

審査の結果の要旨

氏名 陰山晃治

浄水プロセスにおける膜ろ過は、コンパクトで維持管理が容易、自動運転が可能などの特長をもつが、膜汚染（ファウリング）の抑制が課題となっている。特に微粒子や溶解性物質が多く含まれる原水表流水を膜ろ過処理する場合には、膜ろ過処理の前段で凝集などの前処理をすることが一般的である。しかし、凝集剤注入はこれまでの経験によるものが多く、適切な自動制御方法の開発が求められている。

そこで本論文は、ニューラルネットワークを用いた原水水質に応じた凝集剤注入率の制御方法についての研究を行った。

本論文は7章からなり、第1章は序章で研究の背景と目的を述べ、第2章は既存の研究についてまとめ、第3章ではニューラルネットワークによる膜ろ過プロセスのモデル化の方法について説明をした。

第4章では、試薬で調製した原水を小型膜ろ過実験装置を用いて膜ろ過し、ニューラルネットワークを適用した。原水水質が異なる72回の膜ろ過実験の結果から、ろ過抵抗の変化は3つの類型に分類でき、これらを4つのろ過抵抗上昇指標を用いて表した。凝集剤注入率を増加させると、これらの指標のうち難剥離性ろ過抵抗変化速度は減少するものの、易剥離性ろ過抵抗変化速度が上昇するため、凝集剤注入率には最適な範囲が存在することが示された。これら4つの上昇傾向指標を、濁度、紫外線吸光度 UV_{260} 、水温、凝集剤注入率を入力因子として、ニューラルネットワークでモデル化した。その結果、ろ過開始直後の膜差圧の上昇予測は困難であるものの、長期的な上昇傾向指標である難剥離性ろ過抵抗変化速度と易剥離性ろ過抵抗変化速度を精度良く推定できた。また、4つの入力因子の膜差圧の変化への影響を比較したところ、紫外線吸光度 UV_{260} が入力因子のうち最重要であることが分かった。

第5章では、実際の表流水を原水としてベンチスケールの実験装置を用い、第4章で示した4つの上昇傾向指標のうち最も重要と考えられた難剥離性ろ過

抵抗変化速度を対象に、ニューラルネットワークでの推定を試みた。その結果、降雨等により難剥離性ろ過抵抗変化速度が大きく変化した場合は良好に予測できるものの、その後ろ過抵抗が減少する過程や、日間変動については、良好に推定できなかった。このうち、日間変動については、難剥離性ろ過抵抗が大きく変化する箇所を除いた場合は、良好に推定できることが分かった。これは、濁度や紫外線吸光度 UV_{260} の値が同じであっても、難剥離性ろ過抵抗変化速度が異なることを示しており、濁度の構成成分あるいは紫外線吸光度 UV_{260} の構成成分が、通常時と降雨後で異なることを示唆していると考えられた。

次に、難剥離性ろ過抵抗変化速度が大きく上昇した後に減少する場合の推定性能を高めるため、履歴情報として初期膜差圧に対する膜差圧の増分を入力因子として用いたところ、独立性が高く膜汚染の大きさを直接表す入力因子であったため、最もよく推定性能を改善することができた。履歴情報として次に有効であったのは、過去 72h の紫外線吸光度 UV_{260} の平均値であった。その理由として、紫外線吸光度 UV_{260} と関係する成分は逆洗工程で剥離しづらく、また原水水質が一度悪化して膜差圧が上昇してから低下するまでの期間が約 3 日であったためと考えられた。

第 6 章では、実プラントの代替として、仮想プラントモデルを用いて評価した。凝集剤注入率の制御方法として、難剥離性ろ過抵抗変化速度があらかじめ設定した上限値を超えないよう制御した結果、ニューラルネットワークモデルにより凝集剤注入率が適切に与えられることを明らかにした。また、運転開始後の時間経過とともに、凝集剤注入率の計算値が適切な注入率からスパイク状に外れる点が減少した。これは、時間経過とともに教師データが増加し、制御で用いる予測用ニューラルネットワークの学習が進んだためと考えられた。スパイク状に外れる点は、誤差逆伝播学習法の反復計算回数を増やすことで低減できたことから、多数の非線形関数で構成されたニューラルネットワークにおける局所最小点の存在が原因であることが明らかになった。また、従来制御方式と比較したところ、膜差圧の最大上昇量が同じであれば、ニューラルネットワークを用いた制御の場合、凝集剤注入率を半減できることを示した。

第 7 章は本論文のまとめと結論である。

以上の研究成果から、ニューラルネットワークは、凝集-膜ろ過処理において凝集剤注入率の制御に利用可能であることが示された。また、ニューラルネットワークの入力因子として、紫外線吸光度 UV_{260} などの水質条件、凝集剤注入率などの操作条件に加え、過去の膜汚染に関する履歴情報を用いることが有効

であることが示された。これらの研究成果は、今後の実用化を目指して、浄水処理における膜ろ過プロセスの制御に貢献するものと考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。