

上下水道システムの技術と動向

Enterprising Technology for Managing Water and Wastewater Systems

小山達夫* *Tatsuo Koyama*

大音透* *Tōru Ōto*

上下水道は都市の基本施設という市民の認識が確立し、公共投資により整備が進められた。そのもたらす快適さへの要求が高まり、ニーズは高度化するとともに、狭い国土、資源エネルギーの制約及び社会構造の変化によって多様化し、上水道では安定水源の確保、広域化、ブロック化が、下水道では普及率の向上、放流水質の安定化及び広域化が、また上下水道共通には高信頼性、運用と維持管理の容易さ及び省エネルギーが強く求められている。

日立製作所はこれに応じて、ハードウェアの電子化を進め、ソフトウェアの開発には上下水道プロセス本体の研究に深く参画して、ノウハウの蓄積、モデルアルゴリズム、プログラムの開発とそのモジュール化及びパッケージ化に努力を払っている。

1 緒言

水の問題は生物の生命の維持、安全に大きくかわり、上下水道の使命は水量、水質の安全を確保することである。我が国は清く豊富な水に恵まれすぎていたため、上水道の恩恵を認識することが比較的薄かったと思われる。下水道も環境破壊、エネルギー浪費に気付くまで、その重要性への認識が低かったことは否めない。現在、上下水道は都市の基本施設という認識が確立し、そのもたらす快適さとサービスの高度化が追求されている。

この整備は公共投資により進められ、上水道には昭和54年度、8,680億円が投じられ、普及率は昭和52年度末までに89.4%に達している¹⁾。下水道は第4次下水道整備5箇年計画により、昭和51~55年の間に7兆5,000億円の目標に対し、6兆8,437億円が投じられ、96.4%の進捗率により人口普及率は表1に示すとおりに上昇した²⁾。昭和54~60年度にわたる新経済7箇年計画では、社会資本の充実のために総額240兆円(昭和53年度価格)の公共投資が予定され、このうち、上水道、簡易水道には7兆9,000億円、下水道には18兆2,000億円の配分が考えられている³⁾。これにより、60年度、上水道は普及率96.4%とほぼ全人口に普及し、下水道も55%に上昇させる目標が立てられた。この具体化のために、昭和56~60年度にわたる第5次下水道整備5箇年計画が策定されつつある。昭和55年度はインフレーション対策及び国家財政再建の

ために、公共投資の抑制が考えられているが、中期的には上下水道整備のために、大きい投資が予定されている。

2 ユーザーニーズの動向

上下水道のもたらす快適さを追求し、サービス向上を望む市民の要求に応ずるために、管理当局のユーザーニーズは複雑化、多様化している。そのバックグラウンドは、社会条件による制約と構造変化に深く根ざしている。図1にこの関係を示す。

2.1 制約

我が国は国土が狭く、スペースの制約が大きい。また、資源、エネルギー小国であり、第2次オイルショックによる建設及び運転コストの上昇対策、並びに財源及び資金の調達が重要な問題である。上下水道は完成までに長い建設期間を要し、この間に成長するシステムであり、この間の社会の変化、技術の進歩、高度化に対応できる拡張性、柔軟性及び成長性を備えるとともに、これを適切に管理できる高度の技術レベルのマンパワーも重要な問題である。また上下水道は、大規模地震発生の場合もその使命の達成を求められる。

2.2 社会構造の変化

我が国の社会は昭和40年代の高度経済成長を経て、労働集約形構造から資本集約形構造へ、更に知識集約形構造、情報化社会へと変化し、この間に各産業分野で高度の技術が開発され、これが他へ移転、浸透、波及し全体の技術レベルが相乗的に上昇した。上下水道についても同様である。一方、巨大・高度、先端技術の社会への適合性が検討され、適正高度技術への期待とその採用が増加している。

2.3 上水道におけるユーザーニーズ

2.3.1 安定水源の確保

昭和51~65年度での水需要量の増加は、都市用水258.4億m³/年、農業用水67.8億m³/年、合計326.2億m³/年、供給量の増加は339.6億m³/年と予想されているが、水の需給は地域及び水系別に物理的な事情が著しく異なるため、特に昭和65年度、関東臨海6.9億m³/年、近畿臨海1.1億m³/年、北九州1億

表1 下水道普及率の推移 第4次下水道整備5箇年計画により、下水道の普及率は着実に上昇したが、なお満足ではない。普及率の向上が依然として最重要課題である。

区分	昭和50年度	昭和51年度	昭和52年度	昭和53年度	昭和54年度(見込)	昭和55年度(見込)
一般都市	13%	14%	15%	16%	18%	19%
指定都市	61%	63%	66%	69%	73%	76%
平均	23%	24%	26%	27%	28%	30%

注：5箇年計画の目標値は昭和55年度末40%

* 日立製作所機電事業本部

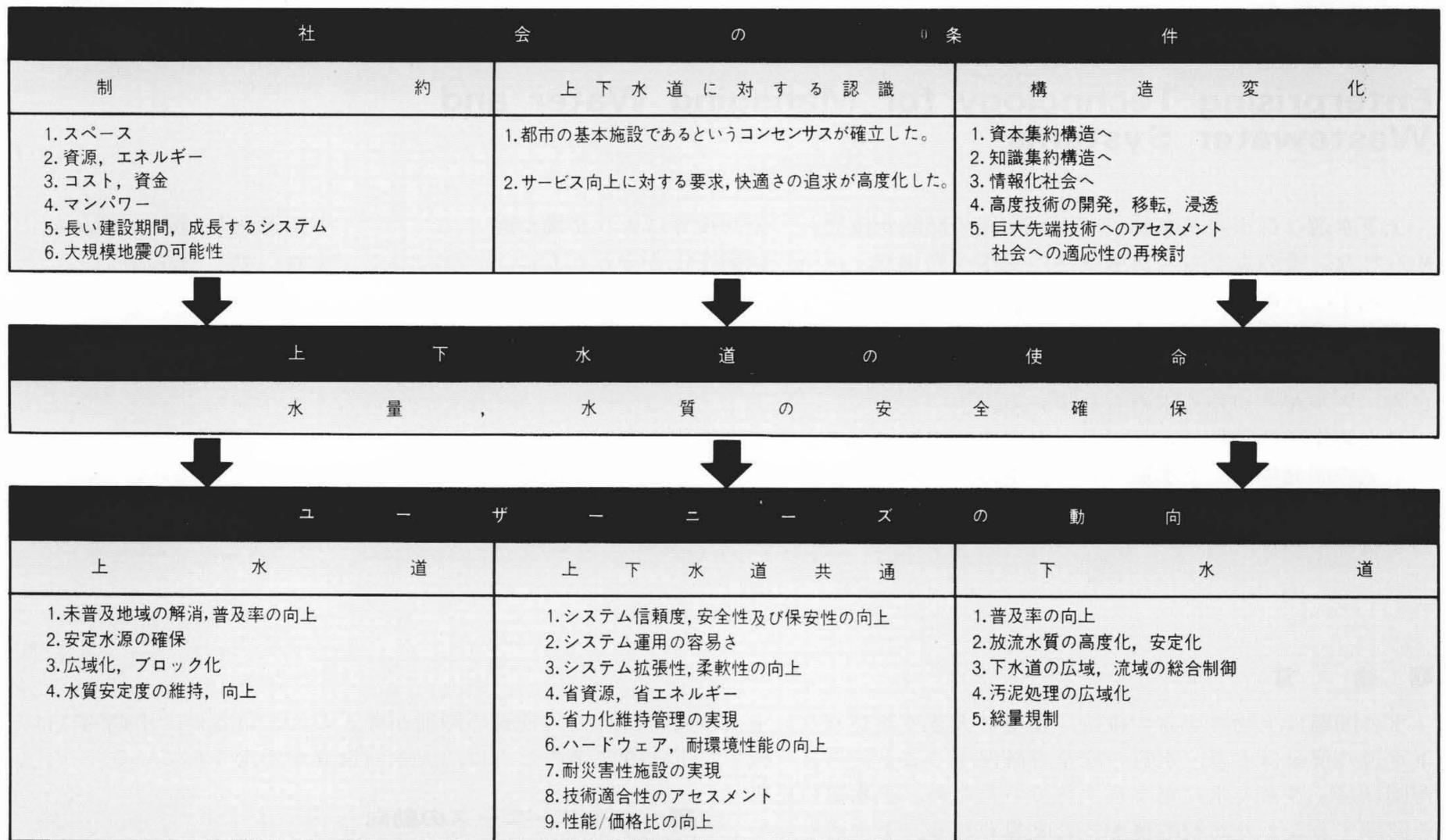


図1 上下水道システム, ユーザーニーズの動向 市民の上下水道のサービス向上に対する認識は高まった。社会の構造変化と制約条件によって市民の要求は加速, 減速され, ユーザーニーズとなることを考察した。

m³/年の不足が見込まれる⁴⁾。これに対処するため、

- (1) 未開発水源の開発, 長距離送水
- (2) 下水処理水の還元, 再利用
- (3) 海水淡水化

による水源の安定化が検討, あるいは推進されている。

2.3.2 広域化, ブロック化

需要面では、

- (1) 節水形社会の実現
- (2) 水利権の均等化調整
- (3) 備蓄, 調整能力の増大
- (4) 供給区域の広域化, ブロック化

による合理的配分及びコストの低減が図られているが, 原水, 浄水, 配水の各レベルで広域化, ブロック化を図り, 貯蔵, 輸送, 融通, 配分の各面の合理化を図ることが重要である。

2.3.3 水質安定度の維持, 向上

ダムからの取水の増大, 取水源の都市化, 下水道整備の遅れなどに基づく原水水質の悪化に対しても, 上水水質を安定に維持するために前塩素, 活性炭, オゾンなどのプロセスが設けられる例が増加している。近年, 上水中に微量汚染物質が存在する可能性が問題になりつつあるが, これに対するインダストリアルな対応は今後の大きな課題である。

2.4 下水道におけるユーザーニーズ

2.4.1 普及率の向上

下水道では普及率の向上が, 依然として最重要課題である。

2.4.2 放流水質の高度化, 安定化

二次処理プロセスの水質自動制御によって, 放流水質を高度に安定化させることは, 昭和40年代後半からの研究, 開発によって大きな成果を得ている。二次処理プロセスの水質自動制御によって, 流入水量, 水質の大幅な変動を吸収し, 放

流水質の高度化, 安定化を達成すると同時に, 高度処理プロセスへの依存度を低減し, スペース, エネルギー, 資源の節減に成功した。

2.4.3 下水道の広域, 流域にわたる総合運用

大都市の公共下水道は普及率の上昇, 処理区域の拡大に伴って, 昼夜間の人口分布が大幅に変動し, 過負荷となっている処理場も多い。本来, 流域下水道は長距離送水, 広域化の性格をもっている。これに対処するため, 合流式で水道の分流化, 処理能力の増強, 処理区域の変更などの量的な対策はもちろん, 濃度が異常に高い生下水が流入した場合, これを管渠内に一時的に貯留し, 同一管渠内で時間的に前後して流入する通常濃度の生下水と, あるいは管渠内で他の管渠の通常濃度の生下水と混合, 希釈して処理場へ送水し, 処理場の水質的平均処理能力の増大を図ること, あるいは処理場間で生下水を融通して多数の処理場及び管渠網を含む全下水道システムを広域にわたって運用し, 水量, 水質両面の平均処理能力の増大を図ることが検討され, 実現に近づきつつある。

雨水排除についても, 排除区域が広域化し, 長大管渠をもつ大容量ポンプ設備が増加している。降雨量, 管渠流入量及び水位, 流達遅れ時間などを正確に予測し, これに基づいてポンプ設備及び管渠全体を, 最適かつ的確なタイミングで総合運用して, 排除区域での浸水事故の絶滅を図るとともに, 運転コストの最小化を図った新しいプラントが実現しつつある。これらのプラントは, 平常時の運転頻度は逆に一般に低いから, これがプラント運転の信頼性を低下させないよう, これを克服する高運転信頼性プラントが実現している。合流式下水道に雨水沈殿池を設け, この運用により雨水を完全に処理, 放流することは, 降雨時初期越流汚濁という別の大きな課題を有効に防止することが期待される。このような, 下水道の広域, 流

域にわたる総合運用は、今後、急速に拡大、増加するであろう。

2.4.4 汚泥処理の広域化

下水道普及率の上昇に伴って、汚泥発生量は飛躍的に増大する。含水率70%換算汚泥発生量は、昭和51年度で2,374km³/年であった。同55年度で6,760km³/年、同60年度で11,654km³/年と見込まれている⁵⁾。

汚泥は一般に、濃縮、前処理、脱水、焼却の各单位操作を種々に組み合わせたプラントにより安定化、減量化される。その後、陸上埋立、海面埋立、海洋投棄、あるいは有効利用が図られるが、80%は埋め立てられる。しかし、埋立用地が大きな制約であり、157都市中、66%は5年分以下、14%は5~10年の埋立用地をもつに過ぎない。埋立用地の問題を解決するために、高効率、低コスト、省エネルギー形、汚泥減量化、安定化技術が強く求められている。また、大都市ではこのために汚泥集中処理基地を設け、広域収集、圧送、集中処理し、最新の減量化、安定化技術による効率化、コスト低減、エネルギー節減を図る計画が進んでいる。広域化は上水道から下水道へ急速に拡大、波及しつつある。

2.4.5 総量規制

指定水域に流入する汚濁負荷量を全体として削減するために、業種別の排水COD(Chemical Oxygen Demand: 化学的酸素要求量)濃度基準(mg/l)と排水量(m³/日)の積が許容汚泥負荷量(kg/日)として定められた。新、増設処理場のCOD濃度基準は30~80mg/lであり、これを確保できる設備、運用、維持管理技術の向上が求められている。

2.5 上下水道共通のユーザーニーズ

上下水道共に、管路、管渠、プラント、プロセス、現場機器、現場制御、中央管理システムが存在し、これが多数、広域にわたって展開し、結合され、総合的なシステムとなる。したがって、時空間的に階層構成をなすが、各階層レベルごとに次に述べるようなニーズが高い。

- (1) 高システム信頼性、万一の異常時にも上下水道の機能、水量及び水質の安全を維持できる安全制御、破壊活動に妨げられない保安性を備えること。
- (2) システム運用と維持管理が容易なこと。
- (3) システム構成は柔軟で、拡張性が高いこと。
- (4) エネルギー、資源の消費が少ないこと。
- (5) 適用技術を常に点検し、高度適正技術を採用すること。
- (6) 設置環境条件はしばしば厳しい。したがって、エレクトロニクス製品の耐環境性を向上させること。
- (7) 性能/価格比が高いこと。

3 上下水道システムの技術動向

日立製作所が上下水道、機械、電気、計装、制御、管理システムで実現した最新技術の動向を表2に示す。その特長はハードウェアでは高い信頼性、エレクトロニクス化であり、ソフトウェアではオペレーションノウハウを蓄積し、モデル、アルゴリズム、プログラムを開発するとともに、そのモジュール化、パッケージ化を強力に推進している点に要約される。

3.1 上水道システムの技術動向

凝集沈殿プロセスでは、原水アルカリ度、凝集水pH及びア

表2 上下水道システム、技術の動向 日立製作所が開発した上下水道技術を示す。ハードウェアでは高信頼化、エレクトロニクス化が、ソフトウェアではオペレーションノウハウの蓄積、モデルアルゴリズム、プログラムの開発と標準化が推進されている。

	技 術 の 動 向				
	上 水 道	上 下 水 道 共 通	下 水 道		
	プ ロ セ ス 制 御	シ ス テ ム 制 御	プ ロ セ ス 制 御	シ ス テ ム 制 御	
ソ フ ト ウ エ ア	1. 有効凝集領域概念 薬品注入制御 2. 汙過流量バランス制御 3. 排泥処理プロセス制御 4. ポンプ最適運転	最適設備計画、運用制御技法(NEFLAN) 1. 河川、流量/水質予測 2. 需要予測 3. 配分計画 4. 管網計算/制御 5. 漏水推定/予測 6. 安全制御	1. データベース ファイル、モニタ、レポート 2. マンマシンインタフェース グラフィック/キャラクターディスプレイ 3. プログラム 対話形/モジュール/パッケージ 4. 予防保全、故障診断 5. 省力化、無人化管理	1. 水質パラメータ制御 溶存酸素濃度/曝気槽送風量 混合液浮遊物濃度/返送汚泥量 総汚泥量/余剰汚泥引抜量 2. 動的汚泥貯留 3. 水質モニタ制御 4. 高度処理プロセス制御 超深層曝気、三次処理 5. 汚泥処理プロセス制御 消化槽、熱処理、脱水機、焼却炉 6. エネルギー回収 消化ガス発電、小水力、廃熱回収 7. ポンプ、プロワ最適運転	最適設備計画、運用制御技法(WELCOM) 1. 河川流量/水質予測 2. 管渠流量/水質予測 3. 管渠一時貯留/混合希釈予測制御 4. 配分計画 5. 安全制御
ハ ー ド ウ エ ア	1. ポンプ/誘導電動機、GTO(ゲートターンオフ)インバータ/マイクロコンピュータ制御 2. 新しい水質検出端シリーズ 濁度、アルカリ度、残留及び遊離塩素 サンプリング配管自動洗浄システム 3. 新しい水量検出端シリーズ 方形波励磁方式電磁流量計	1. 分散制御集中管理システム AQUAMAX-80F/80L/80μシステム 2. 日立制御用計算機 HIDIC 80E 3. 日立制御用マイクロコンピュータ HIDIC 08L 4. シーケンスコントローラ HIDIC・S 5. SF ₆ ガス絶縁コンパクト受変電設備	1. ポンプ/誘導電動機、GTO(ゲートターンオフ)インバータ/マイクロコンピュータ制御 2. 低運転頻度、排水ポンプ、高信頼度運転 3. プロワ/誘導電動機、ベーンダンパ/マイクロコンピュータ制御 4. 新しい水質検出端シリーズ 溶存酸素濃度、混合液浮遊物濃度、汚泥界面 5. 新しい水量検出端シリーズ 方形波励磁方式電磁流量計 超音波開水路及び管路用流量計 超音波水位計		

注：略語説明 NEFLAN(Network Flow Analysis and Planning Method), WELCOM(Water Elevation Control Method)

ルカリ度を有効凝集領域に保ちながら、原水濁度に応じ凝集剤を注入するアルゴリズムによって、原水低濁度時はもちろん、過去のデータの少ない高濁度時及び高低にわたり濁度が変化中でも薬品注入、フロック形成を安定、確実に実行し、同時に凝集剤を約20%節約できる。

広域上水道システムを適切に運用するためには、設備計画と流量、水質、需要予測、配分計画、管網計算などの運用技法の開発とオンライン化が重要である。新たに開発したNFLAN (Network Flow Analysis and Planning Method) は、これを確立したものである。

上水道検出端のオンライン信頼性向上のユーザーニーズは特に強い。新たに開発した濁度、アルカリ度、残留塩素などの水質検出端は、手分析データと高い相関を保ち、かつ3箇月間無保守、1回の保守時間30分以下というオンライン信頼性を実現した。水質試験室へのサンプリング配管内面が汚れ、サンプリング水質が変化し、水質データに影響を与える問題に対し、サンプリング配管内を走行させるスポンジボールで洗浄するシステムを開発し、対処に成功した。方形波励磁、電磁流量計は誘導ノイズを消去し、原水中に含まれる土砂、あるいは電極の汚れに基づく零点ドリフトを低減し安定化に成功した。

3.2 下水道システムの技術動向

二次処理プロセスの水質パラメータ制御によって、放流水質の高度化、安定化を達成した。溶存酸素濃度/送風量制御は省エネルギー効果が顕著で、非制御時に比べ風量を約20%低減できる。動的汚泥貯留方式による汚泥濃度制御により、有機物除去率は、非制御時に比べ約5%向上する。総合的水質安定化の効果が大きく、3~7倍に及ぶ流入生下水流量変動を吸収し、常に放流水質基準を上回る良好な値の維持に成功している。水質モニタシステムはオペレーションノウハウ、モデル及びデータの蓄積によって、水質予測、推移、データ解析などを運転者が対話形操作によって容易に求めることができ、最適設定値をディスプレイに表示させ、更に運転者の経験に基づく判断を加え、的確な運用を行なうことができる。

汚泥処理プロセスは、濃縮、前処理、脱水、焼却の単位操作の多くの組合せからプロセスが構成され、いろいろ複雑化しているが、下記が主要な課題である。

- (1) 濃縮プロセス及び制御の改良
- (2) 熱処理及び焼却プロセスにおける省エネルギー
- (3) 6価クロム及び窒素酸化物の発生の抑制
- (4) 単位操作間のバランス及び汚泥ハンドリング制御

省エネルギーは消費節減と回復、有効利用の両面で考える必要がある。消費節減の面では、下水道でのエネルギー消費の約45%を占めるブロワと、約35%を占める汚水、雨水及び中継ポンプでのエネルギー消費の合理化が重要である。長い建設期間での水量及び風量の過渡値に対し、一般にブロワ、ポンプの台数及び単機容量共に過大で、エネルギー浪費の結果を招くケースが多い。ブロワ、ポンプ最適設備計画を開発し、Computer Aided Planningにより最適計画を行なうことができる。ポンプには運転台数と速度制御を組み合わせたマイクロコンピュータで制御するシステムが、ブロワには運転台数とダンパを組み合わせたマイクロコンピュータで制御するシステムが有利である。エネルギー回復、有効利用の面では、下記が主要なトピックである。

- (1) 嫌気性消化槽で発生するメタンガスによる発電
- (2) 熱処理プロセス並びに焼却炉の廃熱回収及び発電
- (3) ヘッド差を利用した小水力発電

特に嫌気性消化方式は、我が国の処理場の $\frac{1}{2}$ 弱に採用されて

おり、消化ガス発電のほか、嫌気性消化プロセスの最適制御、メタンガス収量の増加及び組成の改善が重要な課題である。

下水道の広域運用のため、設備計画及び運用制御技法WELCOM (Water Elevation Control Method)を開発し、また、そのオンライン化に成功した。

下水道検出端も、オンライン計測の信頼性向上が重要で、水量検出端には超音波、開水路及び管路用流量計、水位計を開発した。開水路、管路共、流量、水位測定は更に容易となり、方形波励磁、電磁流量計と併せ、設置条件にマッチした検出端を容易に選定できる。水質検出端は溶存酸素、混合液浮遊物濃度、汚泥界面検出端を開発し、上水道用と同様、3箇月間無保守、1回の保守時間30分以下のオンライン信頼性を獲得している。

3.3 上下水道システム共通の技術動向

上下水道プロセス及びその設備機器の信頼性が高いことはもちろん重要であるが、更にこれを含む上下水道システム全体の運用が容易で、その信頼性が高いこともいっそう重要である。このため、効率的なデータベースを構築する必要がある。

- (1) システム運用に必要なかつ十分なデータを選定すること。
- (2) データの使用法に適したファイルを整備すること。
- (3) データへのアクセスが容易なこと。

がその条件である。

最近のマンマシンシステム、特にグラフィックディスプレイの進歩によって、データへのアクセスは容易となり、予測、実績との比較、トレンド表示、これに基づくオペレーションガイド、運用制御、予防保全、故障診断、安全制御など、制御の高度化と維持管理の省力化が実現した。

日立上下水道分散制御・集中管理システムはAQUAMAX-80F, 80L, 80 μ システムと称し、制御及び処理の分散化という時代のニーズに応ずるとともに、先端技術を社会に適合させた高度適正技術であるとの評価を得て、北九州市建築局曾根処理場、金沢市下水道部西部処理場など、多くの実績が確立されつつある。

上下水道システムは以上述べたソフトウェア、ハードウェアのほか、オペレーションとの組合せにより運営される。三者の適正なバランスと、そのサポートシステム、すなわち人員計画、教育訓練計画、運営体制、保全体制、保全設備、部品保管及び供給などの高効率化が重要であり、システム稼働率はこれに依存するところが大きい。

4 結 言

典型的な社会システムである上下水道のユーザーニーズの動向と、そのバックグラウンドである社会条件について考察し、これに応じて日立製作所が開発してきた技術の進歩と最近の動向について述べた。詳細については本特集の各論文を参照されたい。

終わりに、関係各位からいただいた御指導に対し、ここに厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 市村：昭和54年度水道関係予算案の概要、水道協会誌、535、2~11 (昭54-4)
- 2) 齊藤：昭和55年度下水道事業予算の概要、下水道協会誌、17、189、2~8 (昭55-2)
- 3) 新経済7ヶ年計画、経済企画庁、55~65 (昭54-8)
- 4) 国土利用白書、国土庁、288~300 (昭54)
- 5) 井前：下水汚泥の処理、処分に關する諸問題、下水道協会誌、16、183、2~4 (昭54-8)