


論文審査の結果の要旨

報告番号	博(工)甲第 109号	氏名	Ngo Thi Tra My
学位審査委員	主査 藤岡 貴浩 副査 田邊 秀二 副査 板山 朋聡		
<p>論文審査の結果の要旨</p> <p>NGO Thi Tra My氏は、2020年4月に長崎大学大学院工学研究科博士後期課程に入学し、現在に至っている。同氏は、工学研究科博士後期課程に入学以降、当該課程の所定の単位を修得するとともに、都市下水を高度処理することで再生水として活用する水処理技術に関する研究を行い、その成果を主論文「Assessment of Membrane Fouling Behavior of Nanofiltration and Membrane Distillation for Water Reuse (水再生に対するナノろ過と膜蒸留の膜ファウリングの評価)」として完成させ、参考論文を付して、2021年12月に博士(工学)の学位を申請した。長崎大学大学院工学研究科教授会は、2021年12月15日の教授会において論文内容等を検討し、本論文を受理して差し支えないものと認め、上記の審査委員を選定した。委員は主査を中心に論文内容について慎重に審議し、公開論文発表会を実施するとともに、最終試験を行い、論文審査および最終試験の結果を2022年2月16日の工学研究科教授会に、本書面をもって報告することとした。学位論文の適合性を審査したところ、学位論文の印刷公表論文2編(うち審査付き論文2編)が学位論文を構成していることが認められ、適合性ありと判断した。なお、参考論文には、その他の論文4編(いずれも審査付き論文)も含まれる。</p> <p>第1章では、都市下水を高度処理して再利用する研究背景を説明した後、研究の目的と論文構成を示している。</p> <p>第2章では、水再生技術としてナノろ過膜法および膜蒸留法を選択し、それぞれの技術を使った水再生処理に係わる先行研究を調査して体系的にまとめることで、先行研究において解決されていない課題を明らかにしている。</p> <p>第3章では、浸漬型ナノろ過膜モジュールを用いて二次処理下水を前処理なく直接ナノろ過処理し、その場合の膜汚染(膜ファウリング)を評価している。浸漬型ナノろ過膜モジュールの分離性能は、色度、濁度、pH、および全有機炭素濃度を定期的に測定することによって評価している。二次処理下水の直接ナノろ過膜処理を3 L/m<sup>2</sup>hの膜ろ過流束で行った場合、48日間の試験期間中、膜ファウリングはほとんど起こらないこと(膜差圧の増加割合は0.072 kPa/d未満であること)を</p>			

明らかにしている。また、膜表面のファウラント層は、単純な物理的洗浄（スポンジを使った拭き取り）によって容易に除去されたことから、膜ファウリング物質のほとんどが膜面に可逆的に堆積していることを示唆している。さらに、試験期間中、直接ナノろ過膜処理によって安定して高い有機物除去率（全有機炭素濃度として 80%以上の除去率）を維持できることを明らかにしている。以上の研究より、低膜ろ過流速で二次処理下水を直接処理することで過度な膜ファウリングを防ぐことができる上、安定して高品質の再生水を生成することが可能であることを明らかにしており、最終的に浸漬型ナノろ過膜モジュールを使用した直接ナノろ過処理の可能性を示している。

第4章では、逆浸透膜を使った下水の水再生において発生する膜濃縮水を膜蒸留法を使って浄化することで、水再生設備全体として 98%の水回収率を達成するための可能性を評価している。膜濃縮水を膜蒸留処理した場合の膜ファウリングは、98%の水回収率に至るまで無視できる程度（4%の膜透過性能の低下）であることを示している。対照的に、膜濃縮水を逆浸透膜処理した場合の膜ファウリングは、90%の水回収率に至る前に大幅に低下（膜透過性能が 73%低下）し、膜蒸留法に比べて実用性がないことを示している。膜蒸留法は脱塩率が非常に高い（99.9%）ことを示した一方で、下水の飲料再利用で規制される消毒副生成物（*N*-ニトロソジメチルアミン）の除去率は非常に低い（11%）ことを明らかにしている。このことから、*N*-ニトロソジメチルアミンの規制値に準拠するために、膜蒸留法の後処理として促進酸化処理が必要になる場合があることを示唆している。以上の研究により、膜濃縮水を膜蒸留法を使って浄化することで、過度の膜ファウリングなく安定的に 98%の水回収率を達成する可能性を示している。

第5章は結論であり、上記の研究成果をまとめると共に、技術の実用化にむけて今後取り組むべき課題を示している。

以上のように本論文は、前処理のない浸漬型ナノろ過膜法および高濃縮下水を直接処理するための膜蒸留法を初めて試みた点において新規性があり、高い学術的価値を有するものと評価できる。

学位審査委員会は、NGO Thi Tra My 氏の研究が環境工学の分野において極めて有益な成果を得るとともに、膜分離技術の進歩発展に貢献するところが大きく、博士（工学）の学位に値するものとして合格と判定した。また、入学後に掲載された筆頭著者の審査付き論文が2編あることから、工学研究科規程第21条第2項ただし書の適用が適当であると判断した。