

厚生労働科学研究 平成 25 年度 報告  
カルキ臭低減型浄水処理プロセスを対象とした定量的微生物感染リスク評価

研究分担者：京都大学大学院 伊藤禎彦

研究協力者：京都大学大学院 越後信哉，浅田安廣  
周 靨，松館圭太  
山崎翔平，中西智宏

研究要旨：新たに開発したカルキ臭低減型浄水処理プロセスについて，感染確率評価を行った．まず，オゾン/紫外線処理で生成する OH ラジカルが大腸菌の不活化効果に寄与するかの検証実験を行った．この結果，OH ラジカルは不活化効果に寄与していないと結論づけた．また，イオン交換処理による処理特性として把握しておくことが必要な事項として，樹脂充填高さや除去能の関係，細菌除去機構，pH による影響の 3 項目について検討を行った．その結果を踏まえて陽・陰イオン交換処理による微生物除去能を推定した．ついで，カルキ臭低減型浄水処理プロセスを対象として，*C. jejuni* による年間感染確率を求めた．処理プロセスの総合除去・不活化能は中央値  $18.14 \log_{10}$ ，年間感染確率は平均値  $2.07 \times 10^{-11}$  人<sup>-1</sup>年<sup>-1</sup>と推定され，許容感染リスク  $10^{-4}$  人<sup>-1</sup>年<sup>-1</sup>を十分に下回った．すなわち，開発したカルキ臭低減型浄水処理プロセスは，低残留塩素下でも微生物学的に安全な水質を安定的に確保できると評価された．さらに年間感染確率に対して感度分析を行い，原水 *E. coli* 濃度が最も寄与率が大きく，処理プロセスにおいては凝集・沈殿処理が重要管理点であることを指摘した．一方，陽・陰イオン交換処理については，両者とも微生物リスク低減に対する効果は限定的であり，感度分析の結果からも微生物リスク管理においてはその優先度は高くないことを示した．

#### A. 研究目的

オゾンと紫外線を併用した促進酸化(AOP)処理とイオン交換処理の連続処理によるカルキ臭低減能を強化した次世代型浄水処理プロセスを提案している<sup>1)</sup>．これは塩素を注入してもカルキ臭の生成を最小限とすることが可能であるとともに，注入塩素量の最少化も狙ったものである．本研究では，*Campylobacter jejuni* を対象微生物として取り上げ，水道水に起因する定量的微生物リスク評価(Quantitative Microbial Risk Assessment: QMRA)に取り組む．具体的には，琵琶湖・淀川水系を水源とし，原水中の *C. jejuni* 濃度を測定するとともに，類似した挙動を示す *E. coli* を指標として浄水処理プロセスにおける除去・不活化能データを集積し，*C. jejuni* 年間感染確率を求めることで，微生物学的安全性の評価を行う．

#### B. 研究方法

本研究にて対象とするカルキ臭低減型浄水処理プロセスは凝集・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．以下，方法の概略を示す．

##### 1) 微生物濃度の測定

原水(淀川)の *E. coli* 濃度および C/E(*C. jejuni*/*E. coli*)比については，昨年と同じ実験方法<sup>2)</sup>でデータを蓄積した．

## 2) 凝集・沈殿

凝集・沈殿プロセスの *E. coli* 除去能については、昨年と同じ方法<sup>2)</sup>で追加調査を行い、データを蓄積した。

## 3) 促進酸化処理

### a) OH ラジカルによる不活化効果の検証

オゾン/紫外線併用型の促進酸化処理を対象とする。促進酸化処理プロセスでは、分子オゾンの分解によりヒドロキシル(OH)ラジカルが生成する。OH ラジカルは非常に酸化力が大きいため、促進酸化処理における不活化能を調べる際には OH ラジカルの不活化効果の有無を考慮する必要がある。

昨年度の研究<sup>3)</sup>によるセミバッチ式実験では OH ラジカルの不活化効果の有無を明らかにすることはできなかった。そこで、今年度では Hunt と Marinas<sup>4)</sup>の研究で用いられたリアクター(continuous-flow tubular reactor)や、Buffle ら<sup>5)</sup>の研究や Gomes ら<sup>6)</sup>の研究で用いられた CQF システム(continuous quench-flow system)(図 1)を参考にした連続式リアクター(図 2)を用いて室内実験を行うこととした。まず、オゾンと紫外線それぞれ単独処理と、オゾン/紫外線処理の各条件での大腸菌不活化効果を評価した。次いで、オゾンと紫外線単独処理による大腸菌不活化 log 数を足し合わせて、オゾン / 紫外線処理での不活化 log 数と比較することで OH ラジカルの不活化効果の有無を検証した。用いた紫外線ランプは、185 および 254 nm の波長の紫外線を照射可能で、254 nm の方が 185 nm より相対的に光強度が大きいものである。大腸菌とオゾンあるいは紫外線ランプの反応時間をポンプの流量によって変化させ、0.8 秒 ~ 5 秒程度の反応時間を数段階設定し、流出水をオゾン濃度測定用サンプルと大腸菌濃度測定用サンプルとして採取した。

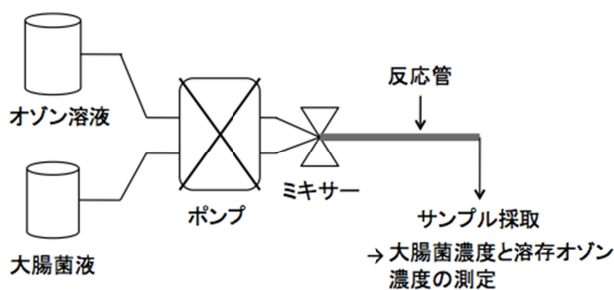


図1 CQF システムの概要

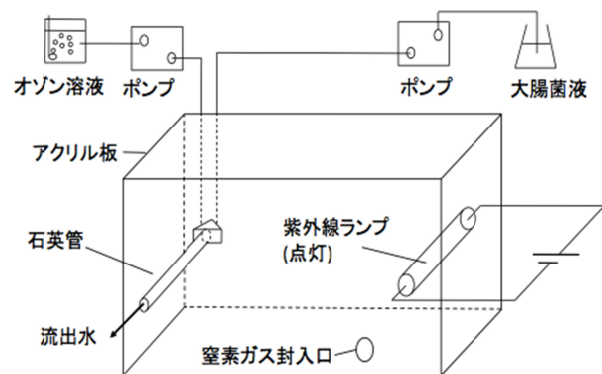


図2 リアクター概略

### b) 促進酸化プロセスにおける *E. coli* 不活化能推定

促進酸化プロセスの *E. coli* 不活化能評価には、A 浄水場に設置されているパイロットプラントの気液向流式オゾン接触塔を用いて *E. coli* 添加実験を行い、*E. coli* 濃度および溶存オゾン濃度を測定した。これによりパイロットプラントにおける不活化 log 数とその変動を定量化できる。昨年度の研究<sup>3)</sup>ではパイロットプラントの1塔目での *E. coli* 不活化能を求めたが、オゾン発生機と UV 照射機の位置の都合上、促進酸化処理よりもオゾン+UV 処理に近い条件であった。その点を考慮し、今回は2塔目を使用して添加実験を行った。

#### 4) イオン交換処理

##### a) イオン交換処理による *E. coli* の除去特性に関する実験的検討

イオン交換処理の処理特性として把握しておくことが必要な事項, すなわち樹脂充填高ささと除去能の関係, 細菌除去機構, pH による影響の3項目について検討を行った。

樹脂の充填高ささと細菌除去能の関係性を把握するためにカラム実験(図3)を行った。異なるカラムを2本連結させた。1本目のカラムは高さ75cmで, 下から10cm間隔で5個の採水口を取り付けてある。2本目のカラムは高さ50cmで, 採水口はない。2本のうち, 層厚として10, 20, 30, 40, 50, 100cmの箇所から採水した。採水時間は通水前のカラムに入っている水が全て交換され安定する, 通水後20, 30, 40分後にした。陽イオン交換樹脂にはダイヤイオンUBK16, 陰イオン交換樹脂にはダイヤイオンPA308(いずれも三菱化学製)を用いた。なお, A浄水場パイロットプラントの陽イオン交換塔の線速度と合わせて本実験の流量を設定し, 105.5 mL/minとした。

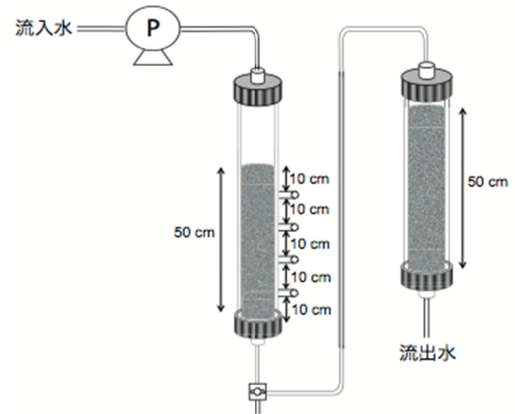


図3 本実験に使用するカラム

*E. coli* 除去の機構は主に, 重力沈降・慣性衝突・阻止作用・ブラウン運動による物理的な除去, イオン交換による吸着の2つが考えられる。除去機構を考察する際はイオン交換カラム内での *E. coli* 濃度変化を一次元移流拡散方程式で記述し, 定量的に評価した。まず, 主に大腸菌はイオン交換樹脂による吸着で除去されると仮定し, イオン交換カラムに大腸菌液を通水したときの大腸菌濃度変化を次式に示すモデルで表した。次に, このモデルを解くために必要なパラメータを実験などで設定した後, 数値解析を行い, カラムでの実験値と比較した。

##### [除去モデル]

$$\Delta x \left\{ \theta \frac{\partial C_E}{\partial t} + (1-\theta) \frac{\partial q_E}{\partial t} \right\} = \left( u C_E \Big|_{x=x} - D \frac{\partial C_E}{\partial x} \Big|_{x=x} \right) - \left( u C_E \Big|_{x=x+\Delta x} - D \frac{\partial C_E}{\partial x} \Big|_{x=x+\Delta x} \right)$$

$C_E$ : 水中の大腸菌濃度(個/mL)

$q_E$ : イオン交換樹脂内の大腸菌濃度(個/mL-R)

: 間隙率

$u$ : カラム内の間隙における移流速度(cm/min)

$D$ : *E. coli* のイオン交換カラム内移動における拡散係数( $\text{cm}^2/\text{min}$ )

また, イオン交換処理が流入水 pH によって影響を与えるかを調べるため, 流入水 pH を 3, 5 の2段階に調整し, 調整なしの場合と *E. coli* 除去能を比較した。

##### b) イオン交換プロセスにおける *E. coli* 不活化能の推定

実施設でのイオン交換処理を想定するため, 高さ50cmのガラスカラムを2本連結し, 線速度と層厚(1m)を実処理の場合と統一した上で *E. coli* の添加実験を行った。陽イオン交換樹脂にはダイヤイオンUBK16, 陰イオン交換樹脂にはPA308(いずれも三菱化学製)を用いた。

## 5) 塩素処理

A 浄水場に設置されているパイロットプラントの塩素接触槽を用いて、低濃度の残留塩素条件（遊離塩素濃度 0.05～0.15 mg/L）で *E. coli* の添加実験を行った。*E. coli* 添加後の遊離残留塩素濃度が上記範囲となるよう塩素注入量を調整した後、高濃度 *E. coli* 懸濁液をインライン注入し、定常状態に達した後（*E. coli* 注入開始 13 分経過後）、試料を複数回採取して残留塩素濃度を測定するとともに、生残 *E. coli* 濃度を測定した。

## 6) カルキ臭低減型浄水処理プロセスを対象とした定量的微生物リスク評価

以上で収集したデータに基づいて、カルキ臭低減型浄水処理プロセスを対象とした *C. jejuni* の年間感染確率を推定した。原水の *E. coli* 濃度および凝集・沈殿プロセスの *E. coli* 除去能および C/E 比については、今年度蓄積したデータも追加して適切な確率密度関数(PDF)を設定し直した。急速砂ろ過処理の除去能は独自のデータ取得はせず、既往の調査結果を用いた。文献<sup>7)</sup>によると、前処理として凝集処理を行っている場合、急速砂ろ過処理による *E. coli* の除去能範囲は  $0.4\log_{10}$ - $1.5\log_{10}$  で、平均値は  $0.9\log_{10}$  である。したがって急速砂ろ過処理の除去能は最小値  $0.4\log_{10}$ 、最大値  $1.5\log_{10}$ 、最尤値  $0.9\log_{10}$  をパラメータとする三角分布を与えた。非加熱飲水量については昨年度と同様の PDF を設定した<sup>2)</sup>。一方、促進酸化プロセスにおける不活化能は<sup>3)</sup>で得た値を元に PDF を設定した。これらを統合してモンテカルロシミュレーションにより 10 万回の計算を行った。得られた *C. jejuni* の一日当たり摂取量に対して、用量-反応モデル ( $P_d = 1 - \exp(-0.686 \times D)$ , D:用量)<sup>2)</sup>を適用して一日感染確率と年間感染確率を算出した。PDF の適合およびモンテカルロシミュレーションには、Crystal Ball (Decisionoering 社)を使用した。

## C. 研究結果

### 1) 微生物濃度の測定

原水 *E. coli* 濃度は周<sup>8)</sup>、A 浄水場から提供されたデータ（2009 年 10 月～2013 年 12 月）を含めた計 73 個の原水データに対して分布形を当てはめた結果、ワイブル分布が適当と判断された。C/E 値の分布には不検出を除く 17 個のデータを使用して対数正規分布を当てはめた。

### 2) 凝集・沈殿

凝集沈殿処理は原水 *E. coli* 濃度と凝集・沈殿水 *E. coli* 濃度をランク法により得られた除去能に対して最も当てはまる最大極値分布を選択した。

### 3) 促進酸化処理

#### a) OH ラジカルによる不活化効果の検証

計 3 回実験を行った。オゾン / 紫外線処理における不活化効果のうちオゾンによる寄与と紫外線による寄与を求めその二つを合わせたものと、オゾン / 紫外線処理実験の結果を比較した結果、OH ラジカルは不活化効果に寄与しておらず、オゾン/紫外線処理の不活化能についてオゾン処理と紫外線処理の効果は相加的であると結論づけた。

#### b) 促進酸化プロセスにおける *E. coli* 不活化能の推定

促進酸化処理の不活化能評価には、本年度行った A 浄水場パイロットプラントの 10 回の実験結果を用いた。この結果から最小値  $7.31\log_{10}$ 、最大値  $9.02\log_{10}$ 、最尤値  $7.65\log_{10}$  の三角分布が得られた。

#### 4) イオン交換処理

##### a) イオン交換処理による *E. coli* の除去特性に関する実験的検討

樹脂の充填高ささと細菌除去能の関係性を把握するための実験結果を図 4 に示す。陰イオン交換処理では、樹脂充填高ささと *E. coli* 除去能の関係が線形的であることがわかる。陽イオン交換処理は陰イオン交換処理に比べて全体的に除去能が低く、充填高が変化しても除去能に大きな変化がない。陽イオン交換処理では *E. coli* と樹脂の間でイオン交換反応が起こっていないと考えられる。

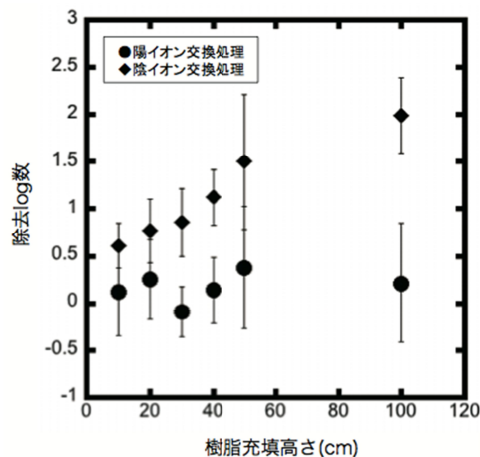


図 4 充填高と除去 log 数

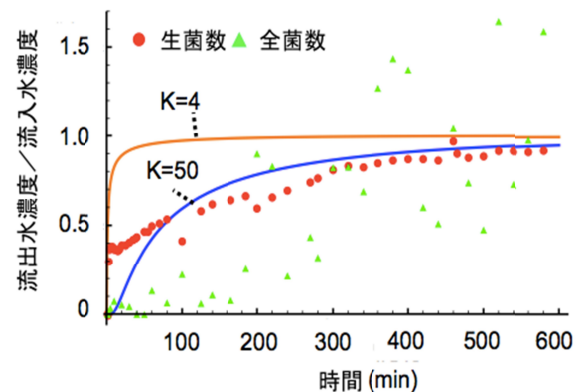


図 5 実験結果とモデルの比較

次に、陰イオン交換処理を取り上げ、陰イオン交換処理における *E. coli* 除去機構を検討した。イオン交換カラム内において *E. coli* が吸着除去される一次元移流拡散モデルを作成し、破過実験結果にあてはめた。図 5 に適合させた結果を示す。ここでは 2 種類の吸着平衡定数  $K$  の値を示している。一方は回分実験で求めた  $K = 4$  を用いて拡散係数  $D$  を合わせたものである。もう一方は吸光度すなわち全菌数の経時変化に適合するように  $K$  を探索し、 $K = 50$  を与えたものである。図 5 からわかるように、 $K = 50$  のときの方が全菌数の経時変化にうまく適合した。 $K = 50$  という値は回分実験の結果に比べて大きな値である。これは回分実験に比べて除去能が大きいことを意味しており、吸着現象だけではなく物理的な捕捉等の現象もカラム内では起こっていると考えられる。

また、イオン交換処理が流入水 pH によって影響を受けるか調べるため、流入水 pH を 3 および 5 の 2 段階に調整し、調整なしのときと *E. coli* 除去能を比較した。その結果、各 pH で *E. coli* 除去能の範囲はほぼ変化しなかった。流入水 pH が変化してもイオン交換処理の *E. coli* 除去能に影響を及ぼさないとと言える。この原因としては、陽イオン交換処理では流入水の pH が 7 付近であれば流出水の pH は流入水とほぼ同じであるが、流入水 pH が 3 付近であれば流出水 pH は 7 に近づいていくことが挙げられる。一方、陰イオン交換処理では流入水 pH が 7 付近であれば流出水 pH が 4 付近に近づくが、流入水 pH が 3 では流出水 pH は変化しない。したがって、陽・陰イオン交換処理ともに処理過程で一定の pH に近づいていく。そのため、*E. coli* 表面のイオン変化はほとんどなく、表面の電荷量に影響がほとんどなくなるために除去能が変化しないと考えられる。

##### b) イオン交換プロセスにおける *E. coli* 不活化能の推定

QMRA で使用する陽・陰イオン交換処理ともに 15 個のデータを図 6 に示す。各採水時間に採水した流入水の *E. coli* 濃度の平均値と各採水時間における流出水 *E. coli* 濃度の平均値を用いて除去 log 数を求めている。陽イオン交換については除去 log 数が負となるデータが 4 個存在するが、流入水よりも流出水の *E. coli* 濃度が高くなるような現象は本来の浄水処理では考えにくいいため、最小値 0、最大値 0.96  $\log_{10}$ 、最尤値 0.25  $\log_{10}$  をパラメータとする三角分布を与えた。陰イオン交換処理による除去能は 15 個のデータに対してロジスティック分布を当てはめた。

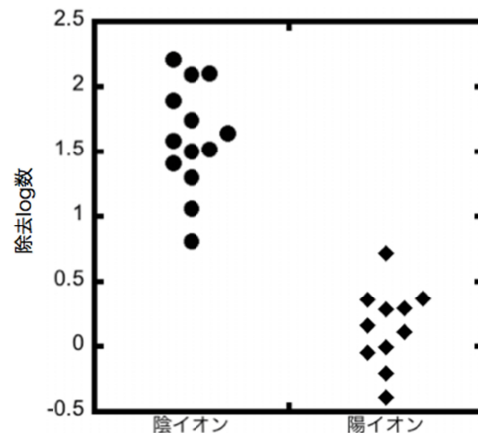


図6 QMRA に用いる除去 log 数

#### 5) 塩素処理

カルキ臭低減型浄水処理プロセスでは塩素濃度を低減させることを想定しているため、塩素添加実験中の残留塩素濃度が 0.1 mg/L 付近のときに得られた 9 回の実験結果を用いる。その結果から、最小値 3.44  $\log_{10}$ 、最大値 5.83  $\log_{10}$ 、最尤値 4.03  $\log_{10}$  をパラメータとする三角分布を与えた。

#### 6) カルキ臭低減型浄水処理プロセスを対象とした定量的微生物リスク評価

原水の *E. coli* 濃度、凝集・沈殿、急速砂ろ過、促進酸化、陽・陰イオン交換、塩素処理の各処理プロセスにおける除去・不活化能、非加熱飲料水消費量、および C/E 比の各要素は上記実験で得た値を元に PDF を設定した。選定した PDF とパラメータをまとめたものを表 1 に示す。各処理プロセスにおける除去・不活化能に対して与えた PDF に基づいてモンテカルロシミュレーションを行い、6 段階の処理プロセスにおける総合除去・不活化能を計算した。得られた総合除去・不活化能の分布を図 7 に示す。中央値 18.14  $\log_{10}$ 、平均値 18.09  $\log_{10}$  が得られた。QMRA による推定値をまとめたものを表 2 に示す。年間感染確率は平均値として  $2.07 \times 10^{-11}$ /人/年（中央値 0）が得られた。

*C. jejuni* 年間感染確率に対して感度分析を行った結果を図 8 に示す。年間感染確率に対する寄与率が最も大きい要素は原水中 *E. coli* 濃度であった。これは、測定された *E. coli* の濃度のばらつきが数オーダーレベルに達するためである。その次に寄与率の大きい要素は表流水中 C/E 値であった。これは河川水中 *E. coli* 濃度が年間を通して大きな変化がない一方で、*C. jejuni* 濃度が採水された季節によって約 1~2 オーダー変化するためである。一方、カルキ臭低減型浄水処理プロセスの中では凝集・沈殿処理の影響が最も大きいと評価された。凝集・沈殿処理の除去能は原水 *E. coli* 濃度と凝集沈殿水 *E. coli* 濃度をランク法によってペアリングし除去能を算出する。原水 *E. coli* 濃度は採水ごとに変化が大きく、凝集沈殿水 *E. coli* 濃度は原水ほどの変動幅を持たないため、結果として凝集沈殿処理は変動幅が大きくなってしまふ。そのため凝集沈殿処理の寄与率が大きくなると考えられる。

表1 選定した PDF とパラメータ推定値のまとめ

要素	適合分布形	パラメータとその推定値
原水中 <i>E.coli</i> 濃度	ワイブル分布	
凝集・沈殿処理	最大極値分布	
急速砂ろ過処理	三角分布	最小値:0.4, 最尤値: 0.9, 最大値:1.5
促進酸化処理	三角分布	最小値:7.31, 最尤値: 7.65, 最大値:9.02
陽イオン交換処理	三角分布	最小値:0, 最尤値: 0.25, 最大値:0.96
陰イオン交換処理	ロジスティック分布	
塩素処理	三角分布	最小値:3.44, 最尤値: 4.03, 最大値:5.83
C/E 値	対数正規分布	平均値: $1.87 \times 10^{-4}$
非加熱飲水量	指数分布	比率: $3.06 \times 10^{-3}$

表2 QMRA による推定値

	P <sub>2.5</sub>	中央値	平均値	P <sub>97.5</sub>
総合除去・不活化 log <sub>10</sub> 数	16.32	18.14	18.09	20.22
水道水 <i>E.coli</i> 濃度 ( <i>E.coli</i> /100mL)	$1.35 \times 10^{-21}$	$7.08 \times 10^{-17}$	$1.32 \times 10^{-14}$	$7.31 \times 10^{-14}$
<i>E.coli</i> 摂取量 ( <i>E.coli</i> /日)	$1.76 \times 10^{-17}$	$1.26 \times 10^{-12}$	$4.38 \times 10^{-10}$	$2.02 \times 10^{-9}$
<i>C.jejuni</i> 摂取量 ( <i>C.jejuni</i> /日)	$5.88 \times 10^{-22}$	$5.76 \times 10^{-17}$	$8.28 \times 10^{-14}$	$1.97 \times 10^{-13}$
<i>C.jejuni</i> 一日当たり感染確率 (人 <sup>-1</sup> 日 <sup>-1</sup> )	0	0	$5.68 \times 10^{-14}$	$1.35 \times 10^{-13}$
<i>C.jejuni</i> 年間感染確率 (人 <sup>-1</sup> 年 <sup>-1</sup> )	0	0	$2.07 \times 10^{-11}$	$4.94 \times 10^{-11}$

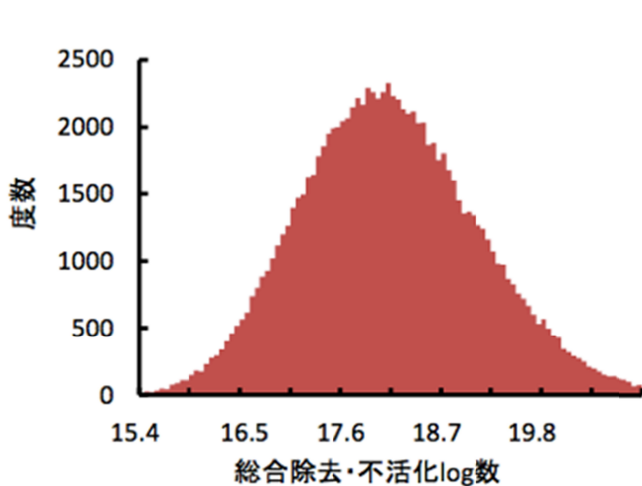


図7 総合除去・不活化能の結果

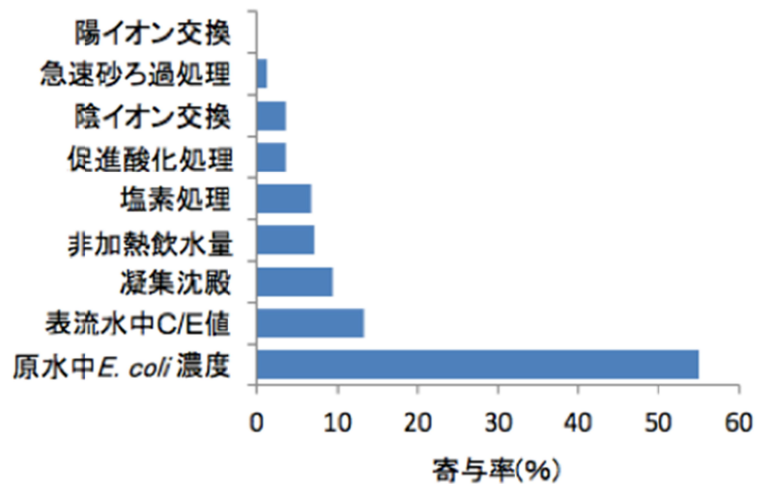


図8 年間感染確率に対する感度分析

#### D. 考察

得られた年間感染確率から、カルキ臭低減型処理プロセスは、低残留塩素下でも十分に安全な水道水を生産することができると評価できた。また、年間感染確率に対する感度分析を行い、凝集・沈殿処理が重要管理点であることを指摘した。

昨年度行った OH ラジカルの不活化効果を確認するためのセミバッチ式実験からは、OH ラジカルの不活化効果について明らかにすることができなかった。今年度は、オゾン / 紫外線処理の大腸菌不活化能における OH ラジカルの寄与は、実際上考慮する必要は無いと結論づけることができた。この成果はカルキ臭低減化処理プロセスを合理的にモデル化する上で重要な知見を提供している。

一方、今後の課題としては、促進酸化処理における不活化能がパイロットプラントでの実測値を用いただけになっている。実施設での除去能を推定した上で、処理水の年間感染確率を再評価する必要がある。オゾン / 紫外線処理は実施設に導入された例はなく、その大腸菌不活化能の評価は室内実験結果、パイロットプラントでの実験結果と数理モデルを用いて推定するべきものである。実際に昨年度<sup>3)</sup>はこのような手法により実施設スケールでの不活化能を推定した。また、年間感染確率に対する不確実性分析を行い、今後知見の収集が必要な事項を提示する予定である。

#### E. 結論

オゾン / 紫外線処理における OH ラジカルの不活化効果の有無を検証した結果、オゾン / 紫外線処理で生成が促進される OH ラジカルは不活化効果に寄与していないことを示した。すなわち、オゾン / 紫外線処理の不活化能は、オゾン処理と紫外線処理の効果が相加的であるとして評価できると結論づけた。

イオン樹脂の充填高さとの細菌除去能の関係性を考察した結果、陰イオン交換処理では、樹脂充填高さとの *E. coli* 除去能の関係が線形的であった。陽イオン交換処理の除去能は低く、*E. coli* と樹脂の間でイオン交換反応が起こっていないと考えられた。

陰イオン交換処理における *E. coli* 除去機構を検討した結果、吸着現象だけではなく物理的な捕捉等の現象もカラム内では起こっていると考えられた。

提案したカルキ臭低減化処理プロセスの総合除去・不活化能は中央値  $18.14 \log_{10}$  と評価され、*C. jejuni* による年間感染確率は平均値  $2.07 \times 10^{-11}$  / 人 / 年 (中央値 0) が得られた。これは許容リスクレベル  $10^{-4}$  / 人 / 年を大きく下回り、カルキ臭低減型処理プロセスは、低残留塩素下でも十分に安全な水道水を生産することができると考えられる。ただし、本研究の範囲ではパイロットスケールでの結果を示しており、実施設では結果に差が生じる可能性があることは注意しなければならない。

年間感染確率に対する感度分析を行った結果、凝集・沈殿処理が重要管理点であることを指摘した。一方、陽・陰イオン交換処理ともに除去能は小さく、リスク管理上の重要度は低いことを指摘した。

#### 参考文献

- 1) Echigo, S., et al.: Reduction of chlorinous odor by the combination of oxidation and ion-exchange treatment, J. Wat. Supply: Res. Technol.-Aqua, 2013 (in press).
- 2) 伊藤禎彦, 越後信哉, 大河内由美子, 周靨, 野村昌弘, 中西智宏: 浄水処理過程および配水過程における微生物リスク管理・低減手法に関する研究, 厚生労働科学研究補助金 健康安全・危機管理対策総合研究事業「水道の浄水処理および配水過程における微生物リスク評価を用いた水質管理手法に関する研究」平成 24 年度総括・分担研究報告書, pp.21-33, 2013.
- 3) 中西智宏: 水道水の微生物的安全性に対するオゾン / 紫外線処理の効果に関する研究, 京都大学卒業論文, 2013.
- 4) Hunt, N. K. and Marinas, B. J.: Kinetics of *Escherichia coli* with ozone, Wat. Res., Vol. 31, pp. 1355-1362, 1997.
- 5) Buffle, M. O., Schumacher, J., Salhi, E., Jekel, M. and von Gunten, U.: Measurement of the initial phase of ozone decomposition in water and wastewater by means of a continuous quench-flow system: application to disinfection and pharmaceutical oxidation, Wat. Res., Vol. 40, pp. 1884-1894, 2006.



- 6) Gomes, A. C. , Nunes J. C. and Simões, R. M.: Determination of fast ozone oxidation rate for textile dyes by using a continuous quench-flow system, J. Hazard. Mater., Vol. 178, pp. 57-65, 2010.
- 7) Wim, A.M.H., Madema, G.J.: Elimination of micro-organisms by water treatment processes, IWA Publishing, London, UK, pp.38, 2010.
- 8) 周靚: 高度浄水処理プロセスにおける定量的微生物リスク評価に関する研究, 京都大学大学院工学研究科修士論文, 2012.

## F. 健康危険情報

特になし

## G. 研究発表

### 1 . 論文発表

- 1) Ohkouchi, Y., Yata, Y., Bun, R., Itoh, S. Chlorine Requirement for Biologically Stable Drinking Water After Nanofiltration, Water Science and Technology-Water Supply, 2014 (in press).
- 2) Zhou, L., Echigo, S., Ohkouchi, Y., Itoh, S. Quantitative Microbial Risk Assessment of Drinking Water Treated with Advanced Water Treatment Process, J. Wat. Supply: Res. Technol.-Aqua, 2014 (in press).
- 3) Itoh, S. Effect of the Ratio of Illness infection of *Campylobacter* on the Uncertainty of DALYs in Drinking Water, Journal of Water and Environment Technology, 11 (3), 309-324, 2013.

### 2 . 学会発表

- 1) Nakanishi, T., Zhou, L., Echigo, S., Ohkouchi, Y., Itoh, S. Effect of ozonation and ultraviolet light treatment on the microbial safety of drinking water, Conference Proceedings, 22nd KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, 2013.7.2-3, Seoul, Korea.
- 2) Asada, Y., Ohkouchi, Y., Itoh, S. Investigation of methods for isolation and quantitation of *Campylobacter jejuni* in water environment, Conference Proceedings, 22nd KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, 2013.7.2-3, Seoul, Korea.
- 3) Asada, Y., Ohkouchi, Y., Matudate, K., Echigo, S., Itoh, S. Structure analysis of *Campylobacter jejuni* lipooligosaccharide associated with Guillain-Barré syndrome in source water for estimating disability adjusted life years, Conference Proceedings, Water Micro 2013, 2013.9.15-20, Florianopolis, Brazil.
- 4) Zhou, L., Nakanishi, T., Matsudate, K., Echigo, S., Ohkouchi, Y., Itoh, S. Infection Risk Assessment of *Campylobacter jejuni* in Drinking Water Treated with Water Treatment Process Reducing Chlorinous Odor, Water Micro 2013, 2013.9.15-20, Florianopolis, Brazil.
- 5) 浅田安廣, 大河内由美子, 伊藤禎彦, 環境水中に存在する *Campylobacter jejuni* の定量における増菌培養法の比較, 第 47 回日本水環境学会年会講演集, 71, 2013.
- 6) 浅田安廣, 大河内由美子, 越後信哉, 伊藤禎彦, 糖鎖構造解析に基づいた河川水中 *Campylobacter jejuni* のシアル酸含有リポオリゴ糖保有実態, 環境衛生工学研究, 27 (3), 208-211, 2013.
- 7) 周靚, 松館圭太, 伊藤禎彦, 浄水処理ユニットプロセスにおける微生物除去・不活化能の定量化法, 平成 25 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, 566-567, 2013.

- 8) Zhou, L., Nakanishi, T., Matsudate, K., Echigo, S., Ohkouchi, Y., Itoh, S. Infection Risk Assessment of *Campylobacter jejuni* in Drinking Water Treated with Water Treatment Process Reducing Chlorinous Odor, Asian Core Program 第3回包括シンポジウム, 京都大学宇治キャンパス, 2013.10.28-29.
- 9) 周靚, Infection Risk Assessment of *Campylobacter jejuni* in Drinking Water Treated with Water Treatment Process Reducing Chlorinous Odor (カルキ臭低減型浄水処理プロセスにおける *Campylobacter jejuni* の感染リスク評価に関する研究), 八大学工学系連合会「博士学生交流フォーラム」, 京大桂キャンパス船井記念講堂, 2013.11.8.
- 10) 浅田安廣, 大河内由美子, 松館圭太, 伊藤禎彦, 障害調整生存年数推定を目的とした河川水中 *Campylobacter jejuni* の実態調査, 第16回日本水環境学会シンポジウム講演集, 391-392, 2013.
- 11) 浅田安廣, 大河内由美子, 越後信哉, 伊藤禎彦, 河川水中 *Campylobacter jejuni* に対するギラン・バレー症候群発症関連菌株の推定, 第50回環境工学研究フォーラム講演集, 116-118, 2013.
- 12) 松館圭太, 周靚, 越後信哉, 伊藤禎彦, カルキ臭低減型浄水処理プロセスにおける陽・陰イオン交換処理による細菌除去, 第48回日本水環境学会年会, 2014 (発表予定)

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

- |           |    |
|-----------|----|
| 1. 特許取得   | なし |
| 2. 実用新案登録 | なし |
| 3. その他    | なし |