

下水道システム制御の動向……………	3
下水道システム制御の計画上の諸問題……………	9
下水道システムの数式モデルとシミュレーション……………	13
下水道における計測及び新制御システム……………	19
下水道の計算機制御システム……………	29
下水道システムにおける機械設備及び電動機の制御……………	35
下水高度処理技術の展望……………	45
下水汚泥の処理システム……………	49
下水道用ポンプ・ブロワの最近の動向……………	55

下水道システム制御の動向

我が国の下水道整備事業は簡単な比較によっても、アメリカの25倍、西ドイツの6.6倍、イギリスの40倍の緊急性にさらされている。下水道整備は地方自治体の仕事という従来の観念から脱皮し、国家的視野での広域水質保全事業へと飛躍している。下水道システムについてみれば、例えば汚水処理における深層曝気、酸素曝気、高度（三次）処理、汚泥処理における熱処理、フィルタプレス、流動床炉の採用などの技術革新が行なわれ、更に下水道システムがクローズド サイクルを形成して河川水質の保全と処理水の再利用化が図られている。そしてこれら下水道システムが、ネットワークを形成し広域、且つ総合的に運営管理される。すなわち、トータル システムへ発展しつつある。これを制御する下水道システム制御は、検出端の問題、あるいは二次処理プロセスの動特性の困難さなどに妨げられ、単位操作の制御も思うに任せなかった状態を脱却し、水量のほか、水質に関しても溶存酸素量、混合液浮遊物濃度、余剰汚泥量などのマイナ制御の実績が急速に確立されつつある。更に、これらのブロックを積み重ねていくことによって、下水道システム全体に対するトータル システムを形成できる。このためには、階層化制御（ハイアラキ）システムが下水道システムに最も適したものであると考える。

下水道システム制御の計画上の諸問題

下水道システム制御の計画を行なうためには、「下水道システム制御とは何か」から始まり、システムの性質を把握して、システムの定量的・定性的な解析が前提条件となる。

このためには、生物化学的プロセスを主体に土木、建築などの施設、処理機械設備、電気設備、計装設備などが相互に深いかかわり合いをもって関連事項をオーバーラップさせながら計画を進めていく必要がある。

また下水道システムの目的を効果的に達成するために、システム全体の総合信頼性を高めることが重要である。

一方、これまでの下水道のシステム制御の計画においては、維持管理の分野まで踏み入って計画がなされていなかったきらいがある。しかし昨今のように、電子計算機や計装設備を活用したシステムにおいて、長期にわたり円滑に運転していくためには、維持管理の計画を下水道システムの全体計画のなかに位置づけ、運転管理体制、教育訓練などについても十分に検討しておく必要がある。

以上述べたような事柄を考慮して、はじめて最適な下水道のシステム制御が実現するものとする。

下水道システムの数式モデルとシミュレーション

制御用電子計算機は下水道階層化制御システムにおいて、上位制御ユニットとしてモード変更、並びにパラメータ修正を担当し、フィードフォワード制御、最適制御及び適応制御を行なうものである。しかし、その進歩は従来、活性汚泥処理プロセスの特性把握の困難さに阻まれてきた。

日立製作所は東京都下水道局の指導により、下水道システムにおける流入下水量と処理プロセスの水質に関する数式モデルを基本から検討し、静的及び動的シミュレーションにより特性解析を行ない、同時に東京都下水道局三河島処理場における実測値によってモデルの同定を進めている。これにより実プロセスに適用可能な数式モデルがほぼ確立され、また、より処理成績の良好な新しい制御方式も見いだしつつある。

この論文では、その過程、すなわち各種の数式モデル、シミュレーション技法、適用例及び結果について述べる。

下水道における計測及び新制御システム

曝気槽を中心とする水質制御は、終末処理場における中枢である。

この論文では、水質に関する新ファンクション コントロールとして、溶存酸素濃度(DO)、混合液浮遊物質濃度(MLSS)、余剰汚泥引抜きの各制御システムにつき論述するとともに、水質制御に欠くことのできない計測システムとして最近開発された活性汚泥管理計器、全有機炭素・全窒素(TOCN)分析計につき述べる。

更に、上記と密接に関連する大口径電磁流量計と近代化されたコントロール デバイスにつきその概要を述べる。

下水道の計算機制御システム

下水道システムにおける電子計算機システムは、階層化制御システムの上位ユニットとしてモード変更、並びにパラメータ修正を担当し、フィードフォワード制御、最適制御、適応制御を行なうとともに、マン マシン プロセス インタフェースの中枢にあって下水道システム全体の集中監視システムを支配するものとなった。

日立製作所は、実プロセスに適用可能な数式モデルをおおむね確立したので、この論文においては長期、中期、短期、及び適応モデルにより形成される階層化水質制御システムの上位制御ユニットのあり方と、従来のグラフィック盤に代わり電子計算機によって駆動されるプロセス カラー ディスプレイ装置が新しいマン マシン プロセスインタフェースを形成し、最大限まで集中監視、及び判断、指示を実行することによって情報量と対話処理速度が飛躍的に増大した事例について述べる。

下水道システムにおける機械設備及び電動機の制御

下水道システムにおいて電力消費量の大部分を占め、且つ機械設備の代表である曝気用ブロワと汚水、雨水、及び汚泥ポンプを取りあげ、システム全体の確実・容易、コスト低廉な運転のために強く要請されている機械設備の運転信頼性の向上、省エネルギー、メンテナンスフリーの面から、その制御方式と駆動装置のあり方について考察した。

代表的駆動装置である電動機については、サイリスタ及び集積回路の進歩によってパワーエレクトロニクスによる速度制御が広く採用されるようになった。サイリスタ モータ並びにサイリスタ コントローラは瞬時停電対策、力率補償、高調波対策などの安全制御のもと信頼性向上、省エネルギー及びメンテナンスフリーを実現し、下水道システムに適したものである。

下水道システム制御の動向

Recent Trends of Instrumentation, Control and Automation Systems for Wastewater Treatment Systems

我が国の下水道整備事業は簡単な比較によっても、アメリカの25倍、西ドイツの6.6倍、イギリスの40倍の緊急性にさらされている。下水道整備は地方自治体の仕事という従来の観念から脱皮し、国家的視野での広域水質保全事業へと飛躍している。下水道システムについてみれば、例えば汚水処理における深層曝気、酸素曝気、高度(三次)処理、汚泥処理における熱処理、フィルタプレス、流動床炉の採用などの技術革新が行なわれ、更に下水道システムがクローズド サイクルを形成して河川水質の保全と処理水の再利用化が図られている。そしてこれら下水道システムが、ネットワークを形成し広域、且つ総合的に運営管理される。すなわち、トータル システムへ発展しつつある。これを制御する下水道システム制御は、検出端の問題、あるいは二次処理プロセスの動特性の把握の困難さなどに妨げられ、単位操作の制御も思うに任せなかった状態を脱却し、水量のほか、水質に関しても溶存酸素濃度、混合液浮遊物濃度、余剰汚泥量などのマイナ制御の実績が急速に確立されつつある。更に、これらのブロックを積み重ねていくことによって、下水道システム全体に対するトータル システムを形成できる。このためには、階層化制御(ハイアラキ)システムが下水道システムに最も適したものであると考える。

加藤修嗣* Shûji Katô

大音 透** Tôru Ôto

1 緒 言

我が国の近代的な下水道の人口普及率は昭和48年末20.4%で、イギリスの94%、アメリカの71%、西ドイツの63%などに比べまだ格段に低い。これは、これまでの社会経済が産業資本の投資に主力がおかれ、社会資本投資が不足したこと、つまり社会的アンバランス⁽¹⁾が生じたことを端的に物語っている。狭い国土の中で大量の資源やエネルギーが消費され、自然破壊の進行が憂慮されている昨今、都市社会における生活基幹施設であるとともに、自然環境保全に欠くことのできない下水道に対し早期整備の期待は大きい。この意味から下水道整備事業は、国家の重点施策として推進されている。しかし、利潤をあげにくい社会資本の形成は景気調節弁となり遅れやすいことなど、経済論理とのもつれ合い、克服、適正な妥協により急速に推進することが行政上重要な課題となっている。しかし、人口普及率が欧米の水準に到達することが最終目標ではなく、放流水質を欧米の水準以上に厳格に保ち、環境基準を達成し、総合的な水資源の保全を図ること、すなわち、**Best Effluent the Goal**と言える。このため、下水道システム制御には我が国の過集積に基づく厳しい要求と制限条件が濃縮されて課されてくることが考えられ、普及率の上昇とともにこれが加速されよう。すなわち、**Advanced Control for Best Effluent the Goal**を実現することが緊急、且つ重要である。

このため、日立製作所は東京都下水道局の指導を得て、また力を合わせて努力を傾けている。以下、その概要を紹介する。

2 下水道整備事業の緊急性と進展

2.1 下水道整備の緊急性

我が国の1960年代以降の急激な都市化、工業化及び経済成

長の混合である近代化に対し、下水道は基本的な都市施設、すなわちナショナル ミニマムとして急速な整備が要請されている。

2.1.1 下水道に対する社会的要請

- (1) 身近な生活からの基本的な要請
 - (a) 雨水の完全な排除：雨による浸水災害がないこと。
 - (b) 便所の水洗化：臭気のない衛生的で快適な住居とする。
- (2) 水質保全
 - (a) 公害対策
 - (b) 住みよい生活環境
 - (c) 自然保護

} 水系及び海域を一貫した広域、流域事業が必要である。
- (3) 水資源の確保
 - (a) 下水処理水の還元再利用：水系及び海域を一貫した広域、流域事業が必要である。

2.1.2 下水道整備の緊急性

国民総生産(GNP)/可住地面積を比較すると、日本900%、西ドイツ450%、イギリス300%、アメリカ100%となる。これは一面では人口及び産業の過度集中に基づく環境汚染の進行を示している。すなわち、過集積による環境汚染の指標であり、我が国の過集積状態が明らかである。下水道人口普及率は水に関する環境汚染消去率を示すものであるから、 $GNP/可住地面積 \times (1 - \text{人口普及率})$ で比較すると⁽²⁾、日本4,000%、西ドイツ600%、イギリス100%、アメリカ160%となり、我が国の下水道整備事業は、国土の広いアメリカの25倍、GNPでは似た条件の西ドイツの6.6倍、大英帝国の豊かな遺産を継承したイギリスの実に40倍の緊急性にさらされていることが分かる。

2.2 下水道整備事業の進展

表1に従来の下水道整備事業の実施状況を示す。昭和38年

* 東京都下水道局整備拡充部電機設計課 計装係長 ** 日立製作所機電第一事業本部

表Ⅰ 下水道整備事業の進展 昭和38年以降、下水道整備事業が本格化し年々総事業費が増加していることが分かる。

下水道整備事業	年 度(昭和)	総事業費(百万円)
第一次下水道整備 5 個年計画	38～42年	440,000
第二次 "	42～46年	930,000
第三次 "	46～50年	2,600,000

度の総事業費は498億円、昭和48年度は5,430億円で11倍に達し、人口普及率は7.2%から20.4%に上昇した。第三次下水道整備 5 個年計画は、昭和49年度までに1兆9,200億円が予算化され、達成率は76.6%である。また、49年度においては下水道に対する国庫補助率が引き上げられ、流域下水道は1/2が3/4に、公共下水道は1/3が2/3に、都市下水路は1/3が1/2となった。このことは、下水道事業は地方自治体の仕事といった観念から、広域の水質保全のために国家的視野で下水道整備を行なっていく姿勢の転換を示すものである。第四次下水道整備 5 個年計画建設省案によると、昭和50年から54年までの間に10兆円を投資し、人口普及率を50%程度に高め、更に昭和60年度までにこれを90%程度に上昇させようという目標が立てられている。このため、下水道公団(仮称)を設立し、下水道整備事業に初めて財政投融资資金を導入することが検討されているが、50年度におけるインフレーション対策の必要性との兼合いから、この実現にはなお若干のう余曲折が見込まれる。

3 最近の下水道システム

最近の下水道システム本体の進歩と問題点は次のとおりである。

3.1 汚水処理

大部分の都市においては活性汚泥（二次処理）プロセスが採用され、適切な維持管理のもとに安定確実な処理成績が得られており、流入 / 放流水質は5日間生物化学的酸素要求量(BOD₅)濃度200/20ppm、浮遊物質(SS)濃度300/30ppm程度である。しかし、最近、大都市においては、過度の人口や産業の集中によって下水量が著しく増大しており、既存の処理施設は過負荷となって処理成績が低下している。このため種種の技術的対応が試みられている。

(1) 前曝気槽の採用

最初沈殿池の沈殿効率の向上と曝気槽の負荷軽減を図るものである。

(2) 傾斜板の導入

沈殿効率の向上を図るものである。

(3) ステップ エアレーションの採用

曝気槽内微生物が必要とする酸素量を必要位置において供給する方式であり、処理能力の向上、曝気槽のコンパクト化、曝気ブロウ使用電力量の低減に大きく貢献できる。

(4) 酸素曝気の採用

開発元のアメリカでは既に実規模プラントが建設されているが、我が国でも成果の評価が行なわれており、簡単には曝気槽サイズと滞留時間は空気中の酸素含有量の比、すなわち21%に低減でき使用電力量は約60%に低減できると言われる。

(5) 深層曝気の採用

7.5～18m級の実験、及び建設が進められ、曝気槽のコンパクト化に貢献している。

(6) 高度処理

二次処理プロセスでは上述のようにBOD₅濃度20ppm、SS濃度30ppm程度の処理成績が得られるが、生活環境基準として悪臭を發しない限界のE級においてもBOD₅濃度10ppm、上水道用原水としては最低のB級においてもBOD₅濃度3ppmが必要である。この差すなわち、下水の処理水質と公有水質基準とのギャップは、従来、河川の自浄作用に依存していたが、昨今水需要が増大し河川からの取水量が著しく増加したため、固有流量が減少し自浄効果は期待できなくなっている。このため、河川汚濁が進行し、下流の汚染は著しい。これを防止するため、高度処理、いわゆる三次処理が必要となる。

(a) 有機物の高度除去

環境基準達成のため、有機物の高度除去を目的とした三次処理プロセスを付加するもので、(i)凝集沈殿、(ii)急速砂ろ過又は多層ろ過、(iii)マイクロ ストレーナ、(iv)活性炭吸着などのプロセスが検証されている。

(b) リン及び窒素の除去(富栄養化対策)

湖沼、あるいは内湾に栄養塩類が堆積し富栄養化して植物プランクトンが繁殖し、水の着色、着臭が発生して水道用原水として使用できない、あるいは浄水場において凝集沈殿障害、あるいはろ過池の閉塞などが発生する例が増加している。植物プランクトンは栄養塩のうち、リンと窒素によって増殖が左右されるので、この対策として、

(i) リンの除去：凝集沈殿

(ii) 窒素の除去：生物化学的脱窒、アンモニア ストリッピング、ゼオライト吸着、不連続点塩素注入

などのプロセスが検討されている。

3.2 汚泥処理及び最終処分

終末処理場で発生する有機性汚泥の処理及び最終処分のプロセスは図1に示すとおりである。けん気性消化、天日乾燥後、肥料あるいは土壌調整剤として、または埋め立てて大地へ還元し、同時に消化工程中に発生するメタンガスを有効に利用するプロセスが、生態学的にも省エネルギーの面からも好ましいが、用地の制約、化学肥料体系に転換している農業政策から、処理の基本は減量化、安定化、無害化に向かい、前処理、脱水、焼却などの単位操作が採用されている。現状においては決定的な処理技術(手法)はなく従来の実績、経験及び現地の条件に適合したものを選択している。この状況の中で特に、熱処理、フィルタプレス、流動床炉は新しい技術として注目されている。

3.3 処理場環境の整備

処理場が騒音、振動、臭気などの二次公害源とならないよう考慮することはもちろん、更に積極的に曝気槽、沈殿池などをおおって上部を公園、運動場などに利用し市民に憩いの場を提供することが既に各所で実施されている。

3.4 下水処理水の再利用

水資源の総合利用のため、図2に示すように都市、あるいは都市群がクローズド サイクルを形成して処理水を再利用し用途別給排水を行なう新しい上下水道システムの確立を目指すことが望ましい。既に新しい超高層ビル、あるいは都市の一区域には、この実績が現われている。

3.5 システム運転の高信頼化、広域運営及び総合管理

一般に上下水道システムは、浄水場→配水管網→下水管渠→終末処理場と直列形システムを形成している。システム信頼性の面からは、図3に示すようにこれらが複数個並列に接続されて並列冗長系を構成してネットワークを形成し、またこれが広域にわたって総合運営管理されるトータル システムを確立することが望ましい。上水道に続き、下水道もこの方

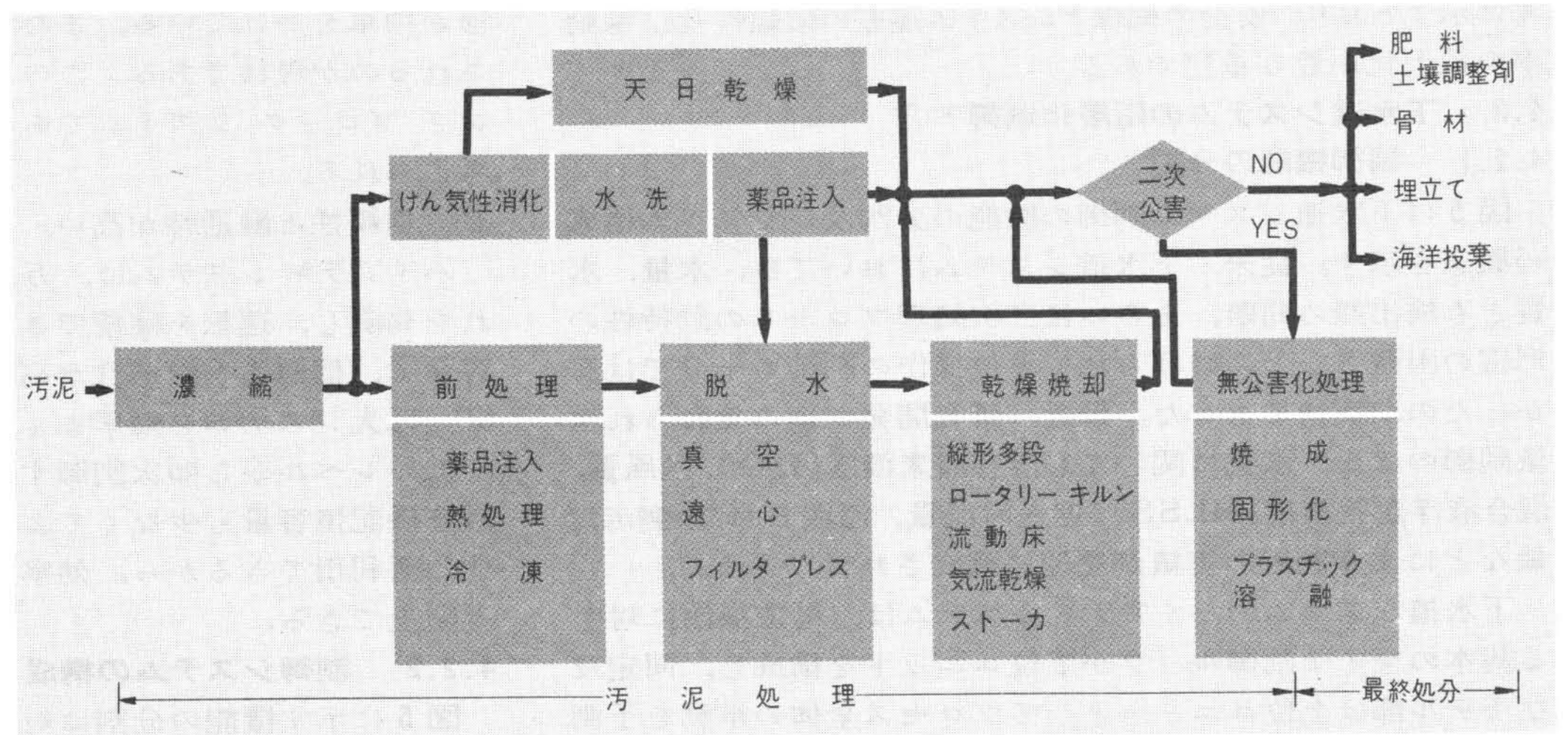


図1 有機性汚泥の処理及び最終処分プロセス

最終沈殿池から引き抜かれた余剰汚泥の減量化，安定化，無害化並びに大地への還元方法を示す。

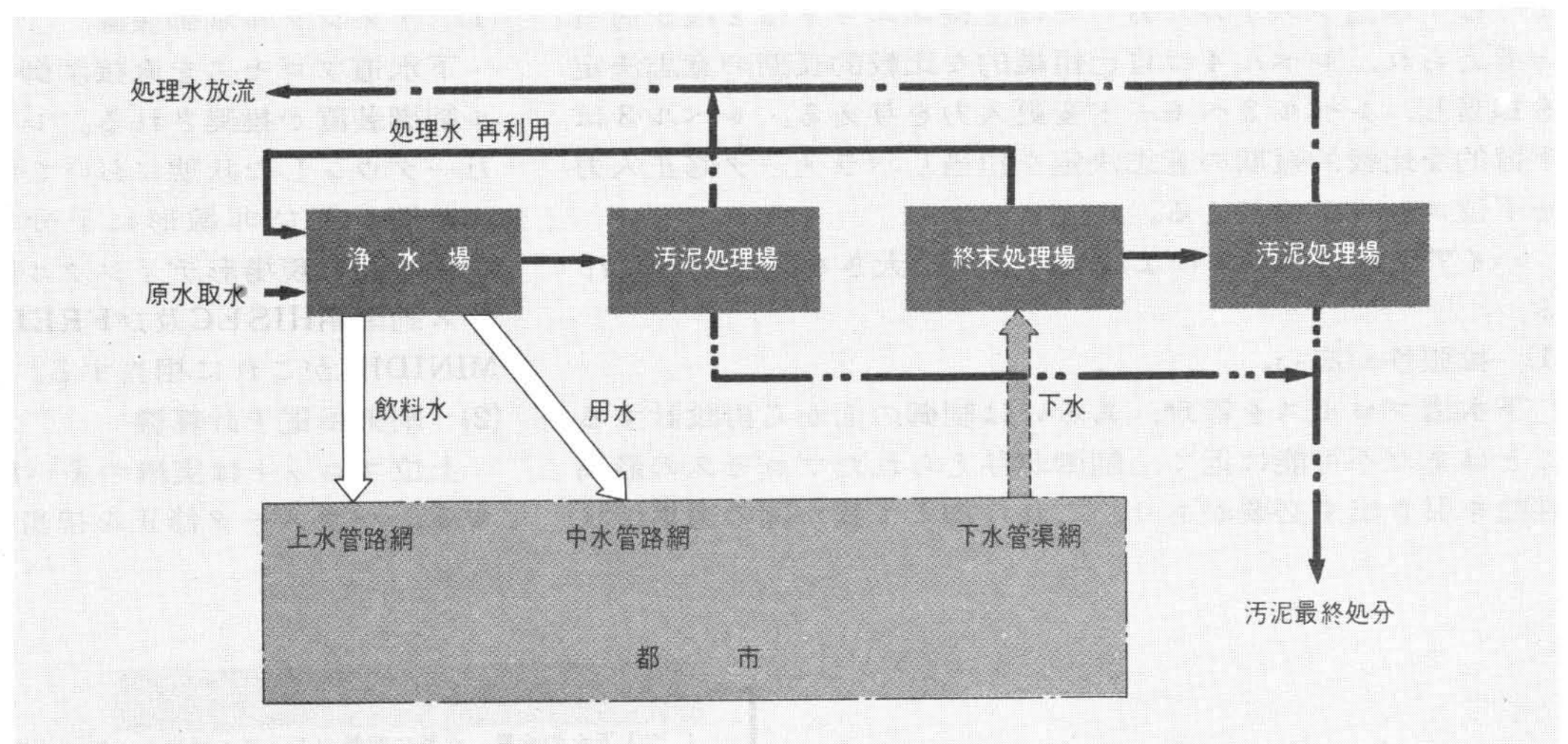


図2 処理水再利用，用途別給水を行なった都市の新しい上下水道システム

上水道と下水道を結合し，終末処理場で処理した処理水を浄水場へ還元し，用水として中水管路網へ供給するものである。

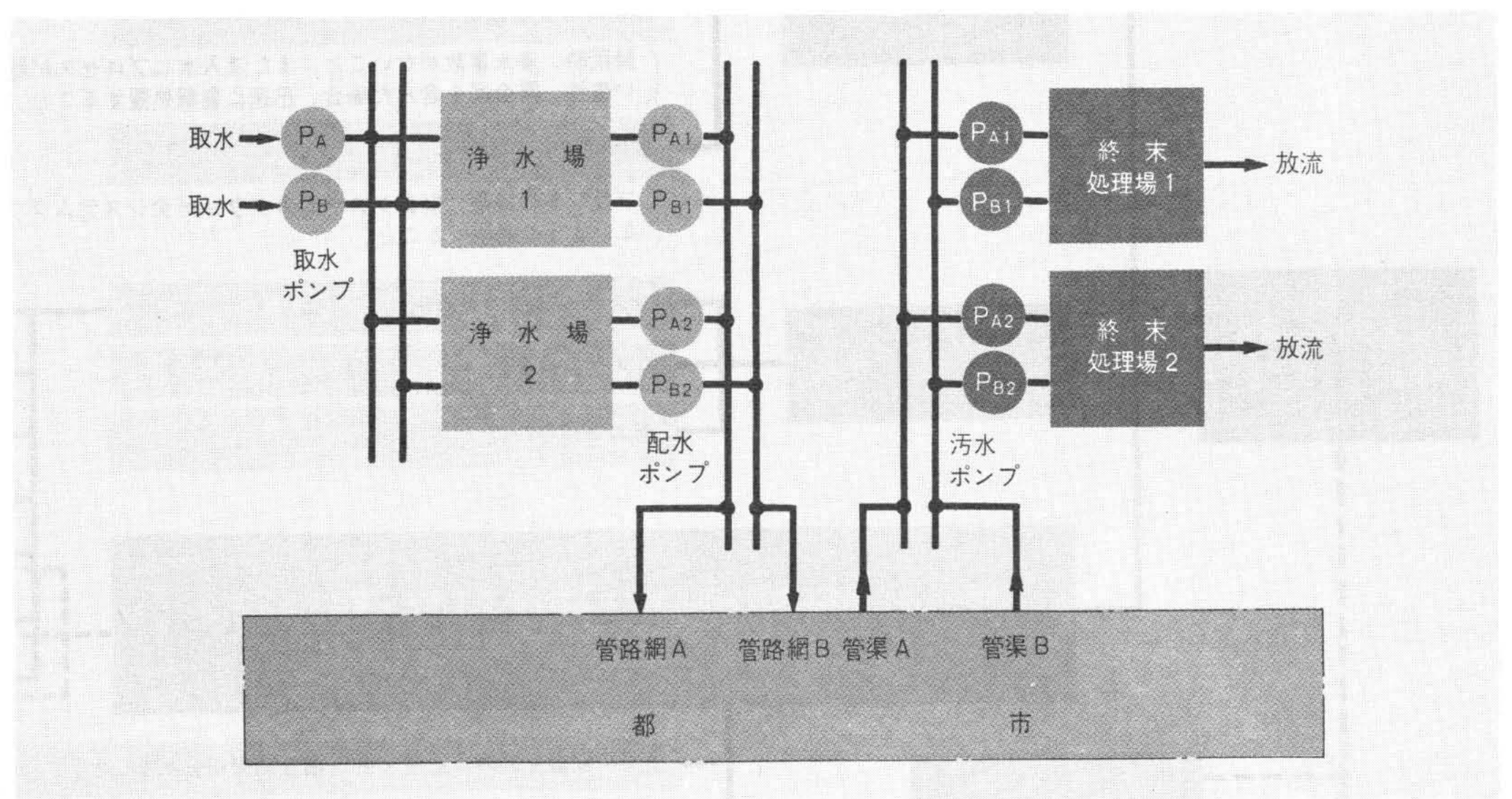


図3 ネットワーク化された都市の新しい上下水道システム

取水ポンプ，浄水場，配水ポンプ，配水管路網，下水管渠，汚水ポンプ，終末処理場などの施設がすべて並列冗長系を構成しネットワークをなしており運転の信頼性を向上できる。

向へ進歩するものと考えられる。

4 下水道システム制御

下水道システム制御も他のシステム制御と同様，システム全体を対象として把握し，ユニットプロセスに分解してこれに対する制御ユニットを積み上げれば，トータルシステムが

構成できる。すなわち統一した考え方に基づくトータルシステムのアプローチが基本である。

4.1 下水道システム制御の目標と評価関数

経済の論理に支配される生産システムなどにおいては目標，評価関数とも原価最小，利潤最大に容易に収れんする。公共システムとして下水道システムはこれほど簡単ではなく，図

4に示すとおり、安全の確保とシステム運転の信頼性及び稼働率の最大化が最も重要である。

4.2 下水道システムの階層化制御^{(3)~(7)}

4.2.1 制御機能の分割

図5に下水道システム制御の機能の分割及びシステム構成の概念を示す。従来、下水道システムにおいては、水量、水質とも検出端の問題、あるいは二次処理プロセスの動特性の把握の困難さなどに妨げられて単位操作の制御も十分ではなかったのが実情であった。最近、研究開発が積み重ねられ水量制御のほか、水質に関しても溶存酸素濃度(DO)/送風量、混合液浮遊物濃度(MLSS)/返送汚泥量、汚泥日令/余剰汚泥量などによる制御の実績が急速に確立されつつある。

下水道システムのハイアラキシステムは、単位操作に対する基本のマイナ制御ループが下位ユニットを構成し、同定及びモデル部は上位ユニットとしてプロセス全体の挙動を予測し統合入力を下位ユニットに与えるものである。図5に示すように下水道システムにおいては上位ユニットは2段が適当と考えられ、レベル4は自己組織的な比較的長期の意志決定を担当し、レベル3へモード変更入力を与える。レベル3は学習的な比較的短期の意志決定を担当しパラメータ修正入力を下位ユニットに与える。

ハイアラキシステムにより次のような大きな利点が得られる。

(1) 拡張性が高い。

下水道プロセスを管理、あるいは制御の面から再設計することはまだ不可能に近く、制御が与えられたプロセスの最高性能を引き出す必要があり、これに加えて我が国の過集積状

態が拍車をかけている。またプロセスは長期にわたって増設されるのが現状である。このようなことから、本来ビルディングブロックシステムであるハイアラキシステムが最適と考えられる。

(2) 信頼性と融通性が高い。

ハイアラキシステムは、万一、一部に故障が発生してもこれを局限し、運転を継続できる。トラブルシューティングも容易で、信頼性と融通性が高い。

(3) 巨大システムを効率よく取り扱える。

低いレベルから順次制御するから問題解決が容易であり、計算機記憶容量も少なくてもよい。また、ソフトをパッケージ化し再利用できるから、効率の向上と同時にソフトの信頼性も向上できる。

4.2.2 制御システムの構成

図5に示す機能の分割に対応したハードシステム構成が考慮されている。

(1) デジタル制御装置

下水道プロセスを直接制御する下位ユニットは、デジタル制御装置が推奨される。レベル3及び4の上位ユニットが万一ダウンした状態においても、水の系統の大きい時定数、むだ時間、及び非線形に十分対応して制御を行なうには、信頼性の高い現場形デジタル制御装置が適当である。シーケンス制御用HISEC及びFREELOG、デジタル演算制御用MINIDICがこれに相当する。

(2) 制御用電子計算機

上位ユニットは実績の多いHIDIC制御用電子計算機で構成する。パラメータ修正を担当するレベル3は、同時に処理場

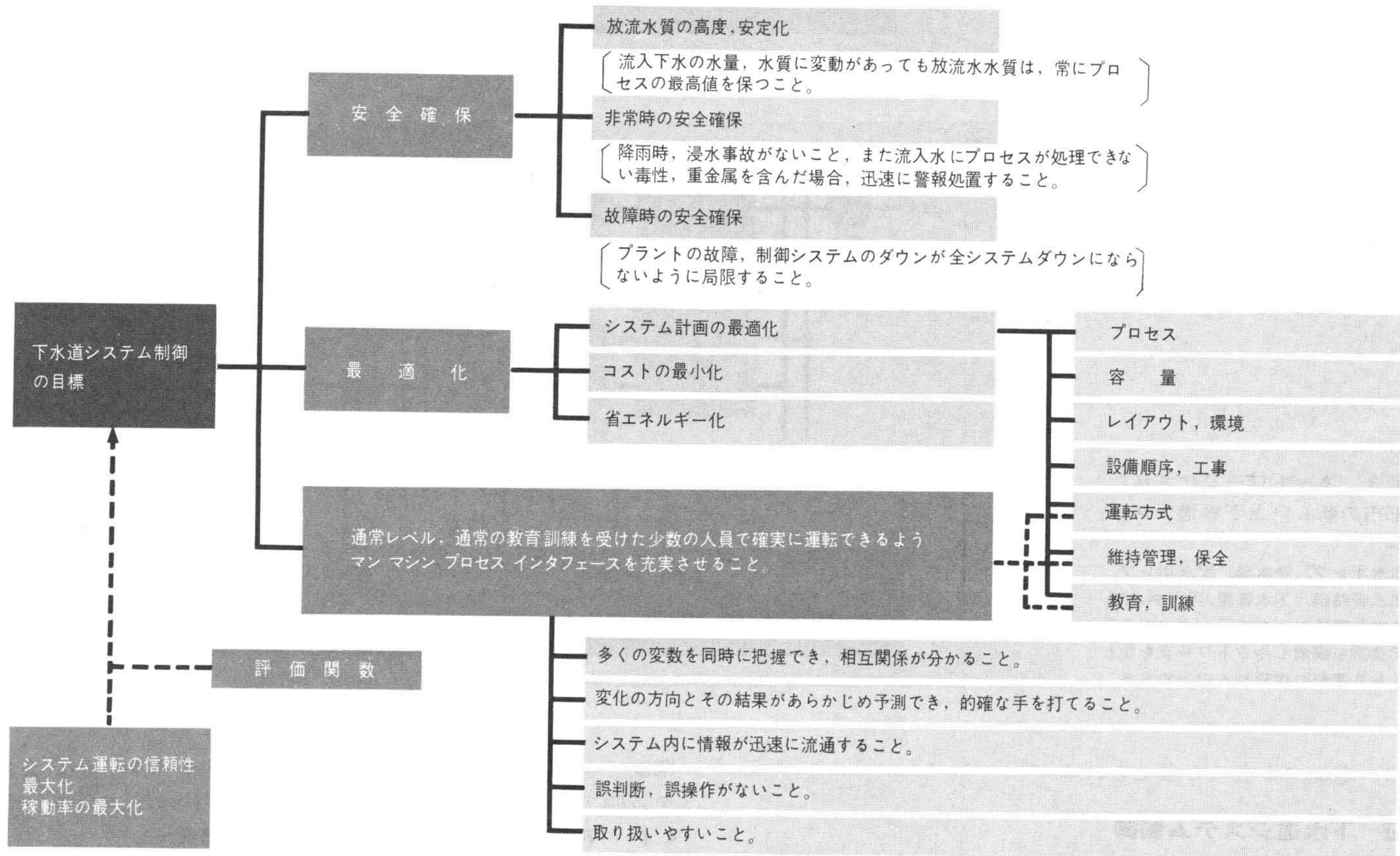


図4 下水道システム制御の目標と評価関数 下水道システムを運転、制御するに当たっての目標は、安全の確保、最適化、運転の容易なことであり、運転成績はシステム運転信頼性と稼働率によって評価されるべきことを示した。

特許と新案

なお、照会・実施のご希望のございます場合は、右記までご連絡願います。

住所：〒100 東京都千代田区大手町 2-6-2 (日本ビル)

登録番号	公告番号	名 称	登録番号	公告番号	名 称
実 873702	43-27225	サーミスターを用いた遅延継電器装置	特 255751	34-2777	過電流継電器
実 902559	44-24349	二重動作継電器の非可逆制御装置	実 891847	44-14195	リレー
実 863331	43-18680	温度継電器	実 873684	43-27897	電磁リレーの調整バネ受け取付装置
実 852708	43-2190	電子式継電器の電源装置	実 772231	39-32521	電磁接触器
実 888999	44-12063	集合体から成るプリント板の取付装置	実 740112	38-28112	箱形電磁開閉器の端子記号表示装置
特 479254	41-3406	ひずみ波交流発生装置	実 936738	45-30461	周波数継電器
実 724058	38-6836	保護継電器	実 790886	40-20068	有極継電器
特 450222	39-25721	トランジスタ継電器のプリント配線に於ける電源配線方式	実 888980	44-8910	誘導円筒型継電器
実 838320	42-11050	継電器の動作表示装置	実 883001	44-6616	継電器の感度整定装置
特 583309	45-7621	周波数継電器	特 586001	45-8805	階段限時特性継電器
			実 775646	40-3309	継電器タツプ整定機構

登録番号	公告番号	名 称	登録番号	公告番号	名 称
特 317597	40-10558	回転体の脈動測定装置	実 590865	38-22047	電磁流量計
実 941959	46-6079	温度測定装置	実 821230	40-10952	三相4線回路用力率計
特 267160	35-7886	絶縁および導体抵抗計	実 922432	45-15986	接点温度計
特 268561	35-7238	絶縁および導体抵抗計	実 585086	38-5095	回転子温度測定装置
実 740106	38-27080	測定リード用プローブ	特 520442	43-167	信号比較回路
実 867443	43-23435	設定指標の設定機構			

登録番号	公告番号	名 称	登録番号	公告番号	名 称
特 480544	39-7238	コロナ放電量測定装置	実 927676	45-24943	焼入深さ測定用電磁石
実 951156	46-14057	電磁流量計	実 927713	45-23966	多点警報装置
実 801487	40-33976	バルブ切換装置	実 795199	40-30462	差動形 β 線厚さ計
実 817676	41-13506	記録計のペン上げ装置	実 778297	40-9416	気体流量計
実 795216	40-23738	円形摺動抵抗器	実 751648	39-12016	計測用同期電動機駆動装置
実 889035	44-11995	記録計の記録紙巻取装置	実 757709	39-20761	記録計ペンリフター機構
実 897272	44-21118	記録計サインボード	実 897222	44-17837	多数羽攪拌型ガス抽出器
実 889036	44-11502	動作記録計等の駆動装置	実 816462	41-11471	電力変換器
特 609778	45-5577	パルス周波数の引算方式	実 816470	41-11509	電力変換器
特 603775	45-28274	焼入硬化層測定装置	実 791389	40-19306	電力変換器のホール発電器取付装置
実 835252	42-7313	プリント基板保持器			
特 533689	43-14901	発振式変位電気変換器	実 854662	43-6217	直線整流回路
特 520867	42-4091	変調型直流増幅器	特 487065	41-13536	電子式同期整流器
実 924182	41-16080	棒グラフ式ガスクロマトグラフ	実 936729	45-32986	事故防止付温度調節器
実 859969	43-12154	可動鉄片形広角度指示電気計器	特 254717	34-3307	放射性同位元素容器