

氏名（本籍）	村田 直樹（愛知県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第491号
学位授与日付	平成28年3月25日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	藻類汚染が進行した地表水に適用するための膜ろ過浄水システムの構築（Configuration of membrane filtration water treatment system for applications to surface water with algal pollution）
学位論文審査委員	（主査）佐藤 健 （副査）李 富生，山田 俊郎

論文内容の要旨

近年、社会活動の発展に伴う水源域の都市化によって表流水の富栄養化が進み、多くの湖沼において藻類汚染が進行し、凝集阻害、ろ過障害、異臭味などの浄水障害を引き起こしている。その対策として、活性炭吸着処理、オゾン処理などの浄水技術が検討され導入されている。一方、新しい浄水技術として着目されている膜ろ過は、除菌・除濁、容易な維持管理、省スペース性といった点が評価され、最近では10万 m^3 /日を超える大規模浄水場への導入が進んでいる。膜ろ過を藻類汚染が進行した水源に導入する場合、膜ファウリングの抑制や異臭味の除去などに対応できる浄水技術を組み合わせた膜ろ過浄水処理システムの構築が必要になる。本論文における研究は、塩素処理、凝集処理、粉末活性炭吸着処理といった既存の浄水技術を膜ろ過に組み合わせた場合の効果を膜ファウリングの発生度合や処理水質から評価し、藻類汚染が進行した地表水に適用するための膜ろ過浄水システムの構築を行なったものである。あわせて、藻類を含有する水源に対して、微粉末活性炭と化学的強化逆洗を組み合わせたセラミック膜ろ過処理の長期的なパイロットスケール実験による検証も行った。本研究の主な成果は以下の通りである。

まず、一般的な河川表流水である木曽川を研究対象とし、凝集における攪拌効率を示す速度勾配 G 値および攪拌時間 t を広い範囲（ $G=30\sim 1375\text{ s}^{-1}$ ， $t=1.5\sim 600\text{ sec}$ ）で変化させて、凝集が膜ろ過性能に与える影響を明らかにして、前凝集を組み合わせたセラミック膜ろ過浄水システムを構築した。つぎに、前塩素と凝集を組み合わせた膜ろ過浄水システムについて、冬季毎に藻類が増殖する霞ヶ浦を研究対象とし、パイロットプラントを設置して、前塩素処理と凝集処理を膜ろ過の前段処理として施すことによるセラミック膜ファウリングの抑制効果に与える影響を明らかにするとともに、関連するメカニズムに関して考察を行った。

つぎに、膜ファウリングの抑制以外に農薬、消毒副生成物、異臭味などの微量有機化合物の除去に対応するため、通常粉末活性炭よりも粒径がさらに小さい微粉末活性炭（以下、微粉炭と称す）と前凝集を組み合わせた膜ろ過浄水システムを提案した。その検証では、通常凝集処理および膜ろ過技術では対応できない溶解性有機物、特に2-メチルイソボルネオール、ジオスミンなどに代表される臭気物質、発癌性物質のトリハロメタンとその前駆物質

に対し、微粉炭と凝集を組み合わせた膜ろ過実験装置による除去性の検証実験を行い、これらの溶解性有機物に対する除去効果を明らかにするとともに、膜ファウリングに対する抑制効果を明らかにした。

最後に、化学的強化逆洗を組み合わせた膜ろ過浄水システムの検証では、膜性能回復を目的に薬品を添加して物理洗浄を行う化学的強化逆洗を適用した場合の膜差圧の傾向を明らかにした。あわせて、膜前処理として塩素処理、凝集処理および微粉炭吸着を併用した場合の臭気およびトリハロメタン前駆物質に対する除去性能も明らかにした。

これらの結果から、藻類汚染が進行した地表水であっても、化学的強化逆洗を適用することにより膜ろ過の安定化が図れるため、無薬洗での1年以上運転が可能であること、塩素処理が不要になることにより消毒副生成物の生成リスクが低減され、塩素使用量も削減されることが示唆できた。さらに、膜処理のみで対応できない微量有機物の除去が微粉炭を併用することによって可能になることも示された。

論文審査結果の要旨

本論文は、藻類汚染が進行した地表水に適用するための膜ろ過浄水システムを構築し、学術と応用の両面において有用な知見を数多く見出しており、かつ水道工学・水処理工学の発展に寄与するところが大きいと評価されることから、博士（工学）の学位論文に適合しているものと判定した。

最終試験結果の要旨

学位審査委員会は、提出論文の基礎となる発表論文（査読付論文4編）の内容を確認し、2月15日（月）に開催された学位論文公聴会における論文提出者との質疑応答、その後の口頭試問などに基づき慎重に審査した結果、最終試験に合格と判定した。

発表論文（論文名、著者、掲載誌名、巻号、ページ）

1. Effect of pre-coagulation condition on ceramic membrane filtration, Naoki MURATA, Nobuhiro AOKI, Fusheng LI, Hitoshi YONEKAWA, Nobuyuki MOTOYAMA, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 68, No. 7, pp. III_59-68, 2012.
2. 藻類を含有する水道水源に対する前塩素および凝集処理のセラミック膜ろ過ファウリングの抑制効果, 村田直樹, 青木伸浩, 本山信行, 李 富生, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 69, No. 7, pp. III_29-38, 2013.
3. 微粉末活性炭と化学的強化逆洗を組合わせた膜ろ過処理における異臭味物質とトリハロメタン前駆物質の除去性能の向上, 村田直樹, 青木伸浩, 本山信行, 李 富生, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 70, No. 7, pp. III_81-94, 2014.
4. 膜ろ過高度浄水処理システムに関する研究, 村田直樹, 青木伸浩, 本山信行, 李 富生, 環境システム計測制御学会誌, Vol. 20, No. 2/3, pp. 11-18, 2015.

参考論文

1. Naoki Murata, Nobuhiro Aoki, Nobuyuki Motoyama, Fusheng Li, Inhibition of membrane fouling for treatment of surface water containing algae: Investigation based on the long term pilot-scale ceramic MF filtration experiment, in Water Supply and Water Quality, eds. Jan F. Lemanski & Sergiusz Zabawa, ISBN 978-83-89696-93-2, pp.821-837, 2014.