

氏名	たなかひろあき 田中宏明
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	論工博第3632号
学位授与の日付	平成14年1月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	水質学的安全性と信頼性を考慮した下水処理機能の計画に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 宗宮 功 教授 津野 洋 教授 森澤 眞輔

論文内容の要旨

本論文は、下水処理水の再利用にあたって、水質学的安全性と信頼性を考慮した下水処理機能の設計計画をどう設定すべきかを検討したものであり、研究の焦点は下水処理水に含まれている可能性の高い腸管系ウイルスを対象とし、再利用用途での腸管系ウイルスの感染リスクを、実質的な安全性が確保でき、許容できる程度まで処理する機能を有する処理方式の計画選定法の検討を行っている。成果は以下の7章にまとめられている。

第1章は緒論であり、下水が多く水系伝性病発生の原因となって来た事実に鑑み、下水処理水の再利用水にあっても病原性微生物群の挙動に関して十分な配慮があるとの立場から、その再利用リスクは、ある hazard を原因とする影響が生じる可能性として定義し、確率として定量されるが、変動性を考慮して評価されるべきものと位置づけて本研究の目的を明らかにし、論文構成を述べている。

第2章は、先進各国で水道やレクリエーションを通じて水系感染症が増加している現状に鑑み、下水処理に関する病原性微生物のリスク管理に関し、現状、法制度、管理基準のあり方などに対応する技術群の機能に関する情報を整理している。特に、米国並びにわが国における衛生学的基準に関する対応の違いを浮き彫りにし、大腸菌群数や糞便性大腸菌群数だけでなく、腸管系ウイルスや原虫類についても病原性微生物として注目すべきものと提案している。水環境における腸管系ウイルスの挙動や下水処理過程での挙動をデータ解析し、ウイルスの確実な処理のための三次処理施設を例示している。

第3章は、感染リスクの定量化法を提示し、下水処理水の安全性評価への適用例を示している。人の健康に関わる環境物質のリスクアセスメントでのリスクは人の健康にある程度影響が起る確率と定義されている。アセスメントでは、用量反応モデルを導出し、実験データから、腸管系ウイルスの中で Rotavirus は Poliovirus3 とともに感染性が高く、 10^{-3} の平均用量以下では Rotavirus がもっとも感染リスクが高いことを示した。暴露回数などに関わるリスク、あるいは飲料水のリスク基準などを参照し、下水処理水や再利用水などの感染リスク評価の意義を明確に示し、病原性微生物感染リスクを決める手順をフローチャートとして一般化し示した。

第4章は対象微生物濃度が時間で変動する下水処理水の再利用における安全性を評価するため、用量が変動する事を前提とした感染リスクの評価法のあり方を検討している。米国の水道では、年間1万人の母集団あたり、1回の水系感染の発生は許容可能と考えられているので、下水処理水の利用がこれと同等な信頼性、安全性が得られるか検討している。方法論は、1つには信頼性評価として許容年間感染リスクに相当する1回あたりの暴露による許容感染リスクが遵守できる時間確率と定義し、腸管系ウイルスの変動特性が対数正規分布であるときの信頼性を定義する式を提示した。また期待値による評価は変動ウイルス濃度から生じる暴露ごとに異なる用量から生じる1回あたりの感染リスクから推定される年間感染リスク分布を求め、その発生する確率と大きさを考慮した場合、平均的にはどの程度の年間感染リスクが期待されるかをモンテカルロ法でシミュレーションするものである。水道供給施設の年間感染リスク 10^{-4} と同等な許容年間リスクを、下水再利用水の利用の場でも求めることを想定して議論している。

第5章は第4章で提案した変動する下水処理水再利用の安全性を、信頼性と年間感染リスクの期待値で評価する方法を用

いて、腸管系ウイルスに関し十分なデータが入手されている米国カリフォルニア州における4つの下水処理場を例に適用し、4ケースの事例研究シナリオを設定して、十分な信頼性ないし安全性を確保するためにはどのような水再利用の場、処理システムの組み合わせが考えられるかを考察している。処理レベルに応じて、処理水の適用場も異なってくる事が明確に示された。

第6章は下水処理水再利用、あるいはより一般的に下水処理水の放流先の水利用が決まっている場合、どのような3次処理の要件が必要かを、第4章で提案した信頼性の考え方にに基づき、決定する方法を提示している。処理水利用の場として、ゴルフコースへの散水、農作物の灌漑、水浴があるレクリエーション利用、地下水涵養の4つのシナリオを描き、利水対象別に4処理場での各操作に関する対数除去率と信頼性百分率との関係を示し、各種3次処理手法の腸管系ウイルス除去機能を対数除去率の幅として整理した。水道水と同程度の感染リスクに立った3次処理施設のあり方を検討する手順を提示し、検討結果として病原性微生物群の変動影響を配慮することで処理手法によっては再利用対象水として用いられないケースも出てくることを明示した。

第7章は、結論で論文の成果を纏め、今後の問題に言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、下水処理水の再利用による病原性微生物感染リスクを低下させ、水質学的安全性と信頼性を増加するために必要な対策や処理法について、感染性リスクの評価法を提案してその選定手順を検討したもので、主な成果は以下の5点にまとめられる。

- 1) 実下水処理水の腸管系ウイルスは病原性原虫とともに、処理水再利用において大きな脅威となり、存在濃度や除去率に大きな幅がある。また、適切な処理基準が設定されていない事を明示した。
- 2) 化学物質について開発されたリスク評価の数理モデルは、病原性微生物の感染リスクの平均的定量評価法としても有効で、暴露対象、暴露頻度、処理や環境による変化を考慮に入れた、下水処理水や再利用水の病原微生物に関するリスク評価法の手順を明示した。
- 3) 濃度変動が著しい腸管系ウイルスを含む処理水の安全性評価法として、リスクの信頼性を、再利用水からの感染リスクが許容可能な感染リスクを越えない時間を測定し、時間確率として与える方法と、年間感染リスクの分布をモンテカルロ法で推定し、その期待値あるいは95%上限値で評価する方法とを提示した。
- 4) 実測データから腸管系ウイルス濃度は対数正規分布をなすことを示し、リスクの信頼性と期待値とから各種単位操作の処理特性を評価し、腸管系ウイルスの除去機能をモノグラフとして示した。
- 5) 米国水道水と同等の許容年間感染リスクレベル (10^{-4}) である下水処理水の安全性と信頼性を確保するために、あるべき3次処理施設の処理機能を算定する手順を提示した。

以上要するに、本論文は、下水処理水の再利用に際し、今後問題となる可能性の高い腸管系ウイルスに着目し、その感染リスクを問題とし、処理水の信頼性と安全性とを確保するため、暴露頻度や変動幅などを考慮に入れて、適切な処理施設として求められる機能を設定する技術的手順を明示したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年12月17日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。