

[調査報告]

最終処分場浸出液の脱塩処理技術の現状と課題

Present states and subjects for the desalination technology for leachate at final disposal site

相良 敏正*、三池 真一郎*

Toshimasa SAGARA, Shinichiro MIIKE

【要 約】浸出液処理設備において一般的に適用される脱塩方法には「電気透析法」、「逆浸透法」、「蒸発法」がある。プラントメーカーへ脱塩システムの計画例について確認した結果、電気透析法は塩素イオンのみを分離する構造のため、塩素イオン以外の物質を除去するための装置が別途必要になる。逆浸透法や蒸発法は有機汚濁物質等の同時除去も可能なため、脱塩の前処理に位置づけられる機器が電気透析法に比べて少なく済む傾向がある。コスト面では、脱塩方法によってイニシャルコストとランニングコストの相違が認められる。

キーワード：最終処分場、浸出液、脱塩処理

1. はじめに

近年の最終処分場は、環境負荷を低減し、住民の信頼と安心感を確保することを目的として、「漏水検知・修復技術」や「クローズドシステム」等、様々な新技術の開発・導入が積極的に試みられているところであるが、浸出液の高濃度塩類対策についても浸出液処理設備における緊急の課題として注目されている。

浸出液に高濃度の塩類が含まれる原因は、埋立物の大半を占める焼却残渣中の塩類が増加していることによるものと考えられている。また、焼却残渣中の塩類が増加している原因としては、焼却対象物中のプラスチック類（塩化ビニル等）の影響¹⁾や、排ガス処理設備の高度化に伴う塩化水素ガスの除去能力の向上²⁾等が挙げられている。

図-1は、F県のごみ焼却施設（30数施設）における塩化水素濃度（平均値）の経年変化をまとめたものであるが、排ガス処理後の塩化水素濃度は年々減少する傾向を示している。また、排ガス処理方式別に塩化水素濃度をまとめた図-2によれば、電気集じん器とバグフィルタでは塩化水素濃度に大きな差異がある。近年はダイオキシン類対策上、集じん

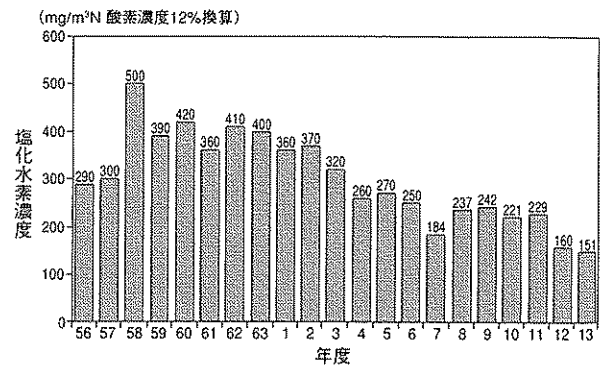


図-1 排ガス処理後の排ガス中塩化水素濃度の推移

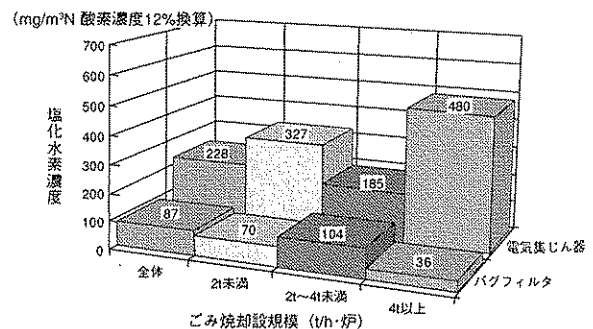


図-2 排ガス処理方式別・規模別排ガス中塩化水素濃度 (平成13年度測定実績)

* (財)日本環境衛生センター西日本支局環境工学部
Dept. of Environmental Engineering, West Branch,
JESC

装置としてバグフィルタを採用するケースが多くなっており、今後はさらに多量の塩類が埋立対象物となる集じん灰に移行することが予測される。

これらの焼却残渣が埋め立てられることに伴う、浸出液の塩類の高濃度化による弊害としては、放流水域を通じて農作物や生態系への影響を及ぼす恐れがあることや、ごみ焼却施設で浸出液を再利用する場合の機器腐食やスケール障害等が挙げられている。

このうち農作物の塩害に関し、塩類に対する感受性が高いとされる水稻はCl濃度が500mg/l程度から障害が出始めると報告されており、千葉県では水稻に対するかんがい水の塩分基準をClとして安全基準：300～500mg/l、警戒値：700mg/lとしているという。3) (表-1)

これらのことから、今後の浸出液処理には塩類除去について考慮しなければならない場合も多くなるものと予想される。

そこで、筆者らは浸出液の脱塩技術についてメーカーアンケート調査を行い、若干の知見を得たので、以下ではその概要を紹介する。

表-1 水稻の塩害と限界濃度³⁾

	Cl濃度	塩害の状況
田植直後	500～700mg/l	障害が出始める
	1000mg/l以上	障害が激しく発生
分けつ期頃	2000mg/l以上	枯死
出穂期以降	1000mg/l程度	障害は軽微
	2000mg/l以上	障害が激しく発生

なお、アンケート調査は、脱塩装置の建設実績があるか、実証段階を終了したメーカー8社に対して実施した。調査の内容は大きく分けて以下の2点である。

- ① 脱塩装置流入水の塩素イオン濃度を低濃度から高濃度までの3通りを設定し、各々適用可能な脱塩方法を確認する。
- ② 浸出液の水量や水質を設定し、その条件下における設備構成や維持管理費等を確認する。

2. 高濃度塩類除去技術の現状

2.1 脱塩技術

浸出液処理設備において一般的に適用されるのは、「電気透析法」、「逆浸透法」、「蒸発法」といわれている。⁴⁾

各方法の原理は図-3～図-5に示すとおりである。

1) 電気透析法

陽イオンと陰イオンを選択的に透過させるイオン

交換膜を交互に配置し、電流を流して脱塩水と濃縮水を得る方法。

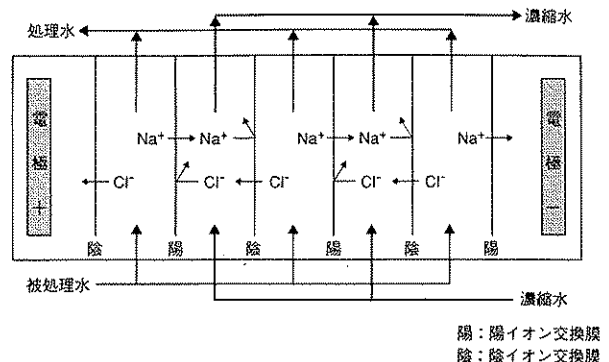


図-3 電気透析法の模式図

2) 逆浸透法

被処理水の浸透圧よりも高い圧力をかけて半透膜に供給することにより、塩素イオンと水分子を分離する方法。

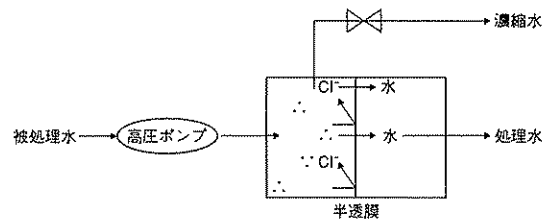


図-4 逆浸透法の模式図

3) 蒸発法

被処理水に熱エネルギーを与え、水分子を蒸発させ塩化物等を分離する方法。

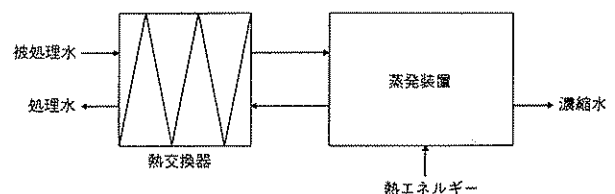


図-5 蒸発法の模式図

2.2 アンケート調査結果

2.2.1 塩素イオン濃度に応じた脱塩方法の適用性

脱塩装置に流入する被処理水の塩素イオン濃度が5,000mg/l、20,000mg/l、30,000mg/l (流入水量100m³/日)の3つのケースを想定し、各々最適と思われる脱塩方法について確認した。(表-2)

表-2 流入塩素イオン濃度に応じた脱塩方法

流入水の塩素イオン濃度	項目\脱塩方法	電気透析法	逆浸透法	蒸発法
5,000mg/l	採用メーカー数	4社	3社	1社
	処理水の塩素イオン濃度 ^{※1} mg/l	300以下	200以下	10以下
	回収率 ^{※2} %	85~95	70~80(99以上 ^{※3})	93
20,000mg/l	採用メーカー数	6社	1社	1社
	処理水の塩素イオン濃度 ^{※1} mg/l	500以下	100以下	10以下
	回収率 ^{※2} %	70~81.9	(99以上 ^{※2})	73
30,000mg/l	採用メーカー数	6社	1社	1社
	処理水の塩素イオン濃度 ^{※1} mg/l	500以下	100以下	10以下
	回収率 ^{※2} %	55~93.9	(99以上 ^{※2})	60

※1 アンケート回答結果の最大値を示す。

※2 回収率 = (得られた処理水の量 ÷ 装置に流入した浸出液の量) × 100とする。

※3 逆浸透法の回収率で () 内の数値は高圧型装置の数値である。

その結果、流入塩素イオン濃度が5,000mg/lの場合は、逆浸透法と電気透析法を採用するメーカーに分かれるが、20,000mg/l以上になると電気透析法を推奨するメーカーが多くなる。

これは塩素イオンが高濃度になるほど逆浸透圧が高くなり、動力費の増加や膜寿命の低下が生じるためと考えられる。なお、調査メーカーのうち1社は30,000mg/lの高濃度でも高圧型の膜構造を採用することにより、逆浸透法でも適用可能としている。

処理水の塩素イオン濃度は各方法とも500mg/l以下にまで低減可能であり、水稻被害が発生するとされるCl濃度以下に対応できる。

2. 2. 2 脱塩システムの計画例

浸出液量等の条件を表-3のように設定し、各プラントメーカーが推奨する脱塩システムや設備構成等について調査した結果をまとめる。

1) 採用する脱塩方法

採用する脱塩システムとしては、電気透析法：6社、逆浸透法：1社、蒸発法：1社であった。(表-4)

各システムを採用する理由の概要は以下のとおりである。

<電気透析法を推奨するメーカーの採用理由>

- ① 水質、水量変動に対する運転管理、維持管理が容易
- ② イオンのみが移動するので回収する濃縮水量が少ない
- ③ 塩素イオン濃度が高い場合でも、ろ過圧力を高くする必要が無いため、動力が小さくて済む

<逆浸透法を推奨するメーカーの採用理由>

- ① 高圧型の膜構造を採用しているので高い塩素イオン濃度に対応できる
- ② 前処理が簡易であるとともに、塩素イオン除去と同時に有機汚濁物質や重金属、ダイオキシン類の除去を安定して行える

<蒸発法を推奨するメーカーの採用理由>

- ① 水量、水質変動への対応が容易である
- ② 逆浸透法、電気透析法に比べ前処理が簡易である

表-3 浸出液量や水質等の設定条件

設定条件		
最終処分場埋立物	焼却残渣主体	
浸出液	水量	100m ³ /日
	塩素イオン濃度	5,000~30,000mg/lの間で変動
放流水	塩素イオン濃度	300mg/l以下
	塩素イオン濃度以外の項目は「排水基準値を定める総理令」の基準値以下	

表-4 脱塩方法

推奨する方法	メーカー数	理由
電気透析法	6社	・水質、水量変動に対する運転管理、維持管理が容易 ・イオンのみが移動するため回収する濃縮水量が少ない ・ろ過圧力が低いいため塩濃度が高い場合でも動力が少ない
逆浸透法	1社	・前処理が簡易 ・塩素イオン除去と同時に有機汚濁物質や重金属、ダイオキシン類の除去が可媒
蒸発法	1社	・水量、水質変動への対応が容易 ・逆浸透法、電気透析法に比べ前処理が簡易

2) 脱塩の前処理装置と流入水質

各メーカーが設定条件に基づいて設定した浸出液処理設備フローのうち、脱塩の前処理として位置づけている装置は表-5のとおりであり、脱塩装置に流入する段階で望ましいとしている水質は表-6のとおりである。

逆浸透法や蒸発法は有機汚濁物質等の同時除去が可能のため前処理に位置づけられる装置が少ないが、電気透析法は塩素イオンのみを除去するシステムであるので、塩素イオン以外の物質を事前に除去する前処理装置が多いものとなっている。

表-5 脱塩の前処理として位置づけられる装置

電気透析法	逆浸透法	蒸発法
アルカリ凝集沈殿処理 生物処理 凝集沈殿処理 砂ろ過処理又は精密ろ過膜処理 活性炭吸着処理 キレート吸着処理 など	生物処理 凝集沈殿処理 など	凝集沈殿処理 など

表-6 脱塩装置流入時の水質

項目	方式	電気透析法	逆浸透法	蒸発法
pH		6~8	5~7	6~8
TOC(炭水化物) mg/l		-	-	10~100
BOD mg/l		10	250以下	10~100
COD _{Mn} mg/l		10	100以下	10~150
COD _{Cr} mg/l		-	-	50~500
T-N mg/l		10	100以下	50~150
NOx-N mg/l		10	-	10未満
TDS(総溶解物質) mg/l	Cl ⁻ に対して18~2倍	10,000~20,000	10,000~20,000	5,000~50,000
T-Ca mg/l		100以下	1,000~3,000	100~3,000
Ca mg/l		-	400~1,200	10~100
Cl ⁻ mg/l		-	10,000以下	2,000~20,000
SS mg/l		5~10	-	-
Fe mg/l		0.2~0.5	-	-
Mn mg/l		0.1	-	-
その他重金属類 mg/l		0.1程度	-	-

3) コスト

脱塩に必要な前処理装置と脱塩装置本体に要するイニシャルコストとランニングコストを以下にまとめる。

(1) イニシャルコスト

前処理装置と脱塩装置本体に要するイニシャルコストは表-7のとおりである。

各メーカーとも脱塩装置本体については、1社を除いて35,000~50,000万円の範囲であり特に大きな差異はみられない。しかし、前処理装置については、各メーカーごとに必要とする装置の種類や数量が異なっているためコストに大きな差が生じている。このようにコストに大きな差が生じた原因としては、塩素イオン以外の物質を除去する装置も脱塩の前処理装置に含めているメーカーと、脱塩に必要な装置だけを挙げているメーカーがあったためと考えられる。本調査結果では十分な価格比較は行えなかったため、確度の高い値を得るには、さらに詳細な水質等の条件設定を行う必要がある。

また、本調査では、流入水の塩素イオンの設定範囲が5,000~30,000mg/lと高めであるため、装置の段数を増やしているメーカーが多いことが、全体的に価格が上昇する要因となっているものと考えられる。

(2) ランニングコスト

必要な前処理装置と脱塩装置本体に関するランニングコストは表-8のとおりである。

前処理装置のランニングコストはメーカー間で相違しているが、これはイニシャルコストの項で述べたように前処理装置の種類や数量の差によるものと考えられる。

脱塩方法別に見ると、逆浸透法の前処理装置が電気透析法に対してかなり安くなっている。これは、逆浸透法の前処理装置が逆浸透膜の閉塞防止を目的としたSS(浮遊物質)除去を行う凝集沈殿処理程

度であり、電気透析法よりも前処理が簡易になっているためである。

脱塩装置本体のコストについては、逆浸透法が電

気透析法よりも高くなっているが、これは、逆浸透法は高圧ポンプを用いるため、電気透析法に比べ所要動力（電力費）が大きいことによると考えられる。

表一七 前処理装置と脱塩装置のイニシャルコスト

項目 \ 方式	電気透析法						逆浸透法	蒸発法
	A社	B社	C社	D社	E社	F社		
前処理装置 (万円)	3,000	7,200	3,000	12,000	70,000	103,000	-	-
脱塩装置 (万円)	35,000	35,000	50,000	50,000	10,000~20,000	48,000	-	20,000

※装置単体のコストをまとめたものであり、設置に係る諸経費等は含まない。

表一八 前処理装置と脱塩装置のランニングコスト

項目 \ 方式	電気透析法						逆浸透法	蒸発法
	A社	B社	C社	D社	E社	F社		
前処理装置 (万円)	500	550	50	6,220	4,200	1,300	23	-
脱塩装置 (万円)	1,500	1,220	865	1,000	800~4,200	700	2,780	1,460

※ここに挙げられたランニングコストは電力費と薬品費が主であると考えられる。

4) 脱塩装置主要部の耐用

脱塩装置主要部の交換頻度及び交換に係る概算費用は表一九のとおりである。

一回あたりの交換費用に大きな差が生じているが、これは交換頻度がメーカーごとに異なっているためと思われたので、1年当たりの金額に換算して比較を行った。その結果、逆浸透法:1,400万円/年、電気透析法:800~2,200万円/年、蒸発法:1,000

~1,300万円/年となっており、メーカー間、脱塩方法間で明らかな差はみられなかった。

なお、これは主要部のみの費用を挙げたものであり、各脱塩方法とも、表に示した部品以外にも高濃度の濃縮水が接触する部品の腐食対策や、付属ポンプ類、自動弁設備、配管類などの交換などにも相当の費用が必要であると考えられる。

表一九 脱塩装置主要部の交換頻度及び費用

交換部品 \ 項目		頻度	費用 (万円/回)
電気透析法	イオン交換膜	1回/1~10年	800~14,000
	電極板	1回/4~8年	500~800
	室枠、パッキン等	1回/8年	1,300~2,500
	精密ろ過膜	1回/3~5年	500~600
逆浸透法	逆浸透膜	1回/4年	4,000程度
蒸発法	蒸気圧縮機本体	1回/3~5年	2,500程度
	蒸気圧縮機部品	1回/年	200程度
	配管~継手類	1回/年	200程度
ポンプ等機械部品		1回/1~5年	300~2,000

※1 費用には人件費及び交換工賃も含む

※2 範囲で示したものは、メーカーにより差異がある項目である。

2. 2. 3 除去した塩類の利用方法と課題

除去した塩類の処理・利用方法については表-10に示すように、現状は皮革加工会社における有効利用が1例あるものの、ほとんどが場内保管（袋詰め等）もしくは場外処分（産廃処分等）となっている。

今後は、工業塩や融雪剤としての有効利用が期待されているが、課題として以下の項目が挙げられている。

- ① 需給バランスの調整
- ② 純度の向上や精製工程によるコストの増加
- ③ 有価物として搬出するための法的手続き等

表-10 利用方法と課題

項目 \ 方式	電気透析法	逆浸透法	蒸発法
現状	・場内保管 ・場外処分	・場内保管 ・場外処分	・場内保管 ・場外処分
課題	・保管時の再溶出防止	・保管時の再溶出防止	・保管時の再溶出防止
将来の利用計画	・工業塩 （金属精錬業者、皮革加工業者） ・融雪剤 ・濃縮水からの酸・アルカリの回収	・工業塩 （金属精錬業者、皮革製造業者） ・融雪剤 ・濃縮水からの酸・アルカリの回収	・検討中
課題	・需要と供給のバランス ・純度が低い ・精製する必要があるため市販品と比べて割高になる ・処分場から有価物として搬出するための法的な手続きが必要	・需要と供給のバランス ・純度が低い ・精製する必要があるため市販品と比べて割高になる ・処分場から有価物として搬出するための法的な手続きが必要 ・有機物及び重金属などの不純物除去	—
備考	・皮革加工業者で皮のなめし及び原塩塩蔵用として実際に使用している例がある。	—	—

2. 2. 4 ダイオキシン類の除去

脱塩装置においてダイオキシン類を同時に除去する可能性については、逆浸透法と蒸発法はダイオキ

シン類の除去が可能としているが、電気透析法は別途ダイオキシン類除去装置が必要としている。（表-11）

表-11 脱塩装置におけるダイオキシン類の除去

電気透析法	逆浸透法	蒸発法
イオン分離のため、ダイオキシン類除去は不可能 別途ダイオキシン類除去装置が必要	ろ過であるため、SS性や溶解性のダイオキシン類除去が可能	脱塩水中のSS分が少ないためダイオキシン類の除去が可能

2. 3 脱塩装置を採用している最終処分場

メーカーアンケート調査時点（平成14年8月）に

おける、脱塩装置を設置している最終処分場の例を表-12に示す。

表-12 脱塩装置を設置している最終処分場の例

県名	新潟	新潟	群馬
所管	岩船地域広域事務組合	(財)新潟県環境保全事業団	大泉町外二町環境衛生施設組合
名称	一般廃棄物最終処分場	エコパークいずもごき	一般廃棄物最終処分場
住所	岩船郡朝日村大字荒沢地内	三島郡出雲崎町大字稲川 884	邑楽郡邑楽町大字狸塚 1731 番地 1
竣工年月日	平成 11 年 3 月	平成 14 年 6 月	平成 9 年 3 月
埋立面積	11,890m ²	98,000m ²	23,600m ²
埋立容積	82,500m ³	1,484,000m ³	150,000m ³
浸出液処理設備の規模	65m ³ /日 (脱塩装置の規模:10m ³ /日)	280m ³ /日 (脱塩装置の規模:150m ³ /日)	55m ³ /日
脱塩方法	逆浸透膜法	電気透析法	電気透析法
メーカー	株式会社 荏原製作所	株式会社 クボタ	共和化工 株式会社

県名	群馬	広島	長崎
所管	高崎市ほか4町村衛生施設組合	尾道市	佐世保市
名称	エコパーク榛名 (一般廃棄物最終処分場)	一般廃棄物最終処分場	佐世保市一般廃棄物最終処分場
住所	群馬郡榛名町大字上室田 1850 番地	尾道市原田町地内	佐世保市下本山町 29-4 (浸出水処理施設の所在地) ※最終処分場(埋立地)は 佐世保市下本山町 2-7 外
竣工年月日	平成 13 年 4 月	平成 14 年 10 月予定	平成 14 年 10 月予定
埋立面積	24,400m ²	23,000m ²	24,000m ²
埋立容積	203,200m ³	194,000m ³	230,000m ³
浸出液処理設備の規模	120m ³ /日	70m ³ /日	200m ³ /日 (施設稼働当初は浸出水の塩素イオン濃度に応じて1ヶ月に8日間程度の運転を予定している)
脱塩方法	電気透析法	電気透析法	逆浸透膜法
メーカー	共和化工 株式会社	アタカ工業 株式会社	月島機械 株式会社

県名	熊本	鹿児島
所管	有明広域行政事務組合	徳之島愛ランド広域連合
名称	東部最終処分場	一般廃棄物最終処分場
住所	玉名郡玉東町大字木葉 386	大島郡伊仙町目手久地内
竣工年月日	平成 12 年 3 月	平成 15 年 3 月予定
埋立面積	7,100m ²	5,560m ²
埋立容積	79,500m ³	29,600m ³
浸出液処理設備の規模	40m ³ /日 (脱塩装置の規模:40m ³ /日)	30m ³ /日
脱塩方法	電気透析法	電気透析法
メーカー	株式会社 クボタ	共和化工 株式会社

※脱塩装置を設置している最終処分場の全てを挙げたものではない。

3. まとめ

参考文献

以上の結果を基に、脱塩方法ごとの特徴と課題を表-13にまとめた。

各方式とも、脱塩装置によって得られる最終処分場浸出液の塩素イオン濃度は500mg/l以下にまで低減可能であり、水稻被害が発生するとされる濃度以下に対応できるレベルとなっているが、脱塩装置によって除去される塩類の処理や有効利用ルートの確立が課題である。一部のメーカーでは実際に除去した塩類の有効利用を行っているところもあるが、利用先が限定されている状況であり、今後は有効利用方法の拡大に向けた研究開発が待たれるところである。

- 1) 松藤敏彦：データから見た高塩類問題の原因と将来 埋立地における高塩類問題と技術的対応 廃棄物処理部会報告書（平成5年度～平成7年度）平成8年10月 pp.9～15
- 2) 安田憲二：排ガス処理技術の現状と高塩類問題 埋立地における高塩類問題と技術的対応 廃棄物処理部会報告書（平成5年度～平成7年度）平成8年10月 pp.41～43
- 3) 松丸恒夫, 古川雅文：作物の塩化ナトリウム過剰障害と塩分限界濃度 農業および園芸 第70巻第4号（1995） pp.41～45
- 4) 三角文彦：最終処分場浸出水中の塩分除去 環境技術 Vol.31 No.8（2002） pp.37～42

表-13 脱塩方法ごとの特徴と課題

項目/方式	電気透析法	逆浸透法	蒸発法
利点	<ul style="list-style-type: none"> ・回収率が比較的高い ・原水の水質変動や流入水の濃度変動に対応できる ・イオン化物質のみを除去するため汚濁物質の濃縮が少ない ・運転管理が比較的容易である ・流入水の濃度変動に対応できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・脱塩処理水の水質がよい ・前処理が比較的簡素化できる ・装置自体の構造が比較的単純である ・塩素イオン以外の汚濁物質についても除去が見込める 	<ul style="list-style-type: none"> ・脱塩処理水の水質がよい ・回収率が高い ・原水の水質変動に対応できる
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・前処理設備が比較的複雑になる 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般的な装置では回収率がやや低い ・ろ過に伴う高圧対策が必要である ・汚濁物質が回収塩に濃縮される 	<ul style="list-style-type: none"> ・装置が大型になる ・機器の腐食対策が難しい ・エネルギー使用量が多い