

〈研究発表〉

最適制御による浄水場薬品費の低減

野網 都夫¹⁾

¹⁾メタウォーター株式会社 (〒108-0023 東京都港区芝浦 3-16-20,
E-mail: noami-kunio@metawater.co.jp)

概要

浄水場の凝集・ろ過工程では、原水に凝集剤・活性炭・酸等、複数の薬品を注入することで、ろ過水質を制御している。従来の比例制御では、急激な原水悪化時に対応できないことがある他、必要量よりも多くの薬品が注入されてしまう可能性もあった。本研究では、ニューラルネットワークによる予測手法と最適化制御を用いることで、原水水質と反応条件に応じてろ過水質を予測し、目標とする水質に近づけるように薬品の注入量制御を行う。また、薬品費の低減を目的として、使用する各薬品の単価に合わせて注入量の最適化を図るものである。

キーワード:薬品注入, 最適化, ニューラルネットワーク

1. はじめに

1.1 水道事業を取り巻く動向

平成16年6月に公布された水道ビジョン(平成20年7月改訂)では水道事業者に対する環境保全などの社会的責任も取り上げており、水道事業者も効率的な運転・維持管理や省エネが課題となっている。

その一方で、よりおいしい水を要求する市民の声に応えるべく、クリプトスポリジウム等の原虫を除去できる膜ろ過設備が注目されている。膜ろ過設備は運転管理の容易さと敷地面積の縮小が可能なることから導入が活発に進んでいると考えられる。

1.2 膜ろ過設備における薬品注入

原水に含まれる濁質の除去性を上げる為、フロックを形成可能な凝集剤を注入することが多い。その為、凝集+膜ろ過となる場合が多い。凝集工程では凝集剤以外にも活性炭、pH調整剤が注入される。原水水質に対して種々の薬品が注入されるが、複数の薬品は相互依存関係にあり、それぞれの薬品の最適な注入量を決定するのは困難である。

現状はジャーテストにより注入量を決定しているが、時間と労力が必要となり、運転維持管理の負担となっている。またジャーテストを実施しても、ろ過水質を確保するため、より安全に薬注を注入する傾向があり、過剰な注入となる場合がある。

1.3 従来の薬品注入量制御

浄水場の薬品注入量制御として比例注入量制御が導入されてきた。凝集剤の比例注入量制御を例とすると、原水濁度と1対1の比例関係で凝集剤の注入量を決定

するものである(Fig.1)。特徴としては、シンプルで分かりやすく、原水水質への追従によりある程度安定した水質が得られると考えられる。ただし制御範囲が狭い為、高濁領域の自動制御は難しく、運転員による調整が必要である。また、比例直線部においては、過剰注入となる場合があり、薬品費を低減する余地を残している。

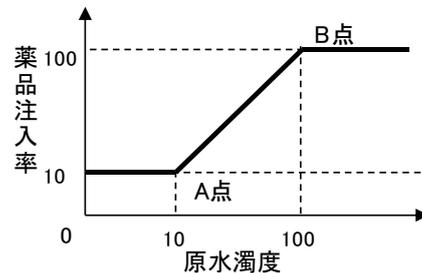


Fig.1: 比例注入量制御の事例

2. 新しい制御の目的

新しい制御技術を確立するに当たり、その目的を以下の通り設定した。

- ①水質基準を厳守する薬品注入量を決定すること
 - ②薬品費を低減すること
- その理由について以下に述べる。

2.1 水質基準を厳守する薬品注入量の決定

従来の比例制御では、原水水質が安定していれば、必要最小限の運転管理で問題ないと考えられるが、降雨等の原水の高濁時には、運転員がモニターを監視したり、必要に応じて採水・ジャーテストを行ったりする必要がある。昼夜を問わないこれらの作業は運転員の負担になっているだけでなく、待機人数の低減が図

れない等の問題にもなっている。しかし、安定的に水質基準を守ることが確約できれば、運転員の負担軽減となり、効率的な浄水場運営につながると考えられる。

2.2 薬品費の低減

従来の比例注入量制御では、ろ過水質の安全確保を優先し、余裕を見込んだ注入となっていることが多い。薬品費は浄水場の運営コストの大きな割合を占めているため、わずかでも注入量を削減するだけで効果は大きく、大きな薬品費の削減となる。また、複数の薬品を注入する場合、単価の安い薬品を多く使用するなど、最適な注入量の組み合わせとすることで、更に薬品費を低減できる。

膜閉塞時には、膜洗浄／膜交換に関わる費用負担が発生する。膜閉塞は凝集フロックの良否に影響していると考えられ、凝集フロックの形状は凝集工程における薬品の種類と注入量に関与していると考えられる。従って、適切な薬品注入量に制御することで、良好な凝集フロックの形成でき、膜閉塞となる期間を長期化出来ると考えられる。閉塞時の洗浄回数を削減し、洗浄費用負担を低減することも重要であると考えられる。

3. 実験・シミュレーション方法

3.1 実験設備

(1) 実験フロー

実験プロセスは凝集工程+膜ろ過工程とし、凝集工程にて凝集剤等の薬品を注入、凝集フロックを形成し、膜ろ過にて除去するプロセスとした。原水は水道水にカオリン等の懸濁物質を混入して原水濁度を 10 程度に調整し、実験を行った。ろ過水量を約 1m³/日として 2 系統設置し、系統間にて比較実験を行った。ま

Table.1: 計測項目と工業用計器

計測項目	工業用計器	測定方式
原水濁度	濁度計	表面散乱形
水温	温度計	測温抵抗体
pH	pH 計	ガラス電極式
ろ過水質	色度計	吸光度方式

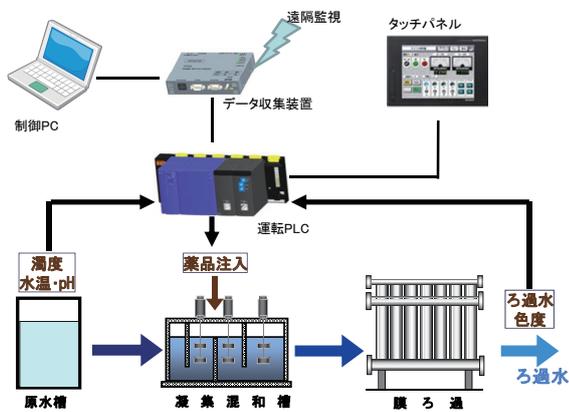


Fig.2: 実験のシステム構成図

た、計測項目については、Table.1 の通りとし、工業用計器による自動計測を行った。

(2) データ収集・制御装置

膜ろ過装置の運転は、自動シーケンスを作成し、PLC に実装した。実験時の効率を考慮し、流量及び薬品注入量はタッチパネル経由で設定できるようにした。

最適制御は、現場のノートパソコンに制御プログラムを実装し、1~10 分の演算周期にて制御できるようにした。また、現場で記録したデータは遠隔から CSV 形式でダウンロードできるように工夫している (Fig.2)。

3.2 制御の構築

制御方式は常ろ過水質の基準値を達成するようにフィードフォワード方式とし、①ニューラルネットワークによる予測モデルと、②評価関数による最適制御モデルから構成される制御方法を採用した (Fig.3)。

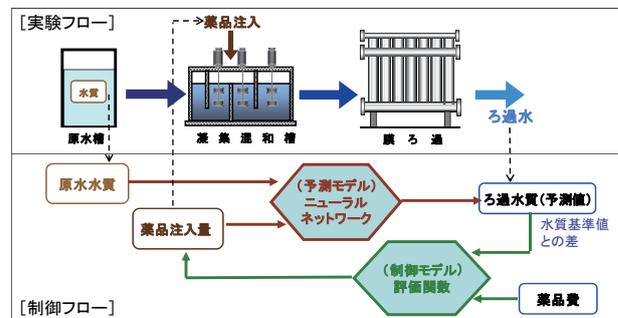


Fig.3: 制御フロー

(1) 予測モデル

本来であれば、凝集・膜ろ過を物理的な吸着反応ととらえ、吸着反応式により状態を予測すべきである。しかし、原水水質と薬品の反応は吸着反応だけでなく、他の化学反応も生じていると考えられ、反応原理を解明し、ろ過水質を予測することは困難である。

そこで、原水水質と反応条件の多変量解析を行い、ろ過水質に寄与度の高い入力因子を選定した。その上でろ過水質を入力因子の関数として予測モデルを作成し、実験データによりシステム同定を行った。モデル式としては、Fig.4 に示すニューラルネットワークを採用した。

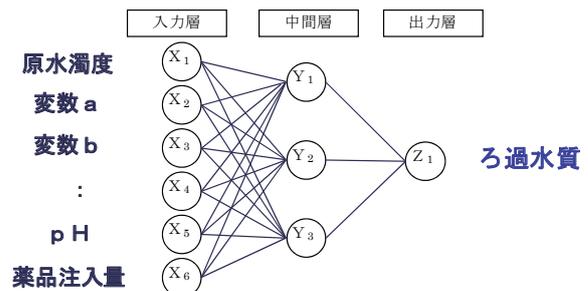


Fig.4: ニューラルネットワークモデル

(2) 評価関数による制御モデル

制御における課題は、水質厳守と薬品費低減の両立であり、これを解決する為に評価関数を導入した。現在の原水水質と反応条件に対し、様々な薬品注入量の組み合わせを検討し、(1)式に示す評価関数を用いて評価値を計算する。その中で水質良好度（予測水質と水質目標値との差）と薬品コスト（複数薬品の注入量×単価）のバランスを評価し、評価値が最小となる薬品注入量を選択し、制御出力を行う。

$$F = \min \{ a \times \sum (\text{薬品注入量} \times \text{薬品単価}) + b \times (\text{ろ過水予測値} - \text{水質目標値})^2 \}$$

但し $a + b = 1 \dots (1)$

本式による薬品注入量の評価例を (Fig.5) に示す。

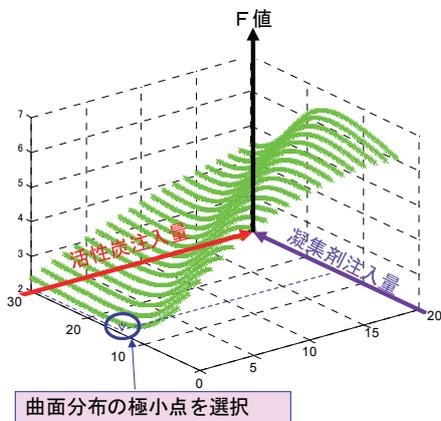


Fig.5: 評価関数による最適化制御

4. 実験結果と考察

4.1 予測モデルのシミュレーション

実験プラントにて運転データを収集し、ニューラルネットワークの学習用のデータ期間を複数設定し、ろ過水質の予測演算を行った。

学習用データの期間として60日間、予測演算期間を7日間とした時の実験結果を Fig.6 に示す。予測値と実績値の標準偏差は0.04であり、実績値平均の約10%の誤差となっている。

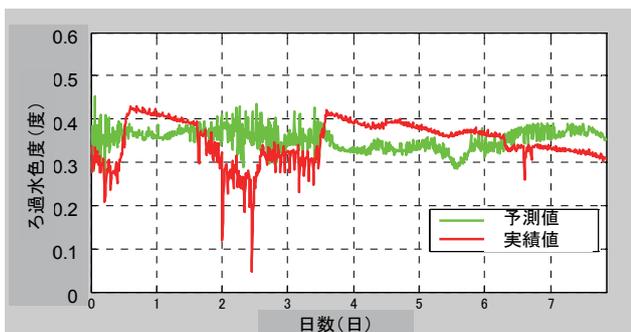


Fig.6: ニューラルネットワークモデルのシミュレーション結果

また、学習用データの期間を Sim1:7日間、Sim2:21日間、Sim3:60日間と設定し、シミュレーションを実施した場合の結果を Table.2 に示す。

Table.2: 学習データの期間と予測精度

	Sim1	Sim2	Sim3
学習データ期間(日)	7日分	21日分	60日分
標準偏差(度)	0.147	0.055	0.042

注) 実績色度の平均値: 0.4度

予測モデルのシミュレーションでは、3週間以上の学習データの期間をとることにより、制御可能な予測精度が得られることが確認できた。

4.2 制御モデルの実証

60日間のデータで学習したニューラルネットワーク予測モデルを用い、ろ過水色度の目標値を0.38度と設定し、評価関数による最適制御を7日間実施した。その時の薬品費の結果を Table.3 に示す。

比例注入制御と比較して最適制御では基準値を厳守する水質を得られた上、薬品費の低減も確認できた。

Table.3: 比例注入制御と最適制御

	比例注入制御	最適制御
ろ過水色度(度)	0.32	0.35
薬品費(%)	100	86

注) 薬品費は比例注入制御を100として計算

5. まとめ

短期間の実験ではあるが、ニューラルネットワーク予測モデルにて制御可能な予測精度が得られると同時に、薬品費の低減も確認できた。

今後は長期的な実験を行い、薬品注入量の膜閉塞への影響を分析する。現状の評価関数では、原水水質によっては膜閉塞になりやすい薬品注入量にて制御する可能性がある。これを防止する為、膜差圧等を評価関数に加えることも検討していく必要があると考える。

また、現状ではニューラルネットワークのモデル構築や評価関数のパラメータ設定など、高度な制御技術を要する。今後はユーザーにて直感的に制御が構築できるよう、ユーザーの利便性を高める必要があり、エンジニアリングツール化を進めていきたい。

参考文献

- 1) 厚生労働省健康局水道課: 水道ビジョン(2004)
- 2) (財)水道技術研究センター: 浄水技術ガイドライン(2010)
- 3) 社団法人日本水道協会: 水道施設設計指針(2000)