

厚生労働科学研究研究費補助金

健康科学総合研究事業

健全な水循環を考慮した地域スケールにおける
浄水・管路技術に関する研究

平成16年度 総括研究報告書

主任研究者 藤原 正弘

平成17（2005）年 4月

目 次

I. 総括研究報告書	
1. 健全な水循環を考慮した地域スケールにおける 浄水・管路技術に関する研究（浄水技術部門） 藤原正弘	----- 1
2. 健全な水循環を考慮した地域スケールにおける 浄水・管路技術に関する研究（管路技術部門） 藤原正弘	----- 13
II. 研究成果の刊行に関する一覧表	----- 18
III. 研究成果の刊行物	----- 別刷

厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）
総括研究報告書

健全な水循環を考慮した地域スケールにおける浄水・管路技術に関する研究
（浄水技術部門）

主任研究者 藤原 正弘 （財）水道技術研究センター理事長

【環境影響低減化浄水技術開発】

研究要旨

水道事業における消費エネルギー・発生汚泥の削減、水資源の有効利用などは、地球温暖化を防止し、健全な水循環の形成が促進され、また、水源水質の監視は、水道水質の安全性を確保し、人間の生命・健康へのリスクの軽減を図るため大変重要なことから、健康科学総合研究事業においてこれらの研究を実施する必要がある。

本研究では、水源水質の監視に関する研究のほかに、「消費エネルギー・発生汚泥量の削減に資する研究」において、大容量膜処理技術を開発することで、環境への負荷を低減するとともに、クリプトスポリジウム等の病原性微生物を確実に除去し、健康へのリスクの軽減を図る。

さらに、健康への影響が懸念されるアルミニウム系凝集剤の使用量の削減や代替凝集剤の使用についての技術開発により、発生汚泥量を削減するなど環境負荷を低減するとともに、健康へのリスクの軽減に寄与するものである。

A. 研究目的

1. 浄水第1研究グループ委員会

水源水質に多少の差はあるものの比較的清浄な水源水質である小規模浄水場では既にクリプトスポリジウム対策として膜ろ過技術が有効であることが実証され、実施の普及が順調に推進している状況にある。しかしながら、未だ高度浄水処理を導入するまでもない比較的清浄な水道原水である中・大規模浄水場においても、クリプトスポリジウム対策として、急速ろ過のろ過処理水0.1度管理は凝集剤の過注入、ろ過継続時間の短縮、汚泥の非脱水性等に苦慮している実状にある。特に低温・低濁度時に顕著であり、これら多くの浄水場で膜処理への転換を検討し始めている状況にある。

また、比較的汚染の進行している水道水源はクリプトスポリジウム等その浄水処理はますます厳しくなる状況にある。こうしたことから、膜の大容量化（50,000～200,000m³/日）における技術的課題を解決し、より高い安全性の確保と浄水技術の信頼性を向上させるべく研究を行うものである。

具体的には省エネルギー化が重点課題で

あり、オンサイトでの効率的な薬品洗浄、薬品廃水を含む排水処理システム、或いは上下排水一体化処理の検討、さらには使用済み膜モジュールの再利用・処分最適化等を目指す。これらの課題解決に向けた技術開発を行うと共に、コスト・スペース等におけるスケールメリット化、システム全体の自動運転・制御化による容易な運転管理システムの確立を目指す。環境への影響の低減を可能とするシステムの構築として、凝集剤の注入量の削減・膜利用による発生汚泥量の削減等を目的としている。

2. 浄水第2研究グループ委員会

近年においては頻発する渇水や災害、事故等による水道への影響を極力低減することや、化学物質やクリプトスポリジウムなどの病原性微生物による水源汚染に対応した水道の安全性を確保する事を目的とした浄水処理システムの開発研究が中心であったと思われる。

一方水循環系からみた場合、浄水システムといえども安全な水の供給という視点だけでなく、浄水システム全体の中での有効利用を図り、河川や下水道への負荷低減、省スペース、省コスト、省エネルギーや廃

棄物の削減等、環境影響の低減化につながる浄水システムの構築も課題である。

また、普及率 96% を越えた水道施設もその多くが施設更新時期を迎えており、景気低迷や環境への配慮から、省スペース、省コスト、省エネルギーや廃棄物の削減等環境に優しい技術が求められている。

これらを背景として、第 2 研究グループは、環境影響低減化を目的とした「新しい浄水処理トータルシステムの研究開発」を主体に研究を行うものである。

作業部会として第 1～第 5 ワーキンググループを設置し、それぞれのワーキンググループ毎に研究を実施する。

3. 浄水第 3 研究グループ委員会

水道として生活に関わる「水」は、流域圏の大きな水循環系を構成する重要な要素となっており、健全な水循環の形成においては環境へ配慮した水利用システムが望まれている。

一方、近年の化学物質や病原性微生物等による水源汚染に対応する社会基盤施設としての水道の安全性及び信頼性確保も依然として重要な課題となっている。

浄水第 3 研究グループでは、水道水に起因するリスクを最小化するとともに、原水性状に対応した適切な水道施設管理・運用を行うことによって環境への負荷低減に資することを目的として、水利用システムの起点としての水道水源の水質監視技術に関する研究を行う。

B. 研究方法

1. 浄水第 1 研究グループ委員会

3 つのワーキンググループにて研究を進めており、「大規模膜ろ過施設導入ガイドライン」、「大規模膜ろ過施設導入技術資料」の作成を行なった。ワーキンググループの活動は下記のとおりである。

1.1 第 1 ワーキンググループ

(大規模膜ろ過浄水場における膜ろ過システムの構築 WG)

100,000m³/日規模での膜ろ過施設のケーススタディを実施した。

<設定条件>

調査対象：第 1 WG 内メンバーが有する現在研究開発中中の膜ろ過装置を選定した。

調査条件：処理水量 100,000 m³/日

原水条件は、下記の 2 パターンを想定した

①濁度が常時 0.5 度未満、有機物等濃度が 0.5mg/L 以下の清澄な原水

②濁度が常時 5 度程度、有機物等濃度が 5mg/L 程度、降雨時には濁度が 50 度程度まで上昇し、高濁度の継続時間が 24 時間、出現率は年 3 回以上の原水

また、薬品洗浄の回数を年 1 回及び年 3～4 回の 2 パターンを想定した。

回答項目：① 処理フロー

② 配置必要スペース

③ 年間消費電力

④ 注入薬品の種類・年間使用量(滅菌用薬品は含まず)

⑤ 設備費

⑥ 維持管理費

等

1.2 第 2 ワーキンググループ

(大規模膜ろ過浄水場における膜モジュール・膜ユニットの品質管理 WG)

1) 効率的な膜モジュール損傷監視システムの構築、膜モジュール損傷発生時の対応策の整備

阪神水道企業団猪名川浄水場において、膜損傷検知のフィールド実験を実施した。本装置は淀川表流水、凝集沈澱水、活性炭処理水、急速ろ過処理水を原水とし、実際に膜モジュールを損傷させ、処理水の濁度、微粒子を計測し、シミュレーションとの比較を実施した。

2) 廃棄膜モジュールのリサイクル方法の検討

使用済み膜モジュールを、エネルギー回収した場合のリサイクルコストメリット試算及び、産業廃棄した場合とのコスト比較を実施した。

1.3 第 3 ワーキンググループ

(大規模膜ろ過浄水場における膜モジュールのオンライン・オンサイト薬品洗浄 WG)

薬品洗浄の実施経験のある e-Water 参加企業及び膜分離技術振興協会にアンケートを実施し、薬品洗浄に関する情報収集を行った。

2. 浄水第 2 研究グループ委員会

2.1 第 1 ワーキンググループ (合同実験ワーキンググループ)

神奈川県内広域水道企業団綾瀬浄水場に

合同実験設備を設置し、鉄系凝集剤と高分子凝集剤による「通常フロー実験」と膜を用いたトータル浄水システムの構築を目的とした「トータルシステム実験」の実験を行った。

「通常フロー実験」は、鉄系凝集剤と高分子凝集剤の最適注入点及び最適攪拌強度を確認するために実験を行った。

「トータルシステム実験」は、前処理と膜ろ過を組み合わせた4種類のトータルシステムを設置し、それらのシステム評価を行うための実験を行った。本実験では、4系統の連続実験に加えて、負荷実験として、①循環実験②濁度添加実験（中濁度添加実験、ピーク濁度添加実験）③凝集条件変更実験④高フラックス実験⑤膜の蓄積成分調査を実施した。

2.2 第2ワーキンググループ（評価手法ワーキンググループ）

2.2.1 評価手法

最適な処理プロセスの選択と処理システムの構築は、高度な技術的資質や豊富な経験が要求される。そこで、原水水質と処理目標水質から適用可能な処理プロセスを選定するためのプロセス選定図、選定された複数の候補から総合的に考察する際の多次元評価軸レーダーチャートを作成した。レーダーチャートには、環境負荷に関する評価項目の評価軸を設けた。そのため、環境影響の評価手法として注目されているLCA（ライフサイクルアセスメント）を重要な研究テーマとして位置づけ、浄水分野への適用を試みた。研究活動はWG会議での調整と検討作業を中心として、①評価対象となる浄水施設の選定、②評価指標、③評価結果の表現方法について検討するとともに、④ケーススタディを通して、①～③に示した各検討内容を見直した。検討対象は施設の「建設段階」及び「運転段階」とした。

2.2.2 シミュレーション

浄水処理分野では、コンピューターシミュレーション技術の発展とともに、その導入が予想される。シミュレーションの特徴は、現象や運転をコンピューターによる仮想空間の中で再現し、現象の生起や時間的な推移などを定量的に説明できる点にある。そこで、今後浄水プロセスにおけるシミュレーションの利用に際して資するように、現状

の技術の把握と今後の課題について検討した。

2.3 第3ワーキンググループ（UV消毒ワーキンググループ）

紫外線消毒は、短時間で効果的に微生物を不活化でき、有害な消毒副生成物が少ないので、有望な消毒技術として期待されている。また、塩素消毒で防除が困難なクリプトスポリジウムやジアルジアの不活化に効果的であるとの報告がなされている。

このことから、本WGは、浄水処理において紫外線消毒をより普及させるために、紫外線消毒のガイドラインを作成した。

浄水処理における紫外線消毒ガイドラインを作成するために、①ACT21での「代替消毒剤の実用化に関するマニュアル」を基に、紫外線消毒ガイドラインに必要なと考えられる設計例、塩素消毒との比較などを加えたガイドラインの項目案を作成した。

②ACT21、「健全な水循環を考慮した感染性微生物対策に関する研究」で収集したUV消毒に関する文献のレビューを行い、作成した紫外線消毒ガイドラインの項目のどの箇所でも利用できるかを中心として、文献一覧表を作成した。

③水道事業体のUV消毒に対する意見を調査するために、UVアンケート調査を実施し、さらに、2003年6月にU.S. EPAより公表された紫外線消毒ガイダンスマニュアル（Draft）の本文を、紫外線消毒ガイドライン作成の参考とするために翻訳した。

2.4 第4ワーキンググループ（機能改善・改造事例調査ワーキンググループ）

近年、高度成長期に多く建設された浄水場が更新時期にかかっている。このため更新・改造・改良工事の事例が多数見受けられる。これらの浄水施設に関する機能改善や改造工事の事例は、今後施設更新等を行う事業体にとって有益な情報である。そこで、特に環境影響負荷低減に関する事例調査（文献調査、アンケート調査、ヒアリング調査等）を行い、得られた情報の整理・解析・評価を行った。

平成15年度は、水道技術研究センター会員の水道事業体から82事業体を抽出し、環境影響負荷低減に関する機能改善・改造事例のアンケート調査を行った。平成16年度

は、その回答の中から効果的あるいはユニークと思われる事例についてより詳細な現地ヒアリング調査を行った。ヒアリング調査の調査対象は、東京都水道局金町浄水場、大阪府水道部村野浄水場、阪神水道企業団尼崎浄水場、横浜市水道局小雀浄水場、神戸市水道局千苅浄水場とした。

一方、浄水処理機能の改善・環境影響負荷低減に寄与できる技術・製品等について、e-water参加企業を対象に調査を行った。調査結果については技術・製品データ集として整理し、各処理プロセスあるいは環境影響負荷低減項目からそれぞれの製品を容易に検索できるようなデータ集を作成するものとした。

2.5 第5ワーキンググループ(上下水道排水一体化処理ワーキンググループ)

上下水道排水の一体化処理は、排水処理の集約化や効率化を図れる場合が多くあると考えられ、環境負荷の低減や汚泥リサイクルの拡大などに有効な手段となりうる。

そこで、将来的に上下水道が一括管理されることを想定した場合、その際に役立つ資料の作成を行った。

そのため既に上下水排水一体化処理を実施している自治体へのヒアリング、文献調査、アンケート実施を通じて得られた情報の整理と解析・評価を行い、報告書を作成した。

3. 浄水第3研究グループ委員会

3.1 研究課題名

「安全な水供給を目的とした水道水源の監視技術に関する研究」

1) 水道水源監視技術に関する研究

- ・水道水源(集水域)監視システム構築に関する研究
- ・水源情報の統合化(流域情報)に関する研究

(技術的課題及び行政的課題の抽出と技術的課題の解決策に関する研究)

2) 小規模浄水場に対応する管理・情報システムに関する研究

3.2 研究方針

個々の点としての水道水源の各種情報を空間的、時間的に統合化し、水道水源流域全体の情報を公開・共有化することによって、水道原水に起因するリスクを回避し、安全な水の供給を可能とする監視・情報シ

ステムを構築する。

なお、小規模浄水場(簡易水道)に対応した管理・運営に関わる適切な監視・情報システム構築に関する研究も併せて行う。

(倫理面への配慮)

本研究においては倫理面へ悪影響を与える内容は無い。

C. 研究結果

1. 浄水第1研究グループ委員会

1.1 第1ワーキンググループ

供給水水質による設備費の差異を比較するために、給水量 m^3 /日当たりの設備費単価の中央値をみると、薬品洗浄1回/年では、供給水①は日量5万 m^3 /日で約6.2万円、20万 m^3 /日では約4.9万円であり、水質条件の悪い供給水②では各々約6.7万円、約5.8万円となる。供給水①と供給水②では、使用している膜種類が異なるが、本事例研究においては薬品洗浄1回/年の場合、供給水①に比べ供給水②の方が、約1.1~1.2倍高い単価になる結果が得られた。これは高い水質負荷に対応するため、膜ろ過流束を低く設定し、膜ろ過面積を広くとる必要が生じ、それに伴う設備費が増大するためと考えられる。薬品洗浄3回~4回/年の場合も同様の傾向が見受けられる。

また、給水量5万 m^3 /日より10万 m^3 /日規模以上の施設の方が、給水量当たりの設備単価が若干安価な傾向がみられた。

1.2 第2ワーキンググループ

1) 効率的な膜モジュール損傷監視システムの構築、膜モジュール損傷発生時の対応策の整備

フィールド実験の結果、原水濁度によらず、漏洩率の実験結果とシミュレーションの値がほぼ一致し、また、複数本膜が損傷した系においても、原水濁度が1度程度であれば、シミュレーション結果とほぼ一致した。これ以上の原水濁度の場合には、シミュレーションの補正が必要である。

2) 廃棄膜モジュールのリサイクル方法の検討

4種の使用済み膜モジュールを、産廃処

分した場合のサーマルリサイクルにより再利用した場合の平均コストメリットはモジュール単位質量(kg)あたり、18円程度であった。ただし、モジュールの解体費用、運送費は含まれていない。また、リサイクル性を考慮した膜モジュールを設計し再使用した場合は、産廃処分した場合に比べ、約20倍コスト高になった。

1.3 第3ワーキンググループ

薬品洗浄に関するアンケートに関して、e-Water参加企業からは、有機膜18件、無機膜2件に関して回答を得、膜分離技術振興協会からは、有機膜14件、無機膜2件の回答を得た。

2. 浄水第2研究グループ委員会

2.1 第1ワーキンググループ（合同実験ワーキンググループ）

平成15年度に行った「通常フロー実験」の研究結果は、次のとおりである。

①凝集剤の最適注入点は、混和池を2池とし、前段は鉄系凝集剤、後段は高分子凝集剤である。②最適攪拌強度は、G値として従来の2倍程度、前段は後段よりも攪拌強度を高くすると効果的である。

「トータルシステム実験」は、連続運転実験の実験条件を、前処理条件決定実験、フラックス決定実験により、凝集剤を2段階注入（原水濁度7度未満→PAC7.0mg/L、7度以上→15mg/l）、前塩素を1.0mg/L定量注入、膜ろ過フラックスを2.5~4.0m³/m²・日とした。11月より連続運転実験を開始し、1月下旬より順次、循環実験の負荷実験を組み込んで実施し、平成17年2月中旬まで実施した。研究結果は下記のとおりである。①凝集剤の注入率を綾瀬浄水場にて要する量のおよそ半分に設定したても凝集沈澱または直接ろ過、活性炭ろ過を膜ろ過の前処理として用いることにより、良好な処理水質が得られ、膜ろ過供給水水質および膜間差圧の上昇速度による評価によっても、およそ4~6割程度の負荷を低減することが明らかになった。

②排水処理を流入させた浄水処理システムにおいても、膜ろ過の前に前処理を行うことにより膜の差圧上昇速度は、膜ろ過単独と比較して抑えられていた。

③中程度濁度やピーク濁度を添加した原水

を、膜を組み込んだ浄水処理システムに導入した結果、洗浄頻度を変更することにより、各系列ともに連続して運転が可能であった。また、前処理を行うことにより膜への負荷が軽減され、膜差圧の上昇が抑制された。

④通常の運転が良好な状況においては、短期間にフラックスを上げて、元の膜差圧の挙動に大きく影響を与えることはなかった。

⑤前処理において、通常の凝集沈澱を目的とした凝集剤注入を行うことにより、各系列とも非常に安定した運転が可能であった。また、凝集剤を使用しない直接膜ろ過系においても、フラックスを下げて回収率を下げると、膜間差圧の上昇を抑制することができた。

⑥膜の蓄積成分絶対量はD系が最も多く、主体は無機成分の鉄およびアルミニウム（原水由来）であった。逆にA、B、C系は有機物が膜蓄積物の50%以上を占め、有機物が膜ファウリングの主成分であることがわかった。

2.2 第2ワーキンググループ（評価手法ワーキンググループ）

2.2.1 評価手法

浄水処理プロセスを総合的に評価する際には、「①原水及び浄水水質」に適合した「②適切な処理プロセス」を選定するという前提のもと、「③様々な評価指標」に着目する必要があるが、いずれも多数の項目を有しているため非常に複雑な検討が必要となる。このことから本研究においては、①・②を考慮したプロセス選定図と、③を考慮した多次元レーダーチャートを導入し、算出結果を分かりやすく表示することを試みた。

評価指標は、建設段階に係るイニシャル項目と運転段階に係るランニング項目に分け、イニシャルとしてはCO₂(kg-C/m³)、エネルギー(MJ/m³)、スペース(m²)、工期(y)、ランニングとしてはCO₂(kg-C/m³)、エネルギー(MJ/m³)、汚泥量(g-ds/m³)、薬品費(円/m³)を取り上げた。

浄水分野へのLCAの適用について、種々の算出法の中から、積み上げ法の計算手順と原単位等を示した。

2.2.2 シミュレーション

浄水プロセスシミュレーションの進展に役立つよう、現状の技術で対応が可能な範囲、および今後の課題を示すことを目的に、全体的な状況分析、代表的処理単位操作でのモデル例の解説、および関連する事例の紹介を行った。

2.3 第3ワーキンググループ（UV消毒ワーキンググループ）

紫外線消毒ガイドラインの項目案を作成し、UV消毒に関する文献レビューを行い、文献一覧表を作成した。次に、水道事業者へのUVアンケート調査を実施し、調査結果をまとめた。次に、EPAの紫外線消毒ガイドンスマニュアル本文を翻訳した。最後に、以上の研究成果を基に、紫外線消毒ガイドラインをまとめた。

2.4 第4ワーキンググループ（機能改善・改造事例調査ワーキンググループ）

現地ヒアリング調査の概要は、次のとおりである。

1) 東京都水道局金町浄水場「PFI事業による常用発電」

阪神淡路大震災を契機として、水道水の安定供給という課題を最重視し、震災時の給水および電源の2系統化を目標として導入したものであり、コージェネレーションシステムとすることで環境負荷低減と廃熱を利用した排水処理の効果的運用も意図した事業である。PFI事業とすることで、約14億円のコストメリットが出ると試算されていた。

2) 大阪府水道部村野浄水場「太陽光発電システム」、「コージェネレーションシステム」

村野浄水場は平成10年の全面高度浄水処理に伴う前塩素処理の停止によって、沈澱池の藻類対策が必要となった。その対策としては、沈澱池上部に覆蓋を設置するのが最適であるが、その際に覆蓋上部の広い面積を有効活用し、太陽電池パネルを導入することで環境影響負荷低減にも貢献できるものとした。これにより、25万kWh/年を発電し、CO₂削減効果は85t-CO₂/年であった。

コージェネレーションシステムは非常用電源の確保、安定給水の確保、環境負荷低減等を目的として設置されており、商用電力停止時においても、2万m³/hを送水できるシステムとなっている。このシステムは

財団法人大阪府水道サービス公社が施設を設置し、大阪府水道部へ電気と熱（蒸気）を売る形をとっている。これにより、最大12,700kWの発電が可能となり、CO₂削減効果は2,100t-CO₂/年であった。さらに蒸気を利用した脱水ケーキの乾燥工程を設けることで、脱水ケーキの再利用が容易となり、平成15年度では、4万tの脱水ケーキのうち約1万3千tをセメント原料として有効利用できている。

3) 阪神水道企業団尼崎浄水場「コージェネレーションシステム」、「オゾン注入率制御」

阪神水道企業団は阪神淡路大震災において大きな被害を受けた経験から、老朽化の進んだ旧尼崎浄水場の全面更新においては、非常用電源の確保が最優先の検討事項となった。その一案がコージェネレーションシステムであったが、廃熱を利用した加温脱水を導入することで脱水機台数を減らせることや、造粒乾燥を導入することで脱水ケーキの再利用を促進し、ケーキ処分費を削減できることから、総合的にメリットがあるとの判断で導入されている。これにより商用電源停止時においても送水が可能となる電力（1,000kW）がまかなえるようになっており、CO₂削減効果は1,399t-CO₂/年である。さらに、脱水ケーキについては、従来の埋め立て処分費用が約8,000円/tであったのに対して、造粒乾燥によって園芸用土材料としての品質確保ができることから、園芸業者に600円/tでの販売が可能となっている。

オゾン注入率制御は、溶存オゾン濃度計を導入してオゾン処理水の残留オゾン濃度を自動計測し、残留オゾン濃度によるフィードバックオゾン自動注入制御を導入している。従来の手分析結果に基づいてオゾン注入率を設定するのと比べて、オゾン発生器の電力費が70%以下に削減できている。

4) 横浜市水道局小雀浄水場「省エネルギー型揚水ポンプ」、「太陽電池搭載型フロート遮光装置」、「覆蓋を兼ねた太陽光発電システム」

小雀浄水場は電力への依存が非常に大きい浄水場である。その揚水ポンプ更新に際し、従来のコーン弁開度調節による流量制御方式から、省エネルギー運転が可能な稼働羽根ポンプに変更した。これによる電力費削減効果は38,800千円/年であった。

太陽電池については、沈澱池の藻類対策としては太陽電池搭載型フロート遮光装置、ろ過池の異物投入対策としては可動式覆蓋による太陽光発電システムの2方式が導入

されている。前者の発電量は約10万kWh/年、CO₂削減量は38t-CO₂/年、後者は約31万kWh、118t-CO₂/年である。

5) 神戸市水道局千苺浄水場「太陽光発電システム」、「小水力発電設備」

太陽光発電システムは、神戸市制定の「神戸市地域新エネルギービジョン」「CO₂ダイエット作戦」に基づいて導入されたものである。他浄水場の太陽光発電システムが遮光を主目的としているのに対し、市民への啓蒙効果を非常に重視（JR福知山線の車窓からよく見えるような配置等）した導入事例である。発電量は9万kWh/年、CO₂削減量は60t-CO₂/年であった。

小水力発電設備は、水源である千苺貯水池と浄水場間の水位差約30mを利用した横軸フランシス水車形式による発電設備である。従来は減圧して着水井へ導水していたが、これにより、発電量92.4kWh/年、CO₂削減量640t-CO₂/年が得られている。

2.5 第5ワーキンググループ（上下水道排水一体化処理ワーキンググループ）

（1）上水汚泥及び下水汚泥の処理・処分状況

本研究の実施に際し、まず JICST を中心とした文献調査、国内外の実施事例調査を行った。その他、水道統計や下水道統計等から上下水汚泥の処分状況の把握を行った。

上水汚泥は下水汚泥に比べて有機物が少なく、シリカ分やアルミニウム、鉄等の無機物が多く、カドミウム、ヒ素、クロム、鉛などは、上水汚泥と下水汚泥両方に含まれていることが分かった。ただし、下水汚泥のデータは、大都市の合流式下水処理場で発生する汚泥であるため、無機成分の比率が比較的高くなっていることに留意が必要である。

下水汚泥量に対する上水汚泥量の比率は約 15%であり、全国規模で考えて、一体化処理による下水処理施設への負荷はそれ程大きくないと思われる。ただし、浄水場と下水処理場の規模、上水汚泥発生量との個別の関係によって、下水処理への影響の度合いは異なるので注意が必要である。

（2）事例調査

平成 16 年度に実施された「e-Water プロジェクトに係わる海外水道技術視察調査」ではオーストラリアで 5 ヶ所の浄水場と 1 ヶ所の研究所、シンガポールで 1 ヶ所の浄

水場の視察調査を行った。調査した 6 ヶ所の浄水場に対し排水処理に関する調査を行った結果、オーストラリアで 1 ヶ所の浄水場を除いて、上下水道排水一体化処理を行っていることが分かった。

（3）関係法令

上下水道排水一体化処理を実施する場合、「循環型社会形成推進基本法」、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」、「水質汚濁防止法」、「下水道法」などの法令が関係することを確認した。

（4）経済性の検討

浄水場にて発生する排水の処理方式について、①浄水場毎に排水処理設備を設ける場合と、②排水を濃縮し汚泥として下水汚泥処理施設へ送泥する、③もしくは排水として下水道へ放流し、上下水道排水一体化処理を実施する場合の経済比較を行い、経済性の検討を行った。比較検討を行ったケースの中で、上水汚泥を配管にて送泥するケースが最もコスト的に有利となった。また、上水排水を個別処理し、脱水ケーキを産業廃棄物処理するケースはコスト的に最も不利となった。総じて、本検討においては、一体化処理が個別処理よりもコスト的に有利であると言える。

（5）課題と対策

課題と対策を検討したが、主に上水側での汚泥の濃度管理、下水側での生物処理、汚泥処理への影響が課題であることを確認した。導入事例が少ないため、対策については一般的な内容となっており、導入を検討する段階で、実験等により上水汚泥が下水処理、下水汚泥の処理に与える影響を把握しておき、具体的な対策を検討しておくことが望ましい。

（6）環境影響評価

上下水道排水一体化処理に関する LC・CO₂ の試算を行った。下水処理場で汚泥を消化処理する場合に、個別処理よりも LC・CO₂ が高くなるケースがあったが、概ね低くなることを確認した。ただし、浄水場、下水処理場の規模や処理方法、使用する原単位等によっても計算結果は異なるので注意が必要である。

（7）上下水道排水一体化処理導入の検討フロー

上下水道排水一体化処理導入の検討フロー

一と関係機関との調整における留意事項 (Q&A) についてまとめを行った。

検討にあたっては、実施の目的を明確にした上で、各種条件を整理していくことが必要である。特に、受入側となる下水道事業の状況を十分に把握した上で、経済性や技術的な課題と対策を検討し、環境影響評価とともに導入を検討していく必要がある。

3. 浄水第3研究グループ委員会

3.1 水道水源水質監視システムに関する研究成果概要

厚生労働省・健康局水道課が2004年6月に提示した「水道ビジョン」の主要施策である“安心・快適な給水の確保”にも対応できる水源水質監視の将来像について検討を行った。検討のアプローチとして、ACT21ほか既往の研究成果を土台として、その後の政策、水質規制の動向や新技術についても改めて調査することから着手し、水源監視検討の手法、水源監視システムの事例、水源監視システム将来像の検討という段階を経て「水道水源水質監視システム構築に関する研究」として技術資料にまとめた。主要な検討実施項目毎に独立させる章立てとし、全体を5章構成とした。

第1章では、水源監視の将来像をまとめる上での前提となる検討範囲を明確にする目的で、水源監視が取り扱うべき水質リスクを抽出して分析するための手法について検討している。具体的には、危害分析や水質リスク分類によって、各水源が監視すべき項目を優先順位付けする手法をまとめている。これにより、どの水質項目をどの地点でどんな頻度で監視する必要があるか、という監視体制の検討を見通しの良いものにできる。

第2章では、実際の運用に供されている代表的な水源監視システムについて、水道事業者等へのヒアリングを中心に、運用状況について詳細に調査している。現行システムの導入効果や将来の課題を抽出することで、第3章で提言する新しい水源監視システム像の検討材料を整理している。スポット的な“点”による監

視だけではなく、水質リスクが伝播する経路を“線”として有機的に統合する監視というのが、ここでの基本的な考え方である。

第3章では、本研究の主要な成果ともいべき、新たな水源監視システム像についてまとめている。システムの機能として、水源水質を計測するためのモニタリング機能だけでなく、計測データや水源に関するデータを分析したり、予測に用いたりする評価機能も含めた水源水質データ評価・運用システムとして提案している。また、水道事業者単独での運用や利用にとどまらず、河川管理者や流域関連自治体との相互利用などについても言及し、将来に向けた提言としている。提案システムは、日々の浄水処理業務に反映する短期的水質リスクと、水源保全などの計画に反映されるべき長期的水質リスクの両方に対応するものとしている。また、システム構築と導入の利点を倍加させる用途として、情報公開のあり方についても言及している。

第4章では、水源水質データ評価・運用システムで提案された特徴的な機能の内、モデル河川シミュレータによる水質データ活用に焦点を当てて、そのケーススタディ結果についてまとめている。ケーススタディにおいては、e-Water プロジェクトが掲げた環境影響低減化に関連する浄水処理における濁度ピークカットへの適用等について具体的な活用法について述べている。

最後の第5章では、第1～4章で検討した事項の客観的な判断材料、討議材料となった水源監視に関する技術調査結果をまとめている。本技術調査は、(社)日本水道協会の「突発水質汚染の監視対策に関する研究会」での調査時期以降

(1997年以降)の文献を中心に調査している。技術区分は、1)生物学的な水質監視装置、2)理化学的水質監視装置、3)遠隔計測の3つとし、最新の技術動向が概観できるものとした。

水道水源監視に関する文献129件について抄録概要を作成した。このうち94件を選

定し、抄録を作成した。

検索条件：1997以降、流域&水源、水質
or（監視&計測）

抄録項目：リスク管理・管理手法、事故
対策・事故防止、水質保全・評価手法モデル、
バイオセンシング・バイオセンサ・バイオア
ッセイ、各種センサ類、藻類・2-MIB・臭気、
TOC、THM、アンモニア、油・においセンサ、
電子鼻、分析法検討・農薬・その他物質、
DNA・RNA・PCR・大腸菌、リモートセンシ
ング・GIS

3.2 小規模水道向け遠隔監視システムの 研究概要

小規模水道施設の遠隔監視設備・システ
ムについて、あるべき事項を「小規模水道
施設遠隔監視システムの有効活動」として
技術資料にまとめた。

浄水場における監視システムについては、
平成14年3月（財）水道技術研究センタ
ー発行「高効率浄水技術開発研究（ACT
21）」第7研究グループ委員会の「浄水
場における計測・制御技術の向上に関する
研究報告書」に報告されている。

本研究では、この報告から展開して、浄
水場の大半を占める簡易水道施設を含めた
小規模浄水場の監視に焦点を絞って研究を
行った。

水道事業を取り巻く環境では、水道法改
正（平成14年）における「水道管理の技術業
務の委託」や市町村合併による「水道管理
の統合」などの規制緩和・運営効率化が求
められるなかで、最近のIT進展に伴い、
小規模な水道施設の監視に適用可能な遠隔
監視技術も各種開発され、その活用事例も
報告されている。

本研究の目指すところは、水道管理財源
緊縮のなかで、「安全な水を安定供給する」
使命に基づいた小規模水道施設の運営・管
理を適切に効率化するための遠隔監視シス
テムのあるべき姿を提案することである。

小規模水道施設に適した遠隔監視システ
ムの技術動向を調査し、廉価、信頼性、拡
張性、地域性、セキュリティなどを比較検
討したが、ITの進展は目覚ましいものがあ
り、特定の技術に絞り込むことは不合理で
あり、「安全な水を安定供給する」ことを
監視、管理、実証するためには何をどの様
に監視すべきかの視点で、小規模水道施設
の遠隔監視項目の策定を行っている。

また、遠隔監視システムは小規模水道施
設の運転・維持・管理の充実・効率化支援
ツールとして導入事例が数多く報告される
ようになってきているが、効率化のみを追
求するのではなく、水道事業本来の役割を
確実なものとするための支援ツールである
との観点から、システムの信頼性も十分考
慮した内容とした。

さらに、維持管理運転業務の第三者委託を
考慮して、委託者と受託者の中での監視シ
ステムに求められる基本的要件を明確にし、
小規模水道施設の監視・運用を充実させる
手段として、信頼性の高い遠隔監視システ
ムの導入を提言すると同時に、改正水道法
の第三者委託や地方自治法の指定管理者制
度に沿って、水道施設管理能力を有する民
間への遠隔監視の業務委託も併せて検討す
ることを提言した。

D. 考察

1. 浄水第1研究グループ委員会

1.1 第1ワーキンググループ

100,000m³/日におけるケーススタディを
実施した結果、既存の膜ろ過設備の設備費
（機械+電気）は、給水量2,000m³/日以
上の設備で概ね20万円/m³となっている。
今回の試算と比較すると、供給水①で約1/3
~1/7、供給水②で約1/2~1/5の単価とな
っており、現在研究されている膜ろ過設備
が実用化されれば、大幅に設備費が低廉化
することが可能となると思われる。

装置の系列、系統数については、装置全
体の安定運転を考えて、複数系列を各メー
カー共に考えている。しかし、各社の考え
方には相違が見られ、予備力の考え方や装
置構成の考え方に関するガイドラインを作
成する必要があると思われたため、「大規模
膜ろ過施設導入ガイドライン」を作成して
いる。

1.2 第2ワーキンググループ

1) 効率的な膜モジュール損傷監視システ
ムの構築、膜モジュール損傷発生時の対応
策の整備

低濁度（原水濁度0.1度）の原水に対し
ても、精密微粒子計によって膜モジュール
あたり一本の膜損傷を実験的に検知可能で
あったが、配管等からの微粒子発生も考え
られるため、濁度計等による間接法とプレ

ッシャーホールド試験等による直接法を併用し、実用上、必要十分な膜損傷検知システムを今後、更に、検討していく必要であると思われる。

2) 廃棄膜モジュールのリサイクル方法の検討

現在のところ、産廃処分に比べ、リサイクルはかなり割高の感があるが、今後は産廃処分場の不足や環境問題などの観点からリサイクルへの関心が高まることが予想される。

1.3 第3ワーキンググループ

同一膜に関しても、膜分離技術振興協会が推奨している方法と、エンジンメーカーが実際に実施している薬品洗浄方法に関して、洗浄時間等に違いがあることが確認された。

2. 浄水第2研究グループ委員会

2.1 第1ワーキンググループ（合同実験ワーキンググループ）

連続実験結果から、膜ろ過供給水水質負荷と膜ろ過運転負荷の数値評価を考案した。

浄水処理システムとして負荷分配を検討する際に、原水水質に関する評価は、膜ろ過に対する影響がそれぞれ異なると考えられるため一概に評価することは難しいが、ここで示した膜ろ過供給水水質負荷と膜ろ過運転負荷の数値を参考とし、原水水質と既存設備の能力に応じた前処理方法を選定することにより環境影響低減化膜ろ過浄水処理システムを絞り込むことが可能である。

膜ろ過の機構は、物理的なふるい分け原理に基づく作用であるため、膜の孔径以上のものを除去することができる。しかし、高負荷な濁度や溶解性物質を処理するためには前処理が必要となる。また、今回の実験から、高負荷の場合でも膜ろ過フラックスを下げることや、物理洗浄間隔を短くすることにより、負荷低減できることが確認された。したがって、最初からフラックスを低く設定するか、前処理により負荷分配を行なうかは、ここで示した数値での検討とコスト面の検討を行なうことにより、はじめて環境影響低減化を図ることができるといえる。

2.2 第2ワーキンググループ（評価手法ワーキンググループ）

2.2.1 評価手法

本研究で作成したプロセス選定図を用い

ることで、原水及び浄水の水質に応じた適切な処理プロセスを視覚的に示したが、検証することにより精度を高くする必要がある。また、他の水質項目についても、必要性が発生した時点で追加作成するようにする。さらに、水質項目が複合した場合の選定方法について検討する必要がある。

多次元レーダーチャートを用いることで、複数の評価指標を総合的に分かりやすく示すことが可能となった。さらに他の施設についても検討する必要がある。特に、排水処理についても検討する必要がある。

一方、LCAを用いて試算を行ったところ、エネルギーの主な消費は装置の運転段階（機械の動力）であるとの結果が得られており、エネルギーの観点で環境影響を低減化するためには、機械動力部分に重点を置く必要のあることが示唆された。このようにLCAの適用は定量的な検討を可能とするため、水道分野においても重要なツールとなることが期待される。

2.2.2 シミュレーション

今回の研究結果から、他分野におけるシミュレーションへの取組みは進んでいるが、浄水分野へ直ちに導入することは、困難であると判断した。主な理由としては、安全で快適な飲料水を安定して製造供給するという社会的に重大な責任を負う浄水処理に適用可能なシステムとして確立されていないことがある。しかし、現象をモデル化する基礎研究や計算方法の研究の進歩、そしてコンピュータ技術の進歩は目覚しく開発条件は整いつつある。

また将来は、浄水処理の現象の生起や時間的な推移などを定量的に説明する目的でシミュレーションの需要が増える可能性がある。よって、今回の研究のような浄水分野への導入の取組みは、今後も継続する必要があると推察される。

2.3 第3ワーキンググループ（UV消毒ワーキンググループ）

水道事業体に対するUVアンケート集計結果より、66%の水道事業体がUV消毒に関心があった。UV消毒に期待していた事業体のほとんどが、クリプトスポリジウムやジアルジアの不活化が期待できる、また、消毒副生成物が生じにくいことをメリ

ットとして挙げていた。UV 消毒が期待できないとした事業体は塩素消毒との併用が必要である、効果に不安がある、情報が少ない、指針等が整備されていないことをデメリットとして挙げていた。

研究のレビューおよび WHO の水道ガイドラインより $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ の紫外線照射量でクリプトスポリジウムが $3 \log_{10}$ (99.9%) 不活化できることを基本として、紫外線消毒ガイドラインを作成した。本ガイドラインは、水道事業体がクリプトスポリジウム等の耐塩素性病原微生物対策の一つとして紫外線の活用をはかれるようにするため、浄水処理での塩素消毒の補完技術としての紫外線消毒について実務上のガイダンスとなると考えられる。

2.4 第4ワーキンググループ（機能改善・改造事例調査ワーキンググループ）

ヒアリング調査した調査対象としては、コージェネレーションシステムおよび太陽光発電システムが多く、電力削減、 CO_2 削減が機能改善や設備更新等に際して重要な事項であることが伺える。導入目的や導入による費用対効果についてはそれぞれの浄水場によって異なるが、例えば、コージェネレーションシステムに関する調査結果からみると、コージェネレーションシステムはある程度の浄水場規模がなければ、それなりの費用対効果が得られないシステムであることが、それぞれの検討過程のヒアリングから伺われた。しかし、今回調査した阪神水道企業団尼崎浄水場（現状 $186,500\text{m}^3/\text{d}$ 、全体計画 $373,000\text{m}^3/\text{d}$ ）は、今回調査した浄水場の中では比較的小規模であるが、浄水場の全面更新に際して、コージェネレーションシステムの廃熱を浄水場のいたるところで利用することによって、総合的にメリットを出すことに成功している。

コージェネレーションシステムだけでなく太陽光発電システムについても費用対効果をどう評価するかで導入の可否がきまっており、各事例ともに導入結果としてある程度の効果が認められている。しかし、調査結果によると、 CO_2 排出の試算に用いる電力排出係数や耐用年数などがそれぞれの事業体によって異なっているようであり、評価の手法が違えば異なる評価結果となる可

能性もある。また、調査対象の多くの事業で NEDO の補助を受けているが、この補助制度についてもコスト評価に際してどのように扱うべきかを今後は考慮する必要があると考えられる。

どの事例においても CO_2 削減効果や電力費削減、脱水ケーキ処分量削減などの効果が示されており、また、これらの導入目的やその経緯、評価の仕方なども様々であるが、他事業体にとって大いに参考になる事例である。しかし、昨今の情勢においては施設計画に対して費用対効果に関する厳しい精査が求められていることも事実である。したがって、施設計画に対する客観的な評価手法の確立と環境影響低減化浄水技術との融合が今後望まれる。

2.5 第5ワーキンググループ（上下水道排水一体化処理ワーキンググループ）

条件にもよるが、上下水道排水一体化処理を実施することにより、上下水道全体での汚泥処分費、汚泥処理施設用地面積、 $\text{LC}\cdot\text{CO}_2$ の削減することが可能と考えられる。

ただし、実施に際しては、目的の明確化、地理的条件、関連法令の確認、関係機関との調整、経済性の評価、技術的な課題の確認と対策の検討、環境影響評価等を十分に行う必要がある。

3. 浄水第3研究グループ委員会

水道における計測・制御・監視システムは、自動化、省力化、省エネ化を目的として導入され、現在、その目的はほぼ達成されている。

本研究は、広域的管理システムの構築が実用化されることが、持続的な水道サービスにとって不可欠なインフラストラクチャーであるとの認識の下で、具体的な技術へと定着させるための手始めとしての研究となっている。

水道施設管理システムを運用するために活用される支援機能は大きく分けて次の3つがあり、このうちの水源水質情報にかかわるサービスユニット構築が本研究の内容となっている。

・ノウハウ、技術情報などの知識データベース

・運転支援、保守支援などの運用コンサルティング情報

・水源水質情報、気象情報ほかのリアルタイム情報配信

専門技術者の不足、業務の効率化阻害などの多くの問題を抱える小規模な水道施設マネジメントユニットに対しては、広域支援サービスでの運転支援や保守支援などの運用コンサルティングサービスによって解決を図ることができる。本研究での小規模水道における遠隔監視システムはこれに対応する浄水施設のマネジメントユニットの要素を構成している。

本研究でイメージしている「水道施設マネジメントシステムと支援機能」は「水道ビジョン」で示している「新たな広域化の推進及び集中と分散」に技術的面から対処すべく提案となっている。

本研究でまとめた技術資料（「水道水源水質監視システム構築に関する研究」及び「小規模水道施設遠隔監視システムの有効活用」）は、ACT 2 1 で提案された水道の新たな広域支援システムを構成する「水道水源水質監視システム」及び「水道施設監視システム」の一部として最も重要なコアの一つとなっている。広域支援システムには構成する独立したサブシステムが多数あり、今後ともこのような構成サブシステムに関する研究を多面的に進め統合化していくことが、今後の水道運営を適切に行っていく上で重要となる。

E. 結論

本年度は研究の最終年度にあたり、得られた成果を各種ガイドライン、マニュアル、技術資料として取りまとめる。

これらの成果により、水道事業者への新技術の導入が容易になるものと思われる。

1. 浄水第1研究グループ委員会
「大規模膜ろ過施設導入ガイドライン」
「大規模膜ろ過施設導入技術資料」
2. 浄水第2研究グループ委員会
「鉄系・高分子凝集剤使用ガイドライン」
「紫外線消毒ガイドライン」
「上下水道一体化処理導入マニュアル」
「浄水システムの評価手法」
「機能改善・改造事例集」
3. 浄水第3研究グループ委員会

「安全な水供給を目的とした水道水源の監視技術に関する技術資料」

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

本年度は研究の最終年度にあたり、研究の進捗状況等の発表は新聞、雑誌、セミナー等で多数行った。

第 55 回全国水道研究発表会にて発表

・ e-Water 新しい浄水処理トータルシステムの開発研究

－高分子凝集剤の注入点とG値に関する考察－

・ 浄水処理における環境影響を考慮した評価手法の研究

第 16 回環境システム計測制御研究発表会にて発表

・ 浄水施設におけるライフサイクルアセスメントの適用

第 56 回全国水道研究発表会に投稿

・ 膜ろ過と前処理の組み合わせによる浄水処理の比較実験（Ⅰ）

－実験の概要と連続運転実験に関する報告－

・ 膜ろ過と前処理の組み合わせによる浄水処理の比較実験（Ⅱ）

－原水高濁時の浄水処理への影響－

・ 上下水道排水一体化処理導入における経済性の評価

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

未定

厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）
総括研究報告書

健全な水循環を考慮した地域スケールにおける浄水・管路技術に関する研究
（管路技術部門）

主任研究者 藤原 正弘 （財）水道技術研究センター理事長

【水資源の有効利用に資するシステムの構築に関する研究】

研究要旨

水は、人間の生命を維持するのに不可欠なものであり、水の供給のほとんどを水道に頼っている我が国においては、安全でおいしい水道水の供給が重要な課題としてクローズアップされている。人間の生命や健康へのリスクを低減するためには、水の一層の安全性を確保することが重要である。しかしながら、浄水場において良質な水を造ったとしても、管路内における錆等の発生や滞留部における水質劣化により、必ずしもその水質を維持したまま需要家まで届けられているとは言い難い事例が発生している。

管内水質変化に対する対策及び濁質や浮遊物の除去対策は多量排水がほとんどであり、その作業用水量は年間5億 m^3 （上水道事業として）を超える。さらに、管内面の錆等は水質劣化のみならず腐食による漏水事故の一因ともなっており、水道管からの漏水量は全国で年間14億 m^3 に達している。これらの合計19億 m^3 は首都圏最大級の宮ヶ瀬ダム有効貯水量の約10倍に相当し、環境に与える負荷は看過できないものとなっている。こうした環境への負荷を低減し、健全な水循環の形成に資するため、送配水管網レベルにおいて、水及びエネルギーの有効利用を促進する研究を行うものである。

A. 研究目的

浄配水場と利用者をつなぐ送配水管網において、管内の滞留部等で見られる濁質等の挙動を調査し、それらの対策を講ずることは水道水質の保持に関し有効な手法である。このことにより合理的な管路の構築が可能となり、安定した水運用のより一層の促進を図るとともに、維持管理の簡素化及び省力化を目指す。また、管路内における水質劣化を防止する方策の確立により、水道水質の信頼性を確保し、利用者の水道離れを抑制する。

このように量及び質の両面における課題の解決により水道の健全性の向上がなされることで、多量排水や漏水の軽減、未利用エネルギーの有効利用など、総合的な環境への影響の低減を可能とする。

本研究では、地域スケールの水循環を考慮し、送配水管網レベルにおける、

- ①安全でおいしい水道水の確保
- ②水供給システムの合理化
- ③水及びエネルギーの有効利用

を目標として、次の3つの課題について開発研究を行う。

第1は 濁質等に関する原因調査

第2は 管網再形成

第3は 濁質除去システムの開発

第1の「濁質等に関する原因調査」では、管路内に蓄積している濁質・浮遊物等の発生原因等を調査解析するとともに、老朽管路が水質・水量の両面に与える影響についての調査研究。

第2の「管網再形成」においては、停滞部が発生しにくい管網形成について検討し、あわせて未利用エネルギーの利用方法についての開発研究。

第3の「濁質除去システムの開発」では、管路内や貯水槽内での水質変換技術についての開発研究を行うものである。

B. 研究方法

本研究の実施にあたっては、学識者、水道事業体及び共同研究参画企業の専門家構成される管路研究委員会を設置し、その

もとに研究課題に応じ3つの研究グループ委員会を設け検討を行う。

1. 管路研究委員会（基本方針の策定、各グループ委員会間の調整・情報交換、研究成果の評価）

委員長

小泉 明 東京都立大学大学院 教授

委員

松井 佳彦 岐阜大学 教授

宮島 昌克 金沢大学 教授

細井 由彦 鳥取大学 教授

長岡 裕 武蔵工業大学 助教授

事業体委員

第1～第3研究グループ全員（11事業体14名）

企業委員

第1～第3研究グループ全員（14社・19名）

2. 管路第1研究グループ委員会（濁質等の発生原因究明に関する研究）

委員長

細井 由彦 鳥取大学 教授

委員

松井 佳彦 岐阜大学 教授

事業体委員

東京都水道局、千葉県水道局、横浜市水道局、横須賀市水道局

企業委員

(株)クボタ、(株)栗本鐵工所、日本上下水道設計(株)、日本水機(有)

3. 管路第2研究グループ委員会（最適管網システム及び未利用エネルギーに関する研究）

委員長

小泉 明 東京都立大学大学院 教授

委員

宮島 昌克 金沢大学 教授

事業体委員

埼玉県企業局、名古屋市上下水道局、大阪市水道局、横浜市水道局

企業委員

(株)クボタ(2名)、(株)栗本鐵工所、国際水道コンサルタント(株)、(株)進日本工業、新日本製鐵(株)、日本水工設計(株)、前澤工業(株)

4. 管路第3研究グループ委員会（管内水質改善のための技術開発）

委員長

長岡 裕 武蔵工業大学 助教授

事業体委員

大阪府水道部、神戸市水道局、さいたま市水道部、福岡市水道局、名古屋市上下水道局

企業委員

(株)石垣、(株)栗本鐵工所、コスモ工機(株)、日本ガイシ(株)、JFEエンジニアリング(株)、日本水機(有)、三菱レイヨン・エンジニアリング(株)

C. 研究結果

1. 管路第1研究グループ

- 1.1 濁質に関する調査

管路内に存在する濁質は、砂、鉄錆（赤水成分である細粒子も含む）、塗膜片、水質由来物質（マンガン）などに大別され、これらについて基礎物性（比重、沈降速度等）を調査し、濁質挙動に関わる基本的な特性を把握した。

- 1.2 濁質発生原因のアンケート調査

約90の水道事業体を対象として、管路内濁質等に関するアンケート調査を行い、濁質の発生原因（直接原因、間接原因）について、以下の情報を得た。

- ①直接要因（発生源）

無ライニング鑄鉄管、内面コーティングされていない鋼管、内面コーティングされていない異形管、経年ライニング管、使用頻度の少ない鑄鉄製バルブ付近、消火栓等の立管部

- ②間接要因（濁質が発生しやすい箇所）

・水理面

流速の遅い所、流速が遅く流速変化の無い所、停滞する所（正逆流）

・堆積状況面

管末端、管路の低い所、行き止まり管、分岐部、伏越部、水管橋立ち上がり部、排泥弁付近、ブロック境界（縁切バルブ）

・水質面

とくに特徴的な情報は得られなかった。

- 1.3 濁質発生原因に関する確認実験

1.2のアンケート調査で得られた結果をもとに、濁質発生原因の究明につながる新たな知見を得るため、実管路および浸漬装置にて確認実験を行った。その結果、以下のことが確認された。

- ①錆の生成については、速やかに進行する

ため、内面が塗装されていない管材については全て錆の供給源になる可能性がある。

- ②また、一度、洗管を行っても次の錆がすぐに発生することが予想されるため、コントロールが難しい。その場合は、水質改善により、ランゲリア指数を調整し、保護膜を形成させて錆の流出を抑制する、などの手法も有効と考えられる。
- ③一般に、流速が速い箇所では酸素の供給量が増すため、腐食の進行が速やかになるが、生成した錆が水流によって絶えず低濃度で流出することになるので赤水として顕在化することは少ないと推定される。逆に、流速が遅い箇所では、酸素供給量が不足するため、流速が速い箇所に比較して多少錆の生成は緩やかであるものの、生成した錆が常に蓄積した状態になるため、給水栓を開放した際に高濃度で流出し赤水として顕在化すると推定される。
- ④管壁面に付着している濁質が輸送されるには、管壁から剥離されなければならないが、その水理特性については不明な点が多い。赤水については、Shields/小出の公式などの提案がある。
- ⑤掃流限界流速については、幾つか実験例があり、砂や鉄粒子なら概ね0.3~0.4m/s程度のものである。シールコートは0.05~0.1m/sでも移動が起こり、赤水の原因となるような細かい鉄錆粒子については、沈降速度の遅さから察するに、相当、小さい流速でも移動する。
- ⑥比較的水流が安定した管路においては、錆粒子が剥離する可能性は少ないが、消火栓から大量に放水した場合やバルブ操作による流向の変化など非定常的な水理変動を与えると赤水として流出すると考えられる。

2. 管路第2研究グループ

2.1 管網再形成に関する研究

平成15年8月まで、横浜市水道局川井浄水場内の実験管路整備および、実験計画の詳細な見直し検討を行った。その計画に基づき、8月末から平成16年10月末まで、基礎実験の実施と測定データの収集を実施し、これら実験結果の整理/分析/評価を行った。

(1) 実験の概要

① 実験に用いた濁質試料

今回の研究では、マンガン等の水質由来の物質ではなく、問題が顕在化しやすい砂、鉄錆、塗膜片などの固形物に着目し、実験に使用した。今回の研究で、特に砂について、新しい知見が得られた。

② 単一管路による基礎実験

管路と濁質の基本的事項として、単一管路にて濁質の種類、管路口径、流速等の条件の違いによる濁質挙動の特性を把握するため、以下の実験を実施した。

- ・濁質挙動観測実験

透明管により濁質挙動の観測を行った。

- ・濁質沈降実験

管内を移動する濁質が、管底に堆積し始める流速を調査した。

- ・給水栓からの濁質流出実験

管内流速を変化させた場合の給水栓からの濁質流出量の確認を行った。

- ・分岐部における濁質分配実験

T字、十字分岐部での濁質の分配量と透明管による濁質挙動の観察を行った。

この結果、管内を浮遊しながら移動する濁質についてはその流量比で、比重が重く管底を移動する濁質については、分岐側に流れやすい傾向があることが確認された。また、分岐部での水の流れについて流況解析も行った。

③ 濁質分配比の推定

濁質分配実験で、特に砂についての実験結果を整理し、分岐部で流速比と濁質分配比の関係について、推定式を作成した。

④ 管網による基礎実験

単一管路による基礎実験結果を管網に拡張した場合の適合性、管網内の濁質拡散(分布)の確認を以下の実験で行った。

- ・枝状管路による基礎実験

分岐部での濁質の拡散状況と、流速による濁質の堆積状況を確認した。

- ・管網による基礎実験

シンプルな田型管網にて複数の分岐・合流を有する管路での濁質の拡散状況および、堆積状況の確認を行った。

⑤ 管網における濁質分布状況の推定

④の実験と同条件で、③による管網内の濁質の拡散および堆積状況を推定したところ、実験結果と推定結果がほぼ一致したこ

とから、③で作成した推定式の有効性および、管網内での濁質挙動の推定が可能であることが確認された。

⑥流量調整による濁質の集積化

これまでの実験で得られた知見を基に、常時の給水時を想定して、バルブ操作により流況を変化させる事により、管網内に点在している濁質を一箇所に集め、洗管を行い濁質を回収する実験であり、これによって作業用水量が大幅に低減される事が確認された。

2.2 未利用エネルギーの有効利用

平成15年度より、下記の2箇所において、小水力発電水車のフィールド実証実験を行っており、運転状況や経済・環境効果について約2年間、実稼動による検証を行った。

- ・山梨県高根町受水池兼第1配水池
- ・埼玉県企業局庄和浄水場

これらフィールド実証実験では、機器についてもトラブル無く順調な運転であった。また、発電量については、CO2削減効果も期待できる安定した運転であった。これら実験の結果や、アンケート調査の結果を基に、小水力発電の計画・設計、事業着手から工事施工、供用開始までの、導入マニュアルを作成した。

3. 管路第3研究グループ

平成14年度に実施した、過去の事例調査・文献調査等から管路内濁質および濁質除去システムの開発に関する課題の整理を行い、

- ①共同研究による各企業現有技術の複合化検討
- ②現有技術を基本とした新技術開発とその性能評価

について研究を実施した。

具体的な研究内容は下記のとおりである。

3.1 非排水循環除去システムの開発

濁質除去システムを開発するために、共同実験参画企業が独自に有する技術を複合化し、単独技術では成し得ない相乗効果の検討をすべく、横浜市川井浄水場の実験管路を使用しての実験を実施した。

(1) 実験内容

基本的には、砂、鏽、塗膜片等の比較的大きな濁質はストレーナで除去し、濁水の原因となる微細な濁質は膜で除去すること

とした。実験管路では、本システムの有効性が確認されたが、実管路での適用に向けては、解決しなければならない課題も見つかった。以下に、試験内容を示す。

①単体としての機能確認試験

- ・通常配水による圧力損失の確認
- ・投入された濁質の捕集および洗浄の機能確認
- ・濁質除去性能の評価
- ・供給水の水質（水温、pH等）、ろ過水の水質
- ・流量（供給水、ろ過水）

②複合型濁質除去システムの機能確認試験

- ・濁質除去性能の評価
- ・ろ過水の水質（残塩、pH等）
- ・最大処理能力
- ・不断水での処理の可否

3.2 濁質除去用資機材の開発・評価

各参画企業が有する技術・製品で対処する場合に解決すべき課題を抽出し、濁質除去用資機材の技術開発ならびに基本性能の評価を実施した。また、それぞれの機器の最適な適用箇所や適用条件をとりまとめた。

D. 考察

濁質等に関する原因調査、管網再形成、濁質除去システムの開発の3つの課題に対して、文献や水道事業体へのアンケートなどで得られた情報をもとに、グループ毎にこれまで確認されてこなかった基本的項目について確認調査／開発研究を行ってきた。濁質の発生からその排出までの一連について、実験管路やフィールド試験で濁質に関する様々な知見を得ることができた。実管路においても、対象管路の流況状態を把握し、今回得られた知見を取り入れる事により、より効率的な洗管計画の立案や、洗管作業の実施が可能となると思われる。

E. 結論

これまでの研究により、水理面および管路構成面から濁質が発生しやすい箇所に関する情報を取得し、それらを踏まえ、実管路において濁質存在状況および赤水発生状況に関する確認実験、供試片の浸漬実験を行い、実態を把握した。

実験管路における濁質挙動観察実験では、既知見との整合性を確認し、分岐部での濁

質分配実験では、分岐側に引かれて多くの濁質が分配されることが確認され、これらの結果をとりまとめ、濁質分配の推定式を作成した。この単一管路の実験から得られた知見をもとに、最適管網形成に向けた管網管路による基礎実験も行い、推定式の有効性が確認されたことにより、管網内での濁質の拡散・堆積の推定が可能であることが確認された。また、これら濁質の推定より、濁質除去システムの、それぞれの特徴を最大限に活かせる、機器の設置位置や、対象濁質の種類等で取りまとめた。

このように、濁質の発生から除去までの一連を取りまとめることによって、より効率的な洗管計画の策定、濁質対策についての最適な管網再形成について提言を行った。濁質除去装置についても、各企業が社内外での研究結果をもとに、実験管路に濁質除去システムを設置し、課題解決に向けた実験を実施した。また、それら濁質除去装置を組み合わせる事で、単独技術ではなし得ない相乗効果を期待する、非排水循環除去システムの開発についての実験を行い、その有効性が確認されたが、実管路での適用に関してはまだまだ解決しなければならない問題が多くあった。

これらの知見と、事業体へのヒアリング等により得られた情報をもとに洗管計画立案の視点で整理し、さらに本研究で得られた知見に基づき、それぞれのおかれた環境に応じた効率的な洗管計画立案の一助をなすことを目的とするとともに、洗管の効率化に関しての提言を行った。

未利用エネルギーの有効利用については、2箇所においてフィールド実証試験を行い、運転状況（発電量、水質、運転状況）や経済・環境効果について、良好な結果を得られた。実証試験の評価のまとめを行うとともに、今後の未利用エネルギー回収技術の普及を図るため小水力発電水車の導入マニュアルを作成した。

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

研究成果等の発表は新聞、雑誌、セミナー等で多数行った。

今年度は全国水道研究発表会および、Epoch セミナー（仮題）を行い、本研究成果を広めていく予定である。

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

なし。

研究成果の刊行に関する一覧表

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
竹田 憲史 他 5 名	「e-Water 新しい浄水 処理トータルシステム の開発研究」 -高分子凝集剤の注 入点とG値に関する考察 -	第55回全国水道 研究発表会講演 集		148-149	2004
森 康輔 他 6 名	「浄水処理における環 境影響を考慮した評価 手法の研究」	”		80-81	2004
竹田 憲史 他 5 名	浄水施設におけるライ フサイクルアセスメン トの適用	第16回環境シス テム計測制御学 会研究発表会 「EICA」	第 9 巻 第 2 号	261-264	2004
渡辺 義公	「大規模膜ろ過施設導 入ガイドライン (案) について」	環境影響低減化 浄水技術開発研 究セミナー テキスト		3-9	2004
海老江 邦雄	「鉄系・高分子凝集剤 使用ガイドライン(案) について」	”		11-19	2004
茂庭 竹生	「紫外線消毒ガイドラ イン (案) について」	”		21-30	2004
古米 弘明	「上下水道排水一体化 処理導入マニュアル (案) について」	”		31-38	2004
藤代 辰美	Epoch プロジェクトの 概要と成果	ウォーターサイ ド 21	No. 49	1p~3p	2005 年
小泉 明 藤原 正弘 陳 建湧 他	水道管路内の濁質挙動 解析に関する研究	2004 年日中水 処理技術シンポ ジウム 論文集		日文部分 33p~37p	2004 年
小泉 明 藤原 正弘 國實 蒼治 他	管路内の濁質挙動の調 査研究	第 55 回全国水 道研究発表会 講演集		354p~355p	2004 年