

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 松井 康弘

本論文は「ナノろ過法による地下水中のフッ素除去に関する研究」(Fluoride Removal from Groundwaters using Nanofiltration Process)と題し、高濃度のフッ素を含む地下水をナノろ過膜によって処理することにより、地下水からフッ素の除去するプロセスの確立を目指したものである。本研究は9章から構成されている。

第1章は研究の背景と目的で、世界の地下水中のフッ素汚染問題の背景とその広がりについて述べたうえで、これまで一般に普及していた吸着法や凝集沈澱法などの問題点を指摘し、新しいフッ素除去技術の確立が必要であることを述べている。

第2章は、文献調査であり、地下水中のフッ素濃度上昇の原因や既存の除去フッ素プロセス、及びナノろ過プロセスによるイオンの除去に関する既存の文献をまとめた。

第3章は、実験方法であり、タイ国チェンマイ盆地における地下水中のフッ素濃度の調査、ならびにナノろ過膜を用いたフッ素除去に関する実験の方法について述べている。

第4章は、ナノろ過膜を用いたフッ素除去の基礎的な実験結果であり、ナノろ過膜によるフッ素除去に対するpHの影響、膜の表面電位、膜表面における濃度分極、拡散速度係数などを求めている。

第5章では、チェンマイ盆地における地下水中のフッ素濃度の分布と、その他の水質との関連性について、現地調査の結果を報告した。調査の結果、フッ素濃度の高い地下水は、フッ化カルシウムについて飽和しており、カルシウム濃度がフッ素濃度を制限していることが示された。このため、フッ素濃度の高い地下水はナトリウムイオンや重炭酸イオンを多く含み、カルシウムイオン濃度が低いことが示された。その反対に、フッ素イオン濃度が低い地下水は、カルシウムイオンを多く含むことから、カルシウムイオンとナトリウムイオンとのイオン交換により地下水中のフッ素がフッ化カルシウムとして沈澱を免れることにより高い濃度に保たれている可能性が示された。

第6章は、チェンマイ盆地の高濃度フッ素含有地域に設置されたナノろ過

膜プラントの機能調査結果を報告した。同地域に設置されたナノろ過膜は、砂ろ過、活性炭吸着、イオン交換からなる前処理とナノろ過膜から構成されているが、前処理プロセスが適切に管理されていないため、フッ化カルシウム及び炭酸カルシウムによる膜ファウリングの恐れがあることを示した。さらに、水質シミュレーションにより、回収率、pHを変化させた場合の膜ファウリングへの影響を評価した。

第7章は、回分式の膜ろ過実験装置を用いて、フッ化カルシウム、炭酸カルシウム、及びシリカを含む地下水による膜汚染について評価した。実験計画に基づいて、3因子2水準の実験を、純水中にこれらの物質を異なった濃度で溶解する方法で行った。実験の結果、シリカによる膜汚染が最も深刻なフラックスの低下を引き起こした。フッ化カルシウム及び炭酸カルシウムは、それぞれの濃度が単独で高い場合にはフラックスの低下はわずかであったが、これらの両方の濃度が高い場合、フラックスが大きく低下し、相互作用が認められた。これらの実験全てにおいて、膜汚染によるフッ素除去率の低下は認められなかった。

第8章は、ナノろ過パイロット実験装置を用いてコロイド状シリカによる膜ファウリングと、フッ素除去への影響を評価した。地下水中のシリカがコロイド状の場合、第7章の反応性シリカとはことなり、ナノろ過膜によるフッ素の除去率が低下した。その理由を解析するため、濃度分極モデルと膜透過モデルにより膜表面のシリカ濃度を推定したところ、コロイド状シリカによりファウリングした膜では、膜表面のフッ素濃度が上昇しており、シリカによるゲルの性状の違いが、フッ素除去率に影響することが確かめられた。

第9章は結論であり、本研究の結論をまとめるとともに、今後の課題について述べている。

これらの研究は、ナノろ過膜による地下水中のフッ素除去の有効性とその課題が明らかとなるとともに、地下水水質と膜汚染およびフッ素除去率の変化について新しい知見が得られた。これらの研究成果は、今後地下水中のフッ素除去のためのナノろ過プラントの設計に寄与する他、今後の研究の進展に大きく貢献するものである。以上の理由により、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。