

学位論文題名

高度浄水処理方式の導入によるリスクマネジメント

学位論文内容の要旨

近代水道が細菌学的リスクの回避手段として多用してきた塩素殺菌法は現代社会の最も先鋭な課題であるヒトの発癌問題とリンクして大きな社会問題を提起している。本研究は水道システムを経由してヒトの体内へ侵入し、ヒトの遺伝子構造を攪乱しているかもしれない化学物質群に対するリスクマネジメントとして、高度浄水処理方式(O_3 ・GAC処理)の機能、実運用方式並びにリスクの評価をテーマとしたものである。

第1章ではまず、現在の水道水の健康リスクに関する諸課題をTHM等の消毒副生成物、変異原性、発癌性、農薬、生理活性天然物並びに臭気物質等により整理した。臭気物質そのものは健康リスクに係わるものではないが、本研究ではリスクマネジメントを側面より支援する物質として位置づけた。その結果、1950年代以降に始動しはじめた、わが国の石油依存型産業構造への転換、大都市圏への人口の集中化、水道使用量の増加、農薬使用量の増大等が、下水道整備の遅れもあって水道水源水質の劣化を招来させたこと、特に、本研究がフィールドとした淀川は典型的な「繰り返し利用型河川」であり、その水質環境はより深刻であることを明らかにした。また、琵琶湖を含む淀川流域でのTHMFP等の発生モデル(負荷量モデル)並びに流下モデル(累積流量モデル)を構築することにより、大阪府の村野浄水場取水口点でのTHMFPは1985年を起点として20年後には約1.4倍に増加することを推定した。このような解析結果を基に、水道におけるリスクマネジメントの具体的展開が緊急かつ重要な課題であることを明らかにした。

第2章ではリスクマネジメントの具体的展開として、 O_3 ・GAC処理方式の処理特性を日量2000 m^3 処理(2系列構成)の実証プラント(大阪府村野浄水場内に設置。原水は淀川表流水)による約1200日間にわたる長期連続通水実験結果を基に詳細に検討した。評価因子はTHMFP、TOXFP、TOC、DOC、微量有機化合物、変異原性、農薬、消毒副生成物、かび臭物質(2-MIB、ジオスミン)、一般細菌、大腸菌群、微小動物とした。水処理フローの基本は凝集・沈澱・砂濾過・ O_3 ・GAC・塩素殺菌である。 O_3 の注入率は0.6から2.0 mg/l 、GACの層高は2m、SVは6/時とした。まず、処理対象としての淀川水の水質特性を丹保による水質変換マトリックス的考え方により整理したところ、そのDOC成分は生物分解がほぼ終了した後の難分解性有機物であり、このためにTHMFPやUV発現物質は凝集・沈澱・砂濾過操作により除去され易い特性を持つものと考えた。次にGAC処理水には通水の極初期よりTHMFPなどが流出しており、通水経過とともに流出水の濃度は上昇し、定型的なS字型の破過曲線は得られなかった。これは吸着対象であるフミン質がGACに対して粒内拡散律速に近い、遅い吸着速度を持つためと考えた。連続通水実験1200日経過後でのTHMFPのGAC流出比は0.8にまで上昇したが、既設浄水(前塩素併用の急速濾過方式による浄水)濃度の1/3にまで処理し得ることが明かとなった。また、原水中に検出されたフレームシフト型の間接・直接変異原性、シマジン等の農薬、MIB等のかび臭物質はGAC処理により完全に

除去されること、消毒副生成物としてホルムアルデヒド並びにクロロピクリンの処理特性を検討したところ、これらは既設浄水に比べて1/2以下濃度にまで処理できることなどを明らかにした。

第3章ではGACの単一池による処理機能を、複数池並列方式による実施での処理機能にまで拡張した。GAC施設の実運用では所定の運転時間が経過したGACは再生工程に移行する。再生後には再び池内に充填されて水処理ラインに入ることになる。つまり、実運用時には運転経過日数が相互に異なるGACがそれぞれの池内に充填されている状況が発現する。そしてそれぞれのGAC池から流出してきた処理水は最終的には浄水池にて完全混合し、塩素が添加されて送水過程に流出する。本研究ではこのようなGAC施設の稼働・再生・再稼働の運用モデル（連続流多重運用モデル）を提案し、まず村野浄水場の実施計画を基に、全GAC池を60池、再生池数（再生頻度）を2池/月、4池/月、6池/月、8池/月と仮定して、連続運用下で発現するある時間断面での各GAC池処理水のDOC濃度をシミュレーションした。その結果、各GAC池処理水のDOC濃度は通水経過日数の差によりそれぞれ異なる状況が発現するが、定期的に再生を繰り返して行くと、それぞれの処理水が混合した後の送水時のDOC濃度は、例えば再生池数が2池/月である場合、 1.1 mg/l であるように、再生頻度に依存してある値に収束・安定化することが明らかとなった。次に単一のGAC池による処理水のTHMFPを水温、DOC濃度、そして消費者までの到達時間の関数として表現することにより、連続流多重運用モデル下で発現する消費者段階のTHM濃度が推定できるようになった。消費者までの到達時間を3日と仮定すると、既設浄水では夏期の高水温時には 0.055 mg/l にまで上昇するが、 O_3 ・GAC処理水では、再生頻度条件に依存するが、2池/月の場合で 0.02 mg/l であり、既設浄水に比べて64%低減し得ることが明らかとなった。

第4章では上記した連続流多重運用モデルにより決定し得る消費者段階でのTHM濃度等を基にして、年間超過発癌リスクへの変換を試み、既設浄水とのリスクの比較を行った。発癌リスクはクロロホルムに関する 10^{-5} レベルの生涯リスク濃度、 0.002 mg/l を評価水準として計算した。また、もう一つのリスク評価手法である変異原性について、One-Hitモデルを応用した丹保らの手法によりリスク評価を行った。まず消費者までの到達時間を7日とした場合の既設浄水の年間平均クロロホルム濃度より計算した超過発癌リスクは $2.7 \cdot 10^{-6}$ /年であった。これに対して、再生頻度が2池/月とした場合のそれは $6 \cdot 10^{-7}$ /年であり、1オーダー低いリスクレベル、つまり完全に無視し得るリスクレベルにまで低減し得ることが明らかとなった。次に変異原性によるリスク評価は以下のとおりであった。すなわち、塩素添加前の原水には変異原性が検出され、発癌リスクを計算したところ、 $2.4 \cdot 10^{-4}$ /年に相当した。このように高い発癌リスクは O_3 処理後にまで検出されたが、GAC処理により完全に無視し得るリスクレベルにまで低減できることが明かとなった。これに対して、既設浄水の変異原性からみた発癌リスクは 10^{-4} から 10^{-5} /年であった。塩素添加後の消費者段階を想定した変異原性試験結果では、連続通水日数が960日のように長くなると発癌リスクは $1.6 \cdot 10^{-4}$ /年と高い値を示すことが明かとなった。しかし連続通水日数が250日程度のGAC処理水では塩素添加後の変異原活性の生成は認められなかった。連続流多重運用モデルに従って、2池/月の頻度により再生を繰り返して行くと、送水時のDOC濃度は250日経過炭と同等である。したがって、実運用時には上記した再生頻度により定期的に再生することにより、既設浄水が持っている変異原性並びに発癌問題は完全に回避されることが明らかになった。また、 O_3 ・GAC処理方式の実稼働後の日常的な健康リスクの監視因子としてTOX濃度が有効であることを提示した。

最後に、本研究が取り扱った O_3 ・GAC方式は巨大浄水場が導入し得る最後の処理形態

であることを述べるとともに、本方式の機能を将来にもわたり維持するためには、水源水質の改善・保全が緊急かつ重要なリスクマネジメントのもう一つの展開であることを指摘した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 丹 保 憲 仁
副 査 教 授 渡 辺 義 公
副 査 教 授 高 桑 哲 男
副 査 教 授 田 中 信 壽

学位論文題名

高度浄水処理方式の導入によるリスクマネジメント

本論文は、水道システムを経て人に摂取される発ガン性や変異原性等を示す物質による健康リスクがどのような経路で発生し、その程度はどのようなものであり、その低減化制御をどのような道筋によってどの程度まで行うべきかをわが国で初めて系統的に論じたものである。

近畿地方1,300万人の水源である淀川流域と、その下流において取水している大阪府水道を対象として、繰り返し水利用を重ねる典型的な高度集積型流域について具体的な研究を行った。

まず水源淀川流域の水質の一般的状況と、トリハロメタン等の塩素化有機化合物の前駆物質の流域内分布と流出状況、その将来予測を行い、農薬等の流出状況と併せて現用の各種浄水プロセスを経た水のさまざまなリスクの発現を評価し、高度処理導入の必要性を明らかにした。

次いで、代表的な高度処理プロセスであるオゾン・粒状活性炭プロセスを導入することによってどのように健康リスクを低減しうるかを、ベンチスケールから実物規模にいたるさまざまなパイロットプラント試験によるほぼ8年の研究で検討した結果に基づいて、トリハロメタン生成能、環境変異原性を評価するためのエイメス試験等を示標としてそのリスク低減の過程を明らかにし、かび臭や各種の農薬の挙動の検討と合わせて高度処理システムとしての有効性を評価した。

最後に、大型の実浄水場でオゾン・粒状活性炭システムを並列に多系列運用する際の運転方式（ろ過・再生のサイクルの選び方）によって浄水水質レベルがどのように変化するかを論じ、トリハロメタン生成能を示標として、必要なリスク低減のレベルを確保するための高度処理浄水システムの各種運用モデルを提案し、操作方法を定式化した。

これを要するに、本論文は、トリハロメタン生成能などを示標として水道水の変異原性、発ガン性リスクを低減するための流域管理と高度浄水処理の手法としてのオゾン・粒状活性炭処理法について評価検討を加え、その有効性の評価と処理プロセス運用の方法を初めて定式化したもので、水環境工学、水道工学の発展に寄与すること大である。

よって、著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。