

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22年度 総括研究報告書

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 膜ろ過浄水施設維持管理高度化マニュアル(案)
2. 浄水プロセスへの紫外線処理の適用
 - 2.1 浄水場の濁度管理についてのアンケート調査結果
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 水道施設機能診断マニュアル（平成 22 年度研究成果のみ抜粋）
 - 4.2 水道施設機能診断評価点自動計算ソフト「これは楽々機能診断」説明書
 - 4.3 機能診断（カルテシート-3）の検討（抄）
 - 4.4 機能改善方策選定（カルテシート-4）の検討（抄）
5. 地震による管路被害の予測等
 - 5.1 地震による管路被害予測式 精度検証結果
6. 研究体制

1. 膜ろ過施設の維持管理の高度化等

1. 1 膜ろ過浄水施設維持管理
高度化マニュアル(案)

序文

当センターの調査によると、我が国における膜ろ過浄水施設(MF/UF 膜)の導入実績は、平成 21 年度末で 709 施設、総施設能力 122 万 1 千 $\text{m}^3/\text{日}$ に達している。このように開発当初から急速に導入が進んでいる膜ろ過浄水施設の維持管理に資するべく、当センターでは平成 6 年に「膜利用型浄水システム開発研究(MAC21)」に並行して、「小規模水道における膜ろ過施設維持管理マニュアル」を作成した。その後、導入が進む中で、施設の大型化、多様な原水水質への適用によって維持管理が複雑化するとともに、導入当初から 10 年に及ぶ技術的知見が蓄積されたことから、平成 17 年に改訂版となる「膜ろ過浄水施設維持管理マニュアル」を作成したが、すでに 5 年以上が経過しており、改訂を要するところである。しかし、改訂に際しては、維持管理の現状把握と課題抽出をするとともに、実務に役立つ数値的な情報や事例の付加が必要と判断し、改訂の準備段階のステップとして、それらの情報を本書「膜ろ過浄水施設維持管理高度化マニュアル(案)」にとりまとめることとした。

本書は、「膜ろ過浄水施設維持管理マニュアル」の追補版(MF 膜又は UF 膜を用いる膜ろ過浄水施設を対象)として位置づけられ、平成 20 年度から平成 22 年度の 3 か年に渡る「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(浄水部門)」によって得られた以下の研究成果をとりまとめたものである。

- ・膜ろ過浄水施設を保有する水道事業者及び膜ろ過装置関連企業への維持管理実態調査
- ・膜の損傷と性能及び薬品洗浄による膜の劣化に関する研究(実験的研究)
- ・膜損傷検出技術に関する国内の文献調査及び海外の指針(米国環境保護庁「膜ろ過ガイドンスマニュアル」)の内容調査

我が国では、引き続き膜ろ過浄水施設の導入が伸張するとともに、施設の大規模化が進み、維持管理では既存施設での膜交換や民間が実施する事業形態が増加するものと考えられる。このような状況の中、本書が維持管理の向上に資する資料として活用され、「膜ろ過浄水施設維持管理マニュアル」の改訂に向けた検討の礎になることを大いに期待する。

本書の作成に御協力いただいた「Aqual0」プロジェクトのメンバーである水道事業者、学識者、企業の方々、ならびに関係者の方々に感謝を申し上げたい。

平成 23 年 3 月

財団法人 水道技術研究センター
理事長 藤原 正弘

目 次

| | |
|----------------------|----|
| はじめに | 1 |
| 1. 膜ろ過浄水施設の現況 | 3 |
| 1. 1 国内の導入状況 | 3 |
| 1. 2 維持管理の現況 | 5 |
| 2. 膜損傷検出 | 13 |
| 2. 1 膜損傷検出の実施状況 | 13 |
| 2. 2 膜損傷の程度と検出に関する実験 | 19 |
| 2. 3 膜損傷検出に関する海外の指針 | 24 |
| 3. 薬品洗浄 | 29 |
| 3. 1 薬品洗浄の実施状況 | 29 |
| 3. 2 薬品洗浄と膜劣化に関する実験 | 32 |
| 4. 膜交換 | 35 |
| 4. 1 膜交換の実施状況 | 35 |
| 4. 2 膜保管の実施状況 | 38 |
| 5. 周囲環境への対策 | 39 |
| 5. 1 結露対策の実施状況 | 39 |
| 5. 2 凍結対策の実施状況 | 40 |

はじめに

<略語について>

本書に用いた略語の一覧を下表に示す。

略語一覧表

| 略語 | 欧文 | 和文 |
|----------|---------------------------------------------------|----------------------|
| ASTM | American Society for Testing and Materials | 米国材料試験協会 |
| AWWA | American Water Works Association | 米国水道協会 |
| CA | Cellulose diacetate | 酢酸セルロース |
| ISO | International Organization for Standardization | 国際標準化機構 |
| LRV | Logarithm Removal Value | 対数除去率 |
| LT2ESWTR | Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule | (米国の) 長期第2次地表水処理強化規則 |
| MF | Micro filtration | 精密ろ過 |
| PAN | Polyacrylonitrile | ポリアクリロニトリル |
| PES | Polyether sulfone | ポリエーテルスルフォン |
| PP | Polypropylene | ポリプロピレン |
| PTFE | Polytetrafluoroethylene | ポリテトラフルオロエチレン |
| PVDF | Polyvinylidene fluoride | ポリフッ化ビニリデン |
| UF | Ultra filtration | 限外ろ過 |
| USEPA | United States Environmental Protection Agency | 米国環境保護庁 |

<維持管理実態調査について>

本書に用いた維持管理の実態調査結果は、以下に示す2つの調査によるものであり、これらの結果は内容に応じて本書の各章にそれぞれ記載した。また、記載した結果がどの調査によるものかが分かるように、調査名を文中に表記した。

アンケート調査

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(浄水部門)」において、平成20年度に実施したものである。

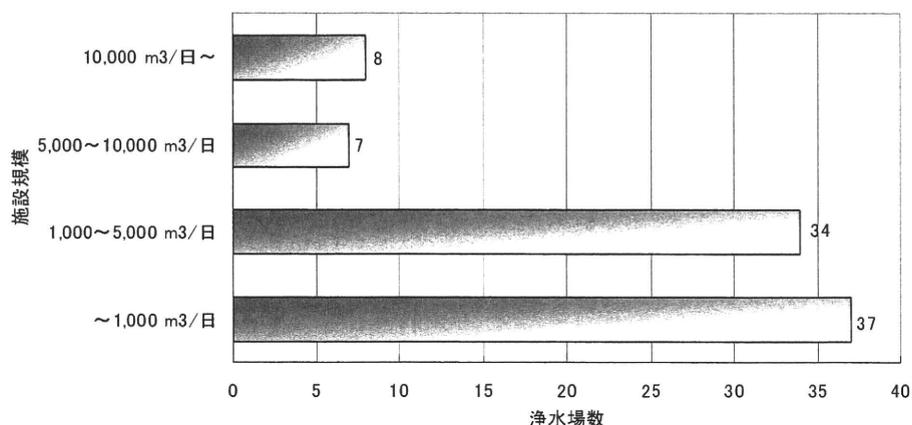
調査目的 : 維持管理の状況把握

調査内容 : 維持管理費、膜損傷検知、薬品洗浄、膜交換等の状況、要望事項等

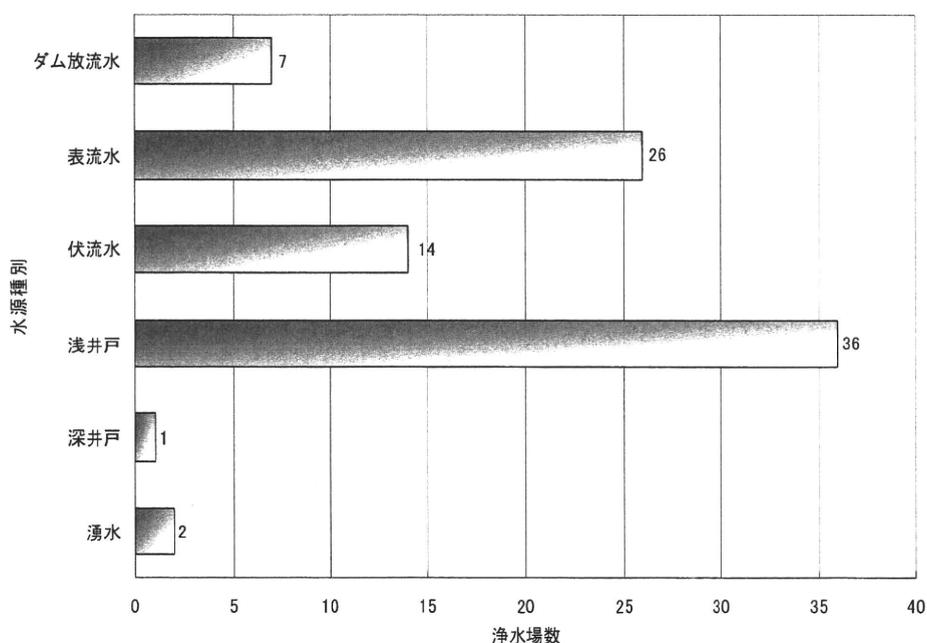
調査方法 : 施設能力 500 m³/日以上膜ろ過浄水施設を対象とし、施設を管轄する水道事業者(160 事業者)へのアンケートによる

回収数 : 48 事業者(86 施設)

回答が得られた水道事業者の施設の規模(計画浄水量)分布及び水源別分布を次表に示す。



回答が得られた施設の規模(計画浄水量)分布



回答が得られた施設の水源地別分布

ヒアリング調査

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(浄水部門)」において、平成20年度から平成22年度に実施したものである。

調査目的：平成20年度に実施したアンケート調査結果に基づく、維持管理状況の詳細把握

調査内容：膜損傷検知、薬品洗浄、膜交換等の実施状況、維持管理上の課題等

調査方法：膜ろ過浄水施設を保有する水道事業者(8事業者)及び膜ろ過装置関連企業(7社)へのヒアリングによる

なお、膜ろ過浄水施設の維持管理に関する調査結果は、「厚生労働省の厚生労働科学研究費補助金による環境影響低減化浄水技術開発研究(e-Water)」における、「大規模膜ろ過施設導入技術資料」(平成17年8月発行)にも記載されている。

1. 膜ろ過浄水施設の現況

1. 1 国内の導入状況

当センターの調査による、膜ろ過浄水施設の導入実績を図1-1、導入の年次変動を図1-2に示す(MF膜またはUF膜を用いた施設を対象とし、各年度末の時点で建設中または建設予定の施設を含む)。ここ数年は、年次変動に上下が見られるものの、導入実績は平成21年度で709施設、総施設能力1,221 m³/日に達している。また、施設数の増加に対する施設能力の増加の割合が徐々に大きくなっていることから、施設の大規模化が進んでいると考えられる。

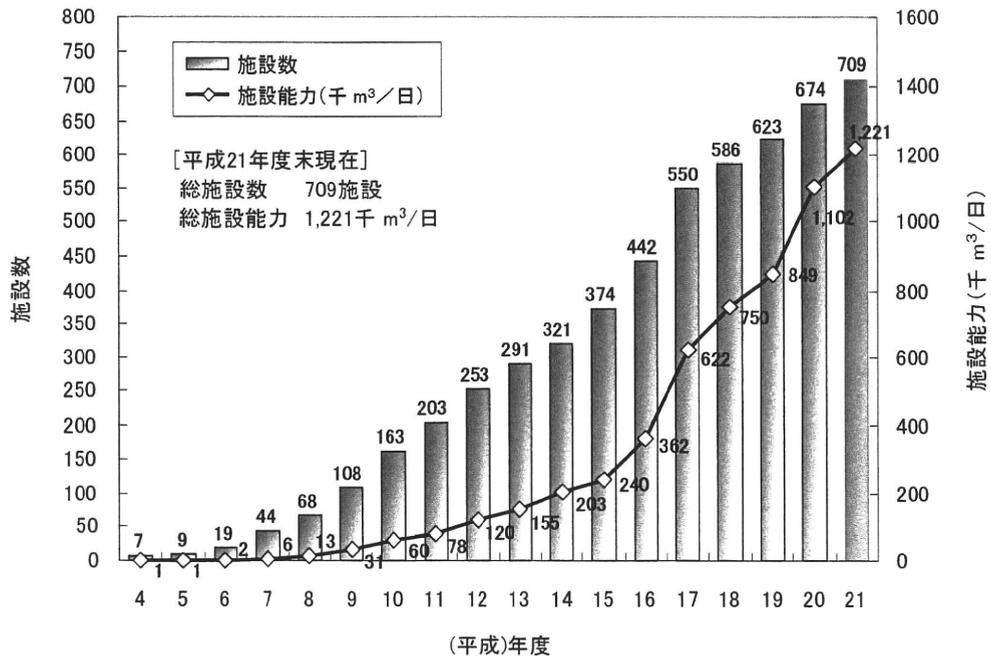


図1-1 膜ろ過浄水施設の導入実績

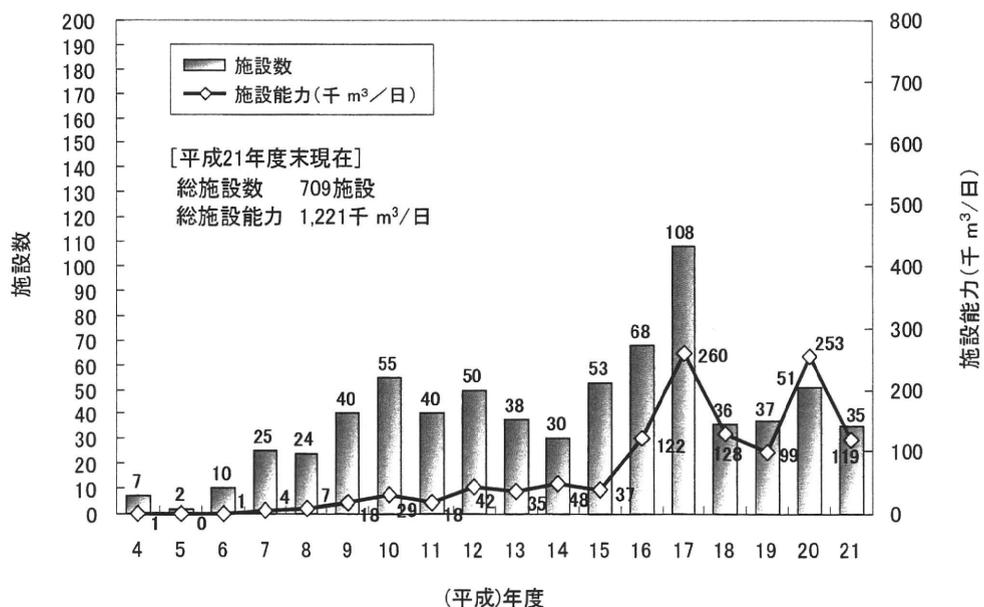


図1-2 膜ろ過浄水施設導入の年次変動

表1-1～1-3は平成21年度の導入実績を施設規模別、水源別、都道府県別にまとめたものである。

表1-1 施設規模別導入実績

| 施設規模 | 施設数 | 施設能力(m ³ /日) |
|------------------------------------|-----|-------------------------|
| 10,000 m ³ /日以上 | 19 | 700,929 |
| 5,000 ~ 10,000 m ³ /日以上 | 19 | 128,278 |
| 2,500 ~ 5,000 m ³ /日以上 | 36 | 118,617 |
| 1,000 ~ 2,500 m ³ /日以上 | 86 | 130,328 |
| 500 ~ 1,000 m ³ /日以上 | 108 | 73,968 |
| 250 ~ 500 m ³ /日以上 | 113 | 39,853 |
| 100 ~ 250 m ³ /日以上 | 130 | 20,250 |
| 50 ~ 100 m ³ /日以上 | 91 | 6,389 |
| 50 m ³ /日未満 | 107 | 2,830 |
| 合計 | 709 | 1,221,442 |

表1-2 水源別導入実績

| 水源 | 施設数 | 施設能力(m ³ /日) |
|--------|-----|-------------------------|
| 表流水 | 383 | 526,635 |
| 湖沼・貯水池 | 29 | 33,023 |
| 伏流水 | 92 | 310,347 |
| 地下水 | 170 | 335,160 |
| 湧水 | 35 | 16,277 |
| 合計 | 709 | 1,221,442 |

表1-3 都道府県別導入実績

| 県名 | 施設数 | 施設能力(m ³ /日) | 県名 | 施設数 | 施設能力(m ³ /日) |
|------|-----|-------------------------|------|-----|-------------------------|
| 北海道 | 40 | 46,206 | 滋賀県 | 10 | 11,508 |
| 青森県 | 4 | 599 | 京都府 | 25 | 15,659 |
| 岩手県 | 26 | 7,267 | 大阪府 | 4 | 21,200 |
| 宮城県 | 14 | 4,267 | 兵庫県 | 67 | 134,271 |
| 秋田県 | 23 | 9,136 | 奈良県 | 15 | 2,322 |
| 山形県 | 13 | 5,388 | 和歌山県 | 26 | 27,085 |
| 福島県 | 14 | 3,069 | 鳥取県 | 7 | 81,872 |
| 栃木県 | 8 | 11,400 | 島根県 | 34 | 24,085 |
| 群馬県 | 6 | 4,935 | 岡山県 | 9 | 3,603 |
| 埼玉県 | 3 | 9,188 | 広島県 | 13 | 19,561 |
| 千葉県 | 2 | 246 | 山口県 | 6 | 4,214 |
| 東京都 | 13 | 128,347 | 徳島県 | 4 | 1,361 |
| 神奈川県 | 14 | 187,480 | 香川県 | 1 | 100 |
| 新潟県 | 29 | 10,596 | 愛媛県 | 33 | 140,945 |
| 富山県 | 2 | 59 | 高知県 | 4 | 3,576 |
| 石川県 | 5 | 2,764 | 福岡県 | 4 | 30,171 |
| 福井県 | 27 | 102,467 | 佐賀県 | 3 | 13,100 |
| 山梨県 | 24 | 6,298 | 長崎県 | 10 | 11,184 |
| 長野県 | 35 | 10,224 | 熊本県 | 11 | 4,205 |
| 岐阜県 | 47 | 35,907 | 大分県 | 17 | 29,508 |
| 静岡県 | 5 | 10,264 | 宮崎県 | 6 | 7,480 |
| 愛知県 | 18 | 19,301 | 鹿児島県 | 5 | 641 |
| 三重県 | 21 | 17,673 | 沖縄県 | 2 | 710 |
| 小計 | 393 | 633,081 | 小計 | 316 | 588,361 |
| | | | 合計 | 709 | 1,221,442 |

1. 2 維持管理の現況

1) 維持管理費

アンケート調査から得られた維持管理費の状況を以下に示す。

(1) 動力費

施設の1日平均浄水量と動力費(円/m³)の関係を図1-3に示す。膜ろ過以外の設備も含む動力費をプロットしたものであるが、小規模施設では値が大きくばらつく傾向が見られる。

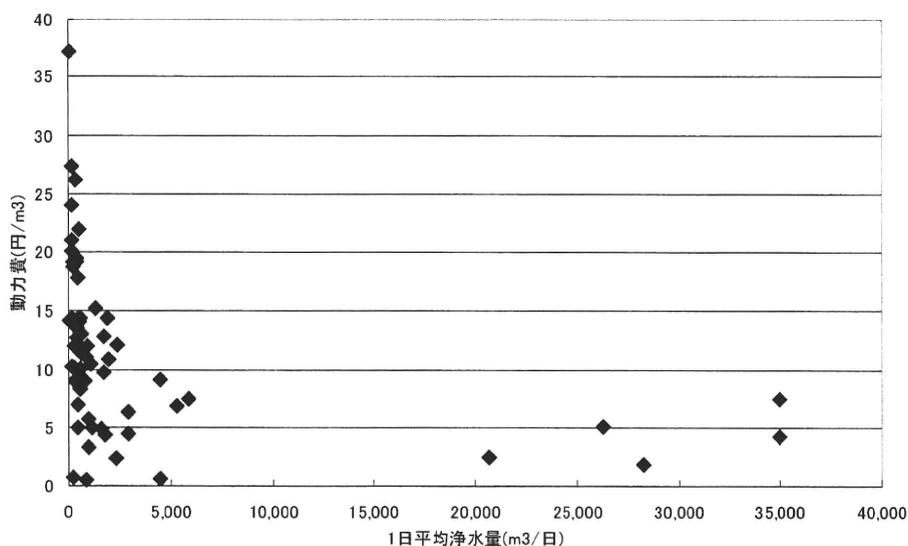


図1-3 1日平均浄水量と動力費の関係(回答数 62 件)

(2) 薬品費

施設の1日平均浄水量と薬品費(円/m³)の関係を図1-4に示す。原水水質に関係なく薬品費をプロットしたものであるが、小規模施設では値が大きくばらつく一方、1万 m³/日以上施設では、ほぼ一定した低い値となる傾向が見られる。

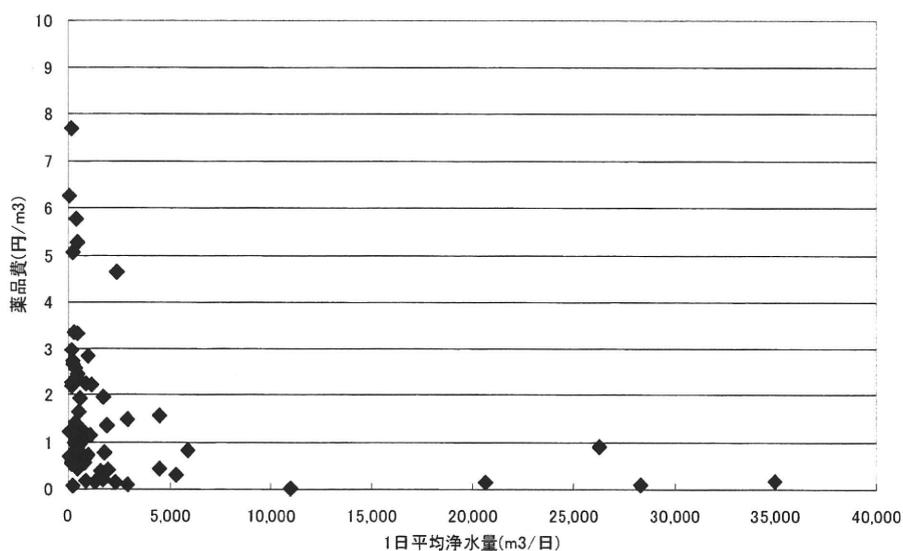


図1-4 1日平均浄水量と薬品費の関係(回答数 64 件)

(3) 薬品洗浄費

施設の計画浄水量と1回当たりの薬品洗浄費(円/m³)の関係を図1-5に示す。小規模施設では値が大きくばらつく一方、規模が大きくなるにしたがい、値が低く抑えられる傾向が見られる。数万m³/日規模の施設において値が顕著に低いのは、オンサイトオンライン洗浄の採用による結果と考えられる。

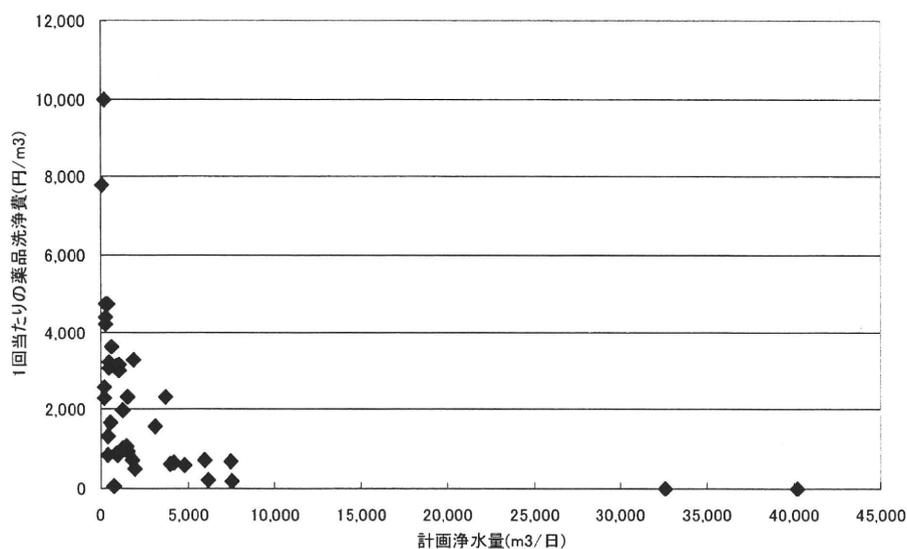


図1-5 計画浄水量と薬品洗浄費の関係(回答数40件)

(4) 膜交換費

施設の計画浄水量と1回当たりの膜交換費(円/m³)の関係を図1-6に示す。膜交換費には膜モジュールの価格が大きく影響すると考えられる。回答数が少なく、8,000m³/日以下の施設から得られた回答であるが、規模が大きくなるにしたがい、値が低く抑えられる傾向が見られる。

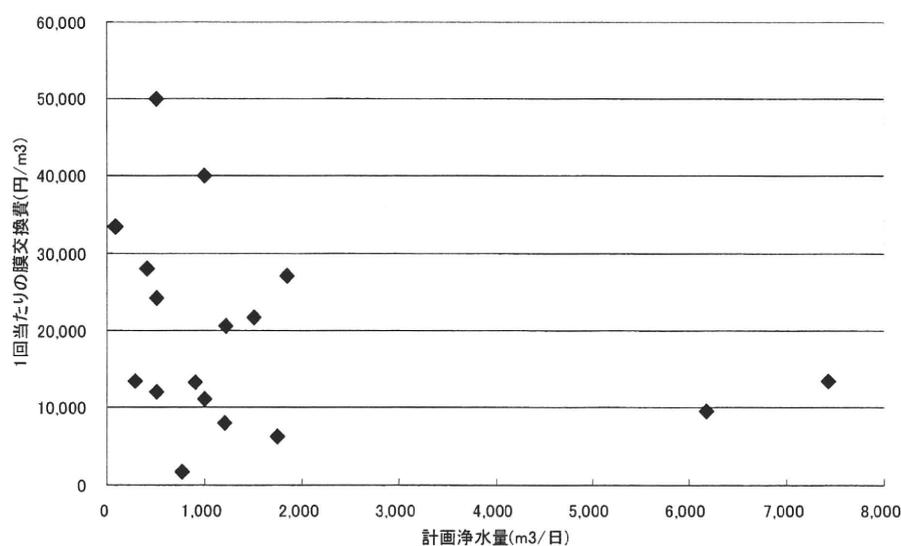


図1-6 計画浄水量と膜交換費の関係(回答数17件)

2) 維持管理体制の状況

アンケート調査から得られた施設の維持管理体制を図1-7～1-10に示す。これらは施設の運用に従事する水道事業体職員又は維持管理業務の委託を受けた業者が、施設又は維持管理拠点へ常駐する人数を示したものである。平日昼間では1～2人の体制が回答数の約50%であり、1万m³/日以上 of 施設では10人以上が40%以上である。また、休日昼間では回答数の40%以上、平日夜間及び休日夜間では50%以上が施設または維持管理拠点への常駐なしとなっている。

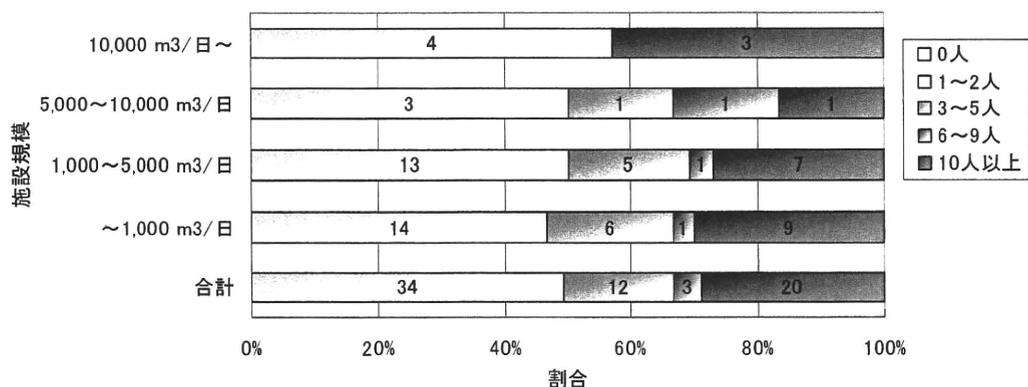


図1-7 平日昼間の維持管理体制(回答数 69 件)

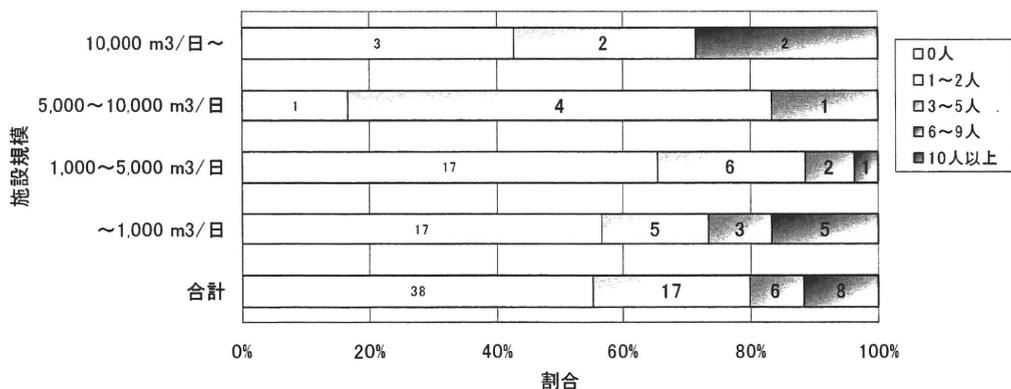


図1-8 平日夜間の維持管理体制(回答数 69 件)

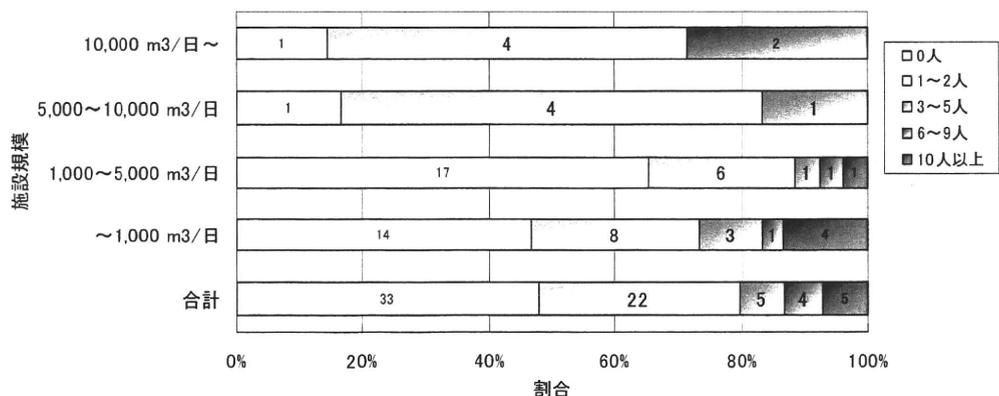


図1-9 休日昼間の維持管理体制(回答数 69 件)

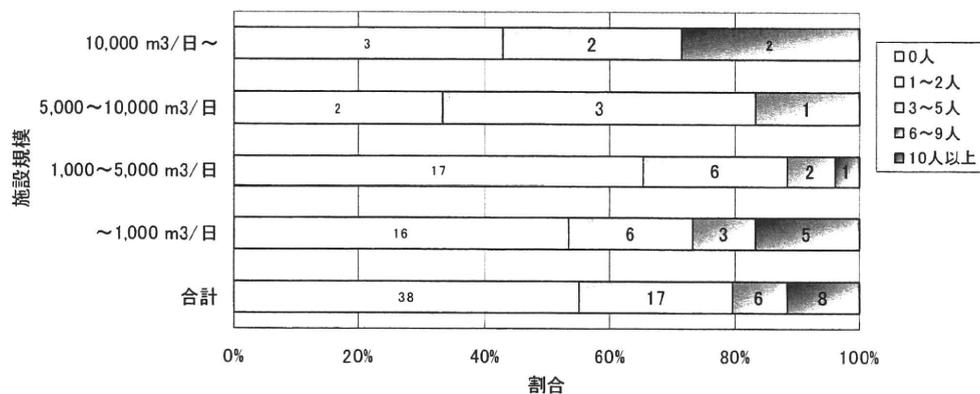


図 1 - 1 0 休日夜間の維持管理体制(回答数 69 件)

3) 維持管理業務委託の状況

アンケート調査から得られた維持管理業務の委託状況を以下に示す。

(1) 委託の有無

施設規模と業務委託の有無の関係を図 1 - 1 1 に示す。ただし、薬品洗浄及び膜交換については、すべて委託されるものと判断し、除外した。回答数の 40 % 以上が薬品洗浄及び膜交換を除く何らかの維持管理業務が委託されており、10,000 m³/日以上施設では、その割合が 80 % 以上である。

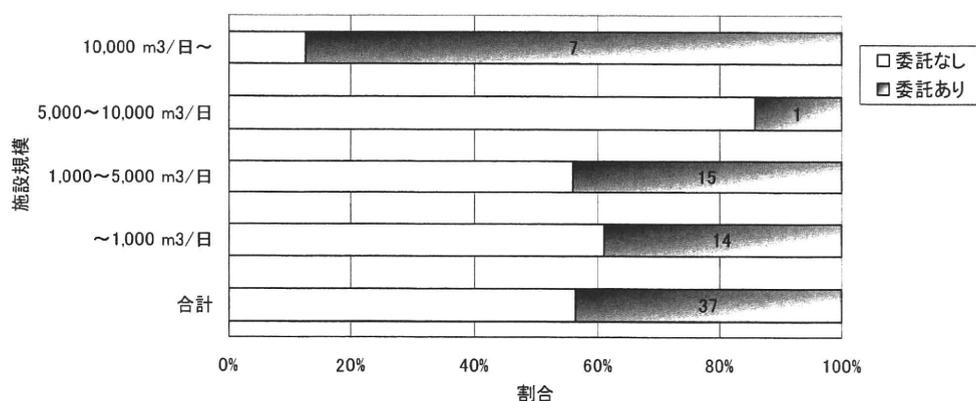


図 1 - 1 1 施設規模と業務委託の有無(回答数 85 件)

(2) 委託内容

施設規模と業務委託内容の関係を図 1 - 1 2 に示す。なお、図中の「保守点検」、「監視」、「運転」とは以下の業務を示す。

保守点検：施設の巡回点検、設備の定期保守点検、薬品補給等

監視：施設運転状況の監視(通信を利用した遠方監視を含む)

運転：施設の運転操作

回答数の 50 % 以上が保守点検のほか監視や運転操作を委託しており、10,000 m³/日以上施設では、その割合が 100 % である。

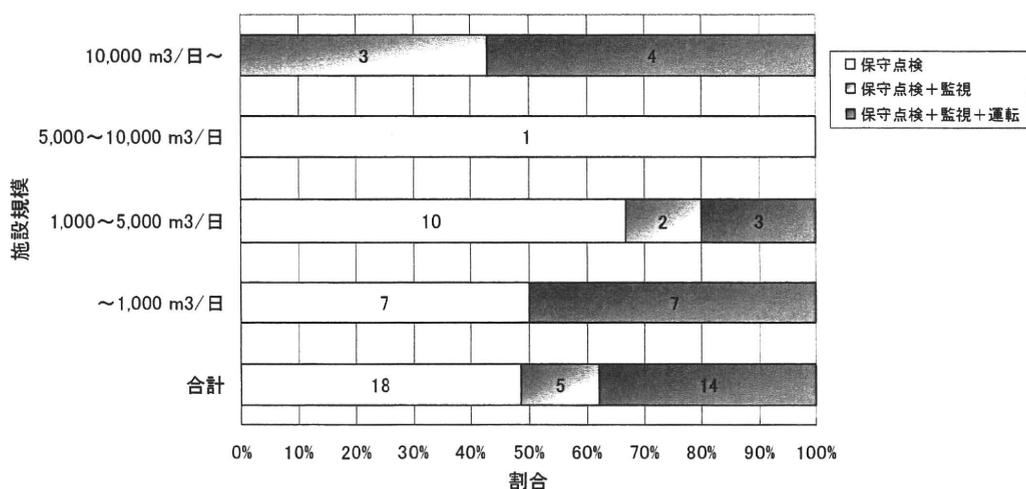


図 1-12 施設規模と業務委託内容(回答数 37 件)

4) トラブルの発生状況

アンケート調査から得られたトラブルの発生状況を表 1-4 に示す。回答数のうち、補機類に関するトラブルが最も多い。膜差圧上昇による設備停止は 3 件の回答があり、うち 2 件は原水濁度の上昇によるものであった。そのほか、表以外では、結露や初期の調整不良等に関する数件の回答があった。

表 1-4 トラブルの発生状況(20 施設における回答)

| トラブルの種類 | 回答数 | 備考 |
|--------------|-----|---------------------------|
| 補機類の故障 | 14 | ポンプ、インバーター、バルブ、コンプレッサーの故障 |
| センサー類の故障 | 5 | インバーター |
| 薬注設備の故障 | 5 | |
| 膜差圧上昇による設備停止 | 3 | |
| 落雷による設備の故障 | 3 | 落雷による商用電源の停電は除く |
| 膜損傷検出の誤発報 | 2 | |

5) 維持管理マニュアルの作成状況

アンケート調査から得られた水道事業者による維持管理マニュアルの作成状況を以下に示す。

(1) 維持管理マニュアルの有無

維持管理用として、独自のマニュアルを作成しているかどうかの状況を図 1-13 に示す。回答数の 78% が独自の維持管理マニュアルを作成している。

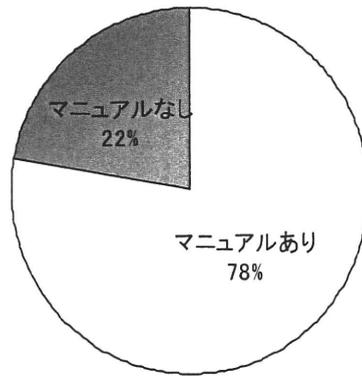


図 1-13 維持管理マニュアルの有無(回答数 86 件)

(2) 維持管理マニュアルの作成主体

図 1-13 で「マニュアルあり」の回答のうち、誰が主体に作成したかの割合を図 1-14 に示す。回答数の 62% が納入業者、21% が維持管理業務の委託を受けた業者を主体として作成しており、水道事業体が主体のケースは 7% である。

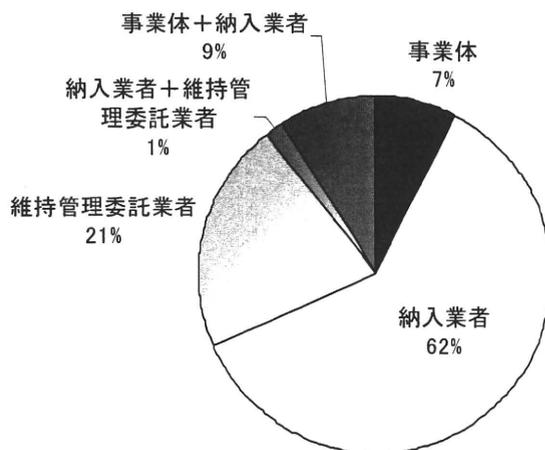


図 1-14 維持管理マニュアルの作成主体(回答数 67 件)

6) 維持管理に関する要望

アンケート調査から得られた水道事業体が要望する維持管理の技術的な事項について以下に示す。アンケートは、あらかじめ列挙した項目の中から強く要望するものを選び(複数選択可)、その理由を回答する形式で実施した。

(1) 運転管理

図 1-15 に示すとおり、「トラブル復旧が容易なこと」が最も多く、理由として汎用製品でない交換部品の入手に時間が掛かることが複数挙げられていた。次いで「膜損傷の確実な検出」が多く、理由として、間接法による確実な膜損傷検出技術の確立が複数挙げられていた。

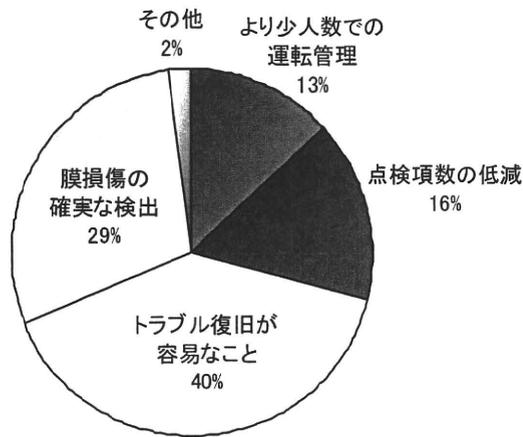


図1-15 運転管理に関する要望(回答数 62 件)

(2) 薬品洗浄

図1-16に示すとおり、「簡便性」が最も多く、理由として作業効率向上によるコスト低減、作業期間短縮による浄水処理への影響低減、(自前で実施できないため)委託せざるを得ない、が挙げられていた。次いで「汎用性」が多く、理由として洗浄を委託できる業者数の増加が挙げられていた。

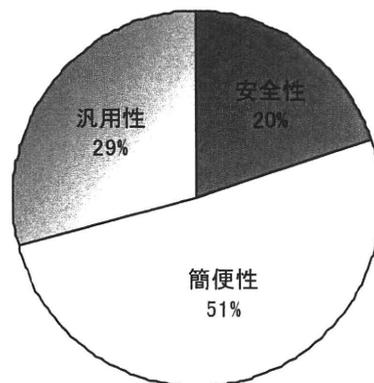


図1-16 薬品洗浄に関する要望(回答数 41 件)

(3) 膜交換

図1-17に示すとおり、「リサイクル性」、「簡便性」、「汎用性」の割合が大きく、「リサイクル性」を選んだ理由として膜モジュールのリサイクルによる環境負荷低減への期待が複数挙げられていた。「簡便性」では、理由として作業効率向上によるコスト低減、作業期間短縮による浄水処理への影響低減、が挙げられていた。「汎用性」では、(交換する)膜モジュールの選択肢の拡大が挙げられていた。

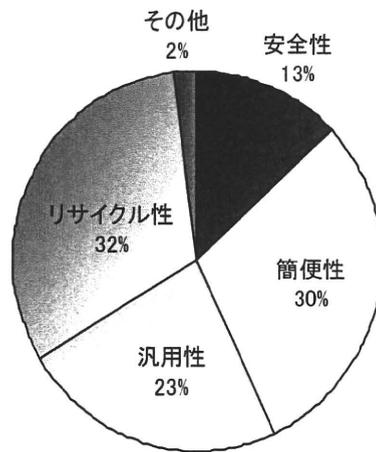


図 1 - 1 7 膜交換に関する要望(回答数 53 件)

(4) コスト低減

図 1 - 1 8 に示すとおり、費用に関して要望の強い項目を選ぶ調査であるが、「建設費」を除くランニングコストに関する項目が全体の 74% を占めている。これは、アンケートの対象とする施設がすでに稼動しており、回答への関心が、「建設費」以外のランニングコストに傾倒しているためと考えられる。ランニングコストに分類される項目として、「膜交換費」、「動力費」、「薬品洗浄費」がほぼ同じ割合で大半を占めている。

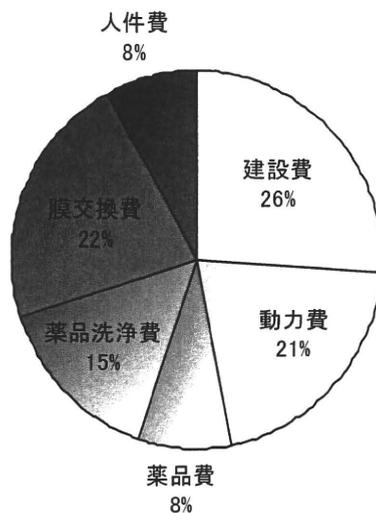


図 1 - 1 8 コスト低減に関する要望(回答数 115 件)

2. 膜損傷検出

2. 1 膜損傷検出の実施状況

1) 膜損傷試験の採用状況

(1) アンケート調査結果

① 直接法・間接法の内訳

膜損傷試験について、直接法・間接法の内訳を図2-1に示す。61%の施設では間接法のみ採用しており、直接法と間接法を併用している施設は35%である。

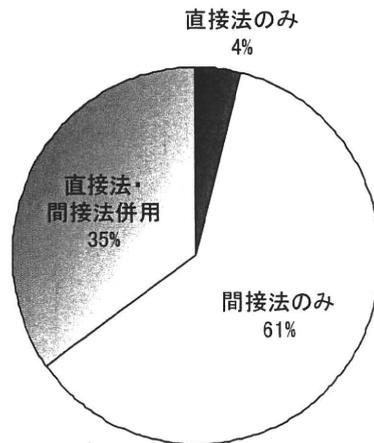


図2-1 直接法・間接法の内訳(回答数 77 件)

② 直接法の内訳

直接法による試験方法の内訳を図2-2に示す。76%の施設で加圧法による圧力保持試験を採用している。また、10%の施設では圧力保持試験とバブルポイント試験を併用している。

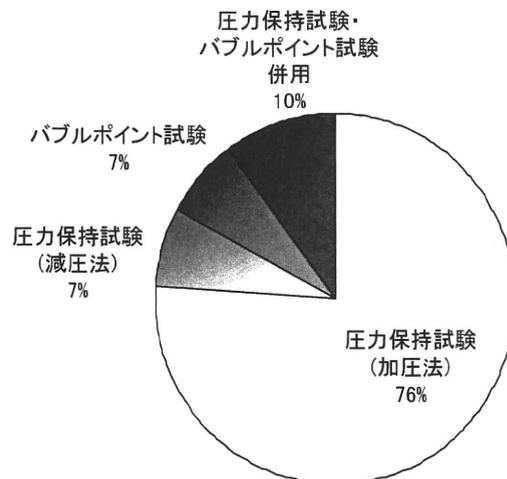


図2-2 直接法の内訳(回答数 29 件)

③ 間接法の内訳

間接法による試験方法の内訳を図2-3に示す。78%の施設で濁度モニタリングのみを採用しており、濁度モニタリングと微粒子カウントを併用している施設は14%である。

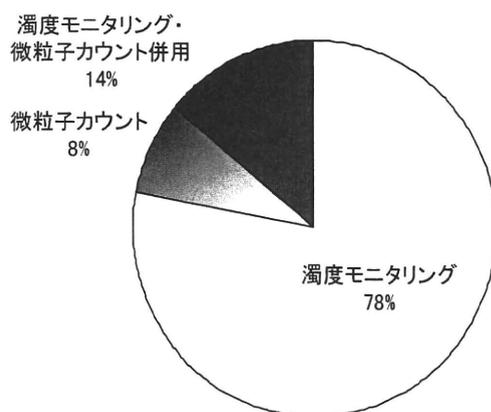


図2-3 間接法の内訳(回答数 74件)

(2) ヒアリング調査結果

施設での事例を表2-1、企業の標準を表2-2に示す。表2-1の事業体Bでは、6施設で、間接法として濁度モニタリングと微粒子カウントを併用している。これは、施設で膜交換を実施した際、膜交換の前後で膜ろ過水の微粒子数が明らかに変化する事例があったことから、微粒子カウントが膜損傷検出に有効な手段となるのではないかとの考察による。なお、この施設では、濁度モニタリングで膜ろ過水濁度の変化が認められないものの、直接法によって膜損傷が検出されている。濁度モニタリングと微粒子カウントを併用している施設での運用上の位置づけは、濁度モニタリングを主、微粒子カウントを従としている。

表2-1 膜損傷試験方法(施設での事例)

| 膜種類 | 膜素材 | 膜モジュール形式 | 膜モジュール構造 | 膜損傷検出の採用状況 | 直接法の種類 | 直接法の種類 | 採用施設数 | |
|------|-----|----------|----------|------------|-----------|--------------------|--------------------|---|
| 事業体A | UF | PAN | 中空系型 | ケーシング収納型 | 直接法・間接法併用 | 拡散空気量試験 | 濁度モニタリング | 1 |
| | MF | セラミック | モノリス型 | ケーシング収納型 | 直接法・間接法併用 | 圧力保持試験 | 濁度モニタリング | 3 |
| | UF | PAN | 中空系型 | ケーシング収納型 | 直接法・間接法併用 | 圧力保持試験 | 濁度モニタリング | 2 |
| | UF | PVDF | 中空系型 | ケーシング収納型 | 直接法・間接法併用 | 圧力保持試験 | 濁度モニタリング | 1 |
| | MF | PVDF | 中空系型 | ケーシング収納型 | 直接法・間接法併用 | 圧力保持試験 | 濁度モニタリング | 1 |
| 事業体B | UF | PAN | 中空系型 | ケーシング収納型 | 直接法・間接法併用 | バブルポイント試験 | 濁度モニタリング | 1 |
| | UF | CA | 中空系型 | ケーシング収納型 | 直接法・間接法併用 | バブルポイント試験 | 濁度モニタリング・微粒子カウント併用 | 2 |
| | UF | CA | 中空系型 | ケーシング収納型 | 直接法・間接法併用 | 圧力保持試験・バブルポイント試験併用 | 濁度モニタリング・微粒子カウント併用 | 3 |
| | MF | PVDF | 中空系型 | ケーシング収納型 | 直接法・間接法併用 | 圧力保持試験 | 濁度モニタリング | 1 |
| | MF | PVDF | 中空系型 | ケーシング収納型 | 直接法・間接法併用 | 圧力保持試験 | 濁度モニタリング・微粒子カウント併用 | 1 |
| 事業体C | MF | PVDF | 中空系型 | ケーシング収納型 | 直接法・間接法併用 | 電気抵抗測定を用いたエアリーク検出 | 濁度モニタリング・微粒子カウント併用 | 1 |
| 事業体D | MF | セラミック | 管状型 | 浸漬型 | 直接法・間接法併用 | 圧力保持試験 | 濁度モニタリング | 1 |