

## 2) 基本プロセス別維持管理性算出

維持管理の難易度は、浄水システムを選定する上で考慮すべき重要な検討項目である。「浄水技術ガイドライン 2000」、(財)水道技術研究センター、2000 では、浄水システムの選定に際して参考となる目安を、Ⅰ～Ⅲ類のレベルに設定している。

Ⅰ類：オペレータが特別な浄水処理の知識を要求されず、運転マニュアルを理解することのみで運転管理できるプロセス。

Ⅱ類：オペレータが原水水質の変動に応じて、管理、制御を適切に変更できる知識、経験を要求されるプロセス。

Ⅲ類：オペレータが原水水質の変動に対して適切に対処できるとともに、特定のプロセスに関して専門的な知識、経験を要求されるプロセス。

上記を参考に、主に水量変動に対する管理である、沈澱、急速ろ過、膜ろ過、粒状炭、前ろ過をⅠ類とする。原水水質の変動に応じた管理制御が必要な凝集、オゾンはⅡ類となる。

さらに、処理プロセスに凝集または粉末炭が加わるとそれぞれⅠレベルアップとする。これらの、基本プロセスと維持管理レベルとの対応を表 3-6-5 に示す。

表 3-6-5 基本プロセスと維持管理性

			類	参考	
1	-1	a	膜ろ過	Ⅰ	P25
		b	粉末炭 + 膜ろ過	Ⅱ	P65
	-2	a	凝集 + 膜ろ過	Ⅱ	P63
		b	粉末炭 + 凝集 + 膜ろ過	Ⅲ	P65
2	-1	a	凝集 + 沈澱 + 急速ろ過	Ⅱ	P58
		b	粉末炭 + 凝集 + 沈澱 + 急速ろ過	Ⅲ	P59
	-2	a	凝集 + 沈澱 + 膜ろ過	Ⅱ	P63
		b	粉末炭 + 凝集 + 沈澱 + 膜ろ過	Ⅲ	P65
3		凝集 + 急速ろ過	Ⅱ	P58	
4	a	凝集 + 前ろ過 + 膜ろ過	Ⅱ	P64	
	b	凝集 + 前ろ過 + 粉末炭 + 膜ろ過	Ⅲ	P64	
5	-1	a	凝集 + 沈澱 + 粒状炭 + 急速ろ過	Ⅲ	P59
		b	粉末炭 + 凝集 + 沈澱 + 粒状炭 + 急速ろ過	Ⅲ	P59
	-2	a	凝集 + 沈澱 + 粒状炭 + 膜ろ過	Ⅲ	P66
		b	粉末炭 + 凝集 + 沈澱 + 粒状炭 + 膜ろ過	Ⅲ	P66
6	-1	凝集 + 沈澱 + オゾン + 粒状炭 + 急速ろ過	Ⅲ	P57	
	-2	凝集 + 沈澱 + オゾン + 粒状炭 + 膜ろ過	Ⅲ	P66	
7	-1	粒状炭 + 膜ろ過	Ⅰ	P65	
	-2	凝集 + 粒状炭 + 膜ろ過	Ⅱ	P65	
	-3	オゾン + 粒状炭 + 膜ろ過	Ⅲ	P66	
8		凝集 + 前ろ過 + 粒状炭 + 膜ろ過	Ⅲ	P61	

※1 参考の番号は「浄水技術ガイドライン 2000」の対応ページを示す。

また、「水道施設管理技師資格制度<sup>※2</sup>」では、3段階の認定制度を採用しており、下記に示すように、特別なプロセスや浄水場規模により、求められる資格要件も異なり、維持

管理性を判断する上での資料の一つとなる。

水道浄水施設管理技士選定の目安

	1級	2級	3級	適用ケース例
パターン1		○	○	・一般的な浄水処理プロセスの運転・維持管理を第三者委託する場合
パターン2	○	△	○	・特別な浄水処理プロセスを有する又は大規模な浄水場の運転・維持管理を第三者委託する場合

備考

- 注1) 資格者の人数や勤務時間等は、浄水場の規模や浄水処理フロー等に応じて適宜設定する。
- 注2) 表中の○は、その管理技士を選定することが望ましいことを、△は状況に応じて選定することを示す。
- 注3) 一般的な浄水処理プロセスとは、次のとおりである。  
 ・消毒のみ、緩速濾過、急速濾過処理、膜濾過処理 (MF、UF)、除鉄・除マンガン処理、揮発性有機物曝気等
- 注4) 特別な浄水処理プロセスとは、次のとおりである。  
 ・高度浄水処理、膜濾過処理 (NF、RO) 等
- 注5) 大規模な浄水場とは、次のとおりである。  
 ・給水人口が5万人を超える又は計画1日最大給水量25,000立方メートルを超える浄水場

※2 「水道協会雑誌 平成16年2月」、p102、(社)日本水道協会、2004

### 3) 基本プロセス別 LCA の算出

環境評価委員会において、下記に示す基本システムに関して、施設の建設から廃棄段階までのライフサイクル・アセスメント (LCA) を行っている。

浄水場規模：20,000 m <sup>3</sup> /日
「凝集沈澱+砂ろ過（急速ろ過）」
「膜ろ過」
「凝集沈澱+オゾン+粒状炭+砂ろ過（急速ろ過）」

この結果を参考として、基本プロセスごとに、浄水場規模 20,000 m<sup>3</sup>/日における LCA を試算する。他の水量規模における LCA は算出資料がないため、ここでは、浄水場規模 20,000 m<sup>3</sup>/日における比較とした。

なお、上記の資料では、粉末炭の LCA が含まれていないため追加作成したが、前ろ過については作成していないため、前ろ過が含まれるプロセスについては、LCA の比較はできない。

比較可能な LCA の基本プロセスを表 3-6-6 に示す。

表 3-6-6 基本プロセスと LCA (表 3-6-5 一部修正)

1	-1	a	膜ろ過			
		b	粉末炭 + 膜ろ過			
	-2	a	凝集 + 膜ろ過			
		b	粉末炭 + 凝集 + 膜ろ過			
2	-1	a	凝集 + 沈澱 + 急速ろ過			
		b	粉末炭 + 凝集 + 沈澱 + 急速ろ過			
	-2	a	凝集 + 沈澱 + 膜ろ過			
		b	粉末炭 + 凝集 + 沈澱 + 膜ろ過			
3		凝集 + 急速ろ過				
4	a	凝集 + 前ろ過 + 膜ろ過				
	b	凝集 + 前ろ過 + 粉末炭 + 膜ろ過				
5	-1	a	凝集 + 沈澱 + 粒状炭 + 急速ろ過			
		b	粉末炭 + 凝集 + 沈澱 + 粒状炭 + 急速ろ過			
	-2	a	凝集 + 沈澱 + 粒状炭 + 膜ろ過			
		b	粉末炭 + 凝集 + 沈澱 + 粒状炭 + 膜ろ過			
6	-1	凝集 + 沈澱 + オゾン + 粒状炭 + 急速ろ過				
	-2	凝集 + 沈澱 + オゾン + 粒状炭 + 膜ろ過				
7	-1	粒状炭 + 膜ろ過				
	-2	凝集 + 粒状炭 + 膜ろ過				
	-3	オゾン + 粒状炭 + 膜ろ過				
8		凝集 + 前ろ過 + 粒状炭 + 膜ろ過				

注) 網掛け部は、LCA を比較できないプロセスを示す。

## (2) 算出結果

基本システムごとのイニシャルコスト、ランニングコスト、スペース、維持管理性、LCAなどの算出結果を示す。基本プロセスを比較するために、プロセス 2-1-a に対する比率として示す。

イニシャルコスト  
 <5,000m<sup>3</sup>/日>

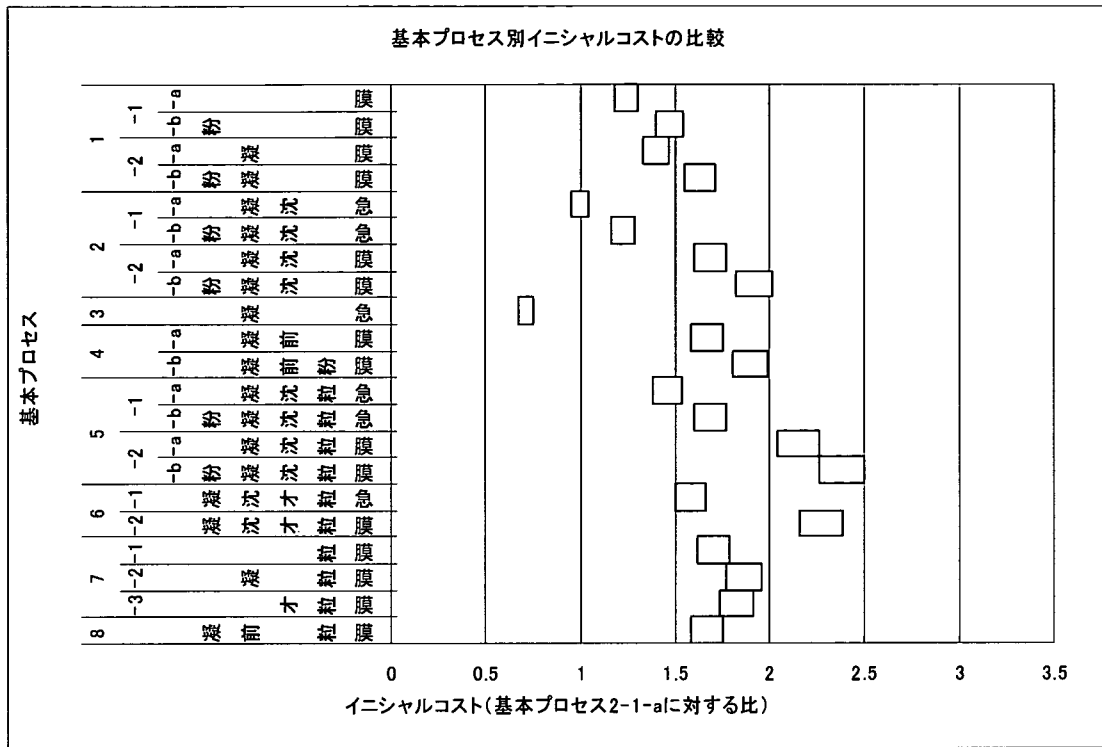


図 3-6-1 イニシャルコスト (5,000m<sup>3</sup>/d)

<20,000m<sup>3</sup>/日>

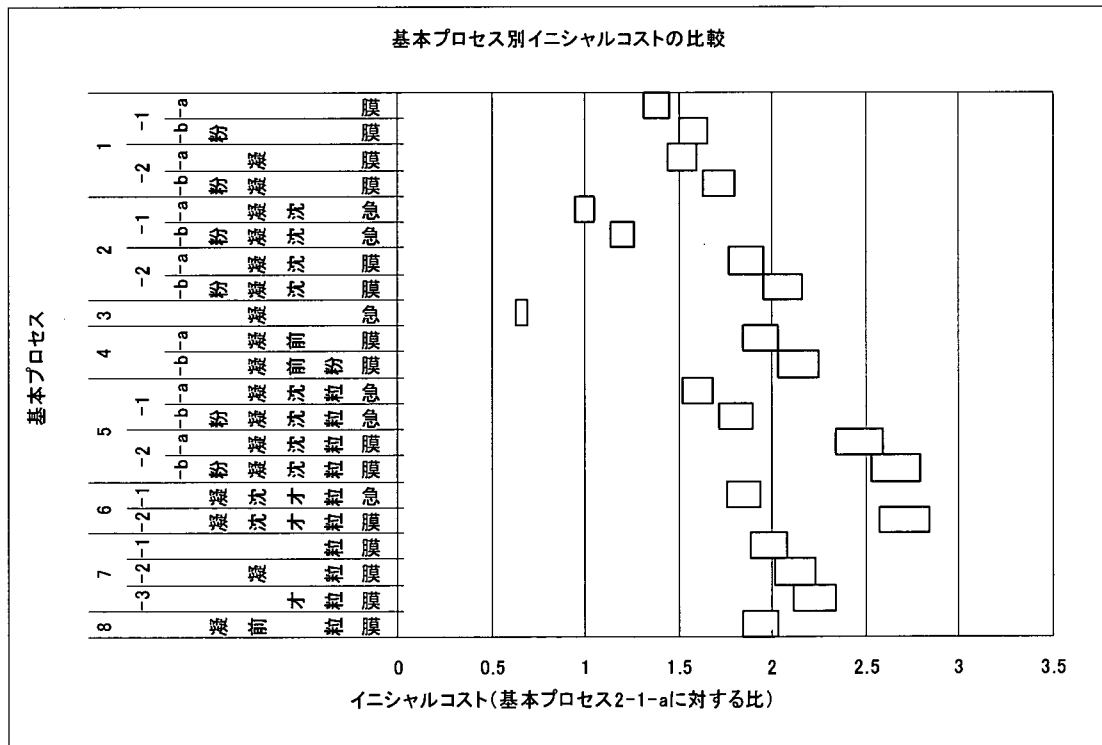


図 3-6-2 イニシャルコスト (20,000m<sup>3</sup>/d)

< 50,000m<sup>3</sup>/日 >

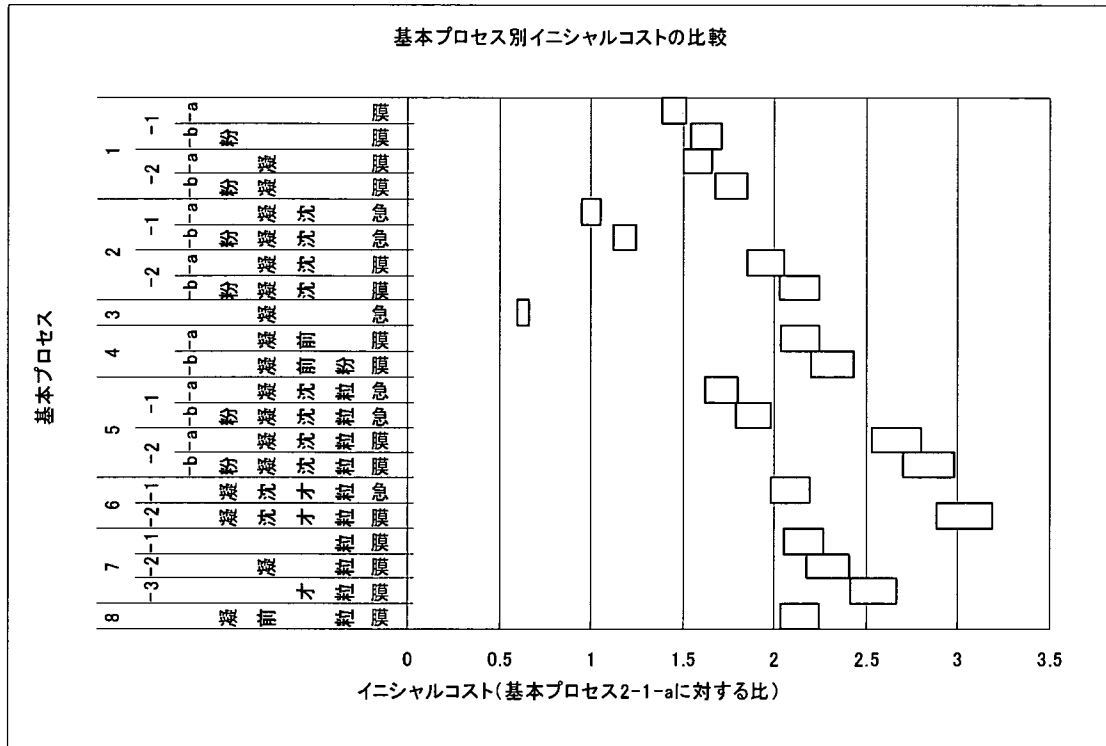


図 3-6-3 イニシャルコスト (50,000m<sup>3</sup>/d)

< 100,000m<sup>3</sup>/日 >

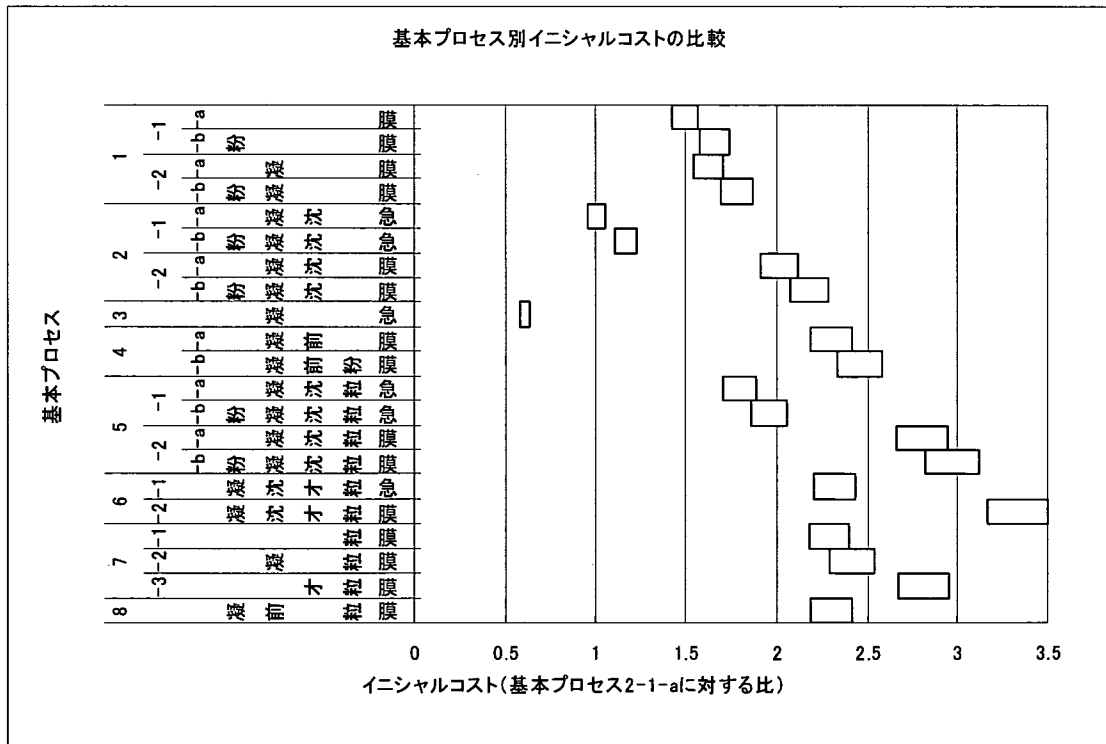


図 3-6-4 イニシャルコスト (100,000m<sup>3</sup>/d)

ランニングコスト  
<5,000m<sup>3</sup>/日>

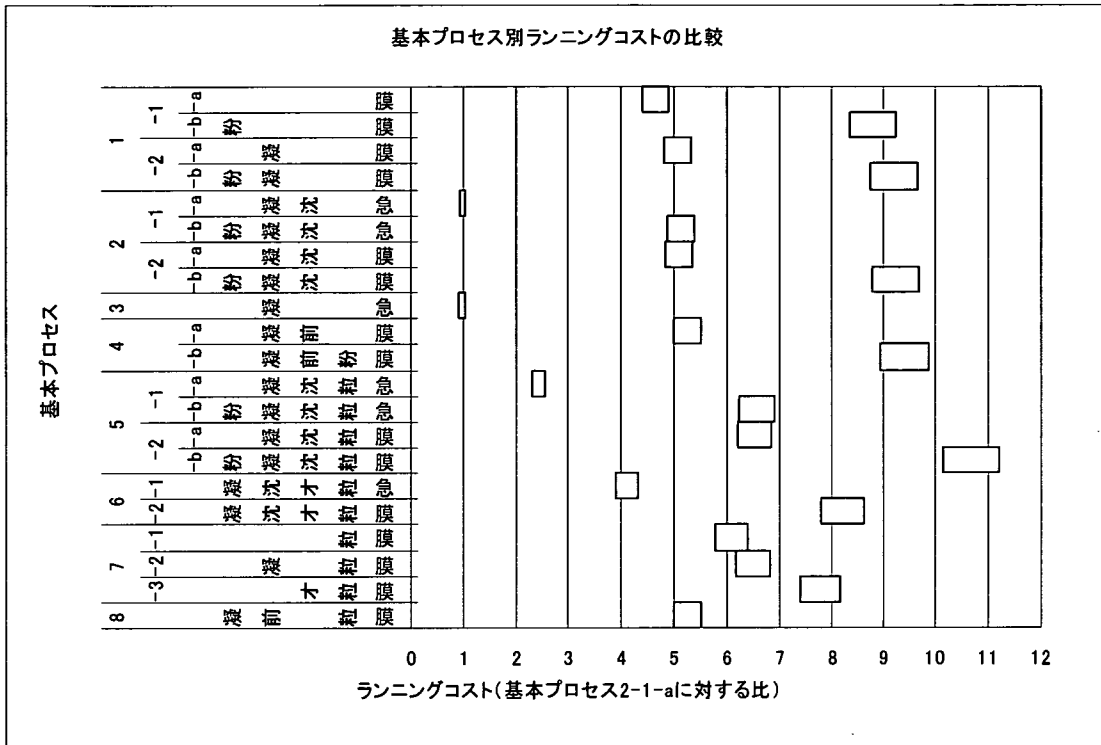


図 3-6-5 ランニングコスト (5,000m<sup>3</sup>/d)

<20,000m<sup>3</sup>/日>

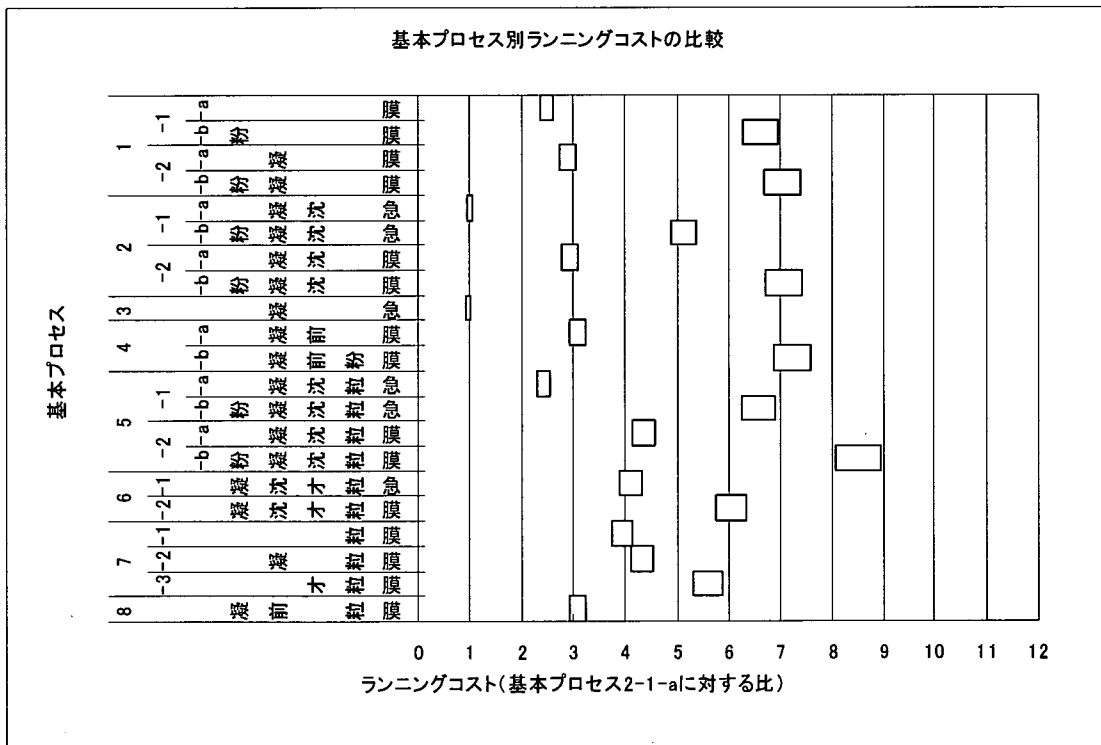


図 3-6-6 ランニングコスト (20,000m<sup>3</sup>/d)

< 50,000m<sup>3</sup>/日 >

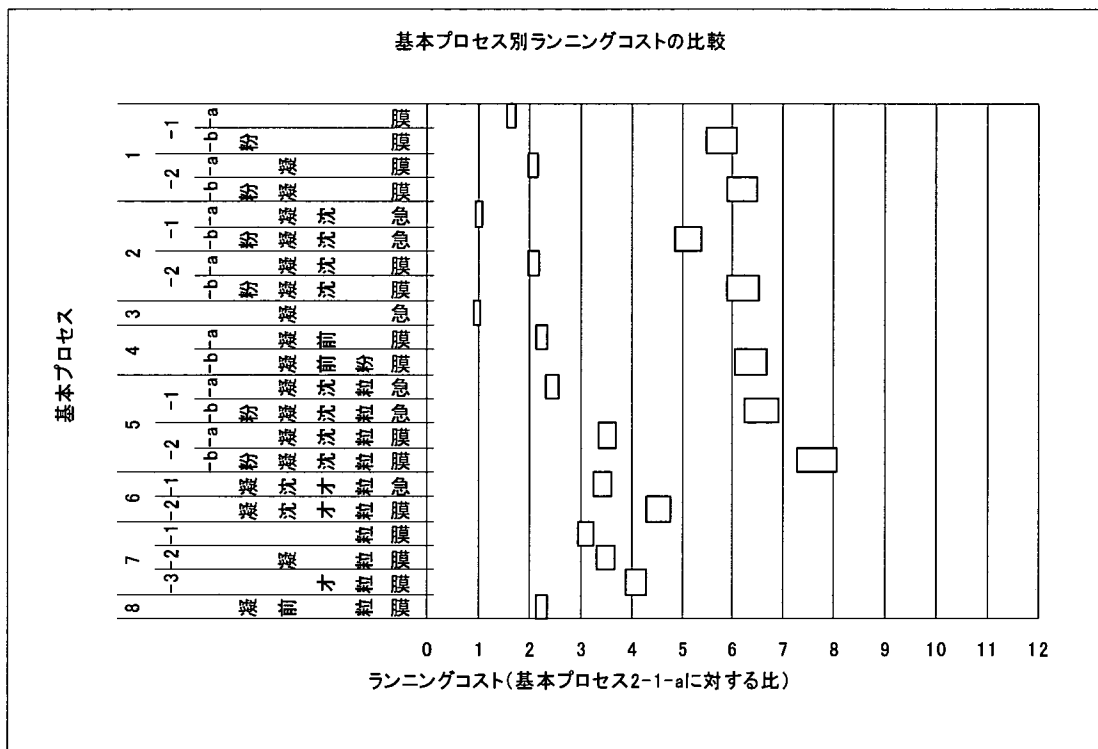


図 3-6-7 ランニングコスト (50,000m<sup>3</sup>/d)

< 100,000m<sup>3</sup>/日 >

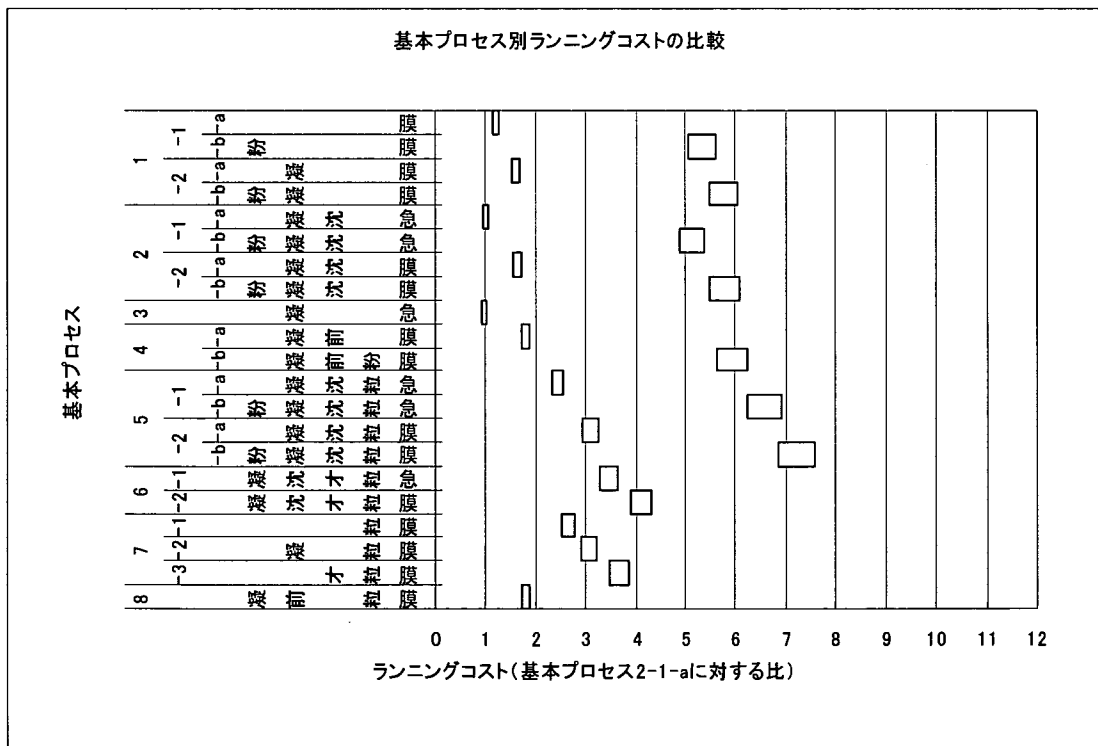


図 3-6-8 ランニングコスト (100,000m<sup>3</sup>/d)



スペース

<5,000m<sup>3</sup>/日>

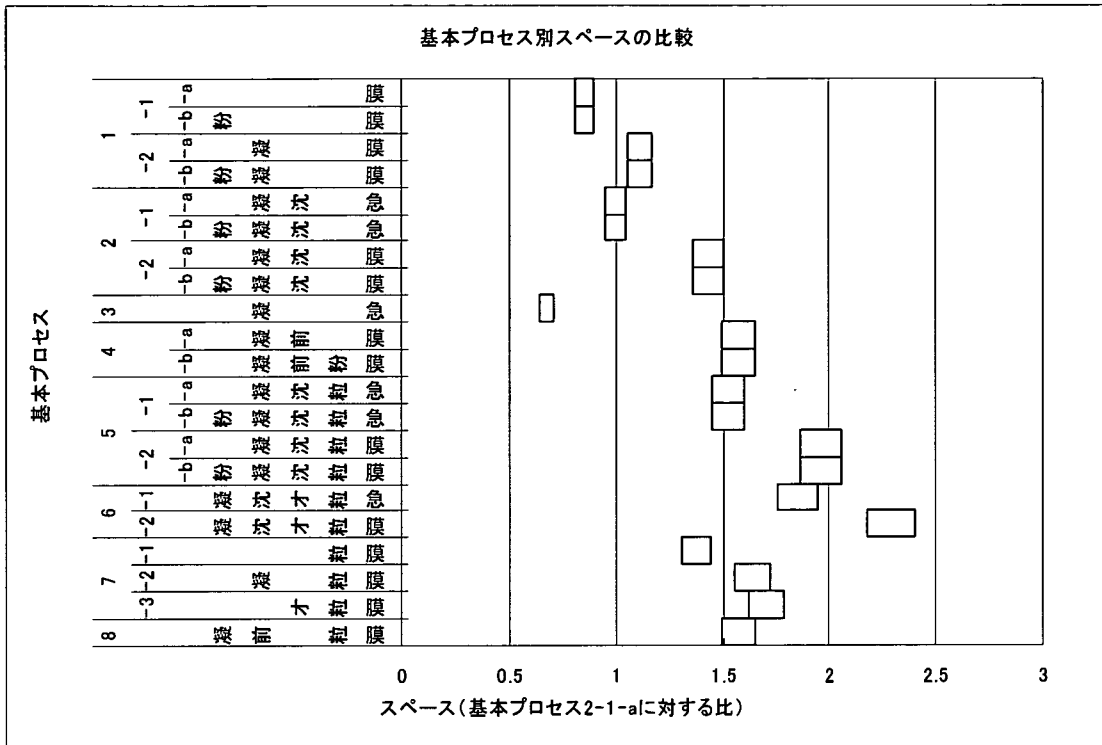


図 3-6-9 スペース (5,000m<sup>3</sup>/d)

<20,000m<sup>3</sup>/日>

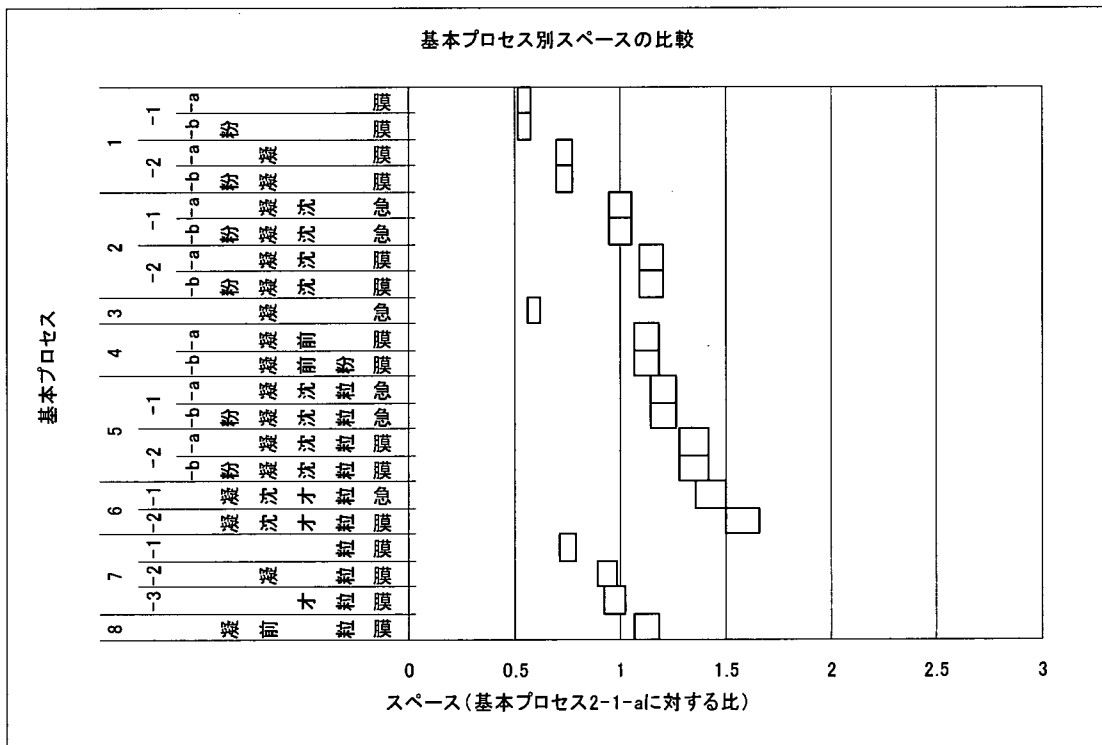


図 3-6-10 スペース (20,000m<sup>3</sup>/d)



維持管理性

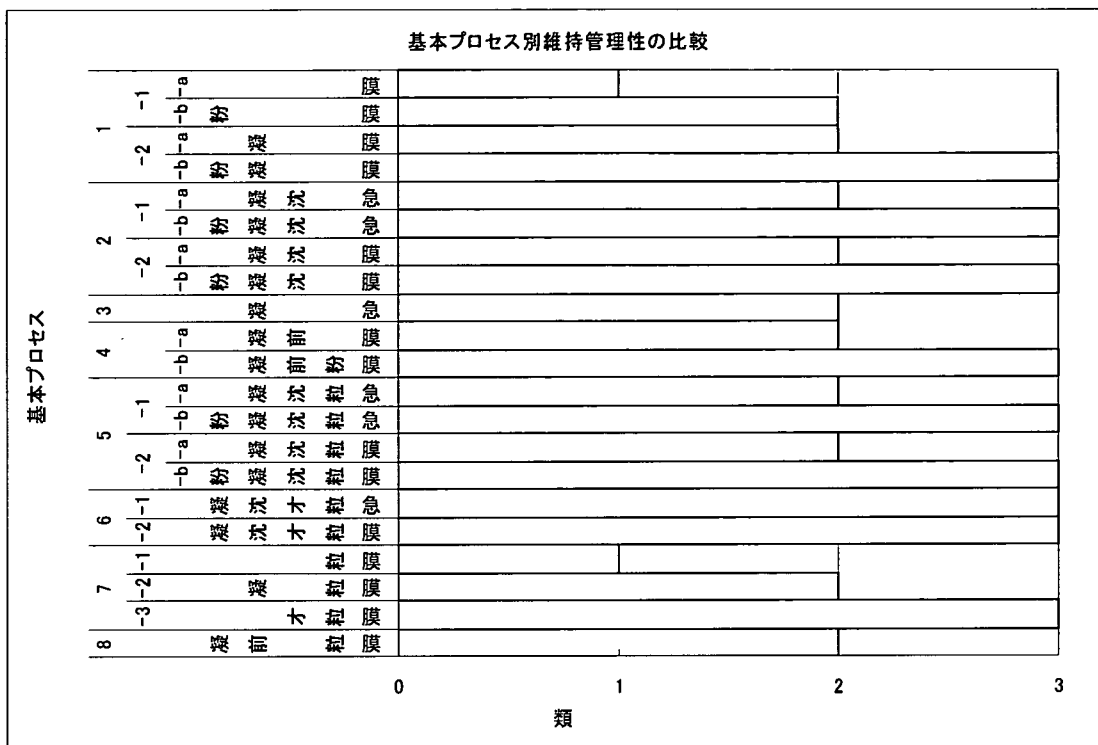


図 3-6-13 維持管理性

急速ろ過、膜ろ過、前ろ過、沈澱、粒状炭は□類である。凝集、オゾンは○類となる。凝集または粉炭が加わると類が、それぞれ□レベルアップとなる。

LCA

<20,000m<sup>3</sup>/日、LC-E>

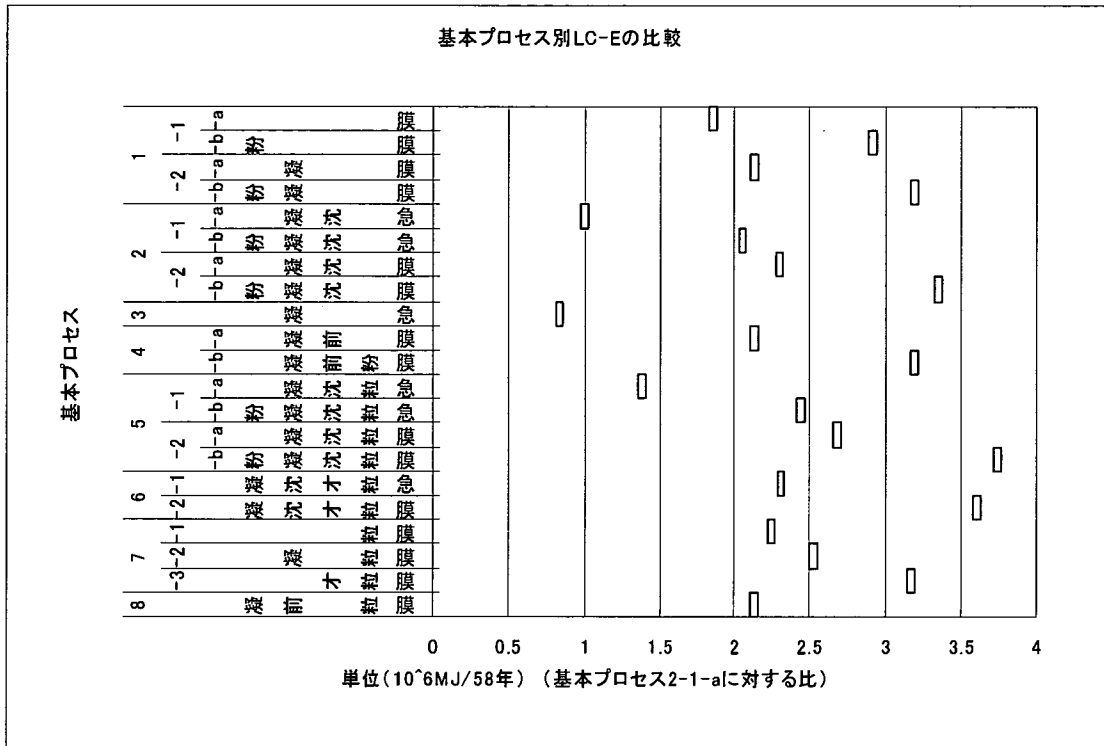


図 3-6-14 LC-E (20,000m<sup>3</sup>/d)

<20,000m<sup>3</sup>/日、LC-CO<sub>2</sub>>

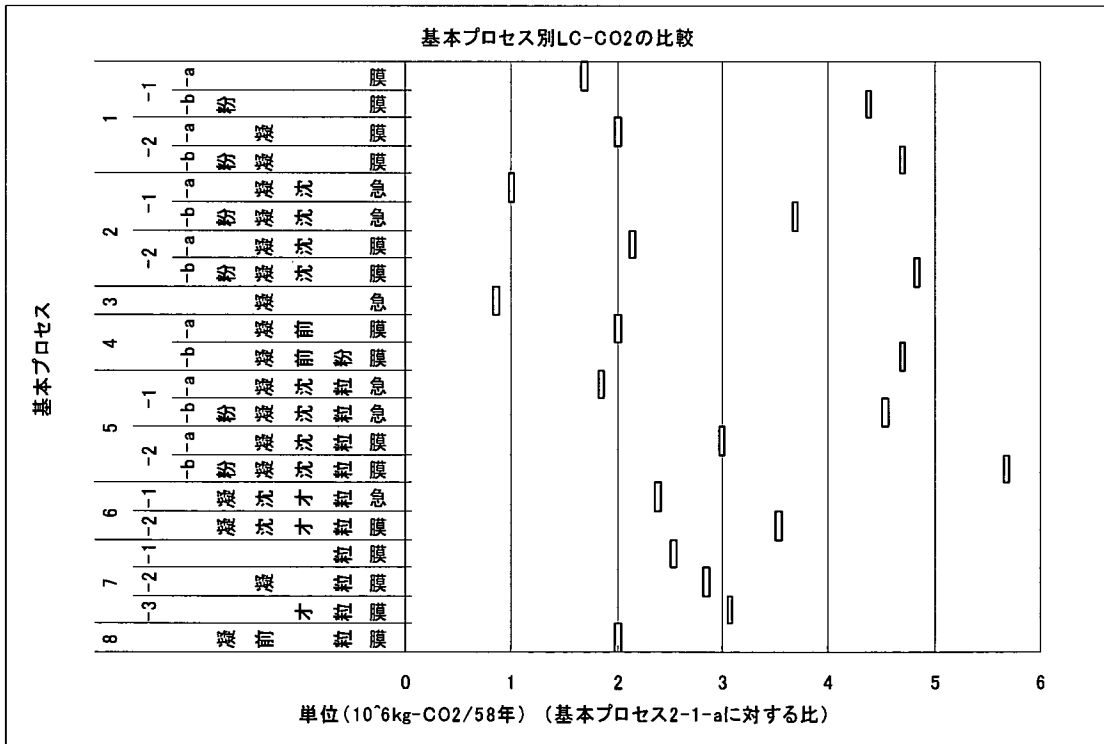


図 3-6-15 LC-CO<sub>2</sub> (20,000m<sup>3</sup>/d)

### 3. 6. 2 粉末炭と粒状炭のコスト比較

#### (1) 算出方法

活性炭は、応急的あるいは短期間使用の場合は、粉末炭処理が適し、年間連続あるいは比較的長期使用の場合は、粒状炭の方が有利とされている。

そこで、イニシャルコスト及びランニングコストの累計コストを比較することによって、活性炭の条件（粉末炭注入期間・平均注入率・浄水場規模棟）により、粉末炭と粒状炭のどちらの処理が有利であるか比較できる資料を作成する。

計算例として、プロセス別コストから、「粉末炭」、「粒状炭」の条件を入力することで、イニシャル+ランニングコストの累計値を集計し、図 3-6-16 のようにグラフ化し、粉末炭と粒状炭とを比較する。

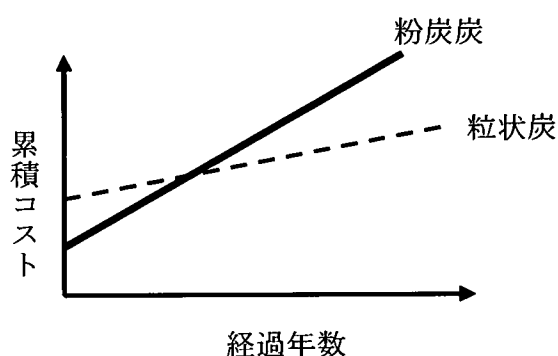


図 3-6-16 活性炭の比較イメージ

表 3-6-7 活性炭の条件

粉末炭			粒状炭		共通
平均注入率	注入期間	機器更新費用	交換期間	機器更新費用	機器更新サイクル
20mg/L または 40mg/L	12ヶ月	イニシャルコストの80% <sup>※4</sup>	4年 <sup>※2</sup>	イニシャルコストの60% <sup>※5</sup>	15年 <sup>※3</sup>

※1：平均注入率は、浄水技術ガイドラインの除去対象物質より2ケース設定した。

- ・臭気物質の除去 10mg/L～30mg/L（ドライ換算値）より中央値 20 mg/L 採用
- ・THM 前駆物質等の除去 30mg/L～100mg/L（ドライ換算値）より 40 mg/L 採用

※2：生物活性炭（BAC）を想定する。LCA では交換期間は4年である。また、「水道施設設計指針」P303 の実施例によると、取替頻度が4年前後の例が多いため、粒状炭の交換期間は4年とした。

※3：設備機器の法定耐用年数から15年（16年目に更新）とした。

※4：イニシャルコストのうち溶解槽などの機器が占める割合が高いため80%とした。

※5：イニシャルコストのうち吸着池などの構造物が占める割合が高いため60%とした。

(2) 算出結果

<5,000m<sup>3</sup>/日>

図 3-6-17 より、粉末炭 20mg/L と比較すると、26 年目以降は粒状炭の方が有利となる。  
粉末炭 40mg/L と比較すると、8 年目以降は粒状炭の方が有利となる。

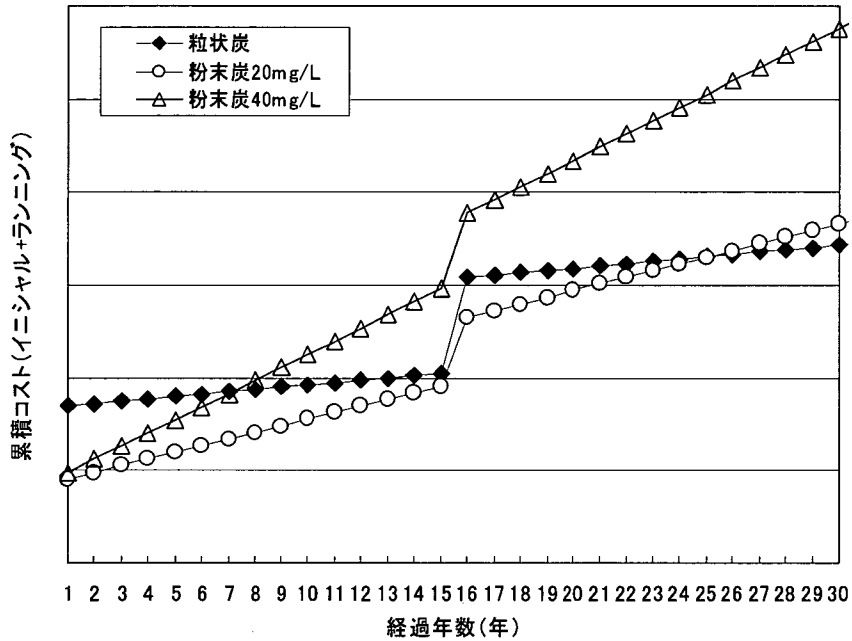


図 3-6-17 粉末炭と粒状炭のコスト比較 (5,000m<sup>3</sup>/d)

<20,000m<sup>3</sup>/日>

図 3-6-18 より、粉末炭 20mg/L と比較すると、21 年目以降は粒状炭の方が有利となる。  
粉末炭 40mg/L と比較すると、6 年目以降は粒状炭の方が有利となる。

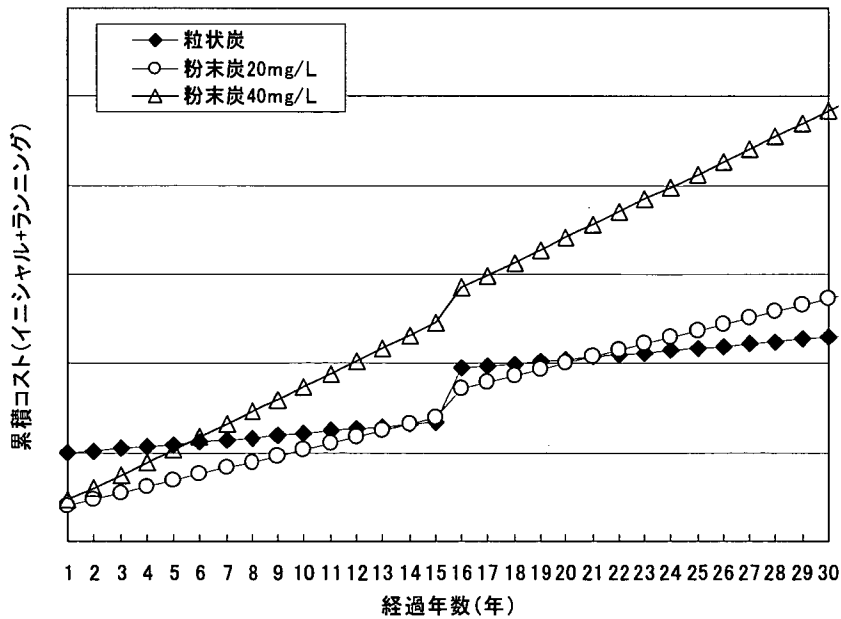


図 3-6-18 粉末炭と粒状炭のコスト比較 (20,000m<sup>3</sup>/d)

< 50,000m<sup>3</sup>/日 >

図 3-6-19 より、粉末炭 20mg/L と比較すると、11 年目以降は粒状炭の方が有利となる。  
粉末炭 40mg/L と比較すると、5 年目以降は粒状炭の方が有利となる。

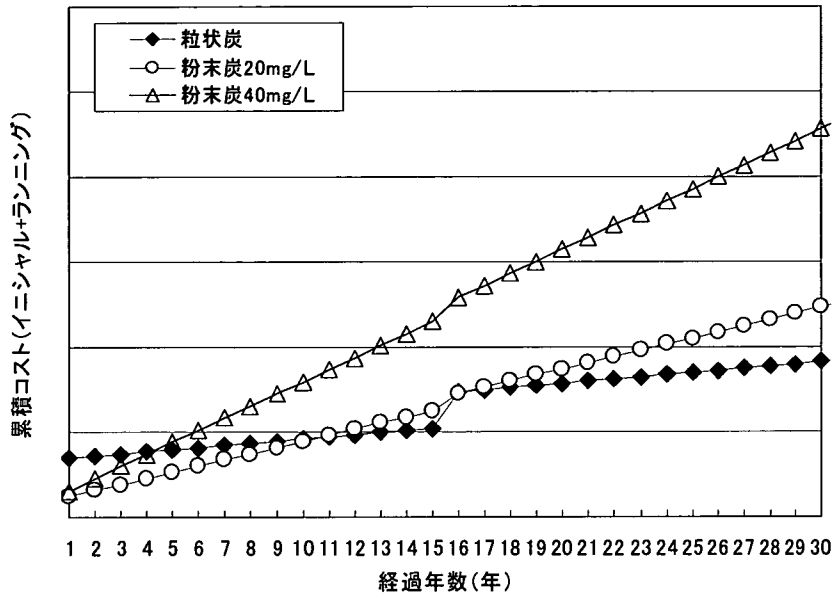


図 3-6-19 粉末炭と粒状炭のコスト比較 (50,000m<sup>3</sup>/d)

< 100,000m<sup>3</sup>/日 >

図 3-6-20 より、粉末炭 20mg/L と比較すると、9 年目以降は粒状炭の方が有利となる。  
粉末炭 40mg/L と比較すると、4 年目以降は粒状炭の方が有利となる。

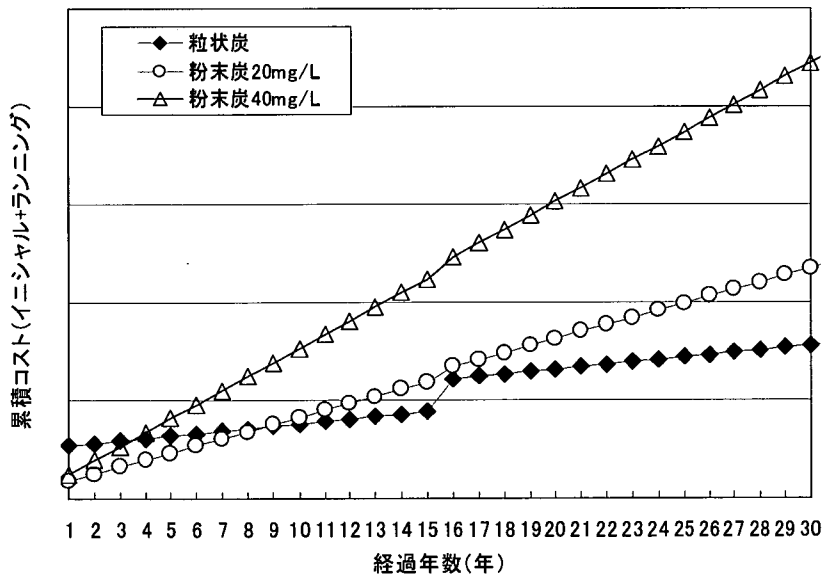


図 3-6-20 粉末炭と粒状炭のコスト比較 (100,000m<sup>3</sup>/d)

### 3. 7 新技術の紹介

海外で実績があり日本での知見が不足していると考えられる7技術分野について実施した文献調査のなかから、今後国内での普及が期待されるNF（ナノろ過）とAOP（促進酸化処理）について紹介する。

#### (1) NF 膜

NF 膜に関する文献を調査し、有機物を中心に得られた知見について、原水水源および各メーカーの膜毎に除去率を整理した結果を以下に示す。尚、無機物の除去率については参考資料として後載する。尚、以下に記載のグラフは各文献において記載されているデータに幅があった場合その中央値をプロットし、下限値のみ記載されている場合はその下限値をプロットしている。

##### 1) TOC （文献 No58, No 71, No84, No98）

TOC の原水水源毎の原水と除去率の関係を図 3-7-1 に示す。各膜毎の原水と除去率の関係を図 3-7-2 に示す。原水濃度が 2~15mg/L の範囲において原水水源、膜の種類に関わらず、80%以上の除去が可能であることがわかる。

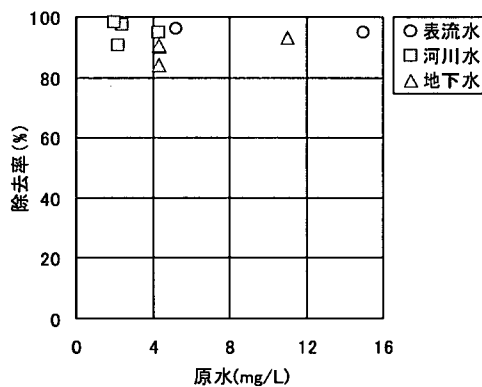


図 3-7-1 原水毎の原水－除去率の関係

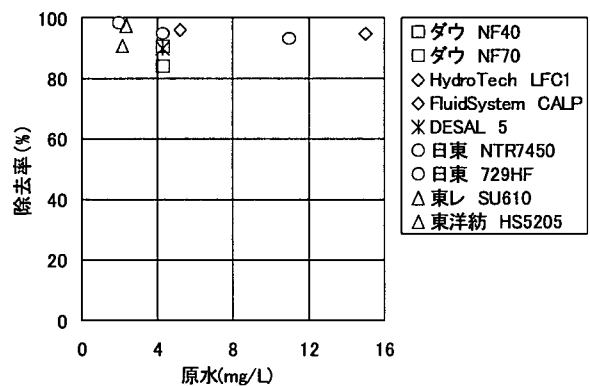


図 3-7-2 各膜毎の原水－除去率の関係



2) DOC (文献 No48, No63, No75, No81, No91)

DOC の原水水源毎の原水と除去率の関係を図 3-7-3 に示す。各膜毎の原水と除去率の関係を図 3-7-4 に示す。原水濃度が 0.9~9.1mg/L の範囲において原水水源、膜の種類に関わらず 80%以上の除去が可能であることがわかる。また、原水が高濃度になるにつれて除去率は上昇傾向である。

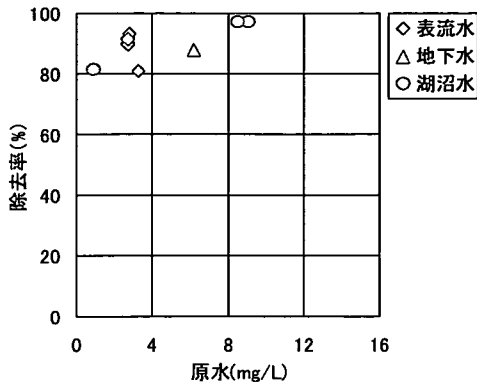


図 3-7-3 原水毎の原水-除去率の関係

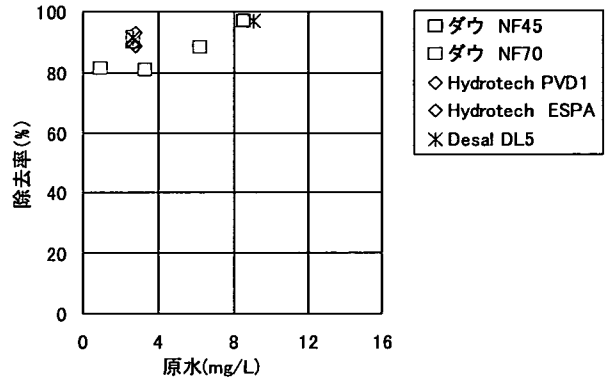


図 3-7-4 各膜毎の原水-除去率の関係

3) THMFP (文献 No63, No69, No71, No75, No81, No84, No91)

THMFP の原水水源毎の原水と除去率の関係を図 3-7-5 に示す。各膜毎の原水と除去率の関係を図 3-7-6 に示す。原水濃度が 8.4~791 $\mu$ g/L において膜の種類に関わらず 60%以上の除去が可能であることがわかる。

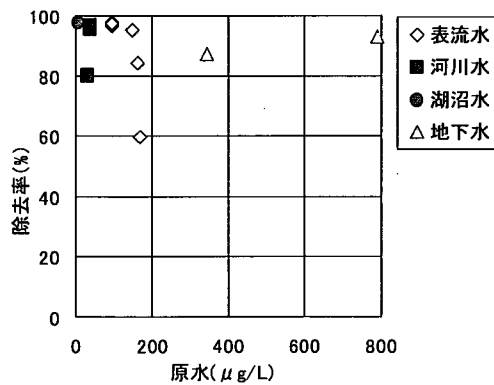


図 3-7-5 原水毎の原水-除去率の関係

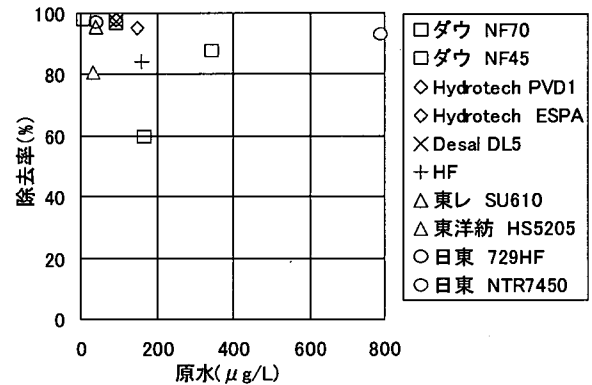


図 3-7-6 各膜毎の原水-除去率の関係

4) 臭気物質 (2-MIB、ジェオスミン) (文献 No58, No84)

臭気物質 (2-MIB、ジェオスミン) の原水水源毎の原水と除去率の関係を図 3-7-7 に示す。各膜毎の原水と除去率の関係を図 3-7-8 に示す。ジェオスミンは原水濃度 5~6ng/L において除去率 39~50%であり、原水濃度 16ng/L のときに除去率 94%であった。2-MIB は 1 点のみのデータであるが、原水濃度 4ng/L のとき除去率 50%であった。

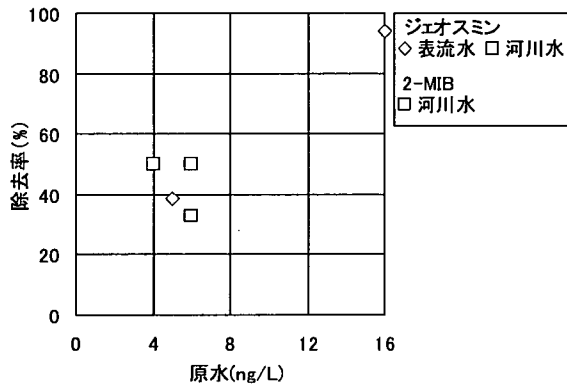


図 3-7-7 原水毎の原水-除去率の関係

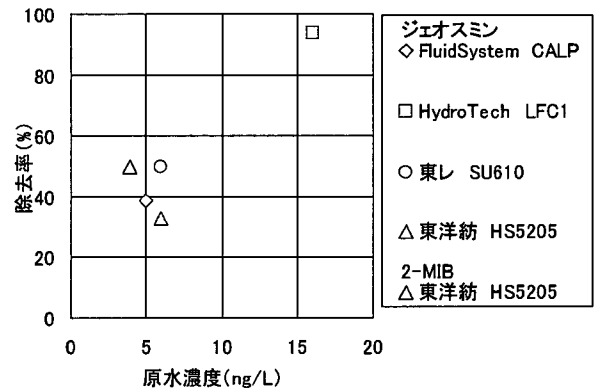


図 3-7-8 各膜毎の原水-除去率の関係

5) ハロ酢酸 FP、抱水クロラール FP (文献 No58, 71, 81, 91)

ハロ酢酸 FP、抱水クロラール FP の原水水源毎の原水と除去率の関係を図 3-7-9 に示す。各膜毎の原水と除去率の関係を図 3-7-10 に示す。ハロ酢酸 FP は原水濃度 0.44~114.3μg/L で膜の種類に関わらず 96%以上の除去が可能であることがわかる。また、抱水クロラール FP においては原水濃度 8.9μg/L で除去率 78%以上を示した。

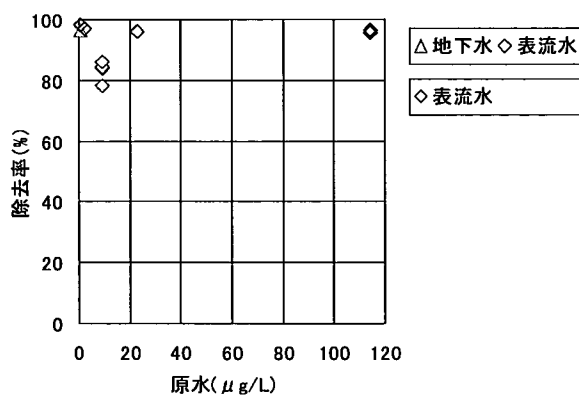


図 3-7-9 原水毎の原水-除去率の関係

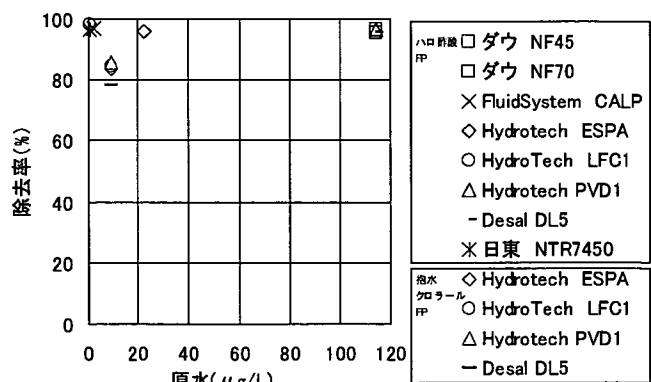


図 3-7-10 各膜毎の原水-除去率の関係

6) トリクロロエチレン(TCE)、テトラクロロエチレン(PCE)、クロロホルム(CF)  
(文献 No57)

トリクロロエチレン(TCE)、テトラクロロエチレン(PCE)、クロロホルム(CF)の原水水源毎の原水と除去率の関係を図3-7-11に示す。各膜毎の原水と除去率の関係を図3-7-12に示す。トリクロロエチレンにおいて、原水濃度18~55 $\mu\text{g/L}$ で80%以上の除去が可能であることがわかる。テトラクロロエチレンにおいては原水濃度22~33 $\mu\text{g/L}$ において87%以上の除去が可能であることがわかる。クロロホルムにおいては原水濃度22~63 $\mu\text{g/L}$ において72%以上の除去が可能であることがわかる。

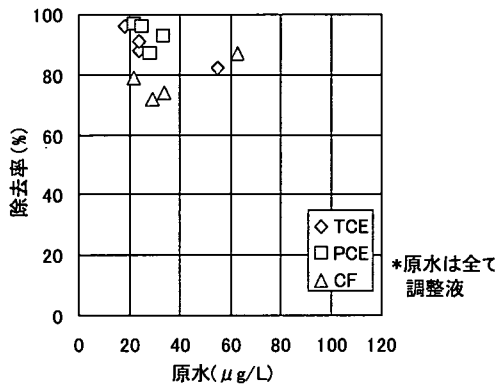


図3-7-11 原水-除去率の関係

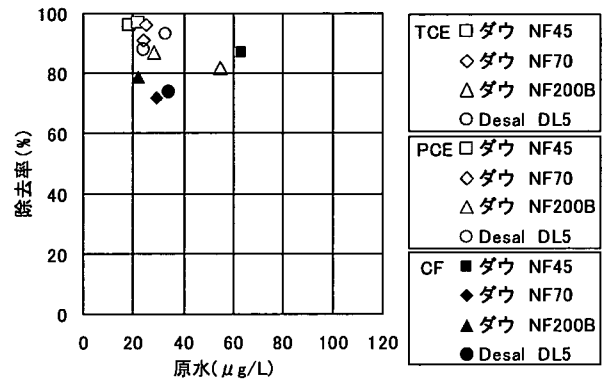


図3-7-12 各膜毎の原水-除去率の関係

7) アトラジン、シマジン (文献 No51, No78)

アトラジン、シマジンの原水水源毎の原水と除去率の関係を図3-7-13に示す。各膜毎の原水と除去率の関係を図3-7-14に示す。文献から得られたデータについて、除去率および原水濃度に幅があったものはその中央値をグラフ中に記載している。アトラジンは原水濃度0.05~0.9 $\text{mg/L}$ 時に除去率は26.2~98.6%であり、シマジンは原水濃度0.05~0.45 $\text{mg/L}$ において除去率は17.4~96.8%であった。また、アトラジン、シマジン共に原水濃度0.3 $\text{mg/L}$ において膜によって除去率が17~97%と変動した。

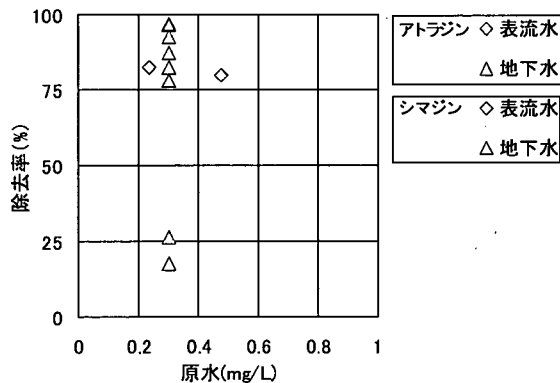


図3-7-13 原水毎の原水-除去率の関係

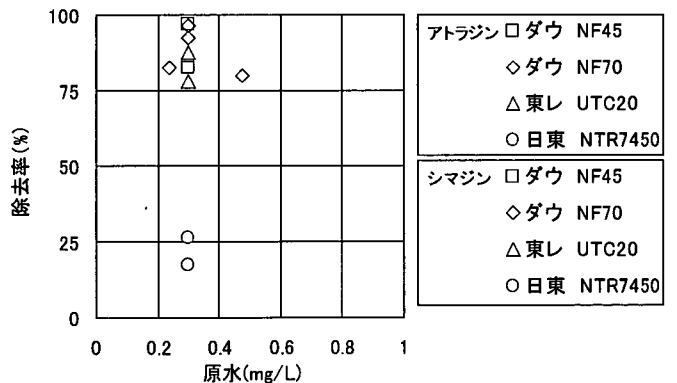


図3-7-14 各膜毎の原水-除去率の関係

EC (文献 No48, No54, No75, No84, No98)

EC の原水水源毎の原水と除去率の関係を図 3 - 7 - 15 に示す。各膜毎の原水と除去率の関係を図 3 - 7 - 16 に示す。原水濃度 144~1,838 $\mu$ S/cm において除去率は 35~84% であった。原水 EC360  $\mu$  S/cm 付近において膜の種類によって除去率が 46~87% と異なる結果を得た。

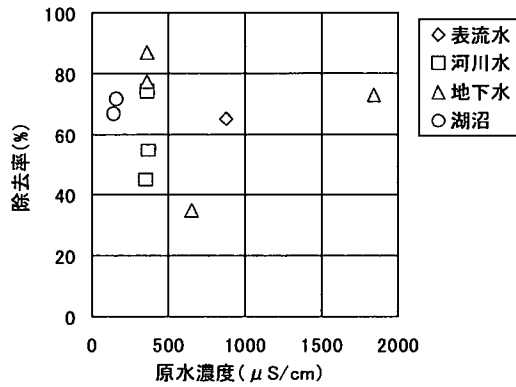


図 3-7-15 原水毎の原水－除去率の関係

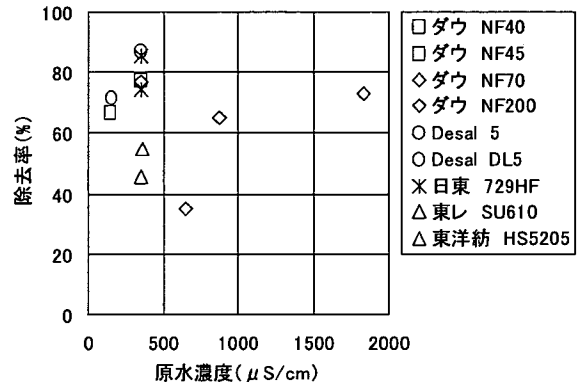


図 3-7-16 各膜の原水－除去率の関係