

【技術分類】 1 - 1 1 - 2 - 1 単位操作 / 電気化学 / 電気透析 / イオン交換膜

【技術名称】 1 - 1 1 - 2 - 1 - 1 イオン交換膜の種類

【技術内容】

イオン交換膜は、現在では特殊なイオン交換膜を除いては、スチレン・ジビニルベンゼン共重合体である。ただし、シート状に成形して使用するために硬くて脆いスチレン系樹脂に柔軟性を付与するエラストマー等の化合物が添加されている。製造法、膜構造、構成する樹脂により分類できる。

1. 製造法；製造法により均質膜と非均質膜に別れる。

均質膜は、全体が均質に構成されているイオン交換膜である。膜は、原料モノマー液を補強体に含ませた後に重合させる。ただし、フッ素系のイオン交換膜は押し出し成形（T ダイ）を用いて押し出し成形による。

不均質膜は、イオン交換基を有する樹脂を溶融成形可能なポリオレフィン系の樹脂とともに粉碎混練して、プレス成形もしくはTダイによりシート状に成形する。

2. 構造；構造による分類には、対称膜と非対称膜がある。

対称膜は、イオン交換膜断面が左右対称の膜で、補強の無い不均質膜、補強体が中心に挿入された均質膜・不均質膜などである。

非対称膜は、イオン交換膜断面が左右非対称の膜で、イオン交換膜の片側表面に別のイオン交換樹脂層が積層された膜、補強体が中心にない膜などである。

3. 構成する樹脂による分類；スチレン系、アクリル系、縮合系、エンブラ系、フッ素系などがある。

スチレン系は、国内で製造されている電気透析用のイオン交換膜のほとんどが、スチレン、クロロメチルスチレン、ビニルピリジンモノマー等とジビニルベンゼンモノマーとの共重合体である。

アクリル系は、アクリル・メタクリル系ポリマーの側鎖に陽、陰のイオン交換基を導入したもの。

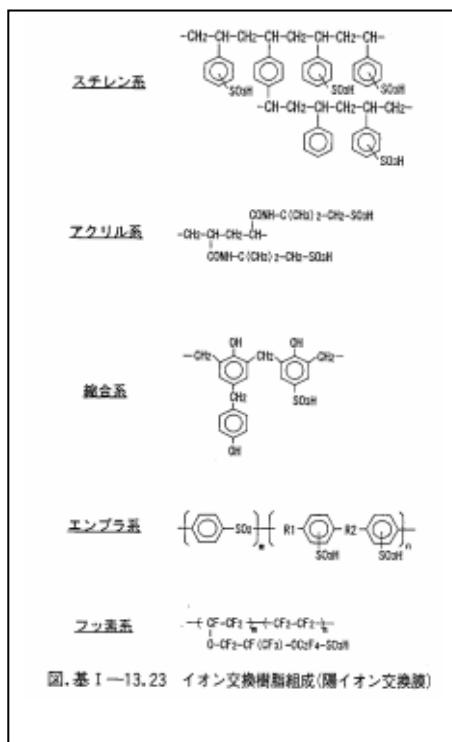
縮合系は、1950年に開発された初期の均質膜で、機械的強度が十分でなく、アルカリ耐性がない。

エンブラ系は、ポリスルフォンを骨格とした陰イオン交換膜で、耐熱性・耐酸化性に富む。

フッ素系は、燃料電池用に1969年にスルホン酸交換基を有する強酸性陽イオン交換膜として開発された。

【図】

図 イオン交換樹脂組成



出典：造水技術ハンドブック、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、110 頁 図.基 - 13.23 イオン交換樹脂組成（陽イオン交換膜）

【出典／参考資料】

「造水技術ハンドブック」、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、109 - 111 頁

【技術分類】 1 - 1 1 - 2 - 1 単位操作 / 電気化学 / 電気透析 / イオン交換膜

【技術名称】 1 - 1 1 - 2 - 1 - 2 イオン交換膜の特性

【技術内容】

イオン交換膜の特性は、機械的強度、膜厚、イオン交換容量、電気抵抗、輸率などで表される。

1. 機械的強度は、炭化水素系イオン交換膜の機械的強度としてはミューレンの破裂強度が使われ、ソーダ電解用のフッ素系イオン交換膜には引張り強度（破断強度、破断伸度）が用いられる。
2. 膜厚は通常は 100  $\mu\text{m}$  ~ 500  $\mu\text{m}$  である。燃料電池用膜としては数十  $\mu\text{m}$  の薄膜が、また、強度が要求される用途では 1mm を超える不均質膜も製造されている。
3. イオン交換容量は、乾燥させたイオン交換膜の単位重量（g）あたりに含まれるイオン交換基の電気等量数（meq）で表される。
4. 電気抵抗の測定は電極での分極等の外部要因を排除するために交流（1kHz/1mV）で行われるのが一般的である。イオン交換膜の電気抵抗の単位は面積抵抗（ $\Omega\text{cm}^2$ ）が用いられる。
5. 輸率は、イオン交換膜の異種電荷イオンの選択透過性を表す。実際に電極に電流を流してイオンの移動を測定する動的輸率測定と、イオン交換膜両側の濃度差により生じる電位差から計算する静的輸率測定がある。

【図】

表 イオン交換膜の特性値

| 名 称                                |                                     | 陽イオン交換膜              |                      |                    |                    |                     |
|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
|                                    |                                     | CMV                  | CMT                  | CMD                | CSO                | HSF                 |
| 種 別                                |                                     | 標 準                  | 高強度                  | 高強度                | 1 価選択透過            | 水素イオン選択透過           |
| 用 途                                |                                     | ED 脱塩・濃縮             | ED 脱塩・濃縮             | ED 脱塩・濃縮           | ED 脱塩・濃縮           | ED 酸回収              |
| 膜 厚                                | $\mu\text{m}$                       | 130                  | 220                  | 400                | 100                | 150                 |
| 破裂強度                               | Mpa                                 | 0.4                  | 0.7                  | 1.5                | 0-3                | 0.2                 |
| (電気化学特性)<br>イオン交換容量<br>電気抵抗<br>輸 率 | meq/g<br>$\Omega \cdot \text{cm}^2$ | 2.0<br>3<br>> 0.96   | 1.5<br>5<br>> 0.96   | 1.3<br>5<br>> 0.96 | 2.1<br>2<br>> 0.97 | 0.4                 |
| 名 称                                |                                     | 陰イオン交換膜              |                      |                    |                    |                     |
|                                    |                                     | AMV                  | AMT                  | AMD                | ASV                | AHT                 |
| 種 別                                |                                     | 標 準                  | 高強度                  | 高強度                | 1 価選択透過            | 耐熱高強度               |
| 用 途                                |                                     | ED 脱塩・濃縮             | ED 脱塩・濃縮             | ED 脱塩・濃縮           | ED 脱塩・濃縮           | ED 脱塩・濃縮            |
| 膜 厚                                | $\mu\text{m}$                       | 130                  | 220                  | 400                | 130                | 340                 |
| 破裂強度                               | Mpa                                 | 0.4                  | 0.7                  | 1.5                | 0.4                | 1.3                 |
| (電気化学特性)<br>イオン交換容量<br>電気抵抗<br>輸 率 | meq/g<br>$\Omega \cdot \text{cm}^2$ | 2.0<br>2.5<br>> 0.96 | 1.5<br>4.5<br>> 0.96 | 1.3<br>9<br>> 0.96 | 2.1<br>3<br>> 0.97 | 1.0<br>20<br>> 0.96 |

出典：造水技術ハンドブック、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、112 頁 表.基 - 13.10 イオン交換膜の特性値

【出典／参考資料】

「造水技術ハンドブック」、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人  
造水促進センター発行、111 - 113 頁

【技術分類】 1 - 1 1 - 2 - 2 単位操作 / 電気化学 / 電気透析 / 電気透析槽

【技術名称】 1 - 1 1 - 2 - 2 - 1 電気透析槽

【技術内容】

電気透析槽は、陽イオン交換膜と陰イオン交換膜を交互にスペーサーを介して多数組を積層し、その両端に 1 対の電極を配置して原液を濃縮水と稀釈水に分離させることによって不純物の除去などを行う装置である。

陽極側の陰イオン交換膜と陰極側の陽イオン交換膜で仕切られたスペースは脱塩室と呼ばれ、それと反対に陽イオン交換膜と陰イオン交換膜で仕切られたスペースは濃縮室と呼ばれる。電気透析槽では脱塩室と濃縮室が交互に配置され、脱塩室には原液が供給される。脱塩室では陽イオンは陰極に向かって移動し、陽イオン交換膜を透過して濃縮室に移動する。しかし、濃縮室の陰極側は陰イオン交換膜で仕切られているために、陰極側の脱塩室に透過することはできない。同様に、陰イオンは脱塩室から濃縮室に移動し、結果として原水中の塩は脱塩室から濃縮室に移動し濃縮される。

電気透析槽の構成は、現在では、フィルタープレス型の電気透析槽が多く用いられている。

基本的には、締め具（対）、電極と電極室、陽イオン交換膜、陰イオン交換膜、脱塩室枠、濃縮室枠によって構成されている。

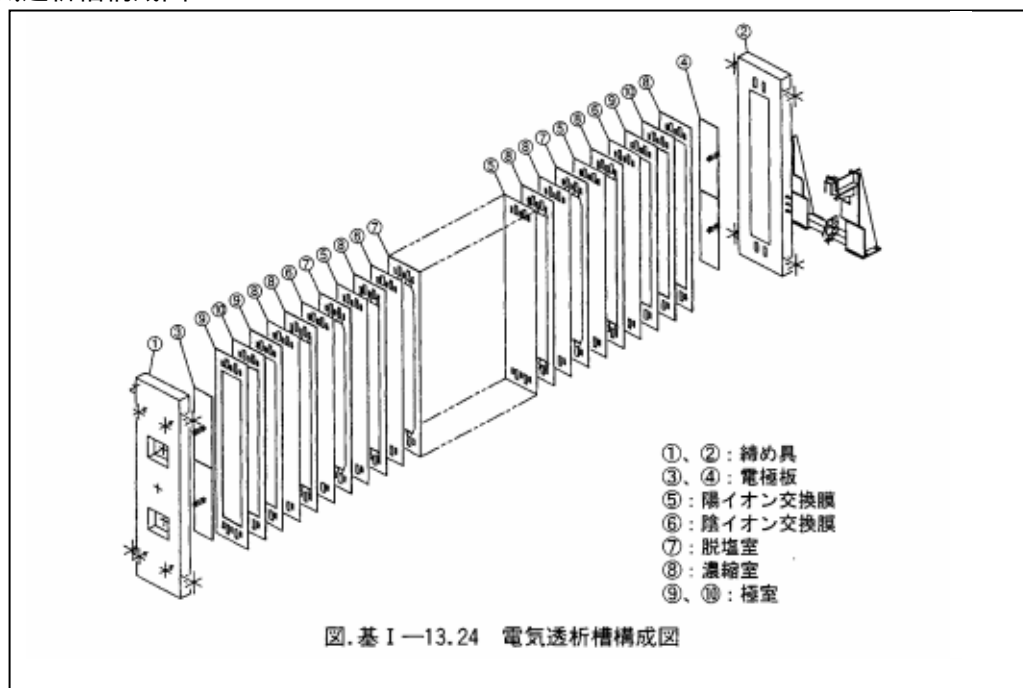
締め具は多数組積層（大型槽では 2,000 対を超える）された室枠やイオン交換膜等の樹脂材料を均一な圧力で締めるため、締め付けにより平面性が損なわれないように鋼板によって製作される。

電極の陽極としてはチタン基材の DSA や貴金属メッキ電極が使用される。耐食性が要求されない陰極にはステンレスの板材が用いられる。極室の材質としてはポリ塩化ビニル、ポリプロピレン、FRP 等の樹脂材料が使用される。

脱塩、濃縮室枠はその厚みが透析槽の溶液抵抗に比例するため、できるだけ薄く製作される。下部の共通ダクトからディストリビューターを通して各室枠内に液が供給される。室枠内には液が均一に分散するようにネットが挿入されている。脱塩（濃縮）された液は上部のコレクターによって共通ダクトに集められ透析槽の外部に排出される。

【図】

図 電気透析槽構成図



出典：造水技術ハンドブック、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、113 頁 図基 - 13.24 電気透析槽構成図

【出典 / 参考資料】

「造水技術ハンドブック」、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、109 - 114 頁

【技術分類】 1 - 1 1 - 2 - 3 単位操作 / 電気化学 / 電気透析 / 電気透析装置

【技術名称】 1 - 1 1 - 2 - 3 - 1 バッチ式装置

【技術内容】

電気透析槽を用いた淡水化技術の特徴は原水利用率の高さにあり、地下水の硝酸イオン除去では98%の原水利用率で運転されている例もある。しかし、電気透析法では電気によりイオンを移動させるため、原水濃度が高いと設備費や電力消費量が増大することから海水淡水化には適しておらず、電気透析法はもっぱらかん水脱塩に利用されている。

電気透析槽にはいくつかの運転方式があり、脱塩率や規模により使い分けられている。

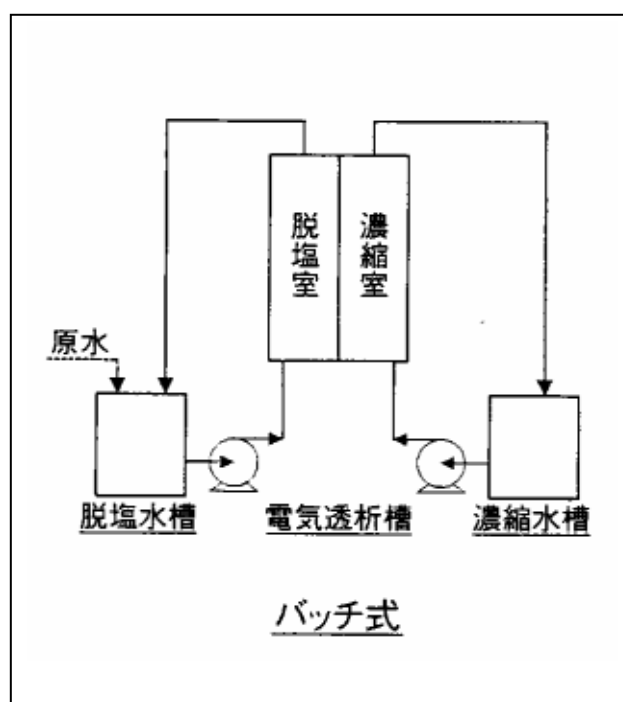
バッチ式は貯槽に貯められた一定量の原水を脱塩室に供給し、そこで電気透析槽により脱塩した脱塩水を再び原水貯槽にもどす方法で原水を循環させて脱塩を行う方法である。

時間の経過とともに貯槽の塩濃度が低下し脱塩液の電導度も低下するため、脱塩の進行とともに限界電流密度が低下するが、適切な電圧値により定電圧運転を行えば、脱塩の進行に伴って電流値も低下し、限界電流密度を越えることなく、安定した運転が行える。

バッチ式では液の入換え等の作業が必要であるが、平均電流密度を高くとれるため、小規模で脱塩率を高くしたい場合に利用される。

【図】

図 電気透析脱塩・濃縮システム（バッチ式）フロー



出典：造水技術ハンドブック、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、142 頁 図.基 - 3.2 電気透析脱塩・濃縮システム

【出典 / 参考資料】

「造水技術ハンドブック」、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、139 - 142 頁

【技術分類】 1 - 1 1 - 2 - 3 単位操作 / 電気化学 / 電気透析 / 電気透析装置

【技術名称】 1 - 1 1 - 2 - 3 - 2 連続式装置（ワンパス型）

【技術内容】

淡水化を目的とした電気透析槽は一般的な脱塩・濃縮を目的とした電気透析槽とは要求される性能が異なるため、効率的な淡水化を行うためには淡水化用に設計された電気透析槽を用いる必要がある。

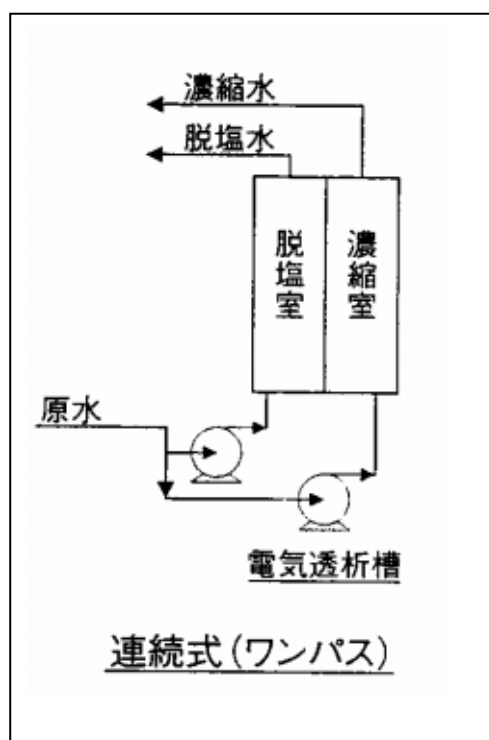
淡水化用の電気透析槽としてはワンパス脱塩率が高いことが必要である。通常の電気透析槽ではワンパス脱塩率は 1.5 以下であるが、淡水化用の電気透析槽は 2 程度である。ワンパス脱塩率を高くするためには、脱塩室の流路長を長くとる必要があり、淡水化用の電気透析槽は必然的に流れ方向に長くなるためいろいろな工夫がされている。

連続式（ワンパス型）装置は、供給された原水を電気透析槽の脱塩室を一回透過して脱塩液として電気透析槽から連続回収する装置である。脱塩率はワンパス脱塩率により一義的に決まるため、脱塩率を上げるためには電気透析槽を多段にしたシステムを組む必要がある。

本方式は連続運転であるため、運転管理が容易であるが供給原水の変動がそのまま生産水品質に影響する問題点もある。

【図】

図 電気透析脱塩・濃縮システム（連続式 - ワンパス）フロー



出典：造水技術ハンドブック、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、142 頁 図.基 - 3.2 電気透析脱塩・濃縮システム

【出典 / 参考資料】

「造水技術ハンドブック」、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、139 - 142 頁

【技術分類】 1 - 1 1 - 2 - 3 単位操作 / 電気化学 / 電気透析 / 電気透析装置

【技術名称】 1 - 1 1 - 2 - 3 - 3 連続式装置 (FB 型)

【技術内容】

連続式の 1 つの方式に Feed & Bleed 方式 (FB 方式) がある。

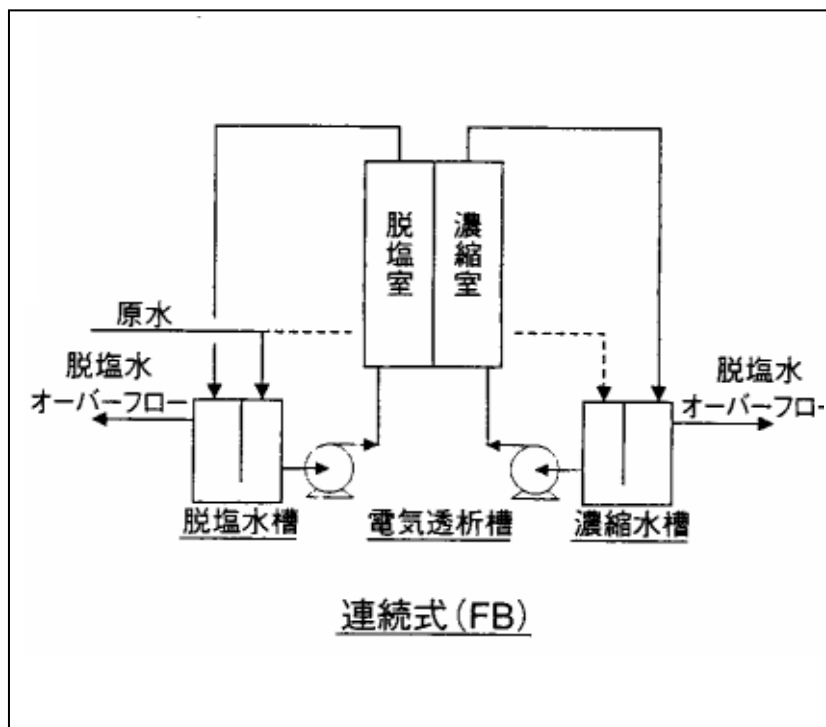
この方式は、脱塩水循環槽を設け、原水を脱塩水循環槽に連続的に供給するとともに、電気透析槽の脱塩室には供給原水量以上の液量を脱塩水循環槽から循環供給して脱塩を行う方式である。

これにより、脱塩水循環槽からのオーバーフローが生産水 (脱塩水) となる一方で、濃縮水側にも濃縮水循環槽を設け、電気透析槽の濃縮室に循環供給される。濃縮水に関しても、循環槽からのオーバーフローが最終的な濃縮水になる。この FB 方式では循環水量を増やす事で脱塩率を上げることができ、1 段だけでも高い脱塩率が得られるが、さらに多段のシステムにすることにより高脱塩率のシステムを組むことも可能であるのが特徴である。

ただし、循環液により電気透析槽供給液濃度が薄められるため限界電流密度が低下する弱点がある。

【図】

図 電気透析脱塩・濃縮システム (連続式 - FB 型) フロー



出典：造水技術ハンドブック、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、142 頁 図.基 - 3.2 電気透析脱塩・濃縮システム

【出典 / 参考資料】

「造水技術ハンドブック」、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、139 - 142 頁

【技術分類】 1 - 1 1 - 2 - 3 単位操作 / 電気化学 / 電気透析 / 電気透析装置

【技術名称】 1 - 1 1 - 2 - 3 - 4 ハイブリッド型電気透析装置

【技術内容】

海水淡水化プラントは、一般に発電設備と組合わせた淡水化・発電、二重目的プラントとして建設される。したがって、電力需要と水需要が常に一定の関係にあれば問題はないが中東諸国のように夏季の電力需要に対し、冬季の電力需要が落ち込む一方で水需要が年間を通じほぼ一定である場合は、電力需要低下期の造水量を確保するために多量の燃料の助燃を必要とする。

これらの問題を解決するために、電力を使う逆浸透法淡水化プラント（RO）と熱を使う蒸発法淡水化プラント（MSF）を組合わせたハイブリッド海水淡水化システムが注目され実用化されるようになった。

二重目的システムに用いられる代表的な発電設備として次の 3 種類がある。

1. ボイラ（B）＋背圧タービン発電機（BPST）または抽気タービン発電機（CST）
2. ガスタービン発電機（GT）＋背圧タービン発電機（BPST）
3. ガスタービン発電機（GT）＋背圧タービン発電機（BPST）または抽気タービン発電機（CST）

二重目的システムを計画する場合、電力需要と水需要の観点から、水・電力比が重要な設計条件となる。天然ガス産出国では、淡水化に要するエネルギー比率の低い、ガスタービン＋排ガスボイラー（HRSG）＋背圧タービン発電機（BPST）＋蒸発法淡水化プラント（MSF）の組合せが採用される場合が多い。

ハイブリッドシステムの特徴として、設備費・人件費の低減、エネルギー造水コストの低減などがあげられる。

【図】

図 淡水化・発電二重目的ハイブリッドシステム系統図

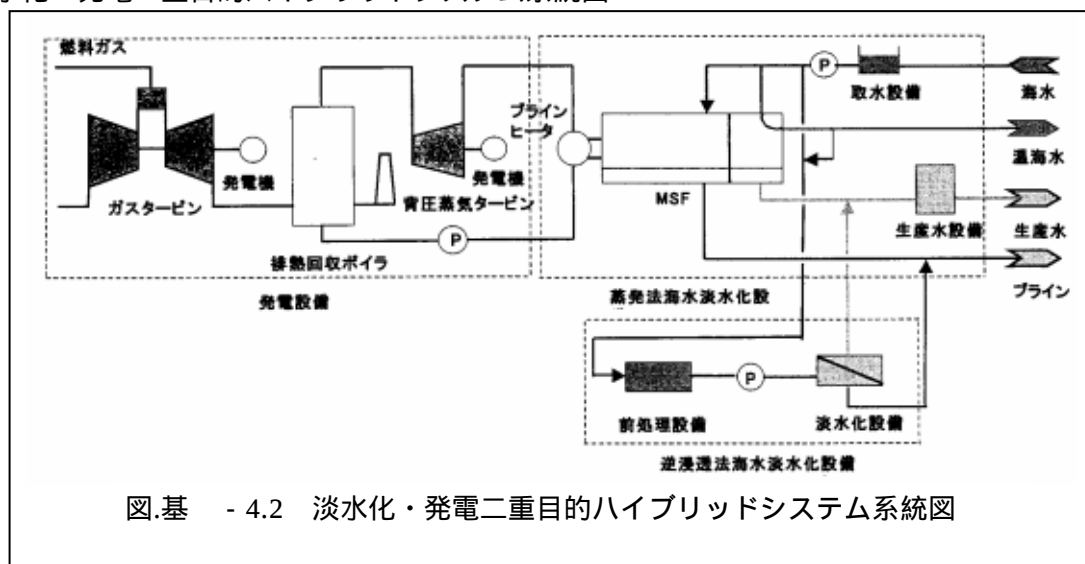


図.基 - 4.2 淡水化・発電二重目的ハイブリッドシステム系統図

出典：造水技術ハンドブック、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、146 頁 図.基 - 4.2 淡水化・発電二重目的ハイブリッドシステム系統図

【出典 / 参考資料】

「造水技術ハンドブック」、2004 年 11 月 25 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、145 - 148 頁

【技術分類】 1 - 1 1 - 2 - 3 単位操作 / 電気化学 / 電気透析 / 電気透析装置 /

【技術名称】 1 - 1 1 - 2 - 3 - 5 スパイラル型電気再生装置

【技術内容】

電力を利用して高純度の純水を連続的に採水できる電気脱イオンシステムの方式には、積層型電気脱イオンシステムとスパイラル型電気脱イオンシステムがある。

電気脱イオンシステムの用途は、医薬品精製水、半導体洗浄水などが代表的なものであるが、いわゆる一般純水用途にも急速に浸透してきている。

積層型は、厚さ数ミリの平板状の枠にイオン交換体（イオン交換樹脂、イオン交換不織布等）を充填し、両サイドを各々個別の極性を持つイオン交換膜ではさんだ構造であり、多くの実績がある。

スパイラル型は、積層型と同じく、イオン交換体をイオン交換膜でサンドイッチするが、これを渦巻き状に巻き込み、モジュール化した構造である。積層型と比較すると電気を更に効率よく使えるため、高純度処理水を容易に得ることができ、モジュール化により、コンパクトに増設が可能である。

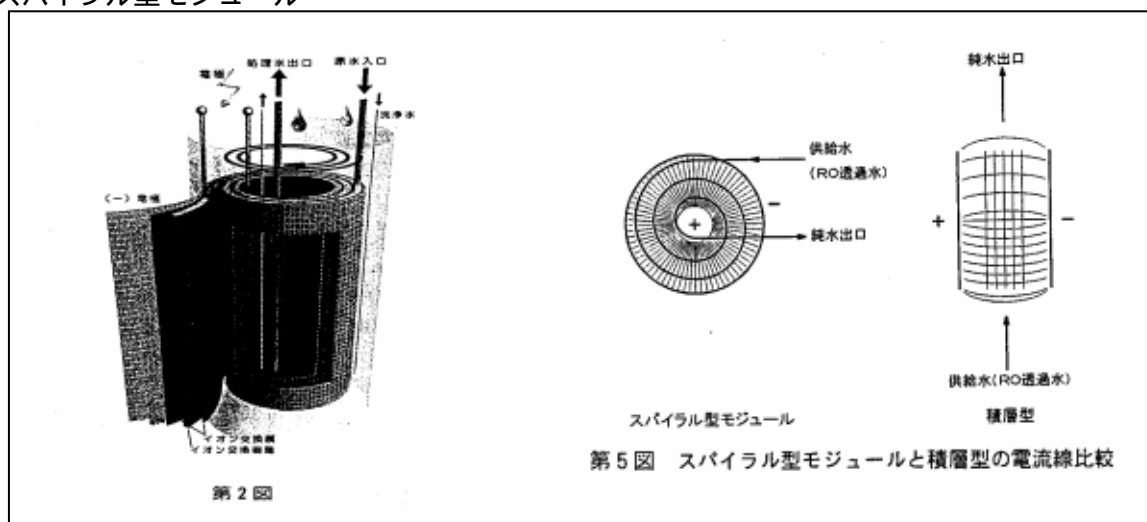
スパイラル型のモジュールの中心には（＋）電極を、外周には（－）電極が設置されている。一旦逆浸透膜（RO 膜）で処理された原水は、外周方向からイオン交換樹脂層に入り、中心方向へ向かって流れる。

RO 膜で除去できなかった残留イオンを  $\text{Na}$ （＋荷電）と  $\text{Cl}$ （－荷電）に代表させると、 $\text{Na}$  は（－）電極に、 $\text{Cl}$  は（＋）電極に各々引かれる。この時イオン交換膜はそれぞれの極性に適合したイオンだけを洗浄水中に排出する。この処理を効率よくスムーズに行うためには、電気の流れが大きく影響する。スパイラル型では、中心に（＋）電極、外周に（－）電極が設置され均一放射状に流れる。一方、積層型の場合、（＋）（－）電極が左右に離れて設置されるので、電流の均一分布、電気抵抗の面で相当不利になる。

電気脱イオンシステムにおいては、電流を効率的に利用することが大きな課題であり、その点でスパイラル型は優位である。

【図】

図 スパイラル型モジュール



出典：スパイラル型電気脱イオンシステム「クリストセプトロン」、JETI Vol.45 No.11、1997 年 10 月、青山道雄著、株式会社ジェティ発行、165 頁 図 2、166 頁 図 5 スパイラル型モジュールと積層型の電流線比較

【出典 / 参考資料】

「JETI」、1997 年 10 月、青山道雄著、株式会社ジェティ発行、Vol.45 No.11 164 - 166 頁