

審査の結果の要旨

氏名 アチャリヤ シュエタ ムラリクリシナ

本論文は、「Effects of Chlorination on Bacterial Regrowth Kinetics and Community Structure in Tertiary Treated Reclaimed Water (三次処理再生水における細菌再増殖の動力学と群集構造に対する塩素消毒の影響)」と題したもので、下水再生水中における微生物再増殖現象について、塩素消毒が再増殖を引き起こす微生物群にどのように影響しているかを調べたものである。水資源が比較的豊富と考えられている日本国内においても、せまり来る地球温暖化により降水量の年変動がより大きくなることが予想され、渇水年における水資源としての下水再生水の重要性が高まっている。さらに世界的にみれば、水資源の枯渇は極めて大きな問題となっている地域も多く、下水の間接的な再利用のみならず直接再利用も真剣に検討されている。下水再生水の利用にあたっては、病原微生物の制御や管路の閉塞などの問題のほか、微生物再増殖による水質の劣化も大きな問題となりうる。

下水再生水処理施設においては、主として病原微生物の抑制を目的として、通常安価な塩素消毒が行われ、それによって微生物再増殖も抑制されている。しかしながら貯留や送配水中の滞留時間が長くなると微生物再増殖が起こることが報告されている。

本論文は、塩素消毒が微生物再増殖の動力学と再増殖を引き起こす微生物群にどのような影響を及ぼすかを明らかにすることを目的としており、以下の 8 章より構成される。

第 1 章では研究の背景と目的、および論文構成を記している。

第 2 章では、日本国内における下水再生水の現状、再生水利用における問題点、微生物再増殖に寄与する因子、塩素消毒による不活化機構、再生水中の微生物群集、微生物の不活化と増殖に関するモデル化について、既往の研究をまとめている。

第 3 章では、本論文中で用いた試料、および実験方法についてまとめている。

第 4 章では、下水再生水処理施設および再生水の送配水における微生物群の群集構造について調べた結果がまとめられている。東京近郊の 2 箇所の下水再生水処理施設において、計 4 回の調査を行ったところ、いずれもオゾン処理で全菌数が大きく減少する、塩素消毒により生菌数がさらに減少するものの、送配水後に残留塩素濃度が低下して全菌数生菌数ともに増加し、微生物再増殖が観察されている。また、オゾン処理や塩素消毒により微生物群集の多様性が低下し、*Oxalobacteraceae* などの微生物が優占化した。送配水管において優占していた微生物は再生水プロセスの原水である下水二次処理水から存在しており、塩素消毒後の貯留槽内で再増殖したものが多く見られたとしている。

第 5 章では、微生物再増殖に対する塩素注入量の影響を検討している。塩素消毒前の下水再生水をのべ 4 回にわたり実験室に持ち帰り、同一処理場で 2 回、また異なる処理場から 1 回、異なる塩素注入量で比較する実験を行っている。さらに、塩素注入を繰り返しおこなう実験も実施し、塩素注入方法の違いによる影響を見ている。その結果、残留塩素濃度が検出下限 (0.03 mg/L) 以下になるまで微生物再増殖は起こらないことを明らかにしている。また、塩素注入方法を変えても、総注入量が同じものに関しては微生物の不活化と再増殖の傾向に大きな違いがないことを示している。また、塩素注入量 4.5 mg/L で再増殖する微生物は、塩素注入量が 3 mg/L よりも小さい条件で再増殖する微生物に比べ、全菌数でみた増殖収率が小さく、増殖速度も小さいことが示されている。

第 6 章では、第 5 章で得られた残留塩素濃度の変化と微生物の不活化、微生物再増殖について、数理モデルを構築している。残留塩素濃度については、塩素注入直後に急激に低下し、その後少し緩やかに低下していたことから、**Parallel-second order model** を用いて表現している。また、不活化については、塩素注入直後に完全に不活化されたもの、塩素耐性が中程度のもの、高い塩素耐性を持つものの 3 つに分けられると述べている。さらに、再増殖を起こした微生物については、5 章でみられたように 2 種類の動力学定数を持つものにまとめられるとし、それぞれをモデル化し、パラメータを決定している。同一処理場では同様なパラメータが得られ、異なる処理場のものとは区別されることを示している。

第 7 章では、再増殖後の微生物群集の解析を行い、塩素注入量と再増殖を起こす微生物種の間関係を調べている。塩素注入量 3 mg/L 以下と 4.5 mg/L 以上の条件

に分け、それぞれの条件で再増殖したと思われる微生物を塩素耐性が中程度のもの、高い塩素耐性を持つものとしている。塩素耐性が中程度のものとして、*Oxalobacteraceae*, *Methylophilaceae*、高い塩素耐性を持つものとして、*Acidovorax*、*Rheinheimera*などを挙げている。さらに6章で得られた動力学パラメータと微生物種との対応について比較し、おおむね整合性があり、モデル化は妥当であったことが示されている。

第8章では、本研究のまとめを示すとともに、今後の課題についてまとめている。

本研究は下水再生水中で増殖する微生物について、異なる塩素耐性を持つ種の存在と、その種類を明らかにした点がきわめて新規性が高い。また、単に微生物群集解析を行うだけでなく、数理モデルを用いて微生物不活化や再増殖現象を表現することで、異なる性質を持つ微生物群を実際の再生水中でグループ化できるとした点は、工学的に有用である。さらに本研究成果は微生物生態学においても大きな意義をもつものである。以上のような観点から、本研究は都市環境工学の学術の発展に非常に大きく寄与するものである。

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。