

## 審査の結果の要旨

氏名 ラッタナクン スラポン

ラッタナクン・スラポン氏は、「Combination of Ultraviolet Light and Chlorine for the Inactivation of Viruses in Drinking Water (紫外線と塩素の併用による水道水中ウイルスの不活化)」と題する博士論文において、飲用水の微生物学的な安全性向上に貢献する浄水技術のひとつとして、塩素と紫外線を併用する消毒方法を提案し、その有効性と課題について実験的に明らかにした。水の消毒方法として塩素消毒を採用する国が多いが、塩素耐性が著しく高い病原原虫による集団水系感染症が各国で報告されてきた実態を踏まえ、紫外線照射による水の消毒が普及しつつある。一方、ウイルスは細菌や原虫に比べて一般に紫外線耐性が高いため、塩素消毒と紫外線消毒を併用することで、相互の耐性微生物を補完的に不活化し、浄水の安全性をより高めることが期待される。本研究は、特に紫外線耐性の高いヒト感染性アデノウイルスを主要な対象微生物とし、塩素と紫外線の併用によるアデノウイルス不活化効果について、微生物水質指標である大腸菌、およびモデルウイルスとして汎用されている大腸菌ファージと比較しながら、実験的に検証したものである。

第1章は、論文の導入にあたり、研究の背景と目的、論文全体の構成が記載されている。研究の主な目的として、(1) 塩素と紫外線の併用処理によるアデノウイルス不活化について、逐次処理と同時処理の効果を定量し比較すること、(2) 併用処理の不活化機構を明らかにすること、を掲げている。

第2章は、既往研究のレビューであり、当該分野の先行研究のうち特に本研究に関連するものを中心に文献を整理している。

第3章は、研究方法であり、微生物培養法や消毒実験方法などについて、詳細に記している。また、不活化効果の定量方法として、不活化速度定数の定義、本研究における相乗効果の定義、統計的手法等について記している。

第4章は、大腸菌ファージ MS2 およびアデノウイルスの塩素および紫外線単

独処理への応答を示し、さらに、MS2 を対象に塩素紫外線併用処理による不活化効果を既述している。併用処理は、逐次及び同時のいずれでも MS2 の不活化効果を相乗的に高め、特に塩素の後に紫外線を照射する逐次処理と塩素紫外線同時処理で相乗効果が高いことを明らかにしている。この結果から、紫外線照射時に塩素が存在することが何らかの作用を生じていると考察し、塩素の励起により発生する活性種が不活化に寄与している可能性に着想し、後続の章に展開している。

第5章は、アデノウイルスを対象に、塩素の後に紫外線を照射する逐次処理であれば塩素紫外線併用の相乗効果が得られることを示している。塩素後に紫外線を施す逐次処理は、前塩素や中間塩素を採用している浄水場の最終工程で紫外線消毒を採用した場合に生じうるプロセスであり、実務的観点から重要な知見である。また、一般に消毒目的で用いられている紫外線量の範囲（10～50mJ/cm<sup>2</sup>）では紫外線による塩素の光分解は無視できることを示しており、重要な示唆といえる。

第6章は、併用処理では活性種が不活化に寄与しているとの仮説を検証するため、ヒドロキシラジカルのスカベンジャー（重炭酸ナトリウム）を添加して大腸菌ファージ MS2 の不活化実験を行っている。実験の結果、重炭酸イオン共存下でも併用処理による相乗効果が観察され、ヒドロキシラジカルが相乗効果の原因ではない可能性が述べられている。ただし、重炭酸イオン自体が紫外線照射によりラジカル化する可能性に触れ、本研究では相乗効果が活性種によるものか否かを明確に結論付けるには至らなかったとして限界を示すとともに、今後の研究展開への重要な知見を示している。

第7章は、単独処理や併用処理によるウイルスの不活化機構を明らかにするため、大腸菌ファージ MS2 が宿主（大腸菌）体表面に付着する効率が消毒処理に伴い低下するか、定量的 PCR 法を用いた手法により解明を試みている。その結果、塩素単独、紫外線単独、塩素紫外線併用のいずれの処理でも、MS2 の宿主吸着能は有意に低下しないことを示し、不活化は宿主体表面付着より後段の感染ステップが阻害されて生じると考察している。また、採用した手法の課題や限界、改良すべき点などを明確に記述し、今後の研究展開に資する知見を示している。

第8章は、本研究の主要な結論を既述し、さらに今後の研究展開が求められる具体的内容と実務への示唆を整理している。

本研究の主な成果は、塩素と紫外線を併用することで消毒の相乗効果が得られる条件を定量的に示したことにある。消毒の強化という観点から、水の微生物学的安全性に関わる研究分野に一定の貢献をし、また、今後の当該分野の研究展開に影響を与えうる知見と判断できる。

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。