

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4915843号
(P4915843)

(45) 発行日 平成24年4月11日 (2012. 4. 11)

(24) 登録日 平成24年2月3日 (2012. 2. 3)

(51) Int. Cl.

F I

C O 2 F 1/469 (2006. 01)

C O 2 F 1/46 1 O 3

C O 2 F 1/44 (2006. 01)

C O 2 F 1/44 H

B O 1 D 61/44 (2006. 01)

B O 1 D 61/44 5 O O

B O 1 D 61/48 (2006. 01)

B O 1 D 61/48

B O 1 D 61/58 (2006. 01)

B O 1 D 61/58

請求項の数 16 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2006-132665 (P2006-132665)
 (22) 出願日 平成18年5月11日 (2006. 5. 11)
 (65) 公開番号 特開2007-301477 (P2007-301477A)
 (43) 公開日 平成19年11月22日 (2007. 11. 22)
 審査請求日 平成20年12月9日 (2008. 12. 9)

(73) 特許権者 000004400
 オルガノ株式会社
 東京都江東区新砂1丁目2番8号
 (74) 代理人 100098682
 弁理士 赤塚 賢次
 (74) 代理人 100071663
 弁理士 福田 保夫
 (74) 代理人 100131255
 弁理士 阪田 泰之
 (72) 発明者 新明 康孝
 東京都江東区新砂1丁目2番8号 オルガ
 ノ株式会社内

審査官 富永 正史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】電気軟化装置、軟化装置及び軟水製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

陽極室と陰極室の間に一価カチオン選択透過膜とカチオン交換膜を交互に配置してその間を通水室とし、一価カチオン選択透過膜の陰極側に位置する通水室を軟化室とし、一価カチオン選択透過膜の陽極側に位置する通水室を置換室とし、該軟化室には、硬度成分を含む被処理水の導入経路と軟水排出経路を配し、該置換室には、一価カチオンを含む置換水の導入経路と硬度成分濃縮水排出経路を配し、該陽極室及び該陰極室にはそれぞれ水の導入経路と排出経路を配することを特徴とする電気軟化装置。

【請求項 2】

前記置換水の導入経路には、一価カチオン塩供給手段が接続されていることを特徴とする請求項 1 記載の電気軟化装置。

【請求項 3】

前記陰極室の導入経路には、前記置換室の硬度成分濃縮水排出経路が接続され、前記陽極室の導入経路には、前記陰極室の排出経路が接続されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の電気軟化装置。

【請求項 4】

前記陽極室の導入経路には、前記置換室の硬度成分濃縮水排出経路が接続され、前記陰極室の導入経路には、前記陽極室の排出経路が接続されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の電気軟化装置。

【請求項 5】

10

20

前記軟化室、置換室、陽極室及び陰極室の中、少なくとも軟化室にカチオン交換体が充填されていることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項記載の電気軟化装置。

【請求項 6】

前脱塩装置と、該前脱塩装置の後段に位置する請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項記載の電気軟化装置を配し、該前脱塩装置の処理水排出経路と該電気軟化装置の被処理水導入経路を接続し、該前脱塩装置の濃縮液排出経路と該電気軟化装置の置換水導入経路を接続してなることを特徴とする軟化装置。

【請求項 7】

請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項記載の電気軟化装置と、該電気軟化装置の後段に位置する後脱塩装置を配し、該電気軟化装置の処理水排出経路と該後脱塩装置の被処理水導入経路を接続し、該後脱塩装置の濃縮液排出経路と該電気軟化装置の置換水導入経路を接続してなることを特徴とする軟化装置。

10

【請求項 8】

前記前脱塩装置が、電気透析装置、電気式脱イオン水製造装置または逆浸透膜装置であることを特徴とする請求項 6 記載の軟化装置。

【請求項 9】

前記後脱塩装置が、電気透析装置、電気式脱イオン水製造装置または逆浸透膜装置であることを特徴とする請求項 7 記載の軟化装置。

【請求項 10】

陽極室と陰極室の間に一価カチオン選択透過膜とカチオン交換膜を交互に配置してその間を通水室とし、一価カチオン選択透過膜の陰極側に位置する通水室（軟化室）に硬度成分を含む被処理水を通水し、一価カチオン選択透過膜の陽極側に位置する通水室（置換室）に一価カチオンを含む置換水を通水し、陰極と陽極に直流電位を印加して被処理水中の硬度成分を置換水中の一価のカチオンと置換させることを特徴とする軟水製造方法。

20

【請求項 11】

前記置換水中の一価のカチオン量は、除去したい硬度成分の当量以上であることを特徴とする請求項 10 記載の軟水製造方法。

【請求項 12】

前記置換水が、被処理水または被処理水に一価カチオン塩を添加して調製した水であることを特徴とする請求項 10 又は 11 記載の軟水製造方法。

30

【請求項 13】

前記被処理水は前脱塩装置から流出する処理水であり、前記置換水は、該前脱塩装置から排出される濃縮水であることを特徴とする請求項 10 ～ 12 のいずれか 1 項記載の軟水製造方法。

【請求項 14】

前記軟化室、置換室、陽極室及び陰極室の中、少なくとも軟化室にカチオン交換体が充填されていることを特徴とする請求項 10 ～ 13 のいずれか 1 項記載の軟水製造方法。

【請求項 15】

置換室から排出される置換室出口水の全部または一部を、陰極室に通水し、さらに陰極室出口水を陽極室に通水することを特徴とした請求項 10 ～ 14 のいずれか 1 項記載の軟水製造方法。

40

【請求項 16】

置換室から排出される置換室出口水の全部または一部を、陽極室に通水し、さらに陽極室出口水を陰極室に通水することを特徴とした請求項 10 ～ 14 のいずれか 1 項記載の軟水製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、硬水を軟水にする電気軟化装置、軟化装置及び軟水製造方法に関するものである。

50

【背景技術】

【0002】

カルシウムイオンやマグネシウムイオンなどの二価カチオン（硬度成分）を多く含む水は硬水と呼ばれ、ボイラ給水や冷却水などに用いるのに不適である。このため、二価カチオンを除去するため硬水軟化処理が行われる。二価カチオンを除去して硬水軟化処理を行うための方法として、Na型強酸性カチオン交換樹脂の充填層に硬水を通して軟水とする食塩軟化法や逆浸透膜に硬水を通して軟水とする逆浸透膜法がある。

【0003】

Na型強酸性カチオン交換樹脂を用いる食塩軟化法は、イオン交換した硬度成分の量がカチオン交換樹脂の交換容量を超えると、処理水中に硬度成分が漏れてくるため、食塩水を通して再生工程が必要となり、連続した処理ができないという問題がある。逆浸透膜法では、連続した軟化処理ができるものの、膜面に炭酸カルシウムのスケールが発生する恐れがあり、水回収率を高めることができないという問題がある。この逆浸透膜装置においては、被処理水に酸を添加することで、炭酸カルシウムスケールの析出は回避できるものの、危険な酸は使用上、問題となる。

10

【0004】

一方、特開平8-108184号公報には、一価カチオンと二価カチオンが混入する原水を電気透析セルに供給し、一価イオン選択透過性カチオン交換膜、非選択透過性カチオン交換膜によって一価イオンに富み二価イオンの少ない処理水と二価イオンに富み一価イオンの少ない処理水を同時に得る水処理システムが開示されている。

20

【特許文献1】特開平8-108184号公報（請求項1、図1）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特開平8-108184号公報の電気透析セルにおいては、濃縮室に流入した被処理水のカチオンは直流電位によって非選択性陽イオン交換膜を透過し、脱塩室に運ばれる。一方、被処理水中のアニオンは非選択性陽イオン交換膜もステンレス製仕切り板も透過することができず、濃縮室に留まるため、結果的に濃縮室内はアニオンリッチとなってpHが低下する。pHが低下すると、非選択性陽イオン交換膜を透過して移動するカチオンのうち、水素イオンの占める割合が高くなるため、カルシウムイオンやマグネシウムイオンの移動する割合が低くなる、いわゆる電流効率の低下現象を招くという問題がある。

30

【0006】

従って、本発明の目的は、電流効率の低下現象を起こすことなく、硬水中の硬度成分を目的に応じて所望の軟化率から顕著に高い軟化率まで自在に除去できる電気軟化装置、軟化装置及び軟水製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

かかる実情において、本発明者は鋭意検討を行った結果、陽極室と陰極室の間に一価カチオン選択透過膜とカチオン交換膜を交互に配置してその間を通水室とし、一価カチオン選択透過膜の陰極側に位置する通水室（軟化室）に硬度成分を含む被処理水を通水し、一価カチオン選択透過膜の陽極側に位置する通水室（置換室）に一価カチオンを含む置換水を通水し、陰極と陽極に直流電位を印加して被処理水中の硬度成分を置換水中の一価のカチオンと置換させれば、電流効率の低下現象を起こすことなく、硬水中の硬度成分を目的に応じて所望の軟化率から顕著に高い軟化率まで自在に除去できることを見出し、本発明を完成するに至った。

40

【0008】

すなわち、本発明は、陽極室と陰極室の間に一価カチオン選択透過膜とカチオン交換膜を交互に配置してその間を通水室とし、一価カチオン選択透過膜の陰極側に位置する通水室を軟化室とし、一価カチオン選択透過膜の陽極側に位置する通水室を置換室とし、該軟

50

化室には、硬度成分を含む被処理水の導入経路と軟水排出経路を配し、該置換室には、一価カチオンを含む置換水の導入経路と硬度成分濃縮水排出経路を配し、該陽極室及び該陰極室にはそれぞれ水の導入経路と排出経路を配する電気軟化装置を提供するものである。

【 0 0 0 9 】

また、本発明は、前脱塩装置と、該前脱塩装置の後段に位置する前記電気軟化装置を配し、該前脱塩装置の処理水排出経路と該電気軟化装置の被処理水導入経路を接続し、該前脱塩装置の濃縮液排出経路と該電気軟化装置の置換水導入経路を接続してなる軟化装置を提供するものである。

【 0 0 1 0 】

また、本発明は、前記電気軟化装置と、該電気軟化装置の後段に位置する後脱塩装置を配し、該電気軟化装置の処理水排出経路と該後脱塩装置の被処理水導入経路を接続し、該後脱塩装置の濃縮液排出経路と該電気軟化装置の置換水導入経路を接続してなる軟化装置を提供するものである。

【 0 0 1 1 】

また、本発明は、陽極室と陰極室の間に一価カチオン選択透過膜とカチオン交換膜を交互に配置してその間を通水室とし、一価カチオン選択透過膜の陰極側に位置する通水室（軟化室）に硬度成分を含む被処理水を通水し、一価カチオン選択透過膜の陽極側に位置する通水室（置換室）に一価カチオンを含む置換水を通水し、陰極と陽極に直流電位を印加して被処理水中の硬度成分を置換水中の一価のカチオンと置換させる軟水製造方法を提供するものである。

【発明の効果】

【 0 0 1 2 】

本発明の電気軟化装置に通水、通電すれば、軟化室では被処理水中の一価カチオン及び二価カチオンがカチオン交換膜を透過して置換室に移動する。同時に置換室では置換水の主として一価カチオンが一価カチオン選択透過膜を透過して軟化室に移動する。このため、被処理水中の硬度成分を一価カチオンに置換して軟水を得ることができる。また、本発明の電気軟化装置においては、カチオンの輸送率はいずれの軟化室及び置換室においても同じであり、pHが低下することがないため、電流効率の低下現象を起こすことはない。また、被処理水中の除去したい硬度成分の当量以上の一価カチオンを含む置換水を通水すれば、置換室の一価カチオン選択透過膜の膜面にスケールが発生し難くなり、また、より多くの電流を流せるため、単位時間に移動させるイオン量が増え、軟化効率が向上する。また、電流電圧値や置換水中の一価カチオン量を調整することにより、硬水中の硬度成分を所望の軟化率から顕著に高い軟化率まで自在に除去できる。また、本発明の軟化装置によれば、前脱塩装置から得られる濃縮水には、一価のカチオンが濃縮されているため、置換水に一価カチオン塩を別途に添加する必要がなくなると共に、前脱塩された処理水を被処理水とするため、より低硬度の軟水を得ることができる。本発明の軟化装置は、特に原水の硬度及び塩濃度が高い場合に好適である。また、本発明の他の軟化装置によれば、後脱塩装置から得られる濃縮水には、一価のカチオンが濃縮されているため、置換水に一価カチオン塩を別途に添加する必要がなくなる。また、前段の電気軟化装置をより低い電流値で運転することができ、直流電源の容量を小さくすることができる。また、後段に逆浸透膜装置を使用した場合、膜面のスケール付着を抑制することができる。また、陽極出口水はカチオンが減少してpHが低下し、また陽極反応によって次亜塩素酸が発生し、酸化力や殺菌力を有するため、酸性機能水として利用することができる。また、陰極出口水は、カチオンが増加してpHが上昇し、陰極反応によって水素ガスが発生するため、還元力を有するアルカリ性機能水として利用することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 3 】

本発明の第1の実施の形態における電気軟化装置を図1を参照して説明する。図1は本例の電気軟化装置の模式図である。電気軟化装置10は、陽極7に隣接する陽極室6と陰極8に隣接する陰極室5の間に一価カチオン選択透過膜4とカチオン交換膜3を交互に配

10

20

30

40

50

置してその間を通水室とし、一価カチオン選択透過膜 4 の陰極 8 側に位置する通水室を軟化室 1 とし、一価カチオン選択透過膜 4 の陽極 7 側に位置する通水室を置換室 2 とし、軟化室 1 には、硬度成分を含む被処理水の導入配管 a と軟水排出配管 b を配し、置換室 2 には、一価カチオンを含む置換水の導入配管 c と硬度成分濃縮水排出配管 d を配し、陽極室 6 には硬度成分濃縮水排出配管 d と接続する陽極水導入配管 e と陽極水排水配管 f を配し、陰極室 5 には陽極水排水配管 f と接続する陰極水導入配管 g と陰極水排水配管 h を配する。なお、陽極室 6 に隣接するイオン交換膜は、本例のように、一価カチオン選択透過膜 4 とすることが、陽極室 6 を流れる水から硬度成分が電気軟化装置内に入ることを防止できる点で好ましい。

【 0 0 1 4 】

10

また、電気軟化装置 10 の置換水導入配管 c には、一価カチオン塩供給手段が接続されていてよい（不図示）。これにより置換水中の一価のカチオン濃度を任意の量に適宜調整することができる。一価カチオン塩供給手段としては、例えば一価カチオン塩貯留槽、一価カチオン塩供給ポンプ及び配管、弁類などから構成される装置が挙げられる。

【 0 0 1 5 】

一価カチオン選択透過膜 4 としては、特に制限されないが、ポリカチオンの薄層を膜面上に完全に固定したカチオン交換膜を使用することができる。膜表面に存在する陽電荷バリヤーであるポリカチオンと透過しようとするイオンとの間の静電的反発が、2 価のカチオンの方が一価のカチオンに比べて大きいため、2 価のカチオンの膜透過が妨げられる。このような一価カチオン選択透過膜は市販のものが使用できる。

20

【 0 0 1 6 】

次に、電気軟化装置 10 を用いて軟水を製造する方法を説明する。一価カチオン選択透過膜の陰極 8 側に位置する軟化室 1 に、被処理水の導入配管 a を通して硬度成分を含む被処理水を通水し、一価カチオン選択透過膜 4 の陽極 7 側に位置する置換室 2 に、置換水導入配管 c を通して一価カチオンを含む置換水を通水し、陰極 8 と陽極 7 に直流電位を印加する。

【 0 0 1 7 】

電気軟化装置 10 に通水、通電すると、軟化室 1 では被処理水中の一価のカチオン及び二価のカチオン（硬度成分）がカチオン交換膜 3 を透過して置換室 2 に移動する。同時に置換室 2 では置換水中の主として一価カチオンが一価カチオン選択透過膜 4 を透過して軟化室 1 に移動する。このように、軟化室 1 では被処理水中の二価のカチオンを一価のカチオンに逐次置換することで連続して軟水を得、置換室 2 では置換水中の一価のカチオンを二価のカチオンに逐次置換することで連続して硬度成分が濃縮された濃縮水を得ることができる。また、電気軟化装置 10 においては、カチオンの輸送率はいずれの軟化室 1 及び置換室 2 においても同じであり、pH が低下することがないため、電流効率の低下現象が生じることはない。

30

【 0 0 1 8 】

本発明の電気軟化装置において、軟化室 1 中の被処理水の流れ方向と置換室 2 の置換水の流れ方向は、特に制限されないが、図 1 に示すように、互いに向流とすることが好適である。軟化室 1 中の被処理水の流れ方向と置換室 2 の置換水の流れ方向を互いに向流とすれば、軟化室 1 に導入された被処理水中の硬度成分は、一価のカチオンより高電荷であり、移動し易く置換室 2 の排出側のカチオン交換膜 3 を透過するため、軟化室 1 から素早く系外へ排出される。これにより、置換室 2 側の一価カチオン選択透過膜 4 の膜面にスケールは発生し難くなる。

40

【 0 0 1 9 】

電気軟化装置 10 においては、置換室 2 から排出される置換室出口水を、陽極室 6 に通水し、さらに陽極室出口水を陰極室 5 に通水している。これにより、軟化室 1 からカチオン交換膜 3 を透過して置換室 2 に移動した一価カチオンを陽極室 6 に戻し、再度置換に利用できるとともに、陽極室 6 においてカチオンが移動、減少して pH が低下した陽極出口水を陰極室 5 に通水することで、陰極室 5 における硬度スケール析出のリスク

50

を低減することができる。このような電極水の通水方法は、特に硬度成分の多い被処理水を処理する際に好適である。なお、本例では置換室出口水の全部を陽極室 6 に通水しているが、これに限定されず、置換室出口水の一部を陽極室 6 に通水するものであってもよく、また、陽極室 6 及び陰極室 5 の電極水をそれぞれ別途に通水させてもよい。

【 0 0 2 0 】

電気軟化装置 1 0 において、陰極水排出配管 h から排出される陰極出口水は、カチオンが増加して p H が上昇し、陰極反応によって水素ガスが発生するため、還元力を有するアルカリ性機能水として利用することができる。

【 0 0 2 1 】

本発明において、被処理水は硬水であり、具体的には、水道水、井戸水等が挙げられる。当該被処理水には通常、カルシウムイオンやマグネシウムイオン等の 2 価のカチオンの他、ナトリウムイオン、カリウムイオン、塩化物イオン、硫酸イオン等の強電解質、炭酸イオン、シリカ等の弱電解質等の不純物が含まれていてもよい。また、硬度が高い水を処理する場合、電気軟化装置 1 0 の前段に前脱塩装置を設置し（図 3 参照）、該前脱塩装置から流出する処理水を被処理水とすることができる。これにより、より低硬度の処理水を得ることができる。

【 0 0 2 2 】

本発明の一価のカチオンを含む置換水（以下、単に「置換水」とも言う。）において、置換水中の一価のカチオン量は、除去したい硬度成分の当量以上の量であることが好ましい。置換水中、一価のカチオン量が除去したい硬度成分の当量未満の場合、一時的に軟水は得られるものの、硬度成分の除去が不十分となり、置換室 2 の一価カチオン選択透過膜 4 の膜面にスケールが発生し易くなる。一価カチオン量が多いと、より多くの電流を流させるため、単位時間に移動させるイオン量が増え、軟化効率が向上する。

【 0 0 2 3 】

置換水は、2 価のカチオンを含んでいてもよい。置換水的具体例としては、被処理水、被処理水に一価カチオン塩を添加して調製した水等が挙げられる。被処理水中の一価のカチオン量が、除去したい硬度成分の当量未満の場合、一価のカチオン塩を別途添加して使用することが、硬度成分の除去率が向上する点で好ましい。被処理水に添加される一価カチオン塩は、通常食塩である。一価のカチオン当量が二価のカチオン当量より少ない場合、例えば被処理水流量に対して、置換水流量を多量に流せばよいが、水の利用率が下がるため好ましくない。

【 0 0 2 4 】

また、硬度が高い水を処理する場合、電気軟化装置 1 0 の前段に前脱塩装置を設置し（図 3 参照）、該前脱塩装置から排出する濃縮水を置換水とすることもできる。該前脱塩装置から排出する濃縮水には、一価のカチオンも濃縮されており、別途、一価カチオン塩を添加することなく使用することができ且つ軟化効率も上がる点で好適である。また、硬度が高い水を処理する場合、電気軟化装置 1 0 の後段に後脱塩装置を設置し（図 4 参照）、該後脱塩装置から排出する濃縮水を置換水とすることもできる。該後脱塩装置から排出する濃縮水には、一価のカチオンが濃縮されており、別途、一価カチオン塩を添加することなく使用することができ且つ軟化効率も上がる点で好適である。なお、前脱塩装置及び後脱塩装置は、共に濃縮水中に排除イオンを濃縮するタイプの公知の装置であって、例えば電気透析装置、電気式脱イオン水製造装置及び逆浸透膜装置が挙げられる。

【 0 0 2 5 】

本発明において、電気軟化装置の軟化室、置換室、陽極室および陰極室の中、少なくとも軟化室に、好ましくは軟化室と置換室に、更に好ましくは全てに、カチオン交換体を充填することができる。軟化室 1 にカチオン交換体を充填することで、イオン交換選択性が高い二価カチオンをより選択的に置換室 2 へ排除することができる。またカチオン交換体自体導電性を有するため、軟化室、置換室、陰極室又は陽極室への充填によって装置スタックの通電抵抗値を下げ、電力消費量を低減することもできる。本発明において、カチオン交換体としては、特に制限されず、カチオン交換樹脂、カチオン交換繊維及び有機多孔

10

20

30

40

50

質カチオン交換体などが挙げられる。

【0026】

本発明の軟水製造方法において、硬度スケールが生成しない運転条件としては、 $R = 1$ を満たすように運転することが好ましい。 R は $(\text{電流値 (A)} \times 3600 \text{ 秒} / 96500 \text{ クーロン}) / ((\text{置換水の一価のカチオン濃度 (mg CaCO}_3 / \text{l)}) \times \text{置換水流量 (l/h)}) / \text{置換室数})$ を示す。 R が1を超える場合、すなわち、一価カチオンを越える電流を流すと、一価カチオンが足らなくなり水は H^+ と OH^- に乖離する。この場合、 H^+ は一価カチオン選択透過膜を透過するものの、 OH^- が残るため、 pH が高くなり置換室の陰極側の膜面にスケールができ易くなる。実用的な R 値は $0.7 \sim 0.9$ である。 R が 0.7 未満であると軟化能力が低くなるため、硬度成分除去率を高めたい場合には能率が悪くなる。

10

【0027】

本発明の軟水製造方法において、硬度成分除去率の低い軟水を得る方法としては、少ない電流を流す方法、一価カチオンの濃度が薄い置換水を流す方法が挙げられる。硬度成分除去率の低い軟水は、逆浸透膜装置や電気式脱イオン水製造装置などの脱塩装置の被処理水としての用途がある他、置換水に添加する一価カチオン塩の添加量を削減でき、また、省電力運転を行うことができる。一方、硬度成分除去率の高い軟水を得る方法としては、被処理水中の除去したい硬度成分の当量以上の一価カチオンを含む置換水を通水する方法、当該当量以上の一価カチオンを含む置換水を通水する方法に加えて、更に R 値が $0.7 \sim 1.0$ の範囲となるような電流値を流す方法が挙げられる。本発明の軟水製造方法においては、 R 値が $0.7 \sim 1.0$ の範囲となるような電流値とし、且つ被処理水中の除去したい硬度成分の当量以上の一価カチオンを含む置換水を通水する方法が、 90% 以上、特に 95% 以上の高い硬度成分除去率が得られる点で好適である。

20

【0028】

次に、本発明の第2の実施の形態における電気軟化装置を図2を参照して説明する。図2は本例の電気軟化装置の模式図である。図2において、図1と同一構成要素には同一符号を付して、その説明を省略し異なる点について主に説明する。すなわち、図2の電気軟化装置10aにおいて、図1の電気軟化装置10と異なる点は、電極水経路である。電気軟化装置10aにおいて、置換室2には、一価カチオンを含む置換水の導入配管cと硬度成分濃縮水排出配管dを配し、陰極室5には硬度成分濃縮水排出配管dと接続する陰極水導入配管gと陰極水排水配管hを配し、陽極室6には陰極水排水配管hと接続する陽極水導入配管eと陽極水排水配管fを配する。

30

【0029】

電気軟化装置10aによれば、電気軟化装置10と同様の効果を奏する他、軟化室1からカチオン交換膜3を透過して移動した一価のカチオンをカチオン移動の最上流の陽極室6に戻し、再度置換に利用することができる。その結果、系内の一価カチオン濃度を高く維持できるため、置換水に添加する一価カチオン塩を節約でき且つ軟化効率を高めることができる。また、電気軟化装置10aにおいて、陽極出口水はカチオンが減少して pH が低下し、また陽極反応によって次亜塩素酸が発生し、酸化力や殺菌力を有するため、酸性機能水として利用することができる。

40

【0030】

次に、本発明の第1の実施の形態における軟化装置を図3を参照して説明する。図3は本例の軟化装置の模式図である。図3中、軟化装置20は、前脱塩装置21と、前脱塩装置21の後段に位置する前記の電気軟化装置10を配し、前脱塩装置21の処理水排出配管kと電気軟化装置10の被処理水導入配管aを接続し、前脱塩装置21の濃縮液排出配管jと電気軟化装置10の置換水導入配管cを接続してなる。なお、図3の軟化装置20において、電気軟化装置10は、電気軟化装置10aであってもよい。前脱塩装置21は、濃縮水中に排除イオンを濃縮するタイプの公知の装置であって、例えば電気透析装置、電気式脱イオン水製造装置及び逆浸透膜装置が挙げられる。軟化装置20において、前脱塩装置21は、原水の硬度成分及び一価のカチオンなどの不純物成分を粗取りし、次い

50

で電気軟化装置 10 で更に残りの硬度成分を除去するものであるため、前脱塩装置の脱塩は温和な条件で行われる。このため、例えば逆浸透膜装置を用いた場合、膜面上のスケール発生を抑制することができる。軟化装置 20 は、特に原水の硬度及び塩濃度が高い場合に好適である。

【0031】

本例の軟化装置 20 を用いて軟水を製造する方法は、前記電気軟化装置 10 において、被処理水として前脱塩装置 21 の処理水を用い、置換水として前脱塩装置 21 の濃縮水を用いた場合と同じであるので説明を省略する。

【0032】

次に、本発明の第 2 の実施の形態における軟化装置を図 4 を参照して説明する。図 4 は本例の軟化装置の模式図である。図 4 の軟化装置 20 a において、図 3 の軟化装置 20 と同一構成要素には同一符号を付して、その説明を省略し、異なる点について主に説明する。図 4 中、軟化装置 20 a は、電気軟化装置 10 と、電気軟化装置 10 の後段に位置する後脱塩装置 22 を配し、電気軟化装置 10 の処理水排出配管 b と後脱塩装置 22 の被処理水導入配管 i を接続し、後脱塩装置 22 の濃縮液排出配管 j と電気軟化装置の置換水導入配管 c を接続してなる。なお、図 4 の軟化装置 20 a において、電気軟化装置 10 は、電気軟化装置 10 a であってもよい。後脱塩装置 22 は、濃縮水中に排除イオンを濃縮するタイプの公知の装置であって、例えば電気透析装置、電気式脱イオン水製造装置及び逆浸透膜装置が挙げられる。軟化装置 20 a において、電気軟化装置 10 は、硬度成分除去率が低い運転を行い、原水の硬度成分を粗取りし、次いで後脱塩装置 22 で更に残りの硬度成分とその他の不純物性イオンを除去すればよい。前段の電気軟化装置 10 において、硬度成分除去率が低い運転を行えるため、置換水に添加する一価カチオン塩の使用量を低減することができるか、あるいはより低い電流値で運転ができ、直流電源の容量を小さくすることができる。また、後段の脱塩装置 22 として、例えば逆浸透膜装置を用いた場合、被処理水中の硬度成分濃度が低減されているため、膜面上のスケール発生を抑制することができる。軟化装置 20 は、特に原水の硬度及び塩濃度が高い場合に好適である。

【0033】

次に、実施例を挙げて本発明を更に具体的に説明するが、これは単に例示であって本発明を制限するものではない。

【実施例 1】

【0034】

被処理水を図 1 に示す電気軟化装置に表 1 の運転条件下、連続して 500 時間運転し、処理水を得た。連続 500 時間の運転後、処理水の分析をすると共に、装置を停止し、分解して装置内部のスケールの発生状況を目視確認した。なお、被処理水は水道水を活性炭ろ過フィルタ（PF-CB、オルガノ社製）を通して電気軟化装置の軟化室に通水し、処理水サンプル及び運転データは運転開始 500 時間後に採取した。また、置換水は被処理水と同様に水道水を活性炭ろ過フィルタでろ過し、25%食塩水を定量ポンプを用いてアルカリ金属濃度が所定濃度となるよう添加した後、電気軟化装置の置換室に通水した。実施例 1 では、被処理水の硬度の濃度は $60.1 \text{ mg CaCO}_3 / \text{l}$ であり、置換水は当該硬度成分の当量以上の一価のカチオン濃度 $100 \text{ mg CaCO}_3 / \text{l}$ とした。また、R は 0.75 であった。その結果、処理水の硬度は $3.0 \text{ mg CaCO}_3 / \text{L}$ であり、硬度除去率は 95.0% であった。また、置換室の陰極側の膜面にもスケールは観察されなかった。

【実施例 2】

【0035】

通電電流値 0.2 A に代えて 0.1 A とし、平均印加電圧 16 V に代えて 9.7 V とした以外は、実施例 1 と同様に行った。この運転条件における R は 0.37 であった。すなわち、実施例 2 は通電電流値、平均印加電圧を変更して、低い軟化力に設定したものである。その結果を表 1 に示す。処理水の硬度は $29.6 \text{ mg CaCO}_3 / \text{L}$ であり、硬度成分除去率が 50.7% であった。また、置換室の陰極側の膜面にスケールは観察されな

った。

【実施例 3】

【0036】

置換水として、食塩添加調製水に代えて水道水（例 1）（被処理水）とし、通電電流値 0.2 A に代えて 0.06 A とし、平均印加電圧 16 V に代えて 12 V とした以外は、実施例 1 と同様に行った。この運転条件における R は 0.84 であった。すなわち、実施例 3 は置換水として、置換水中の一価カチオン濃度が被処理水中の硬度成分の当量を下回る水を使用したものである。その結果を表 1 に示す。処理水の硬度は $49.8 \text{ mg CaCO}_3 / \text{L}$ であり、硬度成分除去率が 17.2 % であった。また、置換室の陰極側の膜面にスケールは観察されなかった。

10

【実施例 4】

【0037】

被処理水として、水道水（例 1）に代えて水道水（例 2）とし、置換水として、食塩添加調製水に代えて被処理水の水道水（例 2）とし、通電電流値 0.2 A に代えて 0.12 A とし、平均印加電圧 16 V に代えて 22 V とした以外は、実施例 1 と同様に行った。この運転条件における R は 0.86 であった。すなわち、実施例 4 は置換水として、実施例 1～3 とは異なる被処理水である水道水を使用し、当該水道水中の一価カチオン濃度が同じ水道水中に含まれる硬度成分の当量を上回る水を使用したものである。その結果を表 1 に示す。処理水の硬度は $3.1 \text{ mg CaCO}_3 / \text{L}$ であり、硬度成分除去率が 92.5 % であった。また、置換室の陰極側の膜面にスケールは観察されなかった。

20

【実施例 5】

【0038】

軟化室及び置換室にカチオン交換体を充填せずに、経路材としてポリプロピレン製メッシュスパーサーを配置し、置換水を食塩添加調製水に代えて水道水（例 2）（被処理水）とし、通電電流値 0.2 A に代えて 0.03 A とし、平均印加電圧 16 V に代えて 34 V とし、連続運転時間 500 時間に代えて 300 時間とした以外は、実施例 1 と同様に行った。なお、軟化室及び置換室は厚みを各 1 mm としたため、室数を各 20 室として、実施例 1～4 と通水空間の容積を合わせた。この運転条件における R は 0.86 であった。すなわち、実施例 5 は軟化室及び置換室はカチオン交換樹脂無充填とし、被処理水である水道水を、当該水道水中の一価カチオン濃度が同じ水道水中に含まれる硬度成分の当量を上回る水を使用したものである。その結果を表 1 に示す。処理水の硬度は $5.0 \text{ mg CaCO}_3 / \text{L}$ であり、硬度成分除去率が 88.0 % であり、置換室の陰極側の膜面にスケールは観察されなかった。

30

【0039】

【 表 1 】

フロー構造			実施例1		実施例2		実施例3		実施例4		実施例5	
			水道水→電気軟化	水道水→電気軟化	水道水→電気軟化	水道水→電気軟化	水道水→電気軟化	水道水→電気軟化	水道水→電気軟化	水道水→電気軟化	水道水→電気軟化	水道水→電気軟化
運転条件	軟化室厚み	mm	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	軟化室の充填剤		カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂
	軟化室数		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	軟化室の充填材体積	L	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	置換室の厚み	mm	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	置換室の充填剤		カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂
	置換室数(置換室+陽極室)		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	置換室の充填材体積	L	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	カチオン交換膜		アストム製 CMX	アストム製 CMX	アストム製 CMX	アストム製 CMX	アストム製 CMX	アストム製 CMX	アストム製 CMX	アストム製 CMX	アストム製 CMX	アストム製 CMX
	一価選択性カチオン交換膜		アストム製 CMS	アストム製 CMS	アストム製 CMS	アストム製 CMS	アストム製 CMS	アストム製 CMS	アストム製 CMS	アストム製 CMS	アストム製 CMS	アストム製 CMS
水質条件	被処理水流量	L/h	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	置換水流量	L/h	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	通電電流値	A	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	平均印加電圧	V	16	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
	R値		0.75	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
	被処理水		水道水 例1	水道水 例1	水道水 例1	水道水 例1	水道水 例1	水道水 例1	水道水 例1	水道水 例1	水道水 例1	水道水 例1
	被処理水導電率	μ S/cm	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
	被処理水アルカリ金属濃度	mgCaCO ₃ /L	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8
	被処理水カルシウム濃度	mgCaCO ₃ /L	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7
	被処理水マグネシウム濃度	mgCaCO ₃ /L	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
結果	被処理水硬度	mgCaCO ₃ /L	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1
	置換水		水道水 例1 + NaCl	水道水 例1 + NaCl	水道水 例1 + NaCl	水道水 例1 + NaCl	水道水 例1 + NaCl	水道水 例1 + NaCl	水道水 例1 + NaCl	水道水 例1 + NaCl	水道水 例1 + NaCl	水道水 例1 + NaCl
	置換水導電率	μ S/cm	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395
	置換水アルカリ金属濃度	mgCaCO ₃ /L	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	置換水カルシウム濃度	mgCaCO ₃ /L	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7	48.7
	置換水マグネシウム濃度	mgCaCO ₃ /L	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
	置換水硬度	mgCaCO ₃ /L	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1
	処理水導電率	μ S/cm	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215
	処理水アルカリ金属濃度	mgCaCO ₃ /L	83.9	83.9	83.9	83.9	83.9	83.9	83.9	83.9	83.9	83.9
	処理水カルシウム濃度	mgCaCO ₃ /L	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
	処理水マグネシウム濃度	mgCaCO ₃ /L	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
スケール	処理水硬度	mgCaCO ₃ /L	3.0	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6
	硬度除去率		95.0%	50.7%	50.7%	50.7%	50.7%	50.7%	50.7%	50.7%	50.7%	50.7%
	スケール		なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし

【 0 0 4 0 】

【 実施例 6 】

【 0 0 4 1 】

被処理水を下記の軟化装置に表2の運転条件下、連続して500時間運転し、硬度のより少ない処理水を得た。連続500時間の運転後、処理水の分析をすると共に、装置を停止し、分解して装置内部のスケールの発生状況を目視確認した。実施例6では、被処理水

10

20

30

40

50

の硬度の濃度は $60.1 \text{ mg CaCO}_3 / \text{l}$ であり、置換水は当該硬度成分の当量以上の一価のカチオン濃度 $327 \text{ mg CaCO}_3 / \text{l}$ であった。また、 R は 0.82 であった。その結果、処理水の硬度は $0.017 \text{ mg CaCO}_3 / \text{l}$ であり、硬度除去率は 99.97% であった。また、置換室の陰極側の膜面にもスケールは観察されなかった。

【0042】

< 軟化装置 >

実施例1と同様の電気軟化装置の処理水（中間軟水）を中間軟水タンク、高圧ポンプを経て逆浸透膜（エレメント；「ES-20-D4」日東電工社製）に通水するように接続し、逆浸透膜濃縮水は濃縮水タンク、濃縮水ポンプを経て、電気軟化装置の置換室へ通水されるように接続した装置。

10

【0043】

なお、実施例6においては、電気軟化部と逆浸透膜部の最適流量が一致していなかったため、中間軟水及び逆浸透膜濃縮水を一旦、中間軟水タンク、濃縮水タンクに貯留してポンプで送水する方法をとったが、電気軟化部の中間軟水流量と逆浸透膜部の供給水流量を一致させることで、中間軟水タンク、濃縮水タンク、濃縮水ポンプを省略することができる。

【実施例7】

【0044】

被処理水を下記の軟化装置に表2の運転条件下、連続して500時間運転し、硬度のより少ない処理水を得た。連続500時間の運転後、処理水の分析をすると共に、装置を停止し、分解して装置内部のスケールの発生状況を目視確認した。実施例7では、前段電気式脱イオン水製造装置（以下、電気脱イオン装置又は電気脱イオン部とも言う）の処理水の硬度の濃度は $17.9 \text{ mg CaCO}_3 / \text{l}$ であり、置換水は当該硬度成分の当量以上の一価のカチオン濃度 $45.3 \text{ mg CaCO}_3 / \text{l}$ であった。また、 R は 0.82 であった。その結果、処理水の硬度は $0.36 \text{ mg CaCO}_3 / \text{l}$ であり、硬度除去率は 98.0% であった。また、置換室の陰極側の膜面にもスケールは観察されなかった。

20

【0045】

< 軟化装置 >

被処理水を電気脱イオン装置に通水して、その処理水を実施例1と同様の電気軟化装置の軟化室に通水し、該電気脱イオン装置の濃縮水を電気軟化装置の置換室に通水するように接続した装置。なお、電気脱イオン装置は、公知の電気脱イオン装置であって、カチオン交換膜とアニオン交換膜で区画される脱イオン室には混床イオン交換樹脂を充填し、アニオン交換膜とカチオン交換膜で区画される濃縮室にも、混床イオン交換樹脂を充填したものを使用した。

30

【0046】

実施例7の電気脱イオン部の通電電流値 0.2 A は、単位時間に流入する被処理水中のイオン負荷に対しておよそ 80% に相当し、この通電電流値では電気脱イオン部の脱イオン能力はイオン除去率で約 70% であった。表2から明かなように、この運転条件下では、硬度成分を多く含んだ被処理水を電気脱イオン部に通水、通電し脱イオン処理しても、スタック内部には硬度スケールは析出しなかった。

40

【0047】

【表 2】

フロー			実施例6	実施例7	
電気軟化部構造			電気軟化→RO	EDI→電気軟化	
		軟化室厚み	mm	4	4
		軟化室の充填剤		カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂
		軟化室数		5	5
		軟化室の充填材体積	L	5	5
		置換室の厚み	mm	4	4
		置換室の充填剤		カチオン交換樹脂	カチオン交換樹脂
		置換室数(置換室+陽極室)		5	5
		置換室の充填材体積	L	5	5
		カチオン交換膜		アストム製 CMX	アストム製 CMX
		一価選択性カチオン交換膜		アストム製 CMS	アストム製 CMS
運転条件	電気脱イオン部	被処理水流量		—	25
		濃縮水流量		—	25
		通電電流値		—	0.2
		平均印加電圧		—	25
	電気軟化部	被処理水流量	L/h	25	25
		置換水流量	L/h	6.25	25
		通電電流値	A	0.18	0.1
		平均印加電圧	V	22	20
		R値		0.82	0.82
	逆浸透膜部	逆浸透膜供給水流量	L/h	1600	—
		逆浸透膜透過水流量	L/h	300	—
		逆浸透膜濃縮水流量	L/h	1300	—
		うち循環流量	L/h	1225	—
		うち排水流量	L/h	75	—
		逆浸透膜供給水圧力	MPa	8.4	—
		逆浸透膜濃縮水圧力	MPa	8.2	—
		逆浸透膜透過水圧力	MPa	0.0	—
水質条件		被処理水		水道水 例1	水道水 例1
		被処理水導電率	μS/cm	210	210
		被処理水アルカリ金属濃度	mgCaCO3/L	26.8	26.8
		被処理水カルシウム濃度	mgCaCO3/L	48.7	48.7
		被処理水マグネシウム濃度	mgCaCO3/L	11.4	11.4
		被処理水硬度	mgCaCO3/L	60.1	60.1
		中間脱塩水		—	前段EDI脱塩水
		中間脱塩水導電率	μS/cm	—	64
		中間脱塩水アルカリ金属濃度	mgCaCO3/L	—	8
		中間脱塩水カルシウム濃度	mgCaCO3/L	—	14.7
		中間脱塩水マグネシウム濃度	mgCaCO3/L	—	3.2
		中間脱塩水硬度	mgCaCO3/L	—	17.9
		置換水		後段RO濃縮水	前段EDI濃縮水
		置換水導電率	μS/cm	814	355
		置換水アルカリ金属濃度	mgCaCO3/L	327	45.3
		置換水カルシウム濃度	mgCaCO3/L	7	82.5
		置換水マグネシウム濃度	mgCaCO3/L	3.3	19.5
		置換水硬度	mgCaCO3/L	10.3	102
		中間軟水導電率	μS/cm	205	—
		中間軟水アルカリ金属濃度	mgCaCO3/L	84.5	—
		中間軟水カルシウム濃度	mgCaCO3/L	1.85	—
		中間軟水マグネシウム濃度	mgCaCO3/L	0.55	—
		中間軟水硬度	mgCaCO3/L	2.40	—
結果		処理水導電率	μS/cm	5.1	66
		処理水アルカリ金属濃度	mgCaCO3/L	0.04	25.5
		処理水カルシウム濃度	mgCaCO3/L	0.005	0.28
		処理水マグネシウム濃度	mgCaCO3/L	0.001	0.08
		処理水硬度	mgCaCO3/L	0.017	0.36
		硬度除去率		99.97%	98.0%
		スケール		なし	なし

【 0 0 4 8 】

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 9 】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態における電気軟化装置の模式図である。

10

20

30

40

50

【図 2】本発明の第 2 の実施の形態における電気軟化装置の模式図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施の形態における軟化装置の模式図である。

【図 4】本発明の第 2 の実施の形態における軟化装置の模式図である。

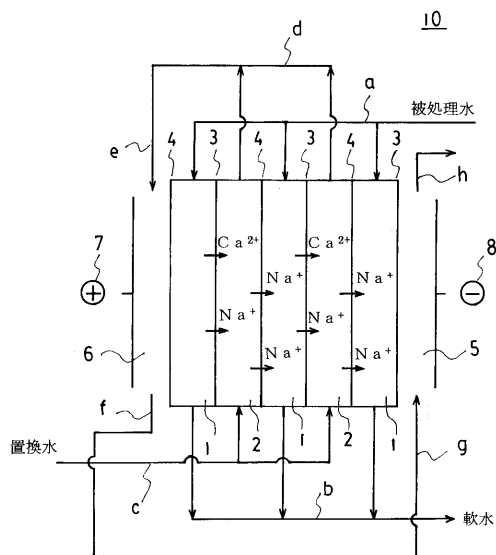
【符号の説明】

【 0 0 5 0 】

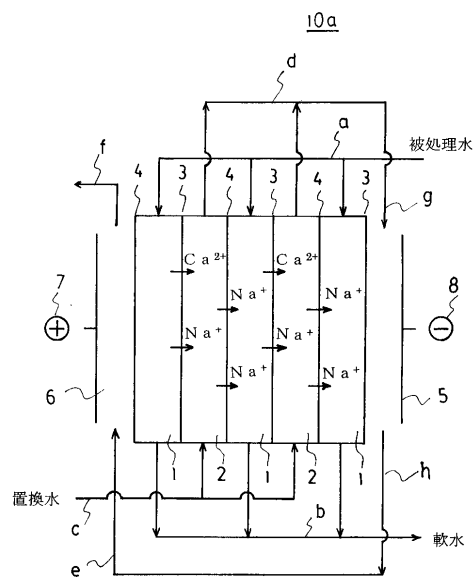
- 1 軟化室
- 2 置換室
- 3 カチオン交換膜
- 4 一価カチオン選択透過膜
- 5 陰極室
- 6 陽極室
- 7 陽極
- 8 陰極
- 10、10a 電気軟化装置
- a ~ k 配管
- 20、20a 軟化装置
- 21 前脱塩装置
- 22 後脱塩装置

10

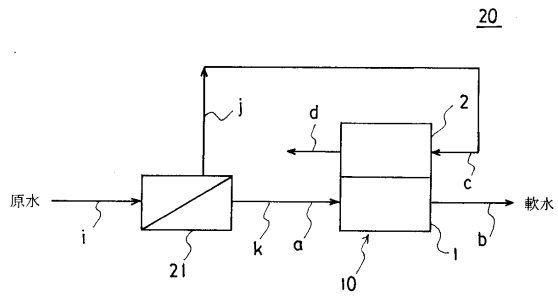
【図 1】



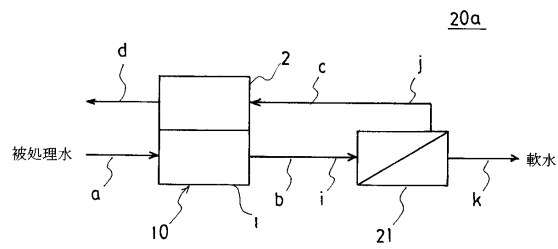
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2001-314866(JP,A)
特開2002-143854(JP,A)
特開2002-322564(JP,A)
特開昭55-81783(JP,A)
特開平6-198141(JP,A)
特開平7-213869(JP,A)
特開平6-254356(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C02F 1/46 - 1/48
B01D 61/00 - 71/82
C02F 1/44