

運転知識獲得技法(ニューロ応用ファジィルール獲得技法)と 上下水道プラントへの適用

Development of Operational Knowledge Acquisition Technique and
Its Application to Water/Wastewater Treatment Plants

依田 幹雄*

Mikio Yoda

馬場 研二***

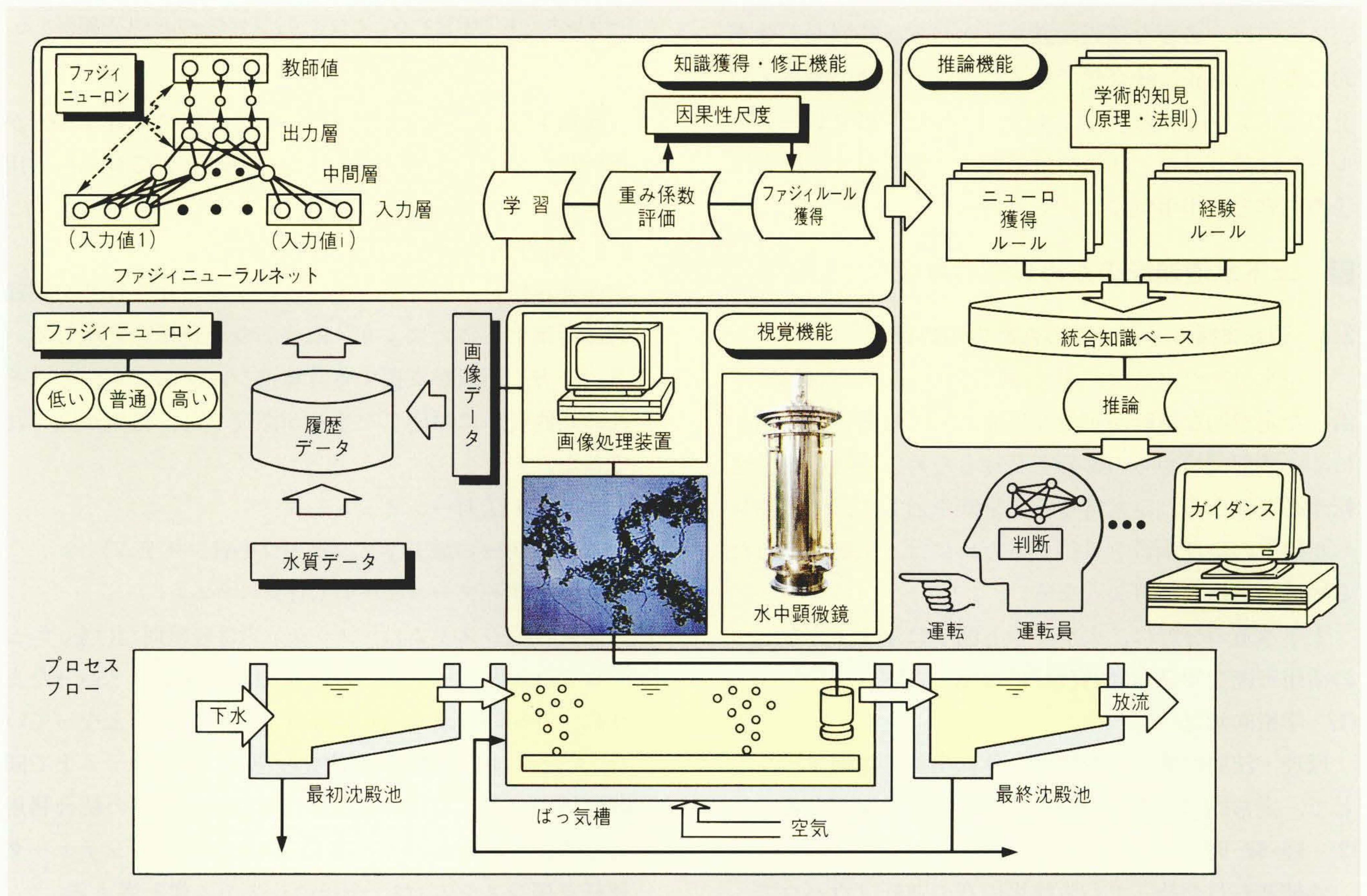
Kenji Baba

早稲田邦夫**

Kunio Waseda

圓佛伊智朗****

Ichirô Enbutsu



運転知識獲得技法とシナジェティック運転支援システムの概要 このシステムは、原理・法則などの学術的知見と熟練運転員の持つ経験ルールに、履歴データからニューラルネットを通して獲得したルールを統合化して推論し、運転のためのガイダンスを行う。

上下水道プロセスは、予測しにくい自然界からの外乱が多く、運転条件も広範囲であることからモデルで表示できない部分が多い。このため、熟練運転員が幅広いノウハウを活用して臨機応変の運転を行っている。最近では、知識工学、ファジィ、ニューロといったAI技術の適用が始まっているが、それぞれ一長一短であること、ノウハウの知識化とその修正、維持に手数がかかることが指摘されている。

このような背景から、プラントの履歴データをニューラルネットで学習することにより、ファジィルールを自動獲得、修正する技法を開発した。また、従来の水質などのセンサ情報に定量的画像情報を融合させるとともに、複数の知識資産(ニューロ獲得知識、経験知識、学術的知見)を統合化した「シナジェティック運転支援システム」を開発し、実用化への見通しを得た。

* 日立製作所 大みか工場

** 日立製作所 機電事業部

*** 日立製作所 日立研究所 工学博士

**** 日立製作所 日立研究所

1 はじめに

運転員の勘と経験が求められる上下水道プロセスの運転には、AIの導入メリットが十分得られることから、他の分野に先駆けてファジィやニューロなどがいち早く導入されてきた^{1)~3)}。

上下水道プロセスも含めて、時間とともに運転条件と外部環境条件が大きく変化する対象プロセスのAI応用システムは、必要な運転知識をいかに広い範囲から効率的に獲得、修正、統合化できるかが運転性能の維持・向上のポイントとなる。ここでは、従来AIへのブレークスルーと位置づけた、知識の自動獲得と修正および統合技法の内容と適用事例について述べる。

2 上下水道運転のための知的資産

2.1 運転支援ガイダンスのための知的資産

上下水道プロセスは、定常時にはマニュアル(指針)に沿った定型的な運転が可能な反面、非定常時には予測しにくい外部環境からの影響を受けるため、臨機応変な運転が必要となる。定常時や非定常時を通して、所定のレベル以上の処理水質を維持するためには、広範囲にわたる知識の活用が不可欠となる。

上下水道の分野は、大別すると図1に示すような三つの活用可能な知識(知的資産)に分類できる。

(1) 学術的知見

原理・法則に基づいた知識、運転指針、物理モデルなどで、定常的には多くの機場で汎用的に活用できる。

(2) 経験則

熟練運転員が持っている機場固有の運転ノウハウで、特に定式化が難しい非定常時で有効に活用できる。

(3) 履歴データ

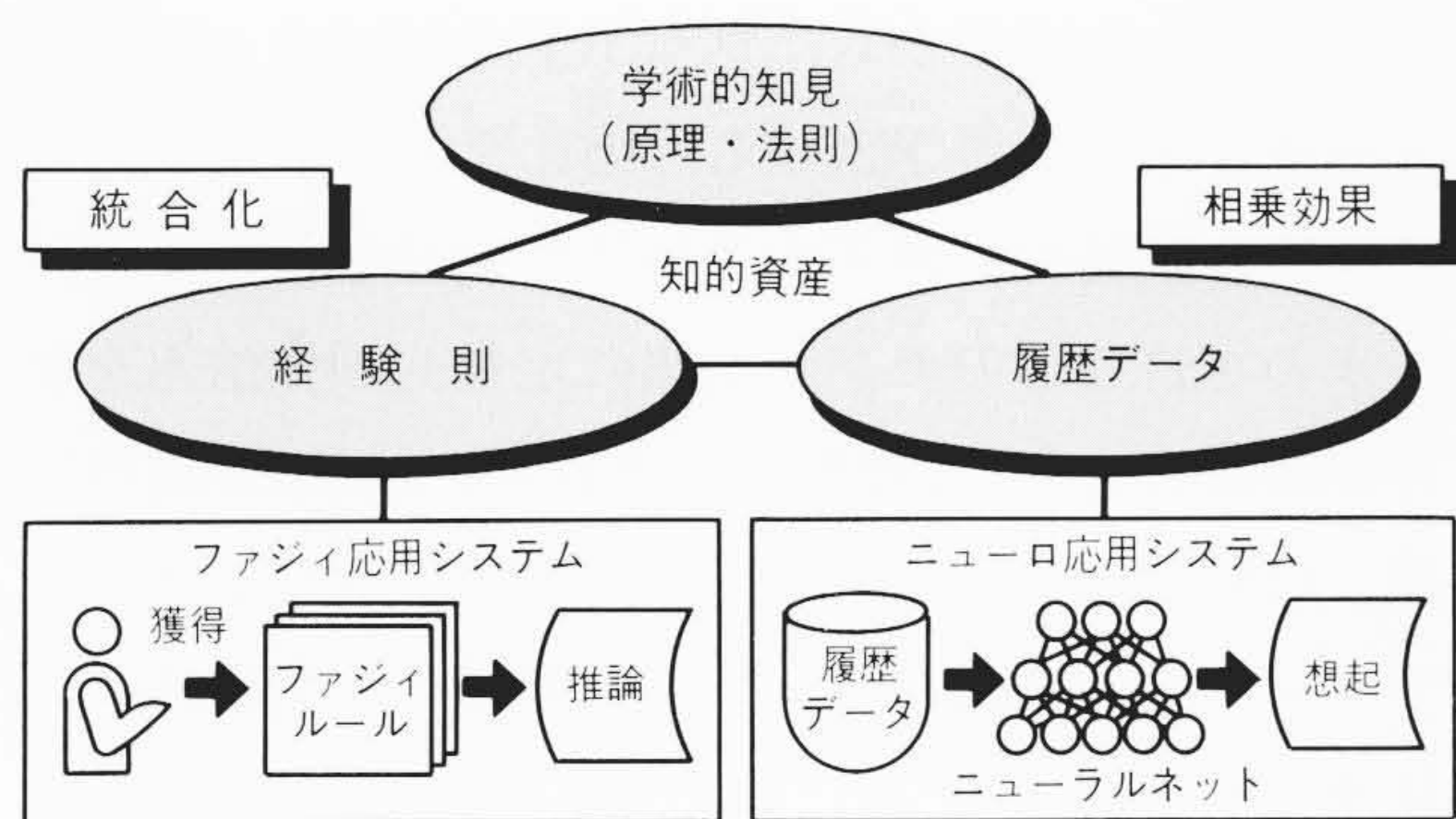


図1 運転に必要な知的資産 活用可能な知的資産は、学術的知見、熟練運転員が持つ経験則、および過去の運転履歴データから成る。

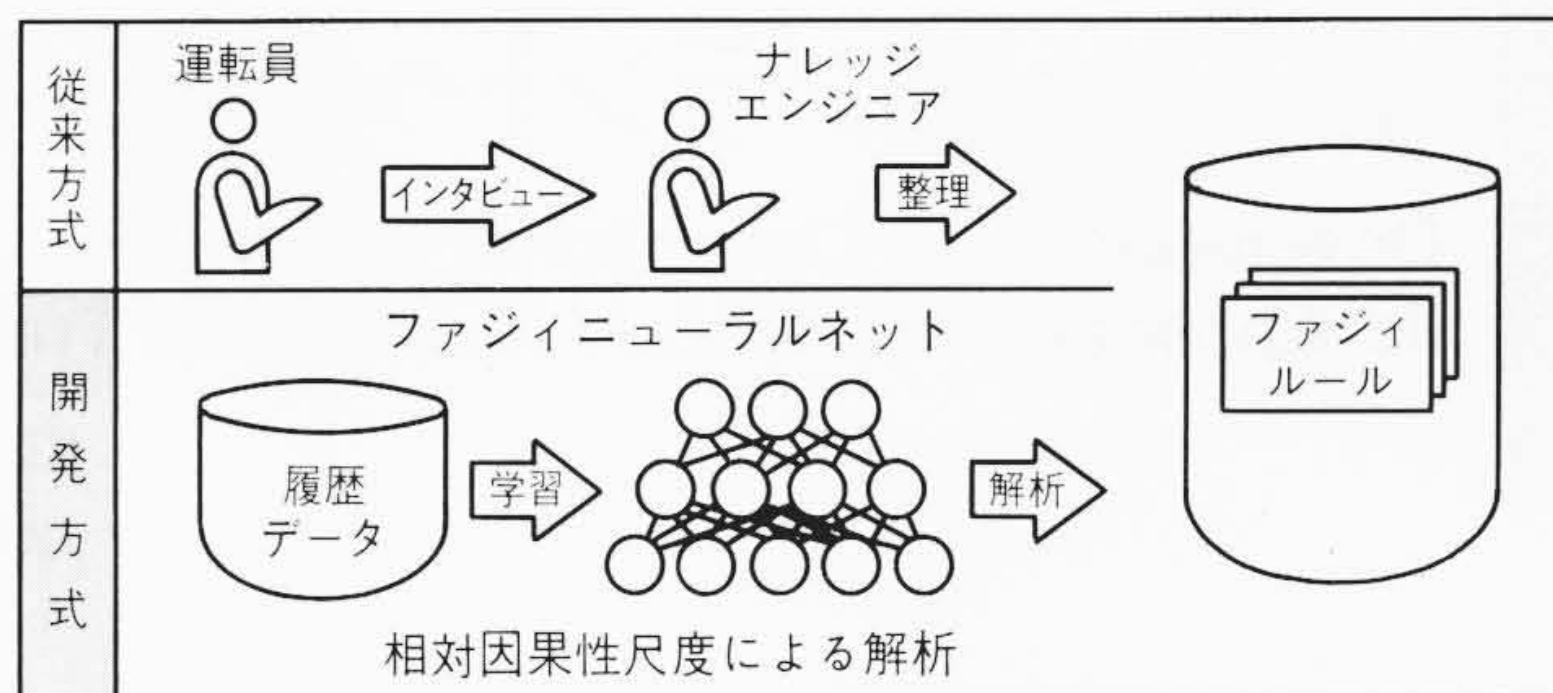


図2 ファジィルールの獲得方式 履歴データをファジィニューラルネットに学習することにより、ファジィルールを獲得する。

運転実績を記録したデータである。特に良好な運転が行われたときのデータは、運転の手本として有効に活用できる。

2.2 知的資産の活用方式

熟練運転員は、日常の運転管理業務で知的資産を網羅的に活用することにより、臨機応変な運転を実現している。一方、運転を支援する計算機システムでも、それぞれの知的資産に対応した手法が開発され、活用が図られてきた。

(1) 原理・法則→シミュレータ

(2) 経験則→知識工学、ファジィ(AIシステム)

(3) 履歴データ→ニューロ(AIシステム)

従来のAIシステムは、ファジィでは経験則だけを、ニューロでは履歴データだけをそれぞれ活用するといったように、各知的資産の活用の特化したシステムとなっていた。したがって、複数の知的資産を一つのシステム上で同時に活用することはできなかった。知的資産の統合利用とその相乗効果(シナジー効果)による「シナジェティック運転支援システム」が、今後のシステム像と考える。

3 運転知識の自動獲得・修正技法

3.1 ニューロ応用ファジィルール獲得技法

ファジィルールの獲得方式を図2に示す。従来は、ナレッジエンジニアが運転員にインタビューし、その結果を整合性のとれたファジィルールベースとして整理していた。開発した方式は、新たに考案したファジィニューラルネットによる履歴データの学習と相対因果性尺度⁴⁾を用いた解析によって、ファジィルールを獲得するものである。

ファジィルール獲得用ニューラルネットの構造を図3に示す。入力層と出力層には、ファジィニューロンを配置している。このファジィニューロン内には、メンバーシップ関数が定義されており、入力値をファジィ変数の適合度に変換して出力することができる。これにより、従

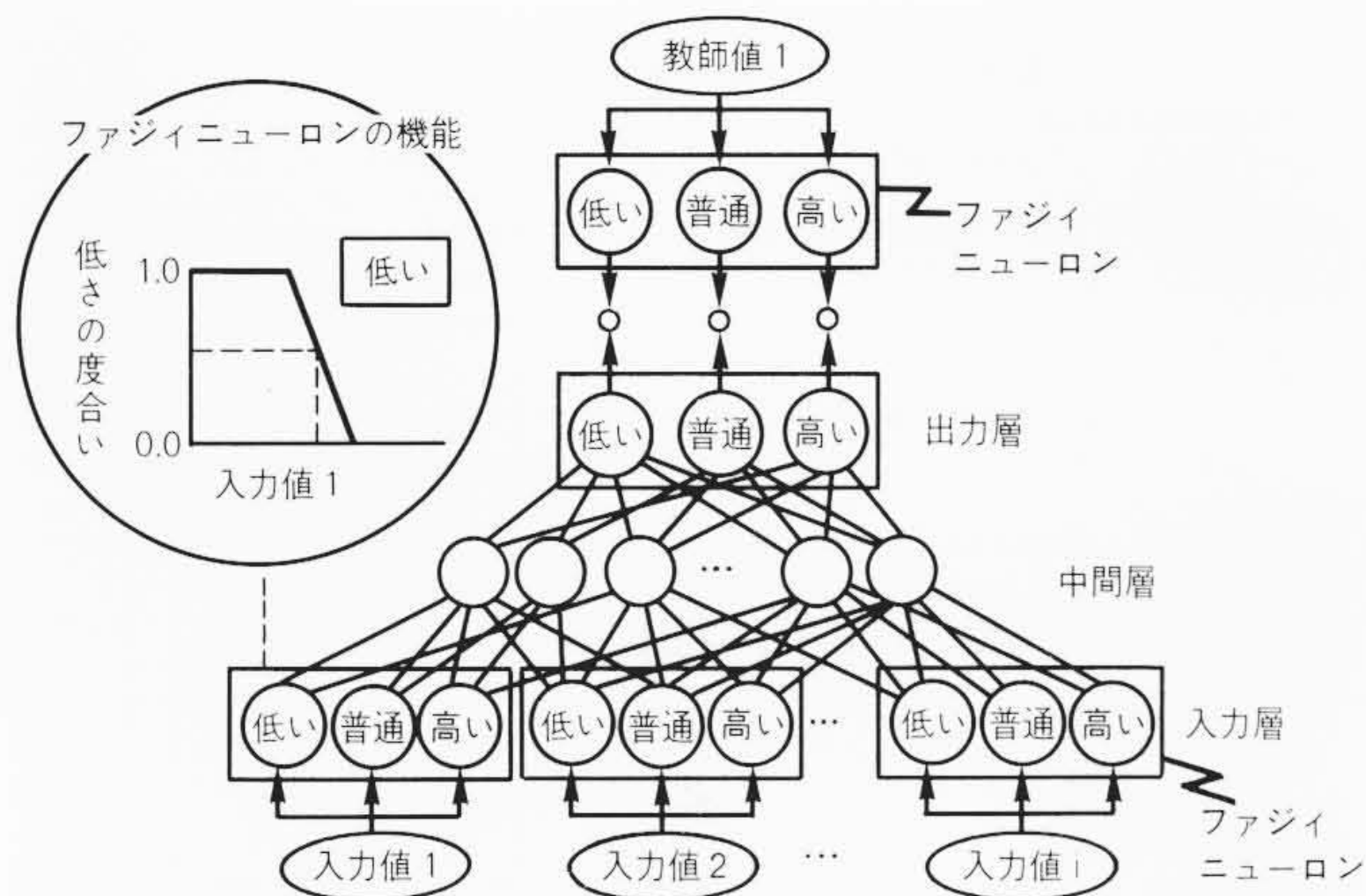
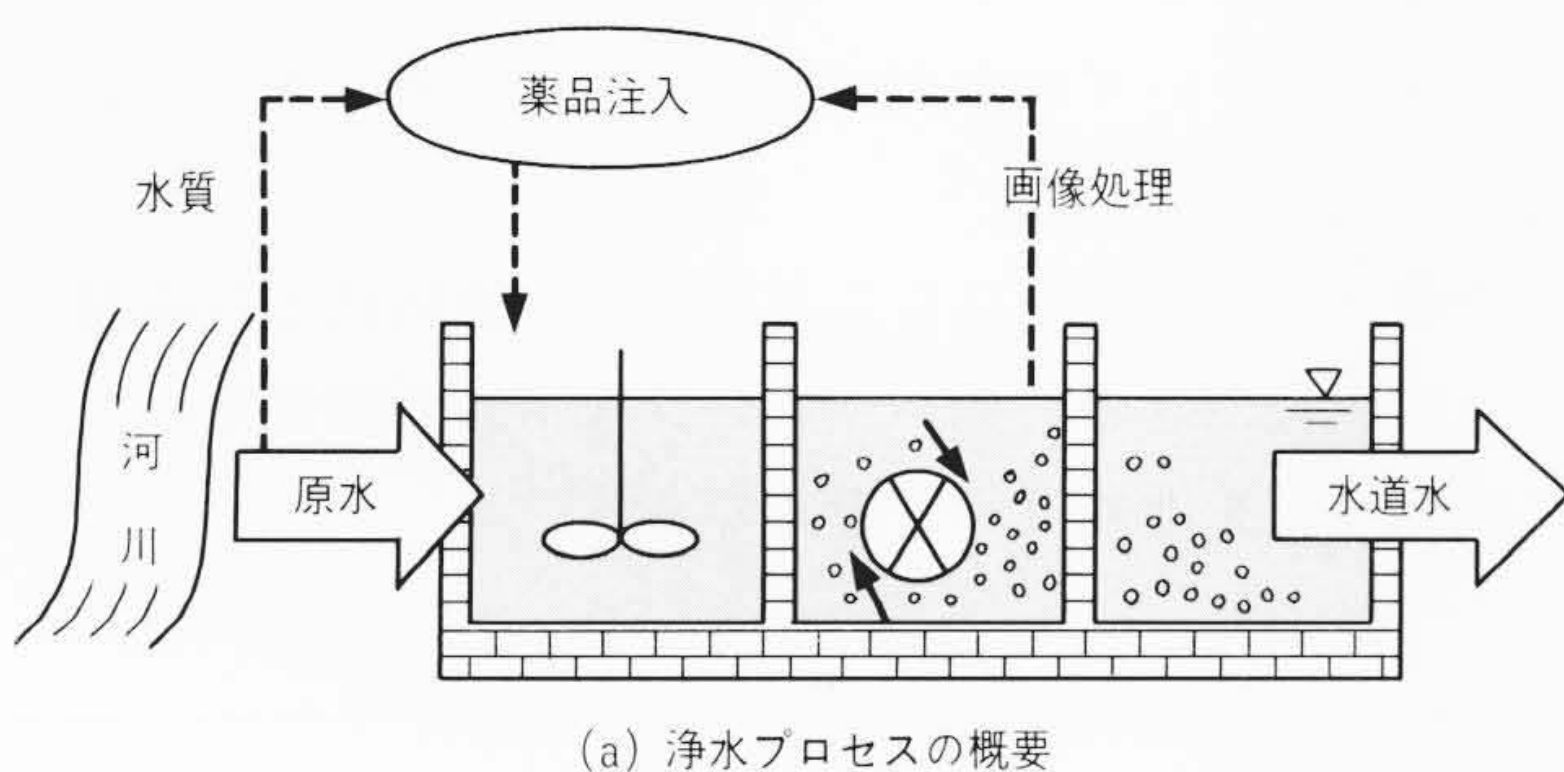


図3 ファジィルール獲得用ニューラルネットの構造
入力層と出力層にはファジィニューロンを配置している。

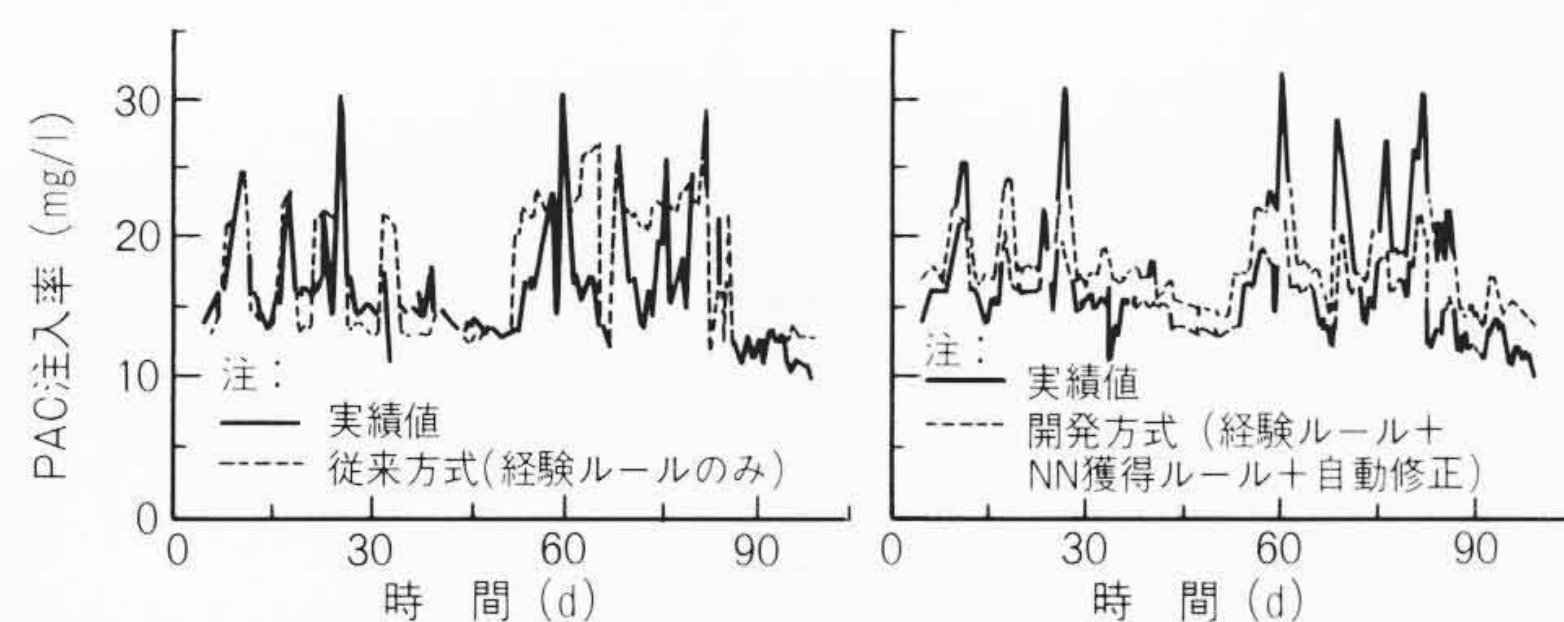
来の階層型ネットワークでは学習できなかったファジィ変数間の因果関係を学習可能とした^{4),5)}。

選択した履歴データ(入力値, 教師値)を, 改良型誤差逆伝播(ば)法²⁾により, ファジィニューラルネットに学習させる。学習済みのネットワークには, 「入力値1が低い」, 「入力値2が高い」などのファジィ変数間の因果関係が多数の重み係数として分散的に獲得されている。着目した出力に対する入力の影響は, 入出力間の偏微分値に基づいて定義した因果性尺度によって重み係数を定量的に評価でき, 影響の大きい因果関係をファジィルールに変換できる^{4),5)}。

得られたルールは, 既存のルールベース更新などに活



(a) 浄水プロセスの概要



(b) 薬品注入率の検証結果

注: 略語説明 PAC [ポリ塩化アルミニウム(凝集剤)]

図4 適用事例(浄水場における薬品注入率決定支援)
特に, 運転が難しいとされていた非定常時で精度が向上している。

用することができる。

3.2 適用事例(浄水場における薬品注入率決定支援)

浄水場の薬品(凝集剤)注入率決定支援に適用した事例とその検証結果を図4に示す。(1)従来法(運転員からのインタビュー)で獲得された経験ルールだけによるファジィ推論誤差と, (2)この方式で獲得したファジィルールで経験ルールを補完してファジィ推論を行い, その誤差を比較したものである。従来, 特に運転が難しいとされていた注入率の高い非定常時(流入原水高濁度時)で, 実績値への追従性が優れ, 精度が向上していることがわかる。

4 シナジェティック運転支援技法

4.1 シナジェティック運転支援システム

上下水道プロセスは, 流入水質が外部環境からの影響を受けること, 現象が解明されていない生物反応や化学反応を利用することなどから, 日常の運転管理での熟練運転員への依存度は高い。このようなプラントの運転を支援するガイダンスは, 広範囲にわたる複数の知識を統合利用し, 従来以上に的確化していく必要がある。シナジェティックシステムは, この知的資産の統合化と相乗効果(シナジー効果)により, プロセスの運転状況を監視し, 異常の早期検知と対策を支援するものである。運転員の負担軽減, およびより安心できる運転管理を目指すシステムと言える^{6),7)}。

シナジェティック運転支援システムの概要を図5に示す。履歴データには, 従来の水質データに新たに定量的画像データを付加している。ファジィルール自動獲得方式を用いて, この履歴データから獲得したルールで運転員の経験ルールを補完し, 知的資産を統合化する。この統合化知識ベースにより, プロセス状況と異常の有無をファジィ推論し, その結果と対策を運転員にガイダンスする。このように, ファジィ推論に用いる知識は, 従来

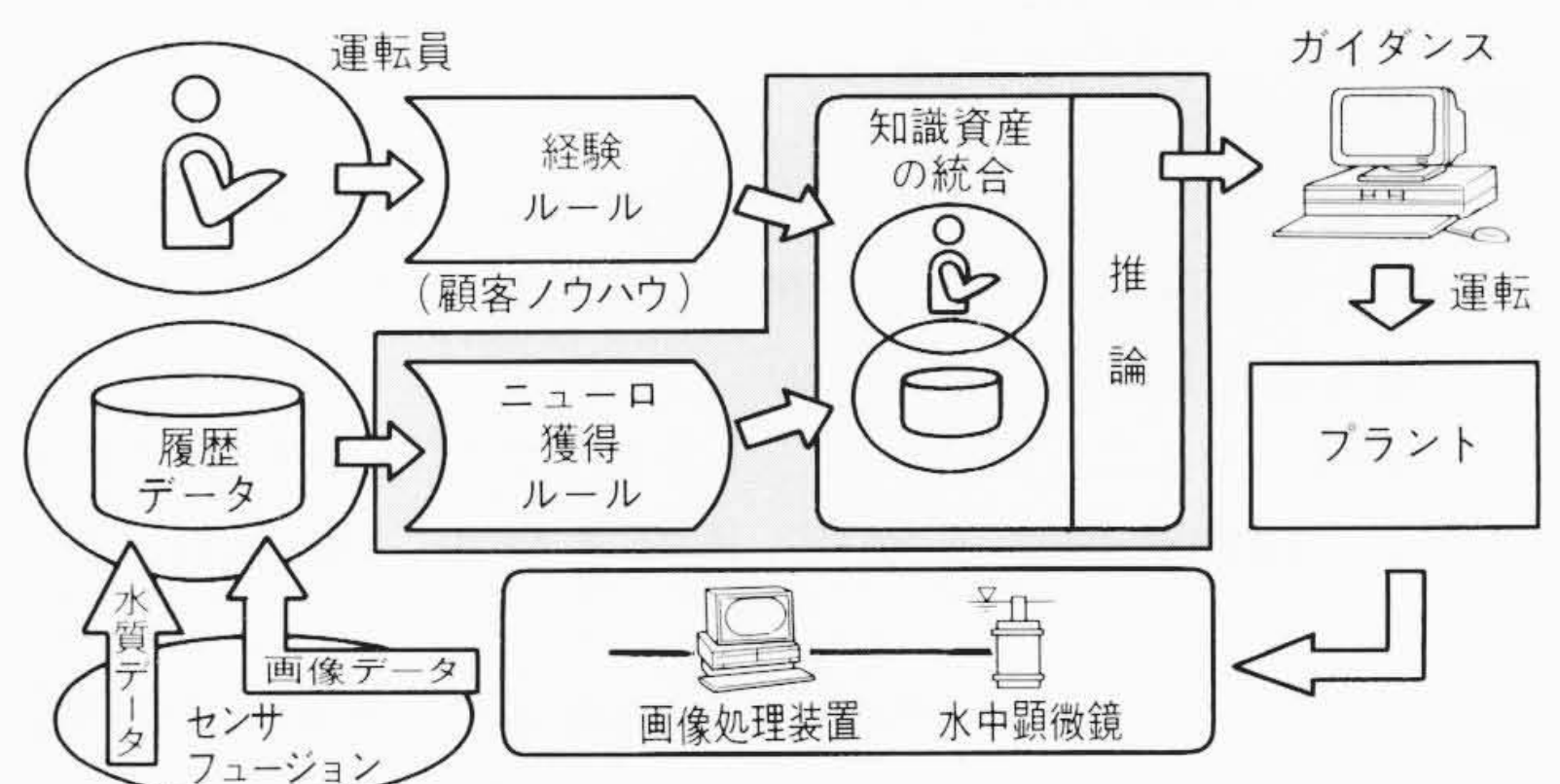
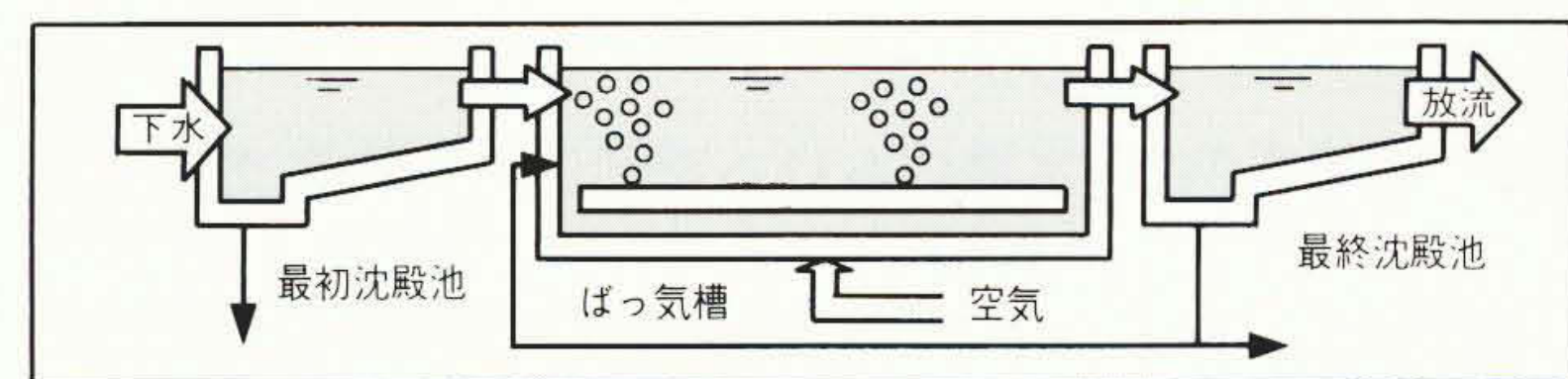
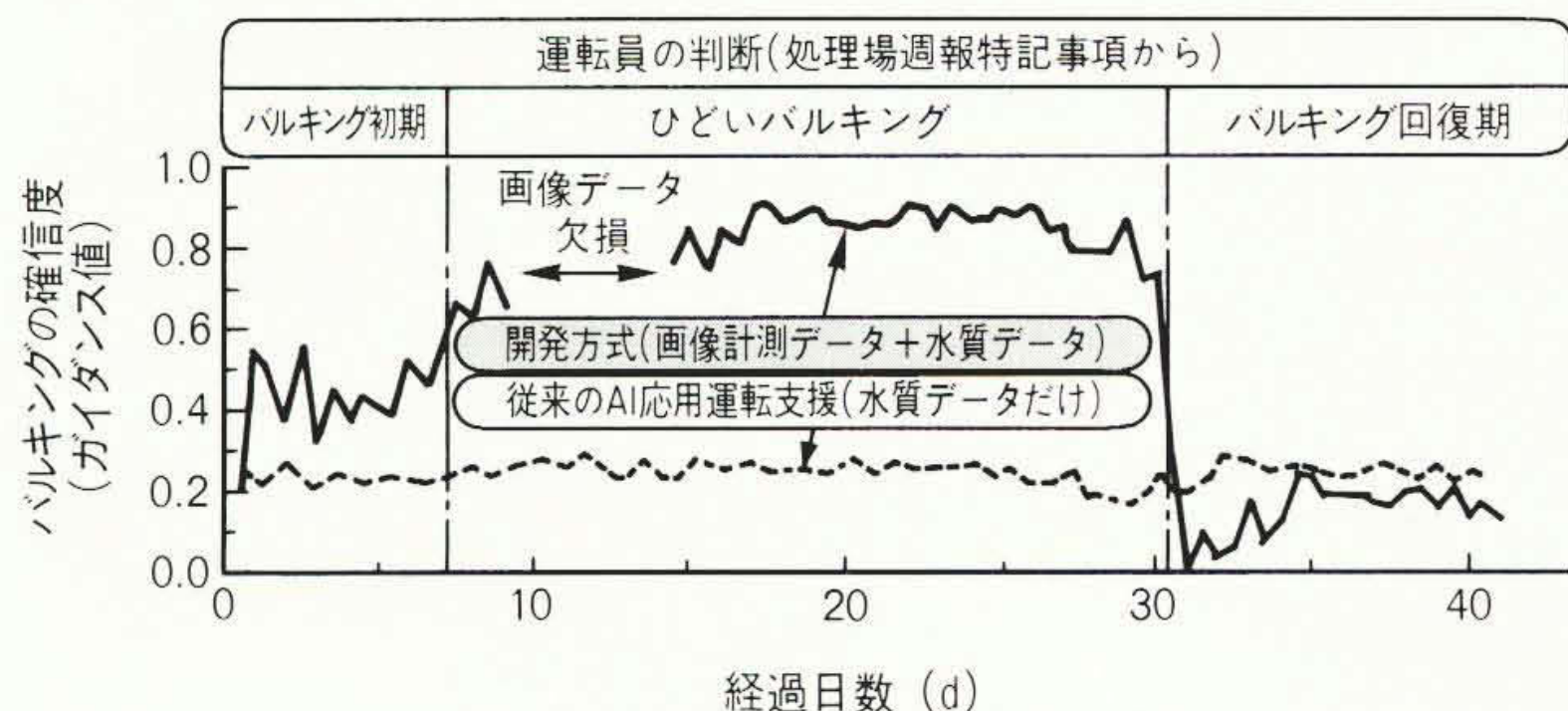


図5 シナジェティック運転支援システムの概要 知的資産の統合利用とその相乗効果(シナジー効果)をねらったシステムである。



(a) 下水処理プロセスの概要



(b) バルキングに関する検証結果

図6 適用事例(下水処理場におけるバルキング予知)
従来、連続監視が困難とされていたバルキング予知が可能となった。

の経験ルールから履歴データまで拡張されるため、ガイダンスの性能向上を図ることができる。

4.2 適用事例(下水処理場におけるバルキング*)予知)

下水処理場のバルキング予知支援に適用した事例と、その検証結果を図6に示す。(1)経験ルールを中心とする「従来のAI応用運転支援」の推論では、バルキング確信度に変化が見られない。一方、(2)画像データをも含めた履歴データから自動獲得したルールで経験ルールを補完した「シナジェティック運転支援システム」の推論では、バルキングの初期、発生、回復を検知することができ、運転員の判断とよく一致している。この検証結果から、補完したファジィ推論では、従来オンラインで連続監視が困難とされていたバルキングの予知が可能であること

※) バルキング：沈降性が悪化する現象

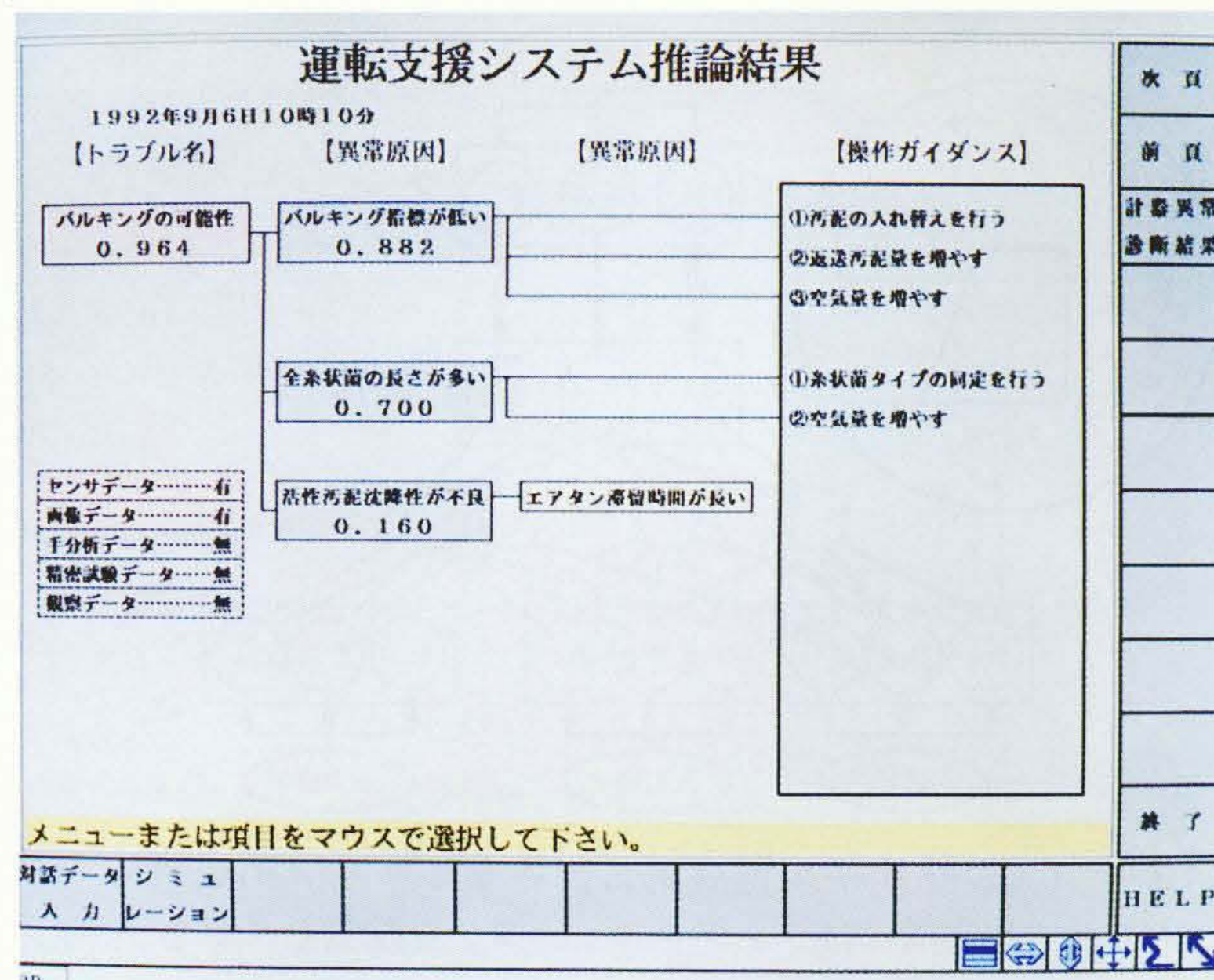


図7 運転支援のためのガイダンス画面 バルキングの可能性と、異常原因、対策をガイダンスして運転を支援する。

を示すことができた。また、バルキングの予知が的確化されたことにより、運転のためのガイダンスを早期に実現することができる。

バルキングの可能性と、その異常要因と対策(操作)を推論し、運転を支援するガイダンス画面の一例を図7に示す。

5 おわりに

AI応用システムの構築と運用上で課題とされていた運転知識の獲得・修正技法、および複数の知的資産統合化によるシナジェティック運転支援システムの概要について述べた。いずれも実プラントで検証中であり、実用化への見通しを得た。

今後とも、運転員になじみやすく、運転員との協調によって成長できる、使いやすいシステムの構築を目指して技術開発を進めていく考えである。

参考文献

- 1) 馬場, 外: 履歴学習型・上下水プラント運転支援システム, 第3回水システム自動計測制御国内ワークショップ論文集, 165~168(平元-9)
- 2) 圓佛, 外: ニューラルネットを用いたプラント運転ルールの抽出に関する研究, 電気学会論文集, 111, 1, 20~28(平3-1)
- 3) 柳下, 外: ファジィ理論の浄水場薬品注入制御への応用, システムと制御, 28, 10, 597~604(昭59-10)
- 4) I. Enbutu, et al.: Fuzzy Rule Extraction from a Multilayered Neural Network, Proceedings of IJCNN, Vol. II, pp.461~466(1991)
- 5) 圓佛, 外: ニューラルネット応用による浄水薬注ファジィルールの獲得, 第4回環境システム自動計測制御国内ワークショップ論文集, 66~69(平4-9)
- 6) 依田, 外: 下水道維持管理の充実と知的制御システム, 日立評論, 73, 12, 1119~1126(平3-12)
- 7) 原, 外: 下水処理場における統合的運転支援システムの開発, 第4回環境システム自動計測制御国内ワークショップ論文集, 52~55(平4-9)