

審査の結果の要旨

氏名 佐藤 祐也

本論文は、「タンニン酸を用いた RO/NF 膜の改質技術とモデル解析に関する研究」と題し、タンニン酸を用いた市販 RO/NF 膜の改質処理による膜性能のコントロール技術および膜の酸化剤劣化防止技術を検討し、更に膜性能変化を記述するモデル解析法を提案したもので、全6章からなっている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。現在、海水淡水化や超純水製造、廃水処理や浄水処理において、逆浸透 (RO) 膜やナノろ過 (NF) 膜が広く使われているが、市販 RO/NF 膜の性能グレードが少ないことから必ずしも用途に最適な膜性能を選択できないことや、現在主流の膜では酸化剤耐性がほとんどないことなどを問題点として指摘している。そこで簡易でかつオンサイトで膜性能のコントロールが出来、同時に膜の酸化剤耐性も付与できる技術の開発を本研究の目的として設定している。また、開発技術による膜性能の向上を定量的に予測するための解析モデルの構築も目的としている。

第2章では、まず物理的欠陥をもたない、劣化等のない市販の RO/NF 膜に対して、タンニン酸による改質処理を行い、分離性能や透過水量にどのような影響を与えるかについて検討している。さらに、実際の装置で使用し、酸化劣化を引き起こした RO/NF 膜についても、同様なタンニン酸処理により性能の回復が可能であるかどうかの検討を行っている。その結果として各種検討した改質剤の中では五倍子タンニン酸が最も高い分離性能向上効果を持つことを明らかにし、また改質効果の長期的な安定性も確認している。

第3章では、比較的 RO 膜に近い分離性能を有する NF 膜の構造モデルとして、膜は純水透過性が低く塩阻止性の高い正常部分と、純水透過性が高く塩阻止性の低い欠陥部分の2つの部分からなるモデルを提案し、タンニン酸による改質処理により欠陥部分が修復され、膜の分離性能が向上するものと仮定している。そして分離性能向上効果を定量的に解析するモデルとして、正常部分の透過現象を記述する非平衡熱力学モデルや欠陥部分の透過性を記述する立体障害細孔モデル、膜の荷電効果により塩阻止性能を記述する Teorell-Mayer-Sievers モデルを組み合わせたモデルを新たに提案し、中性溶質および電解質を用いた透過実験結果の解析を試みている。その結果、実験値とモデル解析結果とは良い一致を示したことから、本モデルおよび解析方法はタンニン酸による NF 膜の修復現象を

表現するのに妥当であることを示している。

第 4 章では、第 3 章において妥当性を検証した NF 膜のモデル解析手法を用い、ある分離性能を持つ RO/NF 膜を目的の性能に向上させるために、タンニン酸を用いた処理をどのように行えばよいかについて検討している。低分離性能の RO/NF 膜としては、(1) 欠陥の絶対量が多い、(2) 欠陥部分のゼータ電位が小さい、(3) タンニン酸改質可能なサイズの欠陥細孔とそれより大きなサイズの欠陥細孔とが共存する、という 3 つのケースを想定している。検討の結果、改質前の塩阻止性能を設定することにより、改質後に目的分離性能を得るために必要な欠陥細孔補修率を見積もることが可能であり、低分離性能膜の改質設計指針となり得ることを明らかにしている。また、改質できない大きなサイズの欠陥細孔のある分離性能の低い膜では、分離性能向上を目的とした改質処理を施しているにもかかわらず、逆に分離性能が低下する場合があることも明らかにしている。

第 5 章では、タンニン酸による膜改質の応用技術として、市販の NF 膜や RO 膜に対してタンニン酸を用いた改質処理を施し、酸化剤耐性を付与できるかどうかについて検討している。その結果として、市販の NF 膜に対して、タンニン酸による定期的な酸化剤耐性処理を行うことにより、0.1~0.3 mgCl/L 程度の次亜塩素酸ナトリウムを連続添加しても、膜の酸化劣化を抑制できることを明らかにしている。

第 6 章では本研究の総括を述べるとともに、本研究で開発した膜改質技術の更なる展開のために、エンジニアリング上非常に重要な今後の研究開発課題を述べている。

以上に示すように、本研究は、タンニン酸改質処理が RO/NF 膜の性能向上作用、酸化剤耐性作用を持つことを明らかにしたものであり、また新たに提案した膜構造モデルに基づき膜性能の解析法を導出したもので、膜分離技術の更なる開発、普及に大いに資するものであり、化学システム工学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。