

(続紙 1)

京都大学	博士(工 学)	氏名	LY Bich Thuy
論文題目	Control and detection of bacterial regrowth in drinking water distribution with low level of chlorine residual (低残留塩素下の配水過程における微生物再増殖の測定と制御)		
(論文内容の要旨)			
本論文は、水道水に対する満足感決定因子の一つであるカルキ臭に注目し、カルキ臭低減を目的として残留塩素濃度を最小化した水道システムを構築するに当たり、同時に微生物再増殖を抑制するために要求される水質水準およびモニタリング手法について論じたものであり、6章から構成されている。 第1章は序論であり、高度浄水処理導入後にもなお水道利用者の多くが水道水に対する不満を抱いており、その一因がカルキ臭であるとの調査結果を背景として、カルキ臭低減の一つのアプローチとして残留塩素濃度低減が有効と考えられること、しかし同時に微生物リスクの増大を抑止する必要があることを指摘した。中でも、浄水処理過程における生物分解性有機物の低減は不可欠であり、残留塩素低減環境における要求水準を明らかにすることの重要性を示すとともに、給配水システムにおける再増殖微生物に対するモニタリング強化の必要性を示した。 第2章では、文献考察により本研究で検討すべき事項を抽出した。浄水の微生物再増殖に関連する水質指標として同化可能有機炭素(AOC)が重要であることを示した上で、浄水処理特性や水道水中の濃度に関する日本国内における情報蓄積の必要性を指摘した。また、微生物学的に安定な水道水に要求される AOC レベルに関する既往の研究に基づいて、残留塩素濃度、AOC と微生物再増殖との関係について論じるとともに、本研究で取り組むべき2つ目の課題として、想定する残留塩素濃度領域において微生物再増殖を抑止するための AOC 要求水準を決定することとした。さらに、現在採用されている水道システムにおける再増殖微生物のモニタリング方法の問題点を論じた上で、リアルタイムに近い状況でかつ高頻度に測定が可能な指標として、グラム陰性細菌の細胞膜構成成分であるエンドトキシンの濃度と存在形態を取り上げ、再増殖微生物量との関係を調べることを3つ目の課題として設定した。 第3章では、現在の水道水中 AOC レベルを把握するとともに、浄水処理プロセスにおける除去特性を既存施設調査ならびに室内実験により明らかにした。具体的には、琵琶湖・淀川水系を水源とする浄水処理方式の異なる2つの給水区域で AOC 濃度調査を実施し、残留塩素濃度低減に先立って大幅な AOC 濃度低減が必要であることを示した。また、オゾン-粒状活性炭プロセスから構成される既存の高度浄水処理プロセスではほとんど AOC は除去されず、除去性能を向上させる必要があることを明らかにした。さらに、高い親水性有機物除去効果が報告されている陰イオン交換処理による AOC 除去特性を検討し、最大 34%程度が除去されることを示した。			

氏 名	LY Bich Thuy
-----	--------------

第 4 章では、残留塩素濃度を低減した水道システムを想定し、微生物学的安定性を確保するために要求される AOC 濃度を回分培養試験により決定した。まず、現在の水道水よりさらに AOC 濃度を低減した試料水の調製方法と低濃度領域における残留塩素濃度コントロール方法を提案し、試験系を確立した。この系を用いて、異なる AOC 濃度および残留塩素濃度の試料水を用いて微生物再増殖に関する基礎データを集積し、両者の関係を明らかにした。これにより、残留塩素濃度を 0.05 または 0.10 mg/L に低減した場合、AOC 濃度をそれぞれ 10.9 または 33.6 $\mu\text{g/L}$ に低減する必要があることを示した。

第 5 章では、微生物細胞膜構成成分であるエンドトキシンを取り上げ、培養法に代わる微生物再増殖指標としての適用性を論じた。まず、給水栓水中のエンドトキシンレベルとその存在形態を把握した上で、回分培養による再増殖試験により再増殖に伴ってエンドトキシン濃度の増大ならびに遊離エンドトキシン比率の低下が起こることを明らかにした。続いて、連続通水リアクターを用いて残留塩素低減環境におけるバイオフィーム形成速度を調べるとともに、流出水中のエンドトキシン濃度の増大により顕著な微生物汚染 ($> 5000 \text{ CFU/mL}$) を検出できることを示した。しかし、連続系の場合には微生物再増殖に伴う遊離エンドトキシン比率の明確な低下はみられなかった。

第 6 章は本研究の結論であり、各章で得られた知見を要約するとともに、今後の課題として本研究で決定した AOC 要求水準を満たすために必要となる浄水処理プロセスの改良・組換に関する提案を行った。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、対策が望まれる水道水のカルキ臭低減に対する一つのアプローチとして残留塩素濃度の最小化を想定し、微生物再増殖を抑止するために要求される水質水準の決定ならびに再増殖微生物を迅速に測定する方法の確立を通して、残留塩素濃度を低減した水道システムにおける微生物リスク管理の高度化に関する情報集積を行ったものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1. 微生物再増殖と密接に関連する水質指標である同化可能有機炭素(AOC)について、現状の水道水における濃度および浄水処理プロセスにおける除去性を調査し、既存のオゾン-粒状活性炭処理では十分な AOC 除去は困難であることを指摘した。
2. AOC 除去能を向上するための浄水処理プロセスの一つとして、陰イオン交換処理の AOC 除去特性に関する情報集積を行った。陰イオン交換処理は弱酸性条件で比較的高い AOC 除去効果を示すものの、最大で 34%程度であることを示した。陰イオン交換処理による生分解性有機炭素除去に関する知見はこれまで不十分であったことから、貴重な情報を提供している。
3. 残留塩素濃度および AOC が微生物再増殖に及ぼす影響を回分試験により調べ、微生物再増殖を抑制可能な濃度を定量的モデルにより決定した。これにより、想定した残留塩素濃度における要求される AOC 水準が推定可能となり、今後残留塩素濃度の低減を検討していく上での水質目標レベルを提案することに成功した。
4. 培養法に代わる再増殖微生物の測定指標として、エンドトキシン濃度およびその存在形態と再増殖微生物量との関係を明らかにし、指標としての適用可能性と限界について示した。

本論文で得られた微生物再増殖を抑制するための AOC 要求水準に関する知見は、残留塩素濃度を低減した水道システムを構築していく際にきわめて重要なものである。また、浄水処理プロセスによる AOC 除去特性に関する知見は、新しい浄水処理プロセスフローを構築する上で生かされることが期待され、学術上、実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 22 年 3 月 24 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた