

平成 年 月 日

e-Water合同実験 運転管理日報

点検日 : 平成16年3月30日 (火)

e-Water 第2研究グループ

点検時間 : 9 : 00

合同実験WG (株)神鋼環境ソリューション

天候 : 曇りのち雨

担当者: 前田直良 印

1. 水質分析結果 採水時間 9 : 30

項目	原水	1系			2系						
		凝集沈殿	砂ろ過	凝集	凝集沈殿	A系膜ろ過	B系直接ろ過	B系膜ろ過	C系活性炭ろ過	C系膜ろ過	D系膜ろ過
水温 (°C)	13.7	13.9	14.1	13.9	14.2	14.5	14.3	14.4	14.2	14.5	15.2
pH	7.86	7.75	7.75	7.78	7.82	7.83	7.83	7.84	7.86	7.81	7.93
濁度 (度)	4.94	0.96	0.01	4.21	3.30	0.00	1.63	0.00	1.14	0.00	0.00
色度 (度)	2.14	0.29	0.29	1.29	1.29	0.29	1.14	0.29	1.29	0.29	1.00
E260	0.058	0.038	0.040	0.042	0.040	0.046	0.042	0.047	0.025	0.026	0.060

1系、2系処理水残留塩素濃度
0.4 mg/l

2. 水量

取水量	2160 m ³ /日
1系	360 m ³ /日
2系	456 m ³ /日
3系	336 m ³ /日
持込み研究	600 m ³ /日

3. 薬品注入率

	PAC	前塩素	中塩素	膜逆洗次亜
1系	20.0 mg/l	1.0 mg/l	0.6 mg/l	—
2系	7.0 mg/l	1.0 mg/l	—	—
3系	— mg/l	— mg/l	—	3.0 mg/l

4. 排水先

処理水槽		逆洗排水槽		汚泥受槽	
排水地	○	排水地	○	排水地	
排泥池		排泥池		排泥池	○
排泥槽		排泥槽		排泥槽	

5. 電力量 ※ 前日が休日の場合は休日分の使用量を含む

前日0:00~本日0:00	前日分	今月累計
昼間	180.6 kw/日	5384.6 kw/日
夜間	119.5 kw/日	3511.6 kw/日
合計	300.1 kw/日	8896.2 kw/日

備考

* トータルシステム連続運転試験中(D系循環)

平成 年 月 日

e-Water合同実験 運転管理日報

点検日：平成16年3月31日 (水)

e-Water 第2研究グループ

点検時間：9 : 00

合同実験WG (株)神鋼環境ソリューション

天候：晴れ

担当者：前田直良 印

1. 水質分析結果 採水時間 9 : 30

項目	原水	1系		2系							
		凝集沈殿	砂ろ過	凝集	凝集沈殿	A系膜ろ過	B系直接ろ過	B系膜ろ過	C系活性炭ろ過	C系膜ろ過	D系膜ろ過
水温 (°C)	15.4	15.5	15.7	15.5	15.8	16.3	16.0	16.4	15.9	16.4	16.8
pH	7.76	7.55	7.58	7.55	7.67	7.80	7.69	7.75	7.80	7.79	7.94
濁度 (度)	38.11	5.19	0.03	34.06	26.75	0.00	7.92	0.00	4.44	0.00	0.00
色度 (度)	11.71	0.29	0.43	1.43	5.00	0.71	2.00	0.71	2.29	0.57	1.14
E260	0.101	0.048	0.050	0.066	0.075	0.076	0.068	0.071	0.038	0.042	0.081

1系、2系処理水残留塩素濃度
0.2 mg/l

2. 水量

取水量	2160 m ³ /日
1系	360 m ³ /日
2系	456 m ³ /日
3系	336 m ³ /日
持込み研究	600 m ³ /日

3. 薬品注入率

	PAC	前塩素	中塩素	膜逆洗次亜
1系	20.0 mg/l	1.0 mg/l	0.6 mg/l	—
2系	7.0 mg/l	1.0 mg/l	—	—
3系	— mg/l	— mg/l	—	3.0 mg/l

4. 排水先

処理水槽		逆洗排水槽		汚泥受槽	
排水地	○	排水地	○	排水地	
排泥池		排泥池		排泥池	○
排泥槽		排泥槽		排泥槽	

5. 電力量 ※ 前日が休日の場合は休日分の使用量を含む

前日0:00~本日0:00	前日分	今月累計
昼間	189.2 kw/日	5573.8 kw/日
夜間	124.9 kw/日	3636.5 kw/日
合計	314.1 kw/日	9210.3 kw/日

備考

* トータルシステム連続運転試験中(D系循環)

II 第2部会（評価手法WG）

目 次

1. はじめに	381
2. 研究概要	381
2.1 研究テーマ	381
2.2 研究実施体制	381
2.3 活動内容	382
2.4 活動報告	382
3. 平成 15 年度の研究報告	383
3.1 プロセス選定図とレーダーチャートを用いた評価手法	383
3.1.1 研究方法	383
3.1.2 結果	383
(1) プロセス選定図	383
(2) 評価指標	383
(3) レーダーチャート	385
3.1.3 仮想浄水場の評価（ケーススタディ）	385
(1) 評価指標	385
(2) 検討条件	385
(3) 算出方法	386
(4) 算出結果	387
3.2 浄水分野への L C A の適用	388
3.2.1 研究の概要	388
3.2.2 検討範囲及び評価手法	388
(1) 検討範囲	388
(2) 評価手法（L C A について）	388
3.2.3 調査方法	389
(1) 調査対象の構造化	389
(2) エネルギー及び二酸化炭素の原単位	391
(3) ライフサイクルの期間	392
3.2.4 ケーススタディ（L C A によるエネルギー及び二酸化炭素の算出）	392
3.3 浄水シミュレーション	394
3.3.1 研究の位置付け	394
3.3.2 浄水処理とシミュレーション	394
(1) 水関係の事業におけるシミュレーションの状況	394
1) 一般的状況	394
2) 上水道における管網解析を用いたシミュレーションについて	395
3) 海外での浄水シミュレータ事例	395
4) 下水道における IWA-ASM(活性汚泥モデル)に基づく	

シミュレータについて-----	395
(2) 浄水処理の持つ特性とモデル化に伴う課題 -----	396
(3) 浄水プロセスに関するシミュレーション要素について-----	397
4. 平成 15 年度研究のまとめ -----	400
4.1 プロセス選定図とレーダーチャートを用いた評価手法 -----	400
4.2 L C A -----	400
4.3 浄水シミュレーション -----	400
5. 平成 16 年度の研究計画 -----	401
5.1 プロセス選定図とレーダーチャートを用いた評価手法 -----	401
5.2 L C A -----	401
5.3 浄水シミュレーション -----	401
5.4 その他 -----	401
6. 参考資料 -----	401

1. はじめに

従来、浄水施設の計画・建設時には、各種団体（国、地方自治体、企業団、事業体、学会、コンサルタント、メーカー等）が持つデータ、技術、経験を元にして、処理プロセス、処理水質、規模、処理スペースの検討・評価を行ってきた。これは原水水質データと目標とする処理水質から、処理プロセスや装置を選定する一連の水処理エンジニアリングの作業が、地域的な因子や経験的な因子を十分考慮する必要があることに起因する。

最近では、環境影響に対する国内外の意識向上と社会的要求が高まっており、今後は、浄水施設を計画・建設する場合にも、浄水施設が環境に及ぼす影響を十分評価することが必須になると想定される。しかし、環境影響を評価する手法であるLCA（ライフサイクルアセスメント）について公開されている事例を調査すると、国内では水道全体の報告例^{*)}はあるが、様々な浄水処理の評価に応用した例は少ない。一方、海外では、急速ろ過法と膜処理の比較評価にLCAを応用した例^{*)}が報告されている。

これらを背景にして、第2部会（評価手法WG）では、環境影響を考慮した浄水処理の評価手法の検討を目的に活動し、成果の普及を念頭にビジュアルでわかりやすく使いやすい評価手法を検討する。特に、LCAについては、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る。

一方、コンピュータシミュレーション技術の発展とともに、浄水処理分野においても導入が予想される浄水シミュレーション技術について、現状の技術で可能な範囲と今後の課題について検討する。

本研究は、平成14年度～平成16年度の3ヵ年行われる。本報告書では平成15年度までに得られた知見について報告する。

2. 研究概要

2. 1 研究テーマ

浄水処理における環境影響を考慮した評価手法の研究

2. 2 研究実施体制

学識経験者 岐阜大学 松井教授

担当企業委員 荏原製作所（森）、日水コン（榊原）、日本ガイシ（川瀬）、

JFEエンジニアリング（東島）、日立製作所（原）、富士電機（森岡）、

三菱レイヨン（小林）、理水化学（山本）、横河電機（川村）

以上9社

2. 3 活動内容

評価手法WGは、「ビジュアルでわかりやすい、浄水処理を評価する手法の検討」、
「LCAを浄水処理の評価に適用する検討」、「シミュレーション技術を浄水分野へ適用
する検討」について検討した。

2. 4 活動報告

表2-4-1に活動状況を示す。

表2-4-1. 活動状況

活動日	会議名称	活動内容
平成14年 12月17日	第1回 WG会議	1) 浄水評価手法について概略討議 2) 評価結果を視覚化して表記する方法(図式化)について検討
平成15年 1月16日	第2回 WG会議	1) 評価指標と単位について討議 2) 概略工程を検討 3) 他分野におけるLCAの取り組みについて調査 4) LCAでエネルギーおよびCO ₂ を算出することを決定 5) シミュレータについての勉強会
平成15年 2月18日	第3回 WG会議	1) 評価手法として、プロセス選定図とレーダーチャートを用いた図式化法で行うことを決定 2) LCAの対象範囲とプロセスを議論 3) シミュレータ関連で、著作権等の問題について調査 4) 工程表作成
平成15年 3月3日	第4回 WG会議	1) 平成14年度研究成果報告書作成 2) LCAの対象範囲、対象プロセス等を決定 3) シミュレータの研究方法について再議論
平成15年 6月12日	第5回 WG会議	1) LCAの原単位について第1回報告 2) シミュレータ関連の研究方針決定
平成15年 6月～9月	—	1) 膜のLCA用の原単位入手 2) (凝集沈殿+砂ろ過処理)施設の資料入手
平成15年 9月30日	第6回 WG会議	1) プロセス選定図について議論、修正箇所の選定 2) LCAの膜原単位の確認 3) LCA構造化、レーダーチャートの作成作業開始 4) シミュレーション事例の調査報告
平成15年 10月20日	第7回 WG会議	1) レーダーチャート、LCA積算作業の途中経過報告 2) 電気設備関連のLCA原単位について調査経過報告 3) e-Waterセミナー発表資料の作成
平成15年 12月5日	第8回 WG会議	1) 膜施設の資料入手 2) レーダーチャート用、スペース、汚泥量、薬品費、工期、 について積算 3) LCA構造化の見直し、算出結果の表記法の検討
平成15年 2月10日	第9回 WG会議	1) 水道研究発表会原稿案の承認 2) シミュレーション適用対象となる単位処理プロセスの検討 3) LCA関連で膜の原単位を検討 4) 評価項目について見直し 5) 平成15年度報告書について報告内容を検討

3. 平成15年度研究報告

3. 1 プロセス選定図とレーダーチャートを用いた評価手法

3. 1. 1. 研究方法

既設の浄水施設を評価する場合は、処理プロセスが決定されているために、適切な評価指標が与えられると、それに基づいて施設の評価を行うことが可能である。しかし、新たに浄水場を建設する場合や既設の単位処理装置を更新する場合に、どのような処理プロセスが適しているかを総合的に評価しようとする、①被処理水質、②処理プロセス、③評価指標により、様々な評価が考えられる。さらに①～③のそれぞれについて複数の項目が考えられるため、全体としては非常に複雑な検討が必要となる。そこで本研究では、適切な評価指標の検討とともに、被処理水質から適切な処理プロセスを設定可能な手順の検討についても研究範囲とした。評価結果については判りやすい表記法とすることを目指し、上記①・②を盛り込んだプロセス選定図と、③を反映させた多次元評価軸を持つレーダーチャートを利用して、いずれも図式化することを試みた。

3. 1. 2 結果

(1) プロセス選定図

図3-1-1にプロセス選定図のイメージ図を示す。縦軸に原水水質、横軸に処理水水質を持ち、それに応じた単位処理プロセスが図示される。

例えば、濁度1000度の原水を、直接、RO膜で処理してもすぐに目詰まりを生じて運転できないように、浄水処理を評価する場合には原水水質と処理水水質に応じた適切な処理プロセスを選定する必要がある。プロセス選定図を用いることで、評価対象となり得る原水と処理水の水質に応じた処理装置の選定が可能となる。なお、既設の浄水施設を評価する場合には、本図は不要となる。

今年度は、プロセス選定図に描かれる水質データの収集を行った。具体的なプロセス選定図は次年度作成する予定である。

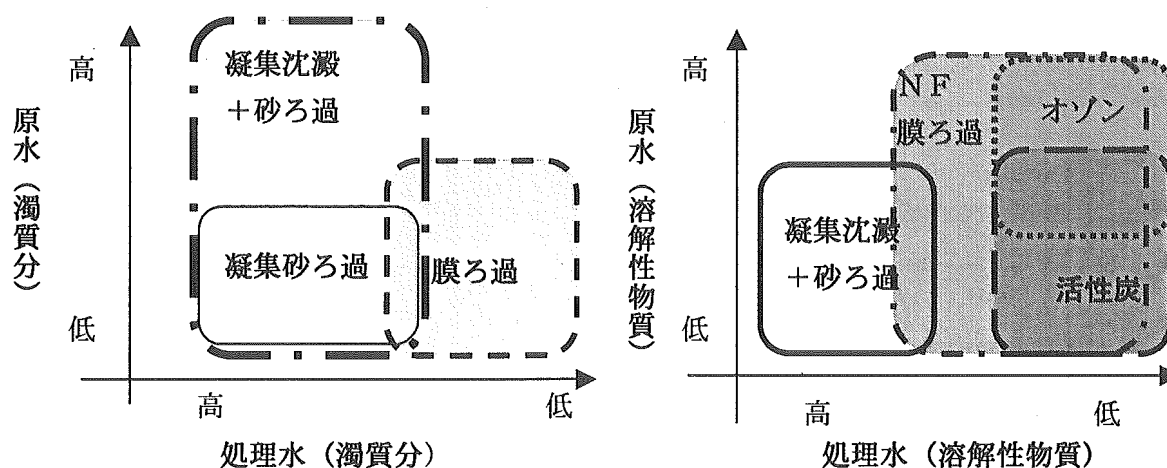


図3-1-1. プロセス選定図のイメージ図

(2) 評価指標

浄水場が環境へ及ぼす影響としては、建設・運転に伴うCO₂の発生やエネルギーの使用、処理に伴う薬品の使用、汚泥の発生、その他廃棄物等が考えられる。また、直接的ではな

いものの、建設費用は建設作業量や資材量と相関があると考えられることから、広い意味では環境影響を評価する指標と考えられる。このようにして、浄水場が及ぼす環境影響を考慮し、評価指標の項目と単位について検討を行った。表3-1-1に、研究で議論された評価指標を示す。単位は基本的に単位水量あたりにそろえることとした。太文字で表記した指標は、環境影響を評価するために特に重要とした評価指標を示す。

表3-1-1. 評価指標

評価指標名	単位	備考
CO ₂	kg-C/m ³	地球温暖化の要因となる温室効果ガスの一つ
NO _x	kg-N/m ³	生態系へ影響を及ぼすガスの一つ
SO _x	kg-S/m ³	同上
エネルギー	MJ/m ³	化石エネルギーの燃焼は、固定化されていた熱量とCO ₂ の放出を伴う
クリーンエネルギー使用率	%	太陽光発電等、化石燃料以外のエネルギー源を使用することで、熱量およびCO ₂ 量を減少させることが可能となる
スペース	m ²	省スペースとすると、部材や管理等の省略化、水の移動距離の低減に繋がり、環境影響に相関がある
工期	y	作業員や重機の活動は工期と相関し、浄水場近傍の環境（騒音・振動等を含める）へ影響を及ぼす
薬品費	円/m ³	薬品とその管理に要する環境への影響
汚泥量	g-ds/m ³	汚泥量を低減することで、処理に要するエネルギーを低減させることができる
維持管理費	円/m ³	主に人件費を想定しており、管理に要するエネルギーと相関がある
設備寿命	年	長寿命であると施設更新に伴う環境影響を低減できる
耐震性	—	環境への直接的な影響は無いが、耐震性が高いと地震等による施設復旧に伴う環境影響を低減することができる
原水使用効率	%	水資源の有効利用状況を評価できる
建設費	円/m ³	環境への直接的な影響は無いが、建設時の資材量・重機使用量等のエネルギー使用量に相関があると推察される。

上記指標の中で、今年度に検討する指標を抽出した。表3-1-2に抽出結果を示す。評価指標は、浄水場の建設時（イニシャル）と運転時（ランニング）で異なることが想定されたため、それぞれに分けることとした。

表3-1-2. 評価指標および単位

イニシャル	CO ₂ (kg-C/m ³)	エネルギー (MJ/m ³)	スペース (m ²)	工期 (y)
ランニング	CO ₂ (kg-C/m ³)	エネルギー (MJ/m ³)	汚泥量 (g-ds/m ³)	薬品費 (円/m ³)

(処理水質の衛生性について)

研究では評価指標として「水質の衛生性」を取り込むべきではないかとの議論があったが、浄水処理においては処理水の衛生性を必ず求められており、処理水水質については基本的に処理プロセスの選定において保証されていると考え、こうした指標は盛り込まないこととした。

(3) レーダーチャート

評価指標となる項目は、評価する時代や地域により異なる。このため、評価指標は複数になることが想定される。判りやすく使いやすい評価結果の表記法としては、多次元評価軸を持つレーダーチャートが適している。

図3-1-2に、評価指標を5項目とした場合におけるレーダーチャートのイメージ図を示す。検討条件によっては幅を持った評価結果となることを想定し、レーダーチャートは最大値を結んだ線と最小値を結んだ線の2本で描く。また、評価指標が多い場合には評価軸が多数となり複雑となるため、レーダーチャートを施設の建設時（イニシャル）と運転時（ランニング）に分けて2図で示す。このように、評価指標毎に値を算出し、結果を評価軸上にプロットした後、各プロットを線で結んだレーダーチャートで表記すると、評価結果は視覚的に表現することが可能となり、わかり易い。

図3-1-3に、異なる処理プロセスを評価する場合におけるレーダーチャートのイメージ図を示す。このように、プロセスAとプロセスBを同じレーダーチャート上に示すと、容易に比較することが可能となる。

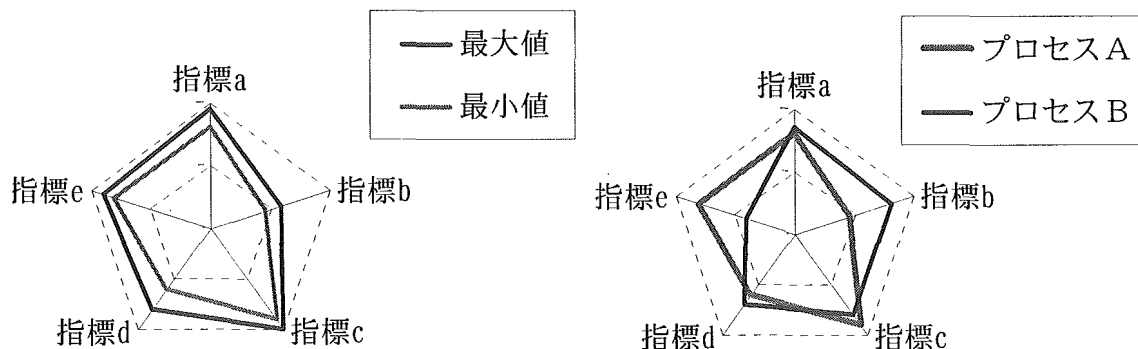


図3-1-2. レーダーチャートのイメージ図 図3-1-3. 2プロセスの比較図

3-1-3. 仮想浄水場の評価（ケーススタディ）

処理規模が2万 m^3/d で、処理フローが「凝集沈澱+砂ろ過」の浄水施設を新設すること想定して評価を行った。

(1) 評価指標

評価指標は3.1.2(2)に基づき、イニシャル項目を CO_2 ($\text{kg-C}/\text{m}^3$)、エネルギー (MJ/m^3)、スペース (m^2)、工期 (y) とし、ランニング項目を CO_2 ($\text{kg-C}/\text{m}^3$)、エネルギー (MJ/m^3)、汚泥量 ($\text{g-ds}/\text{m}^3$)、薬品費 ($\text{円}/\text{m}^3$) とした。この内、 CO_2 とエネルギーについてはLCAにより算出することにした。

(2) 検討条件

検討条件を表3-1-3に示す。

表 3-1-3 検討条件

基本事項	1. 処理水量: 20,000m ³ /日 2. 原水水質: 平均濁度 10 度として、濁度を除去すれば水質基準を満足するレベルの原水水質と仮定 3. 活性炭、オゾン等の高度処理は検討範囲外とする。 4. 水質計器類は、検討範囲外とする。
検討範囲	1. 凝集・沈殿・砂ろ過・排水池・濃縮槽・機械式脱水機・薬注に関わる土木・機械・電気設備一式 2. 系列数は 2 系列とする
使用薬品と注入率	1. PAC 注入率 平均 30mg/L 2. 消毒剤: 次亜塩素酸ナトリウム 平均注入率 前・中・後塩 各 1 mg/L
各設備の処理方式	1. フラッシュミキサ×1×1 系列 2. フロキュレータ×2×2 系列 3. 傾斜板沈降装置×2 系列 4. 汚泥掻き寄せ機×2×2 系列 5. 急速ろ過池（固定式表洗装置付き）×8 池 6. 空気源設備×2 台 7. 次亜注入設備（前・後、小出し槽方式） 8. PAC 注入設備（小出し槽方式） 9. 汚泥掻き寄せ機×2 台 10. 脱水機設備 1 式（汚泥貯留槽、脱水機本体、空気源設備等）

(3) 算出方法

CO₂およびエネルギーの算出については、次章で詳述する。ここではスペース (m²/m³) と工期 (y) については、モデルとした浄水場の実績値を参考にして求めた。ここでは、汚泥量 (g-ds/m³)、薬品費 (円/m³) について概要を示す。

1) 汚泥量 (g-ds/m³)

濁度－SS 相関を 1 とする。処理水量 20,000m³/d、原水濁度が 10 度であることから、濁度による発生汚泥量は、

$$20,000\text{m}^3/\text{d} \times 10\text{mg}/\text{L} \times 10^{-3} = 200 \text{ kg}/\text{d}$$

となる。また、凝集剤による発生汚泥量は、

$$20,000\text{m}^3/\text{d} \times 30\text{mg}/\text{L} \times 0.153 \times 10^{-3} = 91.8 \text{ kg}/\text{d}$$

以上より、発生汚泥量は、

$$\text{発生汚泥量} = 200 + 91.8 = 291.8\text{kg}/\text{d}$$

となる。1m³あたりに換算すると、15g/m³となる。

2) 薬品費 (円/m³)

薬品単価は、PAC を 30～100 円/kg、液体次亜塩素酸ナトリウムを 40～100 円と仮定し算出する。1m³あたりの薬品費は、PAC の場合が、

$$30\text{g/m}^3 \times 10^{-3} \times (30 \sim 100)\text{円/kg} = 0.9 \sim 3\text{円/m}^3$$

となり、次亜塩素酸ナトリウムの場合が、

$$(1 + 1 + 1)\text{g/m}^3 \times 100/12 \times 10^{-3} \times (40 \sim 100)\text{円/kg} = 1 \sim 2.5\text{円/m}^3$$

となる。以上より、薬品費は1.9～5.5円/m³となる。

(4) 算出結果

表3-1-4に算出結果を示す。図3-1-4に、多次元評価軸によるレーダーチャートを用いた結果の表記を示す。レーダーチャートを用いて結果を表記することで、視覚的に表される。また、研究では、建設段階（イニシャル）と運転段階（ランニング）の評価指標が各4つであったが、評価軸数は可変であることから結果の表記には、レーダーチャートの表記が適している。

表3-1-4. 算出結果

イニシャル	算出結果	備考
CO ₂ (kg/m ³)	43	LCAで算出
エネルギー (MJ/m ³)	0.72	LCAで算出
スペース (m ²)	4,900～5,500	実施設考慮
工期 (y)	2～3	実施設考慮
ランニング	—	—
CO ₂ (kg/m ³)	0.057	LCAで算出
エネルギー (MJ/m ³)	5.14	LCAで算出
薬品費 (円/m ³)	2～6	算出
汚泥量 (g-ds/m ³)	15(～18)	算出

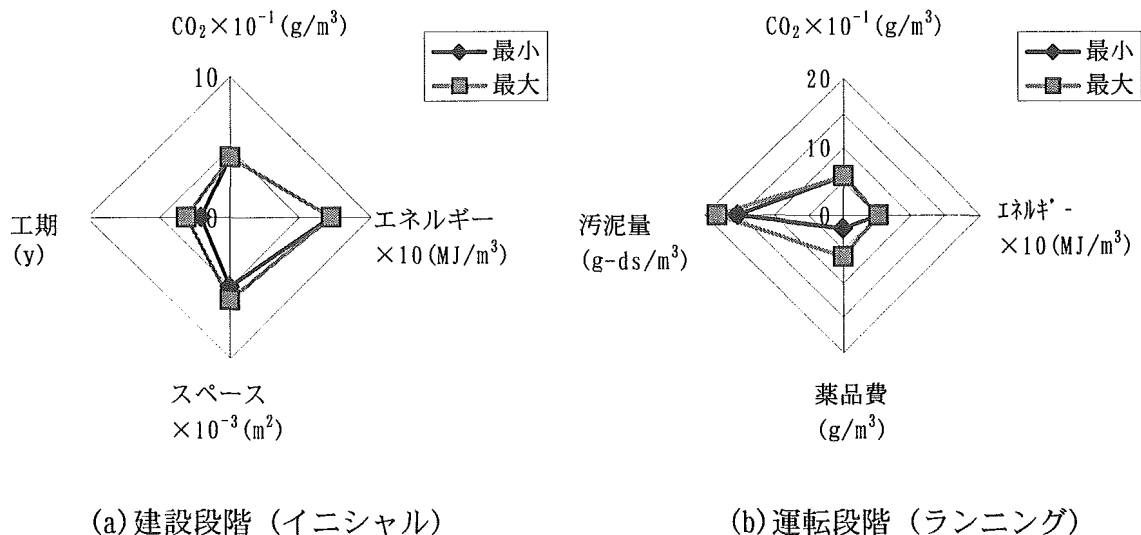


図3-1-4. 2万 m³/d 規模の仮想浄水場における評価結果例

3. 2 浄水分野へのLCAの適用

3. 2. 1 研究の概要

3. 1で示した評価指標のうちの二酸化炭素及びエネルギーに関しては、ライフサイクルアセスメント（LCA）を適用することにより、浄水施設の材料製造・建設・運転・維持管理の各段階における環境負荷の定量化を行った。この3. 2は、検討範囲及び評価手法、調査方法、ケーススタディ結果について取りまとめたものである。

3. 2. 2 検討範囲及び評価手法

(1) 検討範囲

検討範囲は図3-2-1に示すように、浄水施設の建設から運転までの段階とし、廃棄段階については対象外とした。また本研究では、建設段階をイニシャル、運転段階をランニングと表記した。

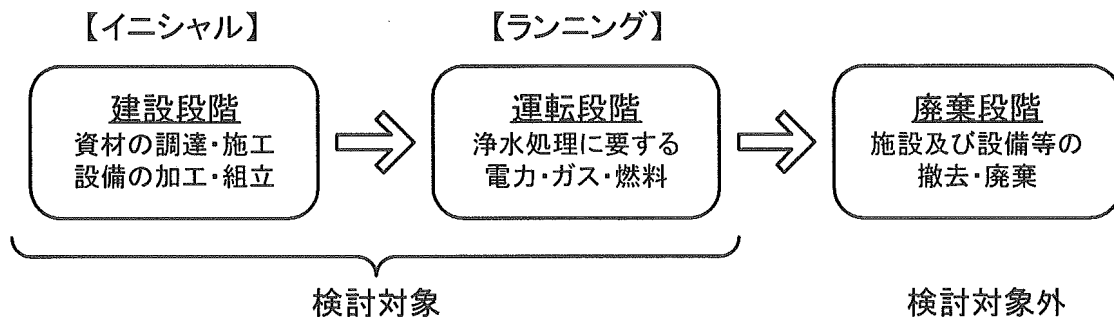


図3-2-1 検討範囲

(2) 評価手法（LCAについて）

ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment：LCA）は、製品やサービスがそのライフサイクル全般にわたって環境に及ぼす影響を定量化する手法である。算出方法は大きく分けて「積み上げ法」と「産業連関法」があり、適宜、両者を組み合わせることが一般的であるが、本研究では施設ごとの算出方法を統一させるため、可能な限り「積み上げ法」の使用を基本とした。なお、今年度は取り扱わなかった廃棄段階の扱いについては今後の課題とする。

◆積み上げ法による算出の例

$$\begin{aligned} & \text{コンクリートの使用に係る CO2 排出量 (kg-C)} \\ &= \text{原単位 (kg-C/m}^3\text{)} \times \text{コンクリート使用量 (m}^3\text{)} \\ &= 62.97 \text{ (kg-C/m}^3\text{)} \times 1,000\text{m}^3 \\ &= 62,970 \text{ (kg-C)} \end{aligned}$$

3. 2. 3 調査方法

(1) 調査対象の構造化

本研究の調査対象となる浄水施設については、処理プロセス・施設別、及び分野別に表3-2-1のとおり分類・整理した。

表3-2-1 調査対象の構造化

	処理プロセス・施設	大分類	中分類
イニシャル (建設段階)	沈澱池	土木	躯体
		土木	管・弁類
		土木	土工
		機械	急速混和機
		機械	フロッキュレータ
		機械	汚泥掻寄機
		機械	傾斜板装置
		機械	流出トラフ
		機械	付帯設備
		機械	管・弁類
		建築	沈澱池上屋
	ろ過池	土木	躯体
		土木	管・弁類
		土木	土工
		機械	流入装置
		機械	表洗装置
		機械	排水トラフ
		機械	排水装置
		機械	真空ポンプ
		機械	真空タンク
		機械	集水装置
		機械	ろ過砂
		機械	ろ過砂利
		機械	コンプレッサー
		機械	空気槽
		機械	電磁弁箱
		機械	防音カバー
		機械	水位電極
		機械	床排水ポンプ
		機械	管・弁類
		機械	付帯設備
	機械	複合工	
	浄水池	土木	土工
		土木	底版
		土木	側壁
		土木	PC
		土木	屋根
		土木	付帯設備
		土木	階段室
		土木	流入弁室
		土木	流出弁室
		土木	管・弁類
		場内配管	土木
土木	土工		
排水池・濃縮槽	土木	躯体	

	処理プロセス・施設	大分類	中分類	
		土木	管・弁類	
		土木	土工	
		土木	複合工	
		機械	排水返送ポンプ	
		機械	上澄水引抜ポンプ	
		機械	汚泥供給ポンプ	
		機械	床排水ポンプ	
		機械	汚泥掻き機	
		機械	管・弁類	
		機械	鋼製架台	
		建築	濃縮排泥上屋	
		建築	脱水機棟	
		薬品注入設備	機械	貯槽
	機械		ポンプ	
	機械		2次製品	
	機械		管・弁類	
	場内配管	土木	管・弁類	
		土木	土工	
	管理棟	建築	管理棟	
	場内整備工事	土木	躯体	
		土木	土工	
	造成工事	土木	躯体	
		土木	管・弁類	
		土木	土工	
	受変電・自家発	電気	本体	
		電気	工事材料	
	動力	電気	本体	
		電気	工事材料	
	計装	電気	本体	
		電気	工事材料	
	監視制御	電気	本体	
		電気	工事材料	
	ランニング (運転段階)	急速ろ過池	機械	真空ポンプ
			機械	コンプレッサー
			機械	床排水ポンプ
			機械	表洗ポンプ
			機械	逆洗補給ポンプ
			機械	給水装置
			機械	床排水ポンプ
			機械	搬入出ホイスト
		沈殿池	機械	急速混和機
			機械	フロッキュレータ
			機械	汚泥掻き機
			機械	付帯設備
		排水池・濃縮槽	機械	排水返送ポンプ
			機械	上澄水引抜ポンプ
			機械	汚泥供給ポンプ
機械			床排水ポンプ	
機械			汚泥掻き機	
受変電・自家発		電気		
動力電力		電気		
監視制御電力		電気		

(2) エネルギー及び二酸化炭素の原単位

二酸化炭素及びエネルギーをLCAの積み上げ法によって算出するに当たり、既存の知見、及び参加企業で独自に実施した検討結果等をもとに、表3-2-2に示す原単位を使用した。

表3-2-2 本研究で使用したエネルギー及び二酸化炭素の原単位

項目	エネルギー原単位		CO2原単位	
	2020.2	MJ/m ³		kg-C/m ³
コンクリート	2020.2	MJ/m ³	62.970	kg-C/m ³
鋼管/SUS管	25.7	MJ/kg	0.391	kg-C/kg
鉄筋	25.7	MJ/kg	0.256	kg-C/kg
SUS材	38.2	MJ/kg	0.688	kg-C/kg
SUS	51.5	MJ/kg	2.683	kg-C/kg
ダクタイル鋳鉄管	25.7	MJ/kg	0.987	kg-C/kg
ダクタイル鋳鉄バルブ/ゲート	26.7	MJ/kg	1.000	kg-C/kg
塩化ビニル管	4.1	MJ/kg	0.492	kg-C/kg
PVC	4.1	MJ/kg	0.492	kg-C/kg
SS	25.7	MJ/kg	0.342	kg-C/kg
アルミニウム	141.5	MJ/kg	7.980	kg-C/kg
アスファルト	2.0	MJ/kg	0.028	kg-C/kg
FRP	4.1	MJ/kg	0.492	kg-C/kg
SGPW	25.7	MJ/kg	0.342	kg-C/kg
HIVP	4.1	MJ/kg	0.492	kg-C/kg
FCD	25.7	MJ/kg	0.342	kg-C/kg
SGP	25.7	MJ/kg	0.342	kg-C/kg
ゴム	239.9	MJ/kg	15.000	kg-C/kg
工業用プラスチック	80.3	MJ/kg	0.342	kg-C/kg
木材	34.3	MJ/kg	2.200	kg-C/kg
ガラス	38.5	MJ/kg	0.687	kg-C/kg
樹脂	80.3	MJ/kg	1.366	kg-C/kg
集積回路	495.7	MJ/kg	7.845	kg-C/kg
珪素鋼板	53.0	MJ/kg	0.869	kg-C/kg
電線	113.3	MJ/kg	1.958	kg-C/kg
銅	48.9	MJ/kg	0.851	kg-C/kg
掘削	0.0	MJ/m ³	0.598	kg-C/m ³
埋戻し	0.0	MJ/m ³	0.317	kg-C/m ³
残土処理	0.2	MJ/m ³	4.257	kg-C/m ³
RC工場	9266.3	MJ/m ²	192.500	kg-C/m ²
RC事務所	12523.9	MJ/m ²	247.600	kg-C/m ²

(3) ライフサイクルの期間

本研究の対象とする浄水施設は表3-2-1で示したように多くの施設で構成されており、また、LCAによる検討では図3-2-1に示すように建設段階から運転段階まで、施設のライフサイクルが対象となる。こうした様々な特性を有する施設を比較・評価するためには共通の尺度に置き換える必要があり、通常は各施設ごとにライフサイクルの期間、すなわち施設の寿命を定め、年間当たりの値に変換することが多い。本研究では、法定上の耐用年数を参考にして表3-2-3に示すライフサイクル期間を定めた。

表3-2-3 ライフサイクル期間（各施設の寿命）

分類	ライフサイクル期間
土木	40年
建築	30年
機械	15年
電気	15年

3. 2. 4 ケーススタディ（LCAによるエネルギー及び二酸化炭素の算出）

以上の方法によって算出した二酸化炭素及びエネルギーの算出結果を表3-2-4、及び図3-2-2～図3-2-3に示し、その概要を以下に述べる。

エネルギーについては全体で 42×10^6 MJ/年が消費され、その内訳はイニシャルが13%、ランニングが87%となっている。一方、二酸化炭素については全体で727 ton/年が消費され、その内訳はイニシャルが42%、ランニングが58%となっている。

いずれの評価項目とも機械のランニングに関わる部分の比率が高く、エネルギーについては約8割、二酸化炭素については約5割を占めている。機械のランニングとは、砂ろ過池の洗浄用ポンプや排水池・濃縮槽への汚泥供給ポンプ等を指しており、環境影響の低減を図る上で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。なお、本研究では、浄水場内の通水を自然流下する施設を対象としたが、導・送・配水等のために別途ポンプを必要とする場合には、機械のランニングに関わる部分がさらに大きくなると予想される。

表3-2-4 LCAによる環境影響の算出結果（凝集沈澱＋急速ろ過）

		エネルギー(MJ/年)			CO2(kg-C/年)		
イニシャル	土木	2,555,669	0.35	0.060	100,776	0.014	0.139
	建築	2,110,615	0.29	0.049	42,782	0.006	0.059
	機械	402,835	0.06	0.009	163,329	0.022	0.225
	電気	216,619	0.03	0.005	3,479	0.000	0.005
ランニング	土木	0	0.00	0.000	0	0.000	0.000
	建築	0	0.00	0.000	0	0.000	0.000
	機械	35,285,828	4.83	0.824	392,065	0.054	0.539
	電気	2,235,114	0.31	0.052	24,764	0.003	0.034
合計		42,806,679	5.86	1.000	727,193	0.100	1.000

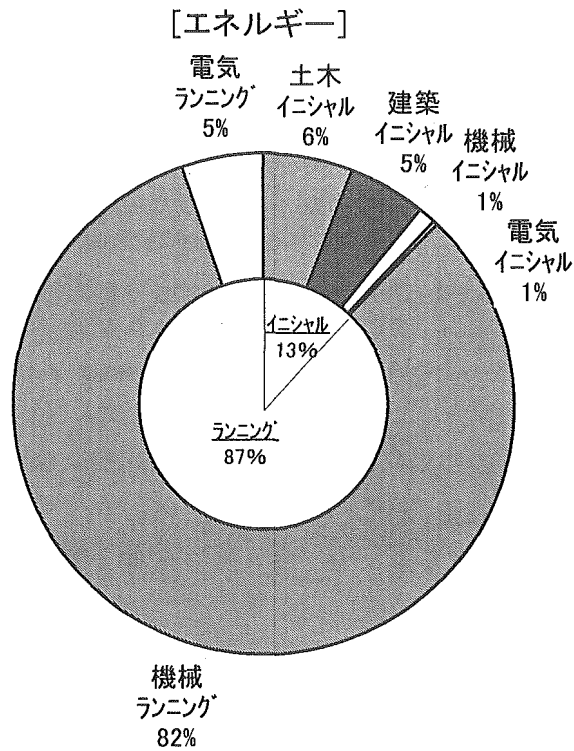


図3-2-2 LCAによるエネルギーの算出結果（凝集沈澱+急速ろ過）

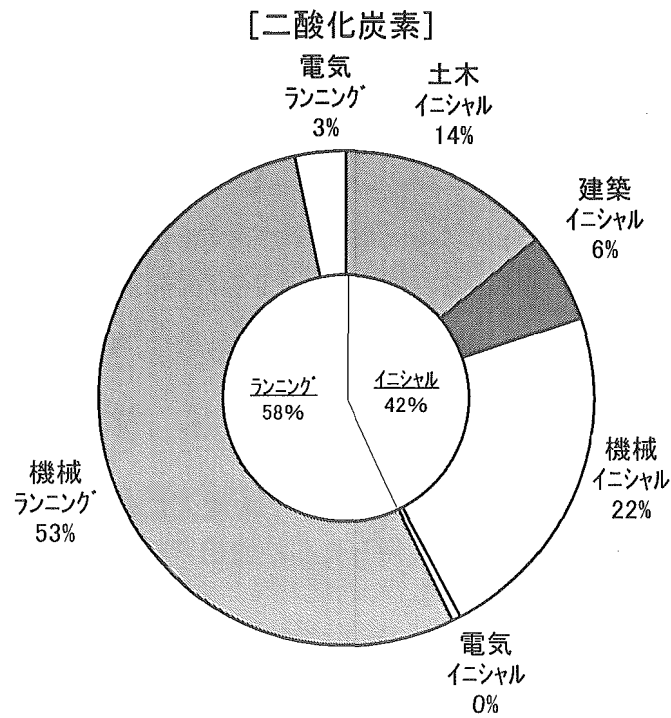


図3-2-3 LCAによる二酸化炭素の算出結果（凝集沈澱+急速ろ過）

3. 3 浄水シミュレーション

3. 3. 1 研究の位置付け

シミュレーションの特徴は、現象や運転をコンピュータ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。既に産業分野では、この利点が生かされており、化学プラントなどでは、運転の効率化、安全性確保などを旨とした、運転計画、自動制御への利用は一般的になっている。

今後は浄水プロセスについても、外乱や動的な条件変動への応答評価など、細部の分析および理解に基づく運営が重視される方向に向かうと予想され、シミュレーション活用への期待は高まると考えられる。

本報告では、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う。

なお、本文中では現象をモデル化しコンピュータ処理する技術一般を示す場合には「シミュレーション」という名称を、一方制作者以外が比較的容易に扱えるインターフェイスを備えたシステムとしては「シミュレータ」という名称を用いて区別する。

3. 3. 2 浄水処理とシミュレーション

(1) 水関係の事業におけるシミュレーションの状況

1) 一般的状況

水関係の事業でも他産業同様、運転管理負担、環境負荷、経済性などにかかわる事業運営の改善、および対外説明責任など事業を取り巻く環境が厳しくなっており、プロセスの定量管理強化が課題として認識されつつある。

そのような状況のもと、上水道の管路施設においては、データベースとしてGIS(Geographic Information System:地図情報システム、マッピングシステム)を利用することによる、圧力分布管理、残塩管理、赤水予測など配水系を対象としたシミュレーションなど、進んだ取組みも行われている。

しかし、国内についてみた場合、一連の浄水プロセスを網羅し実務への利用段階に到達したシミュレータというものは存在していない。そのような実情であるが、浄水プロセスについての理論的な研究は多くの実績があり、個別処理段階としてはシミュレータレベルにまで発展したものもある。

一方、水関係のもう一つの大きな事業である下水道では、量・質両面とも比較的積極的に取組みが進められているといえる。

まず、量管理面では水理モデル利用した雨水・下水流入量のシミュレーションシステムが実用化されている。この面では、GISを利用した広域流出解析のシステムも開発が進んでおり、運転管理などへの適用が検討されている。

さらに、下水道においては質管理面でIWA(国際水協会)提案のASM(活性汚泥数学モデル)に基づいたシミュレータも実用化されており、処理システムの計画、設計、運転の各段階へのシミュレーションの適用が検討されつつある。

以下に各事業での現状について、若干具体的な状況を示す。

2) 上水道における管網解析を用いたシミュレーションについて

管網解析を用いた圧力分布や水量の適正化は、上水道にコンピュータが導入された初期段階から最も効果が期待される用途の一つとして認識され、積極的な取り組みが行われてきた。

特に、コンピュータ性能の向上により GIS に関心が集まった時期には、その重要なアプリケーション技術として機能は向上されている。

このような事例として、水道技術研究センターにおいても、「報告書 No53 震災時水道施設復旧支援システム開発研究」で、災害シミュレーションの中心技術として報告されている。

また、最近ではコンピュータの性能向上が著しく、大容量計算の短時間処理が可能となったため、従来では難しかった現場制御への展開を目指した研究および開発も増えている。動的な水理現象と制御の関係をシミュレーションし現場制御へ適用する方式、あるいは渇水時の運用のようなきめ細かな制御を目指す方式などが検討されている。

3) 海外での浄水シミュレータ事例

海外においても浄水プロセスに関するシミュレータは実績が少ない。しかし、管理の定量的評価への要求が必要となりつつある状況からか、最近になってシミュレータとして販売されるものが出現してきた。

下記の二例は、その存在が公開されているものである。

WRc 社 OTTER 浄水処理全般をカバーしたシミュレータ。

<http://www.mpassociates.gr/software/environment/otter.html>

ENVIROMEGA 社 WatPro 消毒および副生成物などを主目的としたシミュレータ。

<http://www.enviromega.com/watpro2.htm>

いずれも、ホームページレベルの紹介資料の範囲では、解析に利用した原理あるいはモデルの構造は公開されていない。シミュレーションの結果を正しく理解し利用するには、モデルを理解していることが不可欠と考えられるので、この点は注意する必要がある。

4) 下水道における IWA-ASM(活性汚泥モデル)に基づくシミュレータについて

下水道分野においては、IWA-ASM (活性汚泥モデル) が活性汚泥モデルの世界標準として国際的に認知されている。IWA-ASM は 1986 年に国際水質汚濁研究学会 (IAWPRC:現在は国際水学会 IWA) のタスクグループが公表した活性汚泥モデル ASM1、それ以降の ASM2 (1995)、ASM2d(1999)、ASM3(1999)からなる。

IWA-ASM によるシミュレーションソフトも開発されており、ヨーロッパを中心に下水処理場への適用事例が増加し、既に、設計・運転管理の実務の場において利用されている。

日本国内では実務レベルでの利用は未だ見られないものの、研究レベルでは平成 11 年 11 月から平成 13 年 3 月まで実施された日本下水道事業団と東京大学大学院との共同研究など活発な取り組みが行われている。

シミュレータを国内で実用化するためには、日本国内の処理施設に対応した数値解析条件の設定や測定技術の向上という課題が残っており、実データの収集と算出されたシミュレーション結果との比較による、初期条件および計算条件の検討、測定方法の検討が行われている。

研究発表会でも多数の研究成果が報告されており、例えば平成 15 年の下水道研究発表会では特定課題セッションが設けられ、