

審査の結果の要旨

氏名 趙 鵬

精密ろ過膜（MF）膜プロセスは低圧条件下で微粒子、浮遊物、バクテリアを原水から効率よく取除くことができる水処理プロセスであるが、膜孔径が大きいため溶存性の有機物は除去できない。高濃度の粉末活性炭（PAC）と精密ろ過膜（MF）とを組み合わせたプロセス（PAC-MF プロセス）は、溶存有機物の除去吸着能力、アンモニアや鉄・マンガンの生物的酸化能力を有するほか、突発的な水道原水の汚染事故に対する緩衝能力を有している。しかしながら、運転の経過と共に粉末活性炭を主体とするケーキ層のファウリングがすすみ、流束の減少や運転圧の上昇が生じ、その抑制のための設計手法、運転管理手法の開発が求められている。

本論文は、PAC-MF プロセスにおける PAC ケーキ層形成の機構の解明、ならびに、ケーキ層の構造とケーキ層形成の抑制方法について研究した成果である。

本研究は「高濃度粉末活性炭—精密ろ過（PAC—MF）水処理プロセスにおけるケーキ層ファウリングに関する研究」と題し、8つの章で構成されている。

第1章は「序論」であり、研究の背景と目的が述べられている。

第2章では、既存の研究をとりまとめて示している。

第3章は、実験装置と実験方法が説明されている。

第4章は、高濃度粉末活性炭精密ろ過（PAC—MF）水処理プロセスのパイロットプラント実験の結果とその解析を示している。

東京都水道局玉川浄水場内に設置した2つの PAC-MF 実験槽は、それぞれ PAC を 20g/L を投入した PAC 吸着槽と、管状のセラミック製膜モジュールが設置された膜分離槽とに区分されている。PAC 吸着槽は常時下部から曝気されることにより粉末活性炭が浮遊状態にあるが、膜分離槽では連続的な曝気は行われていないため、粉末活性炭は沈降し、PAC 吸着槽へと戻る構造になっている。

約2年間にわたる各種連続処理実験では、多摩川河川水またはその生物濾過層処理水を原水とし、平均粒径 36 μm 及び 151 μm の2種の粉末活性炭を比較検討している。低流束（1m/d）よりも高流束（4m/d）において、より大きなケーキ層抵抗が生ずること、高流束の条件においては、粒径の大きい PAC を用いた反応槽では粒径の小さい PAC を用いた膜ろ過槽よりも早くケーキ層が形成されたことを示している。一方、低流束（1m/d）の場合は、

逆の結果となることを示し、PAC ケーキ層形成の現象的な複雑さを明らかにしている。この現象の詳細な機構解析は第5章で示している。

連続処理実験における処理水質に関しては、DOC、UV260 の平均除去率はきわめて良好であり、例えば、ろ過流束 1m/d による運転では、初期3ヶ月にわたり 85-90%の DOC 除去率が得られたことを示している。

第5章は、粉末活性炭ケーキ層ファウリングの解析についての成果である。PAC ケーキ形成の原因を解明するため、PAC ケーキ層の試料から、超音波洗浄を併用した水酸化ナトリウムあるいはクエン酸処理により DOC と金属イオンそれぞれを抽出し、抽出前後の PAC ファウリングの比ケーキ抵抗を比較することにより、抽出されたファウリング物質のろ過抵抗への影響を評価している。その結果、PAC ケーキ抵抗の増加は、PAC 表層の付着有機物より金属吸着の方がより重要な影響を与えていることを示している。さらに、多摩川河川水から濃縮した DOC とコロイド状物質、および金属塩のろ過抵抗への影響を調べ、DOC は PAC ケーキ形成に対し大きくは寄与せず、金属及びコロイド状物質の組み合わせが、大きく寄与していることを明らかにしている。特に三価鉄の PAC ケーキ抵抗に与える影響は他金属イオンに比べて大きいことを示している。

また、PAC ケーキファウリング中の有機物の分子量は、300~3000 の範囲で分布しており、主要成分は溶存性有機物としてのフミン系有機物由来のタンパク質、多糖、芳香族化合物であることも示している。

第6章は、粉末活性炭ケーキ層の構造とその形成機構についての成果である。活性炭表面の電荷の変化ならびに比ケーキ抵抗と膜間差圧の関係を調べ、生物ろ過処理水中のコロイドなどの微細粒子は、粒径の大きい PAC 粒子間の空隙に入り込み、水の流路を極めて狭くし、粒径の小さい PAC 粒子にくらべ、より密なケーキ構造を形成するとしている。この傾向は大きな流束(4m/d)の場合により強くなることを示している。

第7章は、PAC ケーキ層形成の理論的解析と抑制手法についてである。PAC ケーキ抵抗に与える PAC の粒径、流入水水質、流束の影響ならびに逆洗と膜ろ過槽での曝気の効果を経験的に説明するため、PAC ケーキの形成とケーキ層のはく離の動的関係を示す関係式を提案している。その式により、適正運転を実施すれば、PAC ケーキ抵抗の動的な平衡状態を実現できることを示している。また、逆洗は、ケーキ形成に対して抑制効果をもたらし、曝気は、緩い構造を持つ外部 PAC ケーキのはく離に効果的であることを示している。

第8章は、結論と今後の課題であり、本論文の研究成果をとりまとめて示している。

このように、本論文は、高濃度粉末活性炭—精密ろ過膜を用いた水処理プロセスの機能向上に資する研究成果であり、都市環境工学の学術分野の進展に大いに貢献するものである。

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。