

「ふれっしゅ水道」と知的制御システム

Intelligent Control Technology for New Water Systems

浄水場の監視制御システムは、自動化機器として人間を遠ざけるものではなく、人間と協調して、水処理技術の進歩発展に寄与する良きパートナーであることが要求されている。このためには監視制御システムも賢くならなければならない。日立製作所は人工知能の技術導入を進めてきた。脳細胞の記憶メカニズムを応用したニューロモデルは、熟練オペレーターの凝集剤注入操作を学習し、学習後は自分で注入量を考える。画像処理技術の導入は、人間の目に代わってフロックを定量的に観測する。また、魚の挙動を観測し、水質の異常検知を可能とした。生体の視覚情報処理を模倣したプロセスデータのパターン認識技術は、プロセスの変動時、過去の類似変動パターンを検索し、そのときの操作を参考可能とする。これらの技術は、ワークステーション上で操作ができ、知的で創造的なユーザー業務を支援する。

笠井武郎* *Takeo Kasai*
 藤田良成* *Ryōsei Fujita*
 西谷卓二** *Takuji Nishiya*
 矢萩捷夫*** *Hayao Yahagi*

1 はじめに

厚生省は平成3年6月、21世紀に向けた水道整備の長期目標(通称、「ふれっしゅ水道」*)計画をまとめ、各都道府県に通知した。その骨子は、(1)国民皆水道、(2)安定性の高い水道、(3)安全な水道の実現、を長期目標とし、具体目標は水道水源の確保、水道施設の整備など7項目を推進し、21世紀に向けた高水準の水道構築を図ろうとするものである。

上水道の中核設備である浄水場では、飲料水の安定供給と安全確保に、事業体の懸命の努力がなされている。この中で日立製作所は、電機・計装メーカーとして、有効凝集領域理論に基づく薬品注入制御技術を組み込んだ監視制御システムなどを提供してきた。浄水場の運転管理は、水源水質の悪化から高度処理プロセスが付加されるなど、高度な技術が要求される。このため監視制御システムは、オペレーターやエンジニアと協調し、高度な運転管理を支援する質の高いものが要求される。

この論文では、「ふれっしゅ水道」計画の目標を踏まえ、浄水場の監視制御システムの質的向上に寄与する知的制御技術と、オペレーターやエンジニアの創造的活動を支援する技

術について述べる。知的制御技術では、熟練経験者の技量を学ぶニューロ技術、人間の視覚を代行する画像処理技術および視覚情報処理を模倣したパターン認識技術の概念と、水道への応用について述べる。

2 「ふれっしゅ水道」と知的制御テクノロジー

2.1 ニューロ応用凝集沈殿制御技術

浄水場の運転制御では、熟練オペレーターの経験的操作に負うところが大きく、経験則をルール化し活用する知識処理や、ファジィ推論の応用が積極的に進められている。しかし、知識獲得の方法論が未確立のため、労力を費やすわりには十分なルール、ノウハウが得られない場合が多い。熟練オペレーターはプロセスを観測(入力)し、過去の記憶をたどり操作(出力)する。この入力と出力の関係を機械に学習させ、記憶内容を自動生成する手段に、今注目を浴びているニューロ(模擬神経回路網)を応用した。ニューロは図1に示すように、知識獲得が困難な人間の右脳機能を工学的に実現したもので、各分野のブレイクスルー技術として期待を集めている。

(1) ニューロの構造

人間の脳では無数に張り巡らされた神経細胞(ニューロン)によって情報が伝達され、思考をつかさどっている。ニューロンは図2に示すように他のニューロンから多数の樹状突起

※) 「ふれっしゅ水道」：厚生省が策定した、21世紀に向けた水道整備の長期目標の通称である。

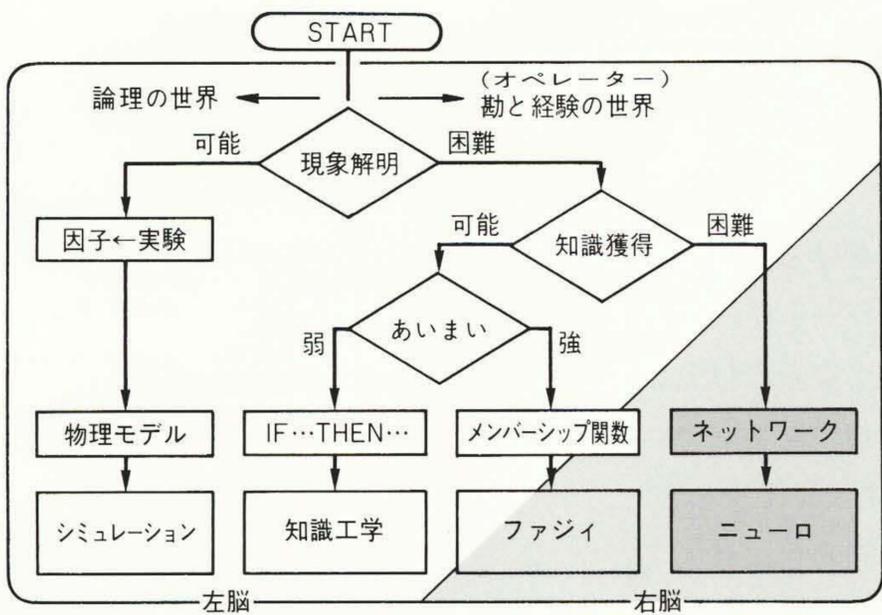


図1 左脳機能と右脳機能の工学的実現 勤や経験は、知識獲得が困難な右脳機能の働きで実現される。ニューロは右脳機能の工学的実現をねらっている。

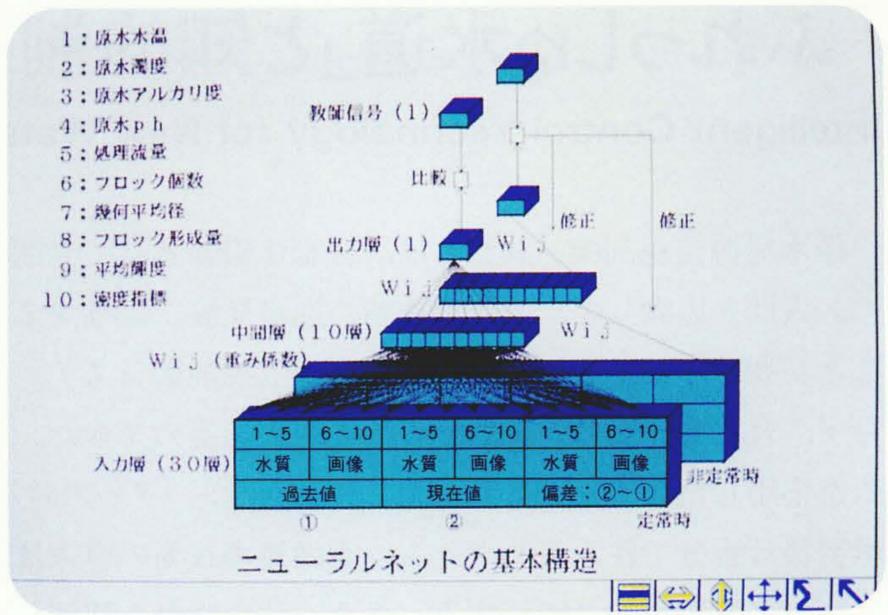


図3 凝集剤注入率算出用のニューロモデル構造 熟練オペレーターの注入操作データを教師信号として学習する。学習後は、入力データから注入率を連想する。

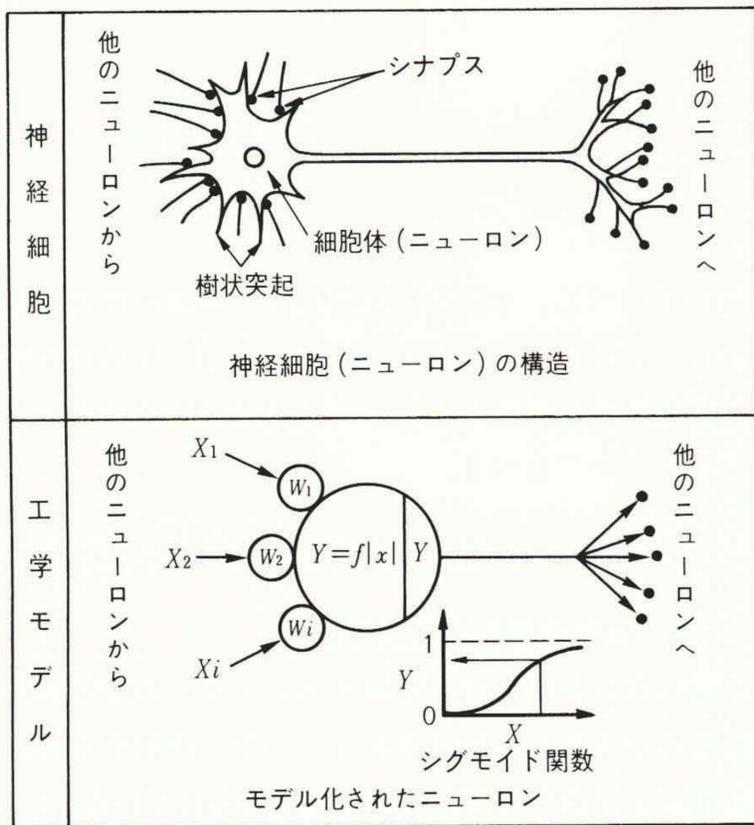


図2 神経作用を構造的に模倣した工学モデル 神経細胞の数学モデルにより、記憶とか連想などの生体の右脳機能の実現をねらっている。

を通して伝達される記号が細胞体に入力され、この入力値に応じてニューロンが興奮する。ニューロンの工学モデルは、信号 X_i とシナプス荷重と呼ばれる信号の通りやすさの重み係数 W_i との積和($X = \sum X_i \cdot W_i$)が、ニューロンに入力される。さらに、 X はシグモイド関数によって信号 Y に非線形変換される。このニューロンモデルを基本単位としてネットワークを構築し、種々の機能を実現しようとするのがニューロモデルである¹⁾。

ニューロモデルは入力層と出力層との関係をニューロン間の結合強度分布として学習し、未学習の入力に対しても出力を連想する能力を持っている。

ニューロモデルの特長は以下のとおりである。
 (a) 学習により、知識の自動獲得が可能である。
 (b) 学習とともに成長する自己成長性を持つ。
 (c) モデル構造が簡単なため、処理時間が短い。
 など従来の数式モデルが苦手とする特長を持っている。

(2) 応用例：凝集剤注入制御支援

ニューロモデルを浄水場の凝集剤注入制御支援に適用したときのモデル構造を図3に示す。構造は種々検討したうえで、入力層(30項目)、中間層(10項目)および出力層(1項目)から成る3層構造とした。モデルはオペレーターの思考方法を模擬して、定常時と非定常時(降雨時)の2種類を用いた。使用した入力情報は水質情報5項目(原水水温、原水濁度、原水アルカリ度、原水pH、処理流量)、画像処理から得られたフロック情報5項目(フロック個数、幾何平均径、フロック形成量、平均輝度、密度指標)を用いた。濁度の上昇時や下降時など注入方法のダイナミックな変化に対応するため、履歴データとして5時間前、現在値および両者の偏差に着目した。出力値としては凝集剤注入率の値を用いた。

このモデルにより、A浄水場の1年間のデータを例にシミュレーションを行った。凝集剤注入操作での定常時と非定常時について、代表的な各10日分を学習サンプルとして学習させた。すなわち10日分の水質、フロック情報を入力し、そのときの凝集剤注入率を教師信号として指定する。ニューロモデルはニューロン間の結合係数を修正して、指定された出力値に一致化を図りながら学習する。学習済みのモデルによって1年分を想起させた値と実測値との誤差平均値を表1に示す。従来法として多変量解析と比較すると、同等以上の性能があることが示された。10日分のデータで1年分の結果が想起できたことから、履歴学習の可能性が確認できた²⁾。

表1 凝集剤注入率の誤差平均値 従来法の重回帰モデルと比較した結果、同等以上の性能があることが示された。

方 法	定 常 時	非 定 常 時
ニューラルネット応用 学習パターン：各10	1.14 mg/l (7.7%)	1.72 mg/l (8.8%)
多変量解析(1年分) (水質+画像)データ	1.23 mg/l (8.3%)	2.60 mg/l (13.2%)

注：()内数値は、誤差/平均値 (%)

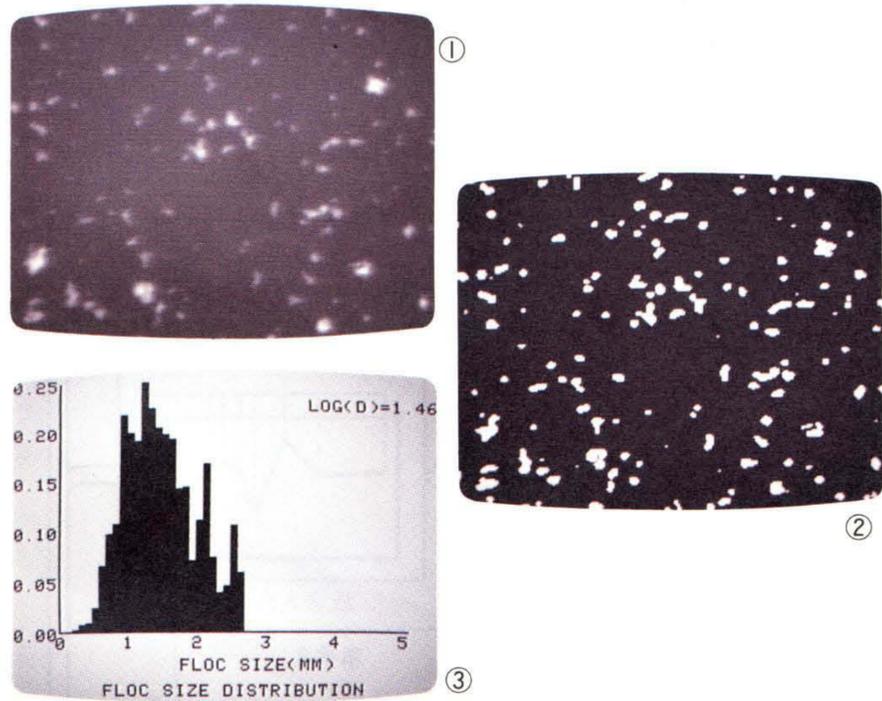


図4 画像認識によるフロック監視の画面 ①水中カメラで撮影したフロックの画像、②濃淡を2値化処理して明・暗に分離、③フロックごとに粒径計算し分布を表示する。この技術により、連続的、定量的にフロック形成状況を観測できる。

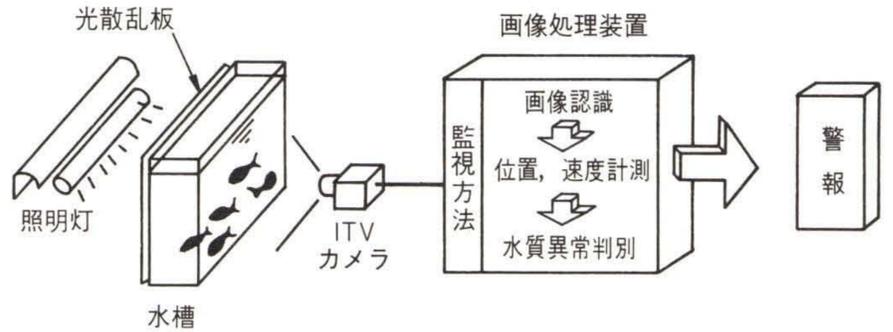
2.2 画像処理応用技術

画像処理とは、テレビジョンカメラなどで撮影した画像を縦横に細かく分割し、この画素の輝度を調べたり、変換したりするものである。輝度の差異を濃淡画像として抽出し、計測や物体の認識など人間の目視機能の代用として応用が拡大している。浄水場の運転管理での目視観察業務に応用すれば、連続性、客観性に優れた高性能のセンサとして利用でき、オペレーターは目視観察業務から解放される。

(1) 応用例1：フロック監視技術

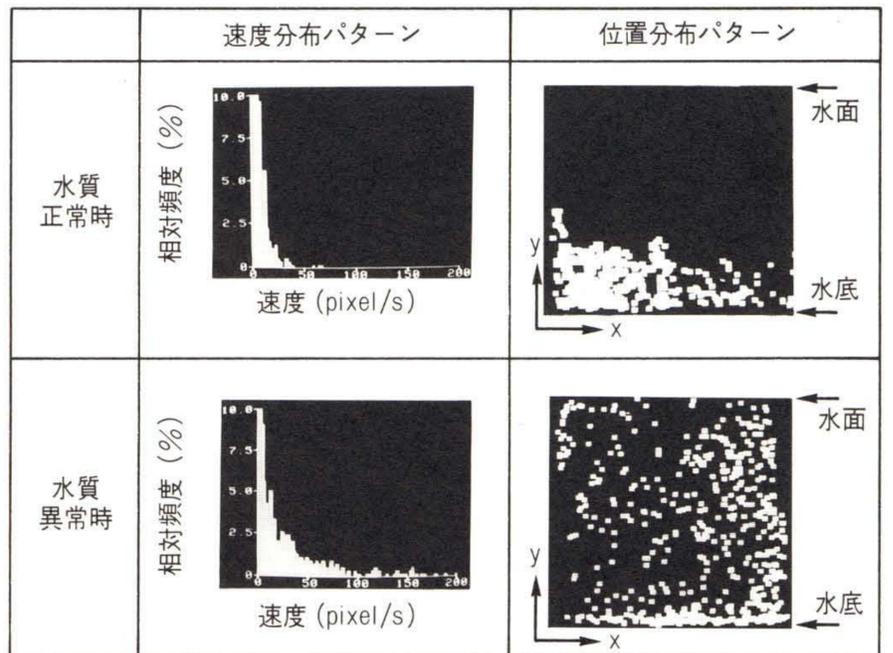
フロック形成池に沈めた水中カメラでフロックを撮影し、この画像情報を中継盤を通して画像処理装置に送る。画像処理装置は、輪郭のはっきりしないフロックは検出しやすいように、輝度を強調して濃淡をはっきりさせる。次にすべてのフロックについて、粒径や体積などを計算し、統計処理を行って粒径分布や体積濃度分布などを表示する(図4)。

フロックの沈む速さは、その粒径と密度によって決まることが知られている。画像認識結果から、例えば「フロックの粒径が大きすぎる。これではフロック密度が低下してよく沈まない。凝集剤の注入を減らそう。」というような判断が容易



注：略語説明 ITVカメラ(工業用テレビジョンカメラ)

図5 水質安全監視技術の装置構成 0.5~1.0秒ごとに画像処理を行い、魚の位置分布と速度分布から水質の異常を判別する。



注：1pixel=2.03 mm

図6 魚の位置と速度の分布パターン 魚の重心位置と重心の移動速度とを計算し、その分布状況から水質の正常・異常を判定する。

にできる。これまでは目視観察に頼っているため、1日数回の観察しかできなかった。画像認識技術によれば、連続的にフロックの形成状態を監視し、数分間で統計処理まで行うことができるため、時間遅れのない対応が可能となる³⁾。

(2) 応用例2：水質安全監視技術

浄水場では原水でコイやフナなどの淡水魚を飼い、そのようすを観察して水質の安全確認に役だてている。人間の目視観察のため、24時間連続監視には限界がある。また、観察と判断に個人差も出やすい。

水質安全監視技術は、この分野に画像処理技術を応用したものである。図5に示すように、原水と魚の入った水槽の後ろから光散乱板を通して照明し、その像をテレビジョンカメラで撮影する。魚の像は影絵のようにとらえられるので、水の濁り具合に影響されない。画像処理装置は0.5~1.0秒ごとに画像情報を取り込み、濃淡識別を行って魚影を認識する。魚影の重心座標を測って、水深方向の位置頻度分布計算を行う。また、魚影の時間的変化から魚の移動速度を測って、速度の頻度分布を計算する(図6)。

このようにして得られた魚の行動パターンから、係員は「鼻上げ」、「狂奔」など魚の行動異常を察知し、直ちに水質異常に対する処置をとることができる⁴⁾。

2.3 プロセスデータのパターン認識技術

「黄色」くて、「細長」く、「湾曲」した「果物」はバナナである。このように、人間は視覚によって得られた情報から、**図7**に示すようにその特徴を抽出、統合し、記憶と照合するパターン認識によって物体の識別を行っている。浄水場の運転管理でも、例えば、降雨による濁度「急上昇中」とか、降雨後の濁度「緩やかに下降中」といったプロセスデータの特徴をつかみ、過去の運転記憶を想起して操作する場合が多い。

プロセスデータのパターン認識技術は、生体の情報処理方式を模倣したもので、プロセスのデータ波形をオペレーターにわかることばに変換(記号化)する技術である。この技術により、浄水プロセスのデータ変化を分類・検索することがで

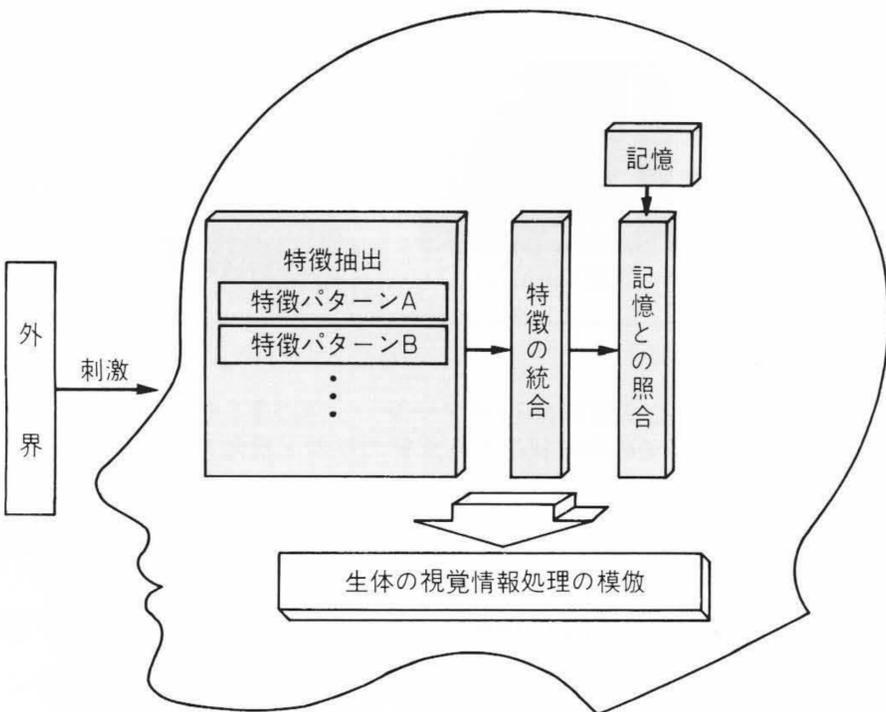


図7 生体の視覚情報処理 生体の視覚は、外界の光刺激から特徴を抽出、統合し、統合された特徴を記憶と照合して物の判別を行う。

きるようになる。

時系列変化データの記号化方式は、**図8**に示すように、生体の視覚情報処理過程と同様に三つの過程から成る。(1)特徴抽出の過程：時系列的な変化パターンに対し、生体の視覚系でのフィルタと類似した特徴抽出フィルタを作用させ、細かな変化特徴を抽出する。(2)特徴の統合過程：特徴抽出過程で抽出された特徴を、周囲の特徴と競合・協調的に統合することにより、大きな変化特徴にまとめる。(3)記憶との照合過程：変化の特徴と辞書としてあらかじめ記憶させている各パター

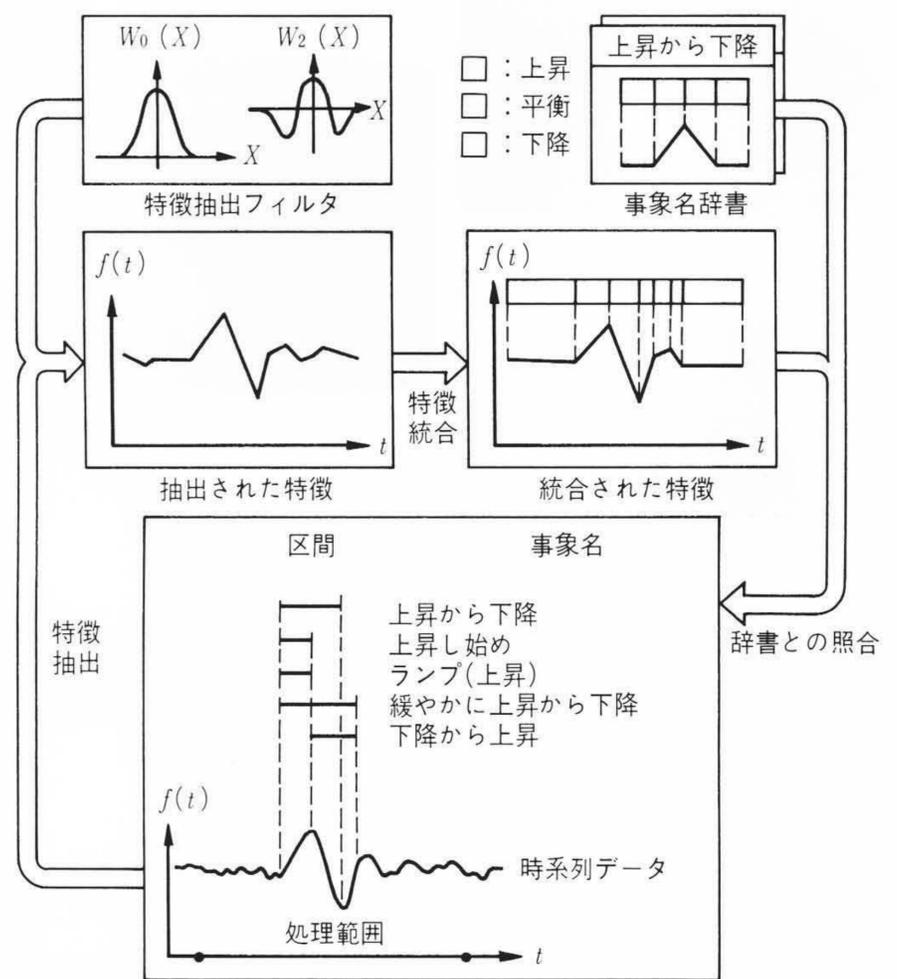


図8 プロセスデータの記号化方式 特徴の抽出、統合、記憶との照合という生体の視覚情報処理を応用し、プロセスデータを記号化する。この技術により、プロセスデータのパターン化が可能となり、類似パターンとそのときの操作内容が参照できる。

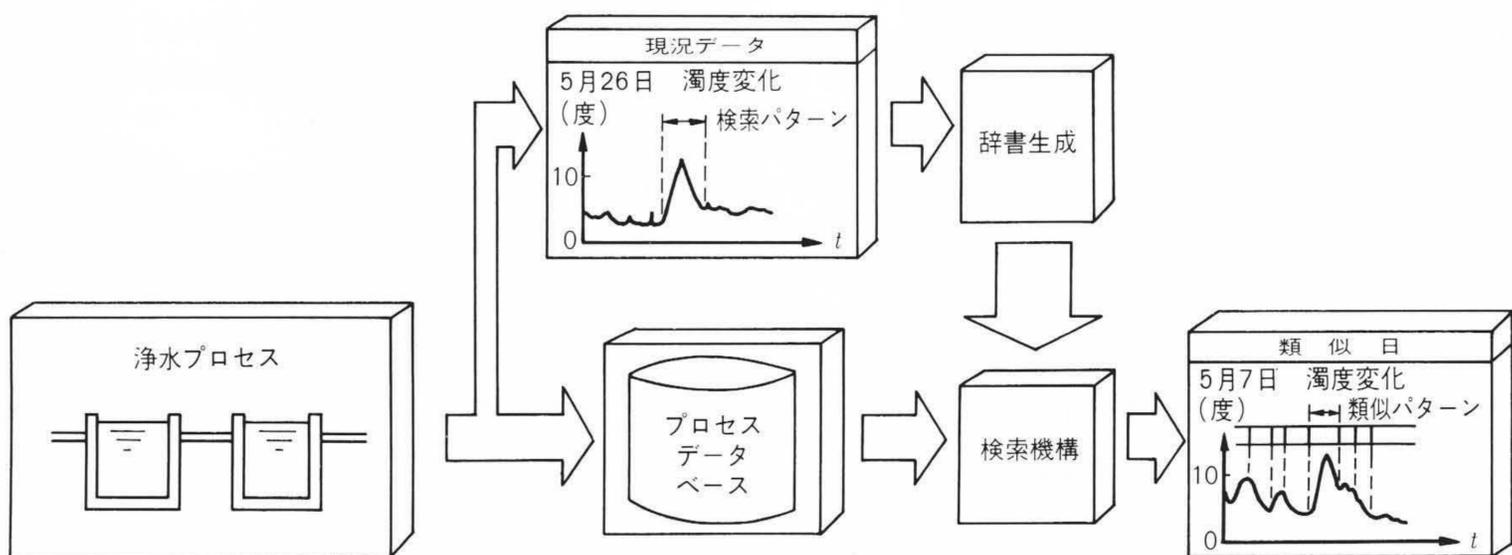


図9 プロセスデータの類似日検索機能 現在のデータを記号化し、過去のデータと照合することによってプロセスの類似データを見つけられる。また、そのときの操作量も参照できる。

ンの変化特徴とを比較し、パターン変化の識別を行う。

浄水場での類似日検索への応用を図9に示す。現況データから検索したいパターンを指定し、その特徴を抽出して検索辞書として登録しておく。一方、プロセスデータベースに蓄えられたデータに対しても同様な特徴抽出を行い、検索パターンと比較することによって類似パターンが検索できる。同図では、5月26日の急激な原水濁度変化パターンを過去1か月のデータの中から検索した結果、5月7日が最も類似したデータとして検索され、このときの操作が参考になる⁵⁾。

3 使い勝手の良いクリエイティブシステム

浄水場の計装制御にコンピュータが導入されて以来、四半世紀が経過した。今日、分散制御集中監視のコンピュータシステムの導入が定着し、制御の自動化と監視、記録の合理化に寄与している。反面、技術進歩のわりには扱いにくく、決められたことしかできず、もう少し賢くならないかとの不満の声もある⁶⁾。水処理をより良い方向にもっていこうとする人々の創造活動を支援し、システム自身も成長するクリエイティブなシステムの出現が望まれている。

このような要求にこたえるシステムの概念を図10に示す。省力、省エネルギーの達成を目的とする監視制御機能は、簡単でシンプルな技術を採用し、「かんたん制御」と言えるシステムを実現する。一方、例外処理が多く、高度の知識を必要とする業務は、ニューロ、画像処理などのハイテクノロジー

技術を活用し、システム自体が知識を活用できる環境とし、浄水場にかかわる人々の知的で創造的な作業を支援する「かしこい管理」システムを構築する。

具体的システム例を図11に示す。監視制御をつかさどるオンライン系はPID(比例・積分・微分)制御、シーケンス制御などシンプルな制御機能とし、水処理方式進歩のための試行時にも制御定数の変更がユーザーで簡単にできる構造とする。

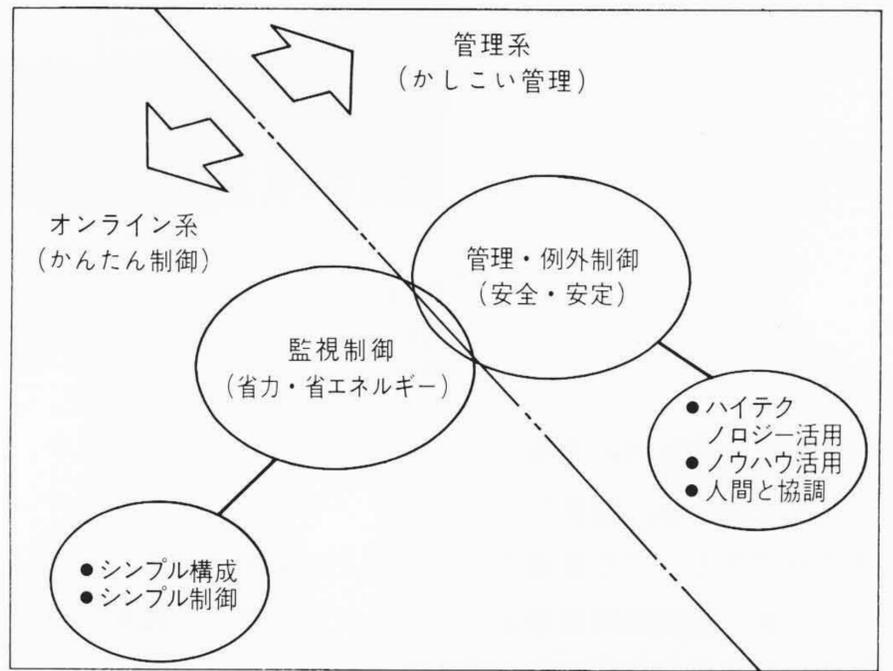
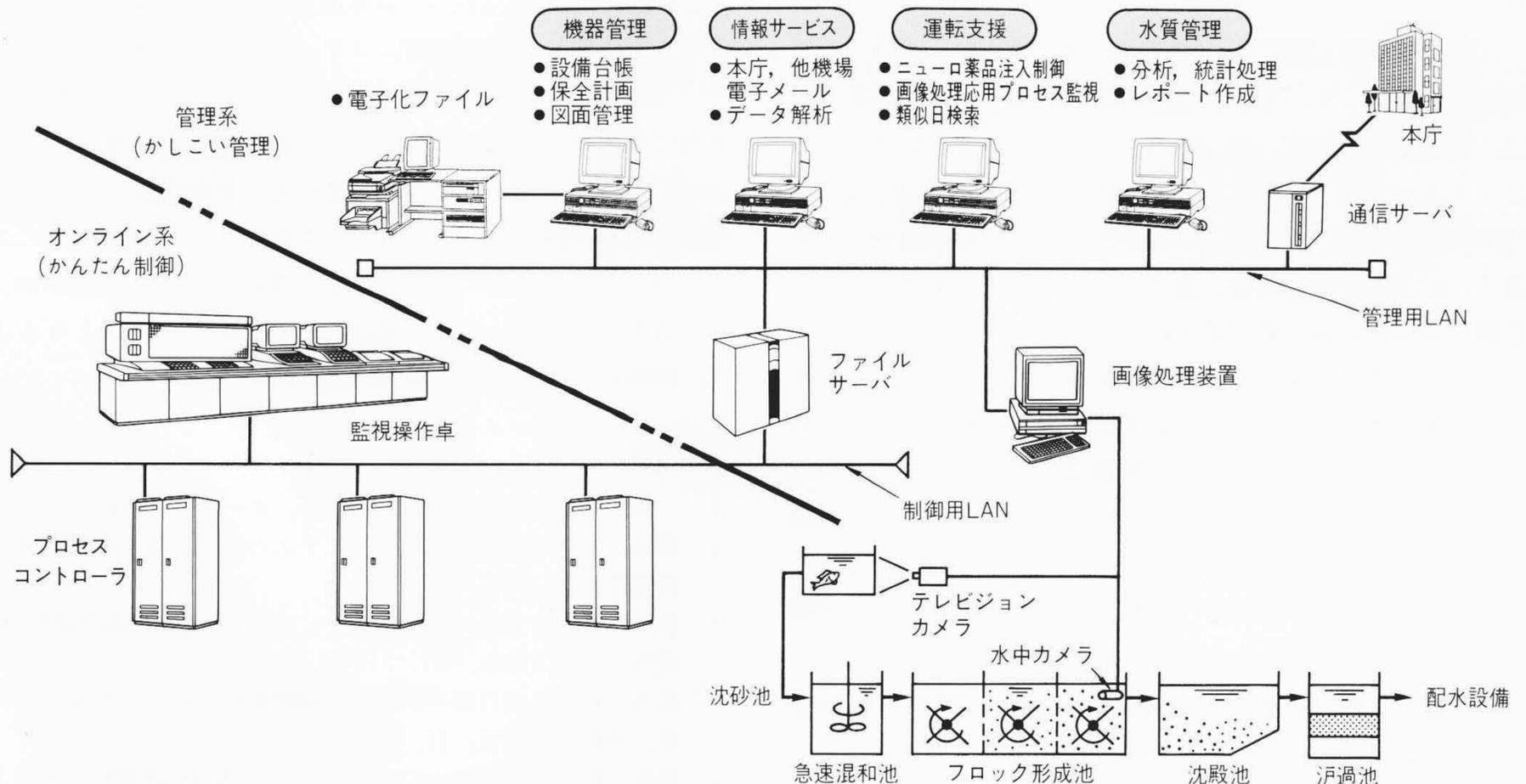


図10 クリエイティブシステムの概念 オンライン系はシステム構成と制御内容をシンプルなものとし、管理や高度制御は、ハイテクノロジー技術や人間と協調して実現する。



注：略語説明 LAN (浄水場内や管理本館内の公衆回線を使用しない通信路)

図11 システムの具体的構成例 オンライン系はシンプル制御とし、管理系はワークステーションによるフレンドリーな知的作業環境をねらっている。

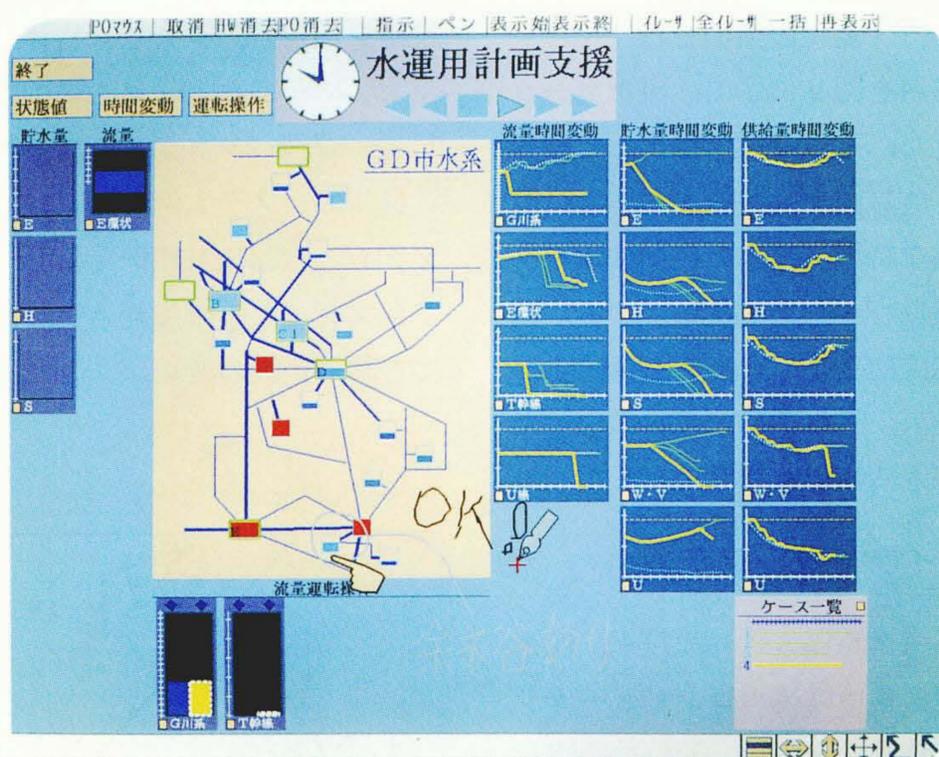


図12 ワークステーションの画面例 指差しマークや文字の書き込み機能により、ワークステーション上で関係者と対話しながら水運用計画が立てられる。

管理系はおのこの業務ごとに使い勝手の良いワークステーションを設ける。豊富なパッケージソフトにより、ユーザーはプログラミングを意識することなく、業務に活用できる。ニューロ、画像処理技術などのハイテクノロジー技術が支援するため、知的で創造的な作業環境が構築できる。

情報化社会への移行というトレンドの中で、情報発信基地としての浄水場の監視制御室は、「エレクトロニックオフィス」としての機能を装備する必要があると考える。

4 快適さを生むアメニティシステム

人間を取り巻く環境は、「快適さ」や「ゆとり」といった質的向上に向かっていく。浄水場の監視制御室での「快適さ」は、使用感、居住感、整合感の三つの要素のバランスをとることによって実現できる。特に人間(オペレーター)は、物(監視制御装置)を通してプロセスと対話するため、物の良否が「快適さ」に大きく影響する。以下に、浄水場に適用されつつある新しいマンマシンデバイスについて述べる。

エンターテインメント用としてイベント会場や空港、駅などで設置が進む大形ディスプレイが、産業分野にも導入されつつある。大形ディスプレイの特長は、大形化による見やすさもさることながら、映し出せる映像の多彩さにある。浄水場では、CRT操作卓のほかに、工業用モニタテレビジョン、教育用ビデオなどがあるが、これらのマルチメディアの情報をビジュアルコミュニケーションとして統合することができる。しかも、美しく鮮明に、迫力ある大画面に再現するため、となく没个性的になりがちな監視室を、演出空間に変身することができる。

ワークステーションの出現は、従来、道具としては扱いにくかったコンピュータを、人間と道具が協力して仕事をする

本来の意味での道具として使えるとの期待から、急速に普及している。この理由は、表計算などパッケージソフトが豊富に活用でき、コンピュータにつきもののプログラミングが不要となったためである。浄水場では、図12に示すように水運用計画支援など、水特有のソフトの充実によって「快適」なエンジニアリング環境の構築デバイスとして導入が進みつつある。

5 おわりに

この論文では、「ふれっしゅ水道計画」が目指す水道施設の質的向上に関し、監視制御システムにかかわる新しい技術について述べた。これらの技術は、シミュレーションやサイト実験で実用化の見通しを得ている。画像処理応用フロック監視技術は、実プラントで稼動している。監視制御システムの知的レベルの向上には、プロセス診断など、技術分野別のエキスパートシステムの組み込みなど課題は多い。監視制御システムが、浄水場にかかわる人々の良きパートナーとなるよう、知的レベルの向上に努める考えである。

参考文献

- 1) 三浦, 外: 現代システム工学概論, オーム社(1991)
- 2) 馬場, 外: 知的運転支援システムの提案, 第41回全国水道研究発表会(平2-5)
- 3) 馬場, 外: 浄水場におけるフロック画像監視技術の基礎検討, 電気学会論文誌D, 107, 7(昭62-7)
- 4) 馬場, 外: 魚類行動パターンの画像解析に基づく水質異常判定, 水質汚濁研究, 11, 8(昭63-8)
- 5) 西谷, 外: 時系列データの記号化による水道向け類似日検索方式, 第42回全国水道研究発表会(平3-5)
- 6) 甲田: 計装装置としてのコンピュータ利用, 第39回全国水道研究発表会講演集, 588~592(昭63-5)