

京都大学	博士（工学）	氏名	周 靚
論文題目	Quantitative Microbial Risk Assessment of Water Treatment Process for Reducing Chlorinous Odor (カルキ臭低減型浄水処理プロセスにおける定量的微生物リスク評価)		
(論文内容の要旨)			
本論文は、水道水の次世代型処理法として新提案したカルキ臭低減型浄水処理プロセスについて、定量的微生物リスク評価(Quantitative Microbial Risk Assessment:QMRA)手法を導入して処理水の細菌学的安全性を評価するとともに、その重要管理点について論じた結果をまとめたものであって、6章からなっている。 第1章は序論であり、本論文の背景、目的、構成を述べている。 第2章は文献考察であり、本論文の位置づけと意義を明らかにしている。まず、QMRA 手法の発展経緯を概観し、本研究ではもっとも進んだモンテカルロシミュレーションによる方法を採用するとした。また、病原微生物の種類について述べ、本研究では、重要であるにも関わらずわが国ではほとんど取り上げられないことがないカンピロバクターを対象微生物として選定している。さらに、新規に開発・提案したカルキ臭低減型浄水処理プロセスについて述べるとともに、その微生物的安全性を評価・管理する重要性について論じている。 第3章では、検出限界未満データに対する濃度補間方法を提示している。浄水処理プロセスにQMRAを適用する場合、処理水中の病原微生物濃度が検出限界未満となり、除去・不活化能を適切に評価できない場合がしばしばある。この問題に対して、オランダで取得されたデータを使用しつつ、微生物濃度がポアソン分布に従うことを利用した濃度補間方法を考案して提示した。濃度補間の有無が最終的なアウトプットである年間感染確率の値にいかに関与するかを詳細に検討し、その妥当性を論じている。また、処理ステップが異なり不検出データの割合が異なるデータセットに適用しつつ、提示した方法が有効である場合を示すとともに、その限界についても整理している。 第4章では、実施設における紫外線とオゾンを用いた促進酸化処理による大腸菌の不活化能を推定している。トレーサー実験と、14回に及ぶパイロットプラントを用いた大腸菌の添加実験によって基礎データを得ている。測定値に対して ADR (Axial Dispersion Reactor) モデルを適用して、オゾンと紫外線による大腸菌の不活化速度定数を求め、オゾン濃度と大腸菌濃度の接触槽内分布を記述できることを示した。その上で、実施設における不活化能を推定し、その変動とともに三角分布として表示した。代表的なケースでは、オゾン注入率 0.25 mg/L のとき、不活化能は最尤値 3.43 log₁₀ であるが、その変動幅は 2.49 log₁₀ から 8.59 log₁₀ と非常に大きい結果であった。また、リスク評価を行う上で安全側と考えられる解析手法を採用した場合、不活化能の推定値は大きく低下することを示し、その意義について考察を行っている。 第5章では、カルキ臭低減型浄水処理プロセスによって生産される水道水のカンピロバクター・ジェジュニによる年間感染確率を推定するとともに、感度分析と不確実性分析を行っている。 まず、凝集・沈殿処理、急速砂ろ過処理、促進酸化処理、陽イオン交換処理、陰イオン交換処理、塩素処理の六つのステップから構成されるカルキ臭低減型浄水処理プロセスにおける大腸菌の除去・不活化能を評価した。凝集・沈殿処理における除去能把握のためには実際の浄水場における調査を行い、陽イオン交換処理、陰イオン交換処理、塩素処理における除去・不活化能把握のためには室内実験及びパイロットプラントを用いた大腸菌の添加実験を行っている。総合除去・不活化能			

京都大学	博士（工学）	氏名	周 靚
を計算した結果、その中央値は $14.5 \log_{10}$ と評価した。 大腸菌をカンピロバクター・ジェジュニの値に換算した上で感染確率を評価した。モンテカルロシミュレーションの結果、処理水の年間感染確率は平均値 3.24×10^{-10}/人/年となり、低オゾン・低塩素添加条件下でも十分安全な水道水が得られることを示した。 また、年間感染確率に対して感度分析を行ったところ、促進酸化処理の寄与が最も大きく、これが重要管理点であることを見出した。すなわち、本浄水処理プロセスによって安全な水道水を安定して生産するためには、促進酸化処理段階で確実に不活化することが最重要であると指摘した。 さらに、不確実性分析を行い、促進酸化処理接触槽の水理条件の影響が大きく、感染確率推定値の精度を向上させるために知見を集積する必要があると指摘した。 第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。			

氏 名	周 靚
(論文審査の結果の要旨) 一般に、上水道では残留塩素によって水道水の微生物学的安全性を確保しているが、必ずしもエビデンスに基づいていない。本研究は、次世代型水処理法として新提案したカルキ臭低減型浄水処理プロセスについて、定量的微生物リスク評価(Quantitative Microbial Risk Assessment:QMRA)手法を導入して処理水の細菌学的安全性を評価するとともに、その重要管理点を抽出することを目的として行ったものである。得られた主な成果は以下の通りである。 1. 検出限界未満データに対する濃度補間について、微生物濃度がポアソン分布に従うことを利用した方法を提示した。この方法を用いることにより、検出限界未満データに対して迅速かつ簡便な濃度補間が可能となった。また、補間の有無の影響を検討するとともに、その適用範囲を示した。 2. 凝集・沈殿処理、急速砂ろ過処理、促進酸化処理、陽イオン交換処理、陰イオン交換処理、塩素処理の六つのステップから構成されるカルキ臭低減型浄水処理プロセスにおける大腸菌の除去・不活化能を評価した。特に、促進酸化処理では、大腸菌の添加実験とモデル化により実施設での不活化能を推定した。総合除去・不活化能を計算した結果、その中央値は $14.5 \log_{10}$ と評価された。 3. 大腸菌をカンピロバクター・ジェジュニの値に換算した上で感染確率を評価した。モンテカルロシミュレーションの結果、処理水の年間感染確率は平均値 3.24×10^{-10}/人/年となり、低オゾン・低塩素添加条件下でも十分安全な水道水が得られることを示した。 4. 年間感染確率に対して感度分析を行ったところ、促進酸化処理の寄与が最も大きく、安全な水道水を安定して生産するためには促進酸化処理段階で確実に不活化することが最重要であると指摘した。また、不確実性分析の結果、促進酸化処理接触槽の水理条件の影響が大きく、感染確率推定値の精度を向上させるために知見を集積する必要があると指摘した。 以上のように本論文は、新規に開発・提案したカルキ臭低減型浄水処理プロセスについて、細菌学的安全性を評価するとともに、その重要管理点について論じたものであり、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 27 年 9 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て、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。	