに、全国で約1万1千ある事業者の多くは小規模であり、これからの水道事業に求められる安全・高品質な水の供給に適切に対応するために、財政的及び技術的な観点から解決す

べき課題は多い。

一方、下水道の全国平均普及率は6割を超えた段階であるが、水道同様財政的な観点から経営の効率化が求められている。このため、今後順次整備されると考えられる窒素・りん除去処理においても、省エネルギー型の新しい処理技術が求められている。

また、今後進んでいくと考えられる市町村合併の動きと対応した上下水道事業の経営効率化及び経営基盤強化の方策として、事業の統合、管理の広域化が進むものと考えられる。その具体的施策として、今まで個別に管理していた台帳や図面などの情報管理の一元化、又は複数の浄水場、下水処理場の統合運転管理や水質管理、維持管理業務の統合化による省人化などがある。これらはいずれも、最新のITの適用によって実現可能である。

さらに、経営効率化には民間活力の利用が不可欠となってきており、昨年水道法改正によって浄水場の運転管理、水質管理、維持管理などの運転維持業務を民間に委託できることとなった。今後、このような民営化の取り組みが増加すると考えられる。また、PFIによる民間活力の利用も経営基盤の強化に有効である。現在幾つかの浄水場や下水処理場では熱電供給事業や電力供給事業が既に始まっており、今後更に増加するものと考えられる。

2.3 災害対策の充実

豪雨時の雨水処理は、下水道において最も注力すべき課題であり、対応によっては浸水等の災害の要因となり得る。したがって、雨水の効率的な排除は下水道の重要な役割で

あり、これまで多くの水害の防止に役立ってきた。しかし、最近の急速な都市化地域の拡大に伴い地表面がコンクリートやアスファルトなどに覆われて、都市域での雨水の浸透、保水能力が次第に低下したため、短時間に雨水が流出して水害を引き起こす、いわゆる都市型水害が多く発生するようになってきた。また、昨年雨天時に合流式下水道から越流水とともに流出したと見られるオイルボールが東京湾で確認されたことを契機として、合流式下水道の問題点が大きく認識されるようになった。国土交通省でその実態調査が行われており、早期に解決すべき課題の一つとなっている。

これらの豪雨対策として、都市域での雨水浸透や保水能力を向上させるため、又は短時間の大量雨水流出を緩和するため、ポンプ設備の設置のみならず、雨水の浸透施設や雨水貯留池の建設が進められている。また、下水道管に敷設した光ファイバを利用した複数の雨水ポンプの統合的な運転制御法や遠隔監視技術の開発も進められている。さらに、豪雨時や水害時に地域住民に情報を迅速に伝達するために、市民への情報公開システム導入も各地で進められている。

合流式下水道の未処理下水の放流については、オイルボールの流出防止や初期フラッシング時の未処理放流水の流出制御による放流負荷低減を行うための下水システムの構築、又は、高速で消毒処理や浮遊物除去を行う新しい処理技術の開発が、今後の課題である。

3. IT応用水環境システムへの当社の取り組み

当社では、“安定運用と水環境保全”“経営効率化”“災害対策の充実と市民サービス”等、“上下水道事業の課題”に対し、経営管理・施設管理・運転管理・維持管理・災害情報管理・情報公開の各業務を支援する各種IT応用水環境システムを開発し製品化している。これらのシステムには、高速・大容量ネットワーク、インターネットやWeb、画像処理、GIS、モバイルコンピューティング、センサ、シミュレーションなど様々なITが適用されている。上下水道事業の業務と課題及びこれに対応した“IT系”及び“プロセス系”のIT応用水環境システムを図2に示す。IT系システムの進歩はネットワークの高速・大容量化とコンピュータの高速化に大きく依存し、プロセス系システムの進歩はセンサ技術とITによるデータ高速処理技術の発達に大きく依存する。

ここでは、前に述べた“上下水道事業の課題”解決に役立つ下記のIT系システムやプロセス系システムについて、当社の取り組みの特長と考え方を紹介する。

(1) “安定運用と水環境保全”への対応

(a) 安定運用への対応

- データウェアハウス (DWH) 応用送水パターン分析システム
- 流入量予測ポンプ自動運転システム

(b) 水環境保全への対応

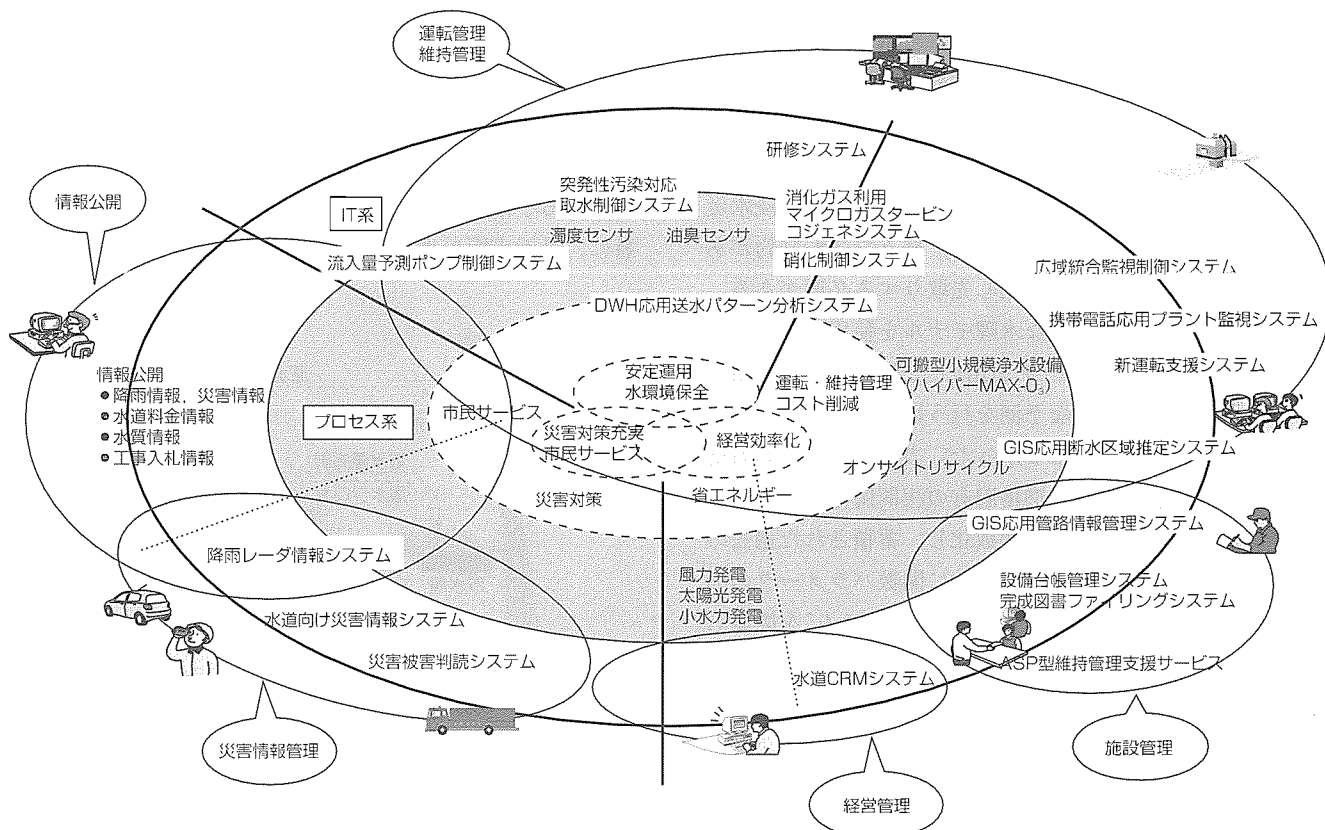


図2. 上下水道事業の業務・課題とIT応用水環境システム

●硝化制御システム

(2) “経営効率化”への対応

(a) 運用コスト削減

- 突発性汚染対応取水制御システム
- GIS応用管路情報管理システム
- 消化ガス利用マイクロガスタービン・コジェネレーションシステム

(b) 省力化・省人化によるコスト削減

- 広域統合監視制御システム
- 携帯電話応用プラント監視システム
- 新運転支援システム

(3) “災害対策の充実と市民サービス”への対応

- GIS断水区域推定システム
- 災害被害判読システム
- 降雨レーダ情報システム

3.1 安定運用と水環境保全への対応

3.1.1 安定運用への対応

計算機技術の著しい進展に伴い、大量のデータを様々な視点から分析するデータウェアハウス(DWH)や過去のデータトレンドに基づく新プロセスシミュレーション方式など、データ解析技術の応用が急速に発展している。データウェアハウス等の大量に蓄積されたデータの高速処理技術を適用すれば、気温等の天候データや曜日など複数条件の組合せを過去のデータから抽出し分類することにより、例えば、コストが最小でかつ安定な運用が実現できる送水ポンプ運転パターンを決定することができる。この技術は、数式モデル等を用いた解析的な手法が未開発の系における最適解導出の手法として適用され始めている。当社では、浄水場の送水運転に適用できる“DWH応用送水パターン分析システム”を実用化している。

また、下水処理場の降雨時の雨水ポンプ運転は、浸水災害防止の観点から確実性が要求され、様々な運転制約があるため、降雨の流入状況を予測し先取りする必要がある。従来は貯留関数法等の複雑な水理モデルを使用していたが、この手法は多くのパラメータを用い、しかも多数の実測データ入力が必要で高精度な予測を行うには多大な費用と時間を要するため実用的ではなかった。当社では、この対応として、降雨量と流入量の機場固有の相関関係をパラメータの少ない線形応答モデルで関数化し、蓄積された過去の実データを分析することで、自動的に関数パラメータの同定が行える“流入量予測ポンプ自動運転システム”を開発した。

このように、解析的なモデル構築が実用的でない系についてもDWH等の大量・高速なデータ解析技術の開発・適用で高速に高精度なシミュレーション結果を得ることができるようになり、上下水道施設のよりレベルの高い安定運用が可能となった。

3.1.2 水環境の保全への対応

下水処理に要する電力使用量は我が国全体の約0.6%を占めており、この削減のために電力使用設備の効率的な運用が求められている。下水処理水中のアンモニア性窒素等の水質をオンライン計測するセンサの開発と下水生物処理プロセス解析技術の確立によって、処理場の電力使用量の大半を占める送風機動力の削減が可能となる。

当社では、閉鎖性水域の水環境保全に対応するため、窒素りんオンラインモニタの開発と活性汚泥モデルを用いた生物処理プロセス解析技術の開発を行い、省エネルギー型の“硝化制御システム”を実用化した。このシステムの適用により、処理水質の安定化と電力使用量の10~15%の大幅削減が同時に実現した。このように、高機能なセンサの開発は、IT応用水環境システムの実用化に極めて重要な役割を果たしている。

3.2 経営効率化への対応

3.2.1 運用コスト削減への対応

上下水道施設の効率的な運用を阻害する外乱要因を検出するセンサとITシステムとを組み合わせることによって、上下水道施設の運用コストの削減が可能となる。当社では、原水に含まれる油臭をオンラインで計測できる高感度油臭センサを開発した。このセンサの実用化によって、例えば事故等による突発的な油汚染で浄水場の水源が汚染された場合、水源上流に設置された高感度油臭センサで油汚染を事前に検知して先行取水と取水制限を行うことにより、投入薬品量の削減や運用コスト低減が行える“突発性汚染対応取水制御システム(図3)”の開発が可能となった。

この例においても、高機能なセンサ開発が、IT応用システムの実用化に大きな役割を果たしている。

広範囲にわたる管路や給水メータの設置状況を効率的に管理する手段として、GISが既に幅広く適用されている。特に、最近市販の地図データを利用して比較的安価で短時

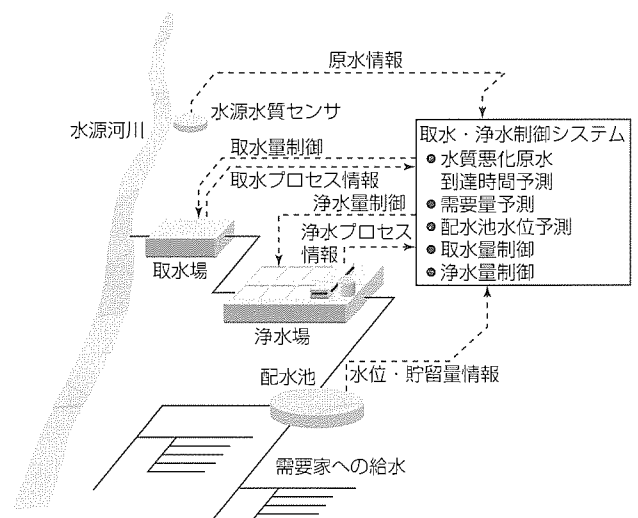


図3. 突発性汚染対応取水制御システム

間に基図データの整備が可能となったことにより、導入が進みつつある。しかし、基図データに設備管理情報を付加したGISのみでは、業務効率化の範囲は限定される。当社では、GISにデータ解析機能を付加して、GISデータを用いた管路網の水量や水圧など物理データの解析が可能な“GIS応用管路情報管理システム”を開発し製品化した。このシステムを用いれば、例えば給水メータの位置と流入データの解析によって有収率の算出が可能となり、また、有収率の地域間差異分析によって漏水調査ブロックの絞り込みが行える。このように、データ解析機能を備えたGISの適用によって、上下水道施設の運用コストの更なる削減が可能となり、上下水道施設の維持管理効率化が更に進むものと考えられる。

運用コスト削減の手法として、自然エネルギー、未利用エネルギーの活用も有効であり、環境保全対策の一つとして注目されている。自然エネルギー利用技術としては、風力発電、太陽光発電がよく知られているが、最近では、浄水場、下水処理場内の有効落差を利用した小水力発電や下水汚泥のメタン発酵による消化ガスを利用した消化ガス発電も未利用エネルギー活用の有効な手段として注目を集めている。

下水汚泥は、発生量が安定しており、風力や太陽光に比べ一定したエネルギーを得られる利点がある。このため、マイクロガスタービン(μGT)や保守運転が容易な小型発電システムの登場によって、これらの未利用消化ガスの有効利用が拡大するものと考えられる。当社では、μGTを利用した“消化ガス利用マイクロガスタービン・コジェネレーションシステム”を開発し、下水処理場で実用性能検証を実施中である。ちなみに、下水汚泥の持つ潜在エネルギーは全国で年間100億kW・hに達すると推定されている。現在、下水汚泥をメタン発酵して消化ガスを回収している処理場は200か所を超えており、例えば28kW級マイクロガスタービン換算で約1,600台以上に相当する(図4)。今

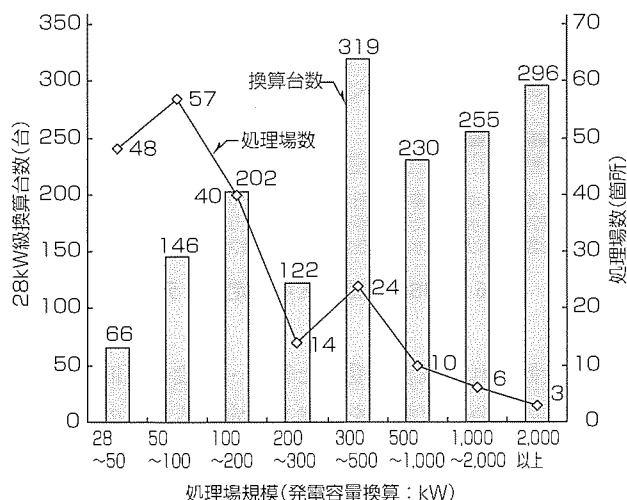


図4. 処理水量(発電容量換算)と処理場数

後窒素・りん除去の高度処理や各家庭へのディスポーザの普及が拡大すると下水汚泥の潜在エネルギーは更に増加し、電力使用料金の削減効果も増大する。

3.2.2 省力化・省人化によるコスト削減

市町村合併の動きに伴い、上下水道事業の広域化・統合化が進展しており、複数の浄水場、処理場を統合管理する新しい管理形態に対応するシステムが求められている。大画面装置を用いて同一画面上に複数の施設の状況を表示し、プラント運転データをITV画像や音声と同時に監視することで、遠方から臨場感のある状況把握が可能となる。また、遠隔施設の機械設備にITVに加えて振動センサや温度センサを設置し、設備の状態を数値と画像で把握することで、巡回点検回数の削減が可能となる。当社では、ネットワークの高速化・大容量化、コンピュータの高速化、画像処理技術の発展を背景とした様々な“広域統合監視制御システム”を開発して製品化し、既に多くの納入実績がある。

上下水道プラント等の少人数での効率的な運転監視には、各使用状況に適した小型のプラント監視制御用モバイル端末が必要になる。例えば、現場巡視点検中にプラント全体の運転状況を同時に把握したり自宅や外出先で緊急時にプラント状況を確認するなどのニーズがあり、様々なタイプのモバイル端末が提案されている。図5は、プラント監視制御端末の変遷と動向を示したものである。勤務時間中に使用する場内使用のモバイル端末では、携帯性に加え画面の大きさ等の視認性や操作性が要求されるため、PDA(Personal Digital Assistants: 携帯情報端末)を使用したモバイル端末が主流になると考えられる。しかし、夜間・休日などの勤務時間外での使用及び外出先からの使用では携帯性が最優先されるため、通話手段としても使用できる携帯電話でモバイル端末が実現できれば、最も実用的な端末が提供できる。当社では、携帯電話上でアプリケーションソフトウェアを動作させる“携帯電話応用プラント監視システム”を開発した。このシステムでは、Java^(注1)機能を活用してトレンドグラフのリアルタイム表示が可能であり、遠隔地からプラントの稼働状況を詳細に把握することができる。今後、通信セキュリティの強化や音声入力などによる操作性の改善で、携帯電話が外出先や自宅で使用するプラント監視端末の主流になると考えられる。

一方、熟練者の退職・減少による非熟練者での運転操作、監視制御の広域統合化に伴う運転員の担当範囲拡大により、運転員の負担は、今後ますます増加するものと考えられる。非熟練者での運転操作に対しては、熟練者の経験をデータベース化し、熟練者のノウハウを的確に運転操作に役立てることが必要となる。また、操作員の負担増大に対しては、最善の操作を可能とするガイダンスシステムの提供が有効

(注1) “Java”は、米国Sun Microsystems, Incの米国及び他の国の登録商標である。

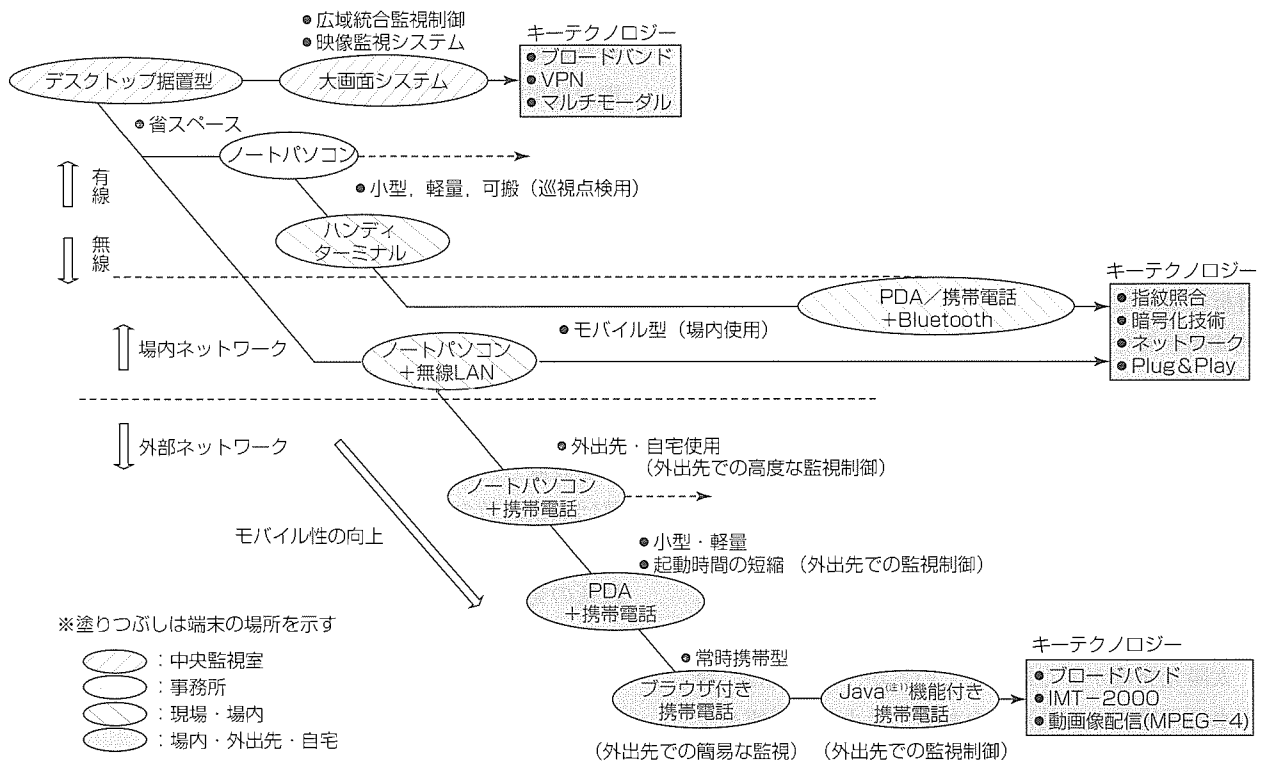


図5. プラント監視端末の変遷と動向

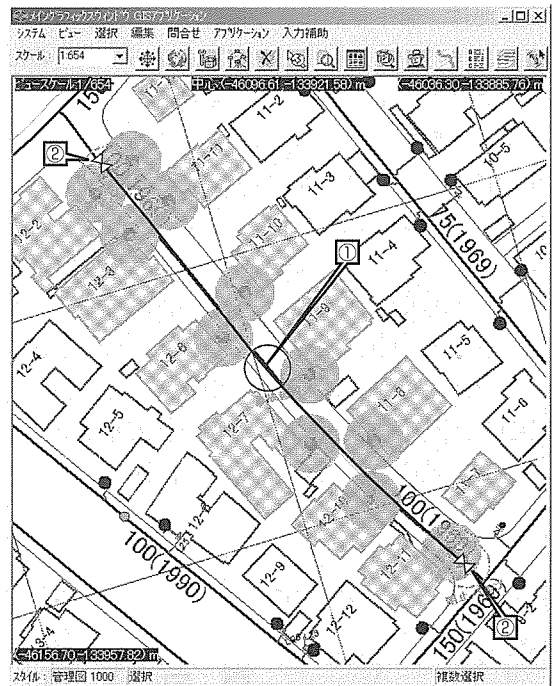
である。当社では、熟練者の経験、過去の事例とプラントの物理モデルを組み合わせた運転支援用データベースと、そのデータベースとプラント情報から各状況に最適な運転支援ガイダンスを作成し、直感的なシンボルを用いて情報を表示する“新運転支援システム”を開発している。このシステムの適用により、非熟練者に対する効率的な教育と複数機場の広域統合管理に伴う少人数での運転管理実現に効果が期待できる。省力化・省人化がますます加速する中、このような運転支援システムの導入は今後拡大するものと考えられる。

3.3 災害対策の充実と市民サービスへの対応

前述した解析機能を付加したGISの適用は、経営効率化に寄与するだけでなく、災害対策、市民サービスの充実にも有効である。例えば、水道工事などに伴う計画的な一時断水区域や突発的な事故・災害による断水被害区域を速やかに特定して影響を受ける世帯を正確に把握することは、市民への迅速なサービスの観点から重要である。

当社では、管路・施設の接続データを解析して、工事・事故時の断水区域の推定を行う“GIS応用断水区域推定システム”を開発している(図6)。これにより、市民への情報公開や事故・災害発生時の初期対応の迅速化が可能となる。

また、各自治体では、震災等の大規模災害時にも被害状況を速やかにかつ正確に把握する必要があり、地域防災計画などを作成して、災害発生時における行動指針や復旧方針を定めている。これに基づき、災害発生時には災害対策



工事予定場所や事故箇所を指定すると(①)、管路を断水するために操作が必要な仕切弁を検索し(②)、影響を受ける断水世帯を抽出し、色替え表示する。

図6. GIS応用断水区域推定システム

本部が設置され、被害を受けた管路・施設の復旧計画や断水区域への応急給水計画を立案し決定する。このため、災害発生直後の混乱期における正確な情報収集が重要であるが、これは、交通・通信手段の確保が難しく、従来は困難であった。

当社では、ヘリコプターに搭載されたITVで撮影された地上の映像をGISと組み合わせて解析し地震発生直後の被害状況を地図上に表示する“災害被害判読システム”を開発し製品化している。このシステムでは、ヘリコプターに搭載されたGPS(Global Positioning System：移動体位置測定システム)を用いて映像情報に飛行位置やカメラ角度等の情報を付加することで、映像を連続的に地図上に張り合わせて表示し、被害発生地域の全貌をモニタ上に表示する(図7)。このシステムの適用で、災害時の市民への避難誘導等が迅速・的確に行える。

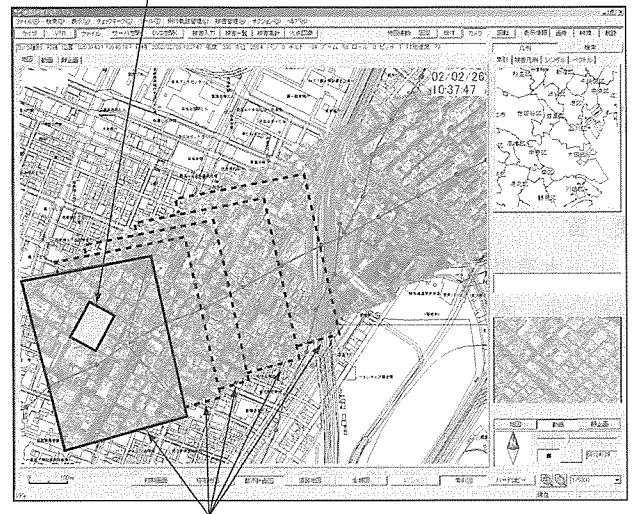
このように、データ解析機能を備えたGISに画像情報の高速伝送技術を付加するなど、ITの組合せによって、災害時対応の質的向上が期待できる。

前に述べたように、下水道では、豪雨時のリアルタイムな降雨状況の把握は、浸水等の災害防止対策として極めて重要である。このため当社では、短時間で局地的な豪雨に対応可能な“降雨レーダ情報システム(図8)”を製品化している。このシステムは、レーダから発射され雨滴に当たって返ってくる電波を観測することにより、狭い地域での降雨強度を短い観測周期で取得することができる。したがって、連続的な降雨状況が観測可能であり、雨域の分布・移動状況などを確認することができる。このシステムで収集された降雨情報は、ビジュアルな情報に整理・編集された上で、インターネットを通じて市民への降雨情報サービスとして提供されている。このように、ITの進展やインターネット人口の拡大とともに地域住民へのサービス形態も変遷しつつある。

4. む す び

上下水道分野を中心に、今後の水環境事業の市場動向・技術動向を述べ、現在及び将来、上下水道事業の抱える様々な課題を効率的に解決するIT応用水環境システムについて当社の取り組みの特長と考え方を紹介した。水質汚染・地球温暖化等の環境問題への取り組み強化、経営効率化、危機管理意識の高揚を受けて上下水道事業の課題がますます高度化・多様化・複雑化していく中、いかに課題に即した的確なITシステムを実現できるかが、水環境事業の経営効率化と上下水道の安定運用の鍵(かぎ)を握っている。今後も当社は、豊富な上下水道システム構築ノウハウ

②映像上で被害発生地域を確認して、被害情報を登録することができる。



①飛行位置、カメラの向き・角度の情報を基に、ヘリコプターからの映像を連続的に地図上に張り合わせて表示する。

図7. 災害被害判読システム

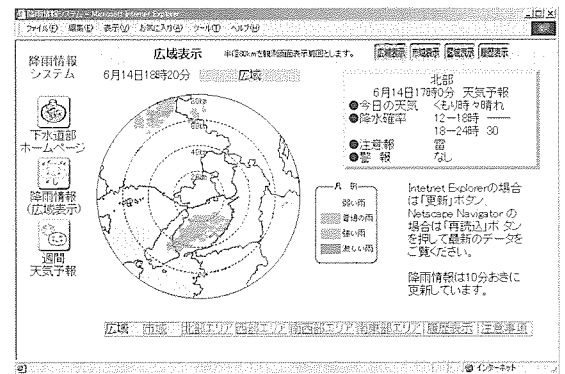


図8. 降雨レーダ情報システム

をベースに最新技術を用いたITシステムを提案し、お客様の考える21世紀の水環境事業創造に貢献していきたい。

参 考 文 献

- (1) 生活環境審議会水道部会：水道に関して当面講ずるべき施策について(2000-7)
- (2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部, (社)日本下水道協会：下水道政策研究委員会報告 中長期的視点における下水道整備・管理の在り方について(2002-5)

上下水道広域統合監視制御システム

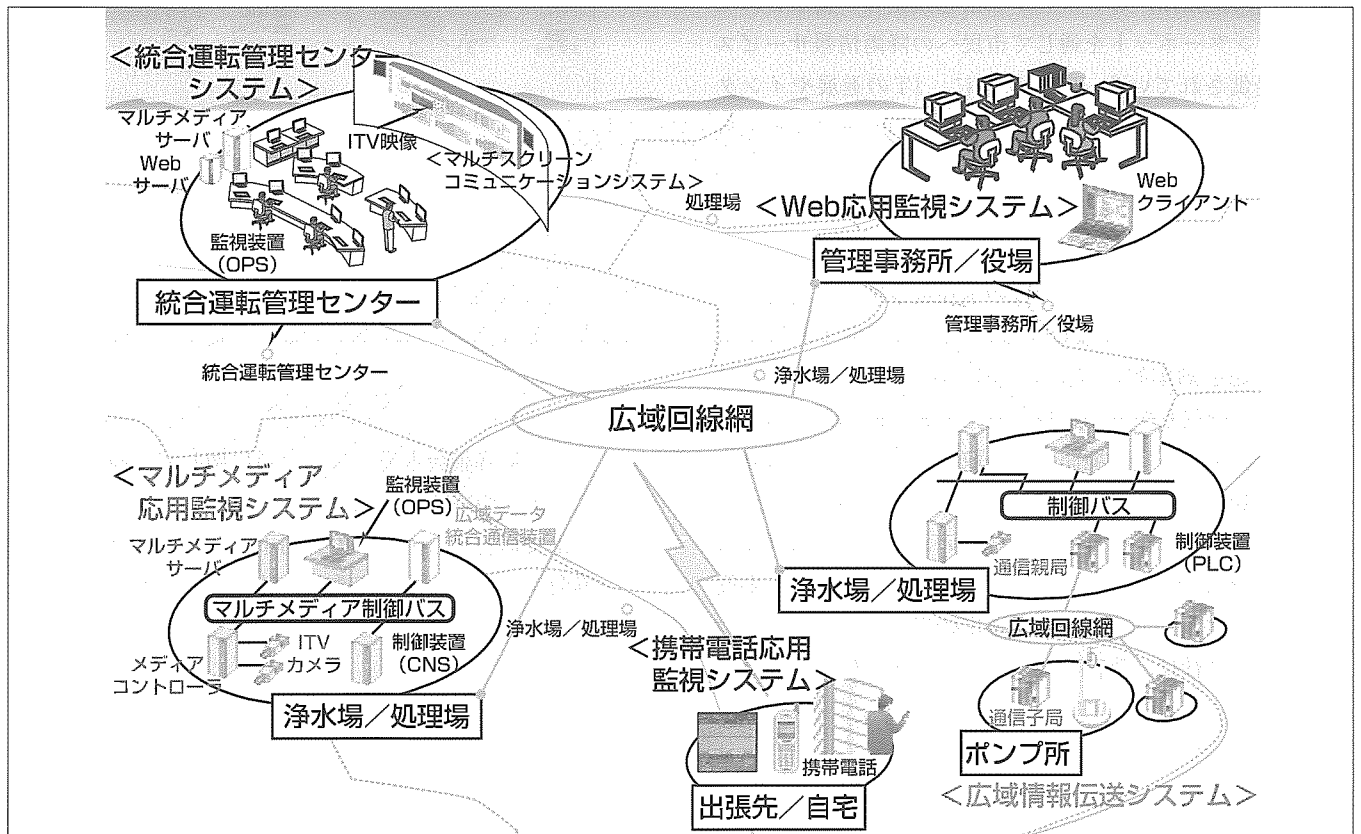
要旨

上下水道事業においては、自治体の財政状況の悪化、市町村合併、水道法改正、省エネルギー法改正などの背景により、総合的なコスト縮減に取り組むことが強く求められている。このような中、コスト縮減施策の一つとして、建設及び維持管理の両面においてスケールメリットを求める観点から、事業の広域化・統合化・共同化が進められている。上下水道プラントにおいてこれらを実現する上で、監視制御システムをどのような構成とし運用するかが、重要な役割を果たしている。

三菱電機の上下水道監視制御システム“MACTUSシリーズ”では、これまで、プラント規模、運用形態などの多様な要求に対応した製品をラインアップしてきた。さらに、

最近の通信インフラの発達を受けて、種々のネットワーク技術を活用したシステム拡張を行い、広域化と統合化を進めてきた。

本稿では、新たに開発した上下水道広域統合監視制御システム(統合運転管理センターシステム、マルチメディア応用監視システム、Web・携帯電話応用監視システム、広域情報伝送システム)について述べる。新システムでは、最新のネットワーク技術(光ファイバ網や無線、インターネットやイントラネットなど)の利用によって既設システムの広域化、Web端末の接続など様々な形態でのシステム拡張が可能であり、広域化と統合化による費用の削減を目指している。



上下水道広域統合監視制御システムのイメージ図

このイメージ図は、上下水道広域統合監視制御システムのシステム全体構成を示す。従来の監視制御システムに加えて、複数施設を統合管理するための統合運転管理センターシステム、ITV映像も扱うマルチメディア応用監視システム、インターネット技術を用いたWeb・携帯電話応用監視システム、小規模施設の遠隔監視のための広域情報伝送システムを開発した。

1. ま え が き

上下水道事業の環境は大きく変化しており、これまで以上にコスト削減の必要性に迫られている。政府においては、平成9年4月に「公共工事コスト削減対策に関する行動指針」が、平成12年9月には更に総合的なコスト削減に取り組むこととして「公共工事コスト削減対策に関する新行動指針」が策定された。自治体は、これらを踏まえて、諸施策を推進している。

このような状況の中で、上下水道プラントにおいても、監視制御システムをどのような構成とし運用するかがプラント全体の業務の効率化、ひいてはコスト削減の鍵(かぎ)になっている。

2. 新システムの位置付け

当社の上下水道監視制御システム“MACTUS”は、プラントの規模・特性に適合した規模別・機能別の様々な機種を用意し、浄水場/処理場、ポンプ所など施設ごとに適したシステムを構築してきた。

しかし最近では、最小限の人数で質を落とさず効率的な運転を行うことが求められ、解決策の一つとして、施設内の監視制御のみにとどまらず、広域回線を利用した統合管理、集中監視システムが必要となっている。

当社は、この課題に対して、ネットワークの高速化・大容量化、通信費の低価格化、コンピュータの高速化・大容量化を背景とした広域統合監視制御システムを開発し製品化した。新たに開発したシステムは次のとおりである。

(1) 統合運転管理センターシステム

広域に点在する浄水場/処理場などを広域データ統合通信装置でネットワークに接続し、統合運転管理センターから統合管理し省人化するシステムである。

(2) マルチメディア応用監視システム

プラントデータと映像データを同一のシステムで扱い、効率的な監視制御ができるシステムである。

(3) Web・携帯電話応用監視システム

管理事務所、現場、出張先などにおいて、汎用パソコン、携帯電話などを利用し低価格でプラントを遠隔監視するシステムである。

(4) 広域情報伝送システム

広域に散在するポンプ所などの小点数規模の施設を安価な通信費で集中監視するシステムである。

上記のシステムについて個別に述べる。

3. 統合運転管理センターシステム

3.1 目 的

浄水場/処理場など複数施設を一箇所で統合管理することによって、管理対象の施設を夜間無人化/省人化してプ

ラントの維持管理費用を削減する。

3.2 システム構成

管理対象の施設に各々広域データ統合通信装置を設置して広域回線で統合運転管理センターの統合バスに接続する(図1)。統合運転管理センターでは、従来の監視制御システムと同様の機能で管理対象の施設の監視制御を行う。

統合バスに接続できる広域データ統合通信装置は最大10台、センター内の各種端末(監視装置など)は最大15台で、複数施設を扱うためにシステム全体の信号点数を拡張した。

3.3 課題と対策

3.3.1 既設システムも含めた統合監視

各施設既設システムの制御バス通信プロトコルは、必ずしも統合バス通信プロトコルと同じとは限らない。既設システムも含む統合管理を行うため、広域データ統合通信装置が、既設システムの通信プロトコルを統合バス通信プロトコルに変換する。しかし、この変換処理は、各施設の制御バスが異なるごとに製作が必要で、その効率化が重要な課題となってくる。

広域データ統合通信装置ではソフトウェアを階層構造にしてこの処理(制御バスI/F処理)を局所化し、上位(プラントデータ収集サーバ)とのインターフェースを標準化した(図2)。

これにより、新たな制御バスとの接続が必要になった場合でも、対応する制御バスI/F処理層を製作するだけでシステムに組み込むことができ、段階的な施工が容易に行える。統合バス通信プロトコルでは、汎用プロトコル上に制御用の専用プロトコルを開発し、統合運転管理センターでのリアルタイム監視を実現した。

3.3.2 通信異常時のデータ連続性の確保

統合運転管理センターと各施設との間を広域回線で接続する場合、場内LAN接続と比較して回線の信頼性が低く回線異常の発生確率が高い。回線異常が発生すると、センターから各施設のデータを収集できなくなるため、時系列

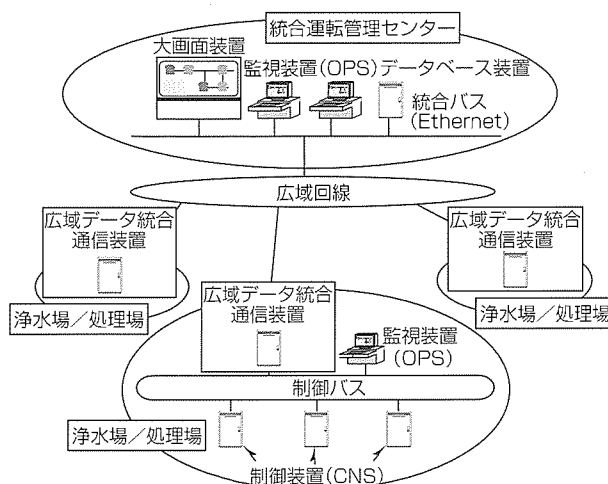


図1. 統合運転管理センターシステムの構成例

に蓄積したデータを使うトレンド、帳票、イベント履歴の各機能では、回線が復旧するまでの間データが欠落する。

この回線異常によるデータの欠落を解消するため、広域データ統合通信装置は、2日分のデータをバックアップとして蓄積している。回線復旧時にセンター側のデータベース装置がこれを一括収集することによって欠落データを補完する。また、定周期で収集するオンラインデータと一括収集するバックアップデータとの連続性を確保するため、従来はデータベース装置が一元的に刻印していたタイムスタンプを、バックアップデータを蓄積する各広域データ統合通信装置側で刻印する方式に変更した。なお、バックアップデータは、回線の空きを使って圧縮送信することにより、オンラインの定周期データ収集に影響を与えないようにしている。

3.3.3 施設内の増設工事にも対応

施設内の増設工事では、システムの信号点数が既設システムの容量を超える場合や、古い既設設備を生かしたまま最新設備を導入したい場合の対策が必要である。

このシステムでは、施設内の異なる制御バスに各々広域データ統合通信装置を設置して直接統合バス(LAN)に接続できるため、このような場合にも容易に対応できる。

4. マルチメディア応用監視システム

4.1 目的

従来、映像システムは、監視制御システムと別システムで、マンマシンインタフェースも独立していた。このため、運転員は、監視制御システムのプラント情報から表示すべき映像を判断し、映像システム上で所望の映像表示のための操作をしなければならなかった。このシステムは、映像システムと監視制御システムとを一体化し、例えばプラントの異常が発生した場合に関連する映像を表示するなど、運転員の負荷を軽減する。

4.2 システム構成

現場に設置したメディアコントローラがITVカメラの映像を取り込み、アナログ/デジタル変換してネットワークに配信し、監視装置上で映像を表示する。マルチメディアサーバは、ネットワーク上に流れる映像データの通信量の

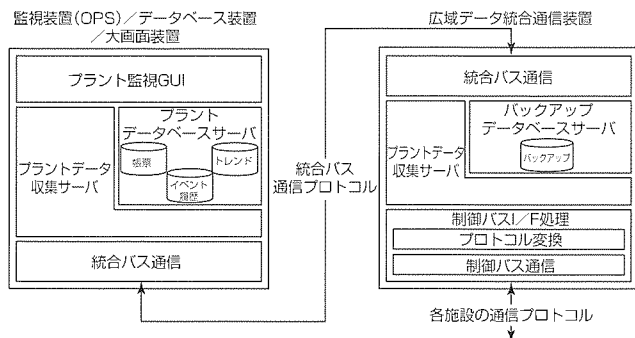


図2. 広域データ統合通信装置のソフトウェア構成

管理、及び録画やWeb配信など映像データに関する各種付加サービスを提供する(図3)。

このシステムでは、運用形態と予算に応じた適切なシステムを実現できるように、映像のデジタル符号化方式に応じた二つのレパートリーを用意した。

(1) 高品質動画システム(MPEG-2)

マルチメディア制御バスで映像データも伝送し、監視装置上でフル動画を表示する。

(2) 準動画システム(M-JPEG)

制御バスとは独立した映像用LANで映像データを伝送し、監視装置上で静止画をコマ送り表示する。映像符号化用のチップが安価でソフトウェアで復号できるためシステムが低価格となる。

4.3 システム仕様

高品質動画システムは、変化の大きい対象物を監視する場合、準動画システムは対象物の変化が小さく、低価格でシステムを構築したい場合に選択する(表1)。

4.4 課題と対策

4.4.1 マルチメディア制御バス

既設設備に映像システムを増設する場合、ITV映像の伝送ケーブルの敷設が問題となる。当社のマルチメディア制御バスは、プラントデータと映像データの両方を同一バスで通信することによってこの問題を解消した。

マルチメディア制御バスは、ATM方式をベースとした制御バスで、ATMの帯域管理機能を利用して各種プラン

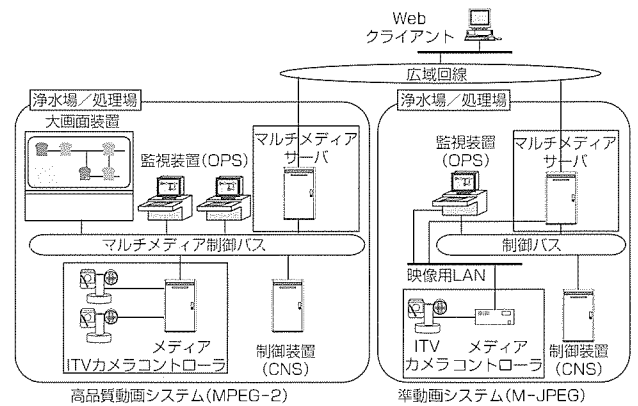


図3. マルチメディア応用監視システムの構成例

表1. マルチメディア応用監視システムの仕様

		動画システム	準動画システム
画像符号化形式	監視装置	MPEG-2(動画)	JPEG(静止画)
	Web	JPEG(静止画)	JPEG(静止画)
映像用LAN		制御バスと共用	Ethernet
メディアコントローラ台数(ITVカメラ台数)		14台(56台)	126台(126台)
映像表示性能	監視装置	1秒に30コマ	1秒に1コマ
	Web	回線速度に依存 例: 5秒に1コマ(128kbps)	
映像データ蓄積容量		100時間	10日間
外部保存形式	動画	MPEG-2	AVI

トデータの通信帯域を保証している。このため、映像データの通信がプラントデータの通信に影響を与えることがなく、映像関連の機器の増設が容易に行える。

また、映像データについては、マルチメディアサーバが映像の機能ごとに帯域管理を行っている。例えば、通信容量の小さな回線でライブ映像表示中にプラントの異常が発生すれば、一部のライブ映像表示を取り止めて、最優先で異常に関連した映像の通信を行い表示する。

4.4.2 プラント監視システムとの融合

従来のシステムでは、プラントの異常発生時に現場の映像を確認する場合、監視装置上で異常を確認した後に、ITVの操作卓を操作して該当箇所の現場状況を確認する必要があり、運転員の負担が大きかった。

このシステムでは、メディアコントローラやマルチメディアサーバと同一ネットワーク上の任意の監視装置で映像を表示できるようにし(シングルウィンドウ化)、プラントデータと映像データのマンマシンインタフェースを統合した(図4)。

また、プラント監視機能と連携した映像表示が可能で、あらかじめプラントの異常とITVカメラを関連付けておくことにより、異常発生前後の映像をマルチメディアサーバに自動録画するとともに監視装置にも表示できる。メディアコントローラでは一定期間の最新映像を常に保持しており、これを異常発生前後の映像に利用している。また、運転員はマルチメディアサーバに自動録画された異常発生時の現場映像を後から検索して確認し、写真のように切り出して報告書に張り付けることもできる。

5. Web・携帯電話応用監視システム

5.1 目的

汎用パソコンや携帯電話を利用して、管理事務所、現場、出張先など、どこにいてもプラントの状況を把握でき、維持管理体制を柔軟に組むことができるようにする。

5.2 システム構成

Web応用監視システムは、プラントデータを収集する監視装置/ Webサーバ装置を制御バスに接続し、公衆回

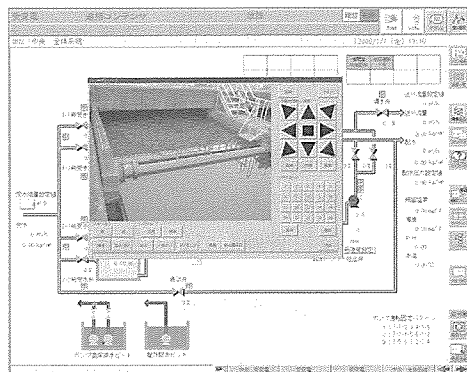


図4. マルチメディア応用監視システムの画面例

線などを經由して現場や事務所にあるWebクライアント(汎用パソコン)でプラントの監視を行う。

携帯電話応用監視システムでは、監視装置/ Webサーバ装置をファイアウォールで隔離し、インターネットなどを經由して携帯電話でプラント監視を行う(図5)。

5.3 システム仕様

Web応用監視システムは有線LAN、公衆回線、無線LANなどイントラネットとして接続した遠隔地からのプラント監視が必要な場合に選択し、携帯電話応用監視システムは出張先などどこにいてもプラントの状況を随時把握したい場合に選択する(表2)。

5.4 Web応用監視システムの課題と対策

5.4.1 高速画面更新によるオンラインプラント監視⁽¹⁾

従来のWebシステムは画面の表示イメージのデータを通信しており通信量が多く画面更新が非常に遅かったため、このシステムでは、通信量削減のために、専用プロトコルでプラントデータを効率的に収集できるJava^(注1)アプレット方式を採用した。しかし、Javaの標準描画ライブラリは、低速・低機能で、複雑な監視制御画面の描画は困難であった。

このため、監視制御に必要な基本機能を網羅して高速かつ軽量のJavaアプレットを作成できるJavaフレームワークライブラリDooarsを開発し、高速な画面更新を実現し

(注1) “Java”は、米国Sun Microsystems, Incの米国及び他の国の登録商標である。

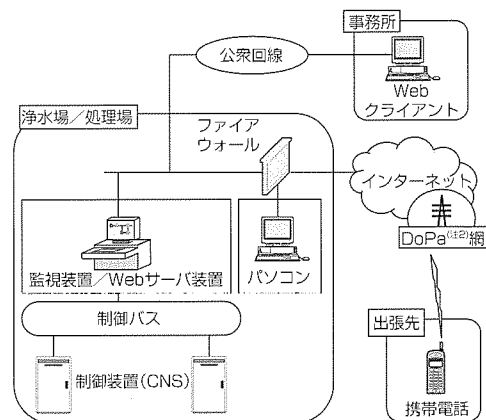


図5. Web・携帯電話応用監視システムの構成例

表2. Web・携帯電話応用監視システムの仕様

	Web応用	携帯電話応用
監視機能	○	-
制御機能	○	-
異常通報機能	○(音声又はメール)	○(音声又はメール)
イベントサマリー機能	○	○
イベント履歴機能	○	-
トレンドグラフ機能	○	○
帳票機能	○	-
画面切換え時間	1~10秒	5~10秒
データ更新周期	1~5秒	60秒(トレンド)
起動時間(初回)	5分程度(10分)*	10秒(30秒)

* 測定条件は標準的監視画面50枚, 64kbps回線

た。また、専用装置の監視画面データをJavaプログラムに自動変換できるので、既設システムにWeb監視機能を容易に追加できる。

5.5 携帯電話応用監視システムの課題と対策

5.5.1 プラントの状態推移をトレンドグラフで表示

従来の携帯電話を利用したシステムでは、画面の表示が文字ベースのため、ユーザーがプラントの状況を短時間で的確に把握するのは困難であった。このシステムでは、携帯電話用のJavaアプレット(iアプリ^(注2))を用いてプラントの状態推移をグラフ表示することにより、プラントの状況を容易に把握できるようにした(図6)。

携帯電話は画面の大きさや性能が限られているため、描画性能の確保と操作性の向上が課題となった。

この対策として、サーバが画面描画に伴うデータの加工処理をすべて行い、携帯電話が描画処理に徹することができるようにして負荷を軽減した。また、画面遷移の階層を浅くしてユーザーが迷わず所望の画面に遷移できるようにし、プラント異常の一覧画面から直接関連するトレンドグラフ画面に展開できるなど、機能間の連携を作り込むことによって操作性も向上した。

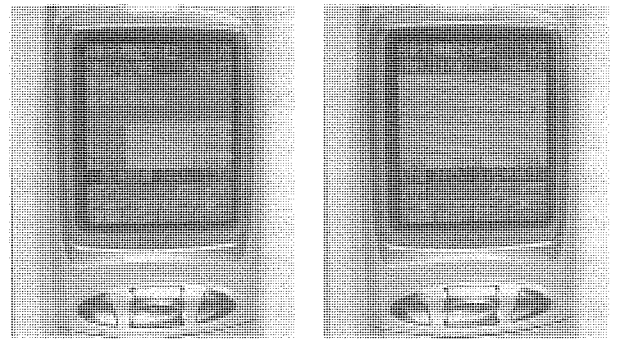


図6. 携帯電話応用監視システムの画面例

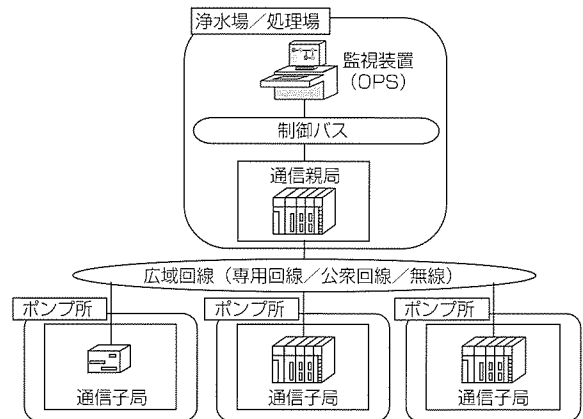


図7. 広域情報伝送システムの構成例

6. 広域情報伝送システム

6.1 目的

簡易浄水場、マンホールポンプ所など広範囲に散在する小点数規模の施設を安価な通信費で集中監視し、現場巡回の回数を低減して維持管理費用を削減する。

6.2 システム構成

通信親局として伝送機能を付加したプログラマブルコントローラ(PLC)を採用し、通信子局として小型伝送装置や伝送機能を付加したプログラマブルコントローラを採用した(図7)。

運用形態に応じて最適な広域回線(専用回線、公衆回線、無線)を選択する。また各回線は、アナログ/デジタルなど回線速度の異なるレパートリーがあり、ランニングコストに応じて選択できる。さらに、点数の異なる多様な通信子局があり、監視点数によって最適な組合せの機器選択を行い、システム構築ができる。

6.3 課題と対策

6.3.1 豊富な回線レパートリー

このシステムでは、広域回線の特性に合わせた最適なシステムの構築が課題となる。専用回線、公衆回線、無線など種々の回線を利用した監視制御システムを実現した。

専用回線の場合は、常時接続で通信費が定額なので、定周期で子局からデータを収集するオンライン監視システムとした。また、保守用の内線電話をデータ通信と同一回線で使用できる。特にデジタル専用回線の場合は、プラント(注2) "DoPa" "iアプリ"は、(株)NTTドコモの登録商標である。

データと音声データを多重化伝送することにより、プラントデータの通信を行いながらの通話を可能とした。

公衆回線の場合は、通信時間に応じて通信費が課金されるため、親局から子局への電話接続を1日1回として、まとめて子局のデータ(トレンド・帳票)を収集することによって通信費を低減した。また、プラントの異常発生時は、子局から親局に電話発信することによって即時性を確保した。さらに、子局に異常通報装置を適用すれば、電話やFAXへの自動通報もできる。

無線の場合、特定小電力無線などの自営無線は、通信コストがかからないため、オンライン監視とした。子局と対向で順番にデータを収集するため、子局数が少ないほどデータ更新周期を短縮できる。

7. む す び

以上、上下水道広域統合監視制御システムは、従来の監視制御システムMACTUSの拡張システムとしてラインアップしたシステムであり、システムを有機的に結び付け、業務の効率化、ひいては費用の削減を目指している。

今後も、最新技術を取り入れ、より良いシステム作りを目指し、上下水道事業に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 佐藤正行, ほか: 公共プラントWeb応用監視制御システム, 三菱電機技報, 74, No.12, 735~738 (2000)

インターネットを使った 上下水道企業と需要家の情報共有

川田卓嗣*
石丸昌克*
鹿島理華**

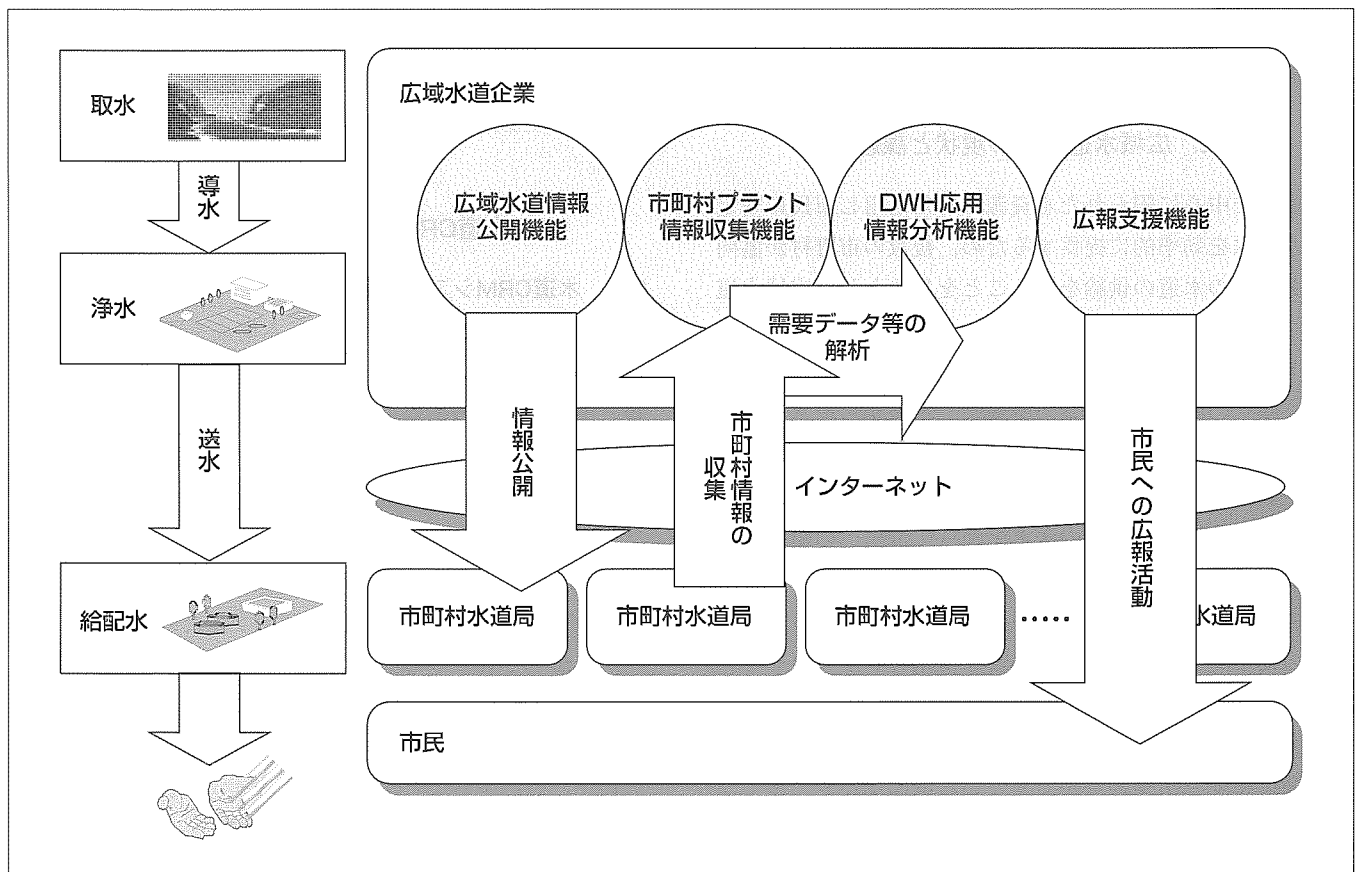
要旨

市町村合併，水道企業の民営化といった社会的な方向性や，都市部への人口の集中，新たなベッドタウンの誕生などに伴う都市部での給排水需要の増加などの現状を背景に，今後も都市部における広域水道企業・流域下水道企業の役割は重要度をますます増していくと予想される。

このような広域水道企業・流域下水道企業が水道供給／下水処理を中心とする効率的な運営を行っていく上では，顧客である関係市町村や市民に関する情報を管理し，それに合わせて保有する資源を最適に配置し，また，これら市町村や市民に広域水道企業・流域下水道企業の活動に関する十分な理解を持ってもらうための活動が必要となる。

そこで，広域水道企業・流域下水道企業の運営を効率化し，顧客である市町村上下水道局や市民に対するより良いサービスの提供を支援するための情報システムとして，三菱電機は，インターネット応用上下水道CRM(Customer Relationship Management)システムを開発した。

一般企業で広く普及しつつあるCRMの考え方を取り入れ，上下水道CRMシステムは，広域水道企業・流域下水道企業が効率的な運営を行っていく上で必要な顧客市町村への情報公開機能，顧客情報を収集し管理する機能，顧客の状況に合わせた保有資源の最適配置を行うための情報解析機能，及び市民に向けた広報活動支援機能を提供する。



上下水道CRMシステム

広域水道企業・流域下水道企業が効率的な運営を行っていく上で必要な顧客市町村への情報公開機能，顧客情報を収集し管理する機能，顧客の状況に合わせた保有資源の最適配置を行うための情報分析機能，及び，市民に向けた広報活動支援機能を提供し，さらに，インターネットを使った安価なランニングコストを実現する。

1. ま え が き

都市部への人口集中に対応するため、複数の市町村が共同で広域水道企業や流域下水道企業を構成する例は多い。

また、市町村合併や水道企業の民営化等の社会的な流れ、都市部への人口の集中、新たなベッドタウンの誕生などに伴う都市部での給排水需要の増加などの現状を背景に、今後も都市部における広域水道企業・流域下水道企業の役割は重要度をますます増していくと予想される。

広域水道企業・流域下水道企業が水道供給／下水処理を中心とする運営を効率的に行っていく上では、顧客である関係市町村や市民に関する情報を収集・管理して顧客の変化に対応した保有資源を最適に配置するとともに、市町村や市民に広域水道企業・流域下水道企業に関する十分な理解を持ってもらうための活動が必要となる。

一般に、企業が運営を効率的にしより良い顧客サービスを実現するために行う顧客情報の管理や広報・広告活動のことをCRMと言い、また、企業のCRMを支援するためのシステムのことをCRMシステムと言う。

以下、本稿では、広域水道企業・流域下水道企業のCRMを支援するためのシステムとして当社が開発したインターネット応用上下水道CRMシステムについて、特に水道分野での適用例である“水道CRMシステム”を中心に紹介する。

2. 広域水道企業の現状と課題

都市部を中心に限られた水資源を有効活用し市民に安定した水道水を効率的に提供するため、複数の市町村が協同して各市への水道の供給を行うことを目的とした広域水道企業を設立している例が多い。

図1に、広域水道企業と市町村水道の業務分担の概略を示す。多くの広域水道企業の業務は、水源から取水した原水を大規模な浄水施設で浄水処理し、浄水を顧客市町村に送水／販売することである。また、市町村水道局は、自己水源と広域水道企業からの送水を使って市民への給水を行い、使用量の検針と利用料の徴収を行っている。

このように水道の供給を二つの組織に分けて行っているため、効率的な運営には相互の密な情報共有が欠かせない。しかし従来は、広域水道企業が広範囲の多くの市町村と情報を共有するための通信コスト等の問題から、十分な情報量・通信頻度で情報共有ができていない例は少なく、多くは以下のような課題を抱えている。

- (1) 各市町村レベルで把握できる需要の変動を広域水道企業がリアルタイムに知ることが難しい。このため、送水ポンプの運転や浄水処理を最適に行うことができるようになるまでの間に時間遅れが生じる。
- (2) 広域水道企業で何らかの障害が発生した際に各市町村

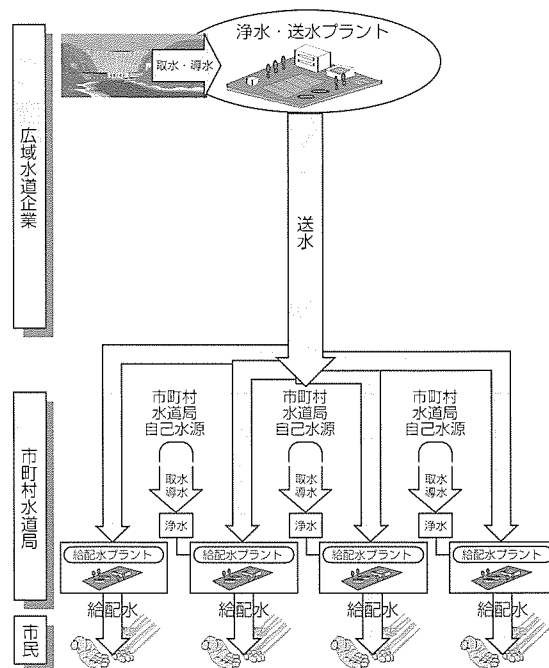


図1. 広域水道企業と市町村水道の業務分担

に正確にかつ素早く情報を連絡することが難しい。このため、障害発生時の各市町村への情報連絡、問い合わせに対する回答に多大な時間を割く必要がある。

このような広域水道企業の課題を解決し業務効率の向上を支援することを目的に、当社は、水道CRMシステムを開発した。以下、システム構成と機能について順に説明する。

3. 水道CRMシステムのシステム構成

3.1 水道CRMシステムの構成

当社の水道CRMシステムの基本構成を図2に示す。水道CRMシステムは、送水プラント監視システムからの情報と市町村からの情報をまとめて蓄積管理する監視データ管理サーバ、蓄積した監視データを解析するためのデータ解析DWH(Data Warehouse:情報倉庫)サーバ、市町村プラントの情報をインターネット経由で収集するためのGW(Gateway)サーバ、市民及び市町村の多数の利用者が汎用のWWWブラウザで情報を利用するためのWWWサーバから構成されている。

なお、各サーバについては、必要に応じてクラスタ構成を採ることで利用者数が増加した場合の応答の高速化や高信頼化に対応することが可能である。

3.2 インターネットを用いた情報共有

近年のインターネットの普及により、距離や通信先の数に依存しない安価で高速な通信が可能になってきた。そこで、水道CRMシステムでは、広域水道企業が市町村水道局との間で通信するために必要なコストの低減を目的に、インターネットを活用している。

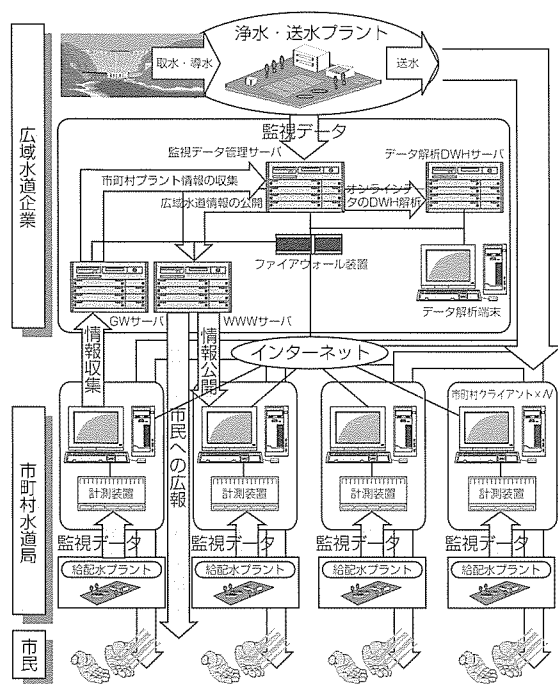


図2. 水道CRMシステムの基本構成

図3は、従来遠方監視で一般的であったアナログ専用線(3.4kHz, 距離は10km未満を仮定)とISDNによる常時インターネット接続(64kbps)の二つについて、対象市町村数と通信にかかる総コストの関係を示したグラフである。常時インターネット接続は相互に情報を共有する市町村数が多くなるほどコスト的に有利になることが分かる。

なお、システムを構成する上では、インターネットの汎用技術を利用しながらも監視システムで必要とされる信頼性を確保するために、通信回線の冗長化等の高信頼化技術を採用している。

4. 上水道CRMシステムが提供する機能

インターネットを応用した情報通信技術を用いて、水道CRMシステムは、以下の機能を提供する。

- (1) 市町村への送配水情報の公開と事故対応の強化
- (2) 市町村からの需要情報収集と浄水・送水計画の支援
- (3) 市町村及び市民への広報

以下、これら各機能について順に説明する。

4.1 送配水情報の公開と事故対応の強化

広域水道企業の送水情報をインターネットを用いて市町村水道局に公開することで、市町村水道局の担当者は、例えば市民への給水に影響を及ぼすような障害が広域水道企業側で発生した場合、送水状況の監視画面から現状を把握し、受水を制限するなどの適切な対応を行うことが可能になる。図4に送水状況監視画面の例を示す。端末のメンテナンスコストを低減するため、表示には汎用のWWWブラウザを用いる。なお、水道CRMシステムによる公開情報は、必要に応じてパスワードで保護される。

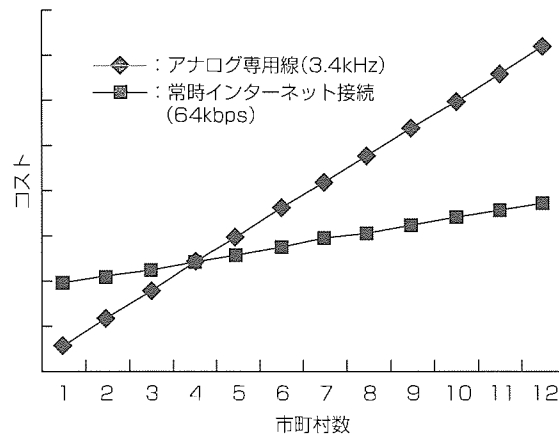


図3. アナログ専用線とインターネット常時接続のコスト比較

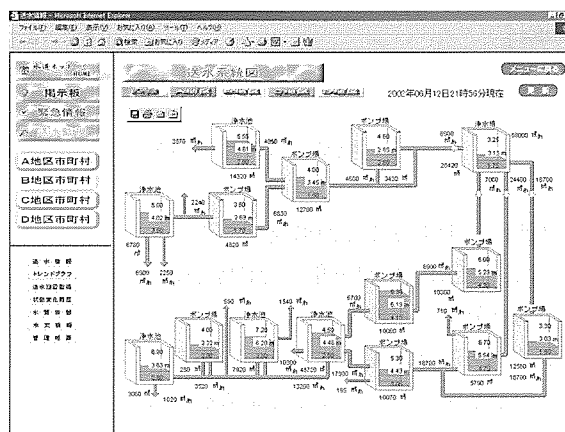


図4. 送水状況監視画面の例

さらに、事故が発生した場合に、多数の市町村に対して一斉に事故情報を伝達するための緊急情報通知機能を実現しており、端末パソコンのWWWブラウザや電子メール、携帯電話の電子メールなどの機能を利用して市町村に事故の発生を即座に知らせることができる。

4.2 需要情報の収集と浄水・送水計画の支援

水道CRMシステムでは、広範囲の多数の市町村からの情報を常時収集するための手段としてインターネット常時接続を利用することで、水道供給エリアの広さに依存しない安価で高速な情報収集を可能にした。

広域水道企業が水道CRMシステムを使って市町村から収集する主な情報と用途を表1に示す。

市町村から情報を収集する手段としては、大きくインターネットを使った自動収集と、WWWホームページからの手動登録の二つが利用できる。

4.2.1 DWHを用いた情報の分析

水道CRMシステムでは、運転監視情報や市町村需要量等、プラント監視で収集した多量の時系列データに加え、インターネット等を通じて入手することが可能な社会動向や気象等の様々なデータをDWH化し、専用データベースプロセッサDIAPRISM™を用いて特異な傾向や相互の関

表 1. 市町村から収集する情報とその用途

情報の種別	用途
市町村の給水運転計画	広域水道企業の送水/浄水計画の精度向上
市町村の水質情報	広域水道企業の送水品質向上
市町村の地区ごとの需要量	広域水道企業の送水/浄水計画の精度向上
市町村の貯水量	広域水道企業の送水効率の向上
市町村の備蓄設備の情報	事故発生時、市町村が相互に復旧を支援

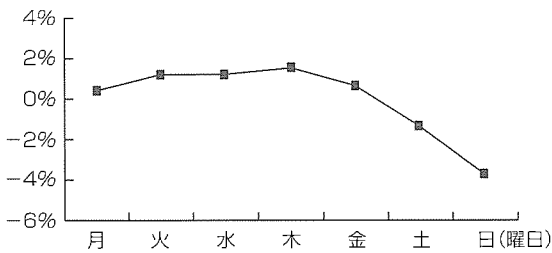


図 5. 曜日と水需要の関係

連を高速に分析することが可能である。

以下に、DIAPRISMを用いたDWHによって水道の需要量の傾向を分析した例を示す。

図 5 は、ある水道局で曜日ごとの需要量の変化を集計し、全体平均を基準にグラフ化した結果を表している。

一般に知られているとおり、週末の水需要量は平日よりも少ない。そこで、DIAPRISMを活用し、週末の水需要についてより詳細な解析を行った結果を図 6 に示す。

実線の折れ線グラフは、夏季の晴れの日について日曜日の需要量を平日に対する落ち込みの率(%)で表したものであり、4%程度の範囲内で変動している。一方、破線の折れ線グラフは、年間の総需要量の変動率(%)を示しているが、4年間の変動は1%以内であり、大きく変化していない。

そこで、日曜日の水需要量が変化する原因として“景気”との関係を疑い、インターネットから入手した日経平均の8月終値のデータを棒グラフ(右軸)で示してみた。条件を特定するにはより詳細な分析が必要であるが、“夏場の日曜日の需要量と景気動向の間には、景気が良ければ週末の社会活動が活発になり水需要が増加する”といった依存関係が推測できれば、今後より正確な需要予測ができるようになる。

需要予測に限らず、DWHを用いることで、水道企業の運用や経営にかかわる様々な要因が相互にどのような関連を持つかを広範囲に分析し、短期的・長期的な視点で、効率的な設備の配置や、運転の手法の評価、経営やその他の業務効率化を検討することができる。

4.3 市民に対する広報の支援

広域水道企業と市町村水道局の間の情報共有を目的としたインターネット接続設備は、同時に市民への広報にも活

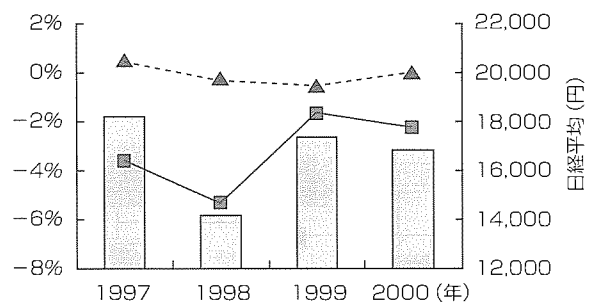


図 6. 景気と夏の晴れた日曜の水需要傾向の関係

表 2. 市民に公開する情報と得られるメリット

情報の種別	得られるメリット
送水活動に関する情報	水道に対する市民の信頼の向上。広域水道企業の活動内容に対する市民の理解向上
現在の水質	
現在の送水量	
災害対策に関する情報	水道に対する市民の信頼の向上。市町村水道の機能に支障が生じた場合の支援
災害復旧活動の状況	
給水車の配車状況	

用することができる。

水道CRMシステムを使って市民に対して様々な情報を公開することによって得られるメリットを、表 2 にまとめる。

5. む す び

本稿では、当社が開発したインターネット応用上下水道CRMシステムについて、特に水道分野での適用例である“水道CRMシステム”を中心に紹介した。

一般企業で広く普及しつつあるCRMの考え方を取り入れ、上下水道CRMシステムは、このシステムを用いる広域水道企業・流域下水道企業が効率的な運営を行っていく上で必要な顧客情報を管理し、顧客の状況に合わせた保有資源の最適配置を行う上で必要な機能を提供する。

また、技術的には、広域水道企業・流域下水道企業による多数の市町村との情報共有の手段として採用したインターネットの長所を生かし、多数の市町村への一斉情報伝達や、多数の市町村からの常時情報収集を、安価なランニングコストで実現している。

インターネットを中心とする情報技術は今後も更に発達することが予想される。当社は、最新の情報技術を活用し、今後も継続して、水道企業・下水道企業の業務をより効率化するための機能向上を行っていきたいと考えている。

参考文献

- (1) 岡田叔之, ほか: 公共施設における維持管理システムの構築事例, 電気学会 (2002)
- (2) 川田卓嗣, ほか: インターネット技術を利用したリモート保守センタ, 電気学会公共施設技術調査専門委員会 (2001)

上下水道維持管理支援 ASP情報サービス

外崎道夫* 今村 誠**
道行泰代*
南部雅彦*

要 旨

上下水道事業の維持管理の効率化を支援するため、三菱電機は、従来から、①運転の自動化による省力化、②運転の広域統合化による省力化、③保全業務の情報化と広域集約による省力化、④状態監視保全による設備の延命等を目的とした技術開発を進めてきた。

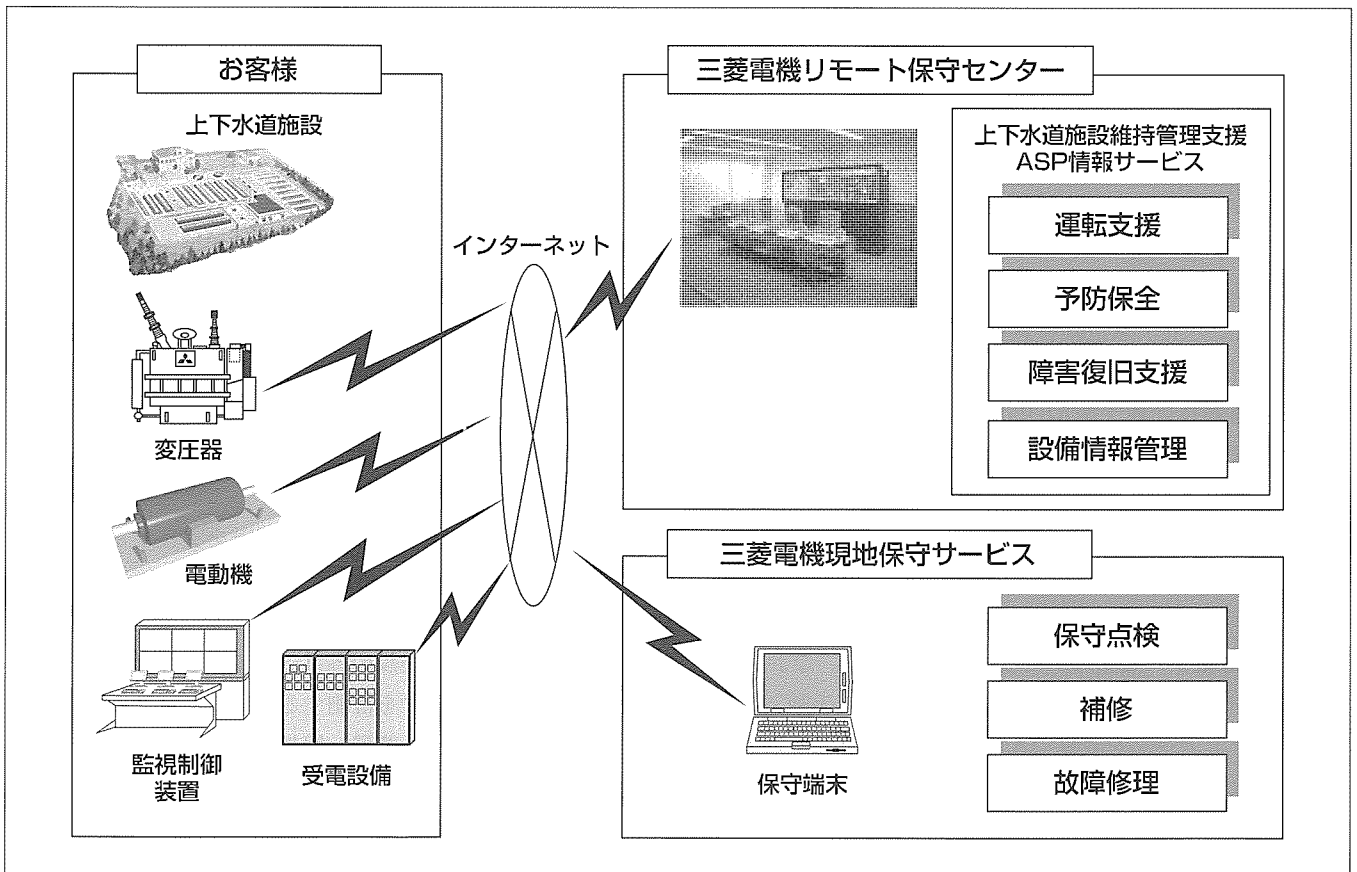
“上下水道維持管理支援ASP(Application Service Provider)情報サービス”は、これら当社が開発した維持管理効率化技術をASP型の情報アプリケーションとし、上下水道のお客様に向けて、リモート保守センターからインターネット経由で提供しようというものである。

本稿では、この上下水道維持管理支援ASP情報サービスの中から、特に予防保全サービスを用いることによる、時間計画保全から状態監視保全への移行と、設備情報を効

率的に管理することが可能なXML(eXtensible Markup Language)を応用した設備情報管理機能について紹介する。

予防保全サービスは、当社の電気設備の診断技術をベースに、上下水道施設の電気設備に取り付けたセンサ装置を使って、リモート保守センターから設備の状態を診断するサービスである。把握した設備状態を基準に、状態監視型の保全を実施することで、上下水道施設で用いられる設備の点検・補修・更新の頻度を低減することができる。

設備情報管理機能では、XMLを用いることで、上下水道設備のライフサイクルを通して、設備の情報を適切に蓄積して有効活用することを可能にし、また、管理する設備情報の項目に途中で変更があっても柔軟に対応することが可能になっている。



上下水道維持管理支援ASP情報サービス

当社が開発した維持管理効率化技術をASP型の情報アプリケーションとし、上下水道のお客様に向けて、リモート保守センターからインターネット経由で提供し、現地保守サービスとの組合せで上下水道の維持管理を効率化する。

1. ま え が き

上下水道の普及率が向上するに伴って、運転の効率化や適切な保全といった上下水道事業の維持管理の効率化に焦点が当てられるようになってきている。

上下水道の維持管理効率化を支援するため、当社は、従来から、①運転の自動化による省力化、②運転の広域統合化による省力化、③保全業務の情報化と集約による省力化、④状態監視保全による設備の延命などを目的とした技術開発を進めてきた。

一方、上下水道を取り巻く環境は市町村統合の推進や業務の民間委託の解禁等を背景に近年急激に変わりつつあるが、我々は、今後特に、上下水道分野で、維持管理業務の効率化を実現するための民間サービスの活用が求められるようになると考えている。

このような上下水道を取り巻く環境の変化に対応するため、当社は、神戸地区に設立したリモート保守センターから、上下水道のお客様に対して、情報化技術を用いた新しい維持管理支援サービスを提供しようとしている。

この新しい維持管理支援サービスで、我々は、単にお客様に“情報”を提供するだけでなく、お客様の持つ情報を有効活用し、上下水道施設の維持管理効率化を支援することを目的とした“情報アプリケーション”を提供する。

2. 上下水道維持管理支援ASP情報サービス

インターネットを使って利用者に情報アプリケーションを提供する形態を、一般にASPと呼ぶ。

このことから、我々は、上下水道分野の維持管理の支援を目的とした情報アプリケーションのインターネットを使った提供を、“上下水道維持管理支援ASP情報サービス”と呼んでいる。

上下水道維持管理支援ASPサービスは、当社のプラント自動運転や電気設備の保守に関するノウハウをベースに、上下水道施設の維持管理効率化を可能にする各情報サービスから構成される。

図1に、上下水道維持管理支援ASP情報サービスのサービスメニューを示す。また、表1に、上下水道維持管理支援ASP情報サービスのサービス概要を示す。なお、これらのサービスは、お客様のプラント設備から手動又は自動でプラントデータを収集できることを前提としている。

以下、本稿では、これらのサービスメニューから、特に設備保全の効率化に向けた機能として、予防保全サービスと設備情報管理機能についてより詳しく紹介する。

3. 予防保全サービス

設備の保全作業では、多くの場合、時間計画保全(Time Based Maintenance：TBM)の考えに基づき、推奨された

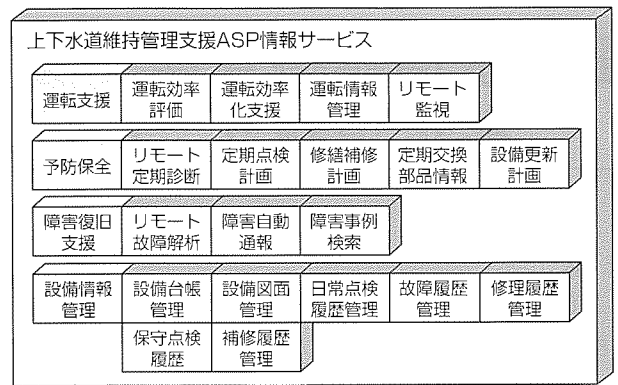


図1. 上下水道維持管理支援ASP情報サービスメニュー

表1. 上下水道維持管理支援ASP情報サービス概要

メニュー	概要
運転支援サービス	上下水道施設の運転効率を評価し、最適な運転パラメータを提示する。特に、電力や薬品のコスト低減が可能になる。遠隔監視を委託することによる無人化・省人化も可能である。
予防保全サービス	上下水道施設で用いられる電気設備、電動機械設備の状態をセンサ等によって常時把握し、状態監視保全(CBM)の手法を用いた省資源化と保全コスト低減を可能にする。
障害復旧支援	万一上下水道プラントで故障が発生した場合に、診断ツールを用いて遠隔からの故障診断を行う。
設備情報管理	維持管理の効率化を実現する上で共通して必要となる設備情報を管理する。

一定の間隔で点検・補修・更新等が行われる。一方、設備の状態を把握し状況に応じて点検・補修・更新の頻度を低減するという考え方を、状態監視保全(Condition Based Maintenance：CBM)と呼ぶ。状態監視保全を行うことで、設備をできるだけ長く使うことによる省資源化と環境への貢献や、できるだけ人手をかけずに運用することによる人的な保全コスト削減が可能になることから、様々な設備保全の場で採用例が増加している。

ここで紹介する予防保全サービスは、当社の電気設備診断技術を用いて設備の状態を把握することで上下水道施設における状態監視保全(CBM)の実現を支援するサービスである。

図2に、上下水道施設への予防保全サービスの適用の構成を示す。上下水道施設の各電気設備に各種センサ装置を取り付け、診断データを計測する。センサ装置から収集した設備の診断データを蓄積・解析し、診断結果を利用者に提示する。

表2に、予防保全サービスの特長を示す。

以下、電動機を例に、設備診断の例を紹介する。表3に当社の電動機の活線診断技術を示す。

一例として、図3に、活線診断技術を用いて計測した電動機の振動異常に関する計測データを示す。グラフは30Hzで回転する電動機の軸受の振動を周波数解析した結

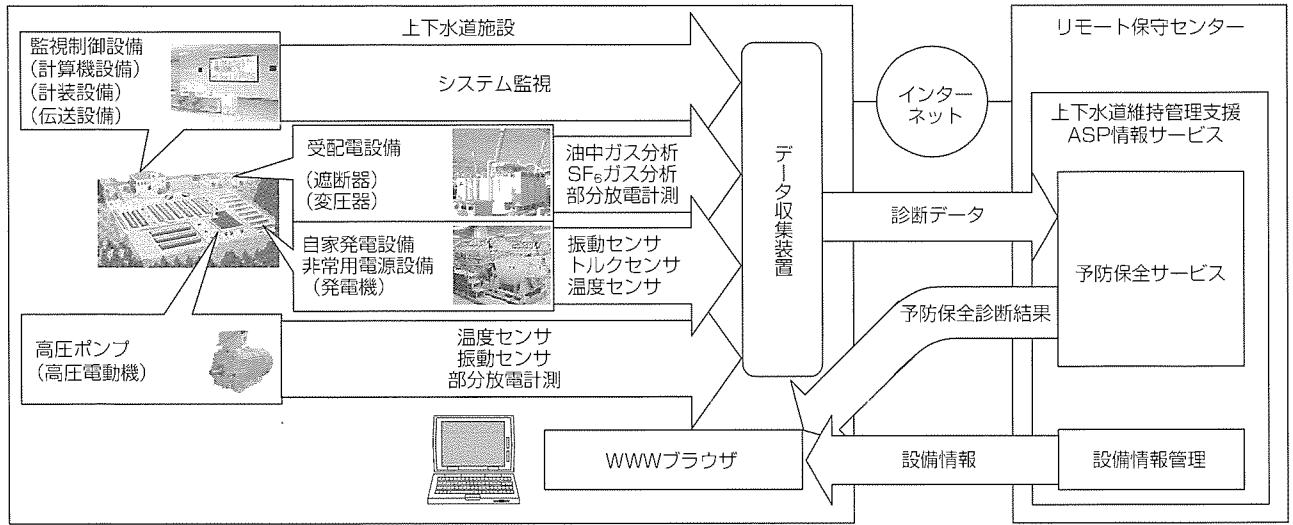


図2. 上下水道施設の予防保全サービスの構成

表2. 予防保全サービスの特長

特長	概要
設備を稼働させたままの適切な診断	当社の電気設備の活線診断技術の実績をベースに、オンラインで設備の状態を診断できる。また、診断データの蓄積と解析をリモート保守センターで実施し、ユーザーが設備状態の診断結果をいつでも利用できるようにする。
状態監視保全への移行を支援	設備の状態を常時把握することで、状態監視保全（CBM）の考え方に基づく点検・補修・更新の頻度の低減が可能である。

表3. 電動機の活線診断技術

診断技術	概要
絶縁診断	部分放電を電波として計測することでコイルと鉄心の間の絶縁劣化を診断する。
振動診断	電動機の振動を周波数解析し、異常振動の有無から、軸受の異常を診断する。
温度診断	電動機の温度から、異常の発生を診断する。

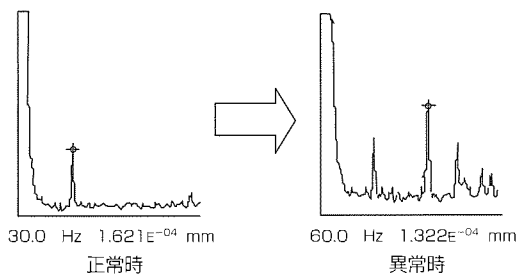


図3. 電動機軸受異常時の異常振動の発生

果であり、横軸は周波数、また縦軸は振動の強度を示している。正常時は回転数に相当する30Hzの振動が多く発生するが、軸受の磨耗やベアリングの損傷等が発生すると、30Hz以外の周波数で振動が発生するようになる。

このようにして計測した電気設備の診断データを長期にわたってリモート保守センターに蓄積して異常診断を行い、また、設備の点検や補修の履歴データと組み合わせること



図4. 診断結果の表示イメージ

で、今後の設備の点検・補修・更新に関する適切な検討が可能になる。

図4に診断結果の表示イメージを示す。

我々は、上下水道の分野で、環境を考えた省資源化を実現するためにも、今後、状態監視保全による補修・更新の頻度の低減が不可欠になると考えている。

4. 設備情報管理

図5に示すように、設備の補修や更新に対する適切な判断を行うには、予防保全サービスを使った設備の診断データや、設備の設計や保全履歴に関する情報が必要である。さらに、このような設備情報は、設備のライフサイクルを通して適切に管理されていなくてはならない。

比較的寿命が短いとされる電気設備でも長いものでは20年程度の耐用年数があるが、長期にわたって設備情報を蓄積していく上では、以下のような設備情報管理機能が必要となる。

- (1) 蓄積した設備情報を長期にわたって有効に活用できる。
- (2) 管理する設備情報の項目に修正があっても柔軟に対応できる。

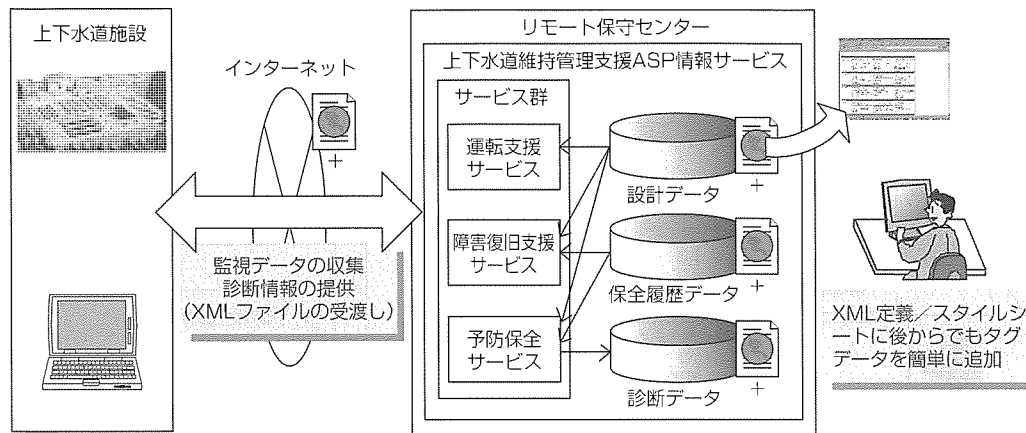


図5. XMLを使った設備情報管理

従来、設備情報を管理する上で、汎用ワープロ等のパソコンアプリケーションで作成した設備情報データを利用する例があった。しかし、このようなパソコンアプリケーションで作成した独自フォーマットの電子データを利用するには一般に同種かつ同一バージョンのパソコンアプリケーションが必要であり、パソコンに関する技術環境が急激に変化を続けている現状では長期にわたって情報を蓄積し利用する必要がある設備情報管理には適していない。

なお、リレーショナルデータベースを使って設備情報データを管理する例があったが、リレーショナルデータベースを使った情報管理では、高速なデータ検索が行える代わりに、管理するデータ項目を柔軟に変更することが難しいという課題がある。

このような課題を解決する手段として、維持管理支援ASP情報サービスで、今回、XMLを使って設備情報を管理することにした。XMLのタグと呼ばれるデータ構造で設備情報を管理することで、以下のメリットが得られる。

- (1) タグの名称としてデータの名称や意味を使うことで、人間が理解可能な形で情報を記載できる。設備情報の管理にXMLを利用することで、特定のパソコンアプリケーションに依存しないデータ管理が可能になる。
- (2) タグの名称を使って、計算機へのデータの自動読み込みを容易に実現できる。XML形式で提供された設備情報を、利用者は、パソコンアプリケーションに読み込み、加工することが容易である。
- (3) タグの追加や変更を行った場合に、利用アプリケーションに与える影響が比較的小さい。設備情報の管理にXMLを利用することで、設備や機器の種別の違いを吸収してデータ管理を一元化し、将来的な管理項目の変更に柔軟に対応することが可能になる。

XMLを利用することで、20年という設備のライフサイクルを通して、設備の情報を継続して蓄積し、有効活用することが可能になると考えている。

5. む す び

本稿では、リモート保守センターによる上下水道向けの維持管理支援サービスメニューである“上下水道維持管理支援ASP情報サービス”について、特に予防保全サービスを用いることによる時間計画保全から状態監視保全への移行と、設備情報を効率的に管理することが可能なXMLを応用した設備情報管理機能を紹介した。

予防保全サービスは、当社の電気設備の診断技術をベースに、上下水道施設の電気設備に取り付けたセンサ装置を使ってリモート保守センターから設備の状態を診断するサービスである。把握した設備状態を基準に状態監視保全を実施することで、上下水道施設で用いられる設備の点検・補修・更新の頻度を低減することができる。

設備情報管理機能では、XMLを用いることで、上下水道設備のライフサイクルを通して設備の情報を適切に蓄積して有効活用することを可能にし、また、管理する設備情報の項目に途中で変更があっても柔軟に対応することが可能になっている。

当社は、今後も、リモート保守センターを核に、上下水道維持管理支援ASP情報サービスを拡充していきたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 川田卓嗣, ほか: インターネット技術を利用したリモート保守センタ, 電気学会公共施設技術調査専門委員会 (2001)
- (2) 藤井康順, ほか: One-to-One型リモート保守ポータル, 三菱電機技報, 76, No.9, 599~603 (2002)
- (3) 送変電・受配電設備の予防保全, 三菱電機HP, (<http://www.MitsubishiElectric.co.jp/service/souhaihen/>)
- (4) 兼田吉治, ほか: 高圧電動機の遠隔状態監視システムの開発, 平成14年電気学会全国大会, 1-253 (2002)

上水水源用油臭センサ応用システム

増田直人* 古川誠司***
 土方健司*
 上山智嗣**

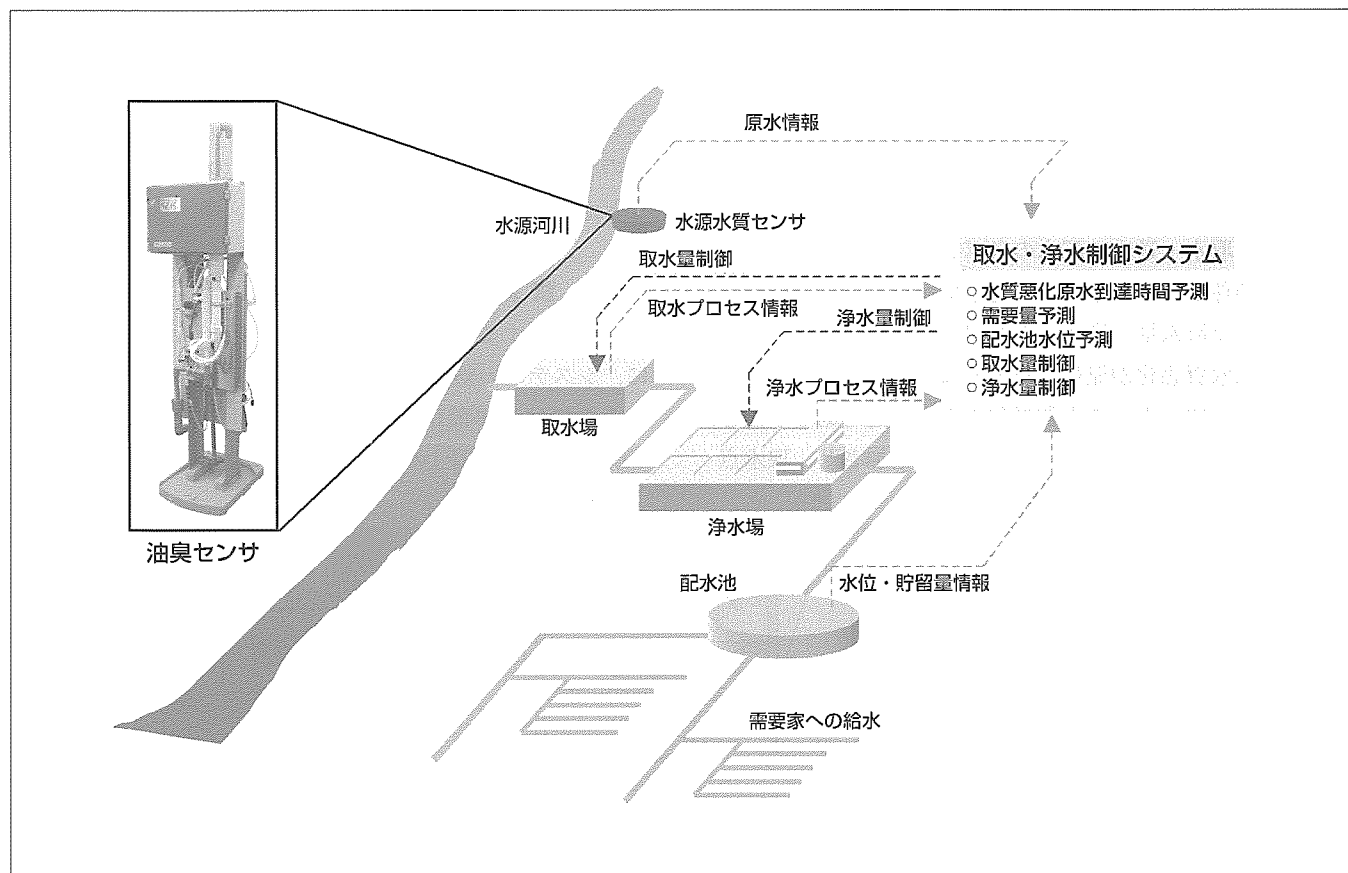
要旨

上水水源として最も多く用いられている地表水は、天候による濁度上昇や社会活動による油類汚染などによって水質が悪化する。水源水質が悪化すると、浄水処理工程で使用する薬品量、発生する汚泥量の増加などによって処理コストが上昇する。したがって、水質悪化の検出と水質に応じた取水・浄水プロセス制御を行うことにより、処理コスト低減と廃棄物減少を図ることが可能である。

そこで、本稿では、浄水場取水口上流に水質センサを設置し、取水口に水質悪化原水が到達する時刻を予測し、プロセス諸条件に基づき取水・浄水量を最適制御するシステムの効果を試算した。その結果、原水水質が高濁度化した場合の典型的なケースでは、配水池貯留量を保ちながらも、

PAC(Poly Aluminum Chloride)注入量で6.5%、汚泥発生量は26.9%それぞれ減少させることが可能であると試算された。

一方、社会活動によって引き起こされる水源の油類による汚染に対しては、これまで有効なセンサがほとんどなく、人手による検出が主に行われており、有効な検出手段の開発が望まれていた。三菱電機が新たに開発した高感度型油臭センサは、極めて低濃度の油臭(2 TON(Threshold Oder Number))の検出と、5分以内の油臭検出と10分以内の油種判別を可能とし、さらに、フィールドテストによって対ノイズ性など実使用面での検証を完了し、先述の制御システムへの適用を含めた応用が可能である。



水源水質悪化時の取水制御システムと油臭センサの適用

水道水源の水質悪化要因のうち濁度上昇と油類による汚染は最も高い頻度で発生しているが、今回開発した高感度型油臭センサと従来から製品化されている濁度計を水源水質測定用センサとして使用することによって、これら水質汚染に対応した取水・浄水量の制御が可能となり、水質悪化時の浄水コストの上昇を最小限にとどめることを目標とした取水・浄水量制御システムが実現される。

1. ま え が き

日本の上水道事業及び水道用水供給事業の水源の約70%は河川水・ダム・湖水などのいわゆる地表水である⁽¹⁾。地表水は取水が容易で量が確保しやすく水道水源としては最も適当な水源の一つであるが、天候や社会活動などの影響を受け水質が悪化しやすい。水源の水質悪化が発生すると、浄水処理工程で使用する薬品量が増加するとともに、工程から発生する汚泥量も増加し、浄水コストの上昇及び環境保全という観点から見ると廃棄物量が増加するという問題がある。

一方、水源水質の悪化要因を見ると、降雨による河川への土砂流出などに起因する水源濁度の上昇が最も頻繁に発生していると考えられる。また、社会活動に伴う水質悪化の要因を見ると、油類の流出が水質事故の60%を占めており最大の原因だと言われている⁽²⁾⁽³⁾。

このような状況から、本稿では、河川水系の水質データを活用して浄水処理工程で必要となるコストアップを最小限にとどめるための取水制御システムを概説するとともに、そのシステムへの適用が期待される三菱電機で新たに開発した高感度油臭センサについて述べる。

2. 水源水質悪化時の取水制御システム

2.1 システムの概要

システムは、図1に示すように、取水点上流での原水情報から取水点への水質悪化原水の到達時刻を予測するとともに、取水・浄水プロセス情報、配水・給水情報の各情報と水利権、取水・送水・配水の各ポンプ能力、契約電力などの制約条件から、浄水処理・送水にかかるコストが最小となるような取水量・浄水量を算出するものである。すなわち、原水水質悪化が発生した場合に、取水点上流側での水質情報から取水点への水質悪化原水の到達時刻を予測し、原水水質が良好な状態のうちに取水量を増加させ、取水点

に水質悪化原水が到達した後は、配水池貯留量などの制約条件を考慮した上で取水量を絞ることにより、水質の悪化した原水の取り込みを極力抑制し、水質悪化に伴い使用量の増加する凝集剤や活性炭などの使用量と発生汚泥量を減少させることにより、これらにかかるコストを最小限に保つものである。

2.2 システムへの入力情報

2.2.1 原水情報

取水点の上流の濁度・油臭濃度など浄水処理に影響のある指標と、取水点への水質悪化を予測するための河川水量・流速などの情報が必要となる。上流側に別の浄水場の取水点などの水質計測を行っている設備がある場合には、これらのデータの活用も視野に入れて検討をする必要がある。

2.2.2 取水・浄水プロセス情報

取水量の調節を解除し通常取水量に戻すために必要となる取水点での濁度・油臭情報と、取水・上水量の調節を行う際に調節幅を算出するために設備の運転情報及び故障や設備点検などの設備休止情報が必要となる。

2.2.3 配水・給水情報

配水池の貯留量、需要量予測値など、取水・浄水量を調節する際に考慮すべき情報が必要となる。

2.2.4 制約条件

実際に取水量・浄水量を調節する場合には、例えば同時に使用することのできないポンプがあるなどといった運用上の制約、水利権、関連する各ポンプの能力及び契約電力などが必要となる。

2.3 システム効果の試算

2.3.1 試算条件

図2に示すような原水水質(濁度)変動があった場合を例に、システムの効果を試算する。

この例は、午前11時から急激に濁度が上昇し、高濁度(濁度50mg/ℓ以上)の状況が午後5時まで継続している状

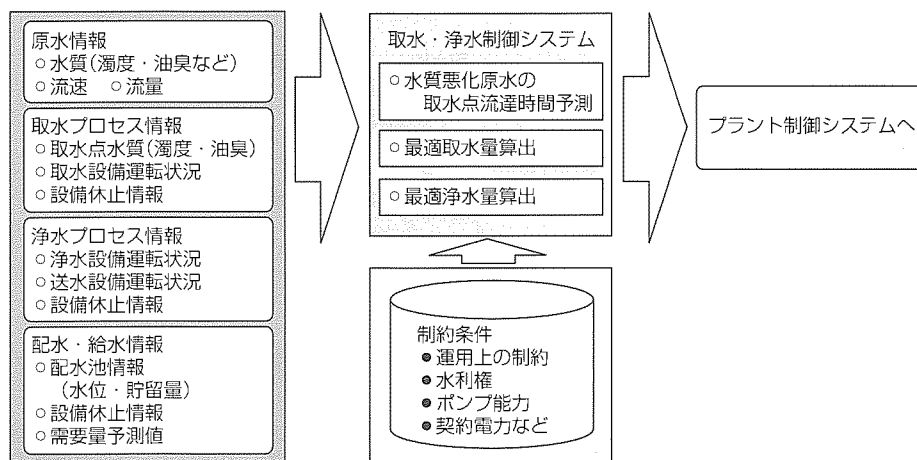


図1. 水源水質悪化時の取水・浄水制御システム

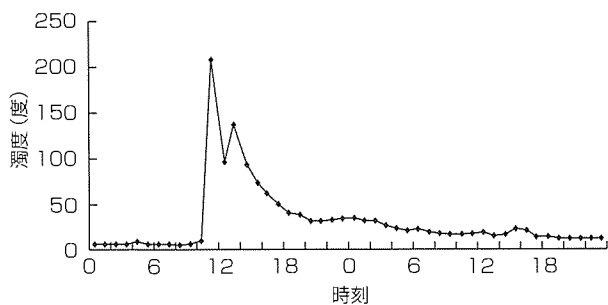


図2. 原水濁度変動(試算条件)

表1. 試算時の条件

取水量	時間最大取水量の70~85%の範囲ではほぼ平滑化(図4)して取水しており、取水量の可調整範囲は30~100%とする。
貯留量	時間最大取水量の12時間分の貯留能力を持ち、朝8時に満杯(最大貯留量の90%)にし、夜8時に最低貯留量(最大貯留量の50%)の運用を行っている。また、運用上の最低貯留量は30%とする。
PAC注入率	図3のとおり濁度に応じて注入する。
脱水ケーキ発生量	原水濁度1(g-SS)に対して脱水ケーキ10(g-cake)が発生する。
制御	原水濁度が50(度)以上となることが取水口で濁度上昇する3時間前に予測された段階で取水量を増やし、取水口への高濁度水到達後、最低貯留量とまらない範囲で取水量を最低限に絞り、濁度が通常値に復旧後再び取水量を増大させ、貯留量が通常値に復旧するまで継続させる。

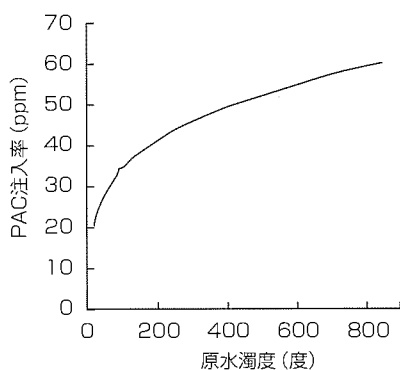


図3. 原水濁度とPAC注入率

況である。この状況で取水口上流の原水情報から取水口の濁度を3時間前に予測したケースについて試算する。試算時の条件は表1のとおりである。なお、表中のPAC注入率は図3のとおりである。

2.3.2 試算結果

図2に示した原水濁度変動時に取水量を制御した場合の取水制御システム適用のシミュレーションを実施した。図4に取水量の経時変化を、図5に貯留量の経時変化を、さらに、PAC注入量と脱水ケーキ発生量の比較を図6にそれぞれ示す。

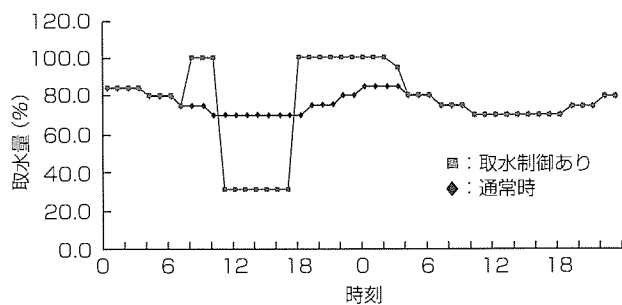


図4. シミュレーション時の取水量の経時変化

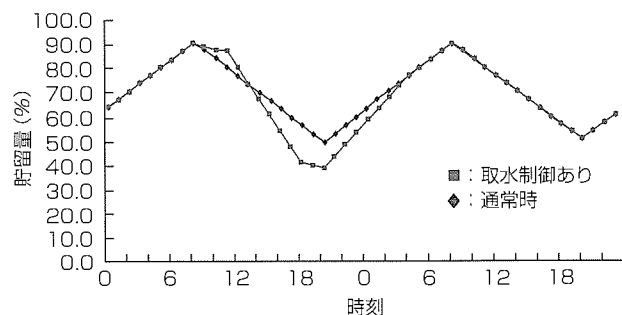


図5. シミュレーション時の貯留量の経時変化

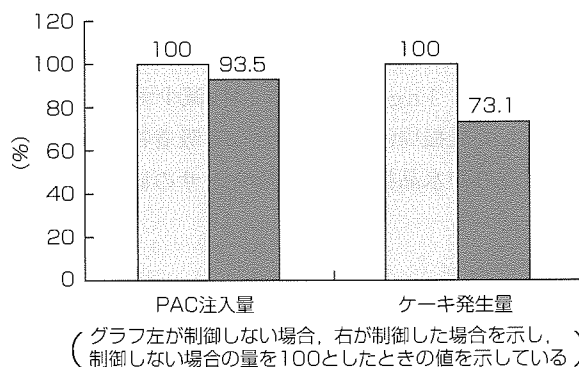


図6. シミュレーション時のPAC注入量とケーキ発生量の比較

シミュレーションでは、午前8時の時点で高濁度水の流入を予測し、取水量を増加させ、取水口への到着時刻である午前11時から7時間にわたって取水量を制限し、その後10時間にわたって取水量を増加させている。制御を行った場合の貯留量が制御しない場合の貯留量を下回る期間は14時間あったが、貯留量の減少量は最大で10%程度にとどまるとともに、最低貯留量を割り込むことはなかった。また、PAC注入量は6.5%減少し、ケーキ発生量は26.9%と大幅に減少した。特にケーキ発生量の減少は、環境保全、廃棄物処分場の延命化という観点からも大きな意味があると言える。

このケースでは高濁度発生時のシステム効果の試算を行ったが、油類による原水の汚染があった場合にも、同様の制御を行うことにより、活性炭などの油類処理費用の削減効果が期待できる。

3. 高感度油臭センサ

3.1 油臭センサの概要

開発した油臭センサの外観を図7に示す。センサは、サンプリング部、油臭追い出し部、センシング部、及びデータ処理部からなる(図8)。センシング部には新たに開発した感応膜を被覆した水晶振動子式化学センサチップが装着されており、これにより、水中の油臭を人と同程度に高感度に検出できるようになった。また、検出から10分以内に油種の識別も可能である。大きさは(D)500×(W)380×(H)1,800(mm)のコンパクトサイズを実現し、三菱水環境計装機器センサシリーズと同サイズとした。

3.2 高感度油臭センサの原理

油臭センサチップは水晶振動子と感応膜からなる(図9)。水晶振動子は、水晶結晶面に対してある方向で切り出した結晶片の両面に金電極を蒸着したものである。両電極間に電圧を印加すると水晶はゆがむ性質(圧電効果と呼ばれる)がある。この性質を利用することにより、水晶振動子の共鳴周波数で発信する高精度の発振回路を構成することができる。今回用いた振動子の共鳴周波数は約9 MHzである。ところで、この電極上に物質が吸着すると、非常に敏感に共鳴周波数が減少する。Sauerbreyによると、今回用いた振動子の場合、1 ngの吸着で約1 Hz減少する⁽⁴⁾。この特性を利用して発振周波数の変動値から吸着物質量を高感度に評価するのが水晶振動子式化学センサの原理である⁽⁵⁾。

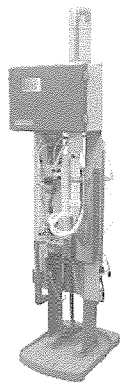


図7. 油臭監視装置の外観

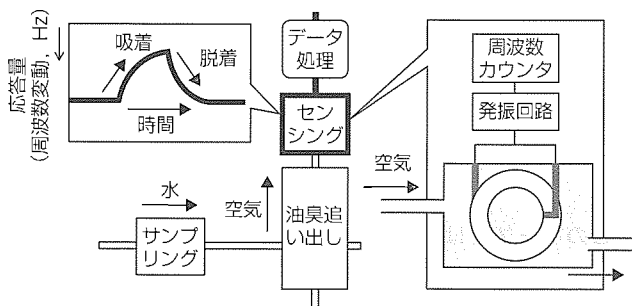


図8. 油臭センサの構成

しかしながら、水晶振動子だけでは特異的なセンシングはできない。そこで、水晶振動子の電極表面に、目的とする物質を特異的に吸着する感応膜を形成する。油臭センサチップは、揮発性鉱物油であるA重油、軽油、灯油、ガソリンを特異的に吸着する感応膜を特別に開発して利用している⁽⁶⁾⁽⁷⁾。これらの油は、ドデカンなどの飽和炭化水素、トルエンなどの芳香族炭化水素が主成分である。したがって、感応膜の開発に当たって、特に炭化水素のみを吸着することに留意した。また、センサチップとして必要な特性の一つは脱着性である。吸着性能が高くて油が脱着しなければ使い捨てになってしまうからである。さらには、1年間は特性が変わらない安定性が求められる。これらの要求をすべて満足させるために多くの物質を試した結果、ある種の炭化水素共重合高分子が適していることを見いだした。実際にはさらに複数種類の高分子をブレンドして用いている。共重合高分子及びブレンドによって膜中に油臭分子が潜り込む分子レベルの隙間が形成され、吸着面積が大きくなるので、感度が高まったものと推定している。

炭化水素であるため、水への親和性が非常に小さく、ガス中の水蒸気の影響をほとんど受けないこともこの感応膜の大きな特長である。

3.3 油臭監視装置の特性

3.3.1 油汚染水への応答

各種油に対する応答評価及び油種識別は以下のようにして行った。ガソリン、灯油、軽油、A重油をイオン交換水に所定の濃度の10倍に溶解した原溶液を調製した。この液及びイオン交換水をそれぞれ10 ml/min、90 ml/minの流速で送り、両者を混合することにより、所定の濃度の油汚染試料を得た。この混合後の試料は、50℃に加熱した後に浄化空気でバブリングした。こうして得られた試料水中の揮発成分を含んだ空気をセンサチップに送った。油汚染試料の送水時間は15分とし、その後、試料をイオン交換水のみで切り換えることにより、応答曲線を得た。なお、10倍濃厚試料は、3 lのガラスびんにイオン交換水を入れ、各種油の必要量をマイクロシリンジを用いて滴下し、激しく振とうすることによって得た。なお、ガソリンの場合には、ガソリンを80℃で暖めながら窒素でバブリングすることによって高揮発性を強制的に揮発させ、体積で1/3にしたものを用いた。これは、実際の汚染時に高揮発成分は

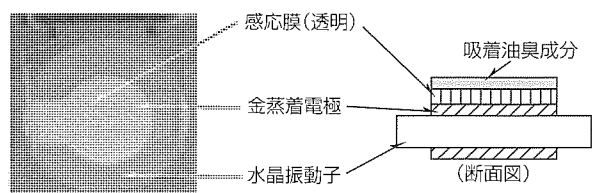


図9. 油臭センサチップ

なくなることを想定したものである。目標臭気強度 2 TON (2 倍に無臭水で希釈すると人の鼻で検知できない濃度)の試料に対する各種油の濃度は、ガソリン、灯油、軽油は 40ppb (1 ppb = 1 μg/l), A 重油は 20ppb である。

図10に応答曲線を示す。センサチップ温度は25℃である。応答量、応答速度は、油の揮発性、感応膜との親和性などの関数であり複雑である。この実験の条件では、応答量、応答速度が最も大きかったのは、それぞれ軽油、灯油であった。また、ノイズレベルを考慮し、5 Hzの変動を検出限界(図の破線)とした場合、いずれの油種に対しても、5分以内の検出が可能であることが分かった。

3.3.2 油種識別機能

浄水場にとって、まず油汚染を検知し、迅速にそれに対応することが最優先である。しかしながらその後は、再発防止のために油汚染の原因を調べる事が望まれる。原因の特定は難しいが、汚染油の油種識別ができればある程度の推測が可能となる。前述したように、吸着特性は油種によって異なる。しかしながら、河川中の油は濃度変動があり、吸着応答曲線だけでは油種の識別が困難である。また、複数のセンサチップを用いるに際してセンサでは感度を一定に維持することが難しい。そこで、油汚染検知後に強制的に油臭分子を脱着させ、脱着曲線を解析することによって油種識別を可能とした。

実験は、油汚染試料の送水後、試料をイオン交換水のみで切り換えることによって行い、吸脱着応答曲線を得た。

図11に、ガソリン、灯油、軽油に対するの応答曲線をノーマライズ(最大応答量を1)して示す。このノーマライズした脱着曲線に指数関数をフィッティングして求めた時定数を比較すると、図示した以外にも様々な条件で測定したにもかかわらず、灯油、ガソリン、軽油で数値が異なりこれらを識別できることが分かった。比較的急速に脱着させることができる高感度膜のおかげで、脱着曲線の解析による油種識別が可能となった。

3.3.3 浄水場における油検出と油種識別

上水原水である河川水には様々な物質が含まれており、これらは油臭検知を妨害する可能性がある。そこで、実際

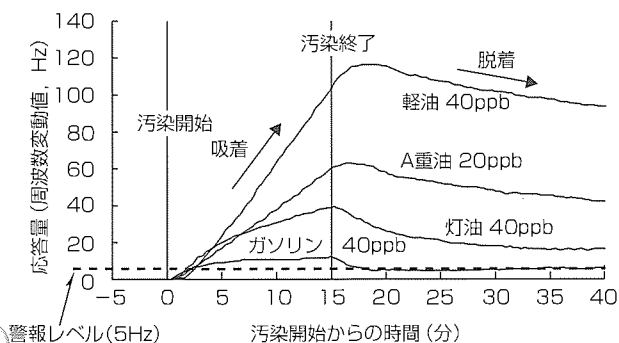


図10. やっとにおう油汚染水に対する応答

の浄水場で油臭監視装置を試験する必要がある。そこで、実浄水場にこの装置を設置し、オイルフェンスを経て沈砂池に流れ込んだ河川水をポンプによって油臭監視装置に導入した。この河川水の油臭を約1か月間評価した。

平常時は、河川水に対するノイズ等の応答は見られず、連続評価が可能であった。ところが、27日目の夜9時ごろから約1時間にわたってセンサチップの発振周波数が変動し、油汚染が検知された。このときの応答曲線を図12に示す。また、図中囲みグラフから分かるように、検出下限値の5 Hzの応答が5分未満で得られたことから、この装置によって迅速な検知が可能であることが実証された。

さらに、3.3.2項で示したのと同様にこの応答曲線をノーマライズし灯油及び軽油の応答曲線と比較したところ(図13)、今回の汚染物質は軽油であると推定できた。また、汚染物質が軽油とすれば、応答量からその臭気強度は2 TON未満のごく薄い汚染であり、浄水場に被害はなかったと推定できた。

3.4 油臭監視装置の特長

これまでに述べていないことも含め、以下にこの装置の特長を示す。

- 人のしきい値レベルの油臭を高感度検出

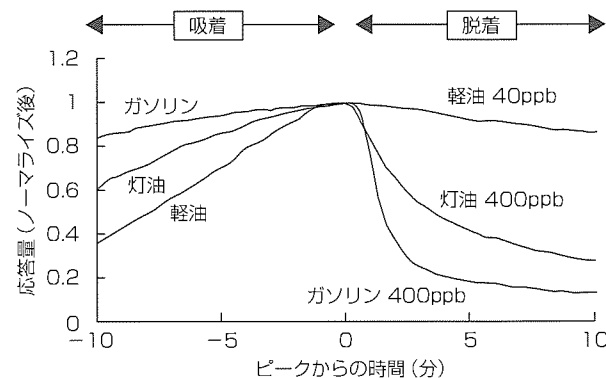


図11. ノーマライズした応答曲線

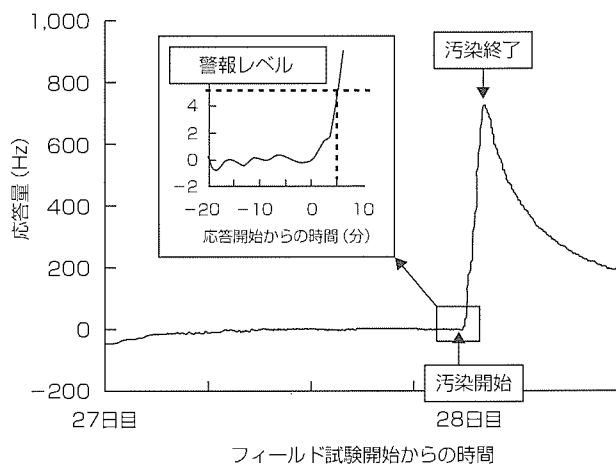


図12. フィールド試験での異常検知応答

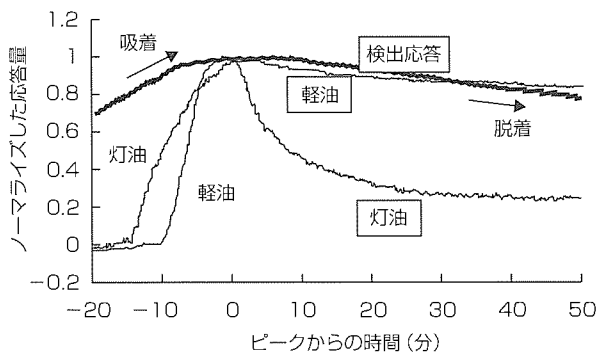


図13. フィールド試験での異常検知応答の油種識別

- 5分以内の迅速油臭検知
- 油種の識別(ガソリン, 灯油, 軽油)
- 24時間連続油汚染自動監視
- センサチップの長寿命化(1年)
- コンパクトなサイズ((D)500×(W)380×(H)1,800 (mm))

4. む す び

上水原水の水質が悪化した場合には浄水処理コストが上昇するが、この上昇幅を最小限度にとどめるための取水制御システムと、そのシステムへの応用が期待される高感度油臭センサを紹介した。水道水源が高濁度化した場合に取水制御システムを適用したシミュレーション結果から、通常運用を行った場合に比べて、薬品注入量の削減と発生ケ

ーキ量の削減の可能性が示された。また、高濁度と並んで水道水源の汚染原因となっている油類の流出を迅速かつ正確に検出することのできる高感度油臭センサの開発を完了した。このセンサは極めて臭気強度の低い2TON油臭の検出が可能であり、5分以内の油臭の検出と、10分以内の軽油, A重油, ガソリン, 灯油の油種判別をも行うことができる。

参 考 文 献

- (1) 鈴木克徳, ほか: 溶存酸素欠乏をもたらした水源水質事故の原因調査事例報告, 水道協会雑誌, 71, No.1, 29~35 (2002)
- (2) 水道統計経年分析, 水道協会雑誌, 69, No.8, 79~117 (2000)
- (3) 社日本水道協会: 突発水質汚染の監視対策に関する研究 (1995)
- (4) Sauerbrey, G.: Use of a Quartz Vibrator from Weighing Thin Films on a Microbalance, Z. Phys., 155, 206 (1959)
- (5) 黒澤 茂: 水晶振動子を用いた化学計測, 化学技術研究所報告, 87, No.12, 483 (1992)
- (6) 上山智嗣: 有機高分子感応膜を用いた水晶振動子式高感度油臭センサーの開発, EICA, 5, No.1, 187 (2000)
- (7) 上山智嗣: 水道水原水の高感度油臭監視と油種識別, 第53回全国水道研究発表会要旨集, 592 (2002)

省エネルギー型窒素・りん除去 下水処理制御システム

古川誠司*
田中久雄**

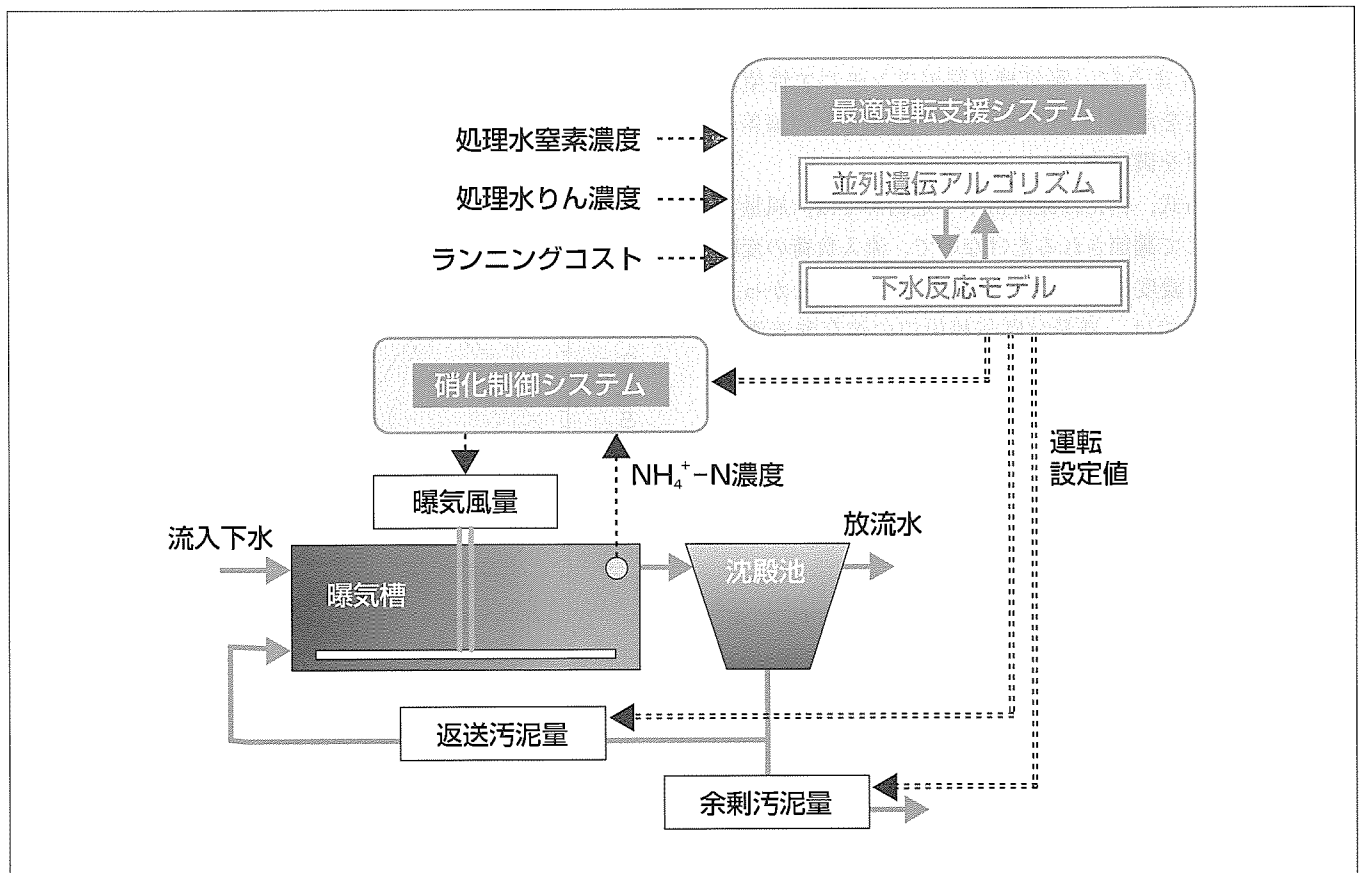
要旨

閉鎖水域での赤潮やアオコの発生を防止するために、下水中からの窒素・りん除去が求められている。ところが、下水処理プロセスは複雑な微生物反応に基づくため、エネルギー消費量を抑制しつつ脱窒・脱りん処理を行うことは、これまで極めて困難だった。

三菱電機が開発した“省エネルギー型窒素・りん除去下水処理制御システム”は、活性汚泥プロセスの中で最もエネルギーを消費する硝化処理(アンモニア性窒素除去)の曝気(ばっき)風量を節減するための“硝化制御システム”と、その他の運転設定値を協調的に最適化する“最適運転支援システム”から構成される。前者は、曝気槽内のアンモ

ニア性窒素濃度をオンライン計測しながら曝気風量を制御することにより、従来よりも約10%少ない風量での硝化処理が可能である。また、後者については、下水反応モデルを導入した独自の並列遺伝アルゴリズムにより、処理水質やコストといった複数の評価項目に基づいた多次元探索を行う。これにより、窒素・りんを目標値以下に抑制しながらエネルギー消費量も削減できる最適運転設定値を自動決定できるようになった。

東京都内の下水処理場で行った実証実験では、従来の処理水質を維持しつつ12%の風量削減に成功した。



硝化制御システムと最適運転支援システム

硝化制御システムは、曝気槽内のアンモニア性窒素濃度をオンライン計測しながら曝気風量を調節する。常に過不足ない曝気が行えるため、従来よりも約10%少ない風量での硝化処理が可能である。また、最適運転支援システムは、下水反応モデルを導入した独自の並列遺伝アルゴリズムにより、処理水質やコストといった複数の評価項目に基づいた多次元探索を行う。最小のエネルギーコストで窒素・りんを目標値以下に抑制する運転設定値を自動決定できる。

1. ま え が き

湖沼や内湾での有害藻類(赤潮やアオコなど)の発生防止を目的として、先ごろ、中央環境審議会から窒素・りん総量規制の実施に関する答申があった⁽¹⁾。今後、全国の下処理場で、窒素・りん除去に対応するための施設改造や技術導入が加速すると予想される。一方、“地球環境保護のためのCO₂削減”という社会的要請から、下処理場のような公共施設においては消費電力量の節減すなわち省エネルギー対策を積極的に講じることが求められている。

今回開発した“省エネルギー型窒素・りん除去下処理制御システム”は、活性汚泥プロセスの中で最もエネルギーを消費する硝化処理(アンモニア性窒素除去)の曝気風量を節減するための“硝化制御システム”と、その他の運転設定値を協調的に最適化する“最適運転支援システム”から構成される。

本稿では、これらのシステム構成・原理を紹介するとともに、実際の下処理場で行った実験結果や計算機シミュレーションによる解析結果について述べる。

2. 硝化制御システム

2.1 硝化制御システムの原理と特長

硝化制御システムの原理自体は、非常にシンプルである。図1に示すように、曝気槽末端のアンモニア性窒素(NH₄⁺-N)濃度を計測しながら、これと目標値との偏差に応じて曝気風量を調節する。

従来の曝気方式、例えば流量倍率一定制御では、風量は流入流量に応じて調節されるだけなので、流入負荷の変動に対しNH₄⁺-N濃度を一定に維持することはできなかった。一方、DO制御では、風量は曝気槽出口の溶存酸素濃度(DO)を一定に維持するように調節されるが、やはりNH₄⁺-N濃度を一定に維持することはできない。これは、次のように説明できる。

硝化速度はDOの影響を強く受ける。したがって、DO

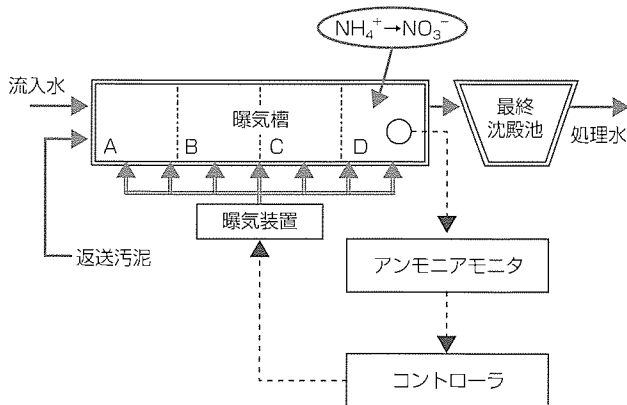


図1. 硝化制御システムのフロー

を一定に維持することは硝化速度を一定に維持することとはほぼ等価である。ところが、硝化速度すなわちNH₄⁺-Nの消滅速度を一定に維持しても、NH₄⁺-Nの流入負荷自体が変動すれば、処理水中の濃度を一定に維持することはやはりできない。したがって、図2に示すように、従来の曝気方式においては最も負荷の高い時間帯に合わせて“安全側”すなわち多めの風量を送るように設定値を与えねばならなかった。これに対し、硝化制御システムでは、NH₄⁺-N濃度を計測しながら過不足のない曝気を行えるので、曝気槽末端でちょうど硝化が完了するような効率の良い処理を実現できる。

2.2 硝化制御のシミュレーション

図1のようなフローを想定して、硝化制御システムのシミュレーションを行った。曝気槽は流れ方向に沿って均等にA~Dの4回路に区切られているものとし、末端から一つ手前のC回路をNH₄⁺-N濃度の制御点とした。活性汚泥による生物反応はIWA活性汚泥モデルNo.2d(Activated Sludge Model No.2d: ASM2d)⁽²⁾を用いて計算した。流入流量と水質の変動は、実データを参考にして与えた。主なシミュレーション条件を表1に示す。

硝化制御を実施した場合の水質制御効果と風量節減効果をDO制御と比較して評価した。制御設定値はそれぞれ2.5mg-N/l, 1mg-DO/lとした。これらは曝気槽末端のD回路でNH₄⁺-N濃度が0.3mg/lを超えないように選択したものである。図3, 図4にC回路及びD回路NH₄⁺-N濃度の経時変化を示す。

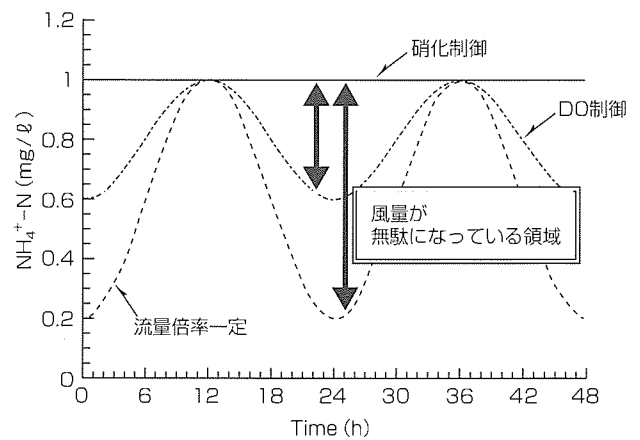


図2. 従来の曝気方式との比較

表1. シミュレーション条件

曝気槽容量	10,350 m ³
最終沈殿池	4,590 m ³
MLSS濃度	1,500 mg/l
返送汚泥量	430 m ³ /h
曝気量	3,500~8,500 m ³ /h

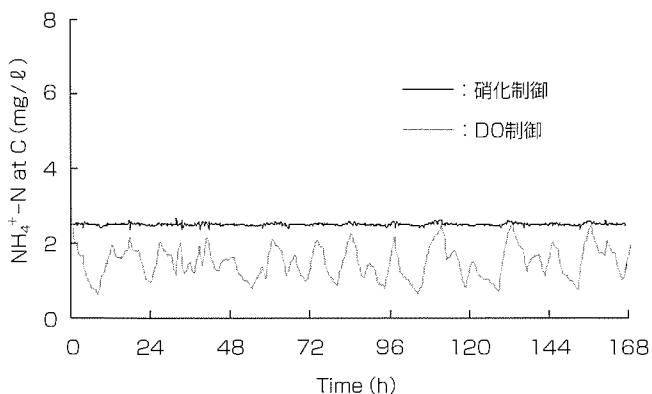


図3. C回路NH₄⁺-N濃度の経時変化

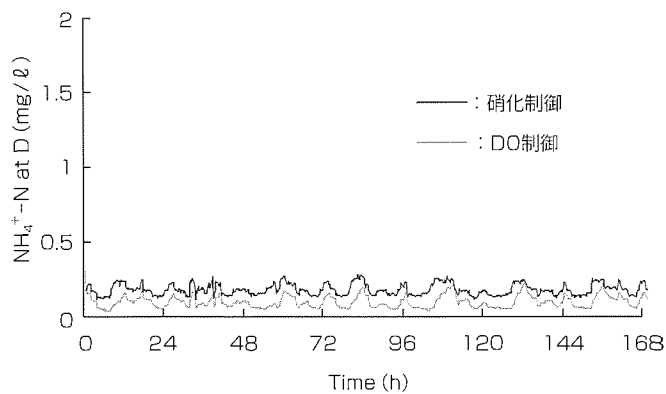


図4. D回路NH₄⁺-N濃度の経時変化

表2. 実証実験期間中の平均プロセス値

	Run-1	Run-2	Run-3	Run-4
期間	5/14~5/23	6/1~6/26	7/1~8/29	8/30~9/25
硝化制御設定値(mg/l)	2	2.5	3	2.5
風量削減率(%)	5	12	14	13
D回路 NH ₄ ⁺ -N濃度(mg/l)	0.26	0.16	0.77	0.34

硝化制御を実施した場合、C回路NH₄⁺-N濃度は目標値である2.5mg/lにほぼ維持された。また、D回路NH₄⁺-N濃度は0.2~0.3mg/lの範囲で推移した。一方、DO制御では、低負荷の時間帯にNH₄⁺-N濃度が落ち込み、過曝気となる傾向が認められた。

曝気風量の平均値は、硝化制御で7,200m³/h、DO制御で8,100m³/hとなり、硝化制御の適用によって約11%の風量節減を期待できることが分かった。

2.3 実証実験

実際の下水処理場で、2系列ある曝気槽のうち一方を硝化制御、他方をDO制御として運転を行い、処理水質及び曝気風量を比較した。プロセスの諸元は2.2節で想定した値と同じである。

硝化制御設定値(C回路NH₄⁺-N濃度の目標値)をパラメータとして4回の実験を行った。表2に実験期間中の平均プロセス値を示す。Run-1では、C回路NH₄⁺-N濃度を設定値(2mg/l)にまで抑えきれない期間が多くなり、DO制御系列を基準とした場合の風量削減率は5%にとどまった。一方、設定値を2.5mg/lとしたRun-2及びRun-4では、C回路NH₄⁺-N濃度の制御性が向上し、風量削減率も12%及び13%となった。設定値を3mg/lにまで高めたRun-3では、14%の風量削減率が得られたが、曝気槽末端のD回路NH₄⁺-N濃度が0.5mg/lを超え、水質的には好ましくない傾向が認められた。以上の結果をまとめると、この処理場ではC回路NH₄⁺-N濃度目標値として2.5mg/lを設定するのが妥当であり、このとき約12%の風量削減効果を期待できると言える。

3. 最適運転支援システム

3.1 遺伝アルゴリズムを用いた最適運転支援システム

実際に硝化制御設定値すなわちNH₄⁺-N濃度目標値を選択するときには、曝気槽末端のNH₄⁺-N濃度がほぼゼロとなることを確認するのはもちろん、生物学的脱りんへの影響やランニングコストなど様々な評価項目を考慮する必要がある。設定値選択の一つの方法としてこの研究でも用いたIWAモデルをベースとしたプロセスシミュレータの利用が考えられるが、所望の設定値が見つかるまでシミュレーションを繰り返すやり方では非効率的である。そこで筆者らは、遺伝アルゴリズム⁽³⁾の利用に着目した。

図5に遺伝アルゴリズムを用いた最適運転支援システムの概要を示す。最適化したい操作量を“個体”，処理水質を“適応度”として遺伝操作を繰り返し、適応度の高い個体、すなわち目標水質をクリアする最適設定値を探索する。まず、最適設定値の候補をN個作り、初期の個体群とする(①)。この個体群に対し、ある確率で“交叉(こうさ)”や“突然変異”という遺伝操作を施す(②)。新たに生成した個体群に対してシミュレーションを実施し、適応度すなわち処理水質を求める(③)。すべての個体の中から目標水質を満足するかそれに近いものを次世代に残す(④)。以降、①~④の操作を繰り返すことにより、最適な設定値を得ることができる。

なお、今回開発した運転支援システムでは、処理水質・コストといった多目的の最適化に対応するため、個体群を評価関数の数だけ分割する手法、すなわち並列遺伝アルゴリズム⁽⁴⁾を採用した。

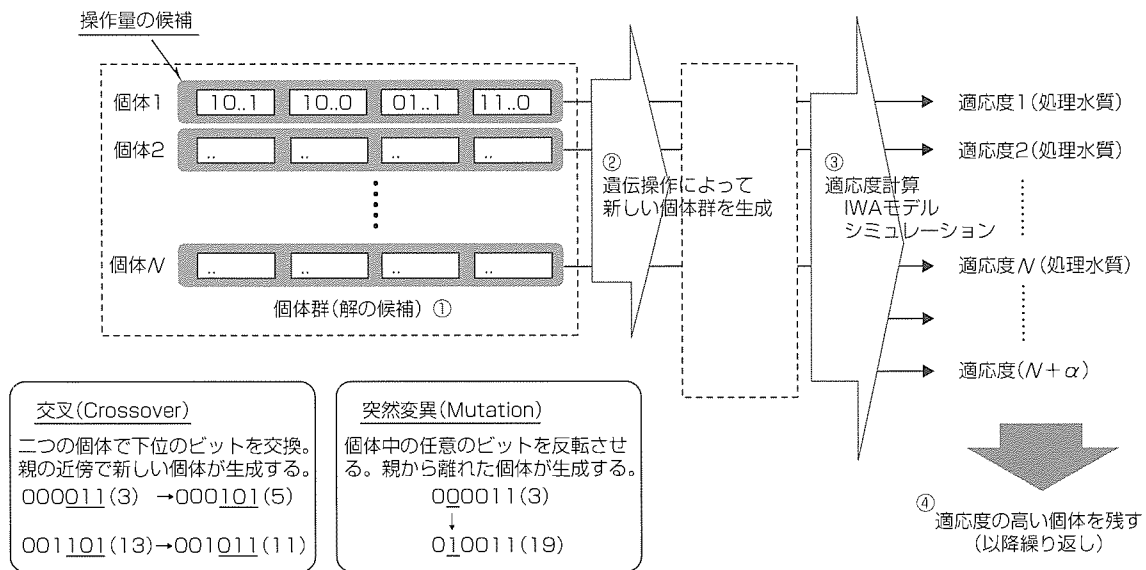


図5. 最適運転支援システムの概要

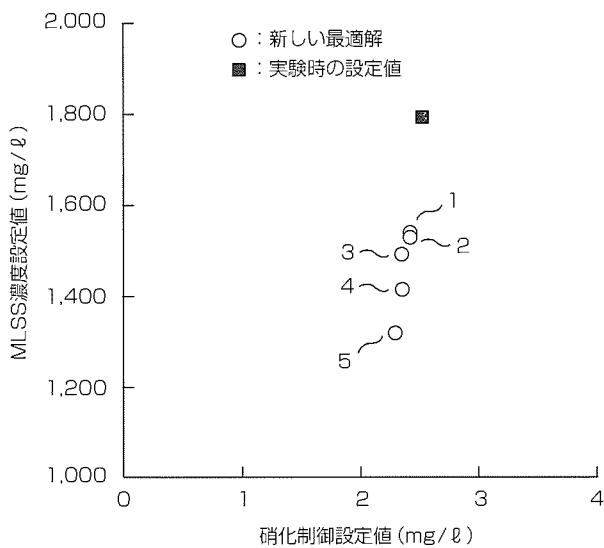


図6. 最適運転支援システムによって算出された解の分布

3.2 シミュレーションによる検討

硝化制御の実証実験を行った下水処理場のデータを用いて、ある流入条件に対する最適な運転設定値を探索した。最適化する運転設定値としては、硝化制御設定値(C回路 NH_4^+ -N濃度)とMLSS(Mixed Liquor Suspended Solid)濃度の二つを選んだ。最適化の際の目的関数は、曝気槽末端の NH_4^+ -N濃度、処理水TP(Total Phosphorus)濃度、送風機動力の三つ(いずれも期間の平均値)とした。

最適運転支援システムにより、実験時の運転設定値よりもすべての目的関数に対して優れているとして算出された解の分布を図6に示す。

これらの運転設定値を用いたとき、各目的関数がどのように改善されるかについてまとめたグラフが図7である。横軸の解番号は図6中の番号に対応しており、解番号が大

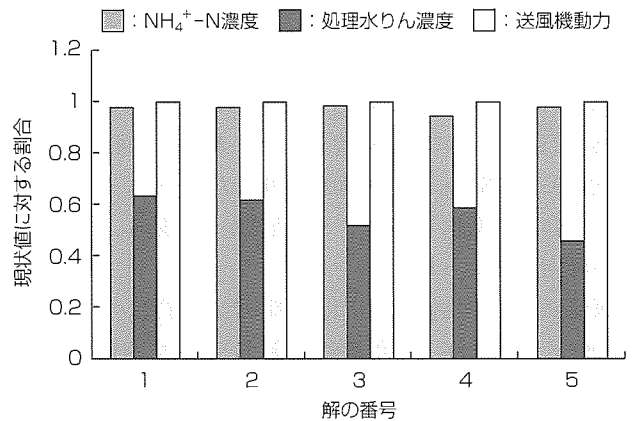


図7. 各解の現状値に対する改善度

きくなるに従ってMLSS濃度設定値と硝化制御設定値の両方が小さくなる。この図によれば、必ずしも線形的な変化ではないが、MLSS濃度設定値と硝化制御設定値の両方を小さくした方が、処理水TP濃度の現状値(実験時の値)に対する割合が小さくなる、すなわち改善度が大きくなることが明らかである。曝気槽末端 NH_4^+ -N濃度及び送風機動力に関しては変化が小さいことから、この中では解5を選択するのが良いと言える。このように、遺伝アルゴリズムを応用した提案法により、硝化制御設定値やその他の設定値の最適化が可能であることが示された。

4. お 結 び

本稿では“省エネルギー型窒素・りん除去下水処理制御システム”として、硝化処理の曝気風量を節減するための“硝化制御システム”と、その他の運転設定値を協調的に最適化する“最適運転支援システム”について紹介した。前者は、曝気槽内のアンモニア性窒素濃度をオンライン計測し

ながら曝気風量を制御することにより、従来よりも約10%少ない風量での硝化処理が可能である。また後者は、下水反応モデルを導入した独自の並列遺伝アルゴリズムにより、処理水質やコストといった複数の評価項目に基づいた多次元探索を行う。これにより、窒素・りんを目標値以下に抑制しながらエネルギー消費量も削減できる最適運転設定値を自動決定できるようになった。東京都内の下水処理場で行った実証実験では、従来の処理水質を維持しつつ12%の風量削減に成功した。

この報告は東京都下水道局ノウハウ+フィールド提供型共同研究「硝化制御システムの省エネルギー効果の実証調

査」の一環であり、データ収集等でご協力いただいた東京都下水道局小菅処理場の皆様に感謝の意を表す次第である。

参考文献

- (1) 中央環境審議会答申 (2000)
- (2) IWA Scientific and Technical Report No.9 (2000)
- (3) 三宮信夫, ほか: 遺伝アルゴリズムと最適化, 朝倉書店 (1998)
- (4) 玉置 久, ほか: 遺伝アルゴリズムを用いたパレート最適解集合の生成法, 計測自動制御学会論文集, 31, No.8, 1185~1192 (1995)

三菱パッケージ型オゾン・膜応用 高度浄水設備“ハイパーMAX-O₃”

田村哲也* 成原弘修*
石田稔郎* 神谷俊行**
真田欣将*

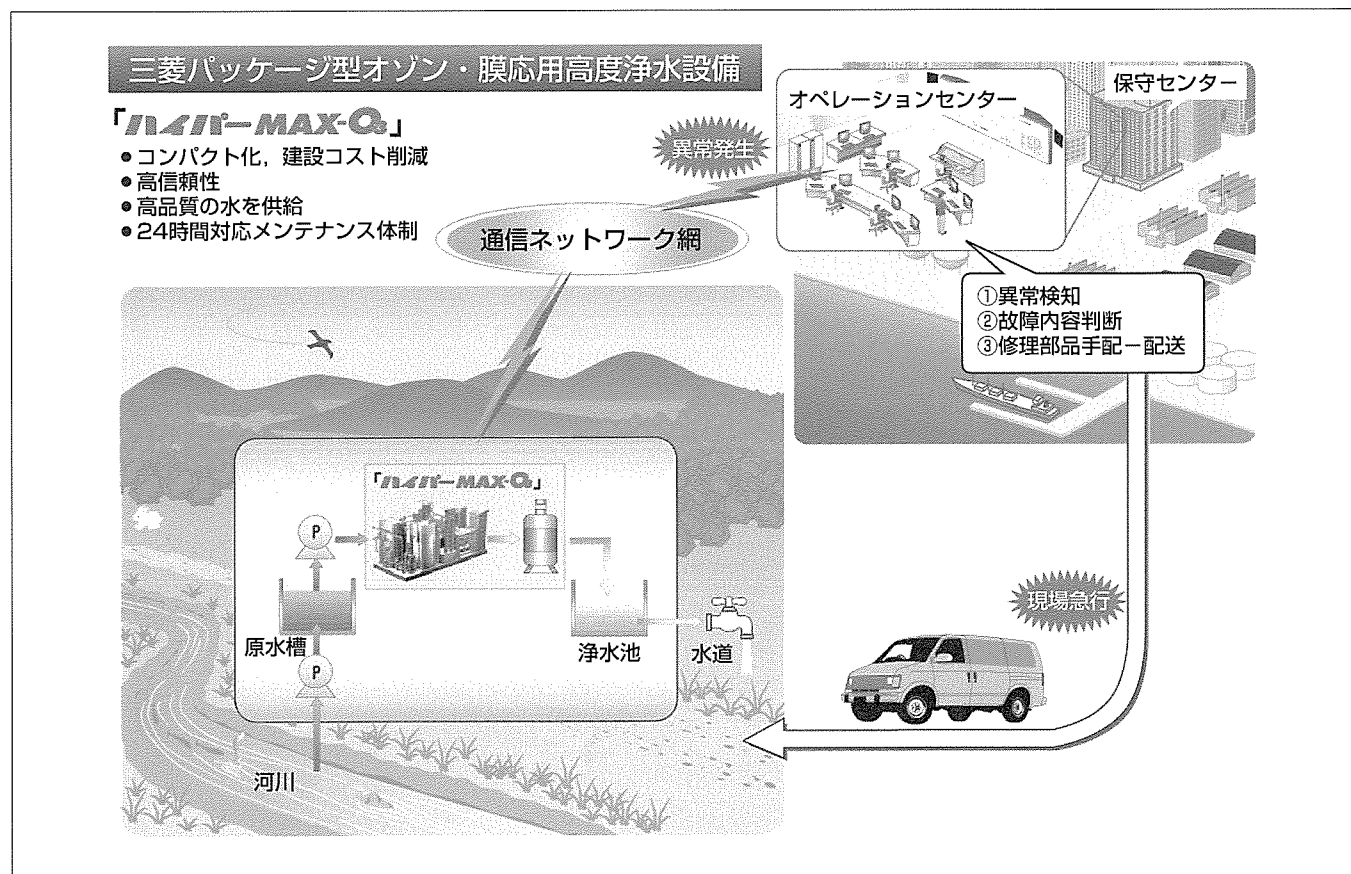
要旨

水道水に起因する病原性原虫クリプトスポリジウムによる感染症例が国内でも発生し、旧厚生省(現厚生労働省)は暫定指針により、その対策技術の一つとしてクリプトスポリジウムを物理的に除去できる膜処理設備の導入を指導している。しかし、従来の膜処理設備は膜単体のコストが高く、当該の水道事業者ではその建設費が問題となっているのが現状である。

三菱パッケージ型オゾン・膜応用高度浄水設備“ハイパーMAX-O₃”は、従来の膜処理の前段にオゾンを注入することによって膜単独処理に比べ膜の必要面積が約1/5に低減できることを利用し、建設費の大幅削減を実現した新製

品である。さらに、一般のトラック輸送を可能とするワンベース構造によるコンパクト化、工場製作による高品質を実現し、現地工事量の削減も可能としている。

また、無人運転を可能とするために最新IT(Information Technology)技術を利用した24時間リモート監視機能を搭載しており、万一、設備に異常が発生した場合、通信ネットワークを利用して送信される運転トレンド情報によって、保守センターの専門技術者が故障原因を特定し、復旧に必要な部品を持参して早急に対応することができるものである。



最新IT技術を利用した“ハイパーMAX-O₃”のリモート監視

一般に山間部など比較的的地方にある簡易水道施設に対し三菱パッケージ型オゾン・膜応用高度浄水設備“ハイパーMAX-O₃”を導入したイメージ図である。通信ネットワークを介して運転状態と各計測値を保守センターに送信し、万一の異常時にも専門の技術者が的確に状況判断を行い、確実・早急な復旧を約束する。

1. ま え が き

1996年6月、埼玉県越生町で発生した耐塩素性を持つ病原性原虫クリプトスポリジウムによる集団感染例は、全町民13,000人のうち、約8,700人が下痢、腹痛の症状を訴えたという大規模な発症例であった。これは我が国で初めて水道に起因した感染例で、原因は取水口上流への農業集落排水や観光用トイレ排水の流入によってクリプトスポリジウムが原水に混入したもので、その耐塩素性によって浄水施設での塩素消毒も効果なく、水道水にそのまま流入し、給水されたものである。

当時の厚生省はこの事態を重く見て、同年10月、「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」を策定した。

これによると、急速ろ過、緩速ろ過又は膜ろ過の導入が指導されており、いわゆる簡易水道事業体と呼ばれる小規模水道施設(給水人口が101人から5,000人以下の水道施設)に対しては、膜処理設備の導入が適切とされている。

膜処理では孔径0.1 μm 程度の樹脂製膜などを用い、直径4~5 μm 程度のクリプトスポリジウムを物理的に除去するもので、除去効果としては99.999~99.99999%(5~7 log)を確保できる。しかし、膜処理設備は比較的高価であり、建設に当たってその資金調達が問題となっている。

本稿では、耐オゾン性を持つ膜モジュールを採用し、その前段にオゾンを注入することで、処理に必要な膜面積を大幅に削減できる技術をベースとした新製品、三菱パッケージ型オゾン・膜応用高度浄水設備“ハイパーMAX-O₃”について述べる。

2. オゾンと膜の組合せについて

2.1 オゾンによる膜ろ過流束向上のメカニズム

水道原水に対し従来の膜処理を実施すると、その時間経過に従って水中の有機物に起因するスライム(粘着性の付着物)が発生し、膜表面の気孔に付着し、目詰まりを引き

起こす。通常の膜処理設備では、定期的に膜面の洗浄操作を行い、膜面の清浄度をある程度回復させることにより、所定の膜ろ過流束(単位面積当たりの透過水量、 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$)を維持している。膜処理の前段にオゾンを注入した場合、膜表面の有機物の分解を促し、常に膜面を新品同様に清浄化することができる。そのために、目詰まりがほぼ完全に防止されることで、膜ろ過流束を大幅に向上させることが可能となる。

2.2 実験装置による実証実験

2001年4月から実際の浄水場にオゾン・膜実験装置を設置し、膜ろ過流束の向上を確認した。

2.2.1 実験装置の諸元と実験条件

表1に実験装置の諸元を、表2に実験条件を示す。また図1には実験装置のフローを示す。

2.2.2 実験結果

(1) 膜ろ過流束の向上

図2は、横軸に膜面での残留オゾン濃度、縦軸に実験開始100時間経過後の膜面圧力と実験開始時の膜面圧力初期値との差をとったものである。膜面残留オゾン濃度は、0 mg/l から1.85mg/l まで変化させている(膜面残留オゾン濃度0 mg/l の場合△のみ膜ろ過流束は1.0 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ であり

表1. 実験装置の諸元

項目	諸元	
処理水量	最大12($\text{m}^3/\text{日}$)	
オゾン注入率	最大5 (mg/l)	
MF膜	要部材質	PVDF(ポリフルオロビニリデン)
	面積	2.4(m^2)
	ろ過流束	最大5.0($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$)

表2. 実験条件

項目	条件
膜面残留オゾン濃度	0~1.85(mg/l)
ろ過流束	1.0~5.0($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$)

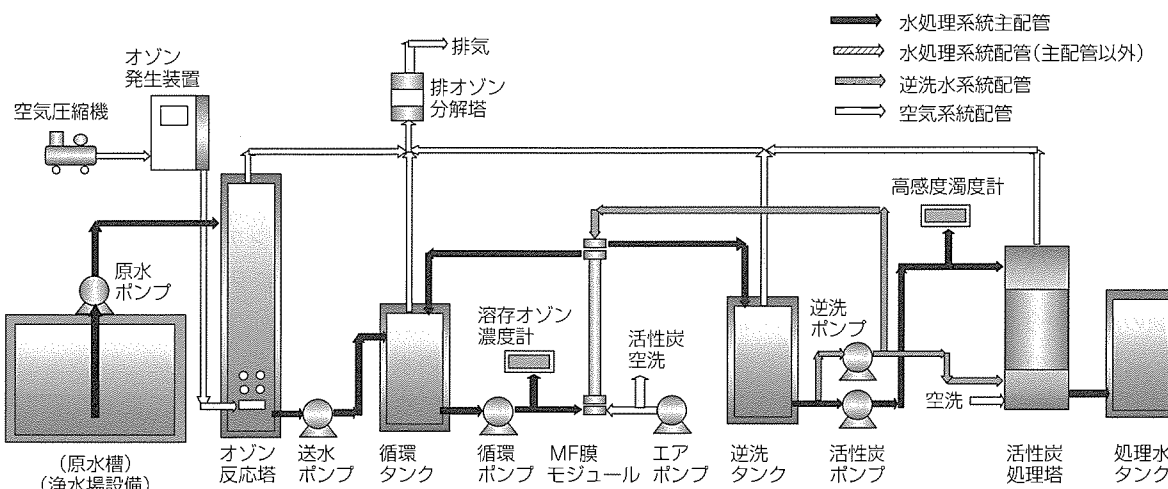


図1. 実験装置のフロー

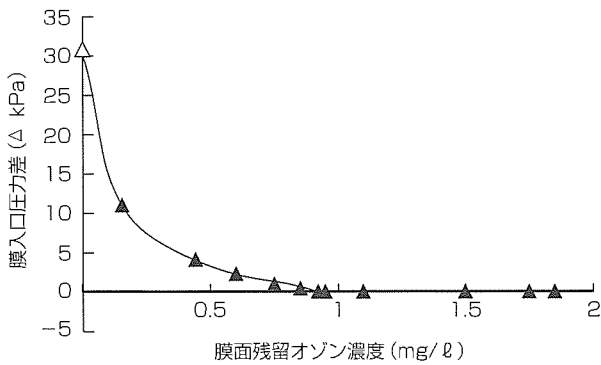


図2. 膜面残留オゾン濃度と膜入口圧力差 (目詰まりの改善効果)

り、その他▲は $5.0\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ である)。図から、膜面の残留オゾン濃度が $0\text{mg}/\ell$ の場合、時間の経過によって圧力差は初期値から 30kPa 上昇していることが分かる。しかし、残留オゾン濃度が増加するにつれて圧力差が低下し、膜ろ過流量が $5.0\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ であるにもかかわらず $0.9\text{mg}/\ell$ 付近から 0kPa となっているのが分かる。すなわち、前段のオゾン注入により、経時的な細孔の目詰まりがなくなり、膜面での圧力上昇が抑えられていることが分かる。

図3は、横軸に同じく膜面の残留オゾン濃度、縦軸に膜ろ過流量をとったものである。縦軸の膜ろ過流量は横軸の膜面残留オゾン濃度が上昇するに従って向上しているのが分かる。オゾン処理なしの膜ろ過流量 $1.0\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ は通常の膜単独設備での数値であるが、オゾン注入によって残留オゾン濃度が $0.9\text{mg}/\ell$ を超えると約5倍の膜ろ過流量が確保できているのが分かる。すなわち、膜面の残留オゾン濃度を $0.9\text{mg}/\ell$ 程度以上に維持することで、従来の膜単独処理に比べ、単位面積当たり約5倍の水量をろ過できることになり、結果として必要膜面積を約 $1/5$ とすることが可能となる。

(2) 水質改善効果

水質改善効果についても確認した。色度、過マンガン酸カリウム消費量、大腸菌群数については、通常のオゾン処理と同様に大きな低減効果が確認された。クリプトスポリジウムについては直接分析していないが、図4に示すように原水濁度にかかわらず濁質をほぼ完全に(0.05 度以下)除去できており、クリプトスポリジウムについても除去できると考える。

3. ハイパーMAX-O₃の製品概要

実証実験の結果から、従来の膜面積を約 $1/5$ にすることでオゾン設備やその他の付属設備を含めても全体として価格が低減できることが分かり、小規模水道施設をターゲットとした高度浄水設備ハイパーMAX-O₃を製品化した。

製品化に当たっての基本コンセプトは次の3点である。

(1) オプションを含めこの設備で浄水場の全機能を装備

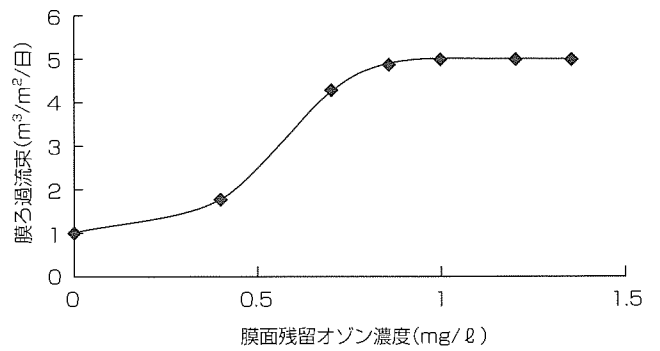


図3. 膜面残留オゾン濃度と膜ろ過流量 (膜ろ過流量の向上効果)

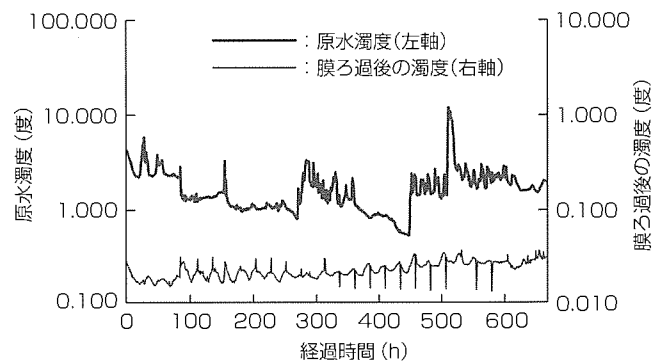


図4. 原水濁度と膜ろ過後の濁度

- (2) トラック輸送を可能とするコンパクト化
- (3) 24時間リモート監視によって故障時には迅速に対応できる無人化可能なシステム

図5にハイパーMAX-O₃のシステムフローを示す。原水は、原水ポンプによってハイパーMAX-O₃に送られる。ここでオゾン注入の後、2系列ある膜モジュールへ送水され、そのろ過水はろ過タンクを経て、活性炭処理塔を通過の後、浄水池へ送られる。

図6にハイパーMAX-O₃の製品イメージを示す。構成機器のメンテナンスは基本的に外側から実施できるように設計することや、共通機能の機器を共有することにより、設備のコンパクト化を図っている。

図7に膜モジュールの構造を示す。

この製品は、簡易水道施設におけるすべての機能を完備している。すなわち、原水を導水し、ハイパーMAX-O₃で処理後、浄水として浄水池に貯留することができる。

この製品のシリーズラインアップは処理水量 $100, 200, 400, 600\text{m}^3/\text{日}$ とし、表3にシリーズの仕様を示す。

下記にこの製品の特長を示す。

(1) 高品質の水を供給

クリプトスポリジウム除去に加え、従来の膜単独処理では除去できない色度、臭気、トリハロメタンを除去できる。さらに、膜の洗浄水中のクリプトスポリジウム除去も可能となる。

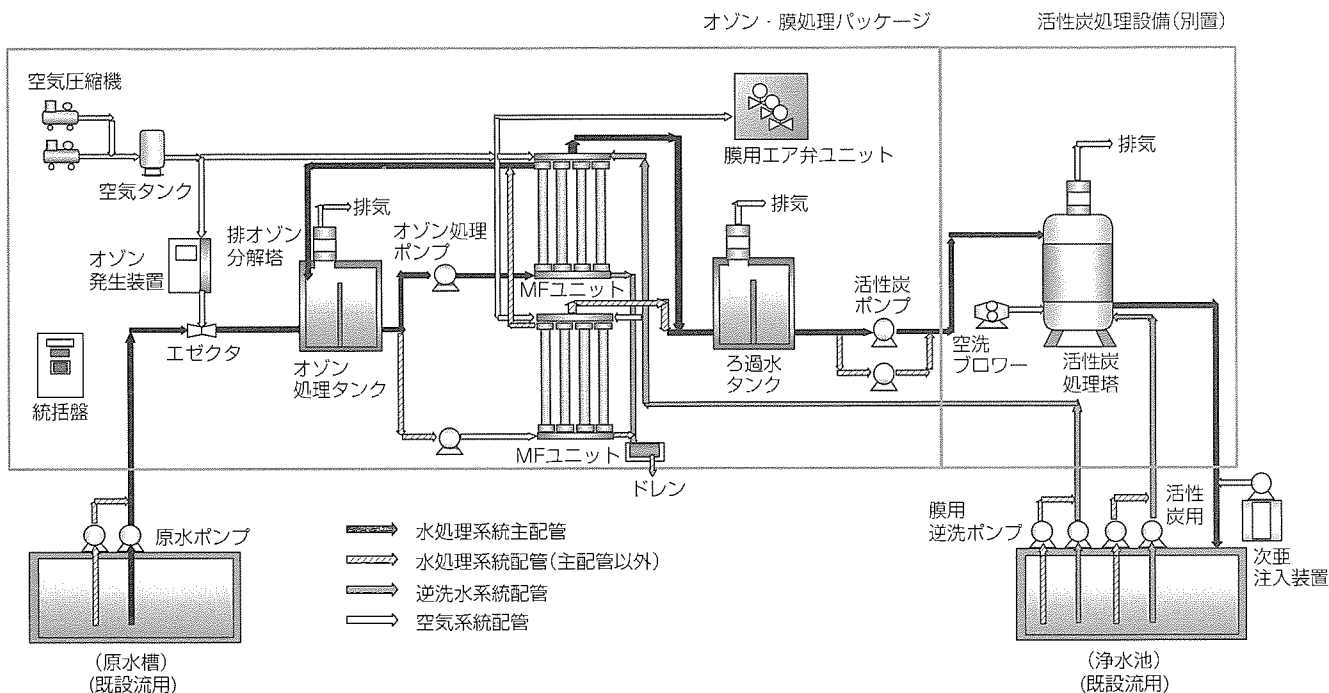


図5. ハイパーMAX-O₃のシステムフロー

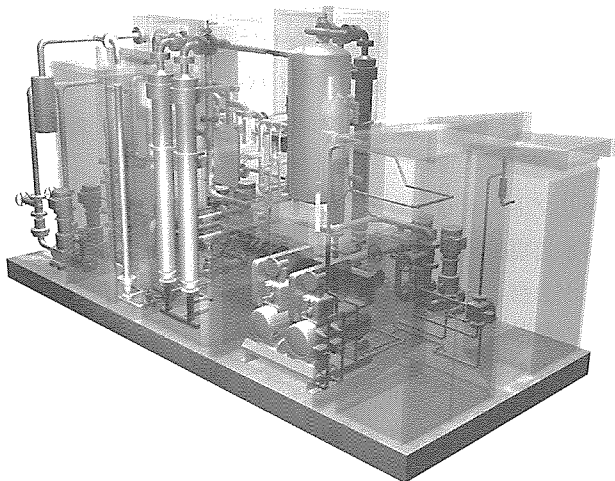


図6. ハイパーMAX-O₃の製品イメージ

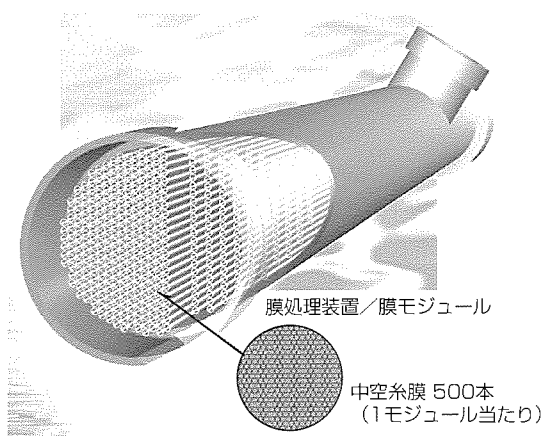


図7. 膜モジュールの構造

表3. ハイパーMAX-O₃シリーズの仕様

処理水量 (m ³ /日)	100	200	400	600
膜ろ過流束	最大5.0(m ³ /m ² /日)			
オゾン注入率	最大4.0(mg/ℓ)			
残留オゾン濃度	1.0~1.2(mg/ℓ) (膜表面)			
オゾン注入量 (g/h)	17	33	67	100
設備最大寸法 幅×高さ×長さ (m)	2.3×2.7×4.7	2.3×2.7×5.7	2.3×2.7×6.3	4.6×2.7×4.5
受電容量 (kVA)	13	17	35	42
設備総質量 (kg)	6,070	6,870	8,760	10,610

(2) コンパクト化・建設コスト削減

トラック輸送可能なワンベース一体構造を実現した。またこれにより、現地工事量を大幅削減できる。さらに、屋外設置型を標準としているため、建屋が不要となる。

(3) 高信頼性

すべての設備を工場を組み立て、工場品質を現地に直送可能である。重要部品については二重化を行い部品故障時のリスクを低減している。

(4) 豊富なオプション

原水ポンプユニット、消毒用の次亜塩素酸ナトリウム注入ユニット、送水ポンプユニット、電源ユニット等のオプションを自由に組み合わせて客先のあらゆるニーズに対応できる。

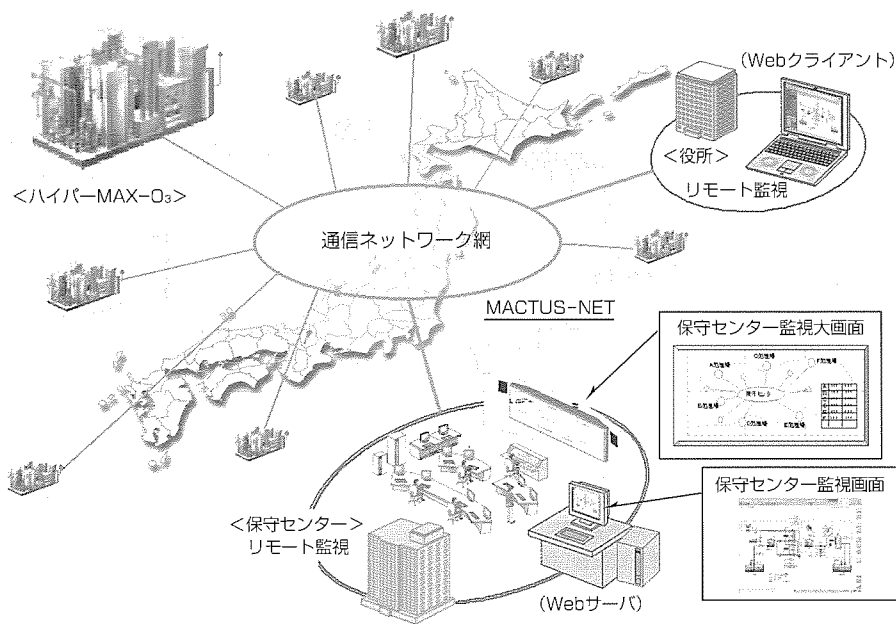


図8. リモート監視の概念

4. IT利用のリモート監視技術

図8にリモート監視の概念を示す。

比較的通信費用の安価なDopa網や特定小電力無線、50bpsの専用回線などによる通信ネットワーク網を利用し、ハイパーMAX-O₃に搭載した情報伝送システム(MACTUS-NET)により、機器の運転/停止状態、機器故障、原水水質(原水濁度)、処理水量、処理水水質(処理水濁度)などデジタル信号、アナログ信号を保守センターへ送信する。

保守センターでは、全国各地に設置・稼働しているハイパーMAX-O₃の運転状況を24時間監視している。これにより、日常のデータ分析から適切な予防保全も実現でき、また万一異常が発生した場合には、専門技術員が異常発生前の運転状況トレンドなどから故障原因を判断し、必要な部品、工具等をサービス員に指示し、現場に急行して対処できる。

さらに、必要に応じて客先でデータ参照、帳票印字など

も可能である。

5. むすび

オゾンと耐オゾン性膜の組合せによる膜処理性能向上をベースとした高度浄水設備“ハイパーMAX-O₃”の製品概要と、IT技術を利用した24時間リモート監視システムを紹介した。

クリプトスポリジウムは全国的にその存在が確認され、簡易水道事業者では、今後ますますクリプトスポリジウム対策が急務となる。

この製品はその対策の切り札として、顧客のニーズにマッチしたものであると考えられる。

参考文献

- (1) 金子光美：水道のクリプトスポリジウム対策(改訂版), ぎょうせい (1999)
- (2) 全国簡易水道協議会：水道, 3 (2002)

消化ガスを燃料とするマイクロガスタービン コジェネレーションシステム

三好英明*
谷口哲也**
小沢建樹*

要旨

エネルギーと環境とを調和させた資源循環型社会の実現に向け、下水処理場においても下水熱や消化ガス等の未利用エネルギーの有効活用が期待されている。

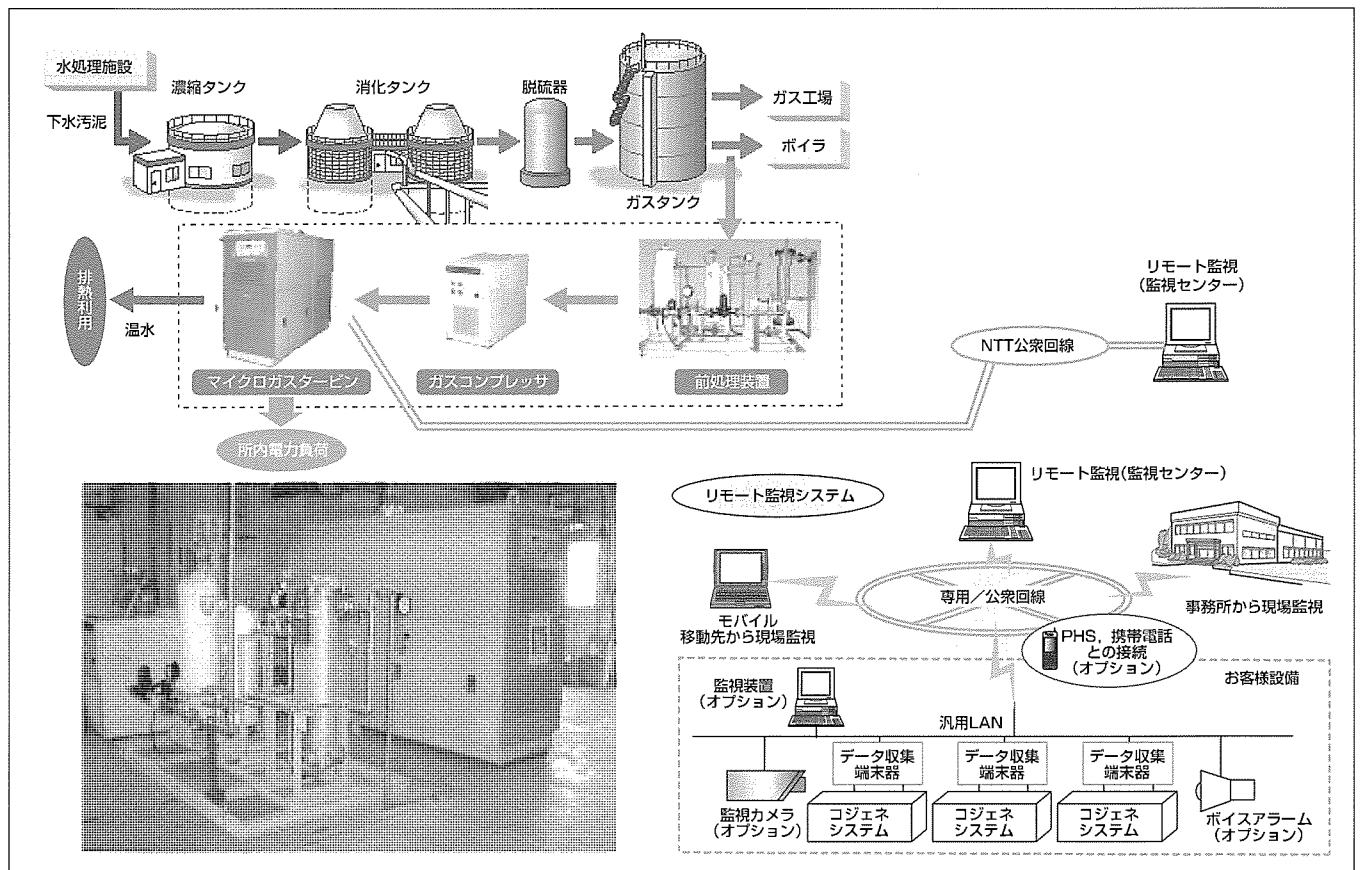
消化ガスは下水処理場で発生するエネルギーの中では大きな割合を占めているが、消化槽の加温に用いられている程度であり、必ずしも有効に活用されているとは言えない。また、ガスエンジンによるコジェネレーションによって有効活用がなされている処理場もあるが、メンテナンス費用等の問題から必ずしも普及していないのが実状である。一方、マイクロガスタービンは、その構造のシンプルさから、ガスエンジンと比較してメンテナンス費用の低減が期待されており、消化ガスを燃料とするコジェネレーションシス

テムとして今後の普及が期待される発電システムである。

そこで、消化ガスのマイクロガスタービン用燃料としての適用性の検証及び適用上の課題を明らかにすることを目的とし、北見市浄化センターの処理場内に設置し実証試験を行っている。

これまでの約4,000時間の運転実績から、消化ガスに起因する本質的な問題もなく、システムが安定に動作することを確認した。

また、実証試験設備にはマイクロガスタービンの運転状態を24時間リモート監視するリモート監視装置を設置しているが、運転データの把握と異常発生時の故障診断/技術検討に有効であった。



消化ガス仕様マイクロガスタービン(MTG-28)とリモート監視システム

消化ガス仕様マイクロガスタービン発電システムは、下水処理場で発生する消化ガスを有効活用するコジェネレーションシステムである。コジェネレーションシステムを24時間リモート監視するリモート監視装置と組み合わせることにより、監視業務の軽減と異常発生時の迅速な対応が可能となる。

1. ま え が き

地球温暖化など地球環境問題が21世紀の重要な課題となっており、エネルギーと環境とを調和させた省資源・省エネルギー型社会や資源循環型社会の実現が要請されている。

下水処理場における消費電力は国内総消費電力の約0.6%を占めており、下水道普及率の向上や高度処理の導入などにより、電力消費量が今後増大することが予想されている。このため、下水処理場においては、下水道プラントの持つ下水熱や消化ガス等の潜在的なエネルギーを有効に活用することによって地球環境問題に貢献することが期待されている。

消化ガスは、下水処理場で発生するエネルギーの中では大きな割合を占めているが、現状では消化槽の加温用燃料として用いられている程度であり、必ずしも有効に活用されているとは言えない。また、ガスエンジンによるコジェネレーションによって有効に利用されている例もあるが、メンテナンス費用の問題等から必ずしも普及はしていないのが実状である。

一方、マイクロガスタービンは、その構造のシンプルさから、ガスエンジンと比較してメンテナンス費用の低減が期待されており、消化ガスを燃料とするコジェネレーションシステムとして今後の普及が期待される発電システムである。

そこで、消化ガスのマイクロガスタービン用燃料としての適用性について検討を行うことを目的とし、2002年7月から北見市浄化センターに28kW級消化ガス利用マイクロガスタービン発電システムを設置して実証試験を行っている⁽¹⁾。実証試験設備にはマイクロガスタービンの運転状態を24時間リモート監視するリモート監視装置を設置し、運転データの把握と異常発生時の故障診断/技術検討が支援できるシステムとした。

本稿では、マイクロガスタービンの構成と特長及びリモート監視装置について紹介するとともに、消化ガスを燃料とするマイクロガスタービン発電システム実証試験の概要及びこれまでに得られた知見について述べる。

2. マイクロガスタービンの構成と特長

マイクロガスタービンは、小型軽量で環境特性に優れた小容量の発電装置で、小型分散電源としての導入が期待されている。また、排熱回収が容易で、熱利用を含めた総合効率は70%以上が期待されている。

マイクロガスタービンは、基本的には大型ガスタービンと同様の原理に基づいているが、再生サイクルの採用によって小容量でも比較的高い発電効率を維持している。また、空気軸受の採用による潤滑油関連装置の省略、発電機直結による減速機の省略等の構成によって部品点数を削減し、

信頼性・保守性が向上している。

図1にマイクロガスタービンの構成と特長を示す。

3. リモート監視装置

リモート監視装置⁽²⁾は、マイクロガスタービンのように小容量のコジェネレーションシステムをサービスセンターから24時間リモート監視するためのシステムである。

リモート監視システムの構成を図2に示す。リモート監視の内容は、設備規模、設備仕様、顧客の要望によって異なるが、監視サービスの内容は以下の三つがある。

(1) オンラインモニタ、データ収集機能

設備の運転状況は、監視センターから随時リアルタイムで監視することが可能で、グラフィック表示、カレント表示又はトレンドグラフ表示で状況を把握することができる。また、毎正時のデータを自動収集し、日報・月報・年報の帳票データとして編集し出力することができる。

(2) 異常発生への対応

設備側のデータ収集装置が設備の異常を検出すると、監視センターに対して自動で警報を発信して通知する。図3に異常発生時の一連のアクションフローを示す。

センターで警報を受信すると、監視PCサーバは、異常発生時点前後の運転データを自動収集して、警報情報と

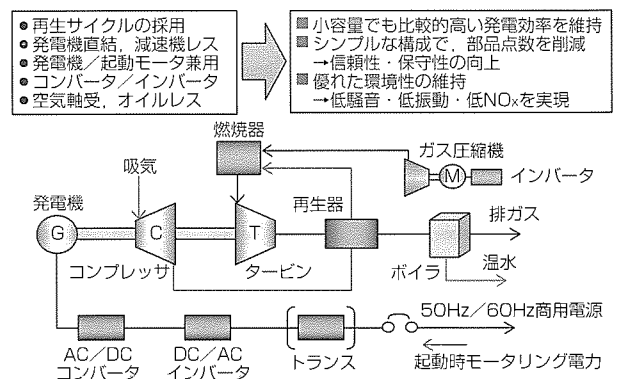


図1. マイクロガスタービンの構成と特長

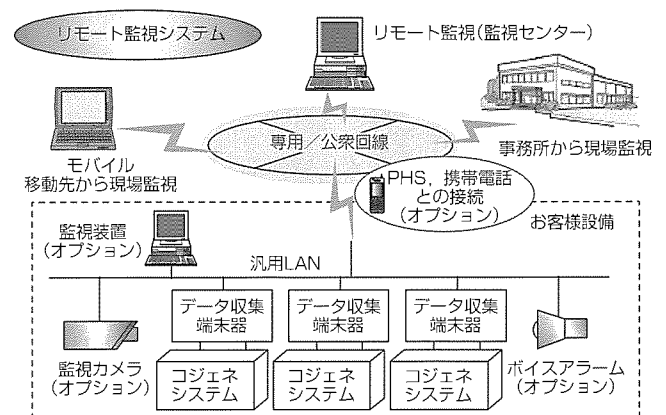


図2. リモート監視システムの構成

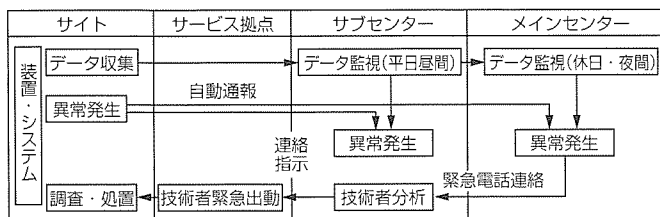


図3. リモート監視異常時の運用

もにデータベースに格納する。このデータは、担当技術者の状況分析・診断と処置検討のために、故障トレンドグラフとして表示することが可能である。また、データベースに格納・蓄積された過去のデータは、異常診断を行うための過去事例との比較検討用データとして活用される。

(3) 運転・保守サービス機能

設備の仕様、状況によっては、サービス技術者を現地に派遣せず、遠隔からの制御設定値の変更、起動・停止操作、リポート操作等が許される場合がある。顧客の要望に応じてこれらのサービスに対処できるように、分散電源コジェネレーションシステムのリモート監視システムには遠隔運転・制御機能を具備することが可能である。マイクロガスタービン設備に対しては、故障・復旧動作の確認等のため、遠隔からの起動・停止及びリポート操作機能を標準装備している。

4. 実証試験の概要

4.1 試験目的

消化ガスは、発熱量が天然ガス系都市ガスの約1/2程度と低く、ガス組成(発熱量)も変動し、また有害な不純物成分を含むなど、マイクロガスタービン用燃料として適用するためには幾つかの解決すべき課題がある。そこでこの実証試験では、消化ガスのマイクロガスタービン用燃料としての適用性の検証及び適用上の課題を明らかにすることを目的とし、以下の検証項目を設定した。

- (1) 消化ガスによる安定動作の検証(目標運転時間:8,000時間)
- (2) 消化ガス仕様機器(前処理装置, ガスコンプレッサ)の安定動作の検証
- (3) 発電効率, 排熱回収率の確認(設計値との比較検討)

4.2 実証試験設備の基本仕様

実証試験設備の基本仕様を表1に示す。また、外観及びシステムフローを図4及び図5に示す。

実証試験設備は、28kW級マイクロガスタービン本体と排熱回収装置とをパッケージ化したマイクロガスタービンコジェネレーションシステムパッケージ⁽³⁾(商品名:マイクロエコターボMTG-28)、消化ガス中の不純物を除去する前処理装置、燃料を所定の圧力に加圧するガスコンプレッサ等から構成されている。また、マイクロガスタービン

表1. 実証試験設備の基本仕様

項目	仕様
定格出力	28kW 発電端(吸気温度15℃)
電圧	200V 三相3線式
周波数	50Hz
発電効率	26% LHV, 発電端(吸気温度15℃)
熱出力	54kW 温水(60/70℃)
総合効率	74~79%
外形寸法	(W)790×(L)2,500×(H)1,850 (mm)
質量	1,600kg

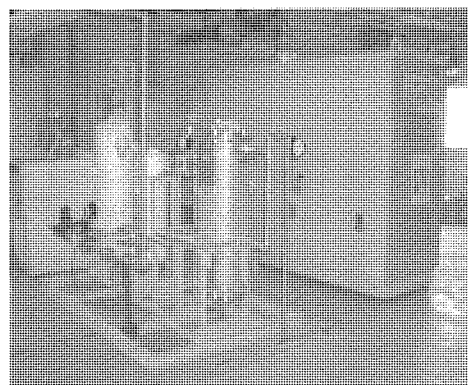


図4. 実証試験設備の外観

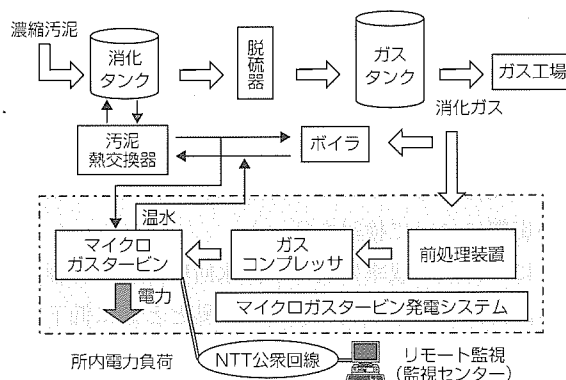


図5. 実証試験設備のシステムフロー

の運転状態を24時間リモート監視するリモート監視装置を設置し、万一故障した場合でも迅速に対応できるシステムとした。なお、マイクロガスタービンの排熱は既設の温水系統に接続し、消化タンクの加温に用いた。

4.3 実証試験結果

(1) 運転実績

実証試験設備は、2001年7月末に据付け・調整を完了し、7月30日に初発電を実施した。10月中旬まで単独運転(抵抗負荷)による調整運転を行った後、系統連系運転による24時間連続運転試験に移行した。

表2に運転実績を示す。累積運転時間は4,090時間で、平均負荷は26.6kWである。この間、消化ガスに起因する本質的な問題もなく、システムが安定に動作することを確認した。

表 2. 実証試験設備の運転実績

項目	内容	備考
1. 初発電	2001年7月30日	
2. 運転モード	●7月30日～10月9日 : 単独運転(抵抗負荷) ●10月18日～ : 系統連系運転	8時間/日 24時間連続
3. 運転実績	●累積運転時間 : 4,090h ●累積発電電力量 : 108,800kW・h	2002年 6月30日現在

(2) 発電効率に及ぼす吸気温度の影響

マイクロガスタービンでは、発電効率に対し吸気温度の影響があることが知られている。そこで、実運転状態での室内温度変化に伴う発電効率への影響を検討した。

図 6 に、発電出力、燃料流量及び発電効率に及ぼす吸気温度の影響を示す。図から、発電出力は吸気温度が約25℃付近までは吸気温度の影響は小さいが、それ以上では温度上昇とともに発電出力が低下することが分かる。また、燃料流量も約25℃付近までは吸気温度上昇とともに増加するが、それ以上では飽和する傾向が認められる。その結果、発電効率は吸気温度の上昇とともに低下し、図中に示す近似式が成立する。この近似式を用いて設計温度15℃における発電効率を求めると26.1%と設計値と一致することが確認された。

(3) 排熱回収率に対する温水回収温度の影響

今回の実証プラントでは、排熱回収仕様は温水入口温度60℃、温水出口(回収)温度70℃としたが、処理場内のボイラの運転状態によって出口温度が影響を受け、約60℃から80℃まで変化した。そこで、排熱回収率に及ぼす温水回収温度の影響について検討を行った。

図 7 に、排熱回収率に及ぼす温水回収温度の影響を示す。図から、排熱回収率は出口温度の上昇とともに低下することが分かる。

出口温度の設計値70℃における排熱回収率を求めると52%となり、設計値(50%)を満足していることを確認した。

5. む す び

消化ガスのマイクロガスタービン用燃料としての適用性の検証と適用上の課題を明らかにすることを目的とし、実際の下水処理場で実証試験を行っている。これまでに、約4,000時間の運転実績から以下の結果が得られた。

- (1) 消化ガスに起因する本質的な問題もなく、システムが安定に動作することを確認した。
- (2) 発電効率及び排熱回収率がほぼ設計値を満足することを確認した。
- (3) 運転性能に及ぼす吸気温度等の影響に関する知見が得られた。

今後、今回の実証試験の結果を受け、消化ガスを燃料とするマイクロガスタービンコージェネレーションシステムの実用化を推進する所存である。

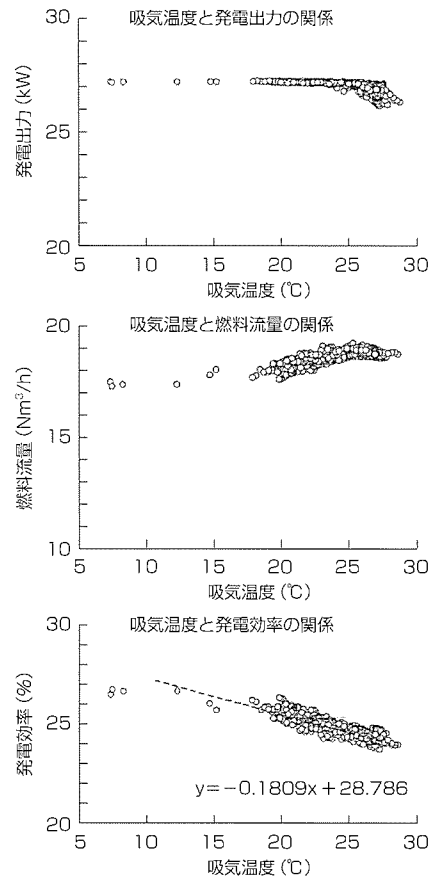


図 6. 発電出力・燃料流量及び発電効率に及ぼす吸気温度の影響

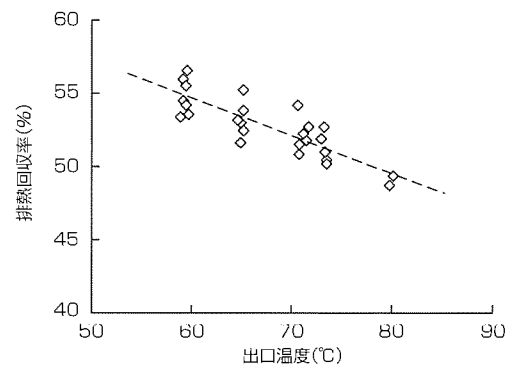


図 7. 排熱回収率に及ぼす温水回収温度の影響

参考文献

- (1) 松本紀明, ほか: 消化ガス利用マイクロガスタービンの実証試験, 再生と利用, No.94, 64 (2002)
- (2) 田中 節, ほか: 三菱コージェネレーションシステムの遠隔監視システム, 三菱電機技報, 75, No.9, 599~604 (2001)
- (3) 末吉義雄, ほか: マイクロコージェネレーションシステム“マイクロエコターボMTG-28”の応用システム, 三菱電機技報, 75, No.9, 583~586 (2001)

完全固体高集光高出力・波長変換レーザー

小島哲夫*
古田啓介**
竹中裕司*

要 旨

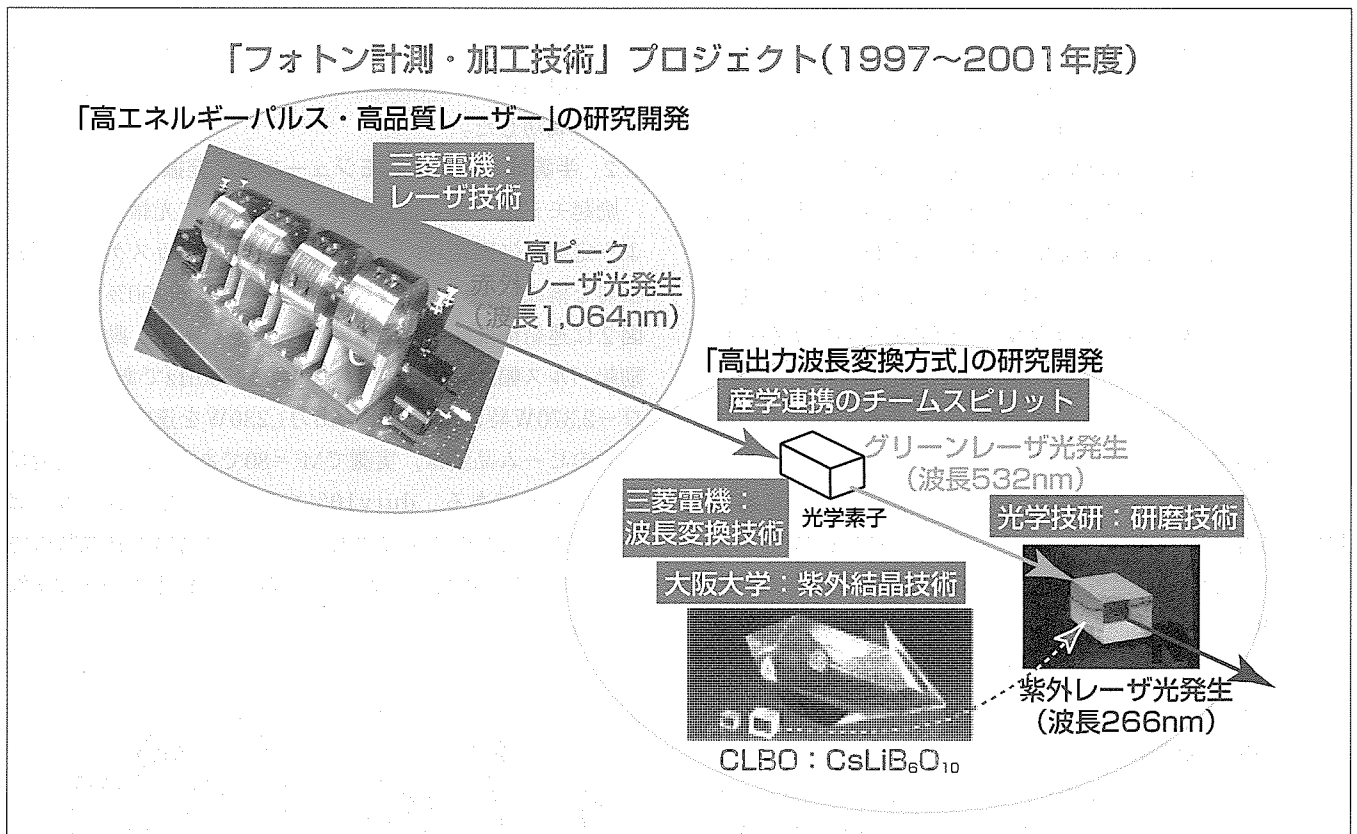
三菱電機では、1997年度から2001年度まで経済産業省主導で実施された「フォトン計測・加工技術」プロジェクトに参画し、レーザー出力、発振効率、集光性、いずれにも優れた完全固体化レーザーによる「高エネルギーパルス・高品質レーザー」の研究開発、及びこの完全固体化レーザーを基本波レーザーとして紫外光(4倍高調波)を発生する「高出力波長変換方式」の研究開発を進めてきた。その結果、パワー加工と精密加工を両立させるツールとして、赤外から紫外までの広い波長範囲で高集光・高効率発振が可能な半導体レーザー(LD: Laser Diode)励起完全固体化レーザーを開発した。

「高エネルギーパルス・高品質レーザー」の研究開発では、産業用途に必要なレーザー出力と効率(平均出力1kW、ピ

ーク出力10kW、発振効率23%)を満たしながら、集光スポット径40 μ mというCO₂レーザーの物理限界を超える集光性を実現した。

また、「高出力波長変換方式」の研究開発では、この固体レーザーから出射した赤外レーザー光を波長変換して、固体グリーンレーザーの1方向世界最高出力217Wを発生させた。さらに、紫外光発生においては、大阪大学、(株)光学技研と産学連携チームを組み、このグリーンレーザー光に高品質CLBO(CsLiB₆O₁₀)結晶を用いた波長変換を適用することにより、固体紫外レーザー(波長266nm)の世界最高出力42Wの発生に成功した。

今後、このプロジェクトの成果を基に、次世代の産業用レーザー加工ツールを目指した製品化開発を行う予定である。



「フォトン計測・加工技術」プロジェクトにおける研究開発内容

「高エネルギーパルス・高品質レーザー」の研究開発においては、三菱電機が高ピーク赤外レーザー光の発生を担当した。「高出力波長変換方式」の研究開発においては、三菱電機、大阪大学、光学技研の産学連携チームを作り、大阪大学が紫外発生用波長変換結晶セシウム・リチウム・ボレート(CLBO: CsLiB₆O₁₀)の高品質育成方式の開発、光学技研がCLBOの高品質研磨技術の開発、三菱電機は高出力波長変換方式の開発をそれぞれ担当した。

1. ま え が き

自動車産業を中心とした生産ラインにおいて、溶接用途を主体に、高出力固体レーザーの本格稼働が開始しつつある。YAGレーザーを代表とする固体レーザーは、発振波長が1 μ m近傍であり、光ファイバによるビーム伝送が可能になる。光ファイバと多軸ロボットとの組合せにより、レーザー加工のフレキシビリティは著しく向上する。現在、光ファイバによるビーム伝送が、加工用レーザーの主流であるCO₂レーザーとの差別化を図る上で最大の理由となっている。また、高い集光性を必要とする波長変換光源への適用が可能であるため、IT (Information Technology), FMT (Fine Manufacturing Technology), NT (Nano Technology) 産業において、不可欠な製造ツールになるものと予想される高出力可視、紫外レーザー実現への展望も開くことができる。

このような背景の下、当社では、経済産業省主導で平成9年度から開始した「フォトン計測・加工技術」プロジェクト(以下「フォトンプロジェクト」という。)に参画し、「高エネルギーパルス・高品質レーザー」と「高出力波長変換方式」の研究開発を進めてきた。高エネルギーパルス・高品質レーザーの研究開発における当社の最終目標は、平均出力1kW、発振効率20%、加工点におけるビーム集光径50 μ m以下の同時達成である。ビーム集光径に対する最終目標値は、従来の市販レーザーに比べおおむね10分の1に相当する。したがって、光強度は約二けた増加することとなり、加工性能の飛躍的な向上が期待できる。一方、「高出力波長変換方式」の研究開発では、最終目標は上述の完全固体化レーザーを基本波として高出力2倍高調波を発生させ、さらに高出力4倍高調波を発生する方式を確立することにある。従来から、産業界からは加工精度・加工効率の向上が期待できる波長266nmの紫外レーザー光発生が望まれた。しかし、フォトンプロジェクト発足当時は、この紫外領域では産業的に耐える結晶が存在しなかった。この問題を打破するため、大阪大学が新結晶CLBOを発明し、日本初の世界最高レベルの結晶が出現したが⁽¹⁾、この結晶を用いても紫外レーザー出力は10Wレベルでの飽和が見られ⁽²⁾~⁽⁴⁾、CLBO結晶高品質化のための技術開発が必要であった。当社は、フォトンプロジェクトにおいて、CLBOを発明した大阪大学と世界最高の結晶研磨技術を持つ(株)光学技研と産学連携のフォーメーションを組み、高出力波長変換技術の研究開発を実施した。

本報では、「高エネルギーパルス・高品質レーザー」と「高出力波長変換方式」の研究開発における最終成果、及び最終成果達成までに得られた各成果について述べる。

2. 高エネルギーパルス・高品質レーザー技術

2.1 半導体レーザー励起モジュール

図1に励起モジュールの構成を示す。固体レーザー媒質であるNd:YAGロッドを拡散反射集光器で囲み、スタック型LDの幅広い発光部から射出した励起光をウェッジレンズによって集光し、拡散反射集光器内に導入する。LD遅軸とロッド光軸を平行に配置する構成としているため、励起光は媒質に対しP偏光で入射する。この結果、媒質表面における励起光反射率を低減させ、励起効率の向上を図ることができる。励起光はウェッジレンズによってLD遅軸方向のみ集光し、ビーム広がり角の大きな速軸方向については平行平面間の内部全反射を利用し励起光を伝送する。ウェッジレンズはスリット状の出射開口を持つため、集光器による励起光閉じ込め効果を低下させることなく95%以上の励起光伝送効率を実現している。また、集光器は拡散反射面で構成されているため、ロッド型媒質内において均一な励起密度分布が形成される⁽⁵⁾⁽⁶⁾。均一な励起密度分布は、ロッド型媒質内に発生する熱複レンズ解消の観点から、高品質ビームの発生には不可欠な要素である⁽⁷⁾。

この励起モジュールの単体試験を実施し、マルチモード発振特性を取得した。試験時の共振器構成は、平面ミラーを用いた対称安定型で、透過率20%の部分反射ミラーを使用した。動作条件は、励起パルス幅200 μ s、繰り返し周波数500Hzとした。定格入力であるLDパワー600Wにおける励起モジュールの平均出力は320Wで、ビーム品質は実測でM²=100程度であった。電気-光変換効率は28%であり、LD励起固体レーザーにおいては世界最高の効率で発生することに成功した。

2.2 半導体レーザー励起モジュール連結発振

励起モジュール4台を機械精度によって光軸が一致するよう定盤上に固定し、平面ミラーを用いてカスケード型共振器を構成した。部分反射ミラーの透過率は50%とした。図2に連結構成時の出力及び効率特性を示す。動作条件は、励起パルス幅200 μ s、繰り返し周波数500Hzである。LDパワー2,370W時に、最高平均出力1,230Wを達成した。レーザー光のビーム品質は、実測でM²=80であった。光-光変換効率は52%である。duty10%で動作させているため、ピーク出力は12kW以上に達している。最高出力到達時の電気入力4,700Wであったため、電気-光変換効率は26%に相当する。

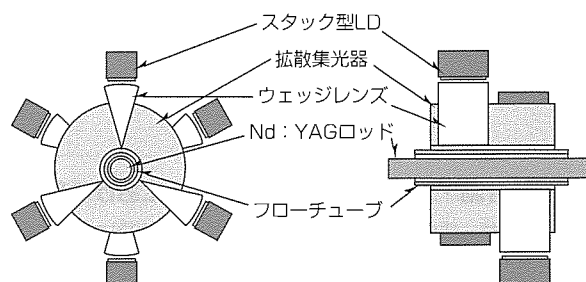


図1. 励起モジュールの構成

2.3 熱複レンズ補償型共振器の等価連結

最終目標を達成するため、熱複レンズ補償型共振器の等価連結を行うことにより、出力1kW以上、効率20%以上を維持しながら高ビーム品質化を図った。

熱複レンズ補償型共振器は、対称安定型共振器と均一励起された2本のロッド型媒質の間に配置した90°偏光回転子で構成し、安定に高品質ビームを発生することが可能である⁽⁷⁾⁽⁸⁾。共振器等価連結とは、適切な焦点距離の結合レンズを使用し複数の共振器を直列に連結する技術で、共振器の固有モードを一定に保ちながら高出力化を図ることが理論的に可能である。

図3に平面ミラーを用いた熱複レンズ補償型共振器の等価連結構成を示す。熱複レンズ補償型共振器を平面ミラーで構成した場合には、結合レンズが不要となるため、より簡易な構成の下で共振器の等価連結が可能になる。また、二つの共振器の間に部分反射ミラーを配置すれば、一方の熱複レンズ補償型共振器を発振器として使用し、もう一方の共振器を増幅器として使用するMOPA (Master Oscillator Power Amplifier)を構成することができる。MOPA構成では、共振器中に配置するレーザ媒質の数を低減することが可能になるため、熱レンズのばらつきに起因する共振器動作の不安定性を軽減することができる。

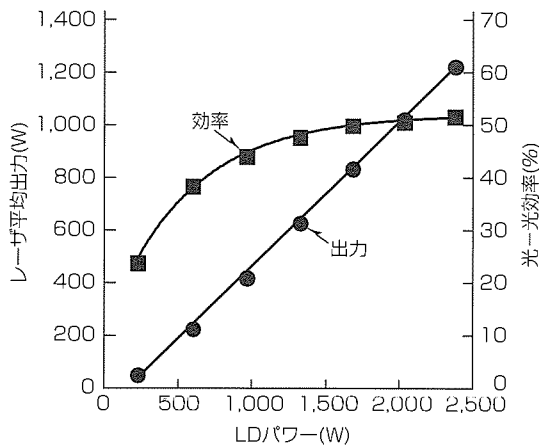


図2. 励起モジュール4台連結時の出力・効率特性

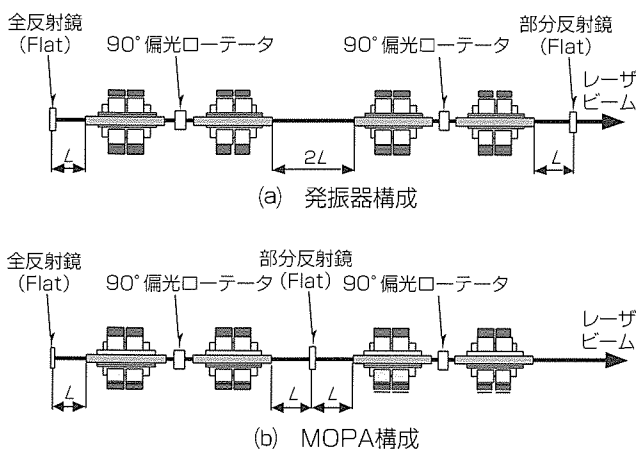


図3. 平面ミラーによる熱複レンズ補償型共振器の等価連結構成

熱複レンズ補償型共振器の等価連結による高ビーム品質・高出力発生を実施した。発振器連結構成時の出力特性を図4に示す。動作条件は、励起パルス幅400 μ s、繰り返し周波数250Hzである。電気入力に対し、出力はほぼ直線的に増加している。電気入力4,530W時に最大レーザ出力1,050Wが得られた。電気-光変換効率は23%である。最大出力時のLDパワーは2,280Wであり、光-光変換効率は46%に相当する。繰り返し周波数250Hz、duty10%で動作させているため、パルスエネルギーは4.2J、ピーク出力は10kW以上に達している。最大出力発生時のビーム品質は実測で $M^2=8.0$ であった。出力、電気-光変換効率は最終目標を上回る値であり、ビーム品質に関しても、50 μ m以下の集光径を得るために十分な性能を持つものである。

図5にMOPA連結構成時の出力特性を示す。動作条件は発振器連結時である。電気入力4,530W時に最大レーザ出力1,010Wが得られた。電気-光変換効率は22%である。最大出力時のLDパワーは2,280Wであり、光-光変換効率は44%に相当する。発振器構成時に比べ、約4%出力が低下するものの、出力、効率ともに最終目標を上回る値であ

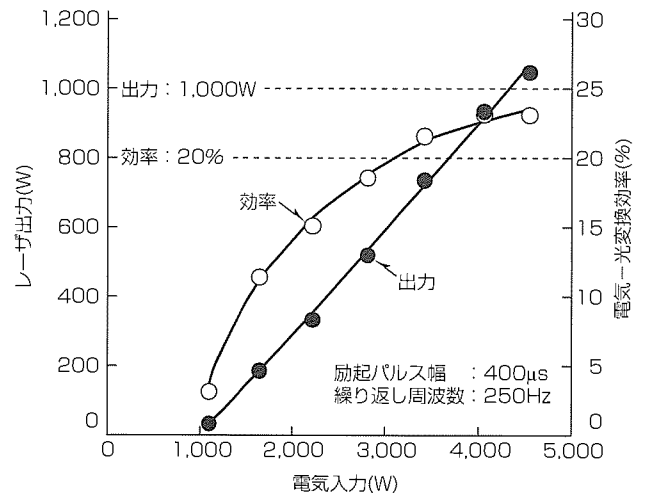


図4. 発振器連結構成時の出力・効率特性

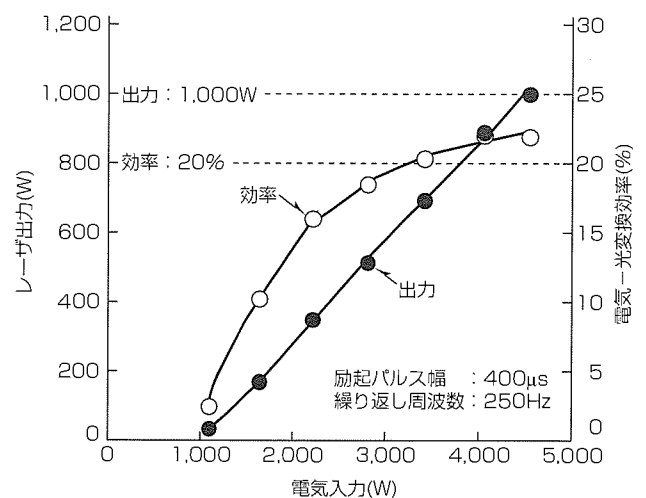


図5. MOPA連結構成時の出力・効率特性

る。最大レーザ出力時のビーム品質は実測で $M^2=9.0$ であった。

2.4 ビーム集光試験

熱複レンズ補償型共振器の等価連結により、最大レーザ出力1.050Wを、電気-光変換効率23%、ビーム品質 $M^2=8$ で得ることに成功した。最終目標の達成を確認するため、集光ビーム径の測定を行った。

有効N.A.(Numerical Aperture)が0.2の集光レンズを用いて集光した集光点におけるビームプロファイルをCCDカメラの撮像面上におよそ倍率1:100で拡大転写して測定した結果を図6に示す。集光点における $1/e^2$ ビーム直径はおよそ $40\mu\text{m}$ であり、最終目標であるビーム径 $50\mu\text{m}$ を上回る集光性能を確認することができた。

さらに、加工特性を検証するため、厚さ1mmの銅板を用いて穴あけを試みた。集光光学系については、上記ビーム径測定時と同一である。

図7に加工結果を示す。ビームプロファイルと同じく、直径約 $40\mu\text{m}$ のほぼ真円に近い貫通孔を形成することができた。以上の結果をもって、フォトンプロジェクトの「高エネルギーパルス・高品質レーザー」の研究開発における最終目標である出力1kW、発振効率20%、加工対象物上での集光径 $50\mu\text{m}$ 以下の同時達成を確認した。

3. 高出力波長変換技術

3.1 超高出力2倍高調波発生

ここでは、超高出力Qスイッチ赤外レーザ(波長 1.064nm)

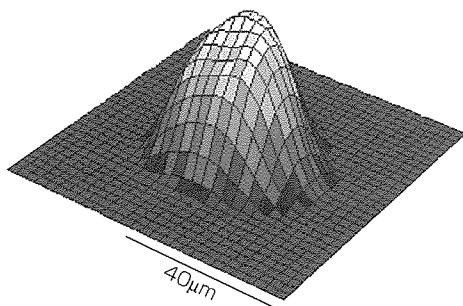


図6. 集光ビームプロファイル

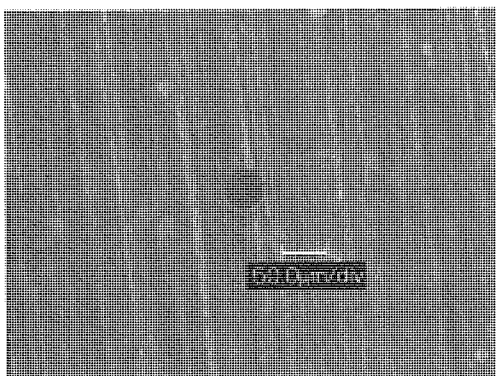


図7. 微細孔あけ加工結果

を光源とし波長変換結晶を用いた波長変換によって2倍高調波(波長 532nm)を発生させた試験について述べる。

超高出力2倍高調波発生の試験構成を図8に示す。超高出力Qスイッチ赤外レーザは図3(b)のMOPA構成のNd:YAGレーザをQスイッチパルス化したレーザであり、最大平均パワー約1kW、ビーム品質 $M^2=9$ のランダム偏光赤外レーザビームを発生する。MOPA構成の赤外レーザを光源として採用したことから、波長変換結晶LBO(LiB_3O_5)結晶を赤外レーザの外部に配置する外部波長変換方式で行った。このLBO結晶は、タイプII位相整合方向でカット、研磨され、損傷を避けるためコーティングは施されていない。また、LBO結晶は、温調器上に配置され、室温付近の一定温度に保たれて使用される。

超高出力Qスイッチ赤外レーザから発せられた赤外レーザビーム(基本波ビーム)は、レンズで集光され、LBO結晶に入射される。LBO結晶から発せられた2倍高調波ビームは、レンズでコリメートされた後、基本波反射・2倍高調波透過ミラーにより、基本波ビームと分離されて、パワーメータに入射される。

図9に超高出力Qスイッチ赤外レーザ出力に対する2倍高調波出力特性を示す。横軸は赤外レーザの平均パワー(赤外レーザパワー)、縦軸はLBO結晶によって2倍高調波に波長変換されたグリーンレーザの平均パワー(グリーンレーザパワー)である。

入出力特性は、パルス繰り返し周波数 10kHz と 8kHz の2種類で取得した。繰り返し周波数 10kHz においては、グリーンレーザパワーの最大値は 189W であり 200W に満たなかったが、繰り返し周波数を 8kHz に下げると赤外レーザの

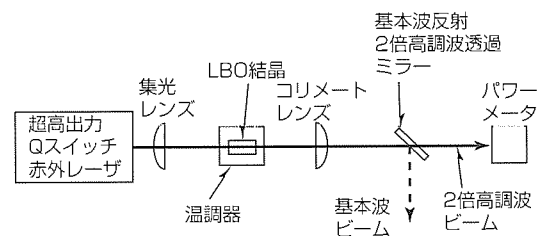


図8. 超高出力2倍高調波発生の試験構成

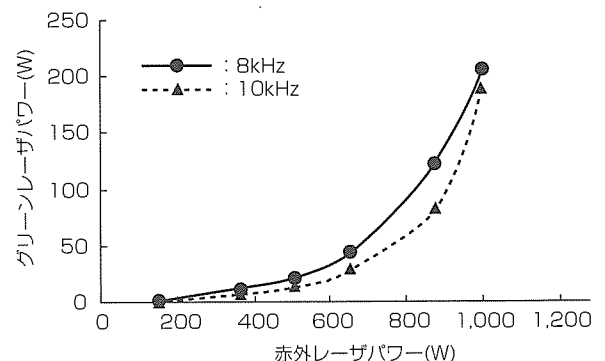


図9. 超高出力2倍高調波の入出力特性

ピークパワーを上げることにより、LBO結晶による波長変換効率が上昇し、グリーンレーザパワーの最大値206Wという200Wを超えるグリーンレーザパワーが得られた。

次に、LBO結晶に入射する赤外レーザパワーを995～999Wの範囲でほぼ一定とし、パルス繰り返し周波数に対するグリーンレーザパワーとパルス幅の変化を測定した。

図10にパルス繰り返し周波数に対するグリーンレーザパワーとパルス幅の変化を示す。パルス繰り返し周波数が低いほど波長変換効率が高くなり、高出力のグリーンレーザビームが発生する。パルス繰り返し周波数7kHzのときにグリーンレーザパワーの最大値217Wが得られた。この値は、現在我々が知るところ、全固体レーザで1方向に得られたグリーンレーザパワーの世界最高値である⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

3.2 超高出力4倍高調波発生

前述の超高出力2倍高調波を光源とし、波長変換結晶によって4倍高調波(波長266nm)紫外光を発生した。

超高出力4倍高調波試験に用いた構成を図11に示す。光源として、前述の超高出力2倍高調波(超高出力グリーンレーザ)を用いた。紫外光発生用波長変換結晶としては高品質CLBO結晶を用いた。高品質CLBO結晶は、大阪大学が結晶高品質・均一化のために開発した新結晶育成方法である溶液攪拌(かくはん)法によって育成され⁽¹¹⁾、光学技研の新素子化技術である低湿度研磨技術(Ultra-Low-moisture Polishing ENvironment technology: ULPEN)によって素子化された結晶である。CLBO結晶は、Type-I位相整合4倍高調波発生方向に切り出し、端面研磨を行

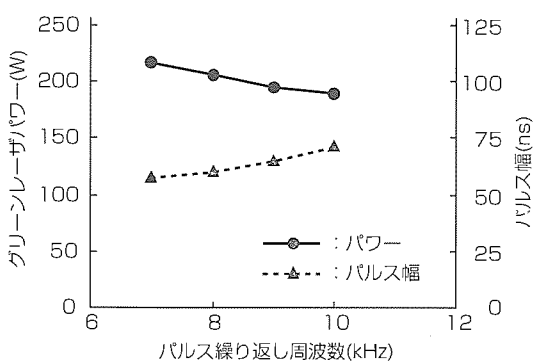


図10. グリーンレーザパワーの繰り返し周波数特性 (入射赤外レーザパワー：約1kW)

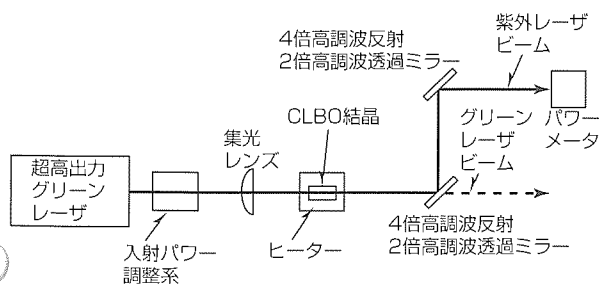


図11. 4倍高調波超高出力化試験構成

い、端面にコーティングは施しておらず、断面は6mm×6mm、長さは15mmである。また、CLBO結晶は、吸湿による劣化を防ぐためオープンに入れ、140℃で用いた。超高出力グリーンレーザは一定出力で動作させ、λ/2板と偏光ビームスプリッタからなる入射パワー調整系により、CLBO結晶への入射ビーム径を一定としたまま、CLBO結晶へのグリーンレーザパワーを調整した。発生した4倍高調波紫外レーザビームは、2枚の4倍高調波反射・2倍高調波透過ミラーにより、グリーンレーザビームと分離された後、パワーメータで平均パワーを測定した。

CLBO結晶へのグリーンレーザの集光ビーム半径を0.67mmとした場合のCLBO結晶へ入射するグリーンレーザパワーに対する4倍高調波紫外レーザパワーを図12に示す。パルス繰り返し周波数は7kHzである。得られた紫外レーザパワーの最大値は36.3Wであった。

さらに、波長変換効率を高めるため、図11に示したCLBO結晶の後方に2個目の長さ15mmのCLBO結晶を配置し、4倍高調波紫外レーザパワーの高出力化を試みた。CLBO結晶へのグリーンレーザの集光ビーム半径は0.74mmとした。

図13に、パルス繰り返し周波数7kHzにおけるCLBO結晶へ入射するグリーンレーザパワーに対する4倍高調波紫外レーザパワーを示す。得られた紫外レーザパワーの最大値は41.7Wであった。これにより、4倍高調波出力の世界

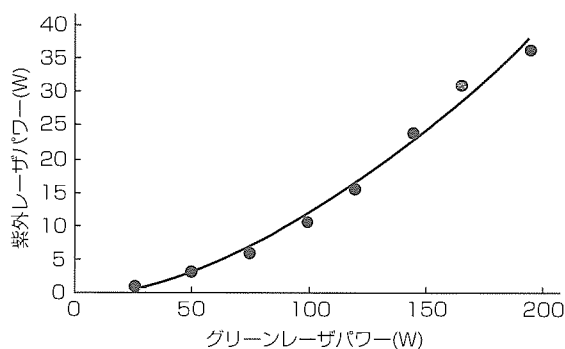


図12. 超高出力4倍高調波の入出力特性(繰り返し周波数7kHz, 入射グリーンレーザビーム半径0.67mm)

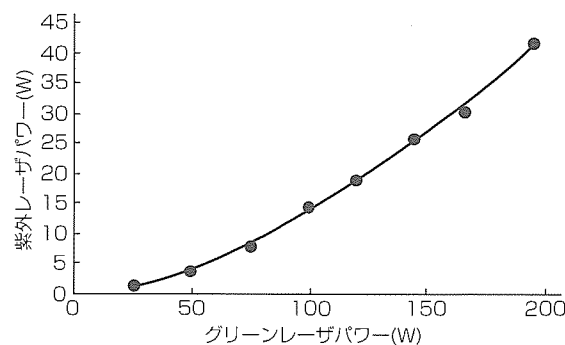


図13. CLBO結晶2個による超高出力4倍高調波の入出力特性(繰り返し周波数7kHz, 入射グリーンレーザビーム半径0.74mm)

記録23Wを平均出力41.7Wまで再更新することができた。

4. む す び

フォトン計測・加工技術プロジェクトに参画し、「高エネルギーパルス・高品質レーザー技術」及び「高出力波長変換技術」の研究開発を実施した。

「高エネルギーパルス・高品質レーザー」の研究開発においては、熱複レンズ補償型共振器の等価連結を実施し、平均出力1,050W、ビーム品質： $M^2=8.0$ のレーザー光を、電気-光変換効率23%で発生するとともに、集光ビームプロファイルを実測することにより、約40 μm のビーム径を確認した。これにより、フォトンプロジェクトの最終目標である平均出力1kW、発振効率20%以上、加工対象物上での集光径50 μm 以下をすべて達成した。

「高出力波長変換方式」の研究開発においては、全固体レーザーで1方向に得られたグリーンレーザーパワーの世界最高値となる2倍高調波出力217Wを発生することに成功した。また、大阪大学及び榑光学技研との産学連携により、4倍高調波出力の世界記録である紫外レーザーパワー41.7Wを発生することに成功した。これにより、フォトンプロジェクトの最終目標である完全固体化レーザーを基本波として高出力2倍高調波を発生させ、さらに高出力4倍高調波を発生する方式の確立を達成した。

今後は、フォトンプロジェクトで得られた技術成果を基に、実用試作機開発とともに各種サンプル加工を行い、製品化を進める予定である。

この研究開発の一部は、経済産業省の産業科学技術研究開発制度に基づく「フォトン計測・加工技術」の一環として、

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託を受けた榑製造科学技術センターからの再委託業務として実施したものである。

また、CLBO結晶を御提供いただいた大阪大学大学院の神村共住氏、吉村政志先生、森勇介先生、佐々木孝友先生、及び榑光学技研の田中光弘氏、岡田幸勝氏に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) Sasaki, T., et al.: Proc. Advanced Solid-State Lasers 24, 91 (1995)
- (2) Yap, Y. K., et al.: Opt. Lett. 21, 1348 (1996)
- (3) Yap, Y. K., et al.: OSA TOPS Advanced Solid-State Lasers 10, 10 (1997)
- (4) Yap, Y. K., et al.: OSA TOPS Advanced Solid-State Lasers 19, 380 (1998)
- (5) Kojima, T., et al.: Appl. Opt. 36, 4981 (1997)
- (6) Fujikawa, S., et al.: IEEE JSTQE. 13, 40 (1997)
- (7) Yasui, K.: Appl. Opt. 35, 2566 (1996)
- (8) Konno, S., et al.: Appl. Phys. Lett. 70, 2650 (1997)
- (9) Lotshaw, W. T., et al.: Conference on Lasers and Electro-Optics, Postdeadline Papers, CPD33 (1997)
- (10) Chang, J. J., et al.: Conference on Lasers and Electro-Optics, Postdeadline Papers, CPD2 (1998)
- (11) Nakai, K., et al.: The Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics'99, Technical Digest, 967 (1999)

第二世代X線リソグラフィ

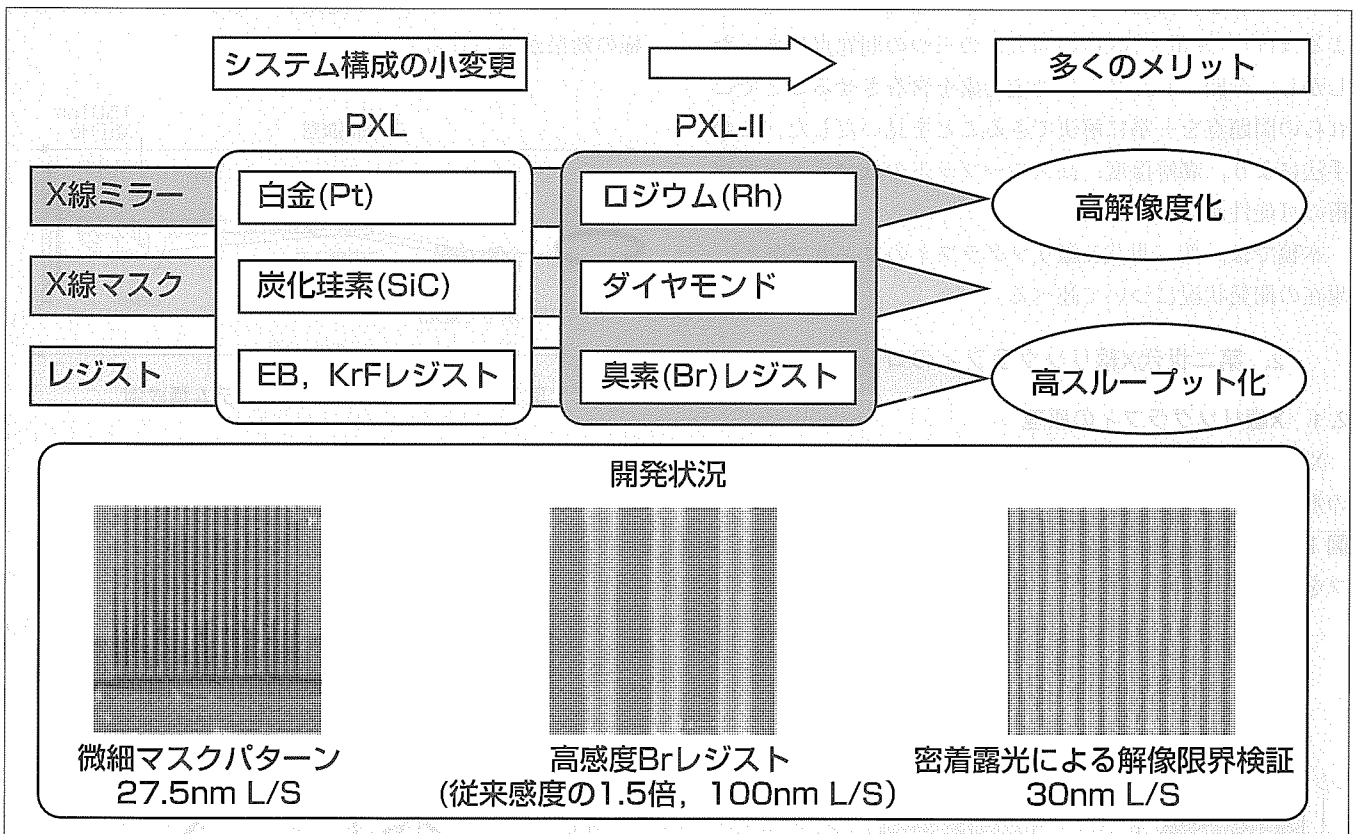
糸賀賢二* 熊田輝彦**
丸本健二** 北山豊樹*
炭谷博昭**

要旨

第二世代X線リソグラフィ(Proximity X-ray Lithography II)は、従来のX線リソグラフィシステムに対し、ミラー材料、マスク材料、レジスト材料を見直すことで、高解像度、高スループット化を目指す技術である。特長はレジスト吸収波長の短波長化であるが、従来の方法での短波長化は、感度劣化、レジスト中二次電子による光学像のぼけ(Blur)、基板からの二次電子によるレジスト断面形状劣化、などの問題があった。今回の技術の基本コンセプトは、照射波長域に吸収端を持つ材料をレジストに用いることによってこれらの問題点をすべて解決できるというものである。また、ダイヤモンドメンブレンをX線マスク基板に用いることによって剛性が大きくなるため、X線マスク上パターンの位置精度の向上、マスクーウェーハ間の狭ギャッ

プ化が可能となる。さらに、短波長のX線利用により、ダイヤモンドメンブレンを厚膜化でき機械的強度を増強できるばかりでなく、耐パーティクル性の向上も期待される。

このアイデアは三菱電機から生まれたものであり、現在、コンセプト実現の要(かなめ)となるダイヤモンドメンブレンを用いたX線マスクと特定元素を含むレジストの開発を中心に研究を行っている。X線マスクでは、ダイヤモンド膜の平坦(へいたん)化によって最小寸法27.5nmラインアンドスペース(L/S)の吸収体パターン形成に成功した。また、臭素を含有させたレジストにより、従来レジストの1.5倍の感度向上を確認した。なお、米国ではこの方式のメリットにいち早く着目し、2001年から国家プロジェクトをスタートさせている。



第二世代X線リソグラフィのコンセプトと開発状況

X線ミラー材料を白金(Pt)からロジウム(Rh)へ、マスクメンブレンをSiCからダイヤモンドへ、レジストを従来のものから臭素(Br)含有レジストへ変更することにより、短波長成分の吸収量増大とレジスト中二次電子の抑制によって従来のX線リソグラフィよりも高解像度、高スループット化できる。さらに、短波長成分の吸収量増大により、基板二次電子の抑制、メンブレン厚膜化、耐パーティクル性の向上も予想される。特にメンブレンの厚膜化は、パターン位置精度向上やメンブレン振動を抑制でき、高精度の露光を可能にする。

1. ま え が き

X線リソグラフィは、高解像性、深い焦点深度、大きなプロセス裕度を持つことを特長とし、次世代のリソグラフィとして1980年代後半から有望視され、研究が続けられてきた。国内では1996～2000年に実施された超先端電子技術開発機構(ASET)での研究開発で大きく進展し、4G-DRAMパターンを用いて100nmノードの量産に必要な転写精度を実証した⁽¹⁾。

しかし、光リソグラフィの延命や半導体ロードマップの加速が進展し、解像性の限界が顕在化してきた。

第二世代X線リソグラフィは、この解像限界を打ち破り、35nmの解像まで視野に入れた技術である⁽²⁾。フレネル回折による解像限界 w は露光波長 λ とマスク-ウェーハ間の露光ギャップ g とによって次式で表される。

$$w = k\sqrt{\lambda g} \dots\dots\dots(1)$$

k は比例定数で、吸収体及びメンブレンの材料、厚さ、断面形状などの要因によって決まる。解像度を向上させるには露光波長を短波長化することが有効であるが、これまでのX線リソグラフィでは、シリコン(Si)の吸収端(0.67nm)よりも短い波長を使っていなかった。その理由は①レジスト感度の低下、②基板二次電子によるレジストパターンの形状劣化、③レジスト中で発生する二次電子によるぼけ(二次電子Blur)の増大、の三つの問題点にあった。しかし、今回、レジストに特定元素を含有させることでこれらの問題点を一挙に解決できることを見いだした。この手法により、高解像度、高スループットの低コスト量産技術の可能性が見えてきた。

本稿では、第二世代X線リソグラフィのコンセプトと、現在の開発状況について述べる。

2. 第二世代X線リソグラフィのコンセプト

2.1 X線リソグラフィの原理

X線リソグラフィは日光写真と同様で、遮光体(吸収体)の形状を感光樹脂(レジスト)へ等倍転写する技術である。図1のようにX線マスクとウェーハを10 μ m程度のギャップを保持してX線を照射し、パターンを転写する。

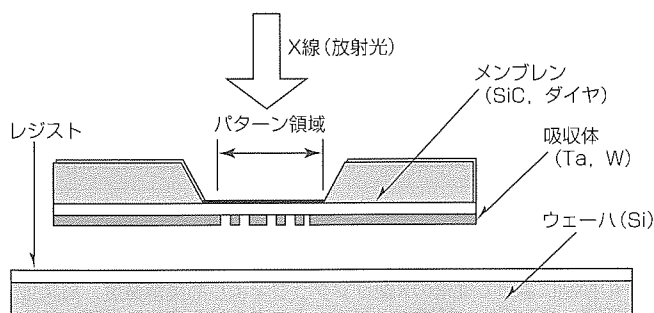


図1. X線リソグラフィの原理

システム構成の一例を図2に示す。光源には光の指向性が良く強度が大きいシンクロトン放射光を用いる。水平面に広がる放射光を一枚目のミラーで集め、二枚目のミラーで垂直方向に拡大し、照射する。また、ミラーは、入射角度の調整によって特定波長以下をカットするフィルタとしても働く。ベリリウム(Be)窓は、超高真空とヘリウム雰囲気とを隔てる役割と、長波長成分をカットするフィルタの役割を果たしている。ミラーとBe窓で露光に必要なX線の波長を選択するバンドパスフィルタを構成しており、従来は0.7から1nmの波長域を取り出していた。

2.2 照射スペクトルの短波長化

短波長化の方法として、当社の先端技術総合研究所内にある600MeVのSRリングを例に説明する。従来のシステムではミラーの反射材料はPt、メンブレンは厚さ2 μ mの炭化けい素(SiC)を用いており、マスク透過後のスペクトルは図3に示すようにSiの吸収端以下の波長はカットされている。ミラーの形状は現行のままで、PtからRhへコーティングを変更し、メンブレン材料をSiを含まないダイヤモンドに代えることで、0.55nmにピークを持つような短波長・大強度の照射スペクトルが得られる。

ミラー材料には、ほかにも、Rhに近い原子番号を持つルテニウム(Ru)、パラジウム(Pd)やコバルト(Co)、ニッケル(Ni)、銅(Cu)等の1周期若い原子番号の材料でも同様の効果が得られる。

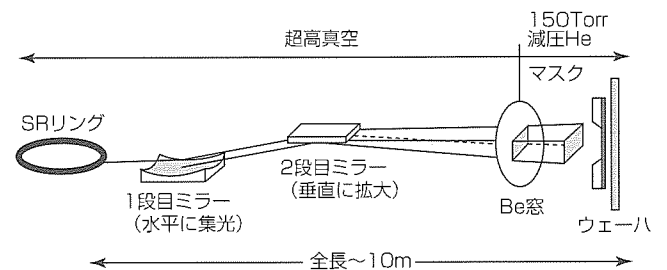


図2. X線リソグラフィのシステム構成例

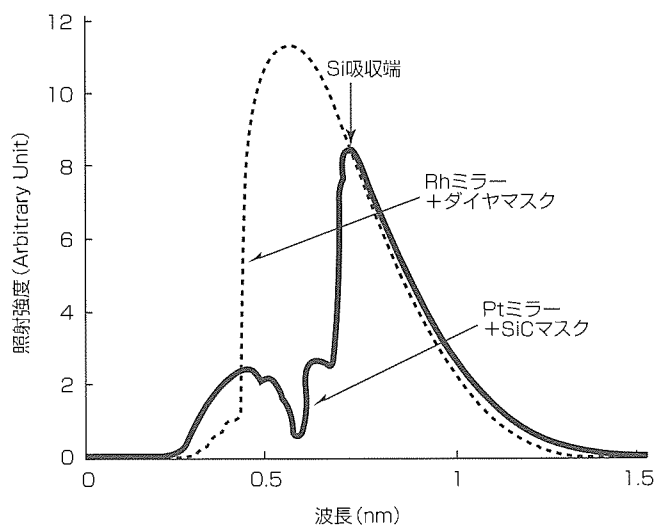


図3. システム構成とマスク透過後スペクトル

このようにミラー材料とX線マスクのメンブレンを交換するだけで、従来使われていた波長帯から、より短い波長帯へ容易に変更できる。

2.3 レジストに含有させる元素の選定

従来のレジストを構成する元素と照射スペクトル内に吸収端を持つ元素としてポリメチルメタクリレート (PMMA) レジストと硫黄 (S), Si, Brの吸収量と平均波長を比較する。通常レジストは有機高分子からなり 1g/cm^3 前後の密度を持つため、仮想的なレジスト S, Si, Brは密度 1g/cm^3 とした。PMMAは密度 1.1g/cm^3 である。これらの吸収スペクトルを図4に示す。照射スペクトルは図3で示したRhミラーとダイヤモンドメンブレンで得られるものを用いた。S, Si, Brの吸収量はPMMAの各々1.3, 2.1, 3.7倍になるばかりでなく、平均吸収波長がPMMAの 0.8nm に対し、順に $0.69, 0.63, 0.67\text{nm}$ となる。これは、同じ照射スペクトルでもレジストに含有させる元素によって強度と平均波長を変更できることを示している。

物質の吸収強度は一般に次式で表される。

$$I = I_0 [1 - \exp[-\sum \mu_i R_i \rho t]] \dots\dots\dots(2)$$

μ_i は物質を構成する元素 i の線吸収係数, R_i は元素 i の質量比, ρ は物質の密度, t は物質の厚さである。S, Si, Br等の元素が含まれる比率が高いほど、また化合物全体の密度が増大するほど、吸収が大きくなるのが分かる。

図5に、Br45%含有のPHS樹脂(密度 2.0g/cm^3) についてダイヤモンド膜厚と吸収スペクトルの相関の計算値を示す。ただし、短波長化の効果を明確にさせるため、光源は、三菱リングよりも短波長域の強度が大きいリング(Oxford Instruments社製HELIOS-II)を想定した。従来のシステムに比べて、Rhミラーを用いた照明系では、ダイヤモンドメンブレンの厚さを2, 5, $20\mu\text{m}$ と厚くするに従って平均吸収波長はそれぞれ $0.65, 0.61, 0.53\text{nm}$ と短くなっていく。また、レジストの吸収強度も順に従来例の吸収量の5.4, 3.7, 1.0倍となり、ダイヤモンドメンブレン $20\mu\text{m}$ でも

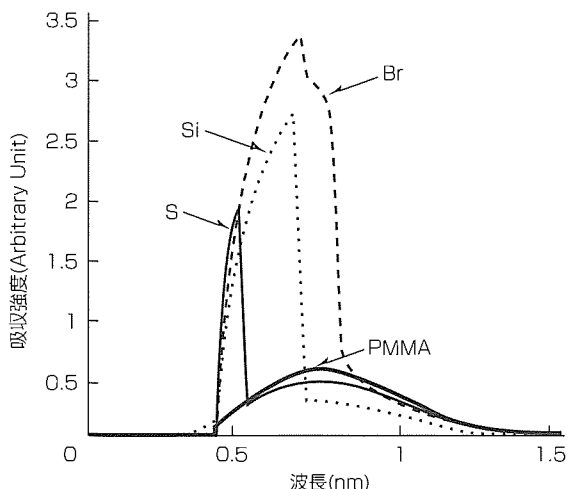


図4. レジスト元素と吸収スペクトルの相関

現状と同程度のウェーハ処理能力が得られる。

厚いダイヤモンド膜を使うメリットは、メンブレンの機械的強度が向上し、マスクの位置精度の改善やメンブレン振動が抑制される点である。ステップ移動時のメンブレン振動を抑制できれば、マスク-ウェーハ間の狭ギャップ化が可能となり、更に解像度を向上させることができる。

2.4 レジスト材料による基板二次電子の抑制

レジストへの吸収が増大することにより、基板からの二次電子による形状劣化を抑制できる。X線は、内殻電子を励起し、二次電子放出させることで物質へ吸収される。物質中の電子の最大飛程 R_g (μm) は次式で近似される⁽³⁾。

$$R_g = K \frac{E^{1.25}}{\rho} \dots\dots\dots(3)$$

E は電子エネルギー (keV) である。 K は物質によって決まる比例定数で、PMMAでは 0.046 , Siであれば 0.044 である。基板からレジスト中へ抜け出てくる電子量は、基板内での電子飛程 R_g に吸収されるX線量に比例する。したがって、 $R = (\text{基板最大飛程内に吸収されるX線量}) / (\text{レジスト中単位長さに吸収されるX線量})$ で基板の影響を定量的に評価できる。

S, Si, Br, PMMAについて R の波長依存性を示したのが図6である。 R とレジスト断面形状の関係は、従来レジ

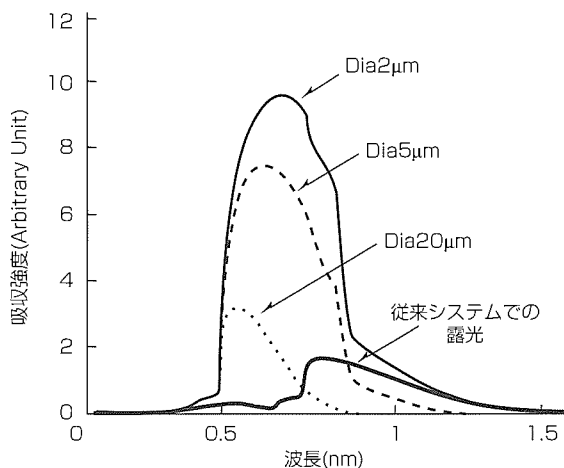


図5. ダイヤモンドメンブレン厚膜化による短波長化

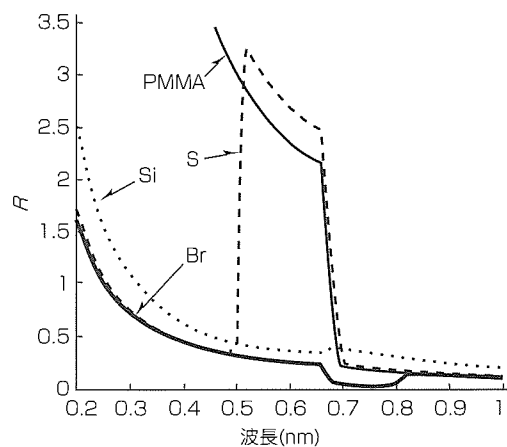


図6. 照射波長とRとの相関

ストを短波長照射した結果から、 $R=0.7$ までは問題とならないことが分かっている⁽⁴⁾。図から、 0.4nm 以上の波長に対してSi, Brは 0.7 以下となっており、基板二次電子によるパターン形状の劣化について問題ないことが分かる。また、Br45%含有のPHS樹脂(密度 2.0g/cm^3)は、 0.4nm から 0.8nm の波長帯において、仮想Brレジスト(密度 1.0g/cm^3)よりも10%程度吸収量が小さい。しかし R の値は 0.7 以下となり、基板二次電子の影響は問題ないと予想される。

2.5 二次電子Blurの抑制

解像度はマスクを透過したX線の回折像と二次電子Blurによって決まる。短波長にした場合、特に問題となるのがレジスト中で発生する二次電子Blurである。このBlur量を見積もるために、X線の吸収によって発生する2種類の二次電子、すなわち光電子とオージェ電子を考慮してレジスト中の蓄積エネルギー分布を計算した。

X線が物質に吸収される過程を図7の(a)に示す。X線は軌道電子に全エネルギーを付与する。軌道電子は、全エネルギーから束縛エネルギーを差し引いた運動エネルギーを持って、原子の外に放出される。これが光電子である。光電子放出後の空孔には、上のエネルギー準位から電子が遷移してくる。遷移する電子は余分なエネルギーを同準位にある電子に与え、オージェ電子となって放出される。したがって、電子の持つエネルギーに関して、光電子は入射X線のエネルギーに比例するが、オージェ電子は入射X線のエネルギーに依存せず一定値を持つ。式(3)から、照射波長に対する光電子、オージェ電子の飛程は図の(b)のようになる。

シミュレーションによる解像限界の波長依存性を図8に示す。右下がりの曲線が二次電子による解像限界を表しており、実線がPMMA、破線がBrを45%含むレジストである⁽⁵⁾。PMMAは、吸収端がないために、そのまま短波長になるに従い解像寸法が増大していく。Br含有レジストの場合、Br吸収端よりも短い波長域でオージェ電子の飛程の影響で平らな領域が見られる。このように、Brをレジストに含有させることで解像限界の向上が期待できる。

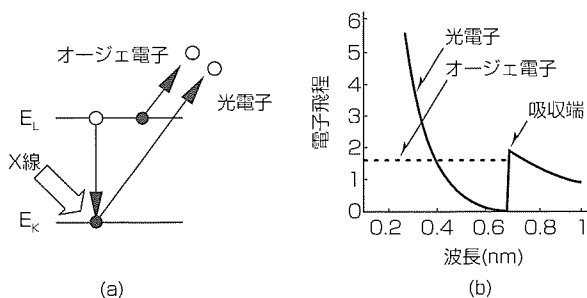


図7. 二次電子発生機構と飛程の波長依存性

3. 技術開発の現状

第二世代X線リソグラフィ実現の課題はダイヤモンドメンブレンを用いたX線マスクと特定元素含有レジストである。この章では、その開発状況について述べる。

3.1 X線マスクの開発

X線マスクの開発では、①ダイヤモンドメンブレンの厚膜化、②ダイヤモンド膜の平坦化、③微細パターンの形成、を目標に取り組んできた。メンブレンの合成は三菱マテリアル^(株)と共同開発を行っている。現在、厚さ $5\mu\text{m}$ まで形成できており、透過率も70%とウェーハ面上のアライメントマークを検出できる透明性も得ている。また、図9に示すとおり、化学・機械的研磨によって従来の表面(a)から平坦な表面(b)が得られるようになった。このため、吸収体成膜時の結晶化が抑制され、パターンラフネスも、従来ダイヤモンド基板(c)よりも優れた(d)のパターンが得られるようになった⁽⁶⁾。また、微細加工の面では、EB描画方法やエッチング条件の最適化により、タングステン(W)の吸収体で最小 27.5nm のラインアンドスペース(L/S)を分離できるレ

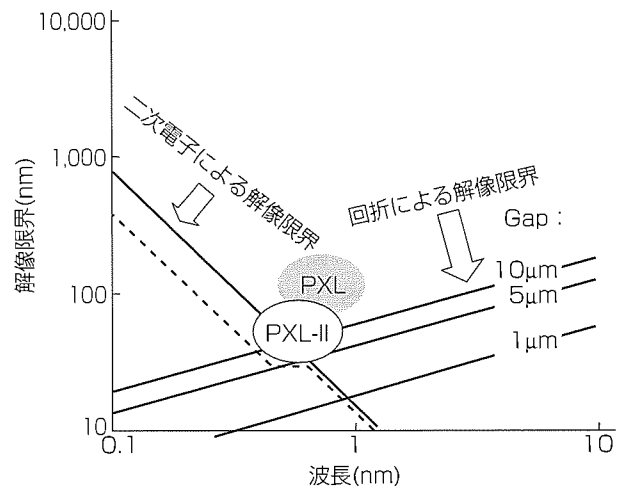


図8. 解像限界の波長依存性

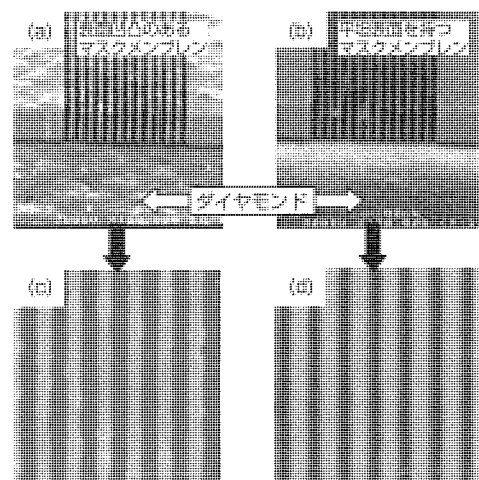


図9. ダイヤモンドの平坦化と吸収体ラフネスの改善

ベルまで到達した。

3.2 臭素含有レジストの開発

レジストに含有させる特定元素としてBrを選択し、そのレジスト化に成功した。レジストとして機能する溶解特性を持つことを条件にBrの配位まで考慮したベース樹脂を選定し、ネガ型化学増幅型レジストとして完成させた。レジスト合成は東京応化工業㈱との共同開発である。

図10はダイヤモンドマスクを用いて形成した100nm L/Sである。Brを入れることで従来の化学増幅型レジストよりも1.5倍感度が良くなった。また、ラインエッジラフネス及び基板界面での裾(すそ)引きが改善されている(パターンの輪郭が白くぼけていない)。今後、レジスト感度と解像度向上を目指し、レジスト材料の最適化を進めていく予定である。

3.3 解像限界の検証

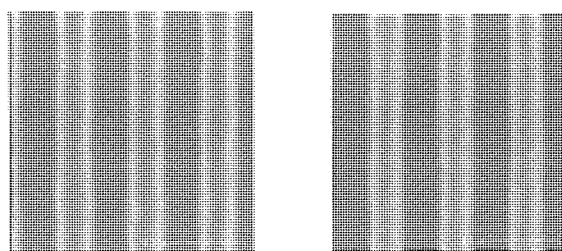
図8のシミュレーション結果を検証するため、極端な露光ギャップでの解像性を評価した。ステッパ振動などの装置の影響を排除するため、マスク面上に高分子ポリマを塗布し、ポリマの厚みでマスク-レジスト間のギャップ(0.87 μm)を規定した。また、レジストには酸拡散の影響のない非化学増幅型レジスト(ZEP-520)を用いた。図11の(a)にその露光方法を、図の(b)に解像した30nm L/Sのパターンを示す。ラインに多少の凹凸はあるものの、完全に分離したパターンが得られており、この実験で用いた平均波長0.8nmのX線では二次電子Blurによる解像限界は30nm以下であることが確認できた。

4. む す び

高解像度化の手法として第二世代X線リソグラフィを提案し、鍵(かぎ)となるダイヤモンドマスクでの微細パターン形成と臭素含有レジストの開発に成功した。また、最小寸法30nmの解像により、現在の計算予測の妥当性を確認できた。今後、35nm解像条件を明確化するとともに、微細化・高感度化に向けてレジスト開発を進めていく予定である。

参 考 文 献

(1) Sumitani, H., et al.: Evaluation of New X-ray stepper the XRA, J. Vac. Sci. Technol. B 19, 2448~



(a) 従来レジスト(150mJ/cm²) (b) Brレジスト(108mJ/cm²)

図10. 従来レジストと臭素含有レジストのパターン比較

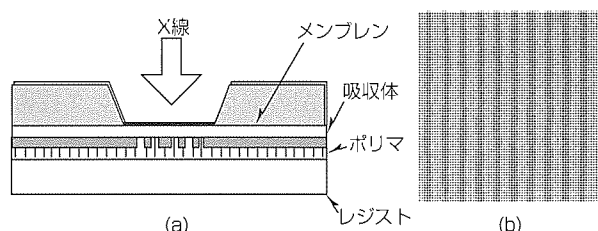


図11. 30nm L/S形成方法とパターン写真

- 2454 (2001)
- (2) Kitayama, T., et al.: Proposal for a 50nm Proximity X-ray Lithography System and Extension to 35nm by Resist Material Selection, J. Vac. Sci. Technol. B 18, 2950~2954 (2000)
- (3) Feldman, K., et al.: Resolution limits in X-ray Lithography, J. Vac. Sci. Technol. B 10, 3173~3176 (1992)
- (4) Itoga, K., et al.: Effect of Secondary Electron from the Substrate in X-ray Lithography using Harder Radiation Spectra, J. Vac. Sci. Technol. B 19, 2439~2443 (2001)
- (5) Kise, K., et al.: Suppression of Secondary Electron Blur in Bromine-Containing X-Ray Lithography, Abstract of Electron, Ion and Photon Beam Technology & Nanofabrication, 197 (2002)
- (6) Yabe, H., et al.: Fabrication of High Resolution X-Ray Masks using Diamond Membrane for Second Generation X-Ray Lithography, Abstract of Electron, Ion and Photon Beam Technology & Nanofabrication, 347 (2002)

LSI配線用Cu-CMP技術

深田哲生*
高田 裕*
佐藤一直**

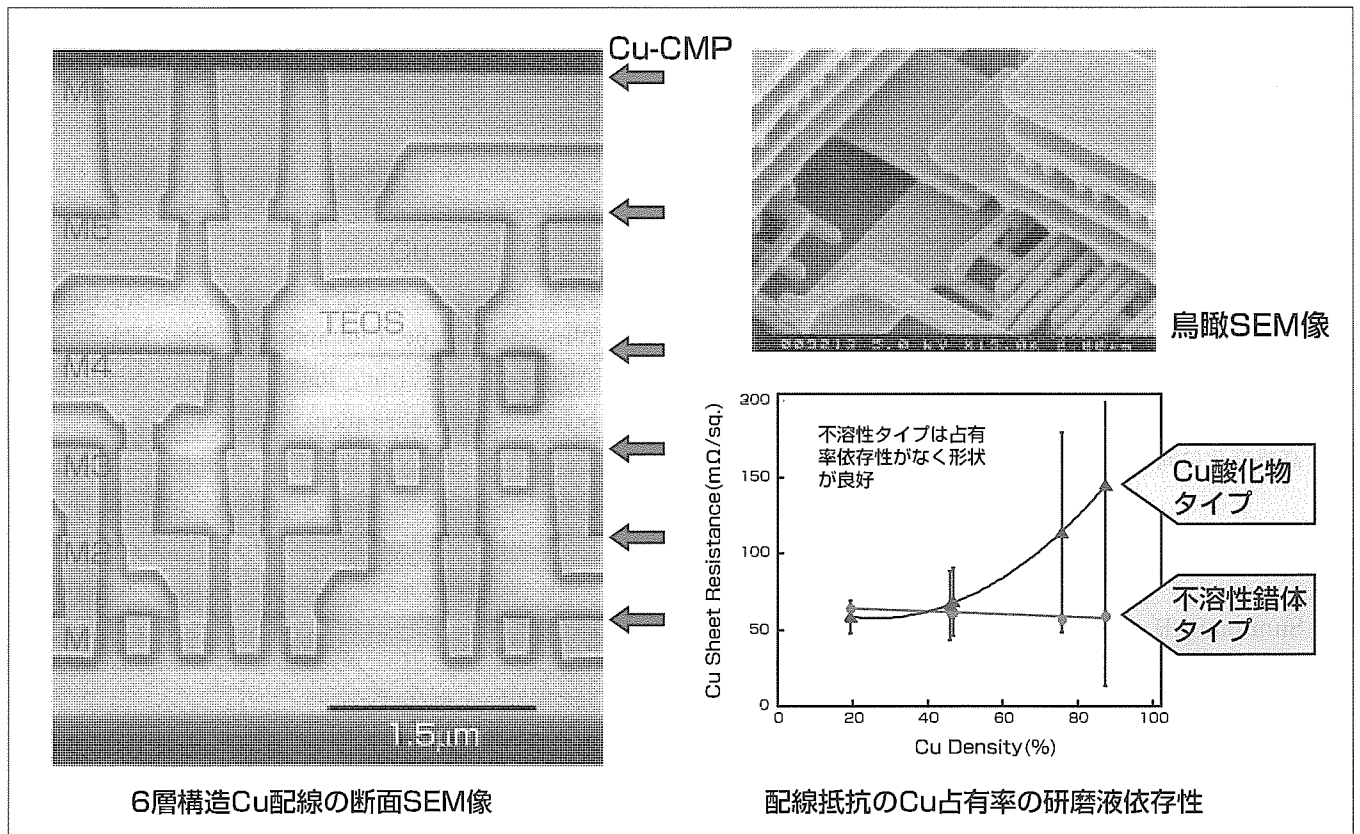
要 旨

半導体の配線材料に低抵抗な銅(Cu)を適用し配線遅延を低減することが、配線の微細化に伴って求められている。Cu配線は、ダマシン(Damascene：埋め込み)法と呼ばれる埋め込み配線プロセスで作製される。従来のAl合金系の配線パターンの作製にはAlのドライエッチング技術が使われていたが、Cuはドライエッチングが困難なことから、先に酸化膜に配線パターンとなる溝を形成しておき、バリアメタルとCuを成膜した後、溝以外の膜を除去する方法で配線形成が行われている。このメタル層の除去方法にCu-CMP(Cheical-Mechanical-Polishing：化学的機械的研磨)技術が用いられている。Cu-CMPとは、研磨方法の一種で、研磨するウェーハ表面をポリウレタン製のパッドに押しつけて、研磨液を流した状態で両者を回転させ

て、Cuを研磨・除去する技術である。

本稿では、このCu-CMP技術の課題である研磨特性の向上に大きく関与する研磨ヘッドの構造などハード的な面と、研磨液(スラリー)の差異による加工形状の改善について述べる。さらに、加工形状の仕上がり状態をウェーハ面内及びロット間で均一に仕上げるために必要なCu研磨のエンドポイントシステムについて、ハードの構成及びウェーハ表面の状態とエンドポイントの相関について述べる。

また、今後更に微細化が進行するとともに求められる低誘電率層間膜(Low-k膜)とCuを組み合わせたCu/Low-k配線構造に対応するための、Cu-CMP技術の改善の必要性について述べる。



6層Cu多層配線の断面&鳥瞰SEM像とCu配線占有率と配線抵抗の相関

デュアルダマシンプロセスを用いてCu-CMPを6層行ったCu多層配線の断面及び鳥瞰(ちょうかん)のSEM像を示す。また、研磨液が不溶性錯体タイプの場合とCu酸化物を形成するタイプとを用いた場合のCuの占有率と配線抵抗の相関図から、Cuの占有率が高くなっても不溶性錯体タイプは配線抵抗の上昇がなく、ディッシングが増加しておらず、かつ面内のばらつきも低減されていることが分かる。これらの写真及び図から、Cu-CMPで問題となるディッシングや表面腐食等のダメージはなく、良好な加工形状が得られていることが分かる。

1. ま え が き

LSIの配線材料として従来Al合金系の材料が多く用いられてきたが、近年、銅(Cu)を用いたダマシン配線の開発と製品化への取り組みが盛んに行われている。Cuを配線に用いるのは、配線の微細化が進み、素子の動作スピードはトランジスタの動作スピードよりも配線遅延(RC delay)による影響が大きくなっているため、その対策として配線の低抵抗化が必要となってきたからである^{(1)~(3)}。また、Cu配線は、高融点金属であることから、Cu原子が移動して配線が断線する(エレクトロマイグレーション)欠陥にも強いという特長も持っている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。また、遅延の対策として層間絶縁膜(Inter Layer Dielectrics : ILD)に低誘電率材料(Low-k材料)を用いることも有効で、Cu/Low-k多層配線の開発が進められている。

ダマシン配線は、層間絶縁膜を成膜後に配線パターンとなる溝とスルーホールをドライエッチングで形成し、ウェーハ全面にバリアメタルとめっきのシードとなるCuをスパッタリング法で成膜した後に、電気めっき法でCuの成膜を行う。このCu及びバリアメタルが成膜されたウェーハ上の配線部分以外の金属層を除去するのにCMP技術が用いられる。このプロセスを使った研磨は2ステップで行われ、最初にCu膜用の研磨液でCu層を除去した後、バリアメタル用の研磨液でバリアメタルを研磨除去するものである。

今回、このダマシンCu配線作製のキーとなるCu-CMPプロセスについての課題、研磨ヘッド及び研磨液の種類による研磨特性の違い、エンドポイントシステム、Low-k構造での今後の課題について述べる。

2. Cu-CMPプロセスの課題

2.1 CMP装置・プロセスの構成

一般的なCMP装置の構成例を図1に示す。被研磨物であるCuが成膜されたウェーハを研磨装置のヘッドに吸着・固定させ、発泡ポリウレタン材である研磨パッドにある荷重でウェーハを押し当てて、研磨液を滴下しながらウ

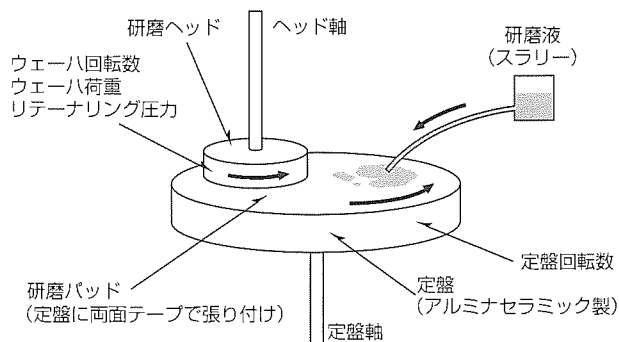


図1. CMP装置の構成例

ェーハとパッドの両者を回転させ、研磨液内のアルミナなどの砥粒(とりゅう)によるメカニカル作用とCu表面をエッチング又はCu錯体層に改質する等のケミカル作用を利用して、Cuを研磨除去するものである。研磨のパラメータにはウェーハ回転数・荷重、定盤回転数などがあり、部材として定盤に接着された研磨パッドや研磨液がある。装置の構成は研磨ヘッドとその軸、定盤とその軸などが主なものである。

2.2 研磨後の加工形状

バリアメタルとCuが成膜されたCMP前のウェーハ表面は、図2に示されている各工程での断面形状のように、Cu-CMP前の表面はめっきの膜厚が下地パターンに依存して変化するプロトルージョンの影響によって必ずしもフラットではない。この状態からバリアメタル表面までCu研磨を行い、その次に、バリアメタルを別の研磨液を用いて配線パターンを作製する。CMPプロセスでは仕上がり形状としてCu配線表面をフラットにすることが最重要であるが、パターンによってはCu膜上部が削り取られて凹(くぼ)むディッシングや、配線と層間膜が密になった部分において配線と層間絶縁膜全体が削り取られて凹むエロージョンと呼ばれる現象や、Cuが溶解して凹むケミカルリセスが生じる問題があり、Cu配線の加工形状、特に配線高さをウェーハ全面でそろえることが課題である。これらの課題の対策としては、研磨装置の構造(特に研磨ヘッド構造)及び研磨液特性によるものが多い。次に、これらの課題の改善方法について述べる。

3. Cu-CMPプロセスの改善

3.1 研磨ヘッドの構造による均一性の改善

ウェーハへの加圧方法によってCu研磨量のウェーハ面内の均一性が大きく異なるため、研磨ヘッドの構造が重要となる。ヘッド荷重の方法としては、研磨ヘッドの軸を通じて研磨ヘッド全体に荷重を加え、研磨ヘッドとウェーハ

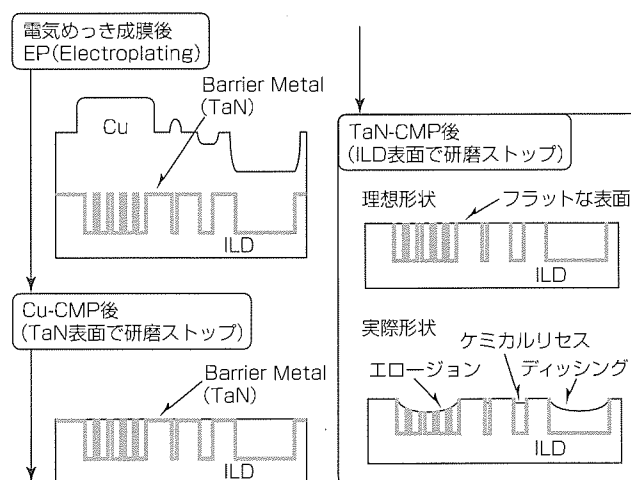


図2. 各工程での断面形状

との間にバックフィルムを挟んだ方式がある。他の方法としては、ヘッドの内部にウェーハのみに荷重が加えられるようエアバックを用い、この内部の空気圧をコントロールしてウェーハに荷重を加える方式がある。さらに、バックフィルムを使わずに、ウェーハ裏面とバックプレート間にエアを流したエアフロート構造を持つヘッド構造(図3)がある。このヘッドの特長は、ウェーハへの荷重を均一にすることが可能な点にある。

軸荷重方式とエアバックにエアフロート方式を組み合わせたヘッドでCu-CMPを行った場合の8インチウェーハにおけるCu研磨量の面内均一性を比較した結果を図4に示す。エアバックとエアフロート方式を組み合わせたヘッドの方は、ウェーハ面内でのばらつきが少なく均一性は良好な結果が得られた。加圧がエアフロート層の作用によって流体加圧でウェーハ裏面への荷重が均一になる点とエアバックにより、バックプレートが均一に押されたことによるものである。一方、軸荷重方式では、ウェーハのセンターに荷重が集中するため、センター領域の研磨量が大きくなり、逆に周辺にかけては研磨量が小さくなる傾向が見られた。

エアバックとエアフロートを組み合わせた装置で研磨処理したウェーハの配線抵抗の面内ばらつき量は1シグマで2~3%となり、良好な面内分布が得られた。このように、

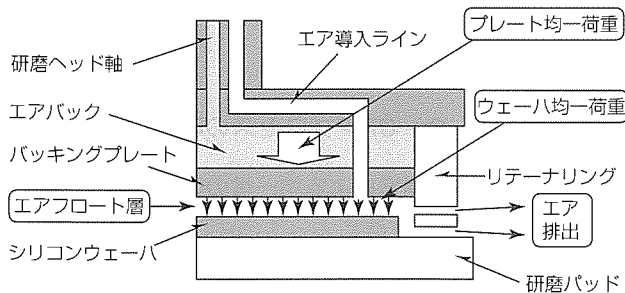


図3. エアフロートタイプの研磨ヘッドの断面模式図

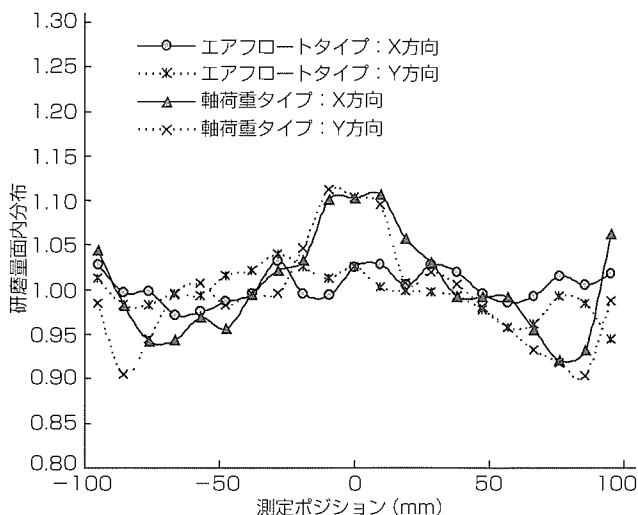


図4. 研磨量の面内均一性の比較

今後は、エアバック方式とエアフロートなどの流体層を介在して加圧する方式を組み合わせたものが主流になると考えられる。

3.2 研磨液の特性による加工形状の改善

Cu-CMPの研磨液は①砥粒(アルミナ、シリカ等)、②Cu表面改質層形成(Cu酸化層、Cu錯体層等)、③研磨液安定剤(凝集防止剤、pH調整材、防腐材、粘度調整剤等)によって構成されており、この中で特にCu表面のケミカル反応層をどのようなものにするかが重要となる。

一般的にメタルのCMPでは、金属層の表面を過酸化水素水で酸化層を形成し、アルミナ砥粒で研磨除去する方法が主流である。しかし、最近では、Cuの表面に錯体層を積極的に形成し、この層をアルミナ又はシリカで研磨除去するプロセスへ移行しつつある。表面に形成される錯体層にも水溶性と不溶性のものがおり、また、砥粒を全く含まずCu錯体層を形成し、パッドとの接触作用によってCuを除去する砥粒レスの研磨液も開発されている。このように、Cu-CMPでは、ケミカル反応のコントロールが重要になっている。

多様な研磨液の中で、Cu酸化層を形成するタイプと、Cu不溶性錯体を形成するタイプの研磨液について、Cuのディッシング特性を比較した。評価パターンは、配線幅が1ミクロンから500ミクロンで、配線間が100ミクロンのものを用いた。Cuの研磨を光学式のエンドポイントシステムでバリアメタルの露出状態をコントロールし、Cuがちょうど全面削除された時点をジャスト研磨の仕上がり状態とした。その結果、図5の(a)に示すようにCu酸化層を形成するタイプとCu不溶性錯体を形成するタイプを比較すると、ジャスト研磨の状態で既にCu不溶性錯体を形成するタイプの方がディッシング量としては少ない結果が得られた。この要因は、Cu表面に不溶性錯体が形成されているため、パッドの変形などに起因するディッシングが抑えられているためと考えられる。さらに、アルミナ砥粒の切削性能が高いため、よりディッシングが大きくなったも

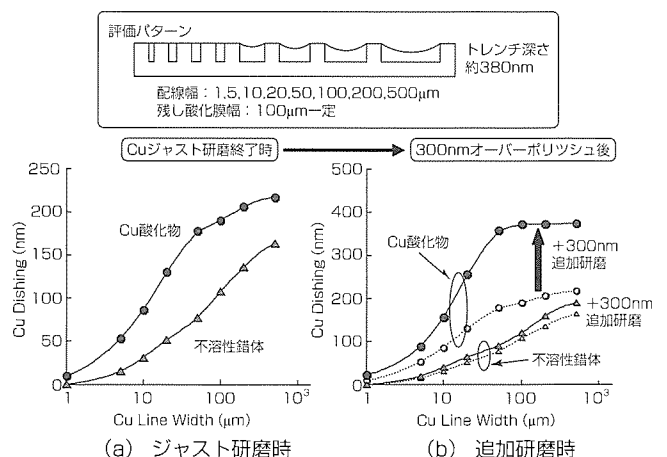


図5. Cuディッシング量の研磨液依存性

のと考えられる。次に、Cu研磨をジャストから更に追加研磨(オーバーポリッシュ)をした場合(図5の(b)), Cu酸化物層を形成するタイプのウェーハでは、ベタ膜換算で300nm追加研磨するとディッシングが増加し、幅広配線ではCuがなくなり、下地が露出した状態になった。一方、Cu不溶性錯体を形成するタイプの場合、同様の追加研磨を行っても、ディッシング量の増加は非常に少ない結果となった。これは、Cu表面が不溶性の錯体層で覆われてパッド等の物理的作用が加わらなく、かつ、研磨液と接触していても、表面からのCuの溶解がなくCu錯体層が保護膜として作用してCu表面がカバーされているためと考えられる。

実際に配線抵抗を比較した場合(図6)も、ディッシングの傾向を反映し、Cu不溶性錯体を形成するタイプの方が幅広配線での抵抗上昇が少ない。また、ウェーハ面内分布(各点のエラーバー)も小さい結果となり、加工特性に優れていることが明らかになった。

3.3 エンドポイント検出システムの重要性

Cu研磨の仕上がり状態(バリアメタルまでの研磨)をコントロールすることは、ウェーハ間又はロット間での配線抵抗のばらつきをそろえるために非常に重要である。エンドポイントシステムとしては、研磨定盤を回転させるモータの電流値をモニタする方法と、ウェーハ表面状態を直接モニタする方法がある。最近では、後者の方が精度の面で良好なことから主流となっている。

ウェーハ表面をモニタする方法の一例を図7に示す。定盤の一部に開口部を設け、パッドにはレーザー又は白色光が透過するような透明窓を設ける。この部分から光をウェーハ表面に照射し、反射してきた光の変化によってウェーハ表面の状態を検出する。白色光を照射した場合、Cu表面の状態とバリアメタルが露出し始め、更に完全にCuが除去されバリアメタルになった状態では図8に示すように波長によるスペクトルが異なり、この変化によってCuのエ

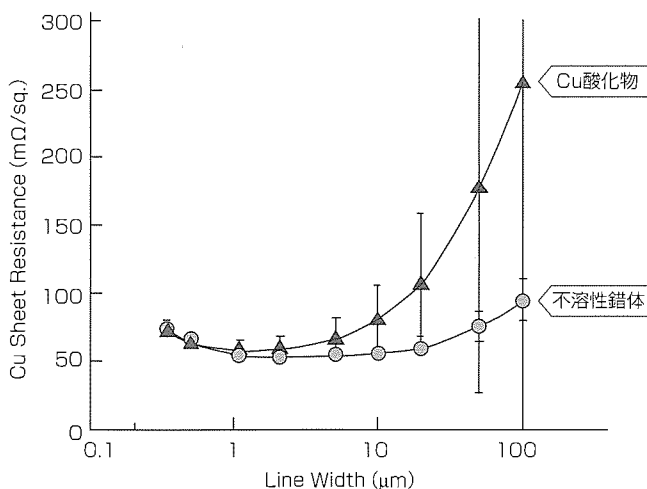


図6. 配線シート抵抗の研磨液による比較

ンドポイント判定するものである。このシステムを用いてエンドポイントをコントロールしたエンドポイント判定直後では(図9), 初期のCu膜の厚い領域で、ウェーハ全面のサブチップにCu研磨残がある。しかし、追加研磨時間を15秒に設定するとこの領域のCuが除去され、Cu研磨の

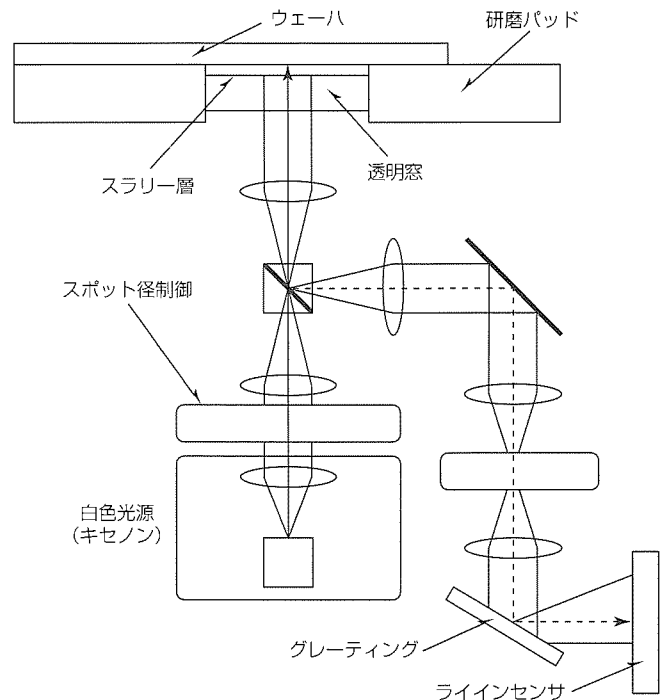


図7. 光学式エンドポイントシステム例

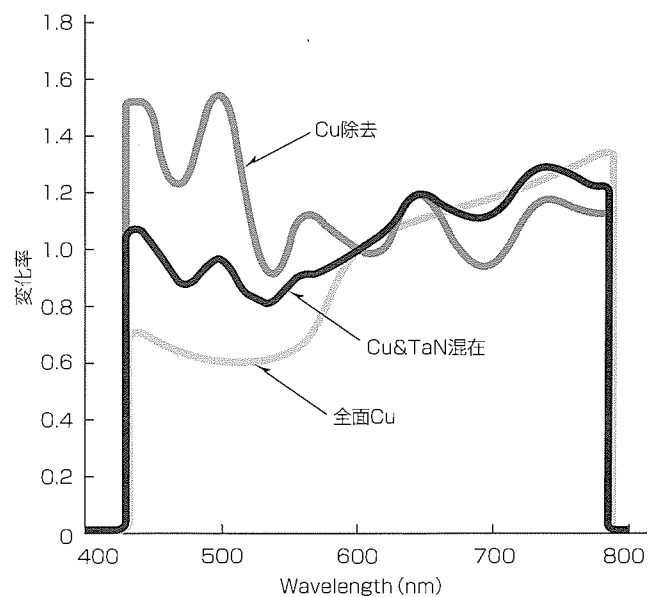


図8. 表面状態の違いによるスペクトルの変化

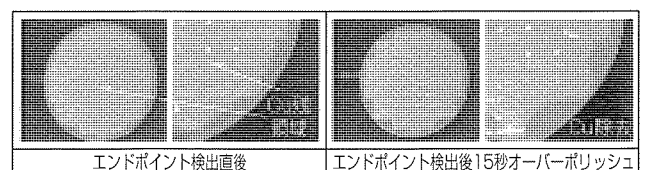


図9. エンドポイントの精度

仕上がり状態が良好となっている。このエンドポイントシステムでは、ウェーハのマスクの違いや配線のレイヤが異なってもコントロールが可能であった。

4. Cu/Low-k 配線への対応

ITRS(International Technology Road Map for Semiconductor)のロードマップによると、70nm世代以降には、Low-k膜の採用が不可欠としている。Cu-CMPもこの構造に対応してプロセスとハードを改善していかなければならない。一般的に、Low-k膜は、誘電率が下がるほど機械的強度が低下し、また、ポーラスな構造となる傾向がある。このため、CMPにおける物理的なウェーハとパッドの接触による摩擦力(剪断(せんたん)力)による配線パターン崩れなどのLow-k膜の変形や、バリアメタルとLow-k膜又はキャップ層との密着力の低下による剥離(はくり)やそれに伴うスクラッチの発生などの問題が生じる。各種の膜の剥離やキャップ層が剥離してLow-k膜が露出した部分でのスクラッチなどが発生する。これらの課題に対するCMPの取り組みとしては、低ストレス研磨が一つのキーとなる。

研磨条件においては特に1~2 PSI(Pascal per Square Inch)程度の低荷重で研磨することが必要になると考えられる。このためには、装置としても低荷重で均一性良くCuを研磨することが可能な研磨ヘッドの開発が必要である。また、研磨液についても、界面活性剤等のコントロールによる摩擦力の低減や砥粒自体の硬度を柔らかいものに変更したり、砥粒表面を別の軟質な物質でコーティングするなどの工夫が必要となる。

5. む す び

半導体の配線材料にCuを適用するための不可欠な要素

技術としてCu-CMP技術がある。このCMP技術で重要な点としては、加工形状の制御と研磨量の面内均一性の向上であり、研磨ヘッドの構造によるところが多い。今回はエアバックとエアフロート構造を組み合わせることで良好な結果が得られた。

研磨液についてもよりディッシング特性に優れたものが求められ、改良が加えられている。現状では、Cuとのケミカル反応をどのようにコントロールし、その表面をどのように研磨除去するかがポイントとなっている。このケミカル反応としては、Cu錯体層を形成するものが主流となりつつあり、その中でも不溶性の錯体層を表面に形成するタイプで良好な加工形状が得られた。

また、Cu研磨のエンドポイントシステムは、ウェーハ表面を直接モニタし、精度良くCu研磨終了の状態を判定することができる光学式が有効であった。

今後、微細化が進みLow-k材料の導入や配線高さの縮小に対応するためには、低ストレスで研磨することができるヘッドの開発や研磨液の改良とともにプロセス条件の最適化が必要となり、よりディッシング量を少なくすることが求められる。

参 考 文 献

- (1) Bohr, M.T.: IEDM Tech. Dig., 241~244 (1995)
- (2) 吉川公磨: 応用物理, **68**, 1215 (1999)
- (3) 大崎明彦, ほか: 高速システムLSI対応Cu配線技術, 三菱電機技報, **73**, No.3, 229~232 (1999)
- (4) Hu, C-K., et al.: Proc. of the 1999 International Interconnect Technology Conference (IITC), IEEE Electron Device Society, 267 (1999)
- (5) Fukada, T., et al.: Applied Surface Science, **91**, 227 (1995)



特許と新案 * * *

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

光磁気記録媒体 (特許 第2660569号, 特開平2-210637号)

発明者 堤 和彦, 深見達也

この発明は、光磁気記録媒体、特に磁界変調方式によって良好なオーバーライト(情報の重ね書き)ができる光磁気記録媒体に関するものである。

従来の光磁気記録媒体は、Gd及びFeを含み、Fe副格子磁化が優勢な垂直磁化膜を用いたものが提案されている。このような光磁気記録媒体に高い周波数で磁界変調オーバーライトを行おうとすると、記録に必要な変調磁界が得ら

れず、SN比の高い記録ができないという問題点があった。

この発明は上記の問題点を解決するためになされたものであり、光磁気記録媒体の膜厚 t と飽和磁化 M_s とした場合に $t \times M_s < 5 \mu\text{m} \cdot \text{emu}/\text{cc}$ を満足する媒体であれば、図1及び図2に示すように、CN比が高くなり、かつ良好なジッター特性が得られることが分かる。

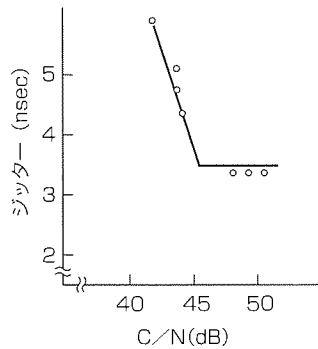


図1

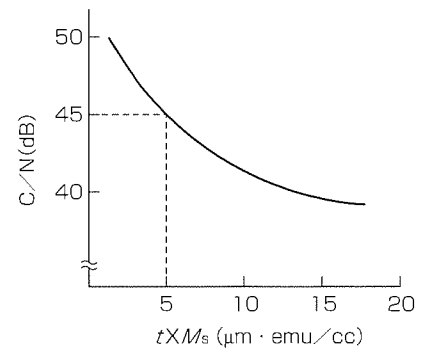


図2

リチウムイオン二次電池及びその製造方法 (特許 第3225864号, 特開平10-172606号)

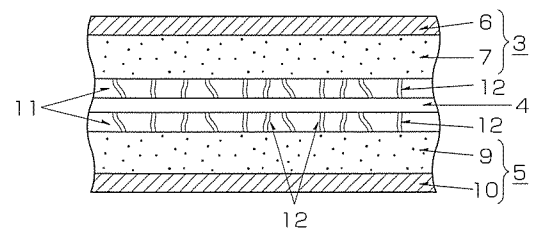
発明者 浜野浩司, 吉田育弘, 塩田 久, 他

この発明は、携帯電話やデジタルカメラなどの携帯用電子機器やハイブリッド自動車などの電源に使用されるリチウムイオン二次電池に関するものである。

従来のリチウムイオン二次電池では、正極、セパレータ、負極を密着させた電池エレメントを形成するために、金属製の外装缶にこれらを封入して圧着させる方法が行われている。したがって、この外装缶を使用しなければ電極、セパレータを密着させることができずに剥離(はくり)が生じ、電池特性が大幅に低下してしまう。また、この外装缶は剛直な材質のものが使用されるために、作製可能な電池形状が限定されてしまい、任意の形状、特に薄型状の電池を得ることが困難であった。

この発明は、上記の課題を解決するためになされたもので、図に示すように、正極とセパレータ間、負極とセパレータ間を電解液を含む多孔性の接着性樹脂で接合すること

により、外部からの加圧力なしに電池エレメントを形成することができる。その結果、外装材として缶を使用する必要がなくなり、電池特性が良好な任意形状の電池、特に缶使用電池では困難であった薄型状電池を得ることが可能となる。



- | | |
|-----------|------------|
| 3: 正極 | 9: 負極活物質層 |
| 4: セパレータ | 10: 負極集電体 |
| 5: 負極 | 11: 接着性樹脂層 |
| 6: 正極集電体 | 12: 貫通孔 |
| 7: 正極活物質層 | |



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

イメージセンサ (特許 第2891550号, 特開平4-239174号)

発明者 兼田 修

この発明は、コピー機、スキャナなどの画像読み取り装置に用いられるカラーリニアセンサに関するものである。

これらの画像読み取り装置では、リニアセンサの機械的な移動による走査によって原稿を読み取るものである。図1に示す従来のセンサでは、R、G、Bそれぞれの色に対応するフォトダイオード(以下“PD”という。)は原稿像の異なる部分を受光しており、これを補正するためPD間隔に対応するメモリが必要であった。また、機械的走査において原稿の走査ずれが生じた場合は、この間隔が大きいかほど読み取った像の色ずれが大きくなるという問題があっ

た。

この発明は、上記の欠点を解決するためになされたもので、図2で示すようにR、G、B、各色のPD列を近接して配置し、中央列の信号電荷の読み出しは、隣のPDを通過させて転送用CCDに移すものである。この発明では、転送用CCDがPD間にないので、PD間隔を最小とすることが可能である。そのため、PD間隔を補正するメモリを削減でき、また、機械的走査に伴う読み取り画像の色ずれも抑制することが可能である。

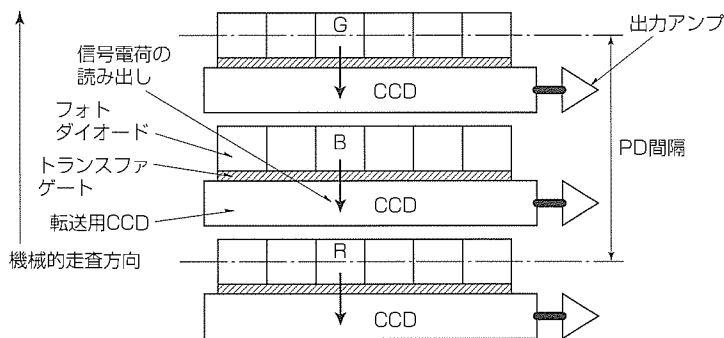


図1. 従来センサ

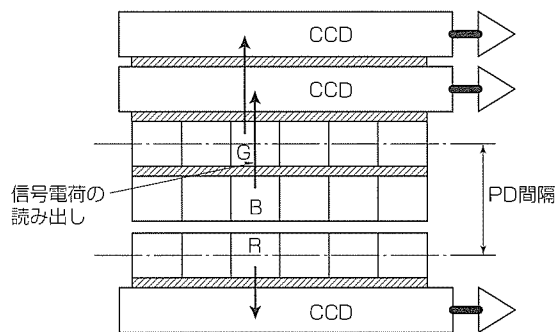


図2. 今回の発明の構成

<本号記載の商標について>

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標である。

<次号予定> 三菱電機技報 Vol.76 No.11 「人と暮らしを支える技術」特集

三菱電機技報編集委員 委員長 井手 清 委員 高橋 大 畑谷正雄 堤 清英 柴原幸志 村松 洋 松本 修 浜 敬三 石野 禎将 中川 博雅 中島克人 部谷文伸 黒畑幸雄 山木比呂志 事務局 松本敬之 本号取りまとめ委員 小沢建樹	三菱電機技報 76巻10号 (無断転載・複製を禁ず) 編集人 井手 清 発行人 福本 紀久男 発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&サービス事業部 〒105-0011 東京都港区芝公園二丁目4番1号 秀和芝パークビルA館9階 電話 (03)3437局2692 印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス 発売元 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話 (03)3233局0641 定 価 1部735円(本体700円) 送料別	2002年10月22日 印刷 2002年10月25日 発行
URL http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/	三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp	

スポットライト

携帯電話応用 プラント監視システム

このたび三菱電機株式会社では、トレンドグラフ表示機能を持った“携帯電話応用プラント監視システム”を開発いたしました。

これまでにも、遠隔プラント監視に携帯電話を応用した事例として、i-mode^(注1)などのWebブラウザ機能を利用し運転情報や計測値の情報を文字ベースで表示するシステムがありました。このようなシステムでもプラントの現状把握は可能でしたが、どのようにプラントの状態が推移してきたかが不明であるため、今後の状態予測が困難でした。

これに対して今回のシステムでは、携帯電話上で動作するJava^(注2)プログラム“iアプリ^(注1)”を利用してWebサーバから一定周期で取得した数値データをグラフィカルなトレンドグラフ形式で表示することにより、今後の状態予測が容易となり、緊急度に応じた適切な対応をとることができ

機能

(1) トレンドグラフ表示

最大4本のトレンドグラフを同時表示することで、プラント状況の推移(現状に至った経緯や今後の予測など)を視覚的に認

(注1)“i-mode”“iアプリ”“Dopa”は、(株)NTTドコモの商標又は登録商標です。

(注2)“Java”はSun Microsystems, Inc.の商標又は登録商標です。

識することができ、適切な処置判断と迅速な対応が可能となります。

(2) 表示情報の自動更新

トレンドグラフは1分周期で自動更新されるため、常に最新の情報を得ることができます。

(3) 数値詳細表示

トレンドグラフの数値情報を、スクロールによって簡単に表示することができます。

(4) アラーム通報

携帯電話へのアラーム自動通報機能(合成音声及び電子メール)により、出先や自宅でもプラントの異常をすぐに知ることができます。

(5) 速報表示

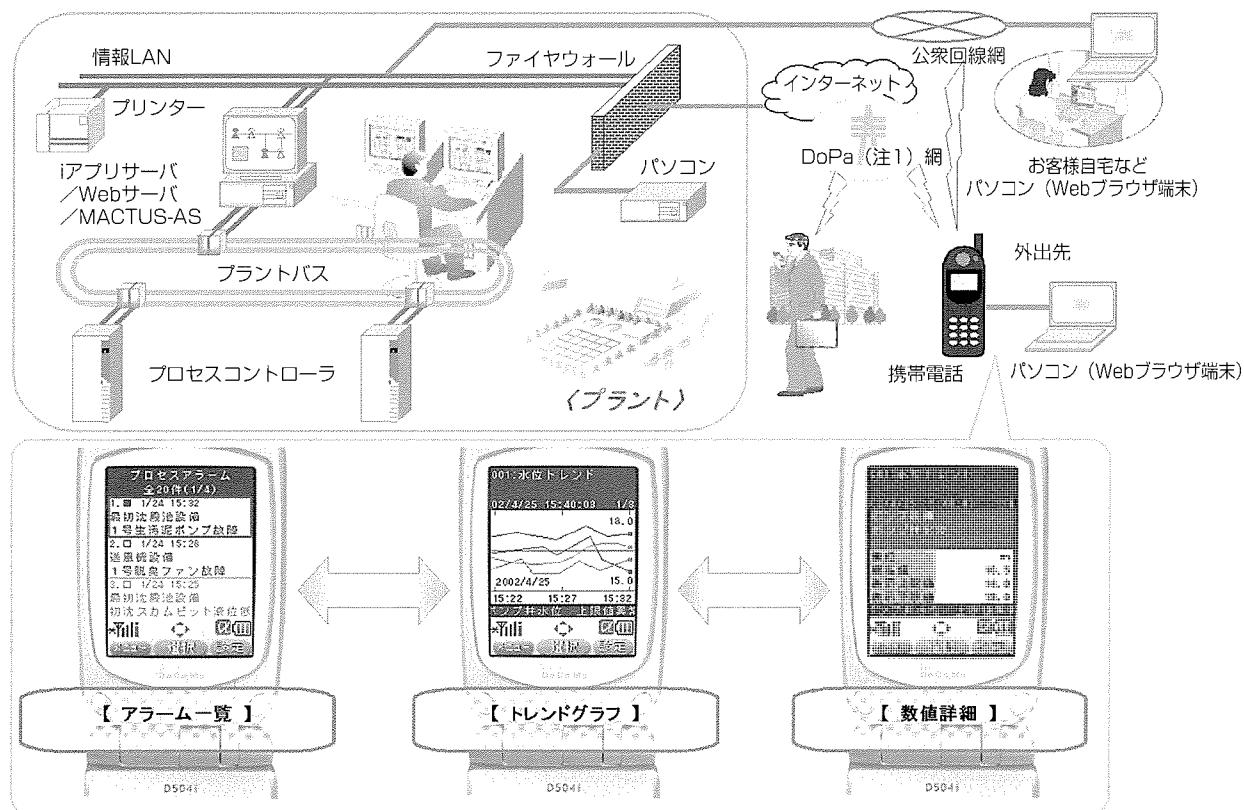
プラントで発生している最新アラーム情報が、グラフ下部のテロップ(流れ)表示によって分かります。

(6) アラーム一覧表示

最新アラーム情報を一覧表示します。その際に、故障の重要度など各種条件によって表示項目を絞り込むことができます。

(7) 関連トレンドグラフへのリンク

アラーム一覧からトレンドグラフへのリンク機能によって、注目したいアラームに関連したトレンドグラフをすぐに確認することができます。



携帯電話応用プラント監視システム

住 所：〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-2-3

会社名：三菱電機株式会社 社会インフラ事業本部 社会システム事業部 お問い合わせ先：TEL 03-3218-2582