

200942022A

厚生労働科学研究費補助金  
健康安全・危機管理対策総合研究事業

健康リスク低減のための新たな浄水プロセス  
及び管路更新手法の開発に関する研究

平成21年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 藤原正弘

平成22(2010)年5月

厚生労働科学研究費補助金  
健康安全・危機管理対策総合研究事業

健康リスク低減のための新たな浄水プロセス  
及び管路更新手法の開発に関する研究

平成21年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 藤原正弘

平成 22 (2010) 年 5 月

## 目 次

### I. 総括研究報告

健康リスク低減のための新たな浄水プロセス及び管路更新手法の開発に関する研究

藤原正弘（財団法人 水道技術研究センター）

### II. 分担研究報告

1. 水処理用中空糸膜の膜構造と膜ファウリング特性の相関解明に関する研究  
松山秀人（神戸大学大学院工学研究科 教授）
2. 特徴の異なる水道水源から採取した有機物が引き起こす膜ファウリング  
木村 克輝（北海道大学大学院工学研究科 准教授）
3. 紫外線処理による返送水・排水へのクリプトスポリジウム等対策に関する研究  
神子 直之（立命館大学 教授）
4. 紫外線処理による塩素代替消毒法およびマルチバリア消毒法に関する研究  
大瀧 雅寛（お茶の水女子大学 准教授）  
（資料）紫外吸光スペクトルの中圧UVランプ消毒処理への影響
5. 地震による管路被害の予測等に関する研究  
宮島 昌克（金沢大学 教授）

III. 研究成果の刊行に関する一覧表 （該当なし）

IV. 研究成果の刊行物・別刷 （該当なし）

### 添付資料

健康リスク低減のための新たな浄水プロセスに関する研究【浄水部門】

1. 膜ろ過施設の維持管理の高度化等
  - 1.1 膜プラントメーカー・水道事業者への実態調査結果
2. 浄水プロセスへの紫外線処理の適用
  - 2.1 紫外線照射試験結果
  - 2.2 米国環境保護庁 紫外線消毒ガイダンスマニュアル 第3章（抜粋）
  - 2.3 ドイツガス水道技術科学協会（DBGW）技術規則 実施規則 w290/2005年2月  
水道の消毒 － 運転上及び必要条件のクライテリア
3. 研究体制

基幹水道施設の機能診断及び地震による管路被害の予測等に関する研究【管路部門】

4. 基幹水道施設の機能診断手法の検討
  - 4.1 浄水施設等機能診断マニュアル（案）
  - 4.2 管路機能診断マニュアル（案）
  - 4.3 ケーススタディ結果及び指摘事項等（抄）
  - 4.4 管路機能診断計算ソフト使用説明書（抄）
5. 地震による管路被害の予測等
  - 5.1 兵庫県南部地震の管路被害データベース作成
6. 研究体制

# I. 総括研究報告

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
総括研究報告書

健康リスク低減のための新たな浄水プロセス及び管路更新手法の開発に関する研究

研究代表者 藤原 正弘 財団法人水道技術研究センター理事長

**研究要旨**

水道は社会基盤施設として重要な役割を果たしているが、多くの基幹施設が大規模な更新時期を迎えつつある。また、水系感染症の発生等の防止や地震等による断水の防止・軽減に関する手法の確立が求められており、以下の課題に取り組むことにより安全・安心な水道水の安定供給に資するものである。なお、本研究の実施予定期間は平成 20～22 年度であり、本年度（平成 21 年度）は 3 か年計画の 2 年目である。

本研究では、以下の具体的な検討課題に取り組んでいる。

- (1) 健康リスク低減のための新たな浄水プロセスに関する研究【浄水部門】
  - 1) 水道事業者のニーズに合った浄水膜の性能・仕様等の検討
  - 2) 膜ろ過施設の維持管理の高度化等
  - 3) 浄水プロセスへの紫外線処理の適用
- (2) 基幹水道施設の機能診断及び地震による管路被害の予測等に関する研究【管路部門】
  - 1) 基幹水道施設の機能診断手法の検討
  - 2) 地震による管路被害の予測等

また、研究体制は、藤原正弘（水道技術研究センター理事長）を研究代表者とし、学識者及び水道技術研究センター役職員を研究分担者とするとともに、学識者、水道事業者・民間企業の技術者等を研究協力者として、本研究を実施している。

平成 21 年度の研究結果の概要は次のとおりである。

(1) 浄水部門

- 1) 水道事業者のニーズに合った浄水膜の性能・仕様等の検討

特性の異なる実水道水源から有機物を回収し、有機物中のどのような画分が不可逆的膜ファウリングの発生に関与するかを検討した。その結果、水道水源のタイプによらず、多糖類等からなる親水性画分が不可逆的膜ファウリングの主な原因成分であることが明らかとなった。また、膜の構造及び孔径分布が異なる中空糸膜を製作し、膜構造がファウリングに与える影響及びファウリング特性を検討した。その結果、ファウラントの種類によって低ファウリングを達成する最適膜の構造が異なること、外側表面に緻密層、内側表面に多孔構造を有する非対称膜が低ファウリング性、洗浄効果とも有利であることが明らかとなり、高い耐ファウリング性を持つ分離膜を製作する際の基礎的な情報を得た。

- 2) 膜ろ過施設の維持管理の高度化等

平成 20 年度実施の膜ろ過施設の維持管理に関するアンケート調査から明らかになった膜損傷検知方法等の課題について、膜プラントメーカー及び膜設置水道事業者に対して実態調査を行い、膜損傷検知方法、膜交換の判断項目、膜の標準的薬品洗浄方法及び保管方法などについて、維持管理高度化マニュアル（案）への記載内容の検討を進めた。

- 3) 浄水プロセスへの紫外線処理の適用

紫外線処理の地表水への適用に伴う副生成物について実験を行い、紫外線照射量と臭素酸生成量の相関を確認した。また、対象水に TOC 成分が含まれる場合には、残留塩素が TOC 成分と優先的に反応して THM を生成し、臭素酸生成が抑制されると推測された。塩素代替としての紫外線処理の適用に関しては、ウイルス 4 種、細菌 1 種の波長依存性を把握した結果、210nm 付近の感度が高くなる傾向を示し、クリプトスポリジウムの特異性は異なることが確認された。

## (2) 管路部門

### 1) 基幹水道施設の機能診断手法の検討

大規模及び小規模水道事業体において、管路機能診断のケーススタディによって課題の抽出及びその改善を図りながら、管路の全体機能評価、管路別機能評価、改善必要度算出に関して、保有データの少ない小規模事業体においても診断を容易にする診断手法を確立した。また、同時に、浄水施設等の機能診断についても大中小規模水道事業体におけるケーススタディによって、管路の機能診断手法と同様に、小規模事業体においても診断を容易にする診断手法に改善した。これらの成果として、浄水施設等機能診断マニュアル(案)及び管路機能診断マニュアル(案)としてとりまとめた。

### 2) 地震による管路被害の予測等

平成20年度に引続き、地震被災水道事業体における管路被害及び管網データを収集し、データベースを作成した。さらに、これらの管路被害データを管種・継手・口径別に整理した上で、当該地域における微地形データ及び地震動データ等との相関を把握した。これらの調査結果から管路属性データごとに被害率を算出し、被害予測式における管種・継手・口径等に係る補正係数について分析を進め、これらの原案を作成した。

## 研究分担者氏名

安藤 茂	水道技術研究センター	常務理事兼技監
武内 辰夫	水道技術研究センター	常務理事
谷口 元	水道技術研究センター	技術顧問
鈴木 泰博	水道技術研究センター	主幹
松山 秀人	神戸大学	教授
木村 克輝	北海道大学	准教授
神子 直之	立命館大学	教授
大瀧 雅寛	お茶の水女子大学	准教授
宮島 昌克	金沢大学	教授

※ A. 研究目的、B. 研究方法、C. 研究結果、D. 考察については、【浄水部門】【管路部門】のそれぞれに分けて記述し、E. 結論、F. 健康危機情報、G. 研究発表、H. 知的財産権の出願・登録情報については合わせて記述する。

## 【浄水部門】

### A. 研究目的

水道は社会基盤施設として重要な役割を果たしているが、より安全・安心な水道水の供給が求められていることから、水系感染症の発生等を防止するための、安定的・効果的な除去・不活化技術の確立及び維持管理の高度化等、健康リスク低減のための手法の確立を目的とし、研究活動に取り組んだ。

具体的な研究活動は以下に述べる研究テーマについて実施し、平成 20 年度～平成 22 年度の 3 か年計画で実施している。

#### 1. 水道事業体のニーズに合った浄水膜の性能・仕様等の検討

国内の水道用膜ろ過施設の設置状況は、水道技術研究センター（以下「センター」という。）の調査によると平成 20 年度末において 676 箇所(MF,UF 膜)となっており、設置数は年々増加している。

このような実績の中、膜素材自体の処理性・耐久性の向上、膜交換時の費用の軽減等、処理性能と経済性の両面での課題が指摘されている。さらに、膜処理(MF,UF 膜)だけでは対応が困難な臭気等の溶解性成分の除去についても対応が可能な新たな膜素材への要求が生じている。

一方、多様な水源水質に対しての適応性の高い膜種類の選択という課題については、現在、選定基準が明らかにはなっていない。

このような状況のもとに、膜処理のさらなる効率化、最適化を図るためには、膜自体の処理性能の向上、膜種類による処理特性の把握等を追求していく必要がある。

よって、本研究では、多様な水源に対し

実験的研究を中心として、浄水膜の処理特性を把握し、水源水質に対する適応性のある浄水膜の性能・仕様等の検討を行うことにより、水道事業体への最適な膜処理の導入を支援することを目的とする。

#### 2. 膜ろ過施設の維持管理の高度化等

水道における膜ろ過施設は、1. で述べたように年々増加しており、今後も浄水施設の増設・更新に併せて広く普及していくことが見込まれている。

また、膜ろ過施設の導入初期は、数十～数百 m<sup>3</sup>/日規模の簡易水道や専用水道への適用がほとんどであったが、膜ろ過施設の研究・開発が積極的に行われたことで施設の大型化が進み、数万 m<sup>3</sup>/日規模の中大規模浄水場への導入が進みつつある。

本研究では、水道事業体から課題を収集し、得られた課題について対応策を検討するとともに、留意事項、具体例についても整理する。その成果を維持管理高度化マニュアル(案)としてとりまとめ、水道事業体に、維持管理の指針、あるいは参考資料として利用していただくことで、水道事業体における維持管理の高度化を目的としている。

#### 3. 浄水プロセスへの紫外線処理の適用

紫外線処理は、平成 19 年 4 月に、地表水以外を原水とする施設へのクリプトスポリジウム等対策として位置付けられ、導入が進んでいる。クリプトスポリジウム等を安定的に不活化するためには、設備を適切に維持管理することが必要不可欠である。

一方、紫外線処理を、地表水を原水とし急速ろ過を採用している施設や膜ろ過洗浄排水等へ適用することで、より確実性の高いクリプトスポリジウム等の処理ができる可能性がある。しかし、地表水や膜ろ過洗浄排水等は、紫外線照射を阻害する物質の濃度も高いと想定され、紫外線処理の適用性について十分に検討が必要である。

また、塩素消毒と紫外線処理を併用することで、従来よりも塩素注入量を低減し、副生成物による健康リスクのより少ない安全性の高い水道水を供給できる可能性がある。

本研究ではこのような課題に取り組み、

その成果を紫外線処理導入・維持管理マニュアル（案）としてまとめ、水道事業体への紫外線処理の導入・普及を支援することを目的としている。

## B. 研究方法

研究代表者、研究分担者のもと、学識者、水道事業体、民間企業の技術者等で構成される研究協力者により浄水研究班を設置し、そのもとに研究課題に応じて、2つのワーキンググループ（膜処理ワーキンググループ、紫外線処理ワーキンググループ）を設け、3つのテーマについて研究を進めた。

以下、テーマごとに具体的な研究方法を示す。

### 1. 水道事業体のニーズに合った浄水膜の性能・仕様等の検討

膜のファウリングと膜構造との関係を明らかにするために、以下の2つの実験的研究を実施した。

#### 1.1 膜ファウリング発生機構に関する知見の集積

膜ろ過の浄水処理適用において、膜ファウリングの制御は依然として重要な検討課題である。効果的な膜ファウリングの制御を行うには、膜ファウリングを引き起こす成分に関する情報及び理解が不可欠である。

本研究では、特性の大きく異なる有機物を実水道水源から回収し、有機物中のどのような画分が不可逆的ファウリングの発生に関与するかを検討した。本研究で検討対象とした水源は清澄な表流水、泥炭地の影響を受ける表流水、富栄養化の影響を受ける湖沼水、下水処理水の影響を受ける表流水である。

また、本実験で使用した膜はPVDF製の中空糸膜であり、ろ過実験に当たっては15分に1度、30秒間の逆洗を実施した。

#### 1.2 浄水処理に適した膜の材質、製造方等の検討

本研究においては、膜構造と膜ファウリングの相関関係の解明に焦点を当てた検討を、以下の2つの実験により行った。

1) 相分離過程の違いによるファウリング特性への影響評価

・PVDF(ポリビニルデンフロライド)を用いて数種の中空糸膜を作成した。

・ファウラントとして、フミン質はフミン酸(HA)、多糖類はアルギン酸ナトリウム(SA)、タンパク質は牛血清アルブミン(BSA)を用いた。

2) 表面構造の違いによるファウリング特性への影響評価

・CAB(セルロースアセテートブチレン)を用いて数種の中空糸膜を作成した。

・ファウラントとしてアルギン酸ナトリウム(SA)を用いた。

### 2. 膜ろ過施設の維持管理の高度化等

平成20年度は、維持管理状況の現状把握と位置づけ、水道事業体へアンケート調査を実施して水道事業体の抱える維持管理の問題点及び要望事項の抽出を行った。平成21年度は、維持管理高度化マニュアル（案）を作成するために、昨年度に抽出した問題点及び要望事項について、膜プラントメーカー7社に対して運転方法を調査するとともに、水道事業体3事業体に対し実態調査を行い、平成20年度よりも更に詳細な維持管理状況を把握した。

さらに、実態調査結果を踏まえて、維持管理方策の向上の観点から、平成22年度のマニュアル改訂に向けた記載内容の検討も行った。

### 3. 浄水プロセスへの紫外線処理の適用

#### 3.1 地表水への適用法の検討

紫外線処理を地表水へ適用する上での水質面、設置面の課題について、米国環境保護庁の「紫外線消毒ガイダンスマニュアル」、ドイツガス水道技術科学協会の消毒に関する実施規則、諸外国の水道水質基準等より情報を収集した。

#### 3.2 紫外線照射試験

既往の研究では、紫外線照射による副生成物として臭素酸等が報告されている。浄水処理において紫外線処理を適用する上で安全なレベル（前駆物質濃度、紫外線照射量）を把握するために、平成20年度に引き続き紫外線照射試験を実施した。



### 3.3 紫外線処理による返送水・排水へのクリプトスポリジウム等対策に関する研究

紫外線処理の効果に及ぼす濁質の影響について、大腸菌ファージ MS2 をモデルウイルスとして用いて、回分式及び流水式の紫外線照射装置により実験を行い、そのモデル化を試みた。また、紫外線処理との併用が避けられない塩素消毒による副生成物のひとつであるトリハロメタンの紫外線による分解性について、低圧紫外線ランプを用いた照射実験により検討した。

### 3.4 病原微生物への紫外線不活化の波長依存性と浄水水質との関連

病原原虫以外の病原細菌・ウイルスを対象とする一般消毒処理の適用を考えた場合の消毒効果と浄水水質の関係について、文献調査及び実験研究を通じて検討した。具体的には中圧紫外線ランプの導入の際の対象水質による消毒効果への影響を、生物種ごとの波長依存性と対象水の吸光スペクトルを考慮しつつ検討した。

## C. 研究結果

### 1. 水道事業体のニーズに合った浄水膜の性能・仕様等の検討

#### 1.1 膜ファウリング発生機構に関する知見の集積

膜ろ過装置の実機では、何らかの形で(逆洗が一般的)物理洗浄工程が運転サイクルに組み込まれているが、物理洗浄を行ってもなお進行するのが不可逆的膜ファウリングである。本実験では物理洗浄(逆洗)を定期的に行っており、物理洗浄直後に測定された膜間差圧の値から、不可逆的ファウリングの進行を評価できる。

本研究では、清澄な河川水として豊平川表流水(北海道札幌市)、富栄養化が進行した湖沼水として印旛沼水(千葉県佐倉市)、泥炭地水として釧路川表流水(北海道釧路市)、下水処理水の影響がある河川水として淀川表流水(大阪府大阪市)を選定した。

各原水中の疎水性画分、親水性画分をろ過した際の不可逆的ファウリング進行を図1及び図2にそれぞれ示す。疎水性画分をろ過した実験では、膜ファウリングの進行

(膜間差圧の上昇)が認められたが、定期的に行う逆洗の実施により膜間差圧の値を大幅に低減させることができた。この結果、疎水性画分のろ過においては不可逆的ファウリングの進行がほとんど起こらなかった。試料を採取した水道水源の場所に関わらず、疎水性画分による不可逆的ファウリングの進行は緩やかであった。既往の研究の多くで、フミン質などの疎水性有機物による膜ファウリングの発生が報告されているが、多くの場合で可逆的なファウリングを評価していたのではないかと考えられる。

一方、試料を採取した水道水源の場所によらず、親水性画分をろ過した場合には急激な不可逆的ファウリングの進行が観察された。

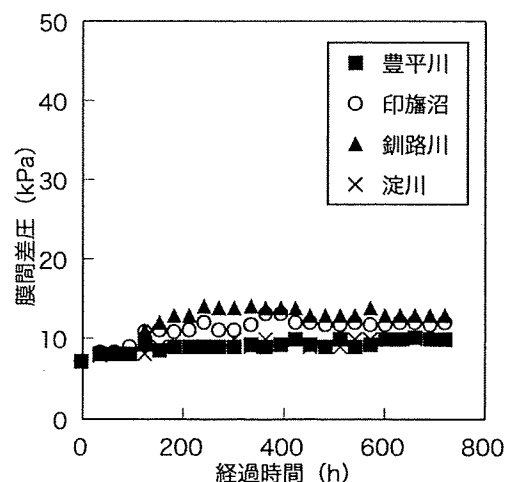


図1 疎水性画分による不可逆的膜ファウリング

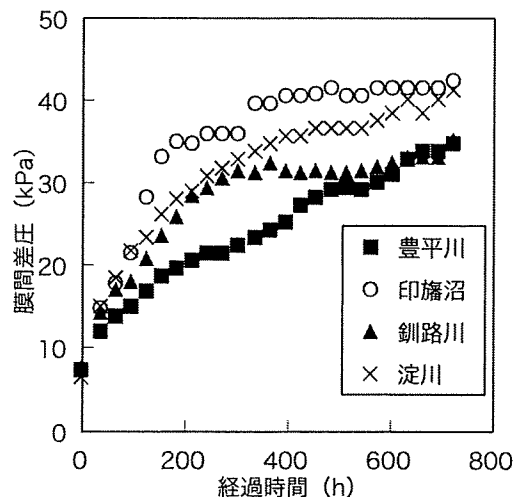
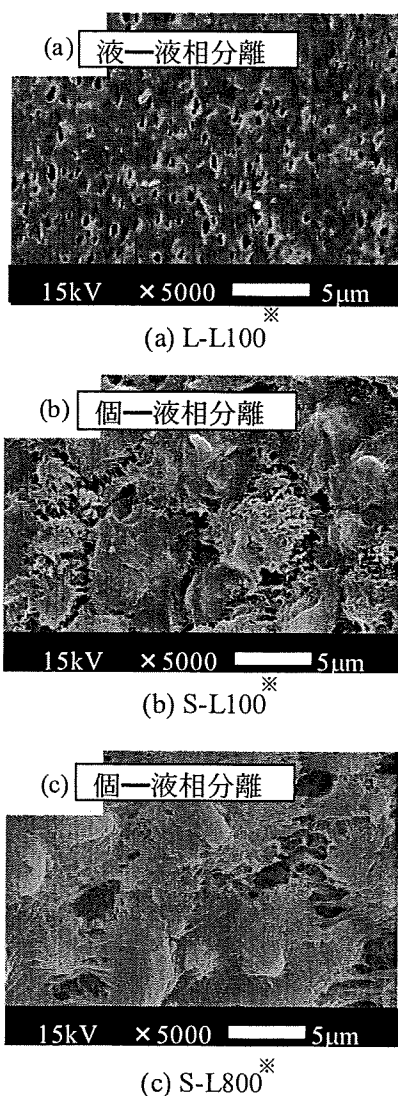


図2 親水性画分による不可逆的膜ファウリング

## 1.2 浄水処理に適した膜の材質、製造方等の検討

### 1) 相分離過程の違いによるファウリング特性への影響評価

ポリマーとして多くの注目を集めている PVDF を用い、熱誘起相分離法 (TIPS) を用いて種々の構造を有する中空糸膜を製造した。この場合、液-液相分離に基づく網目状構造の膜と、高分子の結晶化 (個-液相分離) に基づく球晶構造膜を作成し、このような異なる膜構造がファウリングに与える影響について検討を行った。各々の場合に得られた中空糸膜の断面構造を図 3 に示す。



\*数値は透水量を示す。[L/(m<sup>2</sup>·atm·h)]  
図 3 中空糸膜外表面の SEM 画像

この結果、溶質の種類により低ファウリングを達成する最適な膜構造が異なることを明らかとした。このような結果は、ファウリングの抑制に向けて、膜構造の設計に関して貴重な基礎的知見となるものと言える。

### 2) 表面構造の違いによるファウリング特性への影響評価

孔の分布が異なる膜を作成してファウリング特性評価を行った。(図 4、図 5 参照)

ポリマーとしてセルロースアセテートブチレート (CAB) を用い、中空糸膜を作成し、アルギン酸ナトリウム水溶液を用いて外圧式定圧ろ過実験を行った。

この結果、外側表面に緻密層、内側表面に多孔構造を有する非対称性膜 (TIPS1) が、耐ファウリング性、逆洗効果ともに高いことが明らかとなった。

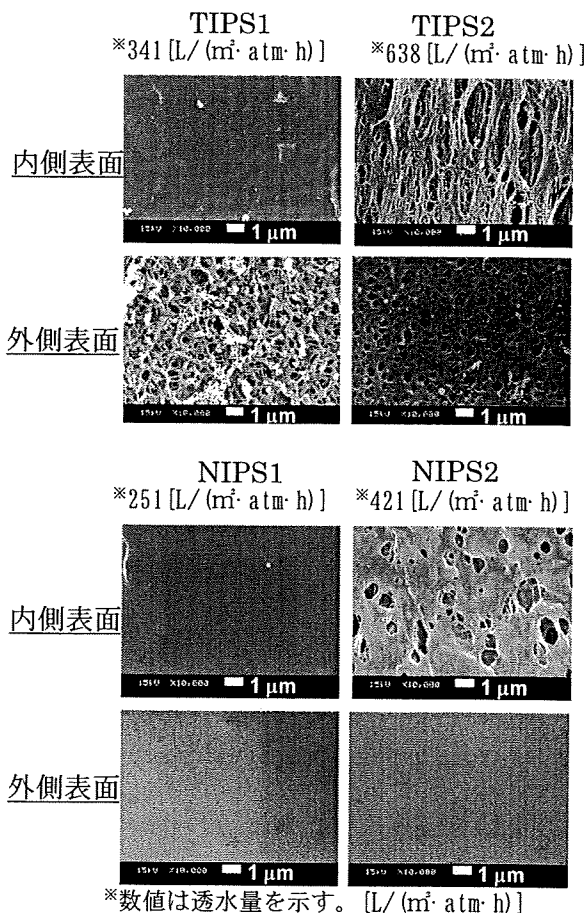


図 4 製作した中空糸膜の外表面及び内表面の SEM 画像

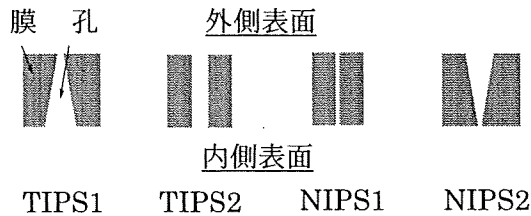


図5 膜構造のモデル図

## 2. 膜ろ過施設の維持管理の高度化等

平成21年度は平成20年度においてアンケート調査・現地調査及び国内外の文献調査により抽出した課題（膜損傷の確実な検知基準、膜交換の判断の目安、膜交換計画時期の予測方法、膜交換後の運転方法、寒冷地での凍結対策、結露対策、落雷による施設の停電対策及び通信設備の故障対策等）に対して、膜プラントメーカー及び水道事業体へ実態調査等を行うことによって、維持管理高度化マニュアル(案)への記載内容を検討した。

### 2.1 実態調査対象

実態調査を行った膜プラントメーカー及び水道事業体について以下に示す。

#### 1) 膜プラントメーカー

本研究の研究協力者である膜プラントメーカー7社に対して、所有している膜の運転方法について実態調査を行い、回答を得ることができた。各社の膜仕様は下表のとおりである。

表1 各社膜仕様

企業名	膜種	膜材質	膜モジュール種類	膜モジュール形式
旭化成ケミカルズ	MF	PVDF	中空糸型	ケーシング方式
	UF	PAN	中空糸型	ケーシング方式
オルガノ	MF	PVDF	中空糸型	ケーシング方式
	UF	PES	中空糸型	ケーシング方式
クボタ	UF	CA	中空糸型	ケーシング方式
	MF	セラミック	管型	槽浸漬方式
神鋼環境ソリューション	MF	PVDF	中空糸型	ケーシング方式
	MF	PVDF	中空糸型	ケーシング方式
水道機工	UF	PVDF	中空糸型	ケーシング方式
	MF	PTFE	中空糸型	槽浸漬方式
前澤工業	UF	CA	中空糸型	ケーシング方式
	MF	セラミック	モノリス型	ケーシング方式

### 2) 水道事業体

水道事業体に対する維持管理状況の実態調査は、東京都、神奈川県及び松山市に対してヒアリング調査を実施した。以下に、各水道事業体においてヒアリング対象とした膜ろ過設備を示す。

表2 膜仕様（東京都）

浄水場名	膜種	膜材質	膜モジュール種類	膜モジュール形式
A	UF	PAN	中空糸型	ケーシング方式
B	MF	セラミック	モノリス型	ケーシング方式
C	MF	セラミック	モノリス型	ケーシング方式
D	UF	PAN	中空糸型	ケーシング方式
E	UF	PAN	中空糸型	ケーシング方式
F	MF	セラミック	モノリス型	ケーシング方式
G	UF	PVDF	中空糸型	ケーシング方式
H	MF	PVDF	中空糸型	ケーシング方式

表3 膜仕様（神奈川県）

浄水場名	膜種	膜材質	膜モジュール種類	膜モジュール形式
I	UF	PAN	中空糸型	ケーシング方式
J	UF	CA	中空糸型	ケーシング方式
K	UF	CA	中空糸型	ケーシング方式
L	UF	CA	中空糸型	ケーシング方式
M	UF	CA	中空糸型	ケーシング方式
N	UF	CA	中空糸型	ケーシング方式
O	MF	PVDF	中空糸型	ケーシング方式
P	MF	PVDF	中空糸型	ケーシング方式

表4 膜仕様（松山市）

浄水場名	膜種	膜材質	膜モジュール種類	膜モジュール形式
Q	MF	PVDF	中空糸型	ケーシング方式

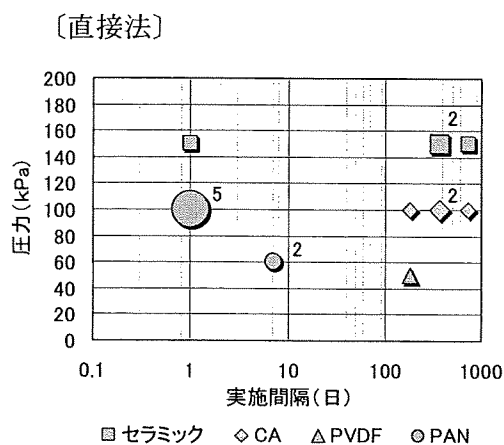
### 2.2 維持管理高度化マニュアル(案)への記載内容の検討

各々の課題について、具体的な検討内容を以下に示す。

#### 1) 膜損傷検知方法

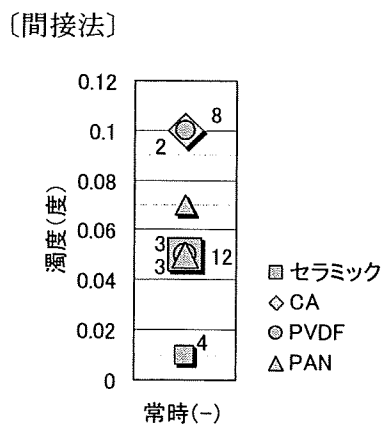
- 直接法及び間接法に含まれる方法について、我が国で実施されている試験方法を収集し、膜損傷検知レベルの観点と、オンライン若しくはオフラインの観点等から整理した。
- 直接法に対しては、圧力保持試験、真空減衰試験、拡散空気流量試験等について、間接法に対しては、濁度検知試験と微粒子検知試験について、特徴、長所、短所、留意事項の取りまとめを行った。

- 膜損傷検知手法の検出感度について、直接法（圧力保持試験）においては圧力設定値が、間接法（濁度検知試験）においては濁度設定値が標準化されていないことを確認した。



(※図中の数字はデータ数を示す)

図6 膜種別にみた圧力保持試験における実施間隔と印加圧力の分布状況



(※図中の数字はデータ数を示す)

図7 膜種別にみた濁度検知試験における濁度設定値の分布状況

## 2) 膜交換

- 膜交換を予測するための判断項目としては、圧力保持試験の圧力減衰速度、薬品洗浄間隔、膜差圧上昇状況、薬品洗浄後の回復性、膜損傷本数、及び中空糸の伸度が用いられていることを確認した。今後、これらの中から、膜交換時期を予測するために蓄積しておくべき判断項目の検討を行い、維持管理高度化マニュアル（案）にその活用方法を示す予定で

ある。

- 膜交換直後の運転開始時における操作上の留意点、及び封入液の取り扱いについて取りまとめた。

## 3) 薬品洗浄

- 膜モジュール本数、ユニット数、及び地域性を考慮する必要があるが、処理規模に応じた薬品洗浄方法について、標準的なものとして以下のように整理した。

表5 膜型式別・浄水量規模別にみた薬品洗浄方法

膜型式	浄水量 < 5000 m <sup>3</sup> /日	5000 m <sup>3</sup> /日 ≤ 浄水量
有機膜ケーシング方式	オフサイトオフライン オンサイトオフライン	オンサイトオンライン
有機膜槽浸漬方式	オンサイトオンライン	
無機膜ケーシング方式	オンサイトオンライン	
無機膜槽浸漬方式	オンサイトオンライン	

- 薬品洗浄をオンサイトオンラインで行う場合における、膜モジュールからの薬液の浄水系への漏洩防止策、薬品洗浄ユニットにおける留意事項、及び薬品の取り扱いについて取りまとめた。

## 4) 膜の保管方法

- 膜種による保管方法の違いについて以下のように取りまとめた。

表6 膜種別にみた膜の保管方法

膜種	保管状態	封入液	留意事項
酢酸セルロース膜	湿潤	1%重亜硫酸ナトリウム溶液	凍結しないように室温調整を行う
PVDF膜	湿潤	次亜塩素酸ナトリウム溶液	凍結しないように室温調整を行う
PTFE膜	乾燥	-	膜が損傷を受けないように養生を行う
無機膜	乾燥	-	膜が損傷を受けないように養生を行う

## 5) その他

- 寒冷地での凍結対策、結露対策、落雷による施設の停電対策、及び通信設備の故障対策等について、維持管理高度化マニュアル（案）に記載する内容を取りまとめた。

### 3. 浄水プロセスへの紫外線処理の適用

#### 3.1 地表水への適用法の検討

##### 1) 紫外線処理の適用位置

米国環境保護庁の「紫外線消毒ガイダンスマニュアル」では、ろ過を行っている水道システムにおける紫外線処理の一般的な適用位置として、個別ろ過水の配管部分（浄水池の上流側）、集ろ過水の下流側（浄水池の上流側）、浄水池の下流側の3箇所を挙げている。それぞれの適用位置の特徴を表7に示す。

表7 紫外線処理の適用位置と特徴

設置場所	特徴
個別ろ過水の配管部分（浄水池の上流側）	長所 建物の新設が不要であり、建設費が低減することとなる。 追加の損失水頭は紫外線反応槽によるものだけであり水理学的な影響は少ない。
	短所 ろ過池ギャラリーの多くは、紫外線反応槽等を設置するための十分なスペースを有していない。また環境条件（例えば、湿気）が適切ではない場合がある。 浄水処理施設の操作が複雑となり操作上の柔軟性を制限する。 ろ過池の数が紫外線反応槽の数を支配する。
集ろ過水の下流側（浄水池の上流側）	長所 紫外線反応槽の操作は、個別ろ過の操作からほとんど独立しており、設計及び操作に柔軟性がある。 膜ろ過、加圧ろ過又は中間増圧ポンプが用いられていなければ、一般に、サージ及び圧力変動の配慮はいらない。
	短所 追加の建物と空間が必要となる。 ほかの方法より、管及び管継手による損失水頭が大きくなり、中間増圧ポンプを必要とすることがある。
浄水池の下流側	長所 ろ過池と浄水池の間で紫外線装置を設置する空間又は水頭が十分でない場合であっても、紫外線反応槽の設置が可能である。
	短所 流速は需要の変化により密接に関連していることから、流速の変動が大きい。 高圧送水ポンプの近傍に設置することとなり、ウォーターハンマーの懸念がある。 ランプ破損が生じた場合、破損による水銀及び石英を回収する能力に欠ける（配水システムの構成に依存する）。

##### 2) 紫外線処理前の濁度条件

「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」では、ろ過池等の出口濁度を0.1度以下に維持することとしているが、地表水を原水とする場合における紫外線処理の

適用に当たっては、紫外線処理の効果に支障がない範囲で濁度要件を定めることが考えられる。そこで、海外における「濁度に係る水質基準」及び地表水を対象とした紫外線処理が既に導入されている国における「浄水処理に係る濁度要件」について調査し、整理を行った（表8及び表9）。

表8 濁度に係る水質基準

基準値等	
WHO 水道水質ガイドライン	5NTU 未満であれば、通常は消費者に受け入れられる。 効果的な消毒のためには、濁度の中央値は0.1NTU未満であるべき。
EU 飲料水水質指令	消費者に受け入れられ、異常な変化がないこと。 注：地表水を処理する場合にあっては、前処理において1.0NTUを超えない値を目指さなければならない。
日本	水道水質基準：2度以下。 水質管理目標設定項目：1度以下。

表9 浄水処理に係る濁度要件

濁度要件	
米国環境保護庁 地表水処理規則 (SWTR)	在来型ろ過又は直接ろ過を用いるシステムは、如何なるときも濁度が1NTUを超えてはならず、また、少なくともサンプルの95%は0.3NTU以下でなければならない。 在来型ろ過又は直接ろ過以外のろ過を用いるシステムは、如何なるときも濁度は5NTU以下でなければならない。
ドイツガス水道科学技術協会 実施規則 w290 水道水の消毒	地表水を使用する場合、微粒子分離ステージの流出水における濁度値の範囲は0.1~0.2FNUを目標とし、可能であればその値より低く抑えるべき。 湧水及び地下水を用いる場合、濁度の範囲が明らかに1.0FNUを下回っているなら、濁質の処理、微粒子の除去は、一般には必要としない。
日本 クリプト等対策指針	ろ過池等の出口の濁度を0.1度以下に維持。

※1度≒0.7NTU、NTU≒FNU

##### 3.2 紫外線照射試験

表10に照射試験の条件を示す。試験水は2条件とし、条件1はトリハロメタン（以下、THM）、臭素酸及び塩素酸の生成、条件2は臭素酸及び塩素酸の生成を確認するために設定した。

表 10 紫外線照射試験条件

項目	条件
試験方法	循環照射式
紫外線ランプ	低圧、中圧
照射量	0、50、100、200、500 mJ/cm <sup>2</sup>
試験水	条件 1 残留塩素:1 mg/L 臭化物イオン:0.5 mg/L TOC:3 mg/L pH:7.0
	条件 2 残留塩素:1 mg/L 臭化物イオン:0.5 mg/L TOC:0 mg/L pH:7.0

図 8～図 11 に紫外線照射試験の結果を示す。なお、図中の対照とは、紫外線を照射せずに、低圧紫外線ランプの照射時間と同じ時間、装置内を循環させた時の結果である。

1) 臭素酸について

臭化物イオンと残留塩素の共存下で紫外線を照射すると臭素酸が生成される。臭素酸の生成量は、臭化物イオン濃度、残留塩素濃度、紫外線照射量、pH に依存する。本試験では、TOC 3 mg/L との共存下では臭素酸は生成しないという結果が得られた。

浄水処理として実際に導入される紫外線照射装置（以下、実装置）における照射量の最大値は 30～40 mJ/cm<sup>2</sup> 程度と考えられが、本試験の結果から、実装置において臭素酸に係る水道水質基準を十分満足できる。

2) トリハロメタンについて

紫外線照射によって THM の生成が促進される。THM の生成が進み、残留塩素が消費された後は、THM は紫外線照射によって分解され、濃度が下がる。

本試験では、照射量 50 mJ/cm<sup>2</sup> の場合、総 THM に係る水道水質基準 0.1 mg/L を超過していないが、非常に高い値であった。理由として、紫外線照射前つまり塩素添加 30 分後の段階で既に総 THM が生じていること、紫外線透過率は 70% 程度と紫外線照射に適さない条件であったことが挙げられる。

3) 塩素酸について

TOC と残留塩素が存在すると、塩素酸は紫外線照射によってごくわずかに増加するが、実装置における照射量では、次亜塩素酸ナトリウムの品質管理が適切に行われていれば、問題となるレベルにはならない。

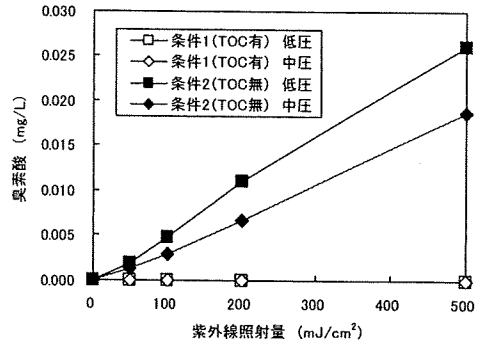


図 8 紫外線照射による臭素酸の生成

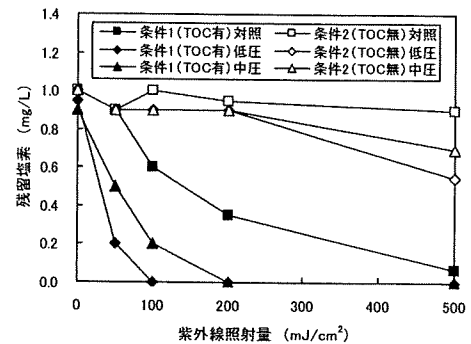


図 9 紫外線照射時の残留塩素の挙動

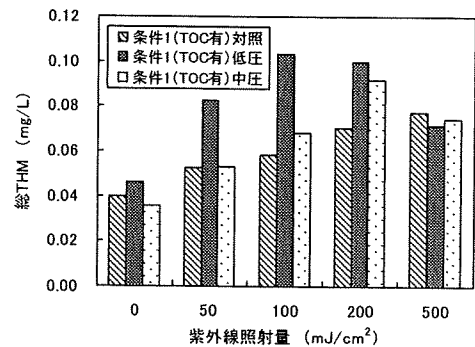


図 10 紫外線照射時の総 THM の挙動

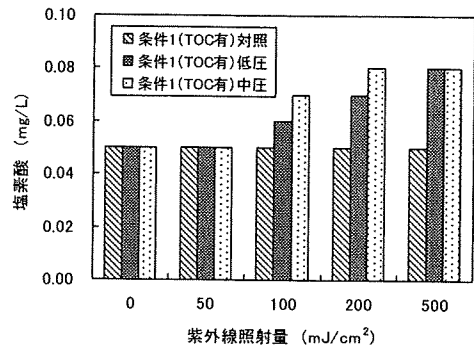


図 11 紫外線照射による塩素酸の生成  
※定量下限値 (0.05 mg/L) 以下は 0.05 として図示

### 3.3 紫外線処理による返送水・排水へのクリプトスポリジウム等対策に関する研究

#### 1) 紫外線照射における濁質成分の影響

紫外線処理を、膜ろ過洗浄の返送水・排水、あるいは地表水を原水として急速ろ過を採用している施設等へ適用する場合には水に含まれる様々な共存物質の影響が不可避となる。

本研究では、大腸菌ファージMS2をモデルウイルスとして用い、紫外線処理の効果へ及ぼす濁質の影響を調べ、そのモデル化を試みた。ここでは、一例として、濁質としてカオリンを用いた回分式紫外線照射における実験結果を図12に示す。

また、浄水場逆洗水に対してMS2ファージを添加して紫外線照射を行い、照度比(=生残率と試料吸光度から計算される紫外線照度÷紫外線照度の実測値)を求めた結果を図13に示す。なお、図中のプロットが浄水場逆洗水において得られた不活化速度から求められた結果であり、図中の破線がカオリンを用いた結果の例である。

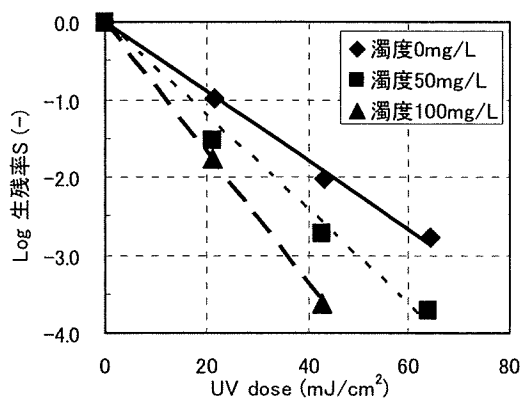


図12 濁度を含む試料に対する紫外線照射の結果の一例

#### 2) トリハロメタンの紫外線による分解性

市販のトリハロメタン標準液を希釈し、回分式で低圧ランプを光源とする254nmの紫外線を照射した。紫外線量は1,000~10,000mJ/cm²とした。実験結果から求めたトリハロメタン成分ごとの濃度減少の反応速度定数を図14に示す。

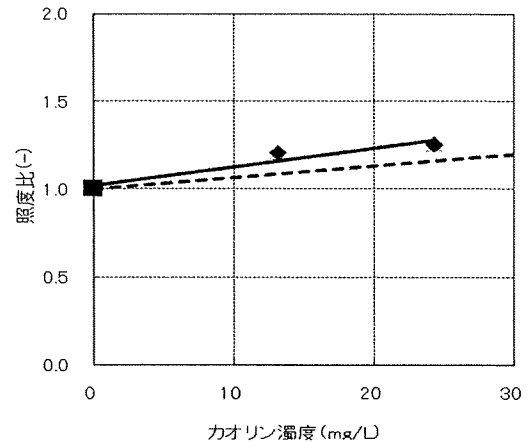


図13 浄水場逆洗水に対する紫外線消毒の結果

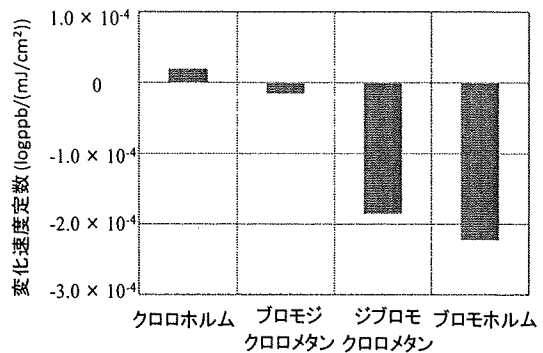


図14 トリハロメタン成分ごとの紫外線による濃度減少反応速度定数

### 3.4 病原微生物への紫外線不活化の波長依存性と浄水水質との関連

本実験の広波長域光源として用いたパルス Xe ランプの照射量分布を iodide/iodate 溶液を用いた化学線量計実験によって測定した。その結果を図15に示した。

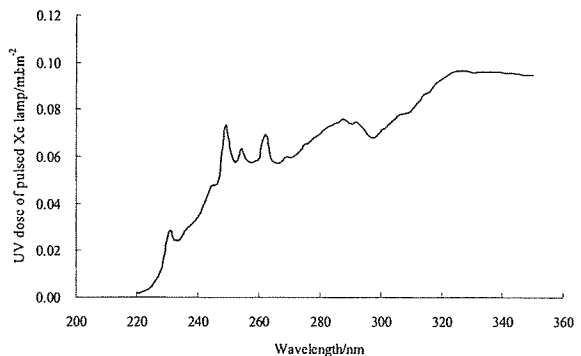


図15 パルスキセノンランプの照射量分布

バンドパスフィルタを用いて波長を絞った場合の不活化効果について細菌1種類、ウイルス(大腸菌ファージ)4種類の結果を図16に示す。ここでは254nmの対数残存率を1とした相対対数残存率を算出した。

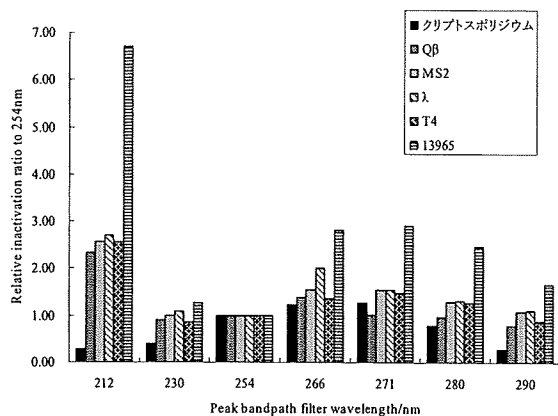


図16 *Cryptosporidium parvum*, MS2, Qβ, λ, T4, 及び大腸菌(NBRC 13965)の各バンドパスフィルタ透過光における相対不活化率分布 (*C. parvum*の値のみ文献値)

表11 各サンプルの相対不活化効果の低減率(%) (括弧内は、各浄水場の最小スペクトルの試料との相対効果)

浄水場名	月	200~400 nmの吸光スペクトルからの推定				
		A <sub>254</sub> からの推定	クリプト	T4	MS2	E. Coli
A	9	-16 (-8)	-18 (-7)	-26 (-6)	-19 (-6)	-31 (-6)
	10	-13 (-5)	-16 (-5)	-24 (-4)	-18 (-4)	-29 (-5)
	11	-11 (-3)	-13 (-1)	-22 (-1)	-15 (-1)	-27 (-1)
	12	-8 (-)	-11 (-)	-21 (-)	-14 (-)	-26 (-)
B	9	-8 (-1)	-11 (0)	-20 (+1)	-14 (0)	-25 (+1)
	10	-12 (-5)	-14 (-4)	-24 (-4)	-17 (-3)	-29 (-4)
	11	-9 (-3)	-13 (-2)	-22 (-2)	-16 (-2)	-27 (-2)
	12	-7 (-)	-10 (-)	-21 (-)	-14 (-)	-26 (-)
C	9	-3 (-1)	-8 (-1)	-19 (0)	-13 (0)	-25 (-1)
	10	-4 (-2)	-9 (-2)	-20 (-1)	-14 (-1)	-26 (0)
	11	-2 (-)	-7 (-)	-19 (-)	-13 (-)	-25 (-)
	12	-2 (-1)	-8 (-1)	-19 (0)	-13 (0)	-25 (0)
D	10	-3 (-)	-10 (-)	-22 (-)	-15 (-)	-27 (-)
	11	-4 (0)	-10 (0)	-22 (0)	-15 (0)	-27 (0)
	12	-3 (0)	-10 (0)	-22 (0)	-15 (0)	-27 (0)
E	11	-17 (-2)	-20 (-1)	-28 (-1)	-21 (-1)	-33 (-1)
	12	-15 (-)	-18 (-)	-27 (-)	-20 (-)	-32 (-)

図16の結果を用いて、吸光度が0 cm<sup>-1</sup>のとき(実験室で各微生物の紫外線感受性の

計測を行う場合の条件)を100%として、各浄水の波長スペクトルデータから推定した不活化効果の低減率を表11に示す。表内には254nmの吸光度のみで効果を推定した場合(低圧ランプによる効果を推定する場合)の値も示した。また、各浄水場の最も吸光スペクトルが低い月を100%と仮定した場合の、他の月の低減率を括弧内に示した。

## D. 考察

### 1. 水道事業体のニーズに合った浄水膜の性能・仕様等の検討

#### 1.1 膜ファウリング発生機構に関する知見の集積

本研究では、特性の大きく異なる有機物を実水道水源から回収し、有機物中のどのような画分が不可逆的膜ファウリングの発生に関与するかを検討した。従来から膜ファウリングへの関与が指摘されている疎水性画分(フミン質)は、可逆的膜ファウリングは発生させるものの、不可逆的ファウリングの発生は限定されたものであった。

水道水源のタイプによらず、多糖類等からなる親水性画分が不可逆的膜ファウリングの主な原因成分であることが明らかとなった。以上の結果から、多糖類による膜ファウリングの関与についての更なる解明が今後の課題となった。

#### 1.2 浄水処理に適した膜の材質、製造方等の検討

二つのアプローチにより、表面構造がファウリング特性に対する影響を検討した。

異なる相分離法で中空糸膜を作製することにより、透水量が同じであっても膜構造によってファウリング特性が異なることがわかった。膜表面の構造とファウラントの大きさが、ファウリング挙動に強い相関を持っていることが示唆された。

また、緻密層と多孔構造を持つ表面を任意に組み合わせた膜を用いてファウリング特性評価を行った。外表面に緻密層を持つ場合に、耐ファウリング性、逆洗効果ともに高いことが明らかとなった。

このように、MF, UFという区分でなく、具体的な表面構造とファウリング特性の相



関を明らかにした。本知見は、高い耐ファウリング性を持つ分離膜を作製する際の基礎的な設計指針として非常に有用であるといえる。

## 2. 膜ろ過施設の維持管理の高度化等

平成 21 年度は、平成 20 年度、アンケート調査及び国内外の文献調査により明らかとなった維持管理上の課題（膜損傷の確実な検知方法、膜交換の判断の目安、膜交換計画時期の予測方法、膜交換後の運転方法、寒冷地での凍結対策、結露対策、落雷による施設の停電対策及び通信設備の故障対策等）について維持管理方策の向上の観点から、平成 22 年度の維持管理高度化マニュアル（案）の作成に向けた記載内容の検討を進めた。

特に、膜損傷検知については、直接法及び間接法に含まれている方法、それぞれについて、特徴、長所、短所、留意事項を作成することができた。検出感度については、直接法においては圧力設定値が、間接法においては濁度設定値が各種各様に設定されていることから、今後は、実験等により設定値を検証し、維持管理高度化マニュアル（案）に示すデータを見出していくことが必要である。

また、膜交換については、膜交換を予測するための判断項目として、圧力保持試験の圧力減衰速度、薬品洗浄間隔、膜差圧上昇状況、薬品洗浄後の回復性、膜損傷本数、及び中空糸の伸度が用いられていることを明らかにした。これらの中から、膜交換時期を予測するために蓄積しておくべき判断項目の検討を行い、維持管理高度化マニュアル（案）にその活用方法を示すことが今後の研究課題である。

## 3. 浄水プロセスへの紫外線処理の適用

### 3.1 地表水への適用法の検討

紫外線処理の適用位置に関して、米国環境保護庁の「紫外線消毒ガイダンスマニュアル」から情報を収集し、適用位置ごとの特徴を整理した。得られた知見は、平成 22 年度に作成する紫外線処理導入・維持管理マニュアル（案）に反映する予定である。

また、地表水を水源とする施設へ紫外線処理を適用する場合の濁度条件として、

「EU 飲料水水質指令」の“1.0NTU を超えない値”、「WHO 水道水質ガイドライン」の“濁度の中央値は 0.1NTU 未満”、「米国環境保護庁」の“サンプルの 95%は 0.3NTU 以下”は一つの目安になると考えられた。

### 3.2 紫外線照射試験

紫外線照射試験の結果、臭化物イオン濃度 0.5 mg/L 以下、残留塩素 1 mg/L 以下では、実装置において臭素酸に係る水道水質基準を十分満足できることが確認できた。また、紫外線処理の対象水に TOC 成分が含まれる場合には、臭素酸が生成されない。これは、残留塩素が TOC 成分と優先的に反応して THM を生成し、臭素酸生成が抑制されるためと推測された。

通常の原因水水質の範囲内では水道水質基準を超過することは考えにくい。塩素処理の後段に紫外線処理を設置する場合には、臭素酸及び THM の生成に留意が必要である。したがって、水源が地下水の場合には、紫外線処理の適用位置は塩素処理の前段が基本となる。水源が地表水の場合には、前塩素、中間塩素処理により残留塩素が存在することが考えられるので、紫外線処理の適用位置は、凝集沈澱ろ過等の後段つまり TOC 成分を極力低減した後が基本となる。

### 3.3 紫外線処理による返送水・排水へのクリプトスポリジウム等対策に関する研究

紫外線処理の効果に及ぼす濁質の影響について、濁質としてカオリンを用いて調べた結果、実験を行った範囲では、濁質は紫外線を反射することで処理効率を高める効果を示した。浄水場逆洗水に含まれる濁質も同様の効果を示し、照度比（＝生残率と試料吸光度から計算される紫外線照度÷紫外線照度の実測値）は1よりも大きい値となった。モデル化においては、一次反射光のみを考慮することで、おおむね良好な関係式が得られたが、より一般的な表現にするためにはさらに実験が必要である。

トリハロメタン成分の紫外線による分解性を調べた結果、臭素数が多いものほど紫外線吸収が大きく、分解速度が大きいことが明らかとなった。紫外線によるトリハロメタン成分の分解は、紫外線の吸収によるものであることが強く示唆された。

### 3.4 病原微生物への紫外線不活化の波長依存性と浄水水質との関連

図 16 より、クリプトスポリジウムが 212 nm 付近での相対不活化率が低いのに対し、ウイルスである Q $\beta$ 、MS2、 $\lambda$ 、T4、及び細菌である *E.coli* K12(NBRC 13965)は、いずれも相対的な不活化率が高いことが分かった。

また表 11 からは、254nm 吸光度での低減予測値は中圧紫外線ランプでは、クリプトスポリジウムには有効であるが、その他のウイルス・細菌種においては不十分であると考えられた。また、浄水場ごとの変動では、いずれの生物種の場合でも、多くても数%以内であった。

## 【管路部門】

### A. 研究目的

水道は社会基盤施設として重要な役割を果たしており、より安全・安心な水道水の供給が求められている。このような背景の中、老朽化に伴う更新が必要となる基幹水道施設への対策や、近年頻発する地震等への対策が急務といえる。具体的には、老朽化や地震被害による断水・漏水等の健康リスクを防止・軽減するための手法の確立が求められており、これらを実現するべく、基幹水道施設の機能診断手法の検討、地震による管路被害の予測等、健康リスク低減のための手法の確立を目的とし、研究活動に取り組んだ。

具体的な研究活動は以下に述べる研究テーマについて実施し、平成 20 年度～平成 22 年度の 3 か年計画で実施している。

#### 1. 基幹水道施設の機能診断手法の検討

国内の基幹水道施設（取水・導水・浄水・送水・配水施設）は、高度成長期にその多くが整備され、以後 40 年余りが経過し現在に至っている。こうした中、多くの基幹水道施設において老朽化が顕在化し、更新を迫られている。一方、水道事業者の経営環境は、給水人口減少による料金収入の減少、

少子化に伴う人的資源の減少等、厳しい状況が続いている。このような背景の中、老朽化した基幹水道施設の機能について効果的な診断を行い、シビルミニマムを満たしかつ効率的な更新構想を立案できる手法が求められている。

したがって、本研究では、多様な水道事業運営環境における水道施設の更新に関するニーズをヒアリングやケーススタディによって把握し、大規模から中小規模のすべての水道事業体において利用可能な水道施設の機能診断手法の検討を行うことにより、水道事業体の確実かつ効果的な更新構想立案を支援することを目的とする。

#### 2. 地震による管路被害の予測等

兵庫県南部地震における水道施設の甚大な被害を契機に、水道施設における地震対策の重要性が再認識されることとなったが、この地震以後も、新潟県中越地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震等、各地で地震が頻発しており、その重要性はますます高まっている。水道管路の地震被害は、継手の抜けや管体破損による断水、漏水の発生が主であり、兵庫県南部地震の管路被害実績をもとに、管路の地震被害予測手法が開発されてきた。

このような背景のもと、以下のような課題が顕在化してきている。

- ・ 近年の地震被害は、兵庫県南部地震のような都市部の過密な管路における被害発生だけではなく、中小規模都市、山間部の非過密地域においても管路被害が多発している。
- ・ 従来の地震による管路被害予測手法は、管種別にその被害率が算出されるものであるが、近年の地震被害実績の解析により、管種だけではなく、継手構造にも大きく影響されることが明らかになっており、これらへの対応が求められている。

本研究では、これらの課題を解決すべく、水道事業体から被害予測手法のニーズを調査し、その対応策を検討するとともに、近年の地震（新潟県中越・能登半島・新潟県中越沖地震）による管路被害を解析して、水道事業体の的確な地震対策を実施可能とする、新たな被害予測手法を開発することを目的とする。

## B. 研究方法

研究代表者、研究分担者のもと、学識者、水道事業体、民間企業の技術者等で構成される研究協力者により管路研究班を設置し、そのもとに研究課題に応じて、2つのワーキンググループ（機能診断ワーキンググループ、地震ワーキンググループ）を設け、2つのテーマについて研究を進めた。

以下、2つのテーマごとに具体的な研究方法を示す。

### 1. 基幹水道施設の機能診断手法の検討

#### 1.1 管路の機能診断マニュアル(案)の作成

平成21年度に作成した埋設管路の機能診断マニュアル(原案)に加え、水管橋の機能診断マニュアル(原案)を構築し、これらをもとに、既に管路更新計画を策定済みの大中規模水道事業体(宇部市、長崎市、佐世保市)においてケーススタディを実施し、同マニュアルの妥当性確認及び診断手法の改善を試み、管路の機能診断マニュアル(案)を作成した。

- ・宇部市：西が丘配水ブロック(広瀬浄水場系統)、マッピングシステムによる配管図管理
- ・長崎市：道ノ尾水系、CAD図による配管図管理
- ・佐世保市：北部水系(山の田・大野)、CAD図による配管図管理

また、小規模レベルの事業体への適用を可能とすべく、簡易水道を統合した大阪府能勢町においてもケーススタディを実施した。

- ・能勢町：東山辺配水池系、マッピングシステムによる配管図管理

#### 1.2 浄水施設等の機能診断マニュアル案の作成

平成20年度に作成した浄水施設等の機能診断マニュアル(原案)では未検討であった全体機能評価シート・個別機能評価シート・改善必要度算出シートの改善を行い、浄水施設等の機能診断マニュアル(案)を作成した。

ケーススタディは、以下に示す宇部市、岡山市、豊中市、長崎市、大阪府島本町の

浄水場において実施し、同マニュアル(案)の課題点の抽出及びその改善を行った。

- ・宇部市広瀬浄水場：粉末活性炭吸着設備－高速凝集沈殿池－急速ろ過池－浄水池 ほか
- ・長崎市道ノ尾浄水場：粉末活性炭吸着設備－凝集池－薬品沈殿池－急速ろ過池(複層)－浄水池 ほか
- ・豊中市芝原浄水場：高速凝集沈殿池－急速ろ過池－浄水池 ほか
- ・大阪府島本町大藪浄水場：エアレーション設備－凝集池－薬品沈殿池－急速ろ過池－浄水池 ほか
- ・岡山市大内浄水場：エアレーション設備－凝集池－薬品沈殿池－急速ろ過池 ほか
- ・岡山市川口浄水場：凝集池－薬品沈殿池－急速ろ過池－浄水池 ほか

### 2. 地震による管路被害の予測等

#### 2.1 管路被害データベースの構築

管路被害予測式の構築に当たっては、従来の被害予測式と同様に、次式に示すように、標準被害率に各要因の補正係数及び管路延長を掛けることによって被害件数を算出する手法を採用することとしている。

管路被害件数(箇所) =

$$S_d \times C_p \times C_d \times C_g \times C_l \times C_k \times L$$

$S_d$  : 標準被害率(箇所/km) =  $a \cdot V^b$

$V$  : 地表面最大速度(kine)

$a, b$  : 係数

$C_p$  : 管種・継手による補正係数

$C_d$  : 口径による補正係数

$C_g$  : 微地形分類による補正係数

$C_l$  : 液状化程度による補正係数

$C_k$  : 傾斜等・地形による補正係数

$L$  : 管路延長(km)

標準被害率の検討に先立ち、平成21年度は、被害予測式における補正係数の検討を行うこととした。

この検討を実施するために、平成20年度は平成16年新潟県中越地震、平成19年度能登半島地震、新潟県中越沖地震の水道管路被害データを収集・分析したが、小口径管の布設延長が大きく、被害数も小口径管に多いことから、大口径管の被害予測にはこれらのデータだけでは十分でないことが

明らかとなった。このため、平成 21 年度は平成 7 年兵庫県南部地震における神戸市、芦屋市、西宮市の被害データを改めて精査し、データベースに追加した。それらを GIS 上の管路図に被害地点としてプロットするとともに、管路属性である管種、口径、継手種類などを入力するとともに、メッシュごとの微地形分類、地震動強さを入力し、データベースを構築した。

## 2.2 データ解析

構築したデータベースを基に、管路被害率とこれに影響する要因（管路属性、微地形分類、地震動強さ等）との関係及び影響度合いについて、クロス集計及び多変量解析によってデータ解析を行い、管路被害予測式におけるこれらの要因別の補正係数を求めることとした。

### 1). クロス集計

GIS を利用して電子化された管路図に被害地点をプロットすることにより、被害率（箇所/km）が管種、口径、継手種類ごとに算出され、更にこれに電子化された微地形分類図と組み合わせることにより、微地形分類ごとの被害率も算出することができる。これらの電子データをクロス集計することにより、微地形分類、管路属性である管種、口径、継手種類の各要因が被害率にどのように関係しているのかを分析した。

### 2). 多変量解析

管路の被害予測式においては被害率が目的変数となるが、被害率には微地形分類、地震動強さ、管路属性である管種、口径、継手種類の各要因が複雑に影響し合っているので、それぞれの要因が被害率にどの程度影響しているのかを、多変量解析によって定量的に分析した。本解析では目的変数である被害率が量的変数であるので、数量化理論第 I 類による多変量解析とした。

## C. 研究結果

### 1. 基幹水道施設の機能診断手法の検討

#### 1.1 管路機能診断マニュアル(案)の作成

データ整理状況が不十分な水道事業者でも基幹管路の機能診断を可能な手法とするため、具体的には「全体機能評価シート（カルテシート 1）」「管路別機能評価シート（カルテシート 2）」及び「改善必要度算出シ

ト（カルテシート 3）」を作成した。

#### 1) 全体機能評価シート（カルテシート 1）

全体機能評価シートについては、取水・導水・浄水・送水・配水施設ごとに評価指標を幾つか設定し、施設全体の評価を可能とした。また、評価指標は、施設更新に特化した少数指標による簡便な「クイック評価」、及び維持管理等を含めた総合評価が可能な「標準評価」の 2 つのグループに区分し、人的・経済的に余裕がない事業者においても一定の機能評価・診断が可能となるように工夫を施した。

区分	PI/手引 No.	評価指標	得点	グラフ
安心	13	水質汚染リスク	3点	■■■■■
安定	8	予備水源確保率	0点	■
安定	11	緊急時取水対応度	1点	■■■
安定	12	漏水発生リスク	3点	■■■■■
安定	16	取水事故・故障リスク	3点	■■■■■
安定	17	停電リスク	3点	■■■■■
安定	2208	ポンプ所耐震施設率	0点	■
安定	2216	自家発電設備容量率	0点	■
持続	14	水源管理充実度	1点	■■■
持続	15	取水施設経年度合	1点	■■■

図 17 取水施設のカルテシート 1 の例（標準評価）

図 17 に取水施設の全体機能評価シート（カルテシート 1、標準評価）の例を示す。

#### 2) 管路別機能評価シート（カルテシート 2）

管路別機能評価シートについては、平成 20 年度に作成した診断シート原案をもとに、ケーススタディによる課題の抽出・改善及び妥当性の確認を行った。

管路別機能評価シートは「埋設管路用」と「水管橋用」の 2 種類を作成した。また、大規模事業者から中小規模事業者において、ケーススタディを繰り返し実施し、設問の表現方法やその事業体に固有の機能上の問題点を問う特別な事項の評価についても、平成 20 年度に作成した原案シートを改善した。特に、データ管理レベルが低い水道事業者等が使用する場合においても、機能評価を可能とするように、設問を A（必須項目）及び B（データ保有状況や技術レベルに応じて実施）で区分するなどの工夫を施した。図 18 に埋設管路の機能評価シートの例を示す。