

e-Water II

プロジェクト研究成果

安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術
の確立に関する研究

Research on the Establishment of Advanced Purification
Technology Aimed at Safe and Good Quality Water



JWRC

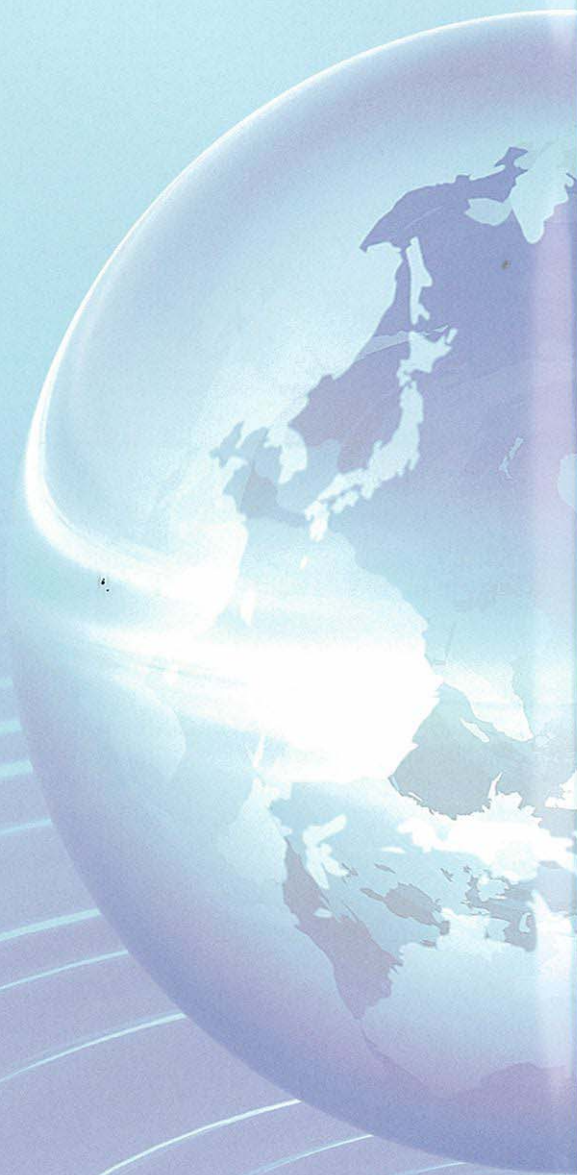
財団法人 水道技術研究センター

はじめに

「安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究 (*e-Water II* プロジェクト)」は、平成17年度～平成19年度までの3カ年計画で、当センターが中心となって実施した大規模な研究開発です。

本研究は、厚生労働省の厚生労働科学研究費補助金と参加企業からの負担金をもとに、大学等研究機関の学識者、水道事業体ならびに民間企業の協力を得て行いました。人件費等を除く直接的な研究費用は総額約5億円です。研究テーマにより5つの委員会によって研究開発が進められ、大規模な実証実験プラントによる実験も実施しました。

本プロジェクトは「安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究」が正式名称ですが、平成14年度～16年度にかけて実施された *e-Water* プロジェクト（正式名称：環境影響低減化浄水技術開発研究）の研究内容をさらに発展させ、成果を広く普及させることを目指すものとして、*e-Water II* と名付けられました。



背景

本研究が始まった平成17年には、わが国の水道は97%を超える高普及率を達成しており、社会の基幹施設として重要性が高まっていました。一方で、施設の大規模更新や職員の大幅退職が予測されており、水道事業の運営や施設の運転・維持管理には一層の省力化・効率化が求められていました。さらに、安全でおいしい水に対する需要者のニーズの高まりや水道水質基準の改正など、浄水処理に求められる管理水準はますます高まっていました。

目標

このような背景の中、施設更新を行う際にその地域に最も適した浄水処理技術を選択するための指針が求められていました。本研究では、各種の原水条件に応じた最適浄水処理プロセスの選定指針の作成、おいしい水を目指した臭気原因物質等の検知と除去方法等の各種研究を実施することにより、需用者が求めている安全でおいしい水を供給する効率的な浄水技術を開発し、水道事業体を支援することを目指しました。

研究課題

本研究は次の2つの研究課題を実施しました。

● 原水条件に応じた最適浄水システムに関する研究

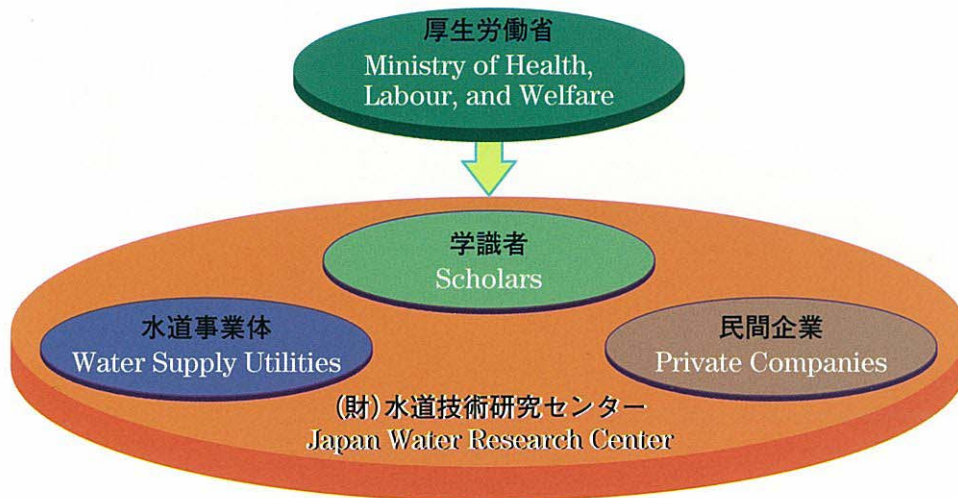
水質データの統計分析、膜ろ過に関する実証実験、ライフ・サイクル・アセスメント（LCA）による環境影響評価などにより浄水システムを総合的に評価し、原水条件に最も適した浄水システムの選定手法の確立を目的とした研究を行いました。

● おいしい水を目指した臭気原因物質等に関する研究

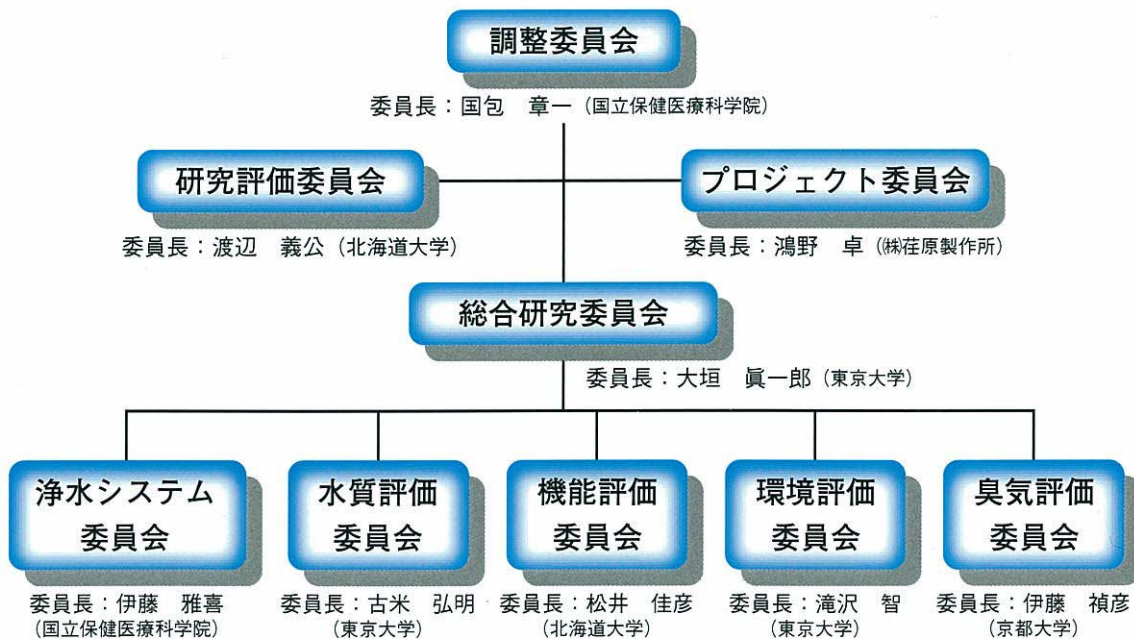
おいしい水を目指して、臭気原因物質等の検出・対策等に関する研究を行いました。

研究体制

本研究は、厚生労働省の支援のもとに、(財)水道技術研究センターが、学識者、当センターの会員である水道事業体及び企業やその他関連団体等の協力を得て、産官学一体となった共同研究体制を組織して実施しました。



研究実施体制イメージ図



研究実施組織図

研究内容と成果

各委員会の活動内容と成果

具体的な研究課題について、総合研究委員会の指導・調整のもと、次の5つの委員会において研究を実施しました。

浄水システム委員会

原水水質と目標とする浄水水質に応じた浄水システムを選定できる手法に関して研究を行いました。

●研究概要

浄水システム委員会では、浄水システムの選定において、水道事業者がどの程度の水質まで浄水処理するかという目標を定め、その目標を達成するために、原水水質の状況に応じた浄水システムを選定する方法について研究しました。

ここで浄水水質の目標値については、水道事業者が適切な運転管理を行えば達成可能な値（レベル1）と、トップレベルの水安心度、水満足度の確保を目指していく上での目標値（レベル2）という2種類のレベルを設定しました。（表-1）

表-1 目標浄水水質レベル

管理項目	項目名	レベル1 設定値	レベル2 設定値
微粒子	濁度 [度]	0.1	0.01(膜処理)
	THM [mg/L]	0.04	0.015
有機物	TOC [mg/L]	1.5	1
	ジェオスミン[ng/L]	3	1未満
	2-MIB [ng/L]	3	1未満

設定した浄水レベルを達成するための浄水システムの選定については、濁度と有機物を除去するための基本システムを選定し、これに除マンガン設備などのプロセスを必要に応じて追加します。（図-1）

また、水質面での最適な浄水システムに対して、代表的な処理水量におけるコスト、スペース、維持管理、LCAについて比較を行い、水道事業者のシステム選定に資するシステムとしています。

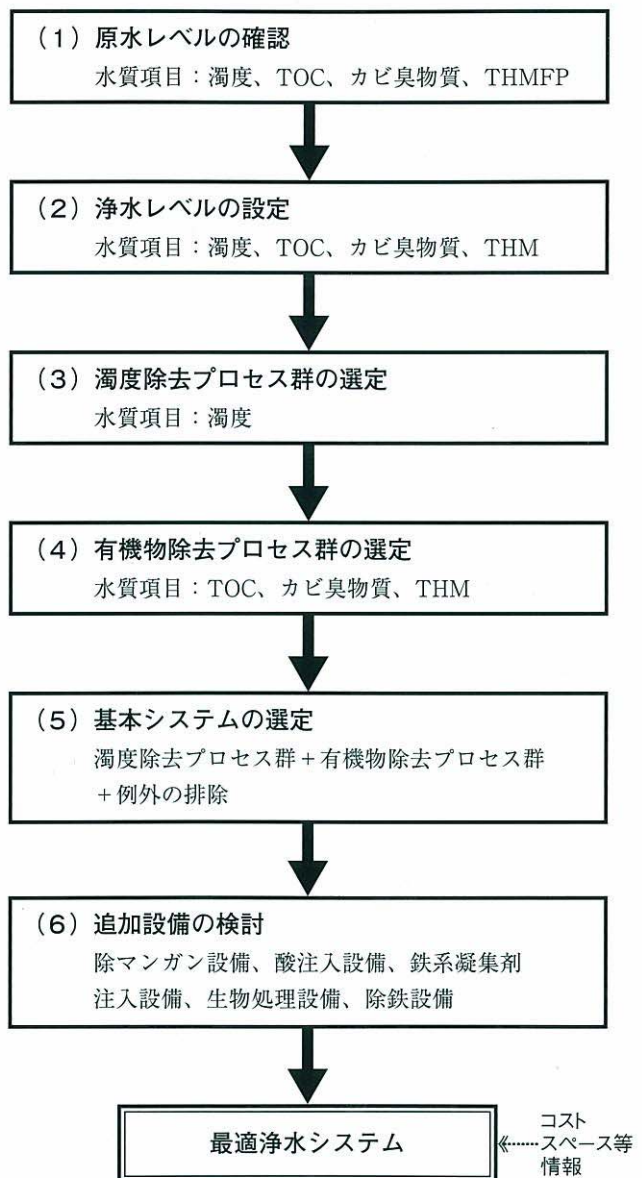


図-1 最適浄水システムの選定手法

● 合同実験

浄水システム委員会では、神奈川県内広域水道企業団綾瀬浄水場内 *e-Water II* 合同実験施設にて、凝集・沈殿または直接ろ過と組み合わせた膜ろ過システムについて実験しました。また、水質基準の強化に伴い残留アルミニウム濃度の低減化を求められることも考慮し、アルミ系凝集剤のPACの他に、鉄系凝集剤の塩化第二鉄についても実験を行いました。(写真-1、写真-2、図-2)

実証実験の結果、適正な凝集条件を整えることで、沈殿も直接ろ過も前処理として利用できるが、凝集剤低減の観点から、直接ろ過は有効な方法であることが確認されました。また、アルミ系凝集剤と鉄系凝集剤については、鉄系凝集剤の方が、補正流束の低下が少ない傾向が見られました。(図-3)

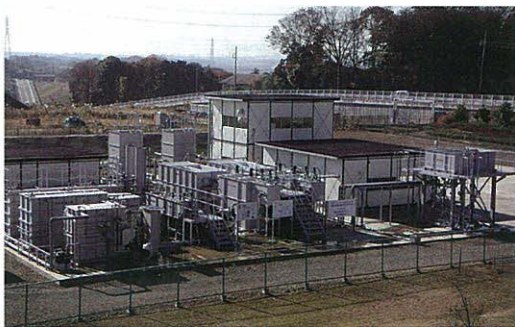


写真-1 施設全景

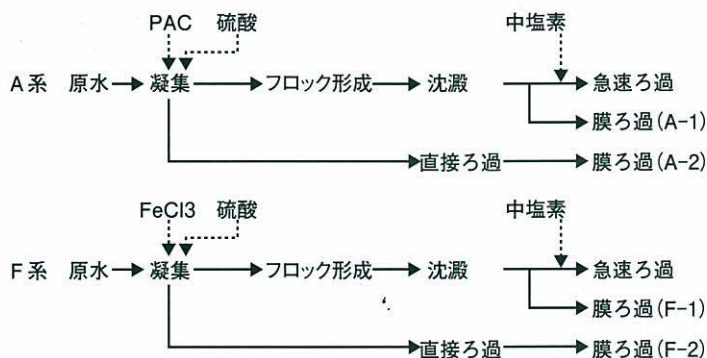


図-2 実験フロー



写真-2 膜ろ過実験施設 (写真提供: 水道産業新聞社)

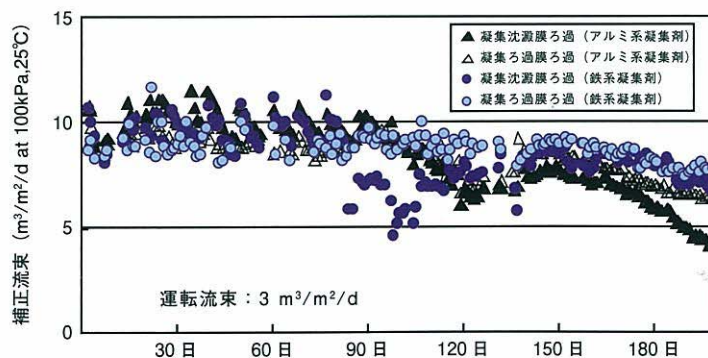


図-3 補正流束の推移

● 研究成果

原水水質と目標とする浄水水質に応じた浄水システムの選定手法を、実際の水質データに基づいて解析を行い、策定しました。さらにコスト、スペース、維持管理性、LCAなどの個々の水道事業者において適切な浄水システムを判断するための資料も提示し、総合的に判断することを可能としました。

水質評価委員会

原水・浄水水質データ及び原水水質に影響を与える因子に関するデータを幅広く収集し、我が国の原水水質の分類・評価・解析に関する研究を実施しました。

●研究概要

全国水道事業者から提供いただいた原水水質の月別データを元に、主成分分析、クラスター分析の2手法を用いて原水水質の特徴づけやその分類、特性解析を実施しました。原水水質グループ別や主成分得点範囲ごとに、それぞれの水質特性や採用されている浄水システムの傾向などを検討しました。

主成分分析の結果、水質の汚濁度合を意味する第一主成分と地下水の特徴と窒素汚染を意味する第二主成分を見出すことができ、第一主成分得点の大小により、採用されている浄水処理方法が分類される傾向があることを確認しました。(図-4)

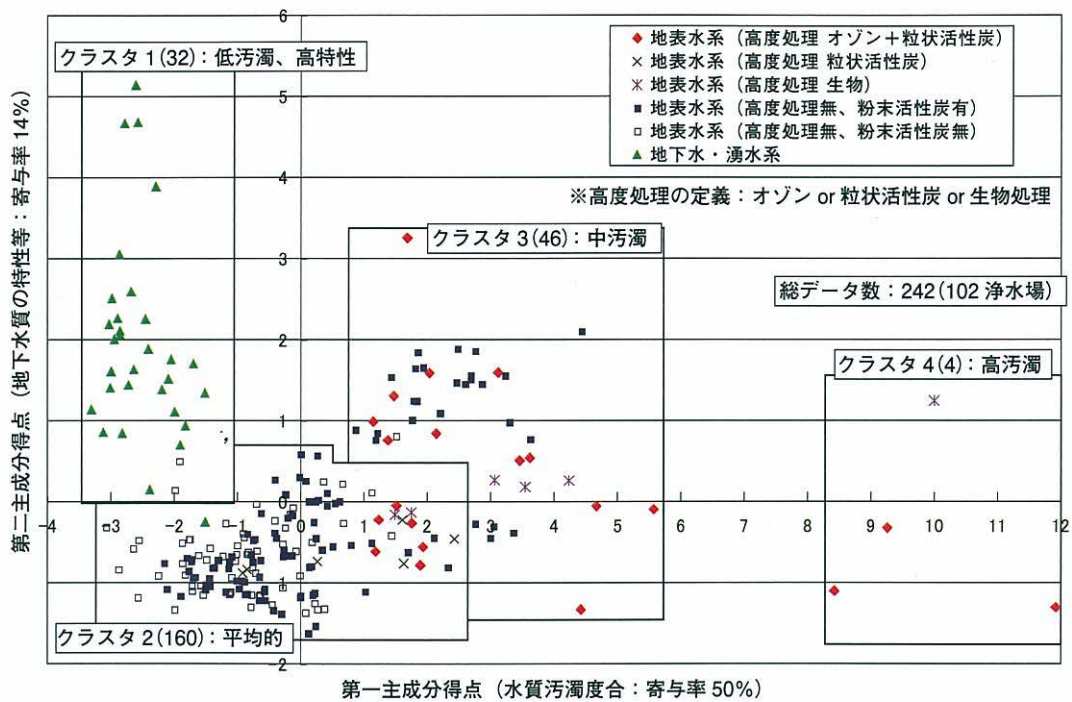


図-4 主成分分析とクラスター解析の統合図

原水水質と浄水水質の相関図を作成し、水質項目ごとの除去特性による分類、浄水システムによる違い等について検討しました。さらに、現在採用されている浄水システムごとに原水水質の累積頻度分布データを作成し、ある事業者の原水データと相対比較することにより、その事業者の原水水質レベルでは、どのような浄水システムが採用されているかを推定する方法を検討しました。

また、アンケート・ヒアリング調査を実施し、全国の浄水場で発生した原水水質障害とその対応事例に関する情報を系統的に分類・整理しました。

●研究成果

主成分分析及びクラスター解析により、日本全国の原水を水質面から特徴づけして、わかりやすくグループ分けしました。また、多数の水質項目を用いて、その特性を統合化した数値指標で表現し、水質をランク付けするなど総合的に原水水質を評価する手法を提案しました。

機能評価委員会

浄水処理プロセスごとに、水質等の面から評価を行い、浄水処理技術の確立を図ることを目的とした研究を実施しました。

●研究概要

水道事業者から提供いただいた水質・施設設計諸元・運転条件等の様々なデータを用いて、多変量解析の一つである重回帰分析の手法により、浄水プロセスの処理性能の定量的な評価を実施しました。

主要な水質項目（濁度、色度、過マンガン酸カリウム消費量、ジェオスミン、2-MIB）について、処理性に影響を及ぼす設計操作因子を抽出・評価しました。（検討例 図-5～図-8）

水道事業者へのアンケート・ヒアリング調査で収集した運転管理状況に関する情報・知見を取りまとめました。また、全国水道研究発表会講演集から浄水施設の機能改善に取り組んだ研究事例を収集し、浄水プロセスごとに整理しました。

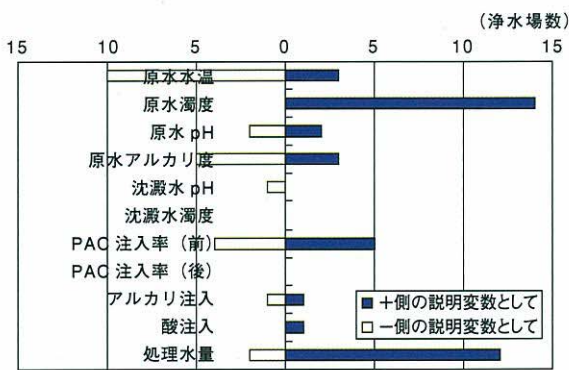


図-5 沈澱池における濁度処理性へ影響を及ぼす因子

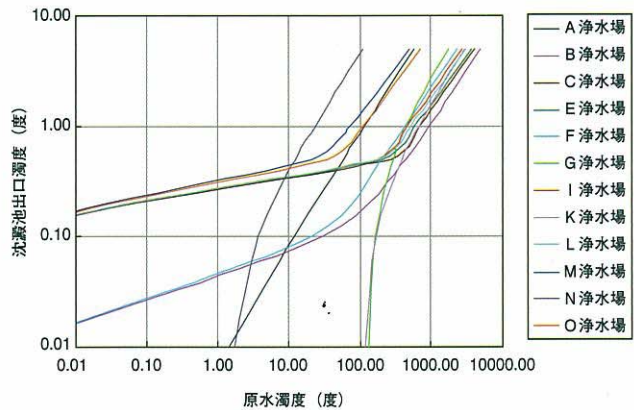


図-6 沈澱池における濁度処理限界試算例

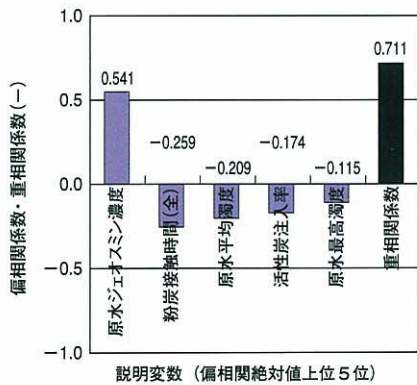


図-7 粉末活性炭吸着におけるジェオスミン処理性へ影響を及ぼす因子

※絶対値の大きい因子ほど相関性が高い

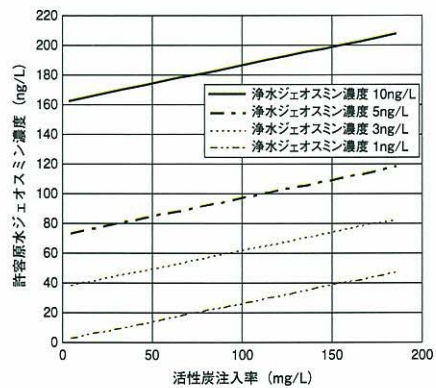


図-8 粉末活性炭吸着におけるジェオスミン処理限界試算例

●研究成果

設計操作因子が主要な水質項目（濁度、色度、過マンガン酸カリウム消費量、ジェオスミン、2-MIB）に与える影響度の傾向を示しました。また、解析から得られた処理モデル式を用いて、設計操作条件ごとに主要水質項目の処理限界（許容原水濃度）を試算しました。

環境評価委員会

環境に優しい水道の実現に資することを目的として、上水道分野におけるライフ・サイクル・アセスメント（LCA）手法を確立するための研究を実施しました。

●研究概要

浄水施設を対象としたLCAを実施する際の手順の検討や、LCAを実施する際に必要な原単位等の基礎的なデータの収集を行いました。

「凝集沈澱+砂ろ過」、「膜ろ過」、「凝集沈澱+オゾン+活性炭+砂ろ過」の3つ浄水処理フローを対象にケーススタディを実施しました。ケーススタディでは、事業期間58年間、最大処理水量21,000m³/日とした場合の建設・運転・更新・廃棄の各段階のCO₂排出量（LC-CO₂）、エネルギー消費量（LC-E）を集計しました（図-9、図-10は凝集沈澱+砂ろ過の算出結果）。

ケーススタディを実施した結果、ポンプ動力や薬品・活性炭による負荷などの維持管理に関するLC-CO₂、LC-Eが比較的大きいという結果が得られました。

なお、収集したデータの計算・集計については、作成した「浄水施設のLCA簡易計算シート」を用いて行いました（図-11、図-12）。

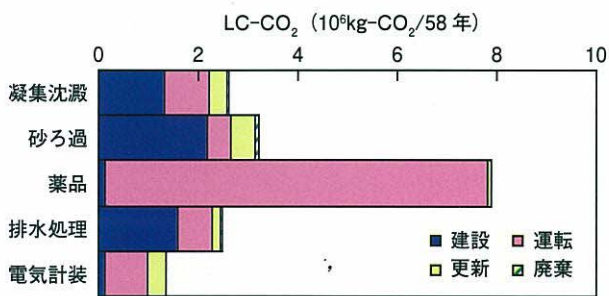


図-9 凝集沈澱+砂ろ過のLC-CO₂

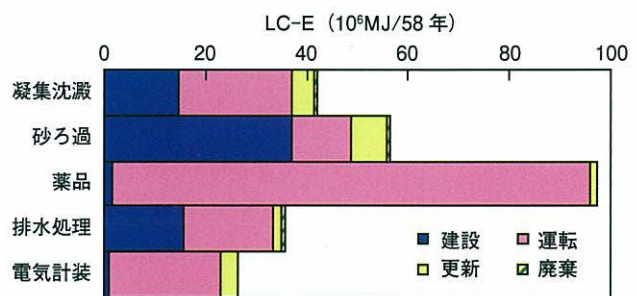


図-10 凝集沈澱+砂ろ過のLC-E

原単位(先データ)				ライフサイクル			平均
No	大分類	中分類	小分類	エネルギー (MJ/58年)			原
				建設	運転	更新	
5	浄水系	ろ水	ろ水ポンプ	944,247	0	0	
6			配管・管路	421,044	0	421,044	
7			ろ排水ポンプ	1,162	63,077	3,276	
8	凝集沈澱	薬品添加池	薬品添加池	944,247	0	0	
9			攪拌機	8,047	5,761,527	24,142	
10				0	0	0	
11				0	0	0	
12				0	0	0	
13				0	0	0	
14				0	0	0	
15				0	0	0	
16				0	0	0	
17				0	0	0	
18				0	0	0	
19			原水小計	1,118,777	5,821,544	483,762	
				0	0	0	

図-11 浄水施設のLCA簡易計算シート

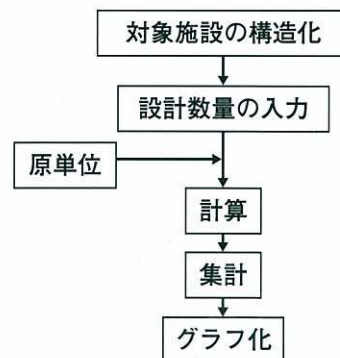


図-12 簡易計算シートにおける作業の流れ

●研究成果

水道事業におけるLCA手法の確立のために「浄水施設を対象としたLCA実施マニュアル」を作成・出版しました。

浄水システム選定のための指標の提供としてケーススタディを実施し、データの収集方法や計算・集計の具体例については「浄水施設のLCA簡易計算シート」を作成し、マニュアルに添付したCD-ROMに収録しました。

臭気評価委員会

おいしい水を目指して、臭気原因物質等に関する検出・評価方法についての検討、対策技術の選定手法の確立に関する研究を行いました。

●研究概要

臭気原因物質の迅速検知を目的として、相模川水系の寒川取水場内に VOC（揮発性有機物）測定装置を設置し、オンライン監視実験を行いました。また、VOC 測定装置の性能評価実験を行いました。（写真-3、図-13）

河川において水質事故等が発生した場合の水質汚染の流下状況について、水質予測モデルを用いたシミュレーションによる影響予測の検討を行いました。（図-14）

臭気原因物質等に関する対策技術について、文献調査、ヒアリング調査等を実施し、知見を整理しました。



写真-3 VOC 測定装置

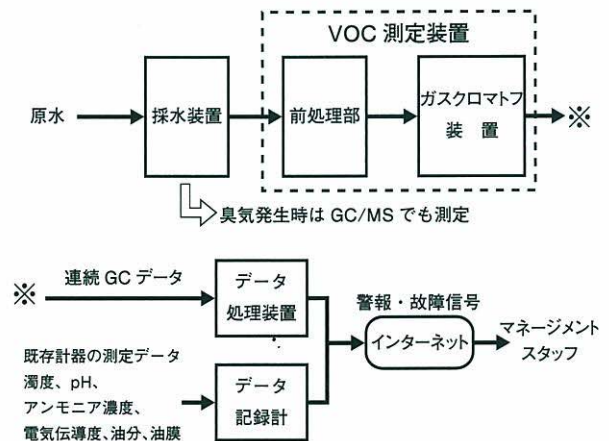


図-13 全体システム構成図

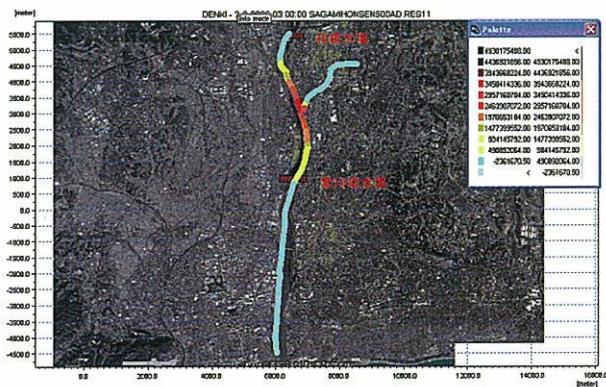


図-14 汚染物質流下シミュレーションのビジュアル表現

●研究成果

VOC 測定装置の性能評価実験の結果、100ng/L～1μg/L といった低濃度での検出が可能であることが確認されました。また、相模川を例に、支川を含む任意の点からの汚染物質流下シミュレーションが可能であることを示しました。

臭気原因物質の発生原因や対策、検知方法、閾値等の水道水の臭気に関する知見や情報を幅広く収集、整理し、成果報告書に取りまとめました。

持ち込み研究

水道事業者や企業が、特定の実験場所に、それぞれ独自の実験装置を持ち込んで行う実証実験です。下記の10件の研究課題を実施しました。

●微粉炭添加セラ膜システムによる高度浄水処理技術開発研究

実験場所：横浜市水道局 川井浄水場

研究実施者：北海道大学、(株) NGK 水環境システムズ (現 メタウォーター (株))

新しい高度浄水処理技術として、市販粉末炭を微細化して添加する微粉炭添加セラ膜システムを開発し、実証実験を実施しました。実験の結果、短時間の接触で臭気を効率的に除去でき、活性炭必要量を1/3に削減できること、微粉炭添加時そのファウリング抑制効果からセラミック膜は良好な処理性を示すことを確認しました。本システムの適用により臭気処理を効率化でき、ランニングコストの大幅削減も可能であることを実証できました。

●低軌道通信衛星を用いた浄水データ監視システム

実験場所：埼玉県秩父郡横瀬町 姿見山浄水場

研究実施者：(株) ウェルシイ

山間部や辺鄙などところの浄水場・配水施設の監視は巡回によって行われていますが、多大な労力、人件費がかかり、合理化の必要があります。UF 膜ろ過浄水設備を対象データ採取モデルとして、低軌道衛星監視システムの実証実験を行いました。通信点数は6点程度と多くありませんが、設備費、通信費、維持管理費を低く抑えられる特徴があり、簡易浄水場などで有効な監視手段となることが実証されました。

●前処理と膜ろ過の適正な連携制御方式および高感度膜損傷検知方式の確立

実験場所：日立市企業局 森山浄水場

研究実施者：(株) 日立製作所

本研究では、膜差圧予測モデルに基づき運転コストを削減できる連携制御方式を確立しました。凝集剤注入と膜ろ過の運転条件適正化により、実証装置（原水：久慈川表流水）で運転コストを約30%低減できました。さらに、膜損傷による漏洩濁質を光学的に検出する小型のデバイスを開発し、濁度で0.0005度以上の検出精度を確認しました。本デバイスはモジュール毎に設置でき、モジュールまで特定して損傷を連続監視可能です。

●地下水の高度浄水処理技術に関する研究

実験場所：熊本市水道局 一本木水源地

研究実施者：荏原環境エンジニアリング (株)、三井造船環境エンジニアリング (株)、
(株) ユアサメンブレンシステム

安全・安心を目的に、クリプトスポリジウム混入時の対策として浅井戸水を原水とした膜ろ過実験を行いました。実験は3種類の膜を使用し、各々の膜について特徴を把握しました。この結果から、地下水に対する膜ろ過設備費と紫外線消毒設備費の比較検討を行ったところ、浄水規模で小さいほど差が縮まることを確認しました。また、硝酸性窒素濃度の高い地下水に対して、電気透析による除去が有効な手段の一つであることも確認しました。

●安全対策強化型紫外線消毒システムの確立

実験場所：川崎市水道局 長沢浄水場

研究実施者：(株) 東芝 共同研究者：川崎市水道局

紫外線消毒装置の浄水処理への適用を目的に、水質への影響、スリーブ洗浄装置の有効性、安全対策強化型紫外線消毒装置（サイクロン型リアクタ）の性能を検証しました。その結果、消毒目的の紫外線照射量では水質への影響は認められないこと、スリーブ洗浄装置はランプスリーブの洗浄に効果を発揮すること、サイクロン型リアクタは、厚生労働省基準（流量95%に対し、10mJ/cm²以上）を達成する性能を発揮することを確認しました。

●温度応答性膜を用いた環境負荷低減型膜ろ過システムの確立

実験場所：川崎市水道局 長沢浄水場

研究実施者：(株) 東芝 共同研究者：川崎市水道局

中空糸膜の表面に付加した高分子の温度応答性により、膜表面に付着した汚れを温水で効率的に除去できる温度応答性膜の浄水処理への適用性を評価しました。6ヶ月半のフィールド試験を通じ、水質面での処理の安定性と温度応答性高分子の耐薬品性・耐熱性を確認するとともに、省エネ型ヒートポンプを用いた温水洗浄により膜の目詰まりを抑制し、ランニングコストのうち洗浄に関する費用を1/5に縮減できる見通しが得られました。

●活性炭と膜ろ過の組み合わせによる高度な浄水処理技術の開発

実験場所：富津市水道部 亀田浄水場

研究実施者：月島機械（株）

浄水場の凝集沈澱池以後の既設躯体に、浸漬型膜モジュールを収納した膜ユニットを直接設置して膜ろ過運転を行うユニット式浸漬型膜ろ過装置を用いて、膜ろ過と活性炭処理を組み合わせた高度な浄水技術の開発を目的とした実証実験を行いました。

膜ユニットへの粉末活性炭添加では、連続ろ過運転が可能であり、その際にはPAC添加量の管理が重要で定期的な薬液洗浄が必要になること、緊急時添加としての位置付けが適していることを確認しました。また、膜ユニットの前段への粒状活性炭カートリッジ設置では、生物活性炭としての機能が期待され、その際の漏洩微生物が膜ろ過で完全に除去されることから、非常に有効な浄水手段であることを確認しました。

●NF膜を用いた高度浄水処理システムの開発

実験場所：日立市企業局 森山浄水場

研究実施者：(株) 日立プラントテクノロジー、前澤工業（株）、東洋紡績（株）

本研究ではユースポイント近傍で高度浄水と通常水を同時に得るNF膜処理システムを開発しました。高度処理水は飲用水として、濃縮水は非飲用目的の通常水として給水されます。実験にて高度浄水水質は臭気物質（2-MIB, ジェオスミン）が1ng/L、TOCが0.3mg/L以下となり、濃縮水も非飲用用途で水道水と同様に使用可能なことを確認しました。また、半年以上無薬洗で安定運転が可能であり、コスト面も家庭用浄水器よりランニングコストが安価となりました。

●メンブレンとメディアの積極的協調による新しい固液分離技術

実験場所：阪神水道企業団 猪名川浄水場

研究実施者：阪神水道企業団、(株) 神鋼環境ソリューション、(株) クボタ

膜ろ過とメディアろ過を同一装置内に共存させ、①高効率化（省スペース化）、②水量水質の変動に対する弾力的な運用の実現を図る新しい固液分離技術としてM-MAC（Membrane-Media Active Collaboration）の開発を行いました。従来型メディアろ過及び凝集沈澱代替としてM-MACの適用可能性の評価を行った結果、ランニングコスト面で従来施設に比べ割高となりましたが、処理性や維持管理性が良好であったことから技術的に導入可能と判断されました。

●生物処理と膜処理のハイブリッド型膜ろ過システムの開発

実験場所：奈良県斑鳩町 第1浄水場

研究実施者：(株) 神鋼環境ソリューション

膜ろ過だけでは対応できない溶解性金属や有機物を含む原水を、生物処理を基本とする前処理を付加し、かつ省スペース型とするシステムの開発を目指しました。その結果、生物・活性炭処理に続いて浸漬膜ろ過にて処理するシステムを1槽で可能とする方法を構築しました。さらに、無薬注で膜差圧が安定した処理が可能であることを低水温期を含む6ヶ月間の連続運転により実証するとともに、細菌相解析からも生物処理の理論的な裏付けを確認することができました。また、実設備の試算の結果、本システムは従来技術に較べて設置面積を約50%縮小できることがわかりました。



出版物

●成果報告書集

「浄水システム委員会」「水質評価委員会」「機能評価委員会」「環境評価委員会」「臭気評価委員会」の5つの委員会の成果報告書、持ち込み研究報告書を収録しています。3分冊で構成されています。

●浄水施設を対象としたLCA実施マニュアル

LCAを算出のための手順、ケーススタディの結果、参考データなどを紹介しています。また、計算・集計用の「LCA簡易計算シート」をCD-ROMで添付しており、本マニュアルと計算シートを活用することで、比較的容易にLCAを算出することができます。



e-Water IIプロジェクト 参加学識者・水道事業体・企業および関連団体

学識者

石橋良信（東北学院大学）	国包章一（国立保健医療科学院）	古米弘明（東京大学）
伊藤禎彦（京都大学）	今野 弘（東北工業大学）	眞柄泰基（北海道大学）
伊藤雅喜（国立保健医療科学院）	滝沢 智（東京大学）	松井佳彦（北海道大学）
海老江邦雄（北見工業大学）	津野 洋（京都大学）	茂庭竹生（東海大学）
大垣眞一郎（東京大学）	長岡 裕（武蔵工業大学）	渡辺義公（北海道大学）
大村達夫（東北大学）	福士憲一（八戸工業大学）	

水道事業体、関連団体

茨城県企業局	神戸市水道局	広島市水道局
宇部市ガス水道局	埼玉県企業局	福岡市水道局
大阪市水道局	札幌市水道局	防府市水道局
大阪府水道部	静岡市企業局	山形市水道部
神奈川県企業庁水道電気局	仙台市水道局	横浜市水道局
神奈川県内広域水道企業団	千葉県水道局	全国簡易水道協議会
川崎市水道局	東京都水道局	(社) 全国上下水道コンサルタント協会
北九州市水道局	名古屋市上下水道局	(社) 日本水道協会
北千葉広域水道企業団	新潟市水道局	膜分離技術振興協会
京都市上下水道局	阪神水道企業団	

参加企業

アタカ大機株式会社	住友重機械エンバイロメント株式会社	富士電機水環境システムズ株式会社※
株式会社石垣	月島機械株式会社	前澤工業株式会社
磯村豊水機工株式会社	株式会社東京設計事務所	三井造船環境エンジニアリング株式会社
株式会社ウェルシィ	株式会社東芝	三菱電機株式会社
株式会社 NGK 水環境システムズ※	東洋紡績株式会社	株式会社明電舎
株式会社荏原製作所	東レ株式会社	株式会社コアサメンブレシステム
オルガノ株式会社	株式会社西原環境テクノロジー	横河電機株式会社
株式会社クボタ	株式会社日水コン	理水化学株式会社
三機工業株式会社	日本上下水道設計株式会社	ワセダ技研株式会社
株式会社神鋼環境ソリューション	株式会社日立製作所	
水道機工株式会社	株式会社日立プラントテクノロジー株式会社	

※平成20年4月より合併し、メタウォーター株式会社となりました。

平成20年3月末日現在

JWRC

財団法人 水道技術研究センター

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-8-1 虎ノ門電気ビル 2F
TEL : 03-3597-0212 FAX : 03-3597-0215