

審査の結果の要旨

氏名 張 澄

張澄氏は、「親水性膜と水の界面相互作用によるコロイドと溶解性有機物の分離」と題する論文の中で、Nafion などの親水性の膜が水分子との相互作用により、膜表面に水素結合により配列された水分子の層（排除ゾーン: Exclusion Zone, EZ）ができることにより水中のコロイドや有機分子などを排除できることを実証し、さらに、この現象(EZ)に影響を与える因子を明らかにした。また、EZ が形成されることにより、EZ 中にある浄化された水が、バルク水との濃度差からくる比重の違いにより押し上げられて、上部に清澄な無図の層ができることを見出した。同氏は、この現象を利用して、外部からのエネルギーを必要としない水処理装置のプロトタイプを開発した。同氏が開発した装置は、今後の研究開発の進展により、水処理プロセスの様々な局面で利用可能な技術である。

博士論文の第 1 章は、序章であり、研究の背景、目的、論文の構成などを記述している。第 2 章は文献レビューであり、博士論文に関連した基礎的な概念や既報のまとめとなっている。第 3 章は、研究方法であり、研究に用いた浸水性の膜や、微粒子などの特徴を述べている。また、それぞれの実験に共通した内容をまとめて記述している。

第 4 章は、EZ に関する基礎的な実験の結果について述べている。Nafion などの親水性の膜は、膜表面とその近傍に水分子の密な構造を形成することにより、微粒子や溶存している有機物などを排除する排除領域 (Exclusion Zone, EZ) を形成する。EZ の形成は、膜の親水性や、粒子の種類などによって異なり、塩分濃度が高い水溶液では、EZ の形成が塩分により阻害された。このことから、EZ の形成には水分子同士の相互作用がかかわっており、水中のイオンは EZ 形成に影響を及ぼすことが明らかとなった。陰イオンの種類を、Cl、Br、I と変えたところ、EZ の形成に対する影響はほぼ同じで、イオンの種類による違いは見られなかった。しかし、陽イオンを Li、Na、K、Cs と変えたところ、EZ 形成に対する阻害は、原子量の大きなイオンほど大きく、Cs が最も大きく阻害した。

第 5 章は、EZ が掲載された後に、更に長時間観察すると、観察用のキュベット上部に清澄な水が集まる現象が観察された。この現象を Phase Separation(PS) と名づけ、PS が起こる原因を検討した。その結果、PS は EZ 内部の清澄な水が、懸濁物質が集まったバルク水との比重差によって形成され、このため、懸濁物質の濃度が高いほど PS が形成されやすいことが示された。また、PS は粒子の

種類や大きさによらず形成されることが明らかとなった。

第6章は、EZ形成を阻害する低濃度懸濁物質領域（Void Zone: VZ）について述べている。VZはEZが形成された後に、あるいはEZの形成過程において、懸濁水の中心部付近に発生する低濃度懸濁物質の領域で、その発生原因、発生条件等について検討を行った。その結果、VZは、EZが形成された後に観察され、VZ発生時間は、親水性が高く、より大きなEZが形成される場合ほど短時間でVZが形成されることから、EZの形成が何らかの形で、VZ形成を促していることが推定された。また、VZ発生には懸濁粒子の濃度が関係しており、低い濃度保でVZが発生しやすく、またその大きさも大きなものであった。これらのことから、VZは、EZ内部の清澄な水が、観察対象の容器内を流れることで形成されることが推定できた。即ち、第5章で述べたPSのように、EZ内部の清澄水が循環し、水溶液の上部に集められるだけでなく、さらに循環して容器中央部において下方へと沈降するために発生するのではないかと考えられた。このため、粒子濃度が大きい場合は、清澄水の沈降流が妨げられ、VZが形成しにくいのではないかと推定できた。

第7章は、EZおよびPS現象を利用して、懸濁物質を含む原水を連続的に処理するシステムを開発し、その処理性について実験的に実証した。円筒形のガラスカラムの内壁にNafion膜を設置し、カーボンブラックまたはMicrosphereを含む原水を上向流で通水することで、Nafion膜近傍に形成したEZ内の清澄な水がPS減少により上部に移動してガラスカラムの上部に清澄な水を回収することができる。これにより、本研究により見出されたEZと、それに伴うPSを水処理に追い様できる可能性が実証された。また、微粒子の除去率は、カーボンブラックでは99.8%に達し、8時間の連続通水でも、正味の除去率は変化がなかった。これに対して、Microsphereの除去率は約96%であり、カーボンブラックの除去率よりも低かった。この装置において、微粒子の除去率を決定する因子はまだ十分に明らかになっていないが、今後の実用化に向けて、更に調査研究を重ねることが必要であることが示された。

これらの一連の研究は、水分子と親水性素材の界面との微細な相互作用の研究から始まり、それを水処理に応用するところまでの基礎から応用をカバーしたものであり、博士論文として十分な内容を備えている。

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。