

<特集にあたって>

## インテリジェント情報処理による上下水道プロセス制御への期待

Expectations for Process Control of Water Supply and Sewerage Systems with Intelligent Information Technologies

大音 透

名誉会員(前 いわき明星大学)

TOHRU OHTO

### Abstract

Gradually intensifying waves and pressures of privatization to the water industry in Japan require much more efficient management and higher controlling results of water and wastewater processes. The PID controller that has long been the norm one for the processes is being required to be strengthened or to be replaced by controllers having much more sophisticated and/or advanced algorithms. The answer is the intelligent information processing algorithms, which include fuzzy and genetic algorithms in the proper sense, and the model-based control, model predictive control and chaos control algorithms in expanded and flexible meanings. Following papers describe these applications in the current situation as the special issue.

**Key Words** : 階層型制御構造, PID 調節計, インテリジェント情報処理, ファジィ制御, 遺伝的アルゴリズム, モデルベース制御, モデル予測制御, カオス制御, 最適化, 目標値信号, 統合化設計

本号より特集を行い環境計測制御システムが当面する問題, 中長期的な課題, 新しい計測制御の概念ならびに技術, 注目すべき実績等を紹介, 解説し, これにより環境計測制御システムの更なる発展を期すこととなった. その最初として, インテリジェント情報処理による上下水道プロセスの制御を取り上げる.

上下水道プロセスは上下水道システム全体の一部であって, 凝集, 沈澱, 濾過プロセス, 活性汚泥プロセス, 廃棄汚泥処理プロセス, ならびにそれらの効率化, およびより良い結果を得るためにこれらに部分的に修正を加え, あるいは付加されるプロセスの集合を想定する.

上下水道システムの制御は Fig.1 に示すように階層的に構成<sup>1)</sup>されつつある.

すなわち, プロセスに最も近い部分を最下位層とすると, これは, 1) 計装層となりこれから上位層に向かって, 2) 調整制御層, 3) ダイナミック最適化層, 4) 定常状態最適化層, 5) スケジューリング層, 6) 計画層となる. 上下水道プロセス制御に関わるのは計装層と調整制御層であって, 今回は調整制御層の制御アルゴリズムに焦点を絞って議論を進める.

調整制御層に用いられるハードウェアは1入力1出力アナログ/デジタルPID (proportional-integral-differential: 比例, 積分, 微分) 調節計, または, DCS (distributed computer control system: 分散型コンピュータ制御系), PLC (programmable logic

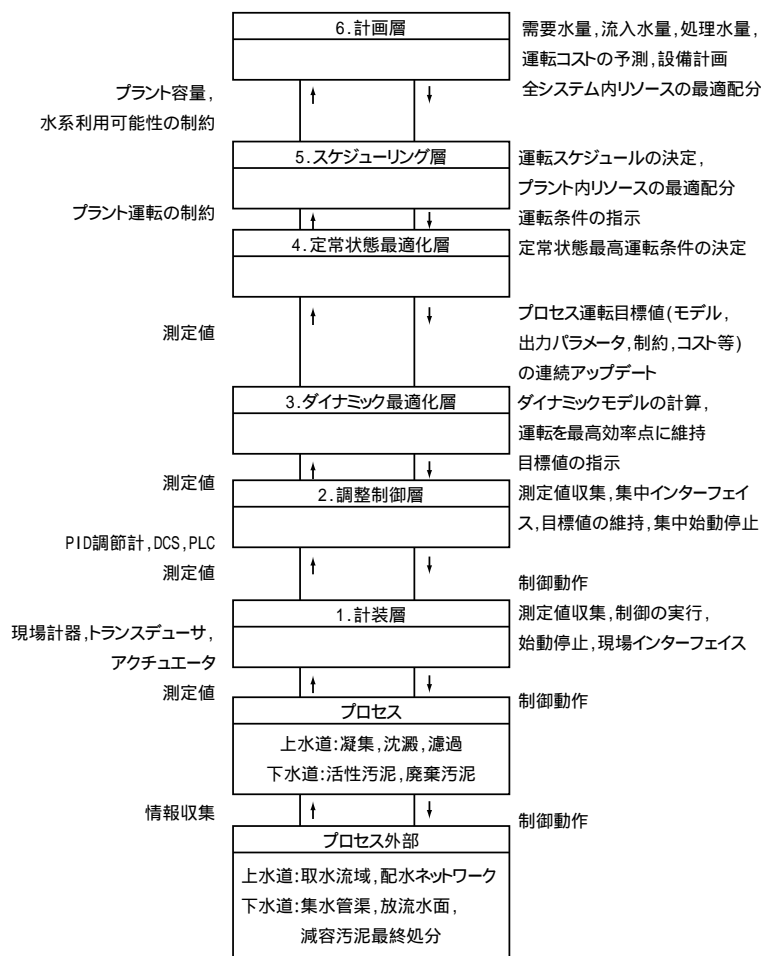


Fig.1 上下水道システムの階層制御構造

controller: プログラマブル論理制御装置) であって、ローカルな外乱に対してプロセス変数を予め定めた目標値に維持するよう調整制御を行うほか、オペレーターインターフェイスを設けてプロセスの始動停止、目標値の手動変更、状態及び警報表示が行われる。

調整制御に用いられるアルゴリズムは従来アナログ/デジタルに関わらず PID が不可欠のキラーアプリケーション<sup>2)</sup>であり、規範であり続けてきた。これは上下水道プロセスが本質的に安定なプロセスであり、多少の外乱に対しては PID で安定化できること、PID には実用上の工夫が蓄積され十分実用に耐える結果が得られること、PID は素朴な発想の古くからある枯れた技術で理論的に洗練されていなくても、積分動作により過去の偏差の累積値を、比例動作により現在の偏差の大きさを、微分動作により

将来の偏差の動向をある程度知る事ができるから最適でなくても相当の成果を上げることができる。このため、市販のアナログ/デジタル PID 調節計を用意すれば、軽負荷の場合チューニングはデフォルト値ですむ場合もあり手軽さが重宝されたと言う事ができる。

しかし、上下水道の経営環境は次第に厳しさを増しつつあって、PFI (private finance initiative) 或いは運営委託等の outsourcing の導入が進められていることは自由化の魁と見る事もできるし、ポトルドミネラルウオータの増加は上水道に対するユーザの不満と市場からの挑戦を示すものとも考える事もできる。この状況は上記のように PID で余裕を持って悠々と制御する事が許されなくなり、規範であった PID は過去のままでは現状に適応しないと言う困難

に直面していると言える。

この状況に対処するためには、プロセスを常に最適運転点で厳密に運転し、運転コストを極限まで低減すべきインセンティブが高まっていると云う事であるとともに、本来、水環境に関する安全と安心を提供する上下水道システムがその運転に伴うCO<sub>2</sub>排出量を低減して更に地球環境保護に貢献できることを意味するものでもある。上下水道プロセスは以上の意味でPIDを補強する、あるいはPIDに代わるインテリジェント情報処理を必要としている。

インテリジェント情報処理<sup>3)</sup>は人間の持つ知識を、その認識及び思考プロセスを参考にして言語、あるいはパターンで表現すること、並びに学習によりその構造の最適化を図ることの集合であって、伝統的な数式アルゴリズムに基づく制御技術に対応すると考えられるが、本特集ではこの定義にとらわれず柔軟に考え、上記の意味でPIDを補強し、あるいはPIDに代わるべき高度制御アルゴリズムを考えることとしたい。

すなわち、本特集論文中、ファジィ制御は言語表現では不確実なものとなる知識をメンバシップ関数により成立程度を示すファジィ集合を用いて制御を行い既に広く知られ、実績も多い。遺伝的アルゴリズムはランダム検索の代表であって、新しい学習論理が得られる可能性を有している。この2編は上記のインテリジェント情報処理の定義通りのものである。

モデルベース制御系<sup>1)</sup>はプロセスモデルを制御アルゴリズムに陽に組み込んだものであり、モデル予測制御<sup>4)</sup>はこのダイナミックアルゴリズムによって制御ホライズン(現在時刻からある区間)において変化した入力により、予測ホライズン(将来のある区間)における予測値を目標値に一致させるよう操作量を決定する。カオス制御<sup>5)</sup>の対象はカオスと共存している周期軌道であって、制御しなくても状態が周期軌道の近傍に近づくのをカオスが保証する事を利用する非線形制御である。モデル予測制御は化学プロセスにおいて既に多くの実績が得られており、上下水道プロセスにおいても同様の成果が期待される。モデルベース制御はロバストプロセス制御<sup>6)</sup>の中心的役割を果たす事が期待される。PIDに代わる独立の新しい制御アルゴリズムのほか、PID制御に対しIMC(internal model control: 内部モデ

ル制御)チューニング則<sup>7)</sup>、極配置チューニング則<sup>8)</sup>等、PIDを補強するハイブリッド法も提案され実用化されている。カオス制御により新しい制御領域が開かれるであろう。この意味から本特集ではインテリジェント情報処理の定義に余りこだわらず、柔軟に今後の可能性を追求したものである。

今後の課題として、最初に掲げた階層型制御構造を検討する。本特集の主題である調整制御層については上記の通りである。その下位層である計装層はセンサ、トランスデューサ、ローカルディスプレイ、アクチュエータ、インターロック等のハードウェアで構成され、調整制御層へ測定値を報告し、これから制御動作信号を受け取る。コンピュータ化スマートセンサ、フィールドバス、ローカルエリアネットワーク等の導入が進み急速に様相が変わりつつある。

大都市の上水道では上水道運用システムが以前から採用され、1) 需要予測、2) 配分計画(需要予測に基づく取水量、浄水量の決定、配水池貯水量の決定、各浄水場に対する経済的浄水量の指示)、3) 配水制御(需要水量に対し末端圧力を望ましい範囲に保つよう配水ネットワークを制御する)が行われ高い成果と運転実績が得られている。需要予測及び配分計画機能はスケジューリング層に相当し、配水制御は水処理プロセス外部の需要に最も近いネットワークを対象としている。

ダイナミック最適化層は長期外乱に基づく制約条件の変動と多変数間の相互干渉に対応してプロセス運転点を最高効率点に設定するもので、プロセスダイナミクスに基づいて計算される。定常状態最適化層は需要予測に基づく浄水量指示値、処理すべき汚水量および雨水量、ユーティリティコスト等に対応するプロセスの定常状態最適運転条件を決定する。プロセスの基本原理に基づく定常状態モデルによって計算を行うが、プロセスパラメータ変化、プロセスモデル化誤差を吸収するためにプロセス目標値は連続時間でアップデートされなければならない。ダイナミック及び定常時ともに最高運転条件に保たれるべきであるが、両方のモデルとも完全には得られておらず、現状では空洞となっておりプロセス目標値の変更は手動操作に委ねられることが多い。汚水についてはIWAモデルもあるからこれらを用いて迅速に研究を進める必要がある。この問題は目標値

信号をどう作るかという問題<sup>9)</sup>とも関連する。上下水道プロセス制御の目標値信号は実験室における水質試験とパイロットプラントでの試験結果に基づき修正されて適用され、類似プロセスには援用される場合もあると考えられる。ロボットマニピュレータの場合、目標値信号決定は経路計画（動作可能領域の幾何学的制限を満足させる経路）と軌道計画（幾何学的経路上の通過時刻を決定する）がオンラインで求められる。上下水道プロセスのダイナミックおよび定常状態モデルの確立と最適化層の空洞を埋めることは最も急がねばならない緊急の問題と考えられる。

従来、上下水道プロセスに対し制御は一貫して受動的立場をとってきた。制御はプロセスを与えられたものとして尊重し、制御側がプロセスの変更を言うことはなかった。上下水道プロセスハードウェアは堅固なコンクリート構造物で、その設計が終了してのち制御系設計が始まるのが普通であった。このため、極端な場合には不可制御、あるいは不安定ゼロ点を有する制御し難いプロセスであった場合にも稀には遭遇した。制御しやすいプロセスのパラメータはロバスト性も高くアクチュエータのエネルギー消費も低くなる。プロセス設計と制御系設計を同時並行して行うコラボレーションは統合化設計<sup>10)</sup>と呼ばれ、宇宙構造物あるいはビルディングの制振機構、化学プラントのアクチュエータ、センサ最適配置問題の解決に既に実績が得られている。上下水道

プロセスおよびその制御においても新設時は勿論、リプレースに当たっても統合化設計を行いプロセスパラメータの決定と制御系の設計を同時並行して行う時期に至ったと考えられる。以上が上下水道プロセス階層化制御構造の観点から眺めた課題である。

## 参考文献

- 1) Brosilow, C. & Joseph, B. 2002. Techniques of Model-Based Control. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ.
- 2) 荒木他, 1998. “ 今後何をなすべきか, PID 制御技術の今後の課題 ” 計測と制御, pp.662-672, 37, 9.
- 3) 船橋, 吉原. 1999. システム制御のための知的情報処理, システム制御情報学会.
- 4) 黒谷. 1997. “ 計測制御を一体化した...モデル予測制御 ” 電学誌, pp.691-694, 117, 10.
- 5) 潮. 1996. カオス制御. 朝倉書店.
- 6) Morari, M. & Zafririou, E. 1989. Robust Process Control. PTR Prentice Hall, Englewood, Cliff, NJ.
- 7) Olsson, G. & Newell, B. 1999. Wastewater Treatment Systems. IWA Publishing. 12 Caxton Street, London.
- 8) Wilkie, J., Johnson, M. & Katabi, R. 2002. Control Engineering. Palgrave, Basingstoke, Hampshire.
- 9) 松下, 江上. 1997. “ 目標値信号をどう作るか ” 電学誌, pp.687-690, 117, 10.
- 10) 大日方. 1997. “ 制御対象とコントローラを一緒に考える統合化設計 ” 電学誌, pp.683-686, 117, 10.