



Title	Development of a versatile computational fluid dynamics-based model for optimization and implementation of vacuum ultraviolet photoreactor for drinking water treatment [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	石, 剛
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第14681号
Issue Date	2021-09-24
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/83261">http://hdl.handle.net/2115/83261</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Gang_Shi_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 SHI Gang

審査担当者 主査 准教授 松下 拓  
副査 教授 松井 佳彦  
副査 教授 岡部 聡  
副査 教授 木村 克輝

### 学位論文題名

Development of a versatile computational fluid dynamics-based model for optimization and implementation of vacuum ultraviolet photoreactor for drinking water treatment  
(真空紫外線の浄水処理への導入と最適化に向けた汎用的流体力学モデルの開発)

発ガン性が疑われるにも関わらず、溶媒などとして広く用いられる 1,4-ジオキサンは、一般的な浄水処理(凝集, 沈澱, 砂ろ過)では全く除去ができず、高度浄水処理(オゾン, 活性炭)ですらほとんど無力であるため、水道水質基準を超える濃度で汚染された水を原水とする浄水処理場では、汚染されていない原水と混合することにより濃度を低減させるという一時しのぎの策をとる以外に方法がなく、他に汚染されていない原水がない浄水処理場は、操業を停止せざるを得ない状況が出てきている。OH ラジカルを用いた促進酸化処理のひとつである真空紫外線(VUV)処理が 1,4-ジオキサンの分解除去に有効であることが分かってきたが、未だに実処理場に VUV 処理が導入された事例はない。実処理への導入を妨げるひとつの要因が、ラボスケールやパイロットスケール実験で得られた結果を、実処理レベルまでスケールアップするために必要となる汎用的なモデルの欠如である。

そこで本研究では、処理水質, 運転パラメータ, 設計パラメータが 1,4-ジオキサンの分解に与える影響を組み込んだ汎用的なシミュレーションモデルを構築し、それをもちいて運転パラメータや VUV 処理装置を最適化し、VUV 処理の浄水場への実装を促進することを目的とした。まず、処理水質が VUV 処理における 1,4-ジオキサンの分解に与える影響を調べるため、様々な陽イオンを含んだ水を用いて実験を行ったところ、重炭酸, 硝酸(亜硝酸)イオン, 塩化物イオンの 3 つが大きな影響を与えることが分かった。そこで、これらのイオンを含む 37 種の化学種について、78 の反応(光化学反応 9+ 化学反応 69)に基づく微分方程式から成る 1,4-ジオキサン分解モデルの構築を試みた。反応速度定数等は文献値を用い、パラメータフィッティングは一切行わなかったにも関わらず、モデルによる予測は、別途行った室内実験の結果と一致し、モデルの妥当性が示された。次に、計算流体力学ソフトウェアを用いた VUV 装置内の流況モデルに、別途構築した VUV 装置内の照射強度算定モジュールを組み込むことにより、処理水が VUV 装置を通過した際に受ける VUV 照射量を計算するモデルを作成した。このモデルから計算された VUV 照射量を、先に構築した処理水質モデルから得られた擬一次反応分解速度定数を用いて 1,4-ジオキサンの分解率に変換することにより、処理水質, 運転パラメータ(流速と VUV 照射強度), 設計パラメータ(光路長と装置長)が分解に与える影響を組み込んだ、汎用的なシミュレーションモデルの構築構築を試みた。また、本汎用モデルの妥当性を、様々な装置を用いた室内実験により検証した。最後に、このように構築した

モデルを用いて詳細に解析した結果、運転パラメータとしては、同じ VUV 照射強度でも、流速が大きいほど VUV 処理のエネルギー効率が大きいことが分かった。一方、同じ流速下では、VUV 照射強度が小さいほどエネルギー効率が大きいことが分かった。これらの傾向が実験結果と一致することを確認するとともに、何故、このような傾向となるのかを数学的に説明した。また、装置の設計パラメータとしては、光路長を短くするほど、装置長を短くするほど、エネルギー効率が高くなることが示された。

以上、本学位論文では、VUV 照射強度が小さいほど処理のエネルギー効率が大きくなるという現象を世界で初めて実験的に見いだすとともに、VUV 処理における、処理水質、運転パラメータ、設計パラメータの影響を組み込んだ汎用的分解予測モデルの構築に成功した。この成果は、処理における対象物質の挙動解明に加え、スケールアップ時の装置最適化に大きく貢献するのみならず、VUV 処理の実浄水場への導入を大きく加速すると期待される。よって申請者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。