

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第2043号

土 木 研 究 所 資 料

下水中の無機塩類の現状と電気透析法
による除去実験報告書

昭和59年 3 月

建設省土木研究所
下水道部三次処理研究室

序

近い将来に懸念される水資源の不足に対処するための有効な手段として、下水処理水の直接的な再利用は不可欠のものである。下水処理水の直接的再利用の用途は、冷却水等の工業用水、家庭用各種雑用水への利用のほかかんがい用水を主体とした農業としても広範囲にわたっており、これらの用途毎の要求水質、給水方法等については、現在多くの面から検討が行われている段階にある。

下水処理水の再利用を行っていくうえで水質面から特に問題となるのは、処理水中に残存する可能性のある重金属類、有機塩素化合物等の微量有害物質の他に、下水の循環に伴って蓄積する無機塩類、大腸菌群その他の病原性細菌であり、ことに無機塩類は循環型の利用を行う都市用水について十分な検討が必要である。

これらの微量物質を除去するためには、従来の有機物、栄養塩類の除去を目的としたいわゆる三次処理の適用だけでは不十分であり、用途に応じたきめ細かな処理技術の適用が必要となっている。

三次処理研究室では、昭和48年度より、試験研究費により、「下水の超高度処理に関する研究」を行ってきたが、その中で、下水中の無機塩類除去の立場から、逆浸透法および電気透析法に関する検討、また、病原性細菌の問題把握の立場から大腸菌群の消長についての検討を実施してきた。

本報告書は、これらの研究の中から、下水処理水中の無機塩類の現状、無機塩類の除去技術、及び電気透析法による無機塩類除去実験結果をとりまとめたものであり、この分野の調査、研究に有効な資料となれば幸いである。

なお、本報告書は、初山孝一（前三次処理研究室 現汚泥研究室）がとりまとめた。

昭和59年 3 月

建設省土木研究所 下水道部
三次処理研究室長 野 池 達 也

目 次

1. 下水処理水再利用の現状と研究目的	1
2. 再利用時における無機塩類の影響と水質基準	4
2.1 生活用水	4
2.2 工業用水	4
2.3 農業用水	6
3. 下水処理水中の無機塩類の現状	9
3.1 測定上の問題点	9
3.2 無機塩類の流入源	12
3.3 下水処理場での無機塩類の動向	14
3.4 下水処理水の無機塩類濃度の現状	14
4. 無機塩類の除去技術	28
4.1 逆浸透法	28
4.2 電気透析法	29
4.3 蒸留法	32
4.4 イオン交換法	34
4.5 その他の方法	35
5. 電気透析法による下水処理水中の無機塩類除去実験	37
5.1 食塩水および合成処理水による基礎実験	37
5.2 下水処理水での連続実験	60
6. ま と め	108

1. 下水処理水再利用の現状と研究目的

近い将来に懸念される水資源の不足に対処するための手段として、下水処理水も有力な水資源であるという認識が一般化しつつある。公共用水域に放流される下水処理水の量は昭和57年度末現在、全国約590ヶ所、年間約67億 m^3 であるが¹⁾、今後の下水道普及率向上によりかなりの量の増大が見込まれている。

下水処理水の再利用は、処理場内では古くから行われており、消泡水、冷却水、洗浄水等の処理工程水および場内清掃水、水洗便所用水、融雪水等の雑用水として利用されている。また、表-1・1¹⁾に示すように43の処理場においては、処理水は場外に送水され、工業用水、修景用水、農業用水に再利用されており、その水量は約0.6億 m^3 /年となっている¹⁾。

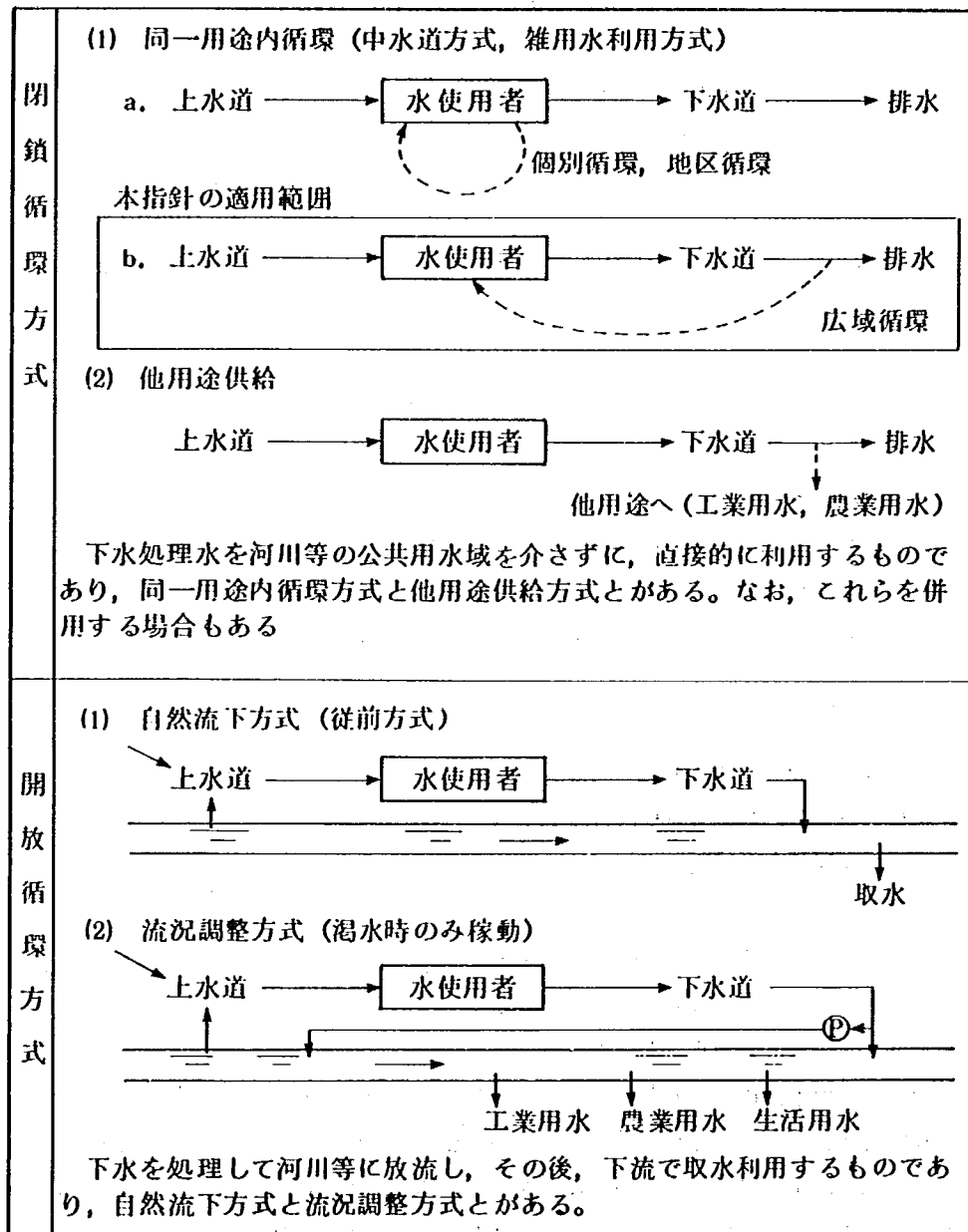
下水処理水の再利用の形態としては、表-1・2¹⁾に示すように、処理した下水を直接的に利用する方法（閉鎖循環方法）と、河川、湖沼等に放流しその下流側で取水することで間接的に利用する方法（開放循環方式）とがある。間接再利用は従来からある利用方法であり、自然の浄化作用も期待でき、水循環を考える上で望ましい利用方法といえるが、地域の特性によっては（特に水需給のひっ迫している地域では）直接再利用が有効となる場合が多いと考えられる。

下水処理水の直接再利用の用途は、冷却水その他の工業用水、家庭用各種雑用水等の都市用水、また灌漑用水を主体とした農業用水としての利用など、広範囲にわたっている。下水処理水の再利用を行うにあたり、水質面で問題となるものとして、有機物や栄養塩類のほか、処理水中に残存する可能性のある重金属類、有機塩素化合物等微量有害物質、大腸菌群その他病原性微生物、無機塩類などがあげられている。本研究ではこのうち無機塩類に着目し、下水処理水の直接再利用にあたっての規制、現状を把握し、その除去手法である超高度処理法の開発を主目的にしている。

表-1・1 下水処理水の処理場外再利用の現況

都 市 名	処 理 場 名	再利用水量 (m ³ /日)	利 用 先	用 途
函 館 市	南 部	2,200	し尿処理場	し尿希釈水
		700	ゴミ焼却場	清掃水
北 見 市	北 見	10	北見砂利工業㈱	砂利洗浄水
郡 山 市	郡山市終末処理場	1,951	し尿処理場	し尿希釈水
日 立 市	池 の 川	50	池の川運動公園	水洗便所、散水
足 利 市	足利市第1	15,000	七ヶ村用水組合	農業用水
佐 野 市	佐野市水質浄化センター	-	赤城土地改良区	農業用水(配水時のみ)
高 崎 市	城 南	2,000	し尿処理場	し尿希釈水
船 橋 市	西 浦	4,924	し尿処理場	し尿希釈水
立 川 市	錦 町	312	根川公園	修景用水
恵 那 市	恵那市浄化センター	1,000	し尿処理場	し尿希釈水
多 治 見 市	池 田	36	し尿処理場	し尿希釈水
蒲 郡 市	蒲郡市下水道浄化センター	40	港共立陸運㈱	散水用水
武 生 市	家久浄化センター	1,000	し尿処理場	し尿希釈水
泉 大 津 市	汐 見	3,500	し尿処理場	し尿希釈水
姫 路 市	中 部	690	姫路港骨材共同組合	海砂の洗浄用水
芦 屋 市	芦 屋	140	清掃工場	ガス冷却水
		450	都市公園	植樹帯散水
倉 敷 市	水 島	2,000	し尿処理場	し尿希釈水
呉 市	広	3,600	し尿処理場	し尿希釈水
宇 部 市	東 部	82	清掃工場	冷却水
九 龍 市	九龍市浄化センター	0.3	清掃業者	首架清掃用水
松 山 市	中 央	4,579	土地改良区及び水利組合	水稻の補給水(6月中旬~10月中旬)
今 治 市	塔 ケ 谷	38	湯之浦ビーチハイツ庭園	修景・散水用水
飯 塚 市	飯 塚	400	し尿処理場	消泡水、冷却水
		130	清掃センター	洗車用水
熊 本 市	蓮 台 寺	19,800	土地改良区水利組合	水稻の補給水(年間約80日間)
大 分 市	弁 天	1,000	砂利共同組合	海砂の洗浄用水
都 城 市	中央終末処理場	2,200	し尿処理場	し尿希釈水
名 護 市	名 護	20	公 園	樹木への散水(7月~11月)
中 国 道 中 部 流 域 下 水 道 東京都区部	伊 佐 浜	1,500	し尿処理場	し尿希釈水
	芝 浦	230	食 肉 市 場	冷 却 水
		500	新幹線運転所	洗 淨 水
	三 河 島	60,400	淨 水 場	工業用水原水
	砂 町	1,500	し尿処理施設	希 釈 水 等
	森 ケ 崎	670	清掃工場	洗 淨 水
川 崎 市	入 江 崎	952	し尿処理場	希 釈 水
名 古 屋 市	名 城	24	清掃業者	下水管内処理用水
	堀 留	15	清掃業者	下水管内処理用水
	千 年	12,000	名古屋市水道局	工業用水原水
京 都 市	鳥 羽	1,465	農業協同組合	灌 がい 用 水
大 阪 市	中 浜	2,000	大阪市公園局	大阪城公園外濠用
	平 野	20,000	今川せせらぎ公園	修 景 用 水
北 九 州 市	日 明	5,000	清掃工場	洗浄・洗煙水、希釈水
	皇 后 崎	3,651	化 学 工 場	冷 却 水
		23	化 学 工 場	冷 却 水
		1,440	清掃工場	洗浄・洗煙水
	中 部	200	市庁舎他	水洗便所用水他
	東 部	600	清掃工場	焼却灰の調湿
		1,500	水産加工公社	脱 臭 用 水

表-1・2 下水処理水の循環利用の形態¹⁾



2. 再利用時における無機塩類の影響と水質基準

無機塩類は自然水中にも多かれ少なかれ含まれており、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等の陽イオン、および Cl^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 等の陰イオンの形で溶解している。このため下水処理水中にも当然含まれており、シアニド(CN^-)や重金属イオン等の微量有害物を除いた一般的な無機塩類のみならば公共用水域に放流しても通常、問題となることはない。しかし、水の利用に際しては水中に含まれる無機塩類の種類および量によって不都合が生じることがあり、一般に含有量が多いほど水の利用価値は低下する。再利用時における無機塩類の影響としては次のようなものがある。

- 1) 多量の無機塩類を含む水と接触することによる金属材料の腐食
- 2) カルシウム塩、マグネシウム塩等、溶解度の低い塩類の析出によるスケールの発生
- 3) 臭気の発生(例えば、 SO_4^{2-} の還元による硫化水素(H_2S)の発生など)
- 4) 灌漑用水を主体とした農業利用時での塩害の発生

直接再利用における目標水質についてはその使用目的ごとに多くの調査研究が行われてきているが、現在までに統一した目標水質は確立されておらず、目標値の提案が行われている段階である。無機塩類についても同様である。以下に用途別の目標値等を述べる。

2.1 生活用水

家庭用雑用水の用途としては表-2・1²⁾に示す項目があげられるが、現段階で検討されている用途は人間に直接接触しない水洗便所、散水、修景用水等に限られているようである。この用途に対する水質目標値についての各機関の提案値を表-2・2³⁾に示す。無機塩類に関する多くの提案値は上水基準に較べてややゆるいものとなっている。

表-2・1 家庭用雑用水の用途²⁾

用 途	再利用率	累 計
便所、散水、修景用等	20%	20%
洗車清掃洗濯等	28%	48%
風呂手洗等	32%	80%

上述の用途は使用者側にとっても比較的受け入れ易いものであるが、再利用により節約できる水量は20%程度とされている。したがって人間との接触の可能性が高い洗車清掃、洗濯用水、および直接接触する風呂、手洗用水等にその用途を拡大させることが今後の課題とされており、これに対応した基準の作成が急がれている。この段階では無機塩類は上水基準並の水質が要求される可能性が高い。

2.2 工業用水

下水処理水の工業用水化については、昭和40年に東京都江東地区工業用水道が東京都三河島処理場放流水を沈殿、ろ過、塩素消毒などを行って各工場に供給したのが我が国最初の例で、以来、冷却用水を主な用途として使用されてきた。工業用水は下水処理水の再利用の拡大を計る上で有望な用途であるが、工業用水を使用する業種、使用工程は多岐にわたっており、要求水質についても統

表-2・2 各用途別水質目標値（生活用水）の例³⁾

	水洗便所用水						修景用水						散水用水						上水基準
	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥	
濁度	30以下	30以下	-	30以下	20以下	30以下	5以下	5以下	-	5以下	20以下	5以下	15以下	5以下	10以下	5以下	10以下	15以下	2以下
色度	30	④	-	④	30	50	10	30	-	15	30	10	30	50	15	30	30	30	5以下
臭気	④	⑤	同左	同左	同左	同左	④	⑤	-	⑤	同左	同左	④	⑤	同左	同左	同左	同左	異常でないこと
pH	5.6~8.6	6.5~9.0	5.8~8.6	6.5~9.0	5.8~8.6	5.6~8.6	5.8~8.6	6.5~9.0	-	6.5~9.0	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	6.5~9.0	5.8~8.6	6.5~9.0	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6
BOD	-	20	-	-	-	-	10	10	-	-	8	10	-	10	-	-	-	-	-
COD	60	40	-	40	60	-	20	20	-	20	-	20	40	20	7.5	20	60	40	10
硬度	-	400	-	400	-	500	-	300	-	300	-	200	-	300	-	300	-	500	300
残留塩素	-	-	1.0以上	1.0以上	-	-	0.2以上	0.2~0.5	-	1.0以上	-	0.2以上	0.2以上	0.2以上	1.0以上	1.0以上	-	0.2以上	0.1以上
NH ₄ -N NO ₃ -N	-	20	20	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	10	1.0	-	-	-	同時に検出されないこと
NO ₃ -N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180	-	-	-	10
陰イオン 界面活性剤	2.0	-	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0	-	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5
* 蒸発残留物	1000	-	-	3000	-	1000	500	-	-	1500	800	500	1000	-	1000	1300	500	1000	500
* 溶解性物質	-	5000	-	-	-	-	-	1000	-	-	-	-	-	1000	-	-	-	-	-
* Cl-	400	400	-	1000	-	400	200	300	-	500	-	200	400	300	-	500	-	400	200
Fe	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	-	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.3
Mn	0.5		0.3			0.5	-		-			0.5	0.5		0.3			0.5	0.3
一般細菌	-	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	100	-	-	-	100	-	-	100以下
大腸菌	1	-	300	-	-	1	1	-	-	-	-	④	1	-	1	-	-	1	④

① 建設省平城団地調査 ② 東京都首都整備局 ③ 近畿地建（昭47.3） ④ 近畿地建、神戸市 ⑤ 日本水道協会
 ⑥ 日本住宅公団（水洗・便所・散水は昭51.2 修景は昭50.3）
 ⑦ 不快を感じない ⑧ 感じないこと ⑨ 検出されないこと * 無機塩類関連項目

一したものは得られていない。このため使用目的に応じた要求レベルをはっきりさせることが重要となる。

表-2・3に日本工業用水協会が業種別、用途別工業用水の要望標準水質を調査した結果⁴⁾を、表-2・4に同協会が供給実績と需給者の要望を考慮して定めた工業用水の標準水質を示す⁴⁾。両者とも無機塩類に関してはかなり厳しいものとなっているが、上水並みの基準（蒸発残留物500mg/ℓ以下、塩素イオン200mg/ℓ以下）を満たすならば、かなりの用途に使用可能となつてこよう。

2.3 農業用水

我が国の農業用水のかかなりの部分は水田の灌漑用水として用いられている。下水処理水中に含まれる有機物、栄養塩類は植物に有効であることから可能性の大きな用途であり、現在5ヶ所で使用の例がある。

農業用水への利用では無機塩類による塩害のほか、生育面では窒素過剰による稲の青立ち、倒伏などの問題、微量有害物質の農作物への蓄積の問題などが、水循環を考える上では季節的な需要量の変動が大きいなど、いくつかの問題点が指摘されている。

水稻における塩害の可視被害発現濃度は土壌中の塩素イオン濃度として、活着期で0.05～0.07%、分けつ期で0.07～0.1%程度であるとされている⁵⁾。水稻の根は塩分を根圏に残して水を吸収する性質があり、根圏の塩分はしだいに濃縮され、田面蒸発によっても土壌の塩分が濃縮されるので、低濃度でも長期間のうちには塩害をおこすことがあるとされているが、通常、塩素イオンで0.05%（500mg/ℓ）以下の水を使用していれば障害がおこることは少ないとされている⁵⁾。表-2・5に農業用水基準を示す。基準値では無機塩類について電気伝導度（導電率）で規定しており、0.3mS/cmは無機塩類を全て塩化ナトリウムと仮定した場合、塩素イオン約90mg/ℓに相当するものであり、かなり安全側で提示されているといえる。

表-2・3 業種別、用途別工業用水の要望標準水質⁴⁾

業 種	用途別	濁 度 (μm)	P H ($\log\text{H}$)	アルカリ度 CaCO_3 (ppm)	硬 度 CaCO_3 (ppm)	溶存残渣 物(ppm)	塩素イオン Cl^- (ppm)	鉄 (μppm)	マンガン Mn (ppm)
食 料 用 製 造 業	冷 却 用	10	7	35	50	75	30	0.1	0.1
	洗 浄 用	5	7	35	50	80	20	0.1	0.1
	原 料 用	1	7	60	60	80	20	0.1	0.1
	温湿調整用	10	7	50	50	80	30	0.1	0.1
	製品処理用	1	7	40	30	80	10	0.1	0.1
織 維 工 業 (染色整理を除く) 衣服、その他繊維製品製造業	冷 却 用	20	7	60	50	200	30	0.1	0.1
	洗 浄 用	20	7	50	50	200	20	0.1	0.1
	原 料 用	-	-	-	-	-	-	-	-
	温湿調整用	20	7	60	60	150	20	0.1	0.1
	製品処理用	20	7	50	50	150	15	0.1	0.1
染 色 整 理 業	冷 却 用	20	7	50	50	100	100	0.1	0.1
	洗 浄 用	1	7	50	100	50	20	0.05	0.05
	原 料 用	1	7	50	10	50	10	0.01	0.01
	温湿調整用	1	7	50	20	50	10	0.05	0.05
	製品処理用	1	7	50	10	50	10	0.05	0.05
木 材、木製品 製 造 業 家 具、装飾品 製 造 業	冷 却 用	20	7	60	50	200	30	0.1	0.1
	洗 浄 用	20	7	50	50	200	20	0.1	0.1
	原 料 用	-	-	-	-	-	-	-	-
	温湿調整用	20	7	60	60	150	20	0.1	0.1
	製品処理用	20	7	50	50	150	15	0.1	0.1
パルプ、紙、 紙加工品製造業	冷 却 用	10	7.5	50	100	150	30	0.05	0.02
	洗 浄 用	5	7.5	30	30	100	10	0.05	0.02
	原 料 用	5	7	50	80	80	30	0.05	0.02
	温湿調整用	2	7	50	50	100	10	0.05	0.02
	製品処理用	5	7.5	40	50	100	50	0.05	0.02
出 版、印 刷 同 関 連 産 業	冷 却 用	20	7	60	50	200	30	0.1	0.1
	洗 浄 用	20	7	50	50	200	20	0.1	0.1
	原 料 用	-	-	-	-	-	-	-	-
	温湿調整用	20	7	60	60	150	20	0.1	0.1
	製品処理用	20	7	50	50	150	15	0.1	0.1
化 学 工 業	冷 却 用	20	7	50	50	200	80	0.1	0.05
	洗 浄 用	10	7	50	50	80	20	0.1	0.05
	原 料 用	10	7	40	40	70	10	0.1	0.05
	温湿調整用	15	7	70	60	130	20	0.1	0.05
	製品処理用	10	7	50	50	100	10	0.1	0.05
石 油 製 品、 石炭製品製造業	冷 却 用	30	7	40	50	200	10	0.1	0.05
	洗 浄 用	6	7	40	50	200	5	0.05	0.01
	原 料 用	6	7	40	50	150	5	0.05	0.01
	温湿調整用	6	7	90	80	200	5	0.1	0.01
	製品処理用	1	7	50	50	100	5	0.05	0.01
ゴ ム 製 品 製 造 業 なめし皮 同 製 品 毛 皮 製	冷 却 用	20	7	60	50	200	30	0.1	0.1
	洗 浄 用	20	7	50	50	200	20	0.1	0.1
	原 料 用	-	-	-	-	-	-	-	-
	温湿調整用	20	7	60	60	150	20	0.1	0.1
	製品処理用	20	7	50	50	150	15	0.1	0.1
窯 業、土石製品 製 造 業	冷 却 用	15	7	100	70	200	30	0.1	0.1
	洗 浄 用	15	7	20	40	80	20	0.1	0.1
	原 料 用	10	7	30	30	50	10	0.1	0.1
	温湿調整用	10	7	100	70	200	30	0.1	0.1
	製品処理用	10	7	100	70	200	15	0.1	0.1
製 鋼 業	冷 却 用	30	7	100	200	300	100	-	-
	洗 浄 用	30	7	100	200	300	100	-	-
	原 料 用	-	-	-	-	-	-	-	-
	温湿調整用	20	7	100	100	200	50	-	-
	製品処理用	20	7	100	100	300	50	-	-
非鉄金属製造業 金属製品製造業	冷 却 用	20	7	40	60	300	20	0.1	0.1
	洗 浄 用	16	7	40	50	300	10	0.1	0.1
	原 料 用	20	7	40	60	200	10	0.1	0.1
	温湿調整用	20	7	40	60	200	10	0.1	0.1
	製品処理用	20	7	40	50	300	10	0.1	0.1

表 - 2 ・ 4 工業用水道供給標準水質⁴⁾

	濁 度 (ppm)	pH (-log H)	アルカリ度 CaCO ₃ (ppm)	硬 度 CaCO ₃ (ppm)	蒸 発 残 留 物 (ppm)	塩 素 イ オ ン C l ⁻ (ppm)	鉄 F e (ppm)	マンガン M n (ppm)
工業用水道供給 標 準 値	2 0	6.5 ~ 8.0	7 5	120	250	8 0	0.3	0.2

備 考

1. 本表の数値は、現在供給を行なっている工業用水道の供給水質の実態（下水処理等特殊な水源のものを除く。）および工業用水道受給者側の要望水質を考慮して算出した一応の標準値である。
2. 工業用水道の供給水質は工業用水道使用者全体の用途を考慮して効率的、経済的に定めることになるので原水の水質の状況によっては本表により難しい場合もある。
3. 日本水道新聞 1971. 11. 15

表 - 2 ・ 5 農業用水基準

項 目	農業用水基準 (基準値)	参 考	
		構造改善土地分級 法(技術会議)	愛知県基準 (案)
① pH	6.0 ~ 7.5	6.0 ~ 7.5	
② COD ppm	6		8
③ SS ppm	100		
④ DO ppm	5		
⑤ T-N ppm	1	1	1
⑥ 電気伝導度 mS/cm	0.3	塩類濃度 (500 ppm)	塩類濃度 (500 ppm)
⑦ As ppm	0.05		0.05
⑧ Zn ppm	0.5		1.0
⑨ Cu ppm	0.02		0.1

3. 下水処理水中の無機塩類の現状

3.1 測定上の問題点

下水処理水中の無機塩類濃度を表わす指標としては一般に塩素イオン、蒸発残留物、溶解性物質が用いられており、再利用時の提案値としても用いられる。しかしながら、これらはいずれも無機塩類濃度を直接表わすものでない。塩素イオンは無機塩類を構成するイオンの中で約4割を占め、最も一般的なものであるが、これ以外の種類も多く、また存在比率も一定でないことからこれによって無機塩類濃度を正確に把握するのは難しい。蒸発残留物、溶解性物質は水およびろ過した水を蒸発乾固したとき残る物質の重量を示したものである。このため、溶解性物質には無機塩類のほか、一部塩類の結晶水と溶解性有機物の重量が、蒸発残留物ではこれに加えて浮遊物の重量が含まれており、実際の無機塩類濃度より高く表示されることとなる。このため各指標の特徴、相違点を認識しておくとともに、同一指標を用いたとしても、処理水の性状、処理程度によって実際の無機塩類との間に生ずる差異に変化があることにも留意する必要がある。

下水処理水における塩素イオン、蒸発残留物、溶解性物質の相関性であるが、図-3・1、3・2、3・3に昭和48年度公共下水道統計より得られた全国下水処理場処理水の三者間の相関関係を、表-3・1に昭和45年から48年の4ヶ年の相関係数を示す。同図に示すように三者間の相関性は極めて高いものとなっている。

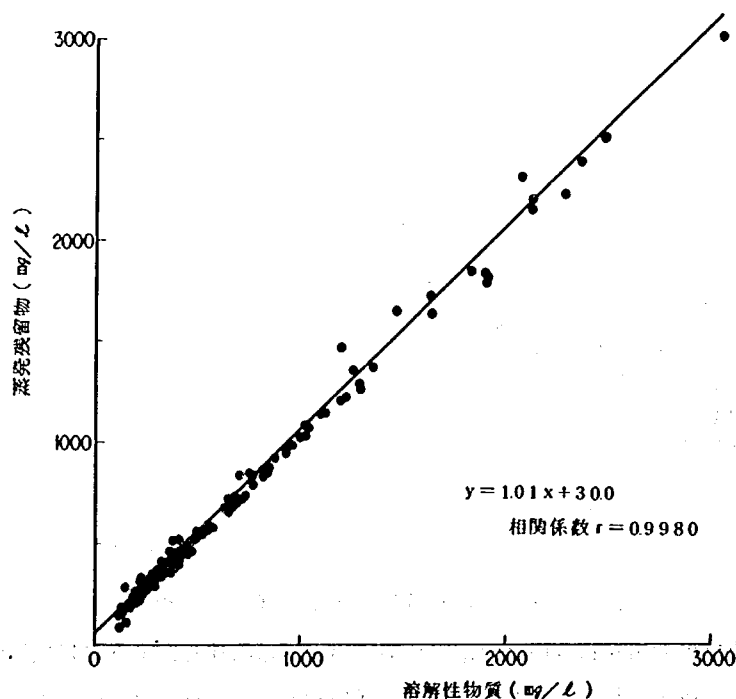


図-3・1 蒸発残留物と溶解性物質の相関

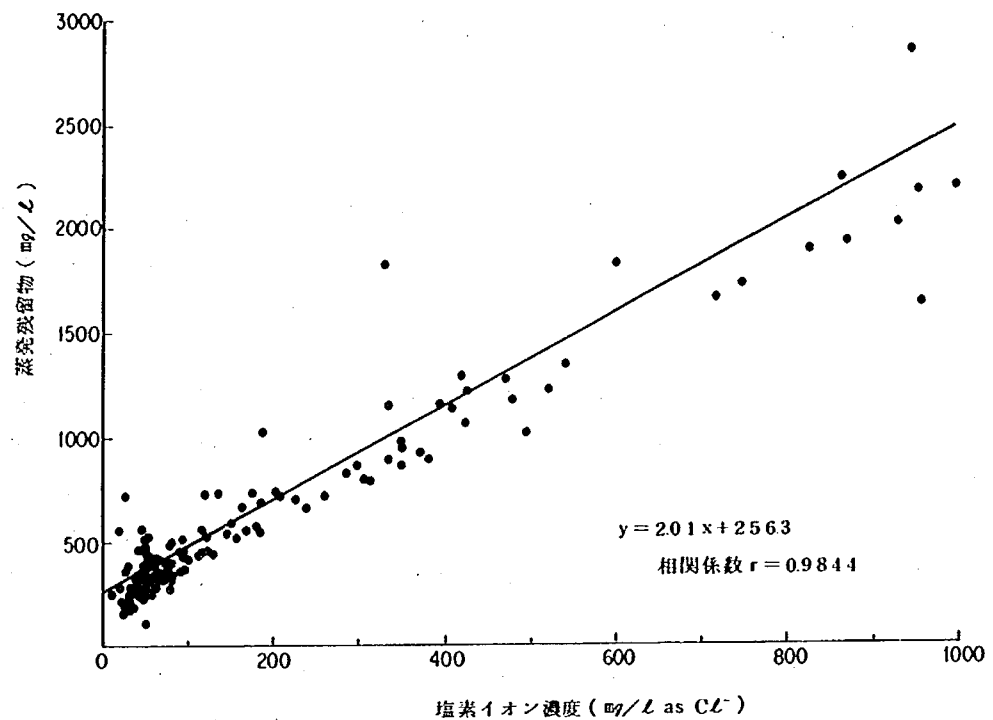


図-3・2 蒸発残留物と塩素イオンの相関

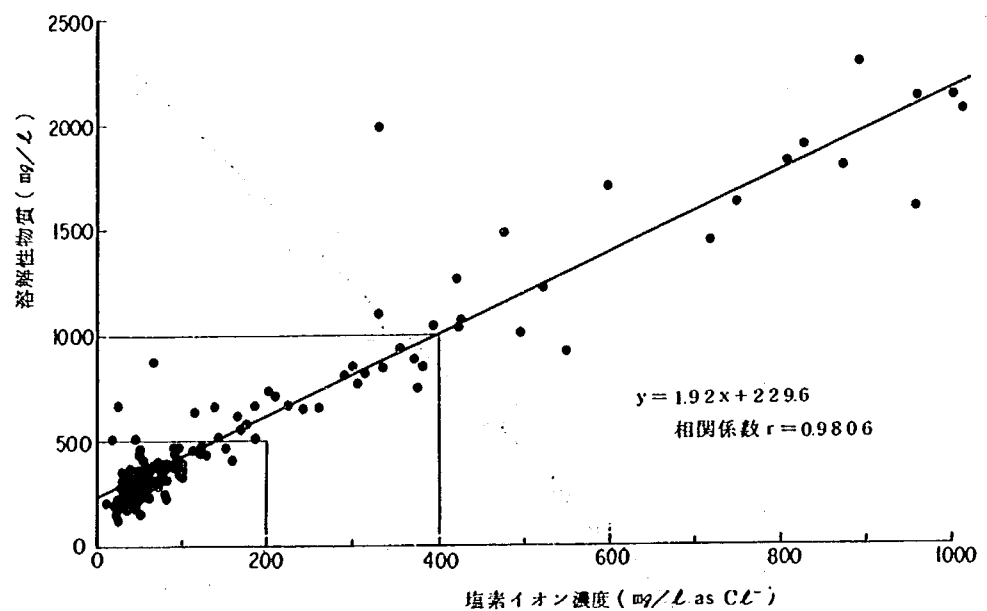


図-3・3 溶解性物質と塩素イオンの相関

下水処理水の直接再利用を行う場合の水質基準については前述したように目標値の提案段階であるが、無機塩類の項目では塩素イオンおよび蒸発残留物で提案されている例が多く、また上水基準でもこの両者が用いられている。しかしながら塩素イオンは別としても、再利用を考える上での下

表-3・1 塩素イオン，蒸発残留物，溶解性物質の相関

		X	Y	相関係数 R	切 辺 A	傾 き B	データー数 n	平 均 値 M	
								X	Y
48年	IN	TDS	TS	0.9899	171.3	1.004	220	738.7	912.5
		CL	TS	0.9679	464.7	2.036	206	307.5	1,090.8
		CL	TDS	0.8052	421.0	1.270	182	276.2	771.8
	EFF	TDS	TS	0.9982	27.7	1.009	221	725.5	759.5
		CL	TS	0.9844	256.3	2.001	207	25.8	911.4
		TDS	TDS	0.9815	223.3	1.924	183	282.9	758.3
47年	IN	TDS	TS	0.9569	13.4	1.206	182	724.8	956.8
		CL	TS	0.9378	511.5	1.870	182	303.4	1,079.1
		CL	TDS	0.9757	288.9	1.814	151	271.5	781.3
	EFF	TDS	TS	0.9987	25.4	1.029	183	723.2	769.9
		CL	TS	0.9920	261.2	1.844	185	347.1	801.4
		CL	TDS	0.9874	223.4	1.769	151	318.9	787.5
46年	IN	TDS	TS	0.9943	192.2	1.015	197	998.7	1,195.2
		CL	TS	0.6523	591.8	2.007	171	353.3	1,300.7
		CL	TDS	0.6463	358.7	1.969	165	352.9	1,053.3
	EFF	TDS	TS	0.9983	41.6	0.999	199	883.7	924.2
		CL	TS	0.9099	305.1	1.739	171	359.6	930.6
		CL	TDS	0.9694	241.3	2.012	164	356.1	957.8
45年	IN	TDS	TS	0.9949	202.5	0.999	181	895.4	1,096.9
		CL	TS	0.9587	428.7	2.067	161	359.8	1,172.3
		CL	TDS	0.9587	231.2	2.080	155	344.9	948.6
	EFF	TDS	TS	0.9995	30.2	1.016	180	882.5	926.5
		CL	TS	0.9838	170.9	2.245	164	366.5	993.6
		CL	TDS	0.9835	135.9	2.235	154	364.1	949.6

注 IN : 流入水, EFF : 放流水,

CL : 塩素イオン, TS : 蒸発残留物, TDS : 溶解性物質

水処理水の測定では蒸発残留物より溶解性物質を採用することを提案する。下水は二次処理まで行ってもかなりの浮遊物が含まれており、この分だけ蒸発残留物は高いものとなる。ちなみに下水処理水中の浮遊物は下水道法において標準活性汚泥法等の高級処理でも70mg/ℓまで許容されており、前述の統計でもすべてが高級処理というわけではないが、約30mg/ℓ蒸発残留物が高いものとなっている。一方、再利用においては目標水質が確立されてない関係上、処理方法についても確立されたものはないが、浮遊物を取り除くための砂ろ過、マイクロスクリーン等のろ過処理は最低限必要であることはすでに認識されており、この段階では蒸発残留物と溶解性物質はほぼ等しい。したがって下水処理水および再利用時の水質を一貫して考えるならば、溶解性物質を用いた方が整合性が高い。

塩素イオンと溶解性物質についていえば、再利用時の目標水質の提案値（生活用水）としては塩素イオン200mg/ℓ、蒸発残留物（≒溶解性物質）500mg/ℓ（両者は上水基準を準用したもの）、あるいは塩素イオン400mg/ℓ、蒸発残留物1000mg/ℓといったものが多い。この値を図-3.3に適用すると塩素イオンが基準値以下であっても溶解性物質が基準値を超える例がかなり見られ、逆の例は少ない。このことから上述の提案値を採用したとすると塩素イオンより溶解性物質で制限を受ける場合が多くなる。換言すれば溶解性物質を用いた方が水質的に安全側となる場合が多いこととなる。

3.2 無機塩類の流入源

下水中に存在する無機塩類のかなりの部分が水の使用の際に付加されたものである。下水中の無機塩類の流入源としては次のようなものがあげられる。

3.2.1 家庭下水

家庭下水はし尿および台所、洗濯、風呂等の雑排水から構成されている。

(1) し尿

し尿は食物の残渣である有機物および無機物から成っている。生し尿中の無機成分含有量⁵⁾および下水中に付加される量の推定値を表-3.2に示す。この結果によれば、し尿による無機塩類の増加分は約11g/人/日であり、濃度としては40mg/ℓ強のものとなる。このうち約60%が塩化ナトリウムである。ちなみに全体の増加量を200mg/ℓと仮定（理由は後述）すると、し尿の占める割合は20%程度となる。

(2) 家庭雑排水

家庭雑排水での流入源としては種々のものがあげられるが、合成洗剤、特に衣料用粉状洗剤の占める割合が高いと考えられる。衣料用粉状合成洗剤はLAS（直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸塩）等の界面活性剤が15～25%、その残りが助剤（ビルダー）で構成されている。助剤の大部分は硫酸ナトリウム、ケイ酸ナトリウム、トリポリリン酸ナトリウム等の無機塩類である。昭和54年度中に生産された家庭用合成洗剤の量は約93万tでこのうち粉状が約61万t、液体が32万tとなっている⁶⁾。人口を1.1億人として、粉状のみで平均1人1日当たり約15g消費した計算となる。粉状洗剤の8割を無機塩類と仮定すると約12g/人/日排出されることとなり、その量はし尿以上のもの

表-3・2 し尿の無機塩類負荷量

	蒸発残留物	灰 量 (無機質分)	Ca	Mg	Na	K	Cl	P	S
生し尿中の濃度 (g/l)	25	10.6	0.37	0.16	2.7	0.97	4.0	0.48	0.15
下水中の増加分 (mg/l)	100	42.4	1.48	0.64	10.8	3.88	16.0	1.92	0.60

(注)：住民1人1日当りの生し尿量を1lとして計算した。
住民1人1日当りの水使用量を250lとして計算した。

のとなる。一般に下水道が普及しているような都市部では洗剤の使用量が多いとされている。また粉状合成洗剤に較べて含有率は低いものの液体洗剤にも当然含まれており、前述の生産量に含まれていない業務用洗剤、粉せっけんなども考慮すれば、洗剤由来の無機塩類はさらに大きなものとなる。

3.2.2 工場排水

工場排水を受け入れる処理場においては工場の業種、排水量について注意を払う必要がある。工場排水の水質事例を表-3・3に示す⁵⁾。排水中の無機塩類濃度の高い業種としては石油精製業、パルプ・紙製造業、染料・染色工業などがあげられている⁵⁾。

表-3・3 工場廃水水質事例⁵⁾

成 分	製紙工業 総合廃水	化学工業 総合廃水	医薬品 工業廃水	同 左	油脂工業	染料工業	伸縮工業 総合廃水
透視度 (cm)	0.8	5.5	6.7	6.8	0	4.4	17.0
pH	4.9	2.3	8.4	6.9	8.2	3.1	4.3
Mアルカリ度 (CaCO ₃ ppm)	—	—	118.0	67.6	85.0	—	—
酸度 (CaCO ₃ ppm)	50	81.6	—	—	—	3.4	15.0
塩素イオン (Cl ppm)	188	18.4	97.0	7.8	20.0	85.6	3.0
硫酸イオン (SO ₄ ²⁻ ppm)	34.0	1.5	—	9	5.9	16.5	2.5
リン酸イオン (PO ₄ ³⁻ ppm)	tr	4.5	—	1.4	7.0	0	tr
硝酸イオン (NO ₃ ⁻ ppm)	tr	(+)	(+)	(-)	(-)	tr	(+)
アンモニウムイオン (NH ₄ ⁺ ppm)	0.9	0.8	—	tr	1.0	0.4	0
総窒素 (N: ppm)	3.5	5.6	16.8	6.2	7.2	39.1	—
カルシウムイオン (Ca ²⁺ ppm)	14.5	3.2	10.4	1.9	1.6	4.4	7.0
マグネシウムイオン (Mg ²⁺ ppm)	7.3	6.8	2.4	4.5	1.2	5.8	18.2
溶存酸素 (O ₂ : ppm)	6.0	7.4	2.0	7.6	0	2.0	2.7
化学的酸素要求量 (COD: ppm)	9.3	1.3	6.5	1.0	8.3	1.2	4
生物学的酸素要求量 (BOD: ppm)	8.9	1.5	3.8	1	5.1	—	—
導電率 (μS/cm)	1,350	2,170	3,640	280	3,120	6,660	1,010
浮遊物質 (ppm)	45.4	4.2	—	—	—	—	2.2

3.2.3 その他

海岸近くの処理場においては海水の影響により、下水中の無機塩類濃度が大幅に増加することがある。この場合、飛沫によるものも考えられるが、第1の原因としては海水を主要な水源とする無機塩類濃度の高い地下水が管渠に侵入することがあげられる。地下水は管渠の継手部分などから侵

入するが、これを絶無とすることは技術的に困難とされている。したがって海岸近くに管渠が布設されている場合は十分注意を払う必要がある。

表-3・4に海水中の無機塩類の組成および量を示す⁷⁾。海中の塩分濃度は約3.5%と高く、流入水量の1%の混入があれば溶解物質で約350mg/ℓ、塩素イオンで約190mg/ℓの増加となる。

表-3・4 海水の主成分⁷⁾

(塩素量19.00(%)の海水について)

成 分	濃度 (g/kg)	成 分	濃度 (g/kg)
ナトリウムイオン (Na^+)	10.556	塩素イオン (Cl^-)	18.980
カリウムイオン (K^+)	0.380	硫酸イオン (SO_4^{2-})	2.649
マグネシウムイオン (Mg^{2+})	1.272	炭酸水素イオン (HCO_3^-)	0.140
カルシウムイオン (Ca^{2+})	0.400	臭素イオン (Br^-)	0.065
ストロンチウムイオン (Sr^{2+})	0.008	ホウ素分子 (H_3BO_3)	0.026

3.3 下水処理場での無機塩類の動向

既存の下水処理場は沈殿を主体とした一次処理と活性汚泥法などの生物処理(二次処理)から成っているのが一般的である。図-3・3および表-3・5に無機塩類の指標として、代表的な陽イオンである Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} に着目し、4ヶ所の下水処理場の流入下水および二次処理水(放流水)について調査を行った結果を示す。A処理場を除いて各種陽イオンの流入、放流水の日平均はほぼ同一か、放流水の方がやや高くなる傾向にあり、既存の処理では無機塩類はほとんど除去されないといえる。処理の過程で薬品等を用いた場合には増加が考えられる。汚泥の脱水時に用いられ、その一部が返流水に含まれ水処理系に流入してくる石灰や鉄塩、放流水の滅菌に用いられる塩素や次亜塩素酸ナトリウムなどが例としてあげられる。

前述の処理をさらに進めた三次処理においては、実施される可能性の高い手法が有機物、栄養塩類の除去を目的としている。このため無機塩類の除去は期待できず、むしろ増加すること多いと考えられる。上述の三次処理の技術を大別すると微生物の活動を利用した生物処理法、薬品等を使用する化学的処理法、および物理的処理法に分けられる。ろ過、吸着を主体とする物理的処理法は浮遊物および有機物の除去を目的としており、無機塩類の除去はできない。生物処理においても、二次処理でほとんど除去されないことから判断すればここでも期待できない。化学処理では薬品を用いることから無機塩類が増加することが多いといえる。薬品凝集沈殿、不連続点塩素処理などが増加をもたらすプロセスとしてあげられる。

3.4 下水処理水の無機塩類濃度の現状

先の公共下水道統計より全国下水処理場の処理水中の無機塩類濃度について、溶解性物質、蒸発残留物、塩素イオンを指標として、濃度別の分布を表わしたものを表-3・6、図-3・4に示す。溶解性物質についていえば、同図に示すようにその濃度が200~300mg/ℓの処理場が最も多く、ついで300~400mg/ℓの処理場が多い。この結果から判断すれば下水処理水中の一般的な溶解性物質の濃度は300mg/ℓ前後の値であるといえる。これと同様に考えれば蒸発残留物で300mg/ℓ

表 - 3 ・ 5 無機塩類測定結果

項目 時刻 (時)	A 処理場 家庭下水のみ (分流式)								B 処理場 家庭下水のみ(分流式)								C 処理場 都市下水 (合流式)								D 処理場 都市下水 (合流式)							
	流入水 (IN)				放流水 (EFF)				流入水 (IN)				放流水(EFF)				流入水 (IN)				放流水 (EFF)				流入水 (IN)				放流水 (EFF)			
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1	75.7	109.5	200.5	175.7	43.9	9.0	18.8	14.1													50.4	8.6	37.7	16.8	56.6	6.3	40.5	32.1	101.0	18.8	23.7	17.0
2	80.5	129.4	222.6	224.0	44.6	9.0	18.0	13.9									57.7	8.6	32.5	16.8	50.6	8.2	35.3	16.5	55.0	8.6	16.0	12.9	102.6	18.8	23.7	17.3
3	96.8	106.4	189.3	171.6	44.9	8.6	16.0	13.4									52.2	7.8	27.7	16.0	51.1	8.2	35.3	16.3	55.1	8.2	18.0	12.2	102.8	18.8	23.3	16.5
4	67.4	94.6	195.7	174.5	44.2	8.6	18.0	13.9	16.8	5.9	9.2	4.1	29.9	8.0	6.4	3.6	44.6	7.8	32.9	15.8	53.6	8.2	36.1	16.3	53.0	8.6	18.4	12.6	101.9	17.6	22.9	16.5
5	64.6	96.2	210.5	180.3	43.9	8.6	19.6	13.9									45.1	7.4	33.7	15.6	54.5	8.2	34.1	16.3	70.6	8.6	18.0	13.9	96.6	16.8	23.7	16.0
6	63.0	86.0	200.5	170.1	43.7	8.6	19.2	13.6									37.3	7.0	33.7	16.0	55.7	8.2	33.7	16.0	70.6	8.2	20.1	17.0	95.9	16.0	23.3	16.0
7	62.8	84.5	222.6	185.2	45.1	9.0	20.1	14.6									40.3	7.0	33.7	16.8	56.1	7.8	36.5	16.3	69.5	9.0	18.0	14.8	94.3	15.6	23.7	15.8
8	49.9	10.2	180	16.8	43.2	9.4	20.5	14.1	28.1	9.4	9.2	5.3	25.5	9.2	6.8	3.4	35.9	6.6	30.9	17.0	54.3	7.8	35.7	16.3	70.6	9.4	26.9	13.4	95.5	15.2	24.1	15.8
9	37.5	8.6	172	15.6	48.3	10.6	18.4	15.8									30.4	5.9	28.1	17.5	54.1	8.2	32.9	18.0	63.5	10.6	16.4	13.9	95.0	14.9	23.7	15.8
10	41.6	7.4	16.8	16.3	49.5	10.2	17.2	15.8									47.6	7.0	28.9	17.7	53.1	7.8	34.1	16.0	69.9	10.2	22.1	12.4	90.9	14.1	23.7	15.6
11	37.5	8.6	172	16.8	47.4	9.4	17.2	15.3									47.8	8.2	34.5	18.2	49.0	7.8	40.5	17.0	53.4	9.0	15.2	14.1	69.0	9.8	25.3	15.3
12	49.2	47.7	41.3	51.8	45.8	9.0	16.8	13.9	29.9	8.2	8.0	4.9	22.8	7.2	8.4	4.4	43.5	9.0	31.3	17.3	47.2	8.2	42.5	17.0	53.4	9.4	14.8	11.9	72.0	10.6	26.9	15.6
13	68.3	105.6	77.4	110.3	44.4	8.2	17.2	13.6									42.6	8.2	28.1	16.0	43.9	7.8	41.7	17.0	69.9	10.2	16.8	13.6	74.1	12.5	26.1	16.0
14	72.9	119.6	81.8	118.1	43.7	7.8	16.4	13.1									44.9	8.2	30.1	15.6	43.0	7.4	40.1	17.3	121.4	10.2	17.2	13.1	74.5	13.3	25.7	16.5
15	74.5	130.2	99.4	135.1	43.0	8.2	17.2	13.1									45.1	7.8	27.7	15.6	41.9	7.4	35.7	17.3	92.0	10.6	15.6	12.4	75.9	13.7	26.1	16.5
16	53.1	25.4	24.1	31.1	43.2	8.2	17.2	13.6	33.1	9.8	5.6	4.1	32.9	8.4	6.4	4.1	52.0	8.2	28.5	15.8	43.5	7.8	36.9	17.3	89.5	8.6	15.6	11.9	80.0	15.2	26.9	16.8
17	59.6	57.9	66.2	68.3	43.5	8.2	17.2	13.6									48.3	7.8	30.5	16.0	43.0	7.4	33.3	16.5	89.5	8.6	15.2	12.6	84.4	16.0	28.5	17.5
18	63.0	54.0	72.2	67.8	42.6	9.0	17.6	13.6									66.9	8.2	31.3	17.3	43.5	7.4	33.7	16.5	86.0	8.2	22.5	13.4	86.3	16.8	26.9	17.5
19	63.7	63.0	93.4	85.8	42.8	9.0	18.8	13.6									59.1	7.8	33.7	16.8	43.7	7.8	35.7	16.5	86.0	12.1	13.2	13.1	89.0	18.0	27.7	17.5
20	69.2	68.8	97.0	91.9	43.2	9.0	19.2	13.6	35.2	9.0	5.6	4.4	33.1	8.4	6.4	3.9	52.9	8.6	34.1	16.5	44.4	7.8	39.3	16.5	85.1	9.8	17.2	14.1	96.8	18.4	25.3	17.5
21	70.2	80.2	115.1	116.9	43.0	9.0	18.0	13.6									45.5	8.6	28.9	16.0	45.3	7.8	32.9	16.0	103.5	9.0	15.2	13.1	104.2	19.6	24.9	17.7
22					43.9	9.0	17.2	13.4									47.4	9.0	32.5	15.8	46.7	7.8	34.5	16.3	73.6	8.2	15.2	13.4	107.4	20.3	24.1	17.7
23	72.2	79.4	128.3	119.3	44.2	9.0	17.2	13.9									94.8	8.2	31.3	15.8	48.3	7.8	33.3	16.8	75.9	8.2	14.0	14.3	108.3	19.9	24.1	17.5
24	71.8	97.4	198.1	157.5	44.4	8.6	18.0	14.1	25.5	7.4	7.6	4.1	33.8	8.8	6.4	4.1	54.7	7.4	26.1	15.8	50.1	7.8	35.3	16.5	58.0	8.6	16.0	13.1	105.6	19.6	23.7	17.3

(単位はmg/l)

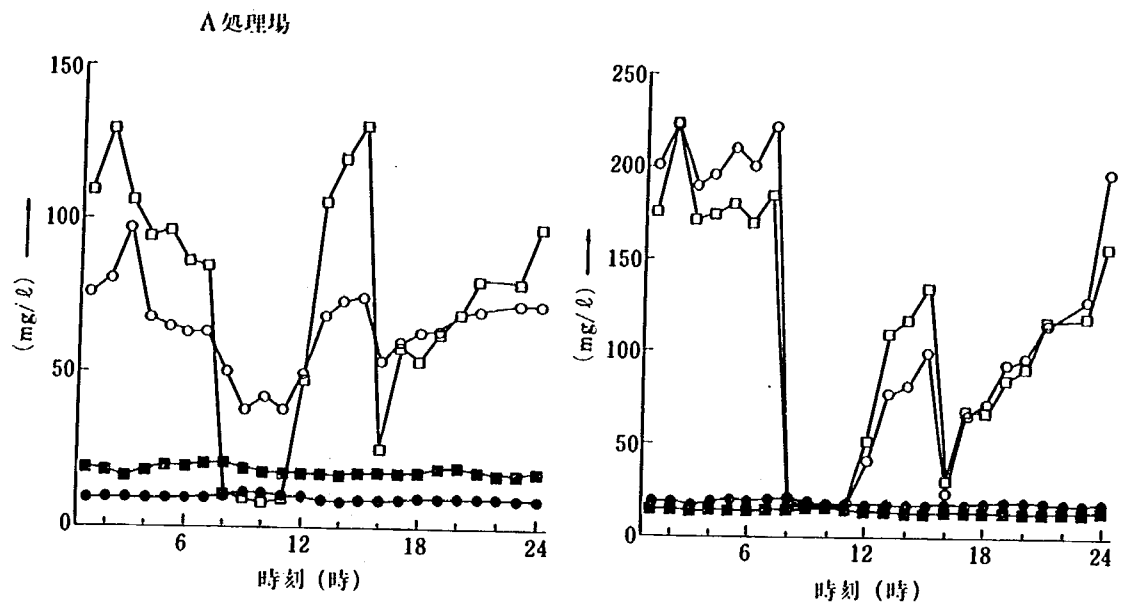


図 - 3・3 (a) 無機塩類の経時変化

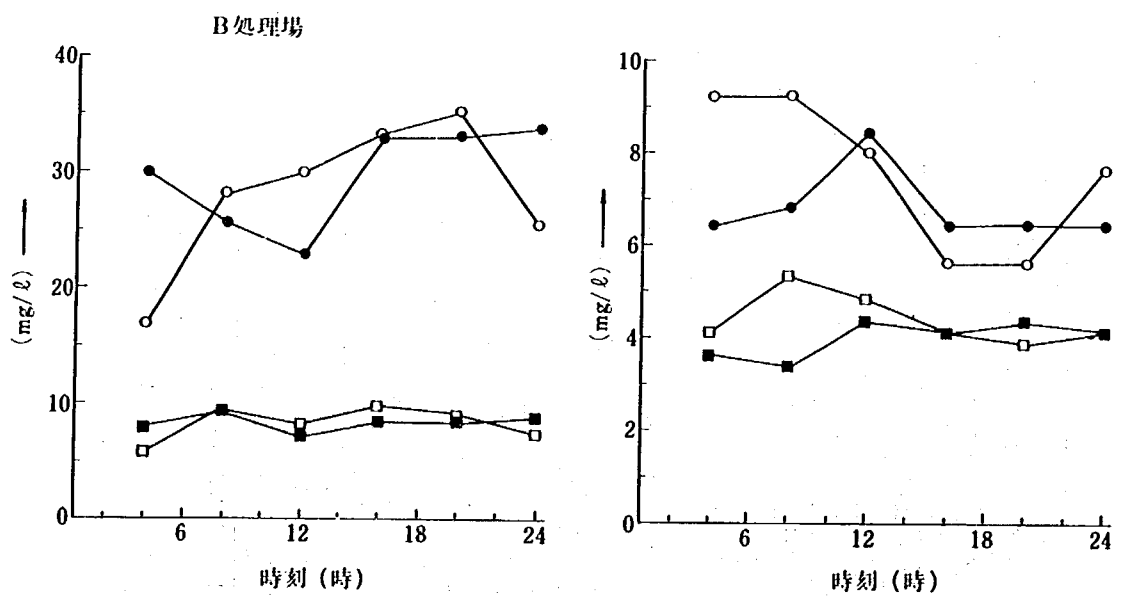


図 - 3・3 (b) 無機塩類の経時変化

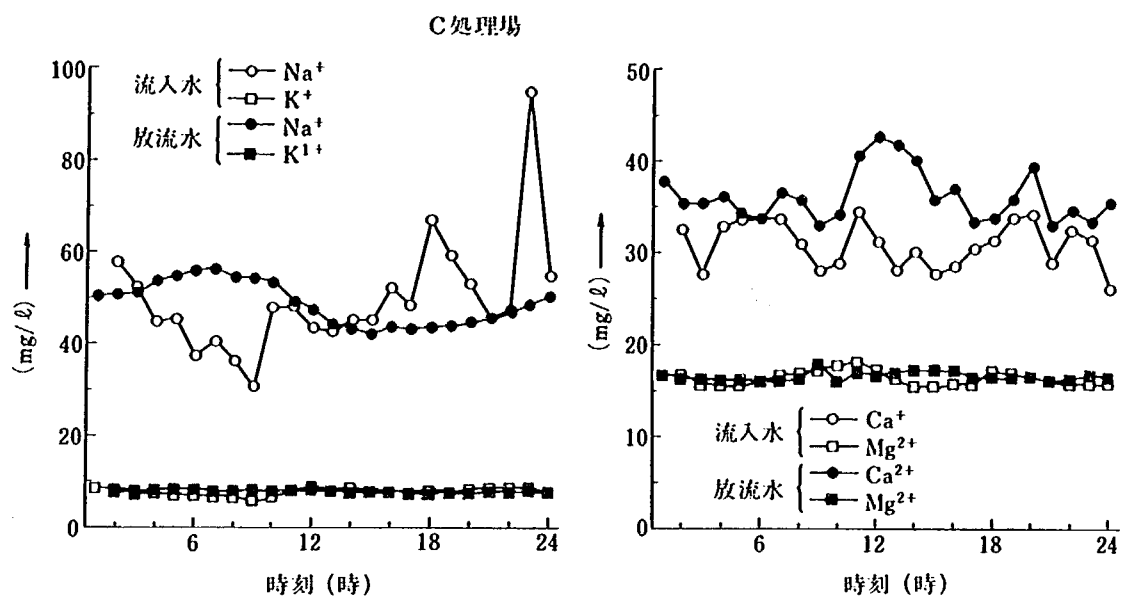


図 - 3 ・ 3 (c) 無機塩類の経時変化

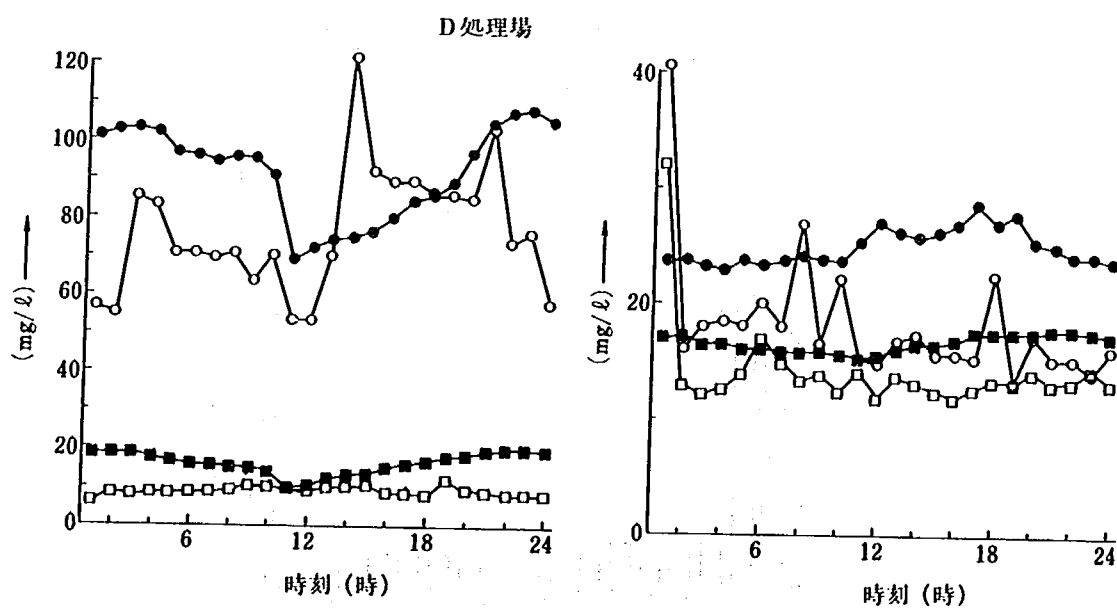


図 - 3 ・ 3 (d) 無機塩類の経時変化

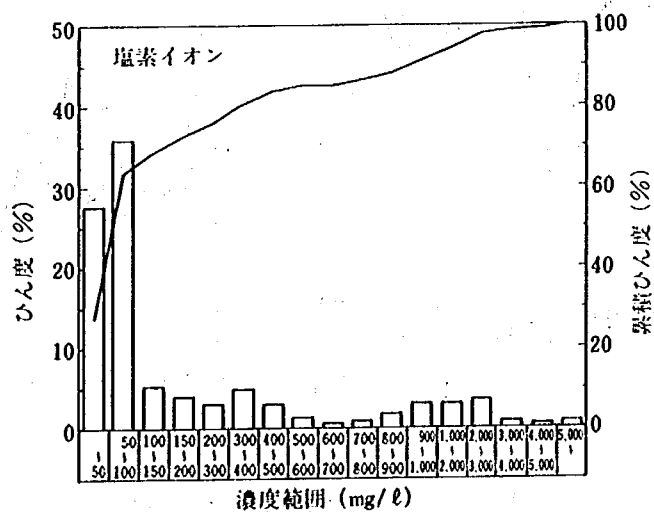
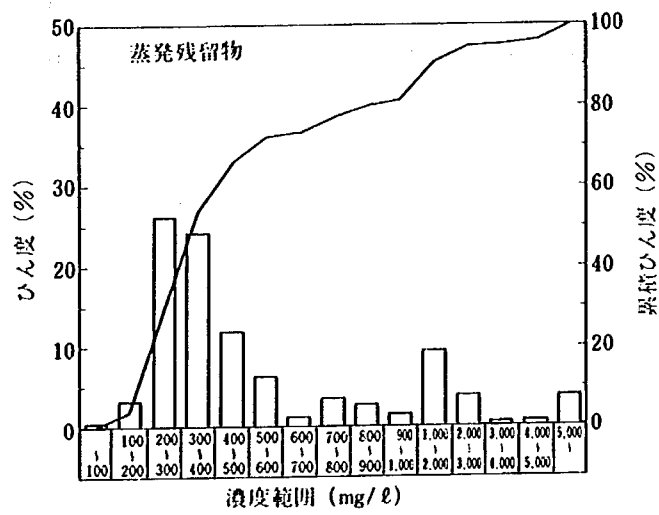
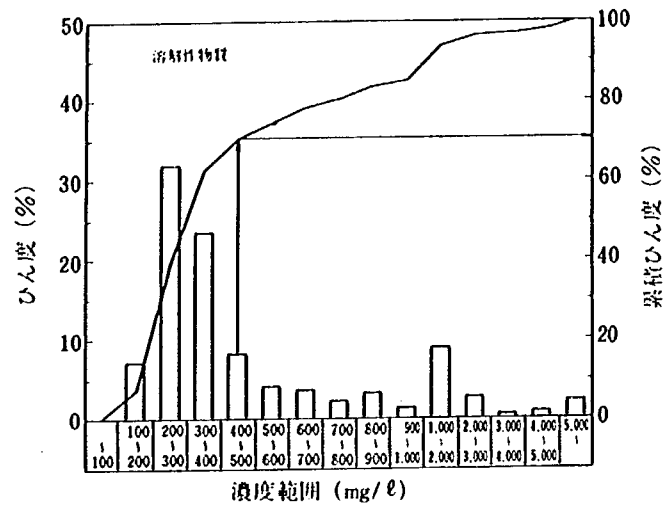


図-3・4 無機塩類の濃度分布

表-3・6 無機塩類の濃度分布
a (昭和48年)

(放流水)

項 目	全場 処 理数	測行処 定 [*] 理場 をた数	溶解性物質の濃度範囲 (mg/l)														
			100 未満	100 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以上
処理場数(度数)	311	223 (220)	0	16	71	52	18	9	8	5	7	3	20	6	1	2	5
割合 (%)	—	100	0	7.2	31.8	23.3	8.1	4.0	3.6	2.2	3.1	1.3	9.0	2.7	0.4	0.9	2.2
処理場数(累積度数)	311	223 (220)	0	16	87	139	157	166	174	179	186	189	209	215	216	218	223
割合 (%)	—	100	0	7.2	39.0	62.3	70.4	74.4	78.0	80.3	83.4	84.6	93.7	96.4	96.9	97.8	100

項 目	全場 処 理数	測行処 定 [*] 理場 をた数	蒸発残留物の濃度範囲 (mg/l)														
			100 未満	100 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以上
処理場数(度数)	311	252 (247)	1	8	66	61	30	16	3	9	7	4	24	10	1	2	10
割合 (%)	—	100	0.4	3.2	26.2	24.2	11.9	6.3	1.2	3.6	2.8	1.6	9.5	4.0	0.4	0.8	4.0
処理場数(累積度数)	311	252 (247)	1	9	75	136	166	182	185	194	201	205	229	239	240	242	252
割合 (%)	—	100	0.4	3.6	29.8	54.0	65.9	72.2	73.4	77.0	79.8	81.3	90.9	94.8	95.2	96.0	100

項 目	全場 処 理数	測行処 定 [*] 理場 をた数	塩 素 イ オ ン の 濃 度 範 囲 (mg/l as Cl ⁻)																
			50 未 満	50 { 100	100 { 150	150 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以 上
処 理 場 数 (度 数)	311	228 (223)	63	82	12	9	7	11	7	3	1	2	4	7	7	8	2	1	2
割 合 (%)	—	100	27.6	36.0	5.2	3.9	3.1	4.8	3.1	1.3	0.4	0.9	1.8	3.1	3.1	3.5	0.9	0.4	0.9
処 理 場 数 (累 積 度 数)	311	228 (223)	63	145	157	166	173	184	191	194	195	197	201	208	215	223	225	226	228
割 合 (%)	—	100	27.6	63.5	68.9	72.8	75.9	80.7	83.8	85.1	85.5	86.4	88.2	91.2	94.3	97.8	98.7	99.1	100

*処理場により2系列以上放流がある場合、系列も数に入れた。()は処理場数

(放流水)

項 目	全場 処 理 数	測行処 定つ 理場 をた数	溶解性物質の濃度範囲 (mg/l)														
			100 未満	100 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以上
処理場数(度数)	311	223 (220)	0	4	44	73	29	15	8	7	6	2	21	7	3	0	4
割合(%)	—	100	0	1.8	19.7	32.7	13.0	6.7	3.6	3.1	2.7	0.9	9.4	3.1	1.3	0	1.8
処理場数(累積度数)	311	223 (220)	0	4	48	121	150	165	173	180	186	188	209	216	219	219	223
割合(%)	—	100	0	1.8	21.5	54.3	67.3	74.0	77.6	80.7	83.4	84.3	93.7	96.9	98.2	98.2	100

項 目	全場 処 理 数	測行処 定つ 理場 をた数	蒸発残留物の濃度範囲 (mg/l)														
			100 未満	100 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以上
処理場数(度数)	311	251 (247)	0	1	6	25	52	51	28	12	10	5	35	12	4	1	9
割合(%)	—	100	0	0.4	2.4	10.0	20.7	20.3	11.2	4.8	4.0	2.0	13.9	4.8	1.6	0.4	3.6
処理場数(累積度数)	311	251 (247)	0	1	7	32	84	135	163	175	185	190	225	237	241	242	251
割合(%)	—	100	0	0.4	2.8	12.7	33.5	53.8	64.9	69.7	73.7	75.7	89.6	94.4	96.0	96.4	100

項 目	全場 処 理 数	測行処 定つ場 をた数	塩 素 イ オ ン の 濃 度 範 囲 (mg/l as Cl ⁻)																
			50 未 満	50 { 100	100 { 150	150 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以 上
処 理 場 数 (度 数)	311	228 (223)	73	70	13	11	9	8	5	1	8	3	5	2	9	6	2	1	2
割 合 (%)	—	100	32.0	30.7	5.7	4.8	3.9	3.5	2.2	0.4	3.5	1.3	2.2	0.9	3.9	2.6	0.9	0.4	0.9
処 理 場 数 (累 積 度 数)	311	228 (223)	73	143	156	167	176	184	189	190	198	201	206	208	217	223	225	226	228
割 合 (%)	—	100	32.0	62.7	68.4	73.2	77.2	80.7	82.9	83.3	86.8	88.2	90.4	91.2	95.2	97.8	98.7	99.1	100

(b) 昭和47年

(放流水)

項 目	全場 処 理 数	測行処 定 [*] 理場 をた数	溶解性物質の濃度範囲 (mg/l)														
			150 未満	100 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以上
処理場数(度数)	261	183 (180)	1	9	71	39	12	10	3	3	4	6	12	7	1	0	5
割 合 (%)	—	100	0.5	4.9	38.8	21.3	6.6	5.5	1.6	1.6	2.2	3.3	6.6	3.8	0.5	0	2.7
処理場数(累積度数)	261	183 (180)	1	10	81	120	132	142	145	148	152	158	170	177	178	0	183
割 合 (%)	—	100	0.5	5.5	44.3	65.6	72.1	77.6	79.2	80.9	83.1	86.3	92.9	96.7	97.3	97.3	100

項 目	全場 処 理 数	測行処 定 [*] 理場 をた数	蒸発残留物の濃度範囲 (mg/l)														
			100 未満	100 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以上
処理場数(度数)	261	223 (218)	1	5	48	72	22	15	8	1	7	6	17	10	3	1	7
割 合 (%)	—	100	0.4	2.2	21.5	32.3	9.9	6.7	3.6	0.4	3.1	2.7	7.6	4.5	1.3	0.4	3.1
処理場数(累積度数)	261	223 (218)	1	6	54	126	148	163	171	172	179	185	202	212	215	216	223
割 合 (%)	—	100	0.4	2.7	24.2	56.5	66.4	73.1	76.7	77.1	80.3	83.0	90.6	95.1	96.4	96.9	100

項 目	全場 処 理 数	測行処 定 [*] 理場 をた数	塩 素 イ オ ン 濃 度 の 範 囲 (mg/l as Cl ⁻)																
			50 未 満	50 〽 100	100 〽 150	150 〽 200	200 〽 300	300 〽 400	400 〽 500	500 〽 600	600 〽 700	700 〽 800	800 〽 900	900 〽 1000	1000 〽 2000	2000 〽 3000	3000 〽 4000	4000 〽 5000	5000 以 上
処理場数(度数)	261	200 (194)	66	60	16	7	7	5	4	4	3	5	2	1	12	3	1	3	1
割 合 (%)	—	100	33	30	8	3.5	3.5	2.5	2	2	1.5	2.5	1	0.5	6	1.5	0.5	1.5	0.5
処理場数(累積度数)	261	200 (194)	66	126	142	149	156	161	165	169	172	177	179	180	192	195	196	199	200
割 合 (%)	—	100	33	63	71	74.5	78	80.5	82.5	84.5	86	88.5	89.5	90	96	97.5	98	99.5	100

(流入水)

項 目	全場 処 理 数	測行処 定 [*] 理場 をた数	溶解性物質の濃度範囲 (mg/l)														
			100 未満	100 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以上
処理場数(度数)	261	183 (180)	0	3	39	62	17	13	11	5	1	5	16	3	4	0	4
割 合 (%)	—	100	0	1.6	21.3	33.9	9.3	7.1	6.0	2.7	0.5	2.7	8.7	1.6	2.2	0	2.2
処理場数(累積度数)	261	183 (180)	0	3	42	104	121	134	145	150	151	156	172	175	179	0	183
割 合 (%)	—	100	0	1.6	23.0	56.8	66.1	73.2	79.2	82.0	82.5	85.2	94.0	95.6	97.8	97.8	100

項 目	全場 処 理 数	測行処 定 [*] 理場 をた数	蒸発残留物の濃度範囲 (mg/l)														
			100 未満	100 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以上
処理場数(度数)	261	223 (217)	0	0	3	30	42	37	30	9	13	3	34	8	4	2	8
割 合 (%)	—	100	0	0	1.3	13.5	18.8	16.6	13.5	4.0	5.8	1.3	15.2	3.6	1.8	0.9	3.6
処理場数(累積度数)	261	223 (217)	0	0	3	33	75	112	142	151	164	167	201	209	213	215	223
割 合 (%)	—	100	0	0	1.3	14.8	33.6	50.2	63.7	67.7	73.5	74.9	90.1	93.7	95.5	96.4	100

項 目	全場 処 理 数	測行処 定 [*] 理場 をた数	塩 素 イ オ ン 濃 度 の 範 囲 (mg/l as Cl ⁻)																
			50 未 満	50 ┌ 100	100 ┌ 150	150 ┌ 200	200 ┌ 300	300 ┌ 400	400 ┌ 500	500 ┌ 600	600 ┌ 700	700 ┌ 800	800 ┌ 900	900 ┌ 1000	1000 ┌ 2000	2000 ┌ 3000	3000 ┌ 4000	4000 ┌ 5000	5000 以 上
処 理 場 数 (度 数)	261	195 (189)	72	52	13	7	6	5	6	4	6	3	2	2	10	3	3	1	0
割 合 (%)	—	100	36.9	26.7	6.7	3.6	3.1	2.6	3.1	2.1	3.1	1.5	1.0	1.0	5.1	1.5	1.5	0.5	0
処 理 場 数 (累 積 度 数)	261	195 (189)	72	124	137	144	150	155	161	165	171	174	176	178	188	191	194	195	195
割 合 (%)	—	100	36.9	63.6	70.3	73.8	76.9	79.5	82.6	84.6	87.7	89.2	90.3	91.3	96.4	97.9	99.5	100	100

(c) 昭和46年

(放流水)

項 目	全場 処 理 数	測行処 定 [*] 理場 をた数	溶解性物質の濃度範囲 (mg/l)														
			100 未満	100 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 400	400 ~ 500	500 ~ 600	600 ~ 700	700 ~ 800	800 ~ 900	900 ~ 1000	1000 ~ 2000	2000 ~ 3000	3000 ~ 4000	4000 ~ 5000	5000 以上
処理場数(度数)	230	197 (194)	1	8	63	47	14	9	4	5	3	2	21	8	3	1	8
割合(%)	—	100	0.5	4.1	32.0	23.9	7.1	4.6	2.0	2.5	1.5	1.0	10.7	4.1	1.5	0.5	4.1
処理場数(累積度数)	230	197 (194)	1	9	72	119	133	142	146	151	154	156	177	185	188	189	197
割合(%)	—	100	0.5	4.6	36.5	60.4	67.5	72.1	74.1	76.6	78.2	79.2	89.4	93.9	95.4	95.9	100

項 目	全場 処 理 数	測行処 定 [*] 理場 をた数	蒸発残留物の濃度範囲 (mg/l)														
			100 未満	100 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 400	400 ~ 500	500 ~ 600	600 ~ 700	700 ~ 800	800 ~ 900	900 ~ 1000	1000 ~ 2000	2000 ~ 3000	3000 ~ 4000	4000 ~ 5000	5000 以上
処理場数(度数)	230	209 (206)	1	5	41	61	27	13	4	5	6	2	20	11	3	2	8
割合(%)	—	100	0.5	2.4	19.6	29.2	12.9	6.2	1.9	2.4	2.9	1.0	9.6	5.3	1.4	1.0	3.8
処理場数(累積度数)	230	209 (206)	1	6	47	108	135	148	152	157	163	165	185	196	199	201	209
割合(%)	—	100	0.5	2.9	22.5	51.7	64.6	70.8	72.7	75.1	78.0	78.9	88.5	93.8	95.2	96.2	100

項 目	全場 処 理 数	測行処 定 [*] 理場 をた数	塩 素 イ オ ン 濃 度 の 範 囲 (mg/l as Cl ⁻)																
			50 未 満	50 ┌ 100	100 ┌ 150	150 ┌ 200	200 ┌ 300	300 ┌ 400	400 ┌ 500	500 ┌ 600	600 ┌ 700	700 ┌ 800	800 ┌ 900	900 ┌ 1000	1000 ┌ 2000	2000 ┌ 3000	3000 ┌ 4000	4000 ┌ 5000	5000 以上
処理 場 数 (度 数)	230	185 (182)	51	67	14	4	7	6	2	3	7	0	3	2	11	3	3	2	0
割 合 (%)	—	100	27.6	36.2	7.6	2.2	3.8	3.2	1.1	1.6	3.8	0	1.6	1.1	5.9	1.6	1.6	1.1	0
処理場数(累積度数)	230	185 (182)	51	118	132	136	143	149	151	154	161	161	164	166	177	180	183	185	185
割 合 (%)	—	100	27.6	63.8	71.4	73.5	77.3	80.5	81.6	83.2	87.0	87.0	88.6	89.7	95.7	97.3	98.9	100	100

(流入水)

項 目	全場 処 理数	測行処 定つ 理場 をた数	溶解性物質の濃度範囲 (mg/l)														
			100 未満	100 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以上
処理場数(度数)	230	197 (194)	1	5	36	53	27	14	6	8	1	5	22	6	4	2	7
割 合 (%)	—	100	0.5	2.5	18.3	26.9	13.7	7.1	3.0	4.1	0.5	2.5	11.2	3.0	2.0	1.0	3.6
処理場数(累積度数)	230	197 (194)	1	6	42	95	122	136	142	150	151	156	178	184	188	190	197
割 合 (%)	—	100	0.5	3.0	21.3	48.2	61.9	69.0	72.1	76.1	76.6	79.2	90.4	93.4	95.4	96.4	100

項 目	全場 処 理数	測行処 定つ 理場 をた数	蒸発残留物の濃度範囲 (mg/l)														
			100 未満	100 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以上
処理場数(度数)	230	208 (205)	0	0	7	22	35	34	34	7	10	3	27	14	4	2	9
割 合 (%)	—	100	0	0	3.4	10.6	16.8	16.3	16.3	3.4	4.8	1.4	13.0	6.7	1.9	1.0	4.3
処理場数(累積度数)	230	208 (205)	0	0	7	29	64	98	132	139	149	152	179	193	197	199	208
割 合 (%)	—	100	0	0	3.4	13.9	30.8	47.1	63.5	66.8	71.6	73.1	86.1	92.8	94.7	95.7	100

項 目	全理 処 理数	測行処 定つ場 をた数	塩素イオン濃度の範囲 (mg/ℓ as Cl ⁻)																
			50 未 満	50 ℓ 100	100 ℓ 150	150 ℓ 200	200 ℓ 300	300 ℓ 400	400 ℓ 500	500 ℓ 600	600 ℓ 700	700 ℓ 800	800 ℓ 900	900 ℓ 1000	1000 ℓ 2000	2000 ℓ 3000	3000 ℓ 4000	4000 ℓ 5000	5000 以
処理場数(度数)	230	182 (179)	53	63	9	6	6	8	7	3	3	1	6	1	8	4	4	0	0
割 合 (%)	—	100	29.1	34.6	4.9	3.3	3.3	4.4	3.8	1.6	1.6	0.5	3.3	0.5	4.4	2.2	2.2	0	0
処理場数(累積度数)	230	182 (179)	53	116	125	131	137	145	152	155	158	159	165	166	174	178	182	182	182
割 合 (%)	—	100	29.1	63.7	68.7	72.0	75.3	79.7	83.5	85.2	86.8	87.4	90.7	91.2	95.6	97.8	100	100	100

(d) 昭和45年

(放流水)

項 目	全場 処 理数	測行処 定場 をた数	溶解性物質の濃度範囲 (mg/L)														
			100 未満	100 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以上
処理場数(度数)	218	180 (178)	2	14	53	43	13	9	4	2	3	2	21	7	1	1	5
割 合 (%)	—	100	1.1	7.8	29.4	23.9	7.2	5.0	2.2	1.1	1.7	1.1	11.7	3.9	0.6	0.6	2.8
処理場数(累積度数)	212	180 (178)	2	16	69	112	125	134	138	140	143	145	166	173	174	175	180
割 合 (%)	—	100	1.1	8.9	38.3	62.2	69.4	74.4	76.7	77.8	79.4	80.6	92.2	96.1	96.7	97.2	100

項 目	全場 処 理数	測行処 定場 をた数	蒸発残留物の濃度範囲 (mg/L)														
			100 未満	100 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以上
処理場数(度数)	212	190 (188)	2	5	43	60	20	10	4	3	4	2	21	7	2	2	5
割 合 (%)	—	100	1.1	2.6	22.6	31.6	10.5	5.3	2.1	1.6	2.1	1.1	11.1	3.7	1.1	1.1	2.6
処理場数(累積度数)	212	190 (188)	2	7	50	110	130	140	144	147	151	153	174	181	183	185	190
割 合 (%)	—	100	1.1	3.7	26.3	57.9	68.4	73.7	75.8	77.4	79.5	80.5	91.6	95.3	96.3	97.4	100

項 目	全場 処 理数	測行処 定場 をた数	塩素イオン濃度の範囲 (mg/l as Cl ⁻)																
			50 未満	50 ┌ 100	100 ┌ 150	150 ┌ 200	200 ┌ 300	300 ┌ 400	400 ┌ 500	500 ┌ 600	600 ┌ 700	700 ┌ 800	800 ┌ 900	900 ┌ 1000	1000 ┌ 2000	2000 ┌ 3000	3000 ┌ 4000	4000 ┌ 5000	5000 以上
処理場数（度数）	212	178 (176)	46	65	14	4	8	7	5	2	4	6	3	0	6	3	3	0	2
割 合（％）	—	100	25.8	36.5	7.9	2.2	4.5	3.9	2.8	1.1	2.2	3.4	1.7	0	3.4	1.7	1.7	0	1.1
処理場数（累積度数）	212	178 (176)	46	111	125	129	137	144	149	151	155	161	164	164	170	173	176	176	178
割 合（％）	—	100	25.8	62.4	70.2	72.5	77.0	80.9	83.7	84.8	87.1	90.4	92.1	95.5	97.2	98.9	98.9	98.9	100

(流入水)

項 目	全場 処 理 数	測行処 定 [*] 理 場 をた数	溶 解 性 物 質 の 濃 度 範 囲 (mg/l)														
			100 未満	100 } 200	200 } 300	300 } 400	400 } 500	500 } 600	600 } 700	700 } 800	800 } 900	900 } 1000	1000 } 2000	2000 } 3000	3000 } 4000	4000 } 5000	5000 以上
処 理 場 数 (度 数)	212	181 (179)	0	3	35	51	21	15	3	5	7	1	26	7	2	0	5
割 合 (%)	—	100	0	1.7	19.3	28.2	11.6	8.3	1.7	2.8	3.9	0.6	14.4	3.9	1.1	0	2.8
処 理 場 数 (累 積 度 数)	212	181 (179)	0	3	38	89	110	125	128	133	140	141	167	174	176	176	181
割 合 (%)	—	100	0	1.7	21.0	49.2	60.8	69.1	70.7	73.5	77.3	77.9	92.3	96.1	97.2	97.2	100

項 目	全場 処 理 数	測行処 定 [*] 理 場 をた数	蒸 発 残 留 物 の 濃 度 範 囲 (mg/l)														
			100 未満	100 } 200	200 } 300	300 } 400	400 } 500	500 } 600	600 } 700	700 } 800	800 } 900	900 } 1000	1000 } 2000	2000 } 3000	3000 } 4000	4000 } 5000	5000 以上
処 理 場 数 (度 数)	212	187 (185)	0	0	6	16	27	31	27	10	11	7	34	8	3	1	6
割 合 (%)	—	100	0	0	3.2	8.6	14.4	16.6	14.4	5.3	5.9	3.7	18.2	4.3	1.6	0.5	3.2
処 理 場 数 (累 積 度 数)	212	187 (185)	0	0	6	22	49	80	107	117	128	135	169	177	180	181	187
割 合 (%)	—	100	0	0	3.2	11.8	26.2	42.8	57.2	62.6	68.4	72.2	90.4	94.7	96.3	96.8	100

項 目	全場 処 理 数	測行処 定 [*] 理 場 をた数	塩 素 イ オン 濃 度 の 範 囲 (mg/l as Cl ⁻)																
			50 未 満	50 { 100	100 { 150	150 { 200	200 { 300	300 { 400	400 { 500	500 { 600	600 { 700	700 { 800	800 { 900	900 { 1000	1000 { 2000	2000 { 3000	3000 { 4000	4000 { 5000	5000 以 上
処 理 場 数 (度 数)	212	172 (170)	40	63	14	4	8	8	5	2	6	2	4	1	8	3	2	1	1
割 合 (%)	—	100	23.3	36.6	8.1	2.3	4.7	4.7	2.9	1.2	3.5	1.2	2.3	0.6	4.7	1.7	1.2	0.6	0.6
処 理 場 数 (累 積 度 数)	212	172 (170)	40	103	117	121	129	137	142	144	150	152	156	157	165	168	170	171	172
割 合 (%)	—	100	23.3	59.9	68.0	70.3	75	79.7	82.6	83.7	87.2	88.4	90.7	91.3	95.9	97.7	98.8	99.4	100

前後、塩素イオンでは $100 \text{ mg}/\ell$ 以下が一般的なものといえよう。

水の使用によって下水中に付加される無機塩類の量については、ベースとなる上水についての調査を行ってないため明確なものは得られていない。しかし、日本の水では蒸発残留物が平均で、河川水が $77 \sim 97 \text{ mg}/\ell$ 、地下水が $130 \text{ mg}/\ell$ 前後であるとされており⁸⁾、上水として取水する場合の平均的な値としては $100 \text{ mg}/\ell$ 程度のもものと推定され、溶解性物質としても多少小さくなるものの前述の値に近いものと推定される。この値から付加される溶解性物質の値を算出すると 1ℓ 当たり約 200 mg 程度ということとなる。ちなみに米国のある下水処理場において溶解性物質の増加が約 $340 \text{ mg}/\ell$ という報告がある⁹⁾。

下水処理水中の溶解性物質が上水基準並みの値といえる $500 \text{ mg}/\ell$ 以下の処理場数は全体の約70%である。これらの処理場では他用途供給方式（再利用後の排水が下水処理場に流入しない方式；例えば農業用水、工業用水への利用）では無機塩類が問題となることは少ないといえる。同一用途内循環方式（再利用後の排水が下水処理場に流入方式；例えば中水道、雑用水への利用）では再利用率（循環率）の増加とともに問題となってくる。これは無機塩類が従来の下水処理では除去が期待できないため、循環利用によって下水中に蓄積されることが予想されるためである。しかしながら現在検討をされている循環率はたかだか20%程度のものであり、また循環利用が下水処理区全域に普及するわけではないので、差し当たって無機塩類が問題となることは少ないと考えられる。

下水処理水中の溶解性物質が $1,000 \text{ mg}/\ell$ を超える処理場が15%あることに示されるように、無機塩類濃度の高い処理場もかなり見られる。このような処理水では再利用の全ての用途に不適当といえないまでも、制限を受ける可能性が高く、無機塩類の除去（脱塩）を要求されることも多くなると考えられる。一般に処理水中の無機塩類濃度が高い場合の原因は海水の混入があげられることが多い。再利用の水源としてはこのような処理水は用いないことが望ましい。水源として無機塩類濃度の高い処理水しかない場合には必要とする水量のみを脱塩することも解決策ではあるが、将来的に再利用量の増大が見込まれるならば、下水管渠に侵入してくる海水の量を減らすことがまず重要であり、その上で脱塩を検討することが得策といえる。

4. 無機塩類の除去技術

水中の無機塩類の除去については、海水、地下かん水の淡水化技術の応用が可能であり、イオン交換法、蒸留法、逆浸透法、電気透析法などが実用化されている。これら4つのプロセスのうちイオン交換法、電気透析法は塩類を溶媒から移動して除去するのに対し、蒸留法、逆浸透法は溶媒を移動させて塩類除去するところに大きな差異があり、基本的には、塩類濃度の小さいときには塩類を移動、除去する方法が有利であり、一方、高塩類水に対しては溶媒移動が有利とされている¹⁾。また、各プロセスの除去到達濃度も異なっている。一般に無機塩類がやや高濃度の下水処理水を上水程度の濃度まで除去するには逆浸透法および電気透析法が適している。以下に各プロセスの原理および特徴を述べる。

4.1 逆浸透法 (Reverse Osmosis)

図-4・1に示すように水のみしか通さない半透膜の両側に濃度の異なる二種の溶液を置くと、水は両側の濃度を均一にしようとする流れ(このとき働く圧力を浸透圧という)によって低濃度側から高濃度側に流れる。ここで高濃度側に浸透圧以上の機械的圧力を加えると水は上述とは逆に高濃度側から低濃度側に流れるため、無機塩類を含む水溶液から水のみを分離することが可能となる。

半透膜としてはLoeb型膜と呼ばれるセルロースアセテート膜が主に用いられており、操作圧力としては20~100 kg/cm²の高圧が必要である。

逆浸透法では無機塩類以外の濁質(浮遊物、溶解性有機物など)も副次的に除去される。これは水質面では都合のよいことではあるが、除去された濁質が膜面に沈着し目づまりの原因となる。この対策としては濁質を前処理によって除去しておく方法と、膜の洗浄により除去する方法とがあり、通常両者が並用されている。前処理の程度は原水水質によって異なってくるが、下水処理水についていえば浮遊物を取り除くろ過処理、および溶解性有機物を除去する活性炭吸着処理などかなり高度の前処理が必要とされている。

処理水量は膜面積に大きく左右されるため、浸透槽の容積当りの膜面積が大となるよう各種モジュール(膜を規格化したもの)が実用化されている。一般に容積当りの膜面積が大きなものほど膜の洗浄が難しいとされている。このため各種モジュールでの効果的な膜の洗浄方法および前処理の必要程度、組み合わせなどを中心に開発が洗められている。以下に各種モジュールの特徴などを述べる。

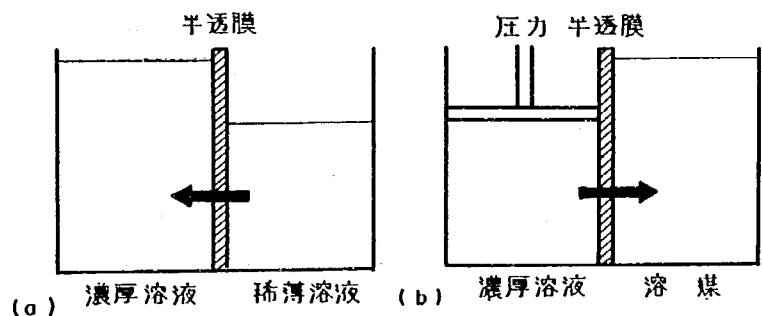


図-4・1 逆浸透の原理

(1) Plate and Frame 型¹¹⁾

図-4・2に示すように板状の支持材の両面に膜をおいて膜の周辺をOリングでシールし、これを多数重ね合せて締め付けるフィルタプレス型のものであり、平板状の支持板を使用する場合の浸透槽1 m³当りの膜面積は180~360 m²とされている。

(2) Spiral 型¹¹⁾

図-4・3に示すように2枚の膜の外周を接着した帯状の袋の中に多孔性支持材を収め、袋の外面にスパーサーを重ねてサンドイッチ状に巻き込まれたもので、これを蓋付圧力容器の中へ挿入したものである。膜を浸透して出る脱塩水は多孔性支持材を経て中心の採水管に集められる。原水はスパーサーで保持されている間隙をロール軸に平行に流れる。この方式では装置容積1 m³当り830~1,660 m²の膜面積を収めることができる。多孔性支持材としてナイロンやフェルトなどが使用されているが、運転圧力の増加にしたがって圧縮され、水の透過性が減少していくのであまり高い圧力はかけられない。しかし、非常にコンパクトにできる特徴がある。膜面の洗浄としては装置の運転を停止し、圧力水によってフラッシングする方法が一般的に採用されている。

(3) Tubular 型¹¹⁾

図-4・4 aおよびbにチューブ型浸透槽の例を示す。この装置は膜支持管として多孔質のガラス繊維管の内側に浸透膜をつけた多数本のチューブを束ねてモジュール形式としたものである。この方式ではチューブ膜の劣化が起きても容易に取り替えることができ、また膜面の沈着物の除去も装置を止めることなく、原水ラインにスポンジ状ボールを投入しチューブ内に挿入することで容易かつ確実に行うことができるという利点がある。反面、浸透槽1 m³に収め得る膜面積は33~330 m²程度と他に形式に較べてかなり小さいものとなる。

(4) Hollow-Fine-Fiber 型¹¹⁾

この形式は図-4・5に示すように、外径50クロン、内径25ミクロンといった微細口径繊維の中空ファイバーを束ねた熱交換器型の浸透槽である。膜充填密度は33,000~66,000 m²/m³程度と非常に高いが単位膜面積当りの流出量は少ないとされている。

三次処理研究室では逆浸透法の基礎的項目については小型試験機(膜面積462 cm²・平膜タイプ)を用いて検討を行っている。その一例として図-4・6に操作圧力と透過水量、脱塩率の関係を示す。透過水量は操作圧力に比例し、脱塩率は操作圧力に関係なくほぼ一定である。なお、下水処理水の脱塩での操作圧力は一般に40 kg/cm²程度の値が用いられており、この時の透過水量は1 m²当り0.4 ℓ/分(0.6 m³/日)であり、脱塩率は通常90%程度の値となる。

原水に対する生産水(希釈水)の割合(水回収率)は原水の塩類濃度によって異なるが、通常、50~80%の値をとることが多い。逆浸透法における濃縮廃液(ブライン)では無機塩類のみならず溶解性有機物なども濃縮されることとなる。したがって濃縮廃液の処理・処分では十分注意を払う必要がある。

4.2 電気透析法(Electrodialysis)

電気透析装置は図-4・7に示すように陽イオン交換膜と陰イオン交換膜を交互に配置し、両者

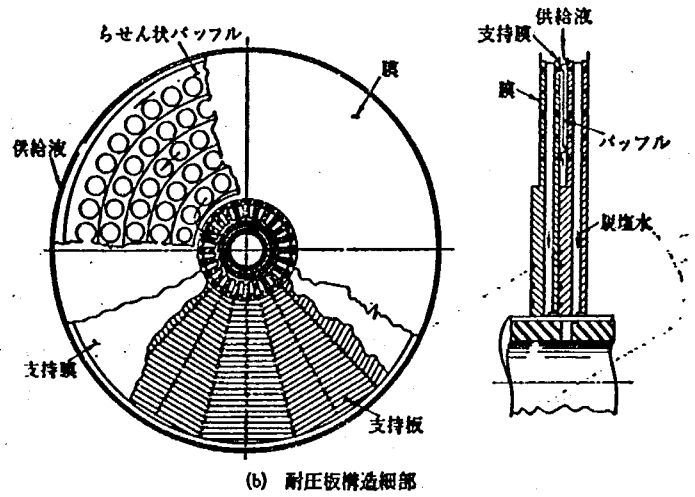
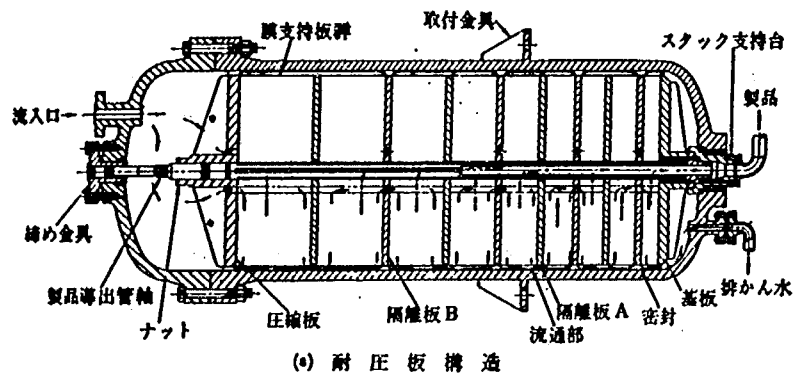


図-4・2 Plate and Frame 型逆浸透装置

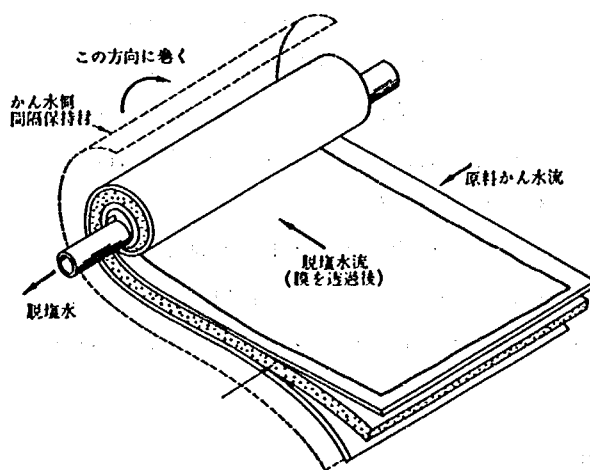


図-4・3(a) のり巻構造

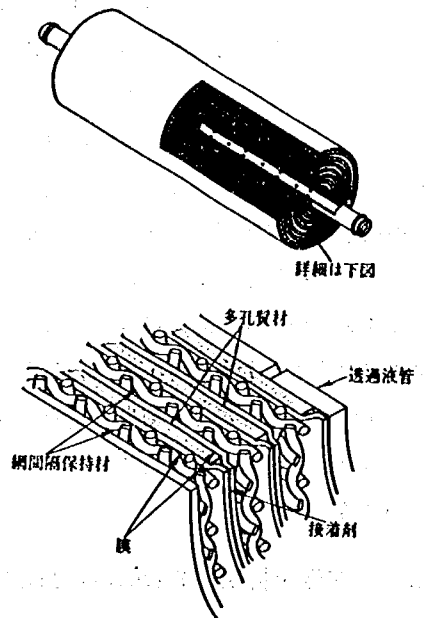


図-4・3(b) のり巻構造細部

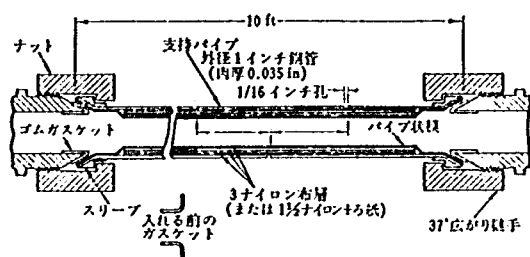


図-4・4(a)管式構造¹²⁾

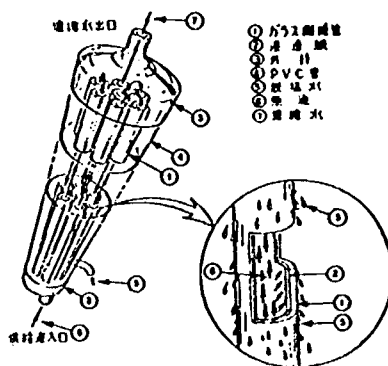


図-4・4(b)tubular型Module¹¹⁾

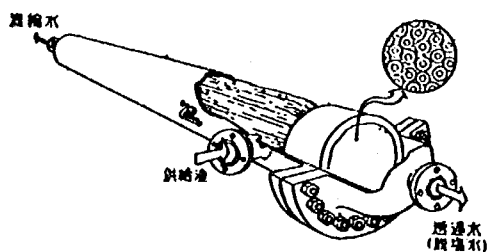


図-4・5 Hollow-Fine-Fiber Module¹¹⁾

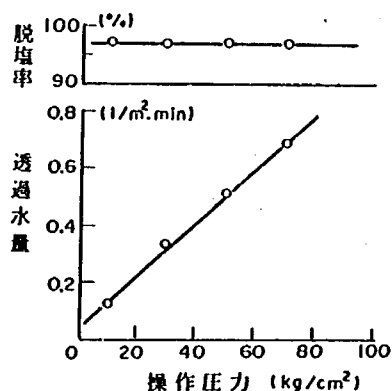


図-4・6 操作圧力と透過水量，脱塩率

で仕切られた小室で構成された透析槽と，両端に設置された陰陽両電極から成っている。各室を無機塩類を含む液で満し両電極間に直流電流を通すと陽イオンは陰極へ，陰イオンは陽極方向へ移動しようとする。ここで陽イオン交換膜は陽イオンのみを通し陰イオンは通さず，陰イオン交換膜は前者とは逆に陰イオンのみしか通さない性質を有する。したがってイオンが出てゆくみの小室(希釈室)と，イオンが入ってくるみの小室(濃縮室)とが交互にできる。希釈室と濃縮室の水を別々に集めることによりイオンの分離が可能となる。

電気透析法はその原理上，塩類の除去，濃縮どちらにも使用可能で，欧米では海水および地下かん水の脱塩で，日本では製塩の分野で発達してきたもので，技術的には我が国が最も進んでいる分野である。

電気透析法で除去できるのは水中でイオン化している無機塩類のみで，イオン化していない浮遊物，

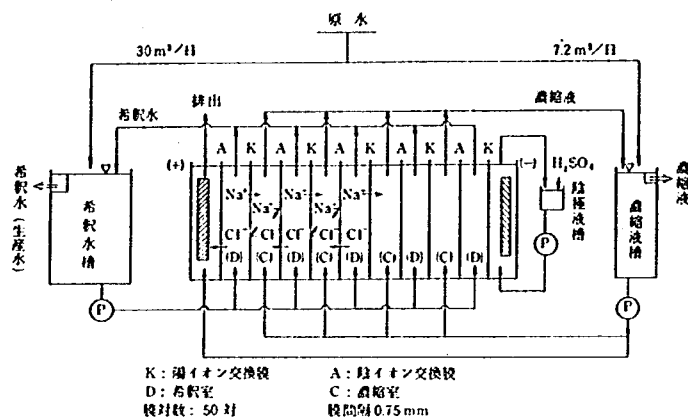


図-4・7 電気透析法のフロー

溶解性有機物は除去は期待できない。また、水中に溶解している無機物でも電離度の低い SiO_2 などについても除去率は小さいとされている。このため再利用上問題となる物質は前処理段階で除去しておく必要がある。装置の運転上必要な前処理としては小室内での浮遊物の沈殿等による閉塞の問題があるため、最低限ろ過が必要であるが、溶解性有機物等は除去されないことから濃縮もされないため、膜面の閉塞については逆浸透法よりも問題は少ないとされており、前処理としては簡単に済む場合が多いとされている。また、濃縮廃液についても濃縮されるのが無機塩類のみであり、その処理としては、pH調整程度の簡単なものですむ場合が多いとされている。

電気透析法での処理1回当たりの除去率は30～70%の値であり、通常50%程度の値が採用されることが多い。このため高脱塩率を得ようとする場合、複数槽あるいは同一槽を複数回通すこととなる。

三次処理研究室では電気透析法については室内規模（日処理水量333ℓ）およびパイロットプラント規模（標準日処理水量30m³/日）で本法の適用性、経済性などについて検討を行っており、この結果については後述する。

4.3 蒸留法

蒸留法は無機塩類を含む水を加熱沸騰させて蒸気を得、これを冷却して清水を得る手法である。蒸留法では大気圧のもとで水1kgを蒸発させるのに必要な熱量 Q は

$$Q = L + C$$

で表わされる（単位 kcal/kg）。このうち L は100℃における水1kgを蒸発させるに要する潜熱（latent heat）で、539 kcal/kg、 C は水1kgを温度 t （℃）から100℃まで加熱するのに要する顕熱（sensible heat）で

$$C = C_p (100 - t)$$

であり、 C_p は水の比熱であり、実用的には1 kcal/kg・℃が用いられる。以上は純水を加熱蒸発させる場合の熱量であり、水溶液の場合、溶質の濃度変化に従って、 C_p ならびに L は上述とは異なってくるが、実用上無視してもさしつかえないとされている¹²⁾。このため、蒸留法では無機塩類の濃淡によって、必要とするエネルギー量に変化がないのが一般的である。一方、他の方法では

無機塩類の濃度が增大するに伴いエネルギー量も増大するとされている。したがって蒸留法は高濃度側での脱塩には有利であるとされているが、濃度の低下とともに他方法との較べた場合の経済性は低下してゆくとされており、適用範囲は塩類濃度で30,000 mg/ℓ以上が望ましいとされている¹⁰⁾。

蒸留法において、必要とするエネルギー量を節減するために種々の手法がとられており、海水の淡水化では多段フラッシュ法および多重効用法といった手法が用いられている。図-4・8、4・9に多段フラッシュ法および多重効用法の概念を示す。

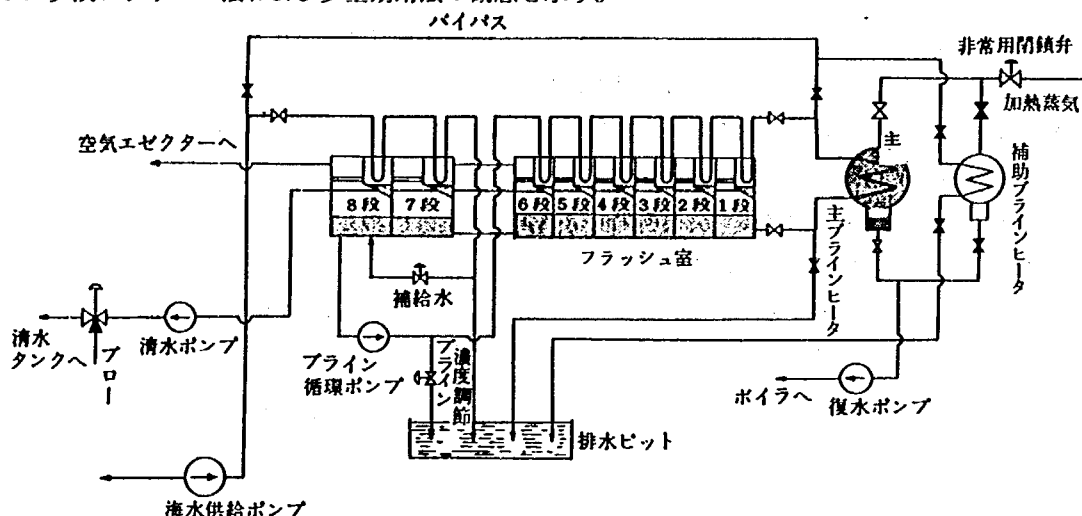


図-4・8 多段フラッシュ法の概念図¹³⁾

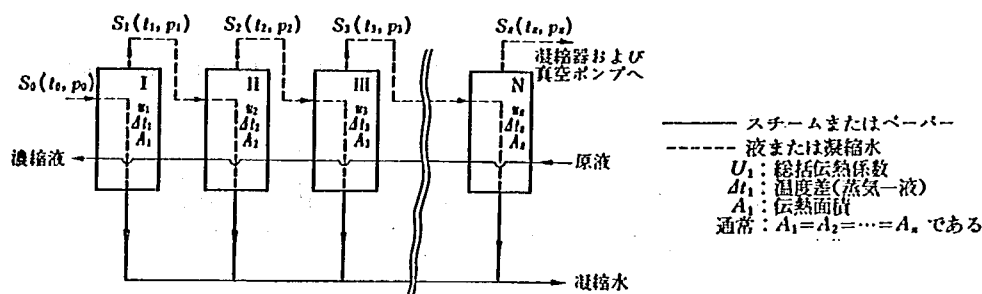


図-4・9 多重効用真空蒸発かんの作動原理¹²⁾

多段フラッシュ法は海水などを向流熱交換式に循環し、ブラインヒーターで、飽和圧以上に加熱し、次に順次低圧、低温になるフラッシュ室で一部を蒸発させ、海水などを冷却水として熱交換し、清水を得る方法である。熱交換により温度の上昇した冷却水はブラインヒーターにまわされる。

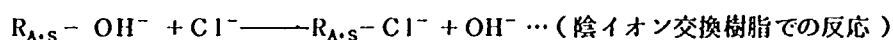
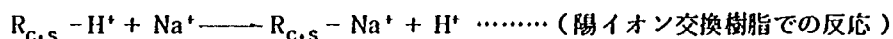
蒸発かんを用いる場合、通常1 tの水を蒸発させるために約1 tの蒸気が必要とされているが、この蒸気消費量を節減するために多重効用かんを用いる。その作動原理は第Iかんを加熱用蒸気で加熱し、液の蒸発により発生した蒸気で次のかんを加熱する方式を順次くり返す。熱経済と効用数Nとは概略的に

$$\text{熱経済} = 0.8 \cdot N$$

の関係があるとされており¹²⁾、効用数が多いほど熱経済的には有利となるが、設備は大となる。

4.4 イオン交換法

イオン交換法による脱塩は陽イオンおよび陰イオン交換樹脂のイオンの選択性を利用した交換反応を用いて行うものであり、無機塩類をNaClとした溶液を用いた場合の反応は次式のようになる。



このようにしてNa⁺、Cl⁻と交換されたH⁺、OH⁻は水の分子となり、無機塩類は溶液から除去された形となる。イオン交換樹脂の交換容量を表-4・1¹⁴⁾に示すが、交換容量の全てが無機塩類で満たされるとそれ以上反応が進まなくなるので再生が必要となる。陽イオン交換樹脂では高濃度の塩酸もしくは硫酸を、陰イオン交換樹脂では高濃度の水酸化ナトリウム溶液を接触させると上逆の反応とは逆の方向に進むため、樹脂は再使用が可能となる。

表-4・1 樹脂の交換容量 (Amberliteの例)¹⁴⁾

強酸性陽イオン交換樹脂						
	IR-120B	IR-118	IR-122	IR-124	200*	
総交換容量 (eq/l-R)	1.9	1.5	2.1	2.2	1.75	
架橋度	普	低	やや高	高	高	
最高操作温度 (°C)	120	120	120	120	120	
膨潤率	Na型→H型 5%	Na型→H型 10%	Na型→H型 5%	Na型→H型 5%	Na型→H型 5%	
販売時の型	Na型	Na型	Na型	Na型	Na型	
弱酸性陽イオン交換樹脂			I型強塩基性陰イオン交換樹脂			
	IRC-75	IRC-84	IRA-400	IRA-401	IRA-402	IRA-900*
総交換容量 (eq/l-R)	3.5	3.5	1.4	0.8	1.25	1.0
架橋度	普	普	普	低	やや低	普
最高操作温度 (°C)	120	120	Cl型80 OH型60	Cl型80 OH型60	Cl型80 OH型60	Cl型80 OH型60
膨潤率	H型→Na型 100%	H型→Na型 65%	Cl型→OH型 20%	Cl型→OH型 30%	Cl型→OH型 25%	Cl型→OH型 20%
販売時の型	H型	H型	Cl型	Cl型	Cl型	Cl型
II型強塩基性陰イオン交換樹脂			弱塩基性陰イオン交換樹脂			
	IRA-410	IRA-411	IRA-910*	IR-45	IRA-68	IRA-93*
総交換容量 (eq/l-R)	1.35	0.7	1.0	1.9	1.6	1.4
架橋度	普	低	普	普	普	普
最高操作温度 (°C)	Cl型80 OH型40	Cl型80 OH型40	Cl型80 OH型40	100	60	100
膨潤率	Cl型→OH型 10%	Cl型→OH型 20%	Cl型→OH型 15%	OH型→Cl型 15%	OH型→Cl型 30%	OH型→Cl型 45%
販売時の型	Cl型	Cl型	Cl型	OH型	OH型	OH型

* MR型 (6-3参照)

イオン交換法は塩類濃度 100~300 mg/ℓ程度の水を対象とし、このような低濃度の塩類でも問題となるボイラー用水、あるいはエレクトロニクス関係の超高度部品の洗浄用水などの純度の高い

水（純水）を製造するための手法である。イオン交換法は高塩類濃度でも適用可能であるが、樹脂の交換容量に限りがあるため、処理水量としては小さくなり、かつ再生もひんばんに行わなければならないため設備費、再生薬品費が割高となる。経済性から見た適用限度は塩類濃度で500mg/ℓ前後とされており、これ以上の濃度では逆浸透法や電気透析法などを用いて一旦上述の適用範囲まで落した上で本法を適用した方が安価となる例¹⁵⁾が多い。

イオン交換法では充填塔に樹脂をつめ、原液および再生液を通液する固定床タイプがもっぱら用いられている。脱塩を行うためには陽イオン交換樹脂と陰イオン交換樹脂の両者を使用しなければならないため、両者を1個の塔に充填する混床式（Mixed Bed）と別々の塔に充填しシリーズに通液する複床式（Two Bed）がある。小型装置では、一般に混床式が用いられ再生は、上向流で洗浄し比重差で両樹脂を分離し、図-4・10¹⁴⁾に示すように再生剤を通し、終了後攪拌して用いる。大型装置では図-4・11に示すように、陽イオン交換樹脂塔、脱炭酸塔、陰イオン交換樹脂塔の順に通水する2. bet 3 tower方式が多く用いられている。

4.5 その他の方法

上述の4方法以外の方法として冷凍法がある。無機塩類を含む水の温度をその氷点以下に下げ、過冷却状態にすると氷の結晶が析出する。結晶の成長速度とその形状は主に過冷却度に関係するが、攪拌容器内で過冷却度を0.1℃以下に保って晶析をつづけると粒状の単一結晶へ成長する。単一結晶へと成長した氷の結晶構造中には、水中の塩類は入りにくく、その成長界面で排除される。このため結晶表面に付着している濃縮水を洗い落したのち、氷を融かすことによって淡水を取り出すことが可能となる¹⁶⁾。図-4・12に直接冷凍

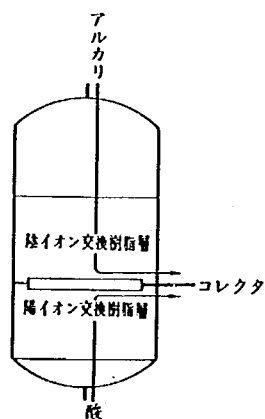


図-4・10 混床式樹脂塔の再生の経路図

法の基本概念図を、図-4・13に氷結晶の分離および洗浄方法の説明図を示す。直接冷凍法には真空容器内で塩水中の水分を蒸発させ、この蒸発熱を利用する1次冷媒法および、水に難溶性でガス水和物を形成しないノルマルブタンやフロンガスを冷媒として利用する2次冷媒法とがある¹⁶⁾。

冷凍法は凝固、融解が基本となっており、蒸発、凝縮が基本の蒸留法と較べて操作熱量は $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ 程度と必要エネルギーが少ないとされている¹⁷⁾。また、最近石油エネルギーの代替として液化天然ガス（LNG）の使用量が増大しているが、LNGの気化熱（冷熱）を利用して、ガスの冷熱を冷凍に利用し、ガスは燃料ラインに供給する方式を取ればエネルギーはさらに少なく、電力としてはさらに $\frac{1}{2}$ に低下するとされている¹⁷⁾。

冷凍法は海水程度の塩類濃度の水の脱塩では、安価で多量に生産するための秀れた技術であるとされているが、現在、実証プラント等で淡水化装置を高い生産能力を保持し、長期間安定した運転技術設計方法の確立等、実用化のための検討がなされている段階である。

最近、太陽エネルギーを利用した脱塩技術についても注目を集めている。現在、太陽エネルギーの利用としては熱に交換して使用する技術が最も進んでおり、この熱を利用した蒸留法が技術の主

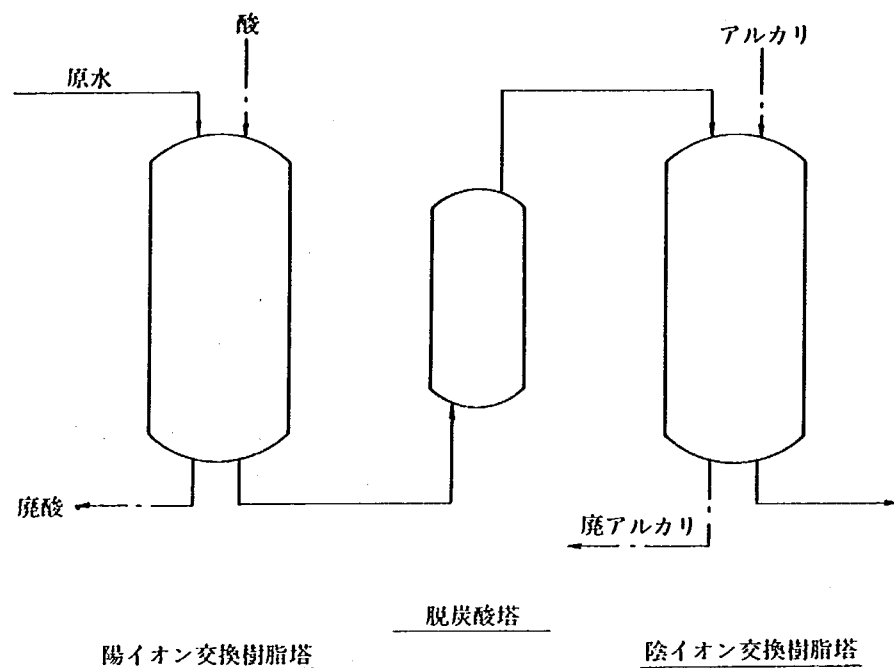


図-4・11 複床式のフロー例

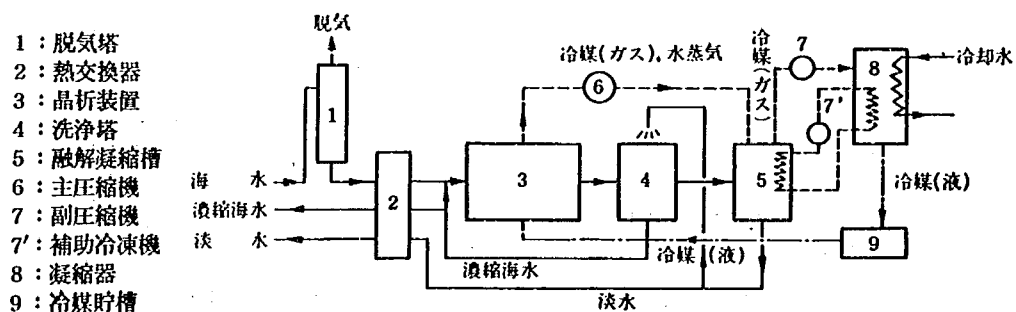


図-4・12 直接冷凍法による海水淡水化装置の基本工程図¹⁶⁾

流といえるが、逆浸透法や電気透析法等の膜法でも水温が高いと水の電気抵抗、粘性が減少しエネルギー原単位を下げる方向に働くため、これを利用する技術開発も行われている。また、太陽電池で直流電気を得て利用する技術開発も合せて行なわれている^{18), 19), 20)}。

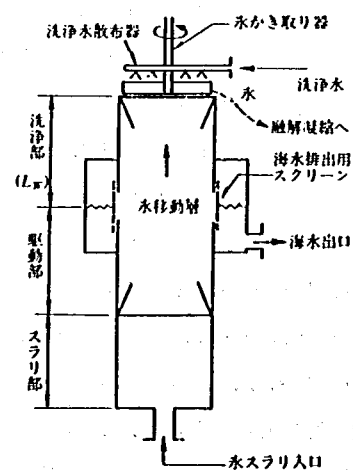


図-4・13 向流洗浄塔の説明図¹⁶⁾

5. 電気透析法による下水処理中の無機塩類除去実験

三次処理研究室では昭和54年よりパイロットプラント規模の電気透析装置により、本法の下水処理水への適用性について開始している。54年、55年度については食塩水および合成処理水を用い、電気透析法および本機の基礎的調査を行い、56年、57年度については装置を千葉県印旛沼流域下水道花見川処理場に移設し、実際の下水処理水を用いた連続実験を行い、本法の評価を行った。

5.1 食塩水および合成処理水による基礎実験

実験に用いた電気透析装置のフローを図-5・1に、装置の仕様を表-5・1に示す。本装置の公称能力はNaCl濃度1000mg/ℓを500mg/ℓ（50%除去）の条件で日処理量30m³となっている。透析槽は実機のスケールダウンタイプで、膜面積が1/4（実機は1,120mm×1,120mm=12554cm²）膜対数が1/4～1/2（実機は200～300対）のものである。なお、食塩水および合成処理水での実験では希釈水（生産水）と濃縮水を混合し、再び原水に用いるCD混合を実施している。

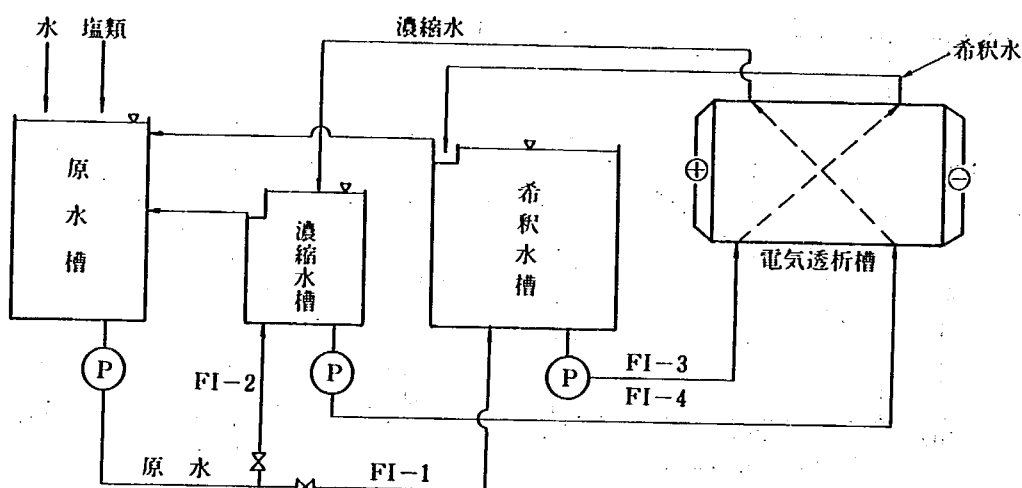


図-5・1 電気透析装置フロー（食塩水および合成処理水を用いた時）

食塩水および合成処理水の作成には水道水に食塩および表-5・1に示す組成の塩類を添加した。塩類組成の比率は海水成分に準じたものであり、これを採用した理由は、下水処理水の無機塩類が高い場合はおおむね海水の混入に起因することが多く、この場合の組成は海水に近くなると考えられるためである。

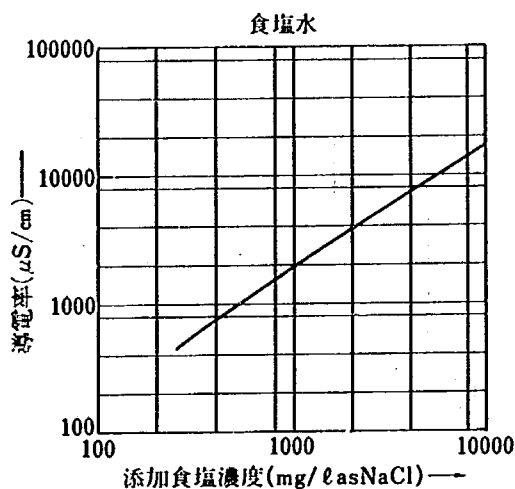
原水、生産水、濃縮水等の塩類濃度については、蒸留水に食塩および上記組成の塩類を添加したものの導電率を測定しておき、これを検量線として換算、算出した。図-5・2、5・3に食塩水、合成処理水の検量線を示しておく。導電率の測定は装置内に組み込まれた自動計測器（3ヶ所；原水、生産水、濃縮水を連続測定）の値をチャートから30分ごとの値を拾っている。また、これとは別に原水タンク内（原水）、希釈水タンク、濃縮水タンク（濃縮水）、陰極液タンク、生産水の5ヶ所については1日4回、スポットで採水を行い、導電率およびpHを分析している。

表-5・1 電気透析装置の仕様

a) 装置の性能		
処理水量	:	30 m ³ /日
脱塩能力	:	NaCl 1000 mg/ℓ → 500 mg/ℓ
b) 機器の仕様		
整流器	:	Max 35 V - 15 A
有効膜面積	:	220 mm × 1,120 mm = 2,464 cm ²
陽イオン交換膜	:	アシプレックス K-101 50枚
陰イオン交換膜	:	アシプレックス A-201 50枚
中性膜	:	アシプレックス N-101 2枚
膜対数	:	50対
電気透析槽型式	:	SS-⅓
原水ポンプ	:	30 ℓ/min × 7 mH 1.5 kw
循環ポンプ	:	40 ℓ/min × 6.5 mH 0.75 kw
濃縮液ポンプ	:	20 ℓ/min × 7 mH 0.75 kw
陰極液ポンプ	:	2 ℓ/min × 6 mH 0.15 kw

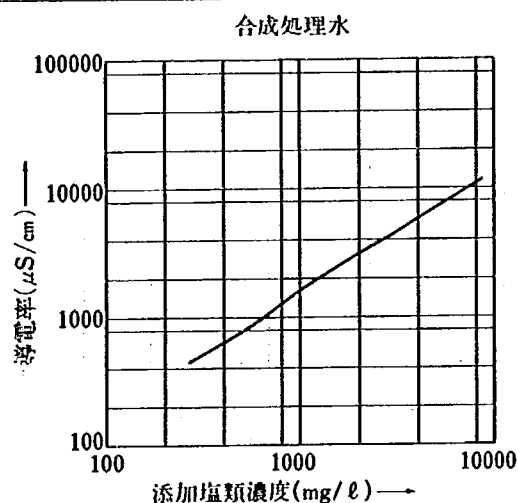
合成液の塩類組成

NaCl	77.3%
MgSO ₄	9.6%
MgCl ₂	7.1%
CaCl ₂	3.3%
KCl	2.1%
NaHCO ₃	0.6%



(注)換算式としてはおおむね
 $\text{食塩濃度(mg/ℓ)} = 0.521 \times (\text{導電率})$

図-5・2 食塩濃度の検量線



(注)換算式としてはおおむね
 $\text{塩類濃度(mg/ℓ)} = 0.680 \times (\text{導電率})$

図-5・3 塩類濃度の検量線

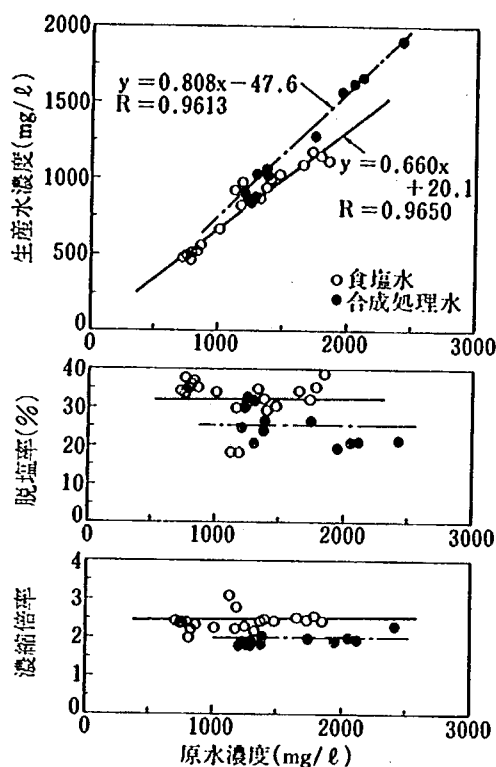
5.1.1 原水濃度の影響

電気透析法では原水の塩類濃度の変動は生産水に直接影響を与える。図-5・4、表-5・2、5・3、5・4に原水の塩類濃度を变化させた場合の生産水の濃度、脱塩率、および濃縮倍率を示すが、原水濃度に関係なく、脱塩率、濃縮倍率はほぼ一定の値となる。電気透析における脱塩量は透析電流に比例するが、透析電圧(極間電圧)を一定とした場合、透析槽内の電気抵抗に左右されることとなる。原水の塩類濃度が高くなれば電流を運ぶイオンの量が多くなることから透析槽の電気抵抗は減少し、電流量としては増大することとなる。この結果として脱塩率、濃縮倍率が一定になると考えられる。

食塩水と合成処理水での結果を比較すると、脱塩率、濃縮倍率とも食塩水の方が高い値が得られ

ている。

この理由としては、合成処理水での実験が食塩水での実験の約3ヶ月後に実施しており、この間透析槽内の洗浄を行っていないことによる膜面の汚れ、および水温の測定は行っていないが合成処理水の方が水温の低いと思われる時期（食塩水-12月、合成処理水-2月）に行っていることがまず考えられる。しかし、その第1義的なものは食塩水と合成処理水とが塩類組成が異なることによる水の比抵抗が違うことがあげられる。先の塩濃度の検量線（図-5・2、5・3参照）を較べると同一（重量）濃度では食塩水の方が高い導電率を示す。導電率は水が電流を伝導する能力を表わし、断面1 cm²、長さ1 cmの溶液の対面間の抵抗の逆数を示す。単位はS/cmであるが、自然水の導電率は通常小さいのでμS/cmで表わす（Sはジーメンスと読む）。一例を上げると塩添加濃度1000mg/ℓの場合、食塩水および合成処理水の導電率はそれぞれ1920、1470 μS/cmとなり、水の電気抵抗はそれぞれ521、680 Ω/cmとなり、合成処理水の方が30%程度高いこととなる。この値は合成処理水の脱塩率および濃縮倍率の低下の割合とほぼ一致している。



(注)実験条件

極間電圧; 25V

部分循環率; 50%(生産水量28.8m³/日)

水回収率; 80%

図-5・4 原水の濃度変動の影響

表-5・2 原水濃度を变化させた場合の結果(自動計測分)

項目 設定濃度	透析電流		原水		生産水			脱塩率 (%)	濃縮水			濃縮倍率	脱塩量			電流効率 (%)	
	極間電流 (A)	電流密度 mA/cm	EC μS/cm	塩濃度 mg/l	流量 m ³ /hr	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		流量 m ³ /hr	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		重量 mg/l	當量 me/l	膜面積 當量 mg/cm ² /hr		
食塩水	500 mg/l	2.62	1.06	1340	698	1.16	925	482	31.0	0.30	3,700	1,928	2.76	216	3.70	2.04	87.7
	1000 "	3.06	1.24	1540	802	1.15	1,050	647	31.8	0.30	4,340	2,261	2.82	255	4.36	2.38	87.9
	1500 "	4.27	1.73	2210	1,151	1.16	1,590	828	28.1	0.30	6,130	3,194	2.77	323	5.52	3.04	80.4
	2000 "	5.43	2.20	2770	1,443	1.15	1,890	985	31.8	0.30	7,680	4,001	2.77	458	7.84	4.28	89.0
	500 "	5.61	2.28	2,800	1,459	1.12	1,900	990	32.1	0.30	8,040	4,189	2.87	469	8.02	4.26	85.8

項目 設定濃度	透析電流		原水		生産水		脱塩率 (%)	濃縮水			濃縮倍率	脱塩量		電流効率 (%)		
	極間電流 (A)	電流密度 mA/cm	EC μS/cm	塩濃度 mg/l	流量 m ³ /hr	EC μS/cm		塩濃度 mg/l	流量 m ³ /hr	EC μS/cm		塩濃度 mg/l	重量 mg/l		当量 me/l	膜面積り mg/cm ² /hr
500 mg/l	2.28	0.93	1,550	1,054	1.16	1,160	789	25.2	0.30	3,700	2,516	2.39	26.5	4.57	2.50	124.7
1500 "	3.18	1.29	2,150	1,462	1.17	1,680	1,142	21.9	0.31	4,890	3,325	2.27	32.0	5.51	3.04	108.7
2500 "	4.65	1.89	3,030	2,060	1.17	2,370	1,612	21.8	0.30	7,160	4,869	2.36	44.9	7.74	4.26	104.4

(注) × 自動計測器スケールアウトのため手分析値の平均値で代用
極間電圧 25 V

表-5・3(1) 原水濃度を変化させた場合の結果(手分析)

項 目 実験 条件 排時時刻			希釈水タンク (T-1)			濃縮水タンク (T-2)			陰極液タンク (T-3)			原水タンク (T-4)			生 産 水			(食塩水)	
			pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	脱 塩 率 (%)	濃 縮 倍 率
				$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l		$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l		$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l		$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l		$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l		
No.1 設定濃度 (NaCl): 500mg/l	1	12:00	7.5	1,213	632	7.5	3,004	1,565	1.9	24,225		7.5	1,535	800	7.4	1,017	530	33.7	1.99
	2	14:00	7.4	1,178	614	7.6	3,295	1,717	2.0	22,481		7.5	1,452	756	7.4	948	494	34.7	2.27
	3	17:00	7.4	1,141	594	7.6	3,391	1,767	2.1	22,481		7.5	1,488	775	7.4	1,004	523	32.5	2.28
	4	11:00	7.4	1,093	569	7.6	3,198	1,666	2.2	20,349		7.5	1,390	724	7.5	953	497	31.4	2.30
No.2 (NaCl): 1000mg/l	1	12:00	7.5	1,159	604	7.6	3,256	1,696	2.2	19,767		7.5	1,428	744	7.5	979	510	31.4	2.28
	2	14:00	7.4	1,178	614	7.6	3,353	1,747	2.4	19,244		7.6	1,564	815	7.3	1,027	535	34.3	2.14
	3	17:00	7.5	1,264	659	7.6	3,585	1,868	1.8	26,357		7.6	1,614	841	7.5	1,083	564	32.9	2.22
	4	11:00	7.6	1,440	750	7.6	4,050	2,110	2.1	22,287		7.6	1,876	977	7.6	1,279	666	31.8	2.16
No.3 (NaCl): 1500mg/l	1	14:00	7.5	1,899	989	7.6	4,690	2,443	2.4	18,198		7.5	2,171	1,131	7.5	1,556	811	28.3	2.16
	2	16:00	7.5	1,860	969	7.5	5,116	2,665	1.9	24,612		7.5	2,306	1,201	7.5	1,626	847	29.5	2.22
	3	17:00	7.4	1,880	979	7.5	5,194	2,706	1.9	24,225		7.5	2,442	1,272	7.5	1,634	851	33.1	2.13
	4	10:00	7.5	1,919	1,000	7.4	6,221	3,241	2.2	19,767		7.4	2,093	1,090	7.5	1,733	903	17.2	2.97
No.4 (NaCl): 2000mg/l	1	13:00	7.5	2,190	1,141	7.5	6,008	3,130	2.0	26,938		7.5	2,539	1,323	7.5	1,760	917	30.7	2.37
	2	14:00	7.5	2,151	1,121	7.6	6,182	3,221	2.1	27,132		7.6	2,578	1,343	7.6	1,851	964	28.2	2.40
	3	17:00	7.6	2,171	1,131	7.6	6,357	3,312	1.9	24,225		7.6	2,694	1,404	7.6	1,911	996	29.1	2.36
	4	12:00	7.3	2,558	1,333	7.3	7,539	3,928	2.2	25,000		7.3	3,140	1,636	7.2	2,171	1,131	30.9	2.40
No.5 (NaCl): 500mg/l	1	13:00	7.4	2,616	1,363	7.5	7,946	4,140	1.7	28,488		7.5	3,333	1,736	7.5	2,074	1,081	37.8	2.38
	2	15:00	7.5	2,384	1,242	7.5	8,043	4,190	1.8	27,132		7.5	3,236	1,686	7.5	2,132	1,111	34.1	2.49
	3	17:00	7.4	2,539	1,323	7.5	7,384	3,847	2.0	27,134		7.5	3,004	1,565	7.5	2,016	1,050	32.9	2.46
	4	11:00	7.3	2,209	1,151	7.4	5,891	3,069	2.0	23,256		7.4	2,190	1,141	7.3	1,812	944	17.3	2.69

表-5・3(2) 原水濃度を变化させた場合の結果(手分析)

(合成処理水) A

項目 採水時刻 実験条件			希釈水タンク(T-1)			濃縮水タンク(T-2)			陰極液タンク(T-3)			原水タンク(T-4)			生産水			脱塩率(%)	濃縮倍率
			pH	EC μS/cm	塩類濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類濃度 mg/l		
No.1 設定濃度 (塩類濃度): 500mg/l	1	12:00	7.5	1,334	907	7.5	3,179	2,162	2.3	20,028		7.5	1,835	1,248	7.6	1,282	872	30.1	1.73
	2	15:00	7.5	1,318	896	7.5	3,165	2,152	2.2	21,148		7.5	1,779	1,210	7.5	1,228	835	31.0	1.78
	3	17:00	7.5	1,339	911	7.8	3,207	2,181	2.1	21,931		7.6	1,751	1,191	7.5	1,249	849	28.7	1.83
	4	11:00	7.7	1,390	945	7.6	3,015	2,050	2.1	23,134		7.6	1,716	1,167	7.6	1,313	893	23.5	1.76
No.2 (塩類濃度): 1500mg/l	1	12:00	7.7	1,689	1,149	7.8	3,439	2,339	2.1	22,109		7.5	1,850	1,258	7.7	1,486	1,010	19.7	1.86
	2	14:30	7.7	1,719	1,169	7.5	3,497	2,378	2.0	18,209		7.4	1,953	1,328	7.4	1,510	1,027	22.7	1.79
	3	16:30	7.7	1,777	1,208	7.6	3,916	2,663	2.1	18,353		7.2	1,965	1,336	7.5	1,469	999	25.2	1.99
	4	10:00	7.8	2,168	1,474	7.8	4,684	3,185	2.3	20,597		7.5	2,441	1,660	7.8	1,821	1,238	25.4	1.92
No.3 (塩類濃度): 2500mg/l	1	12:00	7.7	2,442	1,661	7.6	5,043	3,429	2.2	20,376		7.3	2,717	1,848	7.6	2,211	1,503	18.6	1.86
	2	15:00	7.7	2,535	1,724	7.6	5,562	3,782	2.3	19,188		7.3	2,857	1,943	7.7	2,283	1,552	20.1	1.95
	3	17:00	7.7	2,605	1,771	7.6	5,830	3,828	2.4	19,748		7.4	2,941	2,000	7.7	2,339	1,591	20.5	1.91
	4	11:00	7.5	3,107	2,113	7.4	7,824	5,184	2.1	23,410		7.2	3,361	2,285	7.5	2,661	1,809	20.8	2.27

(注) 導電率(EC)と塩濃度が近似的に相関性が高いのはpH 5~9の範囲とされているので陰極液の換算は行わない。

脱塩率が一定であるということは原水の濃度変動の影響がそのまま生産水の濃度の表われてくることを意味する。これが再利用上都合が悪い場合には対応策が必要となる。対応策等については後述するので参考されたい。

5.1.2 部分循環法に関する検討

本装置は図-5・1のフローに示すように一度透析槽内を通った希釈水の一部を原水ラインに返送する部分循環法を採用している。ここで部分循環率を操作することで脱塩率を操作することが可能である。なお部分循環率は次式で表わされ、一度透析槽を通過した液がもう一度透析槽を通る割合を示すものである。

$$\text{部分循環率 (\%)} = \frac{(FI-3) - (FI-1)}{(FI-3)} \times 100$$

ここで FI-3 ; 透析槽への供給流量 (一定, $2.4 \text{ m}^3/\text{hr}$)

FI-1 ; 原水供給量 (生産水量 m^3/hr)

例えば、部分循環率を80%とすると、透析槽を通過した液の80%がもう一度透析槽を通過するわけであり、原水から見ると $100 / (100 - \text{部分循環率}(80)) = 5$ で、5回透析槽を通った後、生産水として出てくることを意味する。

図-5・5および表-5・4, 5・5, 5・6, 5・7に部分循環率を変えた場合の結果を示す。同図に示すように部分循環率を高くすれば、脱塩率、濃縮倍率とも向上する。

部分循環法は原水の濃度変動の影響が生産水の濃度に表われないための措置としてよく活用される。原水に濃度変動があってもこれに対応した部分循環率を設定することにより生産水の濃度を一定とすることが可能であり、具体的には生産水の導電率を自動計測し、生産水ラインにこの導電率計に連動したバルブを設け、導電率(塩濃度)が高くなったらバルブを絞って部分循環率を増し、低くなったらバルブの開度を高めて部分循環率を低下させる。この方法は本装置では採用されていないが、シーケンス的には比較的簡単なものとされており、また導電率の自動計測の信頼性も高いとされていることから採用の例は多い。

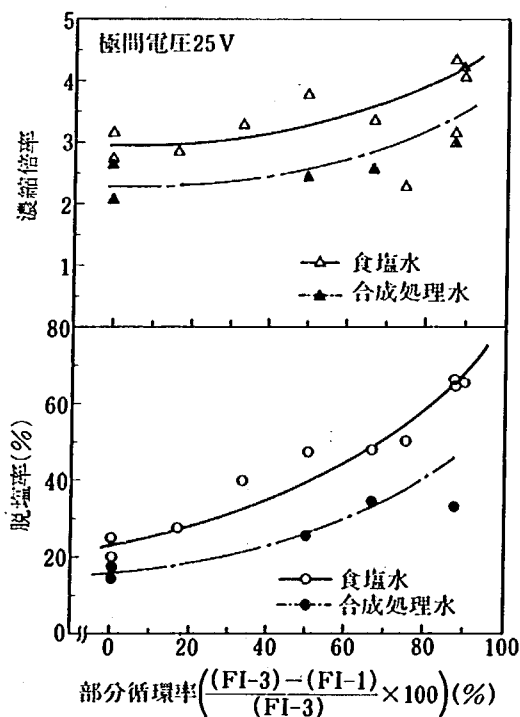


図-5・5 部分循環率と脱塩率

表-5・4 部分循環率を変えた場合(1) (自動計測分)

(食塩水)

項目 部分循環率		透析電流		原 水		生 産 水			脱 塩 率 (%)	濃 縮 水			濃 縮 倍 率	脱 塩 量			電 流 効 率 (%)
		極 間 電 流 (A)	電 流 密 度 mA/cm ²	EC μS/cm	塩濃度 mg/l	流 量 m ³ /hr	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		流 量 m ³ /hr	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		重 量 示 mg/l	当 量 示 m.e./l	膜面積 当り mg/cm ² /hr	
食 塩 水	0 %	621	2.52	2,060	1,073	2.30	1,550	808	24.8	0.58	5,650	2,944	2.74	266	4.54	496	90.2
	16.7 %	5.75	2.33	1,970	1,026	2.06	1,430	745	27.4	0.48	5,590	2,912	2.84	281	4.81	470	92.4
	33.3 %	4.98	2.02	1,560	813	1.61	939	489	39.8	0.42	5,130	2,673	3.29	324	5.53	423	95.9
	50 %	4.51	1.83	1,480	771	1.18	781	407	47.2	0.28	5,590	2,912	3.78	364	6.23	349	87.3
	66.7 %	4.16	1.69	2,040	1,063	0.78	1,060	552	48.0	0.20	6,860	3,574	3.36	511	8.73	323	87.7

(合成処理水)

項 目 部分循環率		透析電流		原 水		生 産 水			脱 塩 率 (%)	濃 縮 水			濃 縮 倍 率	脱 塩 量			電 流 効 率 (%)
		極 間 電 流 (A)	電 流 密 度 mA/cm ²	EC μS/cm	塩濃度 mg/l	流 量 m ³ /hr	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		流 量 m ³ /hr	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		重 量 示 mg/l	当 量 示 me./l	膜面積 当り mg/cm ² /hr	
合成処理水	0 %	3.45	1.40	1,940	1,319	2.37	1,660	1,129	14.4	0.61	4,010	2,727	2.07	190	3.28	3.66	120.9
	50 %	3.12	1.27	2,010	1,367	1.20	1,500	1,020	25.4	0.30	4,910	3,339	2.44	347	5.98	3.38	123.3
	66.7 %	2.88	1.17	2,120	1,442	0.80	1,390	945	34.4	0.20	5,450	3,706	2.57	496	8.56	3.22	127.5

(注) 極間電圧 25 V

表-5・5 部分循環率を変えた場合(2) (自動計測分)

項 目 部分循環率		透 析 電 流		原 水		生 産 水			脱 塩 率 (%)	濃 縮 水			濃 縮 倍 率	脱 塩 量			電 流 効 率 (%)
		極 間 電 流 (A)	電 流 密 度 mA/cm	EC μS/cm	塩濃度 mg/l	流 量 m³/hr	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		流 量 m³/hr	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		重 量 mg/l	当 量 m.e./l	膜面積 当 り mg/cm² /hr	
食 塩 水	0 %	3.06	1.24	1,310	683	2.29	1,050	547	19.8	0.30	4,140	2,157	3.16	135	232	252	92.9
	75 %	5.89	2.39	3,850	2,006	0.57	1,920	1,000	50.1	0.29	8,780	4,574	2.28	1,006	17.19	465	89.2
	87.5%	4.56	1.85	4,040	2,105	0.25	1,430	745	64.6	0.06	17,500*	9,118	4.33	1,360	23.24	276	68.3
	89.6%	4.31	1.75	4,040	2,105	0.24	1,400	729	65.3	0.05	16,400*	8,544	4.06	1,375	23.51	268	70.2
	87.5%	2.93	1.19	3,330	1,735	0.30	1,130	589	66.1	0.07	10,500*	5,471	3.15	1,146	19.59	279	107.6

項目 部分循環率	透析電流		原 水		生 産 水			脱 塩 率 (%)	濃 縮 水			濃 縮 倍 率	脱 塩 量			電 流 効 率 (%)	
	極 間 電 流	電 流 密 度	EC	塩濃度	流 量	EC	塩濃度		流 量	EC	塩濃度		重 量	当 量	膜面積 当 り		
	(A)	mA/cm	μS/cm	mg/l	m³/hr	μS/cm	mg/l		m³/hr	μS/cm	mg/l		mg/l	m.e./l	mg/cm² /hr		
合成 処理水	0 %	3.13	1.27	1,700	1,156	2.42	1,400	952	17.6	0.31	4,490	3,053	2.64	204	3.52	4.01	145.8
	87.5%	2.39	0.97	2,850	1,938	0.30	1,910	1,299	33.0	0.06	8,580	5,834	3.01	639	11.02	1.56	74.2
	89.6%	6.00	2.44	3,290	2,237	0.25	2,990 [*]	2,033	9.1	0.05	13,900 [*]	9,452	4.22	204	3.52	0.41	7.9

(注) *自動計測器スケールアウトのため手分析平均値で代用

極間電圧 25 V

表-5・6(1) 部分循環率を変えた場合(手分析分)

項 目 実験 条件			希釈水タンク(T-1)			濃縮水タンク(T-2)			陰極液タンク(T-3)			原水タンク(T-4)			生 産 水			脱 塩 率 (%)	濃 縮 倍 率
			pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度		
				μS/cm	mg/l		μS/cm	mg/l		μS/cm	mg/l		μS/cm	mg/l		μS/cm	mg/l		
No.1 (FI-1): 2400 部分循環率 0%	1	12:00	7.0	1,872	975	7.0	5,012	2,611	2.4	13,720		7.1	2,141	1,115	7.0	1,461	761	31.8	2.34
	2	15:00	7.1	1,938	1,010	7.0	5,271	2,746	1.9	19,236		7.1	2,190	1,141	7.1	1,504	784	31.3	2.41
	3	17:00	7.0	1,996	1,040	6.9	5,252	2,736	2.2	16,880		7.0	2,248	1,171	7.0	1,465	763	34.8	2.34
	4	11:00	7.1	2,016	1,050	7.0	5,349	2,787	1.5	34,496		7.0	2,209	1,151	7.0	1,481	772	33.0	2.42
No.2 (FI-1): 2000 部分循環率 16.7%	1	12:00	7.2	1,610	839	7.1	4,593	2,393	2.1	9,205		7.3	1,835	956	7.3	1,372	715	25.2	2.50
	2	14:00	7.2	1,690	880	7.2	4,845	2,524	2.7	6,570		7.2	1,808	942	7.2	1,312	684	27.4	2.68
	3	17:00	7.2	1,717	895	7.4	4,748	2,474	2.2	8,992		7.4	1,884	982	7.2	1,357	707	28.0	2.52
	4	11:00	7.1	1,705	888	7.2	4,729	2,464	2.1	13,120		7.1	2,093	1,090	7.1	1,432	746	31.6	2.26
No.3 (FI-1): 1600 部分循環率 33.3%	1	13:00	7.4	1,107	577	7.5	3,934	2,050	1.5	21,318		7.4	1,351	704	7.3	789	411	41.6	2.91
	2	15:00	7.2	1,180	615	7.4	4,050	2,110	1.5	20,155		7.4	1,329	692	7.4	826	430	37.8	3.05
	3	17:00	7.3	1,171	610	7.4	4,264	2,222	1.6	17,500		7.4	1,458	760	7.2	841	438	42.3	2.92
	4	10:00	7.1	1,490	776	7.2	5,698	2,969	1.8	11,415		7.3	1,890	985	7.3	1,140	594	39.7	3.01
No.4 (FI-1): 1200 部分循環率 50%	1	14:00	7.2	1,779	927	7.5	7,016	3,655	2.1	11,008		7.3	2,132	1,111	7.3	1,246	649	41.6	3.29
	2	15:30	7.2	1,310	683	7.6	6,415	3,342	1.8	9,438		7.4	1,795	935	7.3	975	508	45.7	3.57
	3	18:00	7.2	1,221	636	7.6	6,163	3,211	2.4	9,186		7.4	1,717	895	7.3	1,010	526	41.2	3.59
	4	10:30	7.1	959	500	7.4	6,047	3,150	1.4	25,000		7.3	1,143	596	7.2	583	304	49.0	5.29
No.5 (FI-1): 800 部分循環率 66.7%	1	12:00	6.9	1,207	629	7.1	6,163	3,211	1.6	24,031		7.0	2,074	1,081	7.0	1,101	574	46.9	2.97
	2	15:00	7.1	1,165	607	7.1	6,550	3,413	1.7	24,225		7.1	2,112	1,100	7.2	1,085	565	48.6	3.10
	3	17:00	7.1	1,145	597	7.2	6,589	3,433	1.8	21,318		7.2	2,074	1,081	7.1	1,012	527	51.2	3.18
	4	11:00	7.1	1,165	607	7.2	6,395	3,332	1.2	35,271		7.2	2,054	1,070	7.1	1,056	550	48.6	3.11

表-5・6(2) 部分循環率を変えた場合(手分析分)

(合成処理水) B

項 目 実験条件 採水時刻			希釈水タンク(T-1)			濃縮水タンク(T-2)			陰極液タンク(T-3)			原水タンク(T-4)			生産水			脱塩率(%)	濃縮倍率
			pH	EC μS/cm	塩類濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類濃度 mg/l		
No.1 (FI-1): 2400 循環率 0%	1	14:00	7.8	1,588	1,080	7.8	2,382	1,620	2.3	28,806		7.6	1,880	1,278	7.6	1,667	1,134	11.3	1.27
	2	15:00	8.0	1,587	1,079	7.7	3,283	2,232	2.3	28,210		7.9	2,000	1,360	7.7	1,618	1,100	19.1	1.64
	3	17:00	7.7	1,910	1,299	7.9	3,373	2,294	2.2	31,940		7.6	1,955	1,329	7.7	1,597	1,086	18.3	1.73
	4	10:00	7.6	1,688	1,148	7.6	3,612	2,456	2.4	30,600		7.6	1,985	1,350	7.7	1,631	1,109	17.8	1.82
No.2 (FI-1): 1200 循環率 50%	1	15:00	7.6	1,761	1,197	7.7	4,188	2,848	2.3	33,796		7.6	2,089	1,421	7.6	1,475	1,003	29.4	2.00
	2	16:00	8.0	1,752	1,191	7.7	4,185	2,846	2.2	30,830		7.6	2,109	1,434	7.7	1,502	1,021	28.8	1.98
	3	17:00	7.7	1,791	1,218	7.7	4,284	2,913	2.4	30,149		7.6	2,060	1,401	7.6	1,484	1,009	28.0	2.08
	4	11:00	7.6	1,917	1,304	7.6	4,521	3,074	2.3	33,333		7.7	2,041	1,388	7.7	1,566	1,065	23.3	2.22
No.3 (FI-1): 800 循環率 66.7%	1	12:00	7.7	1,717	1,168	7.7	4,457	3,031	2.4	31,629		7.7	2,223	1,512	7.7	1,523	1,036	31.5	2.00
	2	15:00	7.5	1,540	1,047	7.6	4,400	2,992	2.3	31,044		7.7	2,191	1,490	7.7	1,419	965	35.2	2.01
	3	17:00	7.6	1,522	1,085	7.6	4,597	3,126	2.4	30,746		7.7	2,104	1,431	7.7	1,397	950	33.6	2.18
	4	10:00	7.6	1,586	1,078	7.7	4,969	3,379	2.2	28,241		7.7	2,215	1,506	7.7	1,410	959	36.3	2.24

表-5・7(1) 部分循環率を変えた場合(2) (手分析)

(食塩水)

項 目 実験条件 採水時刻			希釈水タンク (T-1)			濃縮水タンク (T-2)			陰極液タンク (T-3)			原水タンク (T-4)			生 産 水			脱塩率 (%)	濃縮倍率
			pH	EC μS/cm	塩濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		
No.1 (FI-1): 2400 循環率 0% 濃度 500mg/l	1	12:00	7.5	1,395	727	7.6	3,081	1,605	2.2	25,581		7.6	1,448	754	7.6	1,157	603	20.1	2.13
	2	14:00	7.5	1,531	798	7.6	4,012	2,090	2.3	27,519		7.5	1,438	749	7.5	1,105	576	23.2	2.79
	3	17:00	7.6	1,595	831	7.6	3,934	2,050	2.1	30,620		7.5	1,463	762	7.5	1,143	596	21.9	2.69
	4	10:00	7.6	1,401	730	7.7	3,626	1,889	2.3	24,806		7.5	1,422	741	7.5	1,126	587	20.8	2.55
No.2 (FI-1): 600 循環率 7.5% 濃度 2000mg/l	1	14:00	7.4	2,345	1,222	7.5	7,112	3,705	1.9	33,721		7.4	3,857	2,009	7.5	2,093	1,090	45.7	1.84
	2	15:00	7.5	2,306	1,201	7.5	8,702	4,534	2.1	31,008		7.6	3,973	2,070	7.5	2,112	1,100	46.8	2.19
	3	17:00	7.5	2,248	1,171	7.5	8,236	4,291	2.3	30,233		7.6	3,779	1,969	7.6	2,093	1,090	44.6	2.18
	4	11:00	7.4	2,246	1,170	7.6	7,597	3,958	1.9	27,713		7.5	4,109	2,141	7.5	1,977	1,030	51.9	1.85
No.3 (FI-1): 300 循環率 87.5% 濃度 3000mg/l	1	15:00	7.4	3,818	1,989	7.5	14,922	7,774	2.2	29,264		7.4	6,609	3,443	7.5	3,062	1,595	53.7	2.26
	2	16:30	7.5	2,267	1,181	7.5	16,764	8,734	1.8	28,876		7.4	6,395	3,332	7.5	1,977	1,030	69.1	2.62
	3	17:00	7.4	1,919	1,000	7.4	18,023	9,390	1.9	32,558		7.5	5,950	3,100	7.5	1,506	785	74.7	3.03
	4	10:00	7.4	1,643	856	7.4	20,155	10,501	1.8	29,475		7.4	5,155	2,686	7.5	1,310	683	74.6	3.91
No.4 (FI-1): 250 循環率 89.6% 濃度 2500mg/l	1	12:00	7.3	2,422	1,262	7.4	11,899	8,199	2.2	27,907		7.5	5,233	2,726	7.5	2,422	1,262	53.7	2.27
	2	15:00	7.4	1,979	1,031	7.3	17,112	8,915	1.7	35,078		7.5	5,736	2,988	7.5	1,494	778	74.0	2.96
	3	17:30	7.3	1,874	976	7.5	17,849	9,299	2.1	32,171		7.5	5,484	2,857	7.6	1,516	790	72.4	3.25
	4	9:30	7.4	1,705	888	7.4	18,798	9,794	2.3	27,907		7.5	4,806	2,504	7.5	1,401	730	70.8	3.91
No.5 (FI-1): 300 循環率 87.5% 濃度 1500mg/l	1	13:30	7.4	1,806	941	7.6	9,690	5,048	2.0	30,814		7.6	3,547	1,848	7.6	1,403	731	60.4	2.73
	2	15:00	7.4	1,502	783	7.5	10,097	5,261	2.1	29,845		7.6	3,353	1,747	7.6	1,215	633	63.8	3.01
	3	17:00	7.5	1,479	771	7.5	11,202	5,836	2.2	30,620		7.5	3,411	1,777	7.6	1,200	625	64.8	3.28
	4	10:00	7.5	1,273	663	7.4	11,163	5,816	2.3	27,519		7.6	3,411	1,777	7.6	1,048	646	68.3	3.27

表-5・7(2) 部分循環率を変えた場合(2) (手分析分)

実験条件 採水時刻 項目			希釈水タンク(T-1)			濃縮水タンク(T-2)			陰極液タンク(T-3)			原水タンク(T-4)			生産水			(合成処理水) C	
			pH	EC	塩類濃度	pH	EC	塩類濃度	pH	EC	塩類濃度	pH	EC	塩類濃度	pH	EC	塩類濃度	脱塩率	濃縮倍率
			$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l	mg/l	$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l	mg/l	$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l	mg/l	$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l	mg/l	$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l	mg/l	(%)	
No.1 (FI-1): 2400 循環率 0% 濃度 500mg/l	1	12:00	7.2	1,715	1,166	7.3	3,846	2,615	1.7	14,713		7.4	1,795	1,221	7.3	1,473	1,002	17.9	2.14
	2	14:30	7.1	1,741	1,184	7.3	3,905	2,655	1.8	13,206		7.5	1,794	1,220	7.4	1,504	1,023	16.2	2.18
	3	17:00	7.3	1,705	1,159	7.3	3,795	2,581	1.9	11,179		7.4	1,769	1,203	7.4	1,500	1,020	15.2	2.15
	4	10:30	7.3	1,590	1,081	7.4	3,546	2,411	2.0	13,492		7.5	1,603	1,090	7.6	1,360	925	15.2	2.21
No.2 (FI-1): 300 循環率 87.5% 濃度 1500mg/l	1	12:30	7.4	2,830	1,924	7.4	4,352	2,959	2.0	12,207		7.5	3,017	2,052	7.5	2,781	1,891	7.8	1.44
	2	14:30	7.4	2,175	1,479	7.2	5,343	3,633	1.9	12,199		7.4	2,955	2,009	7.4	1,998	1,359	32.4	1.81
	3	16:00	7.3	1,808	1,229	7.2	6,833	4,646	1.8	12,905		7.3	2,855	1,941	7.4	1,584	1,077	44.5	2.39
	4	11:00	7.2	1,456	990	7.4	9,603	6,530	1.9	13,962		7.4	2,782	1,892	7.5	1,262	858	54.6	3.45
No.3 (FI-1): 250 循環率 89.6% 濃度 2500mg/l	1	13:00	7.6	3,936	2,676	7.4	7,849	5,337	2.2	12,057		7.6	4,409	2,998	7.7	3,428	2,331	22.2	1.78
	2	15:00	7.6	3,507	2,385	7.2	14,199	9,655	2.1	14,806		7.6	3,799	2,583	7.7	3,204	2,179	15.7	3.74
	3	17:00	7.6	3,289	2,237	7.3	16,748	11,389	2.1	14,927		7.7	3,398	2,311	7.7	2,779	1,890	18.2	4.93
	4	10:30	7.3	3,046	2,071	7.2	16,869	11,471	2.1	14,684		7.6	3,250	2,210	7.6	2,536	1,724	22.0	5.19

5.1.3. 水回収率に関する検討

電気透析法による脱塩では無機塩類が濃縮される部分と希釈される部分を作り、濃縮される部分を廃棄し、希釈された部分を生産水として利用することとなる。一般に下水処理水を対象とする場合、前述したようにある程度の前処理が必要であり、前処理段階でもかなりの費用がかかることが予想される。このように前処理に費用をかけたものについてはなるべく廃棄する分を少なくし、全水量に対する生産水の割合、つまり水回収率を高めた方がより経済的であると考えられる。なお、本装置での水回収率は次式で表わされる。

$$\text{水回収率} = \frac{F I - 1}{(F I - 1) + (F I - 2)} \times 100 \%$$

ここで、 $F I - 1$; 希釈水槽への原水供給量 (生産水量)

$F I - 2$; 濃縮水槽への " (濃縮水量)

図-5・6および表-5・8, 5・9に生産水量を一定 ($1.2 \text{ m}^3/\text{hr}$) とし、濃縮水量を変化させて水回収率を70, 75, 80, 90, 95%と変化させた場合の結果を示す。この結果に示すように濃縮倍率は水回収率の増加とともに高い値を示すが、脱塩率はほぼ一定の値を示し、上述の水回収率の範囲内では水回収率を高めた方が有利といえよう。

水回収率は一般に原水の濃度とイオン組成によって制限を受ける。濃縮水の濃度は原水濃度および水回収率が高い場合ほど高いものとなるが、無機塩類の中でもカルシウム塩、マグネシウム塩等は溶解度が低いためこれらを含む水を濃縮しすぎるとスケールとなって析出し、運転管理や装置等命に悪影響を与えるとされている。

したがって溶解度の低い塩類が析出してこないよう、原水濃度およびイオン組成に十分注意を払い、析出しない範囲内で水回収率を高めることが重要である。

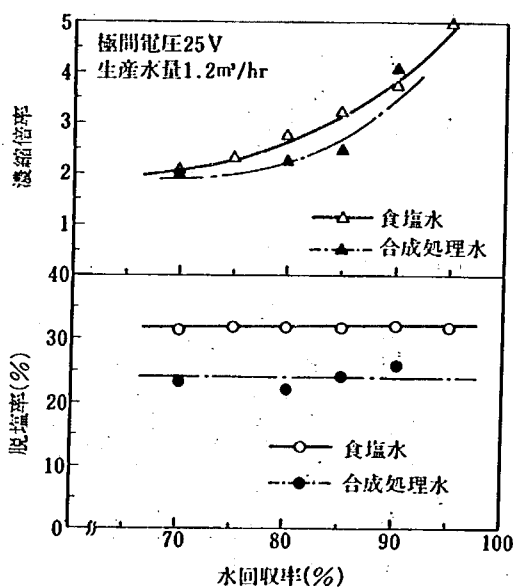


図-5・6 水回収率と脱塩率

表-5・8 水回収率を変化させた場合(自動計測値)

項目 水 回 収 率	透 析 電 流		原 水		生 産 水			脱 塩 率 (%)	濃 縮 水			濃 縮 倍 率	脱 塩 量			電 流 効 率 (%)	
	極 電 流 (A)	電 流 密 度 mA/cm ²	EC μS/cm	塩濃度 mg/l	流 量 m ³ /hr	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		流 量 m ³ /hr	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		重 量 mg/l	当 量 m.e./l	膜面積 当 り mg/cm ² /hr		
食 塩 水	90%	3.91	1.59	2060	1073	120	1400	729	32.0	0.13	8,380	4,366	4.07	344	588	335	96.7
	85%	4.32	1.75	2310	1204	118	1,580	823	31.6	0.21	7,430	3,871	3.22	380	650	364	95.2
	75%	4.78	1.94	2,630	1,370	1.15	1,790	933	31.9	0.35	6,100	3,178	2.32	438	748	409	96.5
	70%	5.17	2.10	2800	1,459	1.20	1,920	1,000	31.4	0.52	5,890	3,069	2.10	458	784	447	97.5
	95%	3.81	1.55	2,110	1,099	1.16	1,440	750	31.8	0.07	10,500*	5,471	4.98	349	597	329	97.4
	80%	5.43	2.20	2,770	1,443	1.15	1,890	985	31.8	0.30	7,680	4,001	2.77	458	784	428	89.0

項目 水 回 收 率	透 析 電 流		原 水		生 産 水			脱 塩 率 (%)	濃 縮 水			濃 縮 倍 率	脱 塩 量			電 流 効 率 (%)	
	極 間 電 流 (A)	電 流 密 度 mA/cm ²	EC μS/cm	塩濃度 mg/l	流 量 m ³ /hr	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		流 量 m ³ /hr	EC μS/cm	塩濃度 mg/l		重 量 mg/l	当 量 me./l	膜面積 当 り mg/cm ² /hr		
合成処理水	90%	3.42	1.39	2,030	1,380	1.20	1,510	1,027	25.6	0.13	7,620	5,182	3.75	354	61.0	344	114.7
	85%	3.35	1.36	2,250	1,530	1.19	1,710	1,163	24.0	0.22	5,610	3,815	2.49	367	63.3	355	120.6
	70%	3.60	1.46	2,280	1,550	1.20	1,750	1,190	23.2	0.53	4,500	3,060	1.97	360	62.1	351	111.1
	80%	3.18	1.29	2,150	1,462	1.17	1,680	1,142	21.9	0.31	7,100	3,325	2.27	320	55.1	304	108.7

(注) * は自動計測器スケールアウトのため手分析平均値で代用
80%はこの実験に近い日に行ったもので、他条件が最も近いものを準用した。
極間電圧 25 V

表-5・9(1) 水回収率を変化させた場合(手分析値)

(食塩水)

項 目 実験条件 採水時刻			希釈水タンク(T-1)			濃縮水タンク(T-2)			陰極液タンク(T-3)			原水タンク(T-4)			生 産 水			脱塩率(%)	濃縮倍率
			pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度		
				μS/cm	mg/l		μS/cm	mg/l		μS/cm	mg/l		μS/cm	mg/l		μS/cm	mg/l		
No.1 (水回収率) : 90%	1	12:00	7.4	2,054	1,070	7.4	5,426	2,827	2.3	27,713		7.6	2,442	1,272	7.5	1,694	883	30.6	2.22
	2	14:00	7.3	1,806	941	7.4	7,829	4,079	2.1	32,364		7.6	2,151	1,121	7.6	1,422	741	33.9	3.64
	3	17:00	7.4	1,746	910	7.5	7,713	4,018	2.3	26,357		7.6	1,924	1,002	7.6	1,459	760	24.2	4.01
	4	10:00	7.4	1,911	996	7.5	8,081	4,210	2.3	29,651		7.4	2,171	1,131	7.5	1,508	786	30.5	3.72
No.2 (水回収率) : 85%	1	12:00	7.5	1,793	934	7.5	6,919	3,605	2.1	30,426		7.6	2,306	1,201	7.5	2,306	1,201	0.0	3.00
	2	14:00	7.4	1,835	956	7.3	6,492	3,382	2.2	29,845		7.5	2,190	1,141	7.6	1,562	814	28.7	2.96
	3	17:00	7.3	1,922	1,001	7.3	6,472	3,372	2.1	31,395		7.5	2,287	1,192	7.5	1,589	828	30.5	2.83
	4	10:00	7.3	1,930	1,006	7.3	6,434	3,352	2.3	28,488		7.6	2,229	1,161	7.6	1,535	800	31.1	2.89
No.3 (水回収率) : 75%	1	12:00	7.5	1,930	1,006	7.4	5,523	2,877	2.2	28,101		7.5	2,364	1,232	7.5	1,709	890	27.7	2.34
	2	14:00	7.4	2,248	1,171	7.5	5,078	2,646	2.2	31,008		7.5	2,461	1,282	7.6	2,016	1,050	18.1	2.06
	3	17:00	7.3	2,326	1,212	7.5	5,058	2,635	2.2	30,620		7.4	2,442	1,272	7.5	1,880	979	23.0	2.07
	4	10:00	7.4	2,190	1,141	7.3	4,922	2,564	2.4	27,132		7.4	2,713	1,413	7.6	1,938	1,010	28.6	1.81
No.4 (水回収率) : 75%	1	12:00	7.4	2,345	1,222	7.3	5,019	2,615	2.2	31,783		7.5	2,888	1,505	7.6	1,957	1,020	32.2	1.74
	2	14:00	7.5	2,287	1,192	7.5	4,826	2,514	2.1	31,783		7.4	2,810	1,464	7.6	2,054	1,070	26.9	1.72
	3	17:00	7.4	2,151	1,121	7.4	4,845	2,524	2.3	27,519		7.5	2,674	1,393	7.5	1,917	999	27.3	1.81
	4	10:00	7.3	2,481	1,293	7.2	4,981	2,595	2.2	30,233		7.5	2,810	1,464	7.5	2,035	1,060	28.6	1.77
No.5 (水回収率) : 95%	1	12:00	7.3	1,911	996	7.4	8,120	4,231	2.1	26,938		7.5	2,267	1,181	7.6	1,593	830	29.7	3.58
	2	14:00	7.4	1,891	985	7.4	10,388	5,412	2.2	31,202		7.5	2,209	1,151	7.5	1,570	818	28.9	4.70
	3	17:00	7.4	1,977	1,030	7.3	11,163	5,816	2.2	32,364		7.6	2,074	1,081	7.6	1,432	746	31.0	5.38
	4	10:00	7.4	1,738	905	7.4	12,326	6,422	2.3	28,876		7.5	2,035	1,060	7.5	1,494	778	26.6	6.06

表-5・9(2) 水回収率を変化させた場合(手分析値)

(合成処理水) D

項目 採水時刻 実験条件			希釈水タンク(T-1)			濃縮水タンク(T-2)			陰極液タンク(T-3)			原水タンク(T-4)			生産水			脱塩率(%)	濃縮倍率
			pH	EC μS/cm	塩類 濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類 濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類 濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類 濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類 濃度 mg/l		
No.1 (水回収率) : 90%	1	12:00	7.4	1,820	1,238	7.3	7,221	4,910	2.1	21,359		7.5	2,063	1,403	7.6	1,456	1,990	29.4	3.50
	2	15:00	7.4	1,893	1,287	7.3	6,796	4,621	2.1	20,686		7.5	2,103	1,430	7.5	1,513	1,029	28.1	3.23
	3	17:00	7.5	1,869	1,271	7.3	6,833	4,646	2.1	18,689		7.5	2,039	1,387	7.4	1,505	1,023	26.2	3.35
	4	11:00	7.4	1,784	1,213	7.4	7,048	4,793	2.1	21,402		7.5	2,107	1,433	7.5	1,559	1,060	26.0	3.35
No.2 (水回収率) : 85%	1	13:00	7.6	2,018	1,372	7.2	5,963	4,055	2.0	21,504		7.5	2,322	1,579	7.5	1,662	1,130	28.4	2.57
	2	15:00	7.3	2,017	1,372	7.2	5,422	3,687	2.1	20,449		7.5	2,388	1,624	7.5	1,741	1,184	27.1	2.27
	3	17:00	7.3	2,150	1,462	7.2	5,503	3,742	2.1	21,060		7.4	2,389	1,625	7.5	1,781	1,211	25.4	2.30
	4	12:00	7.4	1,926	1,310	7.4	5,145	3,499	2.2	16,491		7.5	2,335	1,588	7.5	1,689	1,149	27.7	2.20
No.3 (水回収率) : 70%	1	14:00	7.3	2,097	1,426	7.3	3,839	2,611	2.1	18,734		7.5	2,279	1,550	7.5	1,835	1,248	19.5	1.68
	2	15:00	7.3	2,106	1,432	7.2	3,851	2,619	2.1	18,205		7.4	2,303	1,566	7.4	1,760	1,197	23.6	1.67
	3	17:00	7.3	2,190	1,439	7.3	3,879	2,638	2.1	19,657		7.4	2,262	1,538	7.5	1,785	1,214	21.1	1.71
	4	11:00	7.3	2,150	1,462	7.2	3,868	2,630	2.0	19,438		7.4	2,190	1,489	7.5	1,689	1,149	22.9	1.77

5.1.4 透析電流に関する検討

図-5・7および表-5・10, 5・11は透析電流による脱塩効果の影響を検討するため、透析電圧(極間電圧)を10, 15, 20, 25, 30Vと変化させた場合の結果を示したものである。ここでは透析抵抗を一定に保つため、原水濃度をできるだけ一定としておくことから、透析電流は極間電圧と比例関係となる。

同図に示すように極間電圧が高い場合ほど脱塩率および濃縮倍率は高いものが得られている。

図-5・8は食塩水および合成処理水での全実験の電流密度とイオン交換膜の単位脱塩量(膜1対, 1 cm², 1時間当り)との関係を示したものである。なお、電流密度および単位脱塩量は次式で表わされる。

$$\text{電流密度 (mA/cm}^2\text{)} = \frac{\text{透析電流 (mA)}}{\text{有効膜面積 (cm}^2\text{)}}$$

$$\text{単位脱塩量 (mg/cm}^2\text{/hr)}$$

$$= \frac{\langle \text{原水濃度 (mg/l)} - \text{生産水濃度 (mg/l)} \rangle \times \text{生産水量 (l/hr)}}{\text{有効膜面積 (cm}^2\text{)} \times \text{膜対数 (50 対)}}$$

同図に示すように電流密度と単位脱塩量とは比例関係にあり、電流密度を上げれば脱塩量も増加することがわかる。

電気透析法では維持管理で任意に設定できるのは生産量を除けば極間電圧のみである。生産水量を一定とし、極間電圧を高めに設定すれば上述したように透析電流および電流密度は増加し、脱塩量も増加する結果、脱塩率も向上する。但し、電流密度については上限がある。これは透析電流はイオンの移動によって運ばれるわけであるが、この移動速度に見合う電流以上に電流を流すと超えた分は水の加水分解(反応としては、 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{O}_2$)によって消費されるため、脱塩には寄与しない。この限界点を限界電流密度と呼び、種々の安全係数を考えて、限界電流密度の60~70%を運転電流密度とすることが多いとされている¹²⁾。

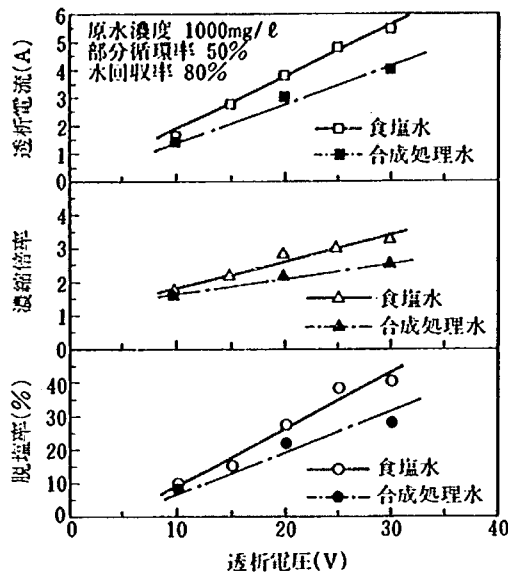


図-5・7 透析電圧と脱塩率

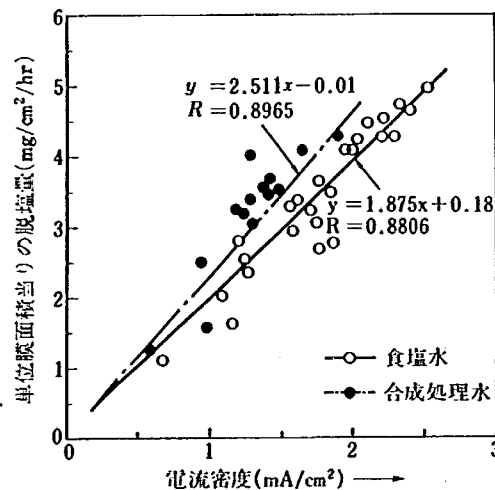


図-5・8 電流密度と脱塩量

表-5・10 透析電圧を変えた場合（自動計測値）

項目 透析電圧	透析電流		原 水		生 産 水			脱 塩 率 (%)	濃 縮 水			濃 縮 倍 率	脱 塩 量			電 流 効 率 (%)
	極 間 電 流 (A)	電 流 密 度 mA/cm	EC $\mu\text{S}/\text{cm}^2$	塩濃度 mg/l	流 量 m^3/hr	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	塩濃度 mg/l		流 量 m^3/hr	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	塩濃度 mg/l		重 量 mg/l	当 量 m.e./l	膜面積 当り $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{hr}$	
食 塩 水	10 V	1.64	0.67	2,240	1.17	2,020	1,052	98	0.29	3,970	2,068	1.77	115	1.96	1.09	74.9
	15 V	2.80	1.14	2,190	1.17	1,860	969	15.1	0.31	4,820	2,511	2.20	172	2.94	1.63	65.8
	20 V	3.84	1.56	2,180	1.18	1,590	828	27.1	0.29	6,240	3,251	2.86	307	5.25	2.94	86.6
	25 V	4.84	1.96	2,160	1.18	1,340	698	38.0	0.39	6,560	3,418	3.04	427	7.30	4.09	95.5
	30 V	5.46	2.22	2,160	1.23	1,290	672	40.3	0.31	7,040	3,668	3.26	453	7.75	4.53	93.6

項目 透析電圧	透析電流		原 水		生 産 水			脱 塩 率 (%)	濃 縮 水			濃 縮 倍 率	脱 塩 量			電 流 効 率 (%)
	極 間 電 流 (A)	電 流 密 度 mA/cm	EC $\mu\text{S}/\text{cm}^2$	塩濃度 mg/l	流 量 m^3/hr	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	塩濃度 mg/l		流 量 m^3/hr	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	塩濃度 mg/l		重 量 mg/l	当 量 m.e./l	膜面積 当り $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{hr}$	
合 成 処 理 水	10 V	1.42	0.58	2,290	1.19	2,100	1,428	8.3	0.31	3,750	2,550	1.64	129	2.23	1.25	100.1
	20 V	3.02	1.23	2,210	1.20	1,730	1,176	21.7	0.31	4,830	3,284	2.19	326	5.63	3.18	119.9
	30 V	4.02	1.63	2,220	1.19	1,600	1,088	27.9	0.30	5,620	3,822	2.53	422	7.27	4.07	115.4

（注）部分循環率 50%

表-5・11(1) 透析電圧を変えた場合(手分析値)

項 目 採水時刻			希釈水タンク(T-1)			濃縮水タンク(T-2)			陰極液タンク(T-3)			原水タンク(T-4)			生産水			脱塩率(%)	濃縮倍率
			pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度	pH	EC	塩濃度		
				$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l		$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l		$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l		$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l		$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/l		
No.1 (VOLT): 10 V	1	12:00	7.2	1,938	1,010	7.2	4,671	2,434	1.6	25,388		7.2	2,461	1,282	7.2	1,882	981	23.5	1.90
	2	14:00	7.2	2,093	1,090	7.2	3,527	1,838	1.6	25,194		7.3	2,461	1,282	7.2	1,837	957	25.4	1.43
	3	17:00	7.3	2,190	1,141	7.3	3,682	1,918	1.6	22,287		7.3	2,442	1,272	7.3	2,248	1,171	7.9	1.51
	4	11:00	7.5	2,306	1,201	7.5	3,411	1,777	2.0	14,128		7.5	2,229	1,161	7.5	2,132	1,111	4.4	1.53
No.2 (VOLT): 15 V	1	12:00	7.4	2,093	1,090	7.5	3,953	2,060	2.1	13,353		7.4	2,326	1,212	7.4	1,913	997	17.8	1.70
	2	14:00	7.4	1,891	985	7.6	3,973	2,070	2.3	11,395		7.5	2,229	1,161	7.5	1,820	948	18.3	1.78
	3	17:00	7.5	2,035	1,060	7.6	4,322	2,252	2.5	11,686		7.6	2,403	1,252	7.5	1,938	1,010	19.4	1.80
	4	11:00	7.6	2,112	1,100	7.2	4,225	2,201	2.1	15,388		7.5	2,500	1,303	7.5	1,957	1,020	21.7	1.69
No.3 (VOLT): 20 V	1	12:00	7.4	1,864	971	7.5	4,438	2,312	2.1	13,876		7.5	2,209	1,151	7.4	1,705	888	22.8	2.01
	2	14:00	7.4	1,878	978	7.5	4,457	2,322	2.5	13,430		7.5	2,306	1,201	7.4	1,705	888	26.1	1.93
	3	17:00	7.4	1,907	994	7.5	4,903	2,554	1.6	23,837		7.5	2,267	1,181	7.4	1,734	903	23.5	2.16
	4	11:00	7.4	1,822	949	7.4	5,058	2,635	1.8	19,961		7.5	2,267	1,181	7.4	1,609	838	29.0	2.23
No.4 (VOLT): 25 V	1	12:00	7.3	1,705	888	7.4	5,543	2,888	1.9	19,767		7.4	2,248	1,171	7.3	1,498	780	33.4	2.47
	2	14:00	7.3	1,603	835	7.4	6,027	3,140	2.1	17,655		7.4	2,306	1,201	7.3	1,494	778	35.2	2.61
	3	17:00	7.3	1,738	905	7.4	5,581	2,908	2.5	14,399		7.3	2,287	1,192	7.3	1,479	771	35.3	2.44
	4	11:00	7.3	1,777	926	7.3	5,601	2,918	2.1	18,779		7.3	2,326	1,212	7.3	1,508	786	35.2	2.41
No.5 (VOLT): 30 V	1	11:00	7.2	1,816	946	7.3	6,143	3,201	2.2	19,283		7.4	2,364	1,232	7.3	1,444	752	38.9	2.60
	2	14:00	7.2	1,760	917	7.3	6,492	3,382	1.7	29,457		7.3	2,267	1,131	7.2	1,457	759	35.7	2.86
	3	17:00	7.2	1,793	934	7.2	5,988	3,120	1.8	22,481		7.2	2,248	1,171	7.2	1,351	704	39.9	2.66
	4	10:00	7.1	1,762	918	7.2	6,085	3,170	1.9	25,000		7.3	2,287	1,192	7.2	1,432	746	37.4	2.66

表 - 5・11(2) 透析電圧を変えた場合(手分析値)

(合成処理水) E

項 目 実験条件 採水時刻			希釈水タンク(T-1)			濃縮液タンク(T-2)			陰極液タンク(T-3)			原水タンク(T-4)			生産水			脱塩率(%)	濃縮倍率
			pH	EC μS/cm	塩類 濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類 濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類 濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類 濃度 mg/l	pH	EC μS/cm	塩類 濃度 mg/l		
No.1 (VOLT): 10 V	1	12:00	7.5	2,149	1,461	7.6	3,761	2,557	2.2	31,642		7.7	2,269	1,543	7.6	2,075	1,411	8.6	1.66
	2	15:00	7.6	2,182	1,484	7.6	3,295	2,241	2.3	29,913		7.7	2,317	1,576	7.7	2,024	1,376	12.6	1.42
	3	17:00	7.6	2,282	1,552	7.6	3,198	2,175	2.2	29,360		7.7	2,312	1,572	7.7	2,052	1,395	11.2	1.38
	4	11:00	7.6	2,320	1,578	7.6	3,377	2,296	2.3	30,837		7.7	2,364	1,608	7.7	2,254	1,533	4.7	1.43
No.2 (VOLT): 20 V	1	12:00	7.6	2,168	1,474	7.7	3,873	2,634	2.2	24,566		7.7	2,211	1,503	7.7	1,864	1,268	15.7	1.75
	2	15:00	7.6	2,038	1,386	7.7	4,220	2,870	2.3	23,109		7.7	2,185	1,486	7.7	1,681	1,143	23.1	1.93
	3	17:00	7.7	1,949	1,325	7.7	4,282	2,912	2.3	24,039		7.7	2,176	1,480	7.7	1,792	1,219	17.6	1.97
	4	11:00	7.6	2,075	1,411	7.6	4,224	2,872	2.2	25,223		7.7	2,182	1,484	7.7	1,749	1,189	19.8	1.94
No.3 (VOLT): 30 V	1	12:00	7.7	1,880	1,278	7.6	4,537	3,085	2.3	24,376		7.7	2,209	1,502	7.7	1,658	1,127	24.9	2.05
	2	15:00	7.6	1,908	1,297	7.6	4,827	3,282	2.3	24,855		7.7	2,225	1,513	7.7	1,599	1,087	28.1	2.17
	3	17:00	7.7	1,951	1,327	7.6	4,893	3,327	2.3	25,145		7.7	2,182	1,484	7.7	1,566	1,065	28.2	2.24
	4	7:30	7.6	1,886	1,282	7.5	5,014	3,410	2.2	27,031		7.6	2,171	1,476	7.7	1,570	1,068	27.7	2.31

5.1.5. 塩類指標としての導電率の有効性について

導電率は水中に溶存する多くの塩類の当量濃度とは比例関係にあり、簡便な方法であるため塩類濃度の間接測定法としてよく用いられる。また、電気透析装置の運転管理指標として用いられている。しかし、再利用を考えるうえでの水質の基準である塩素イオン、蒸発残留物、溶解性物質はいずれも重量表示されており、これとどの程度対応するかについても検討しておく必要がある。

図-5・9および表-5・12に合成処理水を用いた場合の、導電率と溶解性物質の測定結果を示す。同図に示すように導電率と溶解性物質との相関性は極めて高いものとなっている。

合成処理水での原水に関しては、組成割合を一定として塩類の添加を行っているため、相関性は当然高いものとなる。濃縮水および生産水に関しては、イオン交換膜のイオンの選択透過性が異なるため、イオン組成は原水と異なる可能性があるが、同図で判断する限りにおいては回帰直線の傾き、および切辺に大差ないものとなっており、この影響は小さいといえよう。

導電率は塩類濃度と近似的に相関があるのは一般にpHが5～9の範囲とされている。陰極液についてはpHを1～2.5の範囲に設定しているが、この場合についても導電率と溶解性物質との相関性は高いものとなっている。但し、回帰直線の傾きおよび切辺は他のものとはかなり異なっており、注意が必要である。

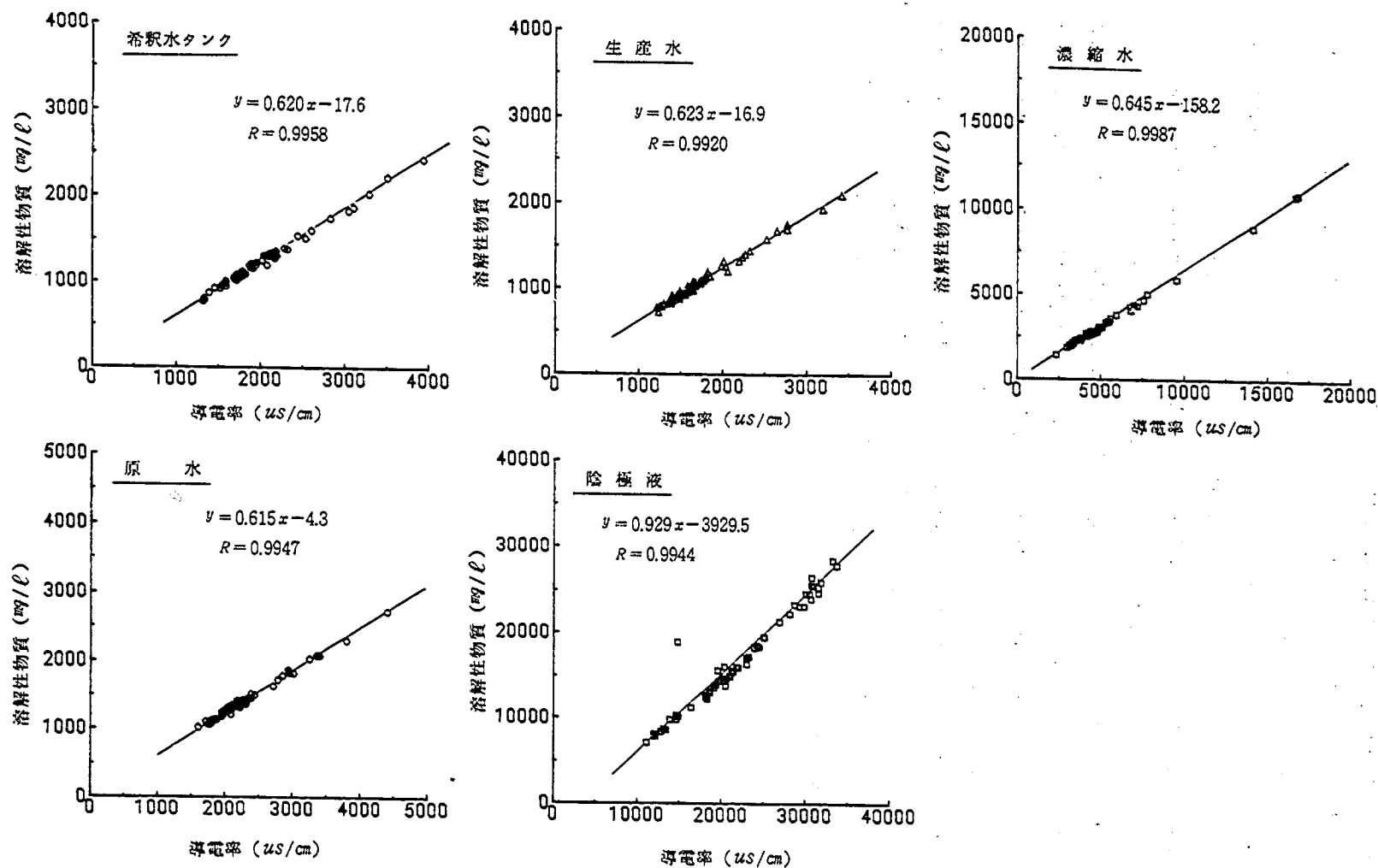


図-5・9 導電率と溶解性物質の相関性

表-5・12 導電率および溶解性物質の測定結果

実験No			TIME	T-1 希釈水タンク		T-2 濃縮水タンク		T-3 陰極液タンク		T-4 原水タンク		生産水	
				EC μS/cm	TDS mg/ℓ	EC μS/cm	TDS mg/ℓ	EC μS/cm	TDS mg/ℓ	EC μS/cm	TDS mg/ℓ	EC μS/cm	TDS mg/ℓ
1 (B)	No 1	1	14:00	1,588	980	2,382	1,383	28,810	23,340	1,880	1,121	1,667	975
		2	15:00	1,587	1,001	3,283	1,999	28,210	22,240	2,000	1,262	1,618	981
		3	17:00	1,910	1,150	3,373	2,127	31,940	26,020	1,955	1,169	1,597	1,016
		4	10:00	1,688	1,041	3,612	2,279	30,600	24,670	1,985	1,234	1,631	1,005
	No 2	1	15:00	1,761	1,074	4,188	2,583	33,800	27,890	2,089	1,197	1,475	878
		2	16:00	1,752	1,044	4,185	2,671	30,830	25,640	2,109	1,331	1,502	927
		3	17:00	1,791	1,060	4,284	2,641	30,150	24,640	2,060	1,255	1,484	901
		4	11:00	1,917	1,195	4,521	2,626	33,330	28,440	2,041	1,297	1,566	925
	No 3	1	12:00	1,717	1,009	4,457	2,812	31,630	25,400	2,223	1,299	1,523	921
		2	15:00	1,540	949	4,400	2,583	31,040	25,600	2,191	1,351	1,419	848
		3	17:00	1,522	916	4,597	2,802	30,750	24,030	2,104	1,283	1,397	816
		4	10:00	1,586	978	4,969	3,064	28,240	22,270	2,215	1,338	1,410	911
2 (E)	No 1	1	12:00	2,149	1,284	3,761	2,319	31,640	24,730	2,269	1,367	2,075	1,195
		2	15:00	2,182	1,360	3,295	1,953	29,910	23,160	2,317	1,373	2,024	1,311
		3	17:00	2,282	1,391	3,198	1,939	29,360	23,160	2,312	1,349	2,052	1,251
		4	11:00	2,320	1,382	3,377	2,082	30,840	26,530	2,364	1,433	2,254	1,364
	No 2	1	12:00	2,168	1,268	3,873	2,347	24,570	18,360	2,211	1,309	1,864	1,135
		2	15:00	2,038	1,304	4,220	2,552	23,110	17,070	2,185	1,351	1,681	1,060
		3	17:00	1,949	1,196	4,282	2,702	24,040	18,270	2,176	1,321	1,792	1,105
		4	11:00	2,075	1,190	4,224	2,492	25,220	19,530	2,182	1,339	1,749	1,053
	No 3	1	12:00	1,880	1,159	4,537	2,765	24,380	18,530	2,209	1,377	1,658	969
		2	15:00	1,908	1,152	4,827	2,757	24,860	18,890	2,225	1,371	1,599	952
		3	17:00	1,951	1,219	4,893	2,911	25,150	19,470	2,182	1,403	1,566	920
		4	7:30	1,886	1,202	5,014	3,019	27,030	21,320	2,171	1,323	1,570	968
3 (A)	No 1	1	12:00	1,334	796	3,179	1,960	20,030	14,500	1,835	1,119	1,282	781
		2	15:00	1,318	764	3,165	1,883	21,150	14,950	1,779	1,097	1,228	766
		3	17:00	1,339	780	3,207	1,977	21,930	16,090	1,751	1,054	1,249	713
		4	11:00	1,390	864	3,015	1,822	23,130	16,420	1,716	1,095	1,313	809
	No 2	1	12:00	1,689	1,029	3,439	2,096	22,110	16,010	1,850	1,118	1,468	905
		2	14:30	1,719	1,048	3,497	2,218	18,210	12,500	1,953	1,226	1,510	909
		3	16:30	1,777	1,108	3,916	2,414	18,350	12,230	1,965	1,199	1,469	893
		4	10:00	2,168	1,289	4,684	2,697	20,600	13,850	2,441	1,492	1,821	1,126
	No 3	1	12:00	2,442	1,541	5,043	3,037	20,380	14,760	2,717	1,627	2,211	1,316
		2	15:00	2,535	1,513	5,562	3,390	19,190	13,620	2,857	1,783	2,283	1,398
		3	17:00	2,605	1,606	5,630	3,552	19,750	14,430	2,941	1,865	2,339	1,442
		4	11:00	3,107	1,872	7,624	4,646	23,410	17,250	3,361	2,072	2,661	1,679
4 (C)	No 1	1	12:00	1,715	1,076	3,846	2,229	14,710	9,810	1,795	1,068	1,473	917
		2	14:30	1,741	1,041	3,905	2,408	13,210	8,711	1,794	1,106	1,504	917
		3	17:00	1,705	1,058	3,795	2,312	11,180	7,133	1,769	1,052	1,500	870
		4	10:30	1,590	943	3,546	2,238	13,490	8,609	1,603	1,012	1,360	816
	No 2	1	12:30	2,830	1,745	4,352	2,652	12,210	8,139	3,017	1,817	2,781	1,695
		2	14:00	2,175	1,325	5,343	3,295	12,200	7,872	2,955	1,822	1,998	1,261
		3	16:00	1,808	1,089	6,833	4,017	12,910	8,420	2,855	1,781	1,584	988
		4	11:00	1,456	919	9,603	5,852	13,960	9,810	2,782	1,716	1,262	778
	No 3	1	13:00	3,936	2,427	7,849	5,009	12,060	8,039	4,409	2,718	3,428	2,089
		2	15:00	3,507	2,213	14,200	8,959	14,810	10,300	3,799	2,288	3,204	1,929
		3	17:00	3,289	2,028	16,750	10,810	14,930	10,170	3,398	2,071	2,779	1,754
		4	10:30	3,016	1,834	16,870	10,880	14,680	10,210	3,250	2,027	2,536	1,582
5 (D)	No 1	1	12:00	1,820	1,083	7,221	4,297	21,360	15,470	2,063	1,309	1,456	887
		2	15:00	1,893	1,163	6,796	4,239	20,690	14,680	2,103	1,336	1,513	933
		3	17:00	1,869	1,180	6,833	4,045	18,690	13,260	2,039	1,243	1,505	900
		4	11:00	1,784	1,113	7,048	4,346	21,400	15,650	2,107	1,299	1,559	939
	No 2	1	13:00	2,018	1,244	5,963	3,762	21,500	15,670	2,322	1,431	1,662	1,072
		2	15:00	2,071	1,307	5,422	3,305	20,450	16,120	2,388	1,438	1,741	1,073
		3	17:00	2,150	1,342	5,503	3,394	21,060	15,040	2,389	1,507	1,781	1,085
		4	12:00	1,926	1,188	5,145	3,062	16,490	11,230	2,335	1,423	1,689	1,053
	No 3	1	14:00	2,097	1,293	3,839	2,395	18,730	13,030	2,279	1,405	1,834	1,184
		2	15:00	2,106	1,328	3,851	2,346	18,210	12,790	2,303	1,387	1,760	1,085
		3	17:00	2,190	1,303	3,879	2,391	19,660	15,660	2,262	1,411	1,785	1,088
		4	11:00	2,150	1,330	3,868	2,302	19,440	13,940	2,190	1,399	1,689	1,027

(注) 実験NoのA, B……Eは前述の手分析結果の表に対応する。

5.2 下水処理水での連続実験

本実験は前述の電気透析装置を千葉県印旛沼流域下水道花見川処理場内に移設して実施したものであり、本法の実用性を明らかにすることを目的とし、56, 57年度で前半105日間、後半109日間、計214日間（実稼動日数）の運転を行っている。原水は花見川処理場二次処理水を急速砂ろ過—活性炭吸着処理したものを用い、前半は固定条件のもとで連続運転を行い、ここで発生した問題点および原因を確認し、後半には発生した問題点についての解決策を検討し、さらには下水処理水を用いた場合の最適運転条件などについても検討を行った。なお、装置については下水処理連続運転用に若干の改造を行っており、図-5・10に本実験でのフローを示す。

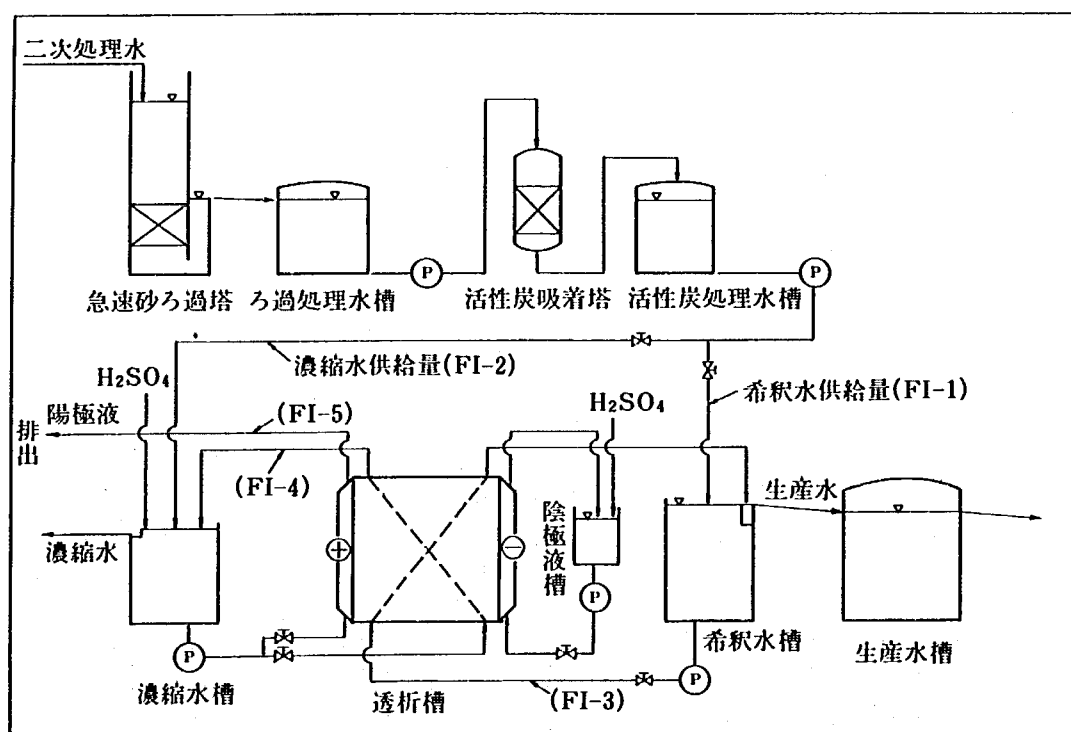


図-5・10 電気透析装置フロー（下水処理水を用いた実験）

5.2.1 原水の無機塩類濃度

実験期間中（昭和56年11月27日～昭和58年2月23日）の原水の塩類濃度に関する項目としては、導電率、溶解性物質、塩素イオンなどの測定を行っている。原水の溶解性物質および塩素イオンの平均値はそれぞれ711mg/ℓ（範囲は972～525mg/ℓ）、255mg/ℓ（範囲は407～148mg/ℓ）となっており、一般的な下水処理水（溶解性物質で300mg/ℓ程度）と較べるとやや高いといえる。

図-5・11は原水の導電率の週間変動を表わしたものであるが、これにより塩類濃度の増減の変動はほぼ一日周期で繰り返しているのがわかる。ただし、導電率の変動幅は平均値の±10%の範囲に収まっていることから、変動としては小さく、塩類濃度は安定しているといえる。

5.2.2 原水の濃度変動の影響

前述の食塩水および合成処理水における定電圧運転では、原水濃度が高くなると電流を運ぶイオ

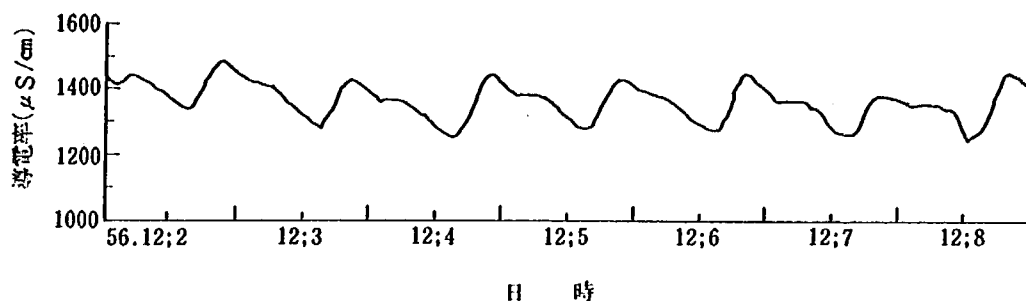


図-5・11 原水導電率の週間変動

ンの増加することになり、透析槽内の電流量が増加するため、原水濃度にかかわらず脱塩率は一定となることが確認されている。ただし、前述の実験では濃度としては比較的ゆっくり変化してゆく条件のもとで行っており、原水の濃度が急速に変化していった場合についても前述の結果と同様なことがいえるかどうか確認する必要がある。

図-5・12は原水に食塩を添加し、比較的周期の短い濃度変動を与えた場合の結果を示す。同図に示すようにここでの結果でも脱塩率はほぼ一定であり、希釈水の濃度は原水によく追従しているといえる。濃縮水については濃度変動の影響が1時間程度遅れて表われてくる。

極間電圧 30V
日生産水量 30m³/日
水回収率 80.6%

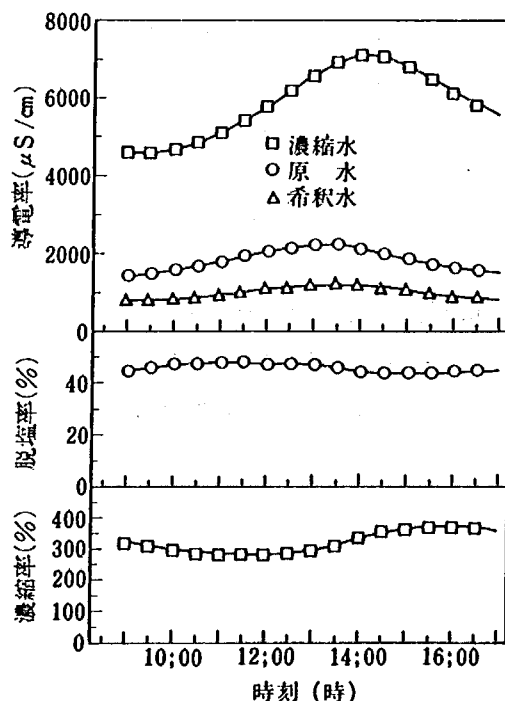


図-5・12 原水の濃度変動の影響

5.2.3 膜間通水速度の低下について

電気透析法では透析に要する電流はイオンの移動によって運ばれるのは先に述べた。ここでイオ

ン交換膜のイオンの移動割合（輪率）はどちらか一方（陽イオン交換膜では陽イオンの、陰イオン交換膜では陰イオン）の値が0.98程度である。これに対し水の輪率は1であるが、どちらか一方のイオンでは0.5程度のものである。このため、希釈室側では交換膜と水の接触面においては水の輪率が低いことからイオンの補給が不足がちとなりやすい。このため、水の攪拌を行って膜面に接触するものの交換を進めることでイオンの補給を行う。濃縮室側でも交換膜面からのイオンの拡散が進むよう同様の攪拌を行う。装置上においては膜と膜の間に間隔保持機能と併せて邪魔板的効果を有するスペーサーを入れると同時に、ここを通過する水の流速を大とすることで攪拌を進めるのが一般的であり、本装置もこの方法を採用している。なお、本装置では攪拌を十分に行い得る標準膜間通水速度は希釈室側では6 cm/sec、濃縮室側では3 cm/secとされており、この時の水量としては1,780 ℓ/hr（希釈室側、F I - 3）、890 ℓ/hr（濃縮室側、F I - 4）となる。

前半の連続運転（生産水量30m³/日、濃縮水量7.2m³/日、水回収率80.6%、極間電圧30V）で発生した最大の問題点は希釈室側の槽内圧力損失の増加により透析槽を通過する流量（F I - 3）を一定に維持することが困難となり、膜間通水速度の低下が大きかったことがあげられる。図-5・13および表-5・13に透析槽内の圧力損失および膜間通水速度の測定結果を示す。

本実験では運転開始前に解体洗浄を実施しており、洗浄直後の通水試験では希釈室側の膜間通水速度は最高8.2 cm/secの値が得られていたが、約1週間休止後、実験を開始したところ、6 cm/sec程度の値しか得られなかった。その後、稼動日数の経過とともに槽内の圧力損失が増加し、膜間通水速度が低下してゆき、稼動日数36日後には2.83 cm/secまで低下した。このため運転を打ち切り解体洗浄を実施することとした。写真-5・1に解体洗浄状況を示す。

ここで解体洗浄を実施した時に観察された特徴としては、希釈室側において写真-5・2に示すようにスライム状の物質がイオン交換膜表面およびスペーサーにびっしりと付着しているのがあげられる。なお、濃縮室側においても同様スライム物質が確認されたが、量的には希釈室側よりかなり少ないものであった。写真-5・3にスライム状物質の顕微鏡写真を示すが、この物質がバクテリアの繁殖によって生じたことがわかる。

解体洗浄後の運転においても槽内圧力損失の増加および膜間通水速度の低下がやはり見られ、次の解体洗浄でも前回同様スライム状物質が確認された。スライム状物質による透析槽内の目づまりによる圧力損失の増加、膜間通水速度の低下について対応策を考える必要がある。

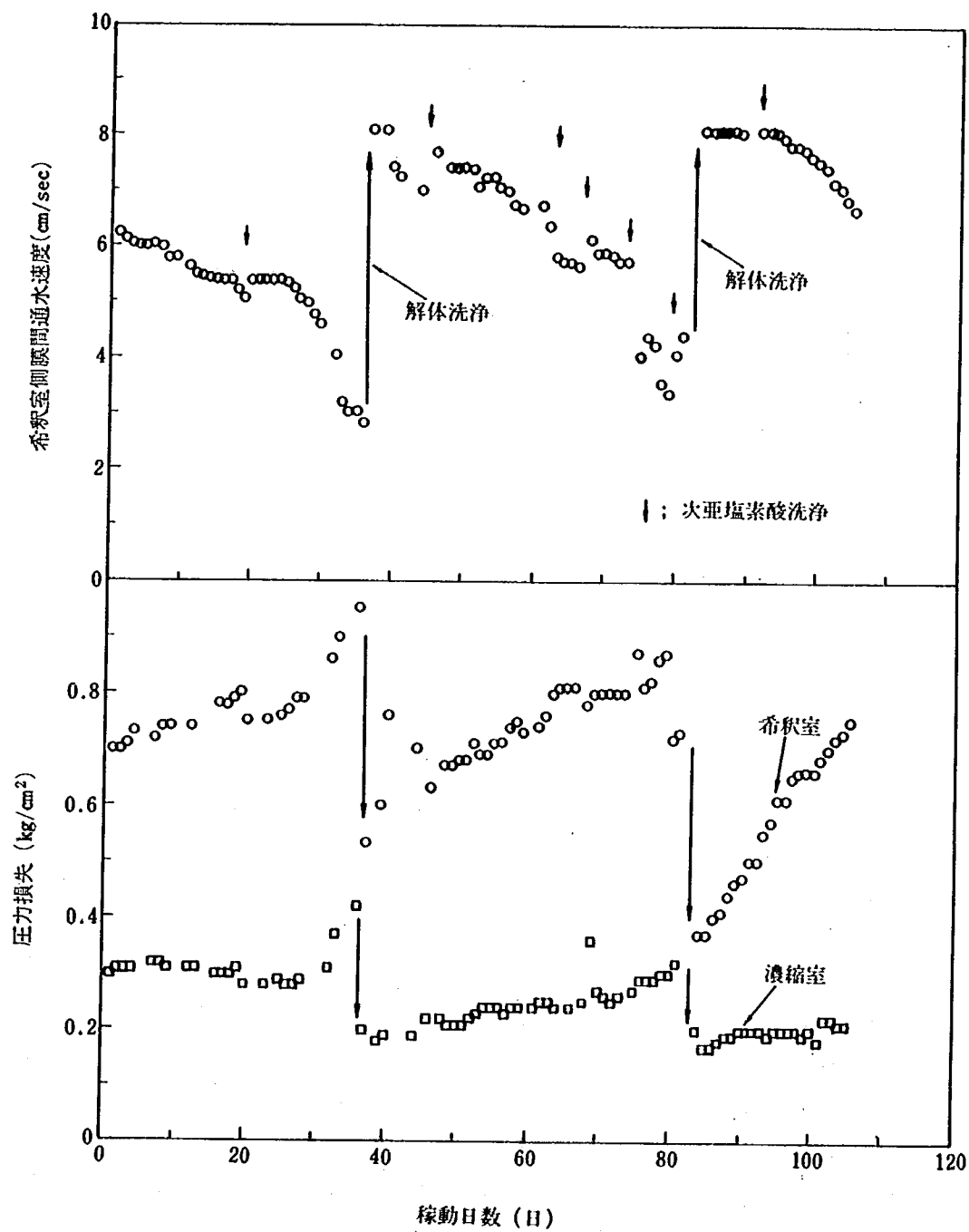


図 - 5・13 透析槽の圧力損失および膜間通水速度

表-5・13 透析槽の圧力損失および膜間通水速度

月 日	通算日数 <日>	希釈室側圧力損失 (kg/cm ²)	濃縮室側圧力損失 (kg/cm ²)	希釈室側循環水量 (ℓ/hr)	希釈室側通水速度 (cm/sec)
56年11月27日	1	0.70	0.30	1,850	6.23
28日	2	0.70	0.31	1,820	6.13
29日	3	0.71	0.31	1,800	6.06
30日	4	0.73	0.31	1,780	5.99
12月 1日	5			1,780	5.99
2日	6			1,790	6.03
3日	7	0.72	0.32	1,780	5.99
4日	8	0.74	0.32	1,720	5.79
5日	9	0.74	0.31	1,720	5.79
6日	10				
7日	11			1,670	5.62
8日	12	0.74	0.31	1,630	5.49
9日	13	0.76	0.31	1,620	5.45
10日	14			1,610	5.42
11日	15			1,600	5.39
12日	16	0.78	0.30	1,600	5.39
13日	17	0.78	0.30	1,600	5.39
14日	18	0.79	0.30	1,550	5.22
15日	19	0.80	0.31	1,500	5.05
16日	20	0.75	0.28	1,600	5.39
17日	21			1,600	5.39
18日	22			1,600	5.39
19日	23	0.75	0.28	1,600	5.39
20日	24			1,600	5.39
21日	25	0.76	0.29	1,590	5.35
22日	26	0.77	0.28	1,560	5.25
23日	27	0.79	0.28	1,500	5.05
24日	28	0.79	0.29	1,480	4.98
25日	29			1,420	4.78
26日	30			1,360	4.58
27日	31				
28日	32	0.86	0.31	1,200	4.04
57年 1月 5日	33	0.90	0.37	950	3.20
6日	34			900	3.03
7日	35			900	3.03
8日	36	0.95	0.42	840	2.83
4月21日	37	0.53	0.20	2,400	8.08
25日	38				
26日	39	0.60	0.18	2,400	8.08
27日	40	0.76	0.19	2,200	7.41
28日	41			2,150	7.24
29日	42				
30日	43				
5月 1日	44	0.70	0.19	2,080	7.00
8日	45				
9日	46	0.63	0.22	2,280	7.68
10日	47				
11日	48	0.67	0.22	2,200	7.41
12日	49	0.67	0.21	2,200	7.41
13日	50	0.68	0.21	2,200	7.41
14日	51	0.68	0.21	2,195	7.39
15日	52	0.71	0.22	2,100	7.07
16日	53	0.69	0.23	2,150	7.24
17日	54	0.69	0.24	2,150	7.24
18日	55	0.71	0.24	2,100	7.07

月 日	通算日数 <日>	希釈室側圧力損失 (kg/cm ²)	濃縮室側圧力損失 (kg/cm ²)	希釈室側循環水量 (ℓ/hr)	希釈室側通水速度 (cm/sec)
57年 5月19日	56	0.71	0.24	2,080	7.00
20日	57	0.74	0.23	2,000	6.73
21日	58	0.75	0.24	1,980	6.67
22日	59	0.73	0.24		
23日	60				
24日	61	0.74	0.24	2,000	6.73
25日	62	0.76	0.25	1,890	6.36
26日	63	0.80	0.25	1,730	5.82
27日	64	0.81	0.24	1,700	5.72
28日	65	0.81	0.24	1,690	5.69
29日	66	0.81	0.24	1,680	5.66
30日	67				
31日	68	0.78	0.25	1,820	6.13
6月 1日	69	0.80	0.36	1,750	5.89
2日	70	0.80	0.27	1,750	5.89
3日	71	0.80	0.26	1,730	5.82
4日	72	0.80	0.25	1,700	5.72
5日	73	0.80	0.26	1,700	5.72
6日	74				
9日	75	0.87	0.27	1,200	4.04
10日	76	0.81	0.29	1,300	4.38
11日	77	0.82	0.29	1,260	4.24
29日	78	0.86	0.29	1,060	3.57
30日	79	0.87	0.30	1,000	3.37
7月 1日	80	0.72	0.30	1,210	4.0
2日	81	0.73	0.32	1,310	4.4
3日	82				
7日	83				
9日	84	0.37	0.20	2,400	8.0
10日	85	0.37	0.17	2,400	8.0
14日	86	0.40	0.17	2,400	8.0
15日	87	0.41	0.18	2,400	8.0
16日	88	0.44	0.19	2,400	8.0
17日	89	0.46	0.19	2,390	8.0
18日	90	0.47	0.20		
19日	91	0.50	0.20		
20日	92	0.50	0.20	2,400	8.08
21日	93	0.55	0.20	2,400	8.08
22日	94	0.57	0.19	2,390	8.05
28日	95	0.61	0.20	2,360	7.95
29日	96	0.61	0.20	2,320	7.81
30日	97	0.65	0.20	2,320	7.81
31日	98	0.66	0.20	2,300	7.74
8月 4日	99	0.66	0.19	2,260	7.61
5日	100	0.66	0.20	2,240	7.54
6日	101	0.68	0.18	2,200	7.41
11日	102	0.70	0.22	2,120	7.14
12日	103	0.72	0.22	2,100	7.07
13日	104	0.73	0.21	2,030	6.84
14日	105	0.75	0.21	1,980	6.67

(注) 希釈室側圧力損失=希釈室入口圧力-希釈室出口圧力
濃縮室側圧力損失=濃縮室入口圧力-濃縮室出口圧力

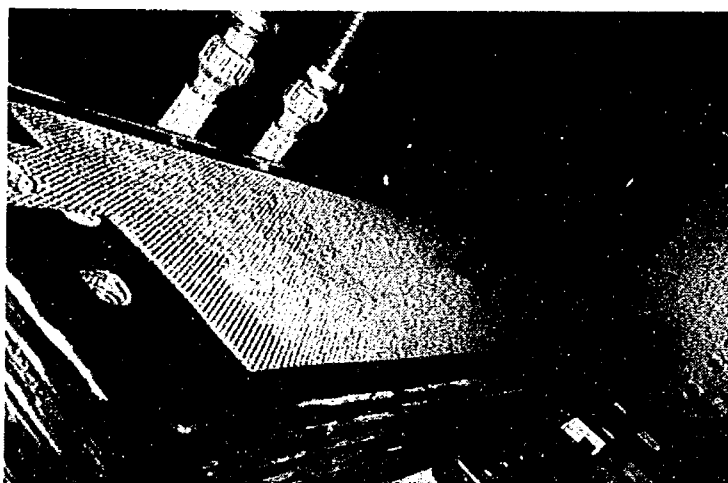


写真1

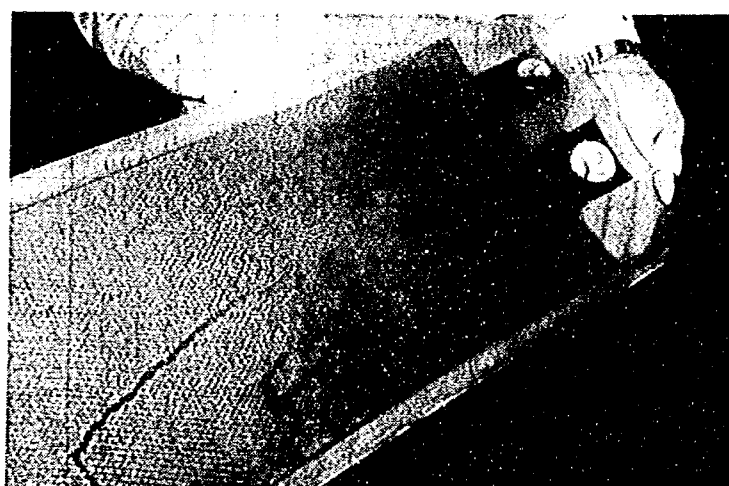


写真2

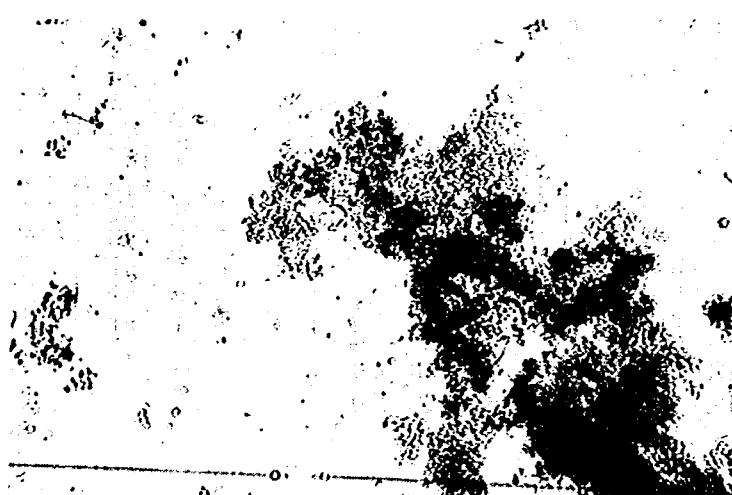


写真3

5.2.4. 脱塩率, 濃縮倍率, 電流効率

前期における運転は実験条件を固定して行っており, 電気透析法の処理としての安定性を見極める上ではよい判断材料となる。安定性を判断する項目としては種々のものが考えられるが, ここでは脱塩率, 濃縮倍率, 電流効率に着目して行った。表-5・14, 5・15に脱塩率, 濃縮倍率, 電流効率等の測定結果を示す。

運転期間中の脱塩率を図-5・10に示す。この期間の脱塩率の平均値は44.3%で範囲としては35~53%であり, 値としてはやや変動がある。この脱塩率変動する理由としては, 解体洗浄を行った直後は高脱塩率を示すことが多く, その直前には脱塩率が低下する傾向が見られていることから, 先に述べた膜間通水速度の低下の影響がその一つと考えられる。しかし, この変動は原水の供給量の変動におうところが多いようである。食塩水および合成処理水での実験では部分循環率を上げれば脱塩率が向上することが確認されている。本実験では部分循環率を算出する際の透析槽流量(FI-3)を一定に維持することが困難であったため, これに代わる指標として流量比を用いた。流量比は本機の単位時間当りの標準生産水量(1250ℓ/hr)を100とし, この何%の水量であったかを示すもので, 本機での部分循環率とは次式の関係となり,

$$\text{部分循環率 (\%)} = \frac{\text{透析槽流量} - (1250 \text{ ℓ/hr} \times \text{流量比})}{\text{透析槽流量}} \times 100$$

仮に透析槽流量を一定に保持しえた場合の見掛け上の部分循環率とただちに結びつくものである。同図に示すように脱塩率が向上している時は流量比が低下(見掛け部分循環率は増加)しており, 流量比が大きく影響しているのが推定できる。図-5・11に流量比と脱塩率との関係を示すが, これも流量比が脱塩率に大きな影響を与えているのを裏づけている。したがってここでの結果からは原水の供給量を一定に保持できれば, 膜間通水速度などの影響は小さく, かなり安定した脱塩率が得られるといえる。

濃縮倍率についても図-5・12に示すように変動が見られるものの, 変動の理由は脱塩率の場合と同様, 流量比の影響が大といえ, 流量比を一定に保持できれば安定したものが得られよう。

電流効率は透析槽の陰陽両極間を流れた直流電流のうち, イオンの移動, つまり脱塩に使われた割合を示すもので次式によって表わされる。

$$\begin{aligned} \text{電流効率 (\%)} \\ \text{(脱塩側から見た場合)} &= \frac{[\text{原水濃度} - \text{生産水濃度}] \times \text{生産水量}(\text{ℓ}) \times 10^{-3}}{\text{電流}(\text{A}) \times 0.0373 \times \text{稼動時間}(\text{hr}) \times \text{膜対数}} \times 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{電流効率 (\%)} \\ \text{(濃縮側から見た場合)} &= \frac{[\text{濃縮水濃度} - \text{原水濃度}] \times \text{濃縮水量}(\text{ℓ}) \times 10^{-3}}{\text{電流}(\text{A}) \times 0.0373 \times \text{稼動時間}(\text{hr}) \times \text{膜対数}} \times 100 \end{aligned}$$

塩類濃度は当量濃度(me/ℓ)で計算しなければならないが, ここでは塩類を全て食塩とみなして, 先の食塩水の実験での検量線から換算<食塩濃度(mg/ℓ) = 導電率 × 0.521> し, これから当量濃度を算出している。ここで塩類を全て食塩と仮定することについては議論の分かれるところであろう。下水処理水中の塩類組成は複雑なものが予想され, 合成処理水での検量線を用いた方がより実際の組成に近いとも考えられるが, 後述する導電率と溶解性物質の相関性から判断する限りにお

表-5・14 脱塩率、電流効率(前期)

月 日	稼動 日数 (日)	原 水 導 電 率 $\mu\text{S}/\text{cm}$	生 産 水			流 量 比 (%)	稼動時間 (hr)	透析電流 (A)	電流効率 (%)
			導 電 率 $\mu\text{S}/\text{cm}$	脱 塩 率 (%)	生産水量 (L)				
56年11月27日	1	1,402	835	40.4	19,539	97.7	16.0	3.75	88.3
28日	2	1,301	818	37.1	30,328	101.1	24.0	3.56	82.0
29日	3	1,229	785	36.1	29,717	99.1	24.0	3.21	81.9
30日	4	1,275	748	41.3	29,722	99.1	24.0	3.17	98.4
12月 1日	5	1,312	816	37.8	30,500	101.7	24.0	3.29	91.6
2日	6	1,388	855	38.4	27,810	101.1	22.0	3.59	89.7
3日	7	1,405	879	37.4	29,757	99.2	24.0	3.42	91.2
4日	8	1,308	839	35.9	29,810	99.4	24.0	3.30	84.4
5日	9	1,353	866	36.0	28,839	96.1	24.0	3.31	84.5
6日	10	1,356	833	38.6	30,304	101.0	24.0	3.35	94.2
7日	11	1,352	831	38.5	30,304	101.0	24.0	3.30	95.3
8日	12	1,333	828	37.9	29,658	98.9	24.0	3.18	93.8
9日	13	1,383	852	38.4	29,007	105.5	22.0	3.31	101.1
10日	14	1,535	936	39.0	30,372	101.2	24.0	3.84	94.4
11日	15	1,377	854	38.0	29,732	99.1	24.0	3.27	94.7
12日	16	1,388	848	38.9	29,769	99.2	24.0	3.30	97.0
13日	17	1,593	963	39.5	29,906	99.7	24.0	3.91	96.0
14日	18	1,420	872	38.6	29,772	99.2	24.0	3.29	98.8
15日	19	1,385	857	38.1	29,740	99.1	24.0	3.17	98.7
16日	20	1,437	797	44.5	16,896	96.5	14.0	3.96	93.2
17日	21	1,409	731	48.1	29,848	99.5	24.0	3.96	101.8
18日	22	1,522	865	43.2	30,055	100.2	24.0	4.46	88.2
19日	23	1,421	784	44.8	30,022	100.1	24.0	3.93	96.9
20日	24	1,417	781	44.9	30,123	100.4	24.0	3.92	97.3
21日	25	1,417	795	43.9	30,110	100.4	24.0	3.76	99.2
22日	26	1,537	861	44.0	29,985	100.0	24.0	4.14	97.5
23日	27	1,346	790	41.3	29,850	99.5	24.0	3.71	89.1
24日	28	1,401	794	43.3	30,045	100.2	24.0	3.70	98.2
25日	29	1,412	809	42.7	29,438	98.1	24.0	3.57	99.0
26日	30	1,545	899	41.8	29,307	97.7	24.0	3.82	98.7
27日	31	1,468	857	41.6	29,495	98.3	24.0	3.58	100.3
28日	32	1,455	849	41.6	31,381	104.6	24.0	3.50	108.2
57年 1月 5日	33	1,527	878	42.5	26,776	97.4	22.0	3.65	103.4
6日	34	1,333	778	41.6	29,695	99.0	24.0	3.06	107.3
7日	35	1,308	777	40.6	29,212	97.4	24.0	2.78	111.1
8日	36	1,478	823	44.3	17,500	100.0	14.0	3.16	123.8
4月21日	37	1,398	786	43.8	29,052	96.8	24.0	3.76	94.2
25日	38	1,349	687	49.1	20,253	92.6	17.5	4.02	91.1
26日	39	1,328	649	51.1	27,005	90.0	24.0	3.98	91.8
27日	40	1,293	624	51.7	26,931	89.8	24.0	3.86	93.0
28日	41	1,334	662	50.4	27,101	90.3	24.0	3.78	96.0
29日	42	1,371	679	50.5	27,288	91.0	24.0	4.00	94.0
30日	43	1,371	694	49.4	27,971	93.2	24.0	4.14	91.1
5月 1日	44	1,339	653	51.2	27,442	91.5	24.0	4.04	92.8
2日	45	1,287	664	48.4	20,106	91.9	17.5	3.61	94.8
9日	46	1,453	705	51.5	27,874	92.9	24.0	4.37	95.0
10日	47	1,254	600	52.2	27,128	90.4	24.0	3.73	94.7
11日	48	1,233	602	51.2	26,935	89.8	24.0	3.59	94.3
12日	49	1,252	615	50.9	26,873	89.6	24.0	3.58	95.2
13日	50	1,268	629	50.4	26,958	89.9	24.0	3.62	94.8
14日	51	1,280	630	50.8	26,797	89.3	24.0	3.63	95.6
15日	52	1,305	671	48.6	26,646	88.8	24.0	3.56	94.5
16日	53	1,278	614	52.0	25,263	84.2	24.0	3.74	89.3
17日	54	1,298	606	53.3	25,124	83.7	24.0	3.62	95.7
18日	55	1,311	636	51.5	25,772	85.9	24.0	3.54	97.9

月 日	稼動 日数 (日)	原 水 導 電 率 $\mu\text{S}/\text{cm}$	生 産 水			流 量 比 (%)	稼動時間 (hr)	透析電流 (A)	電流効率 (%)
			導 電 率 $\mu\text{S}/\text{cm}$	脱 塩 率 (%)	生産水量 (ℓ)				
57年 5月19日	56	1,443	763	47.1	26,162	87.2	24.0	4.31	82.2
20日	57	1,335	688	48.5	26,129	87.1	24.0	3.44	97.9
21日	58	1,363	727	46.7	26,096	87.0	24.0	3.36	98.4
22日	59	1,343	691	48.5	25,632	85.4	24.0	3.68	90.4
23日	60	1,356	703	48.2	27,537	91.8	24.0	3.66	97.9
24日	61	1,360	727	46.5	27,537	91.8	24.0	3.63	95.6
25日	62	1,338	716	46.5	27,561	91.9	24.0	3.35	101.9
26日	63	1,507	886	41.2	26,373	87.9	24.0	3.86	84.5
27日	64	1,518	922	39.3	25,017	83.4	24.0	3.90	76.1
28日	65	1,312	825	37.1	29,781	99.3	24.0	3.08	93.8
29日	66	1,310	809	38.2	29,898	99.7	24.0	2.96	100.8
30日	67	1,349	807	40.2	27,386	91.3	24.0	3.33	88.8
31日	68	1,325	826	37.7	27,386	91.3	24.0	3.16	86.1
6月 1日	69	1,310	813	37.9	26,494	88.3	24.0	2.83	92.7
2日	70	1,613	1,005	37.7	26,609	88.7	24.0	3.66	88.0
3日	71	1,202	750	37.6	26,634	88.8	24.0	2.38	100.7
4日	72	1,409	805	42.9	20,560	68.2	24.0	2.72	90.5
5日	73	1,350	800	40.7	21,698	72.3	24.0	2.60	91.4
6日	74	1,456	877	39.8	28,720	88.4	26.0	3.37	90.7
9日	75	1,401	868	38.0	27,351	99.5	22.0	3.17	99.9
10日	76	1,613	1,021	36.7	28,456	94.9	24.0	3.75	89.5
11日	77	1,323	840	36.5	28,678	95.6	24.0	2.92	94.5
29日	78	1,262	796	36.9	23,249	97.9	19.0	2.76	98.8
30日	79	1,300	820	36.9	24,790	90.1	22.0	2.74	94.4
7月 1日	80	1,390	788	43.3	28,205	94.0	24.0	2.92	115.8
2日	81	1,457	960	34.1	28,166	93.9	24.0	3.17	88.0
3日	82	1,700	1,063	37.5	27,593	93.9	23.0	3.53	101.3
7日	83	1,321	850	35.7	23,322	93.3	20.0	2.75	95.5
9日	84	1,225	630	48.6	20,835	92.6	18.0	3.52	93.5
10日	85	1,221	593	51.4	35,427	91.4	31.0	3.74	91.7
11日	86	1,243	671	46.0	27,114	94.3	23.0	3.60	89.5
15日	87	1,515	759	49.9	27,444	91.5	24.0	4.70	87.9
16日	88	1,257	628	50.0	27,763	92.5	24.0	3.92	88.7
17日	89	1,580	789	50.3	27,841	92.8	24.0	5.00	88.4
18日	90	1,260	619	50.9	9,377	93.8	8.0	3.96	90.7
19日	91	1,186	567	52.2	26,913	89.7	24.0	3.86	86.0
20日	92	1,507	713	52.7	28,876	96.3	24.0	4.86	94.0
21日	93	1,240	580	53.2	27,909	93.0	24.0	3.96	92.6
22日	94	1,479	699	52.7	36,246	93.5	31.0	4.54	96.0
28日	95	1,258	670	46.7	27,696	92.3	24.0	3.47	93.5
29日	96	1,565	785	49.8	27,371	91.2	24.0	4.69	90.7
30日	97	1,300	637	51.0	27,385	91.3	24.0	3.89	93.0
31日	98	1,565	776	50.4	34,363	88.7	31.0	4.81	86.9
8月 4日	99	1,273	666	47.7	26,354	87.8	24.0	3.50	91.0
5日	100	1,510	733	51.5	26,756	89.2	24.0	4.57	90.6
6日	101	1,182	581	50.8	34,871	90.0	31.0	3.57	90.5
11日	102	1,299	670	48.4	25,227	87.7	23.0	3.53	93.4
12日	103	1,298	628	51.6	25,069	83.6	24.0	3.72	89.9
13日	104	1,286	628	51.2	25,150	83.8	24.0	3.64	90.5
14日	105	1,337	647	51.6	33,717	87.0	31.0	3.79	94.7

(注) 導電率、透析電流は自動計測器の日平均値(読み取り間隔は1時間毎)

表-5・15 濃縮倍率, 電流効率(前期)

月 日	稼動 日数 (日)	原 水 導 電 率 $\mu\text{S}/\text{cm}$	濃 縮 水			流 量 比 (%)	稼動時間 (hr)	透析電流 (A)	電流効率 (%)
			導 電 率 $\mu\text{S}/\text{cm}$	濃縮倍率	濃縮水量 (L)				
56年11月27日	1	1,402	4,927	3.51	4,800	100.0	16.0	3.75	134.8
28日	2	1,301	4,012	3.08	7,469	103.7	24.0	3.56	113.3
29日	3	1,229	3,934	3.20	7,168	99.6	24.0	3.21	120.3
30日	4	1,275	3,875	3.04	7,264	100.9	24.0	3.17	118.7
1日	5	1,312	3,938	3.00	7,601	105.6	24.0	3.29	120.8
2日	6	1,388	4,248	3.06	6,834	103.5	22.0	3.59	118.3
3日	7	1,405	4,291	3.05	7,175	99.7	24.0	3.42	120.6
4日	8	1,308	4,178	3.19	7,008	97.3	24.0	3.30	121.4
5日	9	1,353	4,135	3.06	7,210	100.1	24.0	3.31	120.7
6日	10	1,356	4,184	3.09	7,145	99.2	24.0	3.35	120.1
7日	11	1,352	4,138	3.06	7,146	99.3	24.0	3.30	120.2
8日	12	1,333	4,000	3.00	6,298	87.5	24.0	3.18	105.2
9日	13	1,383	4,175	3.02	7,414	112.3	22.0	3.31	135.9
10日	14	1,535	4,828	3.15	6,915	96.0	24.0	3.84	118.1
11日	15	1,377	4,145	3.01	7,205	100.1	24.0	3.27	121.5
12日	16	1,388	4,141	2.98	7,186	99.8	24.0	3.30	119.4
13日	17	1,593	4,863	3.05	7,181	99.7	24.0	3.91	119.6
14日	18	1,420	4,228	2.98	7,097	98.6	24.0	3.29	120.6
15日	19	1,385	4,150	3.00	6,937	96.3	24.0	3.17	120.5
16日	20	1,437	2,624	1.83	4,165	99.2	14.0	3.96	42.6
17日	21	1,409	4,582	3.25	7,207	100.1	24.0	3.96	115.0
18日	22	1,522	5,254	3.45	6,983	97.0	24.0	4.46	116.4
19日	23	1,421	4,647	3.27	7,033	97.7	24.0	3.93	115.0
20日	24	1,417	4,641	3.28	7,075	98.3	24.0	3.92	115.9
21日	25	1,417	4,560	3.22	7,022	97.5	24.0	3.76	116.9
22日	26	1,537	5,048	3.28	6,846	95.1	24.0	4.14	115.6
23日	27	1,346	4,472	3.32	7,173	99.6	24.0	3.71	120.4
24日	28	1,401	4,532	3.23	6,936	96.3	24.0	3.70	116.9
25日	29	1,412	4,484	3.18	6,756	93.8	24.0	3.57	115.8
26日	30	1,545	4,856	3.14	7,022	97.5	24.0	3.82	121.2
27日	31	1,468	4,577	3.12	6,975	96.9	24.0	3.58	120.6
28日	32	1,455	4,556	3.13	7,218	100.3	24.0	3.50	127.4
57年 1月 5日	33	1,527	4,538	2.97	6,524	98.8	22.0	3.65	116.9
6日	34	1,333	3,959	2.97	7,296	101.3	24.0	3.06	124.7
7日	35	1,308	3,708	2.83	7,172	99.6	24.0	2.78	123.3
8日	36	1,478	4,168	2.82	840	20.0	14.0	3.16	24.4
4月21日	37	1,398	4,500	3.22	7,028	97.6	24.0	3.76	115.5
25日	38	1,349	4,814	3.57	5,159	98.3	17.5	4.02	121.5
26日	39	1,328	4,773	3.59	6,942	96.4	24.0	3.98	119.7
27日	40	1,293	4,840	3.74	5,635	78.3	24.0	3.86	103.1
28日	41	1,334	4,891	3.67	7,685	106.7	24.0	3.78	144.0
29日	42	1,371	4,973	3.63	7,119	98.9	24.0	4.00	127.7
30日	43	1,371	4,941	3.60	7,187	99.8	24.0	4.14	123.4
5月 1日	44	1,339	4,927	3.68	6,565	91.2	24.0	4.04	116.1
8日	45	1,287	4,451	3.46	4,811	91.6	17.5	3.61	115.2
9日	46	1,453	5,558	3.83	7,204	100.1	24.0	4.37	134.8
10日	47	1,254	4,632	3.69	6,505	90.3	24.0	3.73	117.3
11日	48	1,233	4,326	3.51	7,274	101.0	24.0	3.59	124.8
12日	49	1,252	4,574	3.65	6,391	88.8	24.0	3.58	118.1
13日	50	1,268	4,663	3.68	6,302	87.5	24.0	3.62	117.7
14日	51	1,280	4,575	3.57	5,657	78.6	24.0	3.63	102.3
15日	52	1,305	4,679	3.59	7,478	103.9	24.0	3.56	141.2
16日	53	1,278	4,932	3.86	6,243	86.7	24.0	3.74	121.5
17日	54	1,298	4,839	3.73	5,906	82.0	24.0	3.62	115.1
18日	55	1,311	4,061	3.59	6,724	93.4	24.0	3.54	126.7

月 日	稼動 日数 (日)	原 水 電 率 $\mu\text{S}/\text{cm}$	濃 縮 水			流 量 比 (%)	稼動時間 (hr)	透析電流 (A)	電流効率 (%)
			導 電 率 $\mu\text{S}/\text{cm}$	濃縮倍率	濃縮水量 (ℓ)				
57年 5月19日	56	1,443	5,754	3.99	6,303	87.5	24.0	431	125.6
20日	57	1,335	4,804	3.60	6,169	85.7	24.0	344	123.9
21日	58	1,363	4,800	3.52	6,145	85.3	24.0	336	125.2
22日	59	1,343	5,383	4.01	5,493	76.3	24.0	368	120.1
23日	60	1,356	4,969	3.66	6,185	85.9	24.0	366	121.6
24日	61	1,360	5,118	3.76	6,185	85.9	24.0	363	127.5
25日	62	1,338	5,262	3.93	5,604	77.8	24.0	335	130.7
26日	63	1,507	6,223	4.13	4,408	61.2	24.0	386	107.3
27日	64	1,518	5,593	3.68	7,454	103.5	24.0	390	155.1
28日	65	1,312	4,748	3.62	5,517	76.6	24.0	308	122.6
29日	66	1,310	4,647	3.55	5,528	76.8	24.0	296	124.1
30日	67	1,349	4,994	3.70	5,786	80.4	24.0	333	126.1
31日	68	1,325	4,739	3.58	5,787	80.4	24.0	316	124.5
6月 1日	69	1,310	4,545	3.47	5,474	76.0	24.0	283	124.6
2日	70	1,613	5,464	3.39	5,982	83.1	24.0	366	125.4
3日	71	1,202	4,000	3.33	6,142	85.3	24.0	238	143.8
4日	72	1,409	4,705	3.34	5,355	74.4	24.0	272	129.2
5日	73	1,350	4,314	3.20	5,931	82.4	24.0	260	134.7
6日	74	1,456	4,675	3.21	7,115	91.2	26.0	337	124.9
9日	75	1,401	4,411	3.15	5,605	84.9	22.0	317	115.6
10日	76	1,613	4,975	3.08	6,667	92.6	24.0	375	119.0
11日	77	1,323	4,018	3.04	6,391	88.8	24.0	292	117.5
29日	78	1,262	3,757	2.98	5,146	90.3	19.0	276	117.0
30日	79	1,300	3,758	2.89	5,851	88.7	22.0	274	114.0
7月 1日	80	1,390	3,972	2.86	6,628	92.1	24.0	292	116.7
2日	81	1,457	4,200	2.88	6,636	92.2	24.0	317	114.4
3日	82	1,700	4,700	2.76	6,528	92.6	23.5	353	112.8
7日	83	1,321	3,731	2.82	5,580	93.0	20.0	275	116.9
9日	84	1,225	4,025	3.29	4,117	76.2	18.0	352	87.0
10日	85	1,221	4,429	3.63	9,387	100.9	31.0	374	124.2
11日	86	1,243	4,293	3.45	6,476	93.9	23.0	360	114.0
15日	87	1,515	5,304	3.50	6,860	95.3	24.0	470	110.2
16日	88	1,257	4,531	3.60	6,599	91.7	24.0	392	109.8
17日	89	1,586	6,081	3.83	6,766	94.0	24.0	500	121.1
18日	90	1,260	4,554	3.61	2,402	100.1	8.0	396	119.4
19日	91	1,186	4,348	3.67	6,847	95.1	24.0	386	111.7
20日	92	1,507	5,471	3.63	6,934	96.3	24.0	486	112.6
21日	93	1,240	4,490	3.62	6,901	95.8	24.0	396	112.8
22日	94	1,479	5,400	3.65	7,888	84.8	31.0	454	105.0
28日	95	1,258	4,274	3.40	7,801	108.3	24.0	347	135.0
29日	96	1,565	5,532	3.53	6,746	93.7	24.0	469	113.6
30日	97	1,300	4,671	3.59	6,645	92.3	24.0	389	114.7
31日	98	1,565	5,470	3.50	10,442	112.3	31.0	481	130.7
8月 4日	99	1,273	4,220	3.32	7,190	99.9	24.0	350	120.6
5日	100	1,510	5,364	3.56	6,991	97.1	24.0	457	117.4
6日	101	1,182	4,296	3.63	9,215	99.1	31.0	357	123.9
11日	102	1,299	4,492	3.46	6,680	96.8	23.0	353	125.6
12日	103	1,298	4,559	3.51	6,655	92.4	24.0	372	116.2
13日	104	1,286	4,507	3.50	6,688	92.9	24.0	364	117.9
14日	105	1,337	4,601	3.49	8,724	93.8	31.0	379	118.0

(注) 導電率、透析電流は自動計測器の日平均値

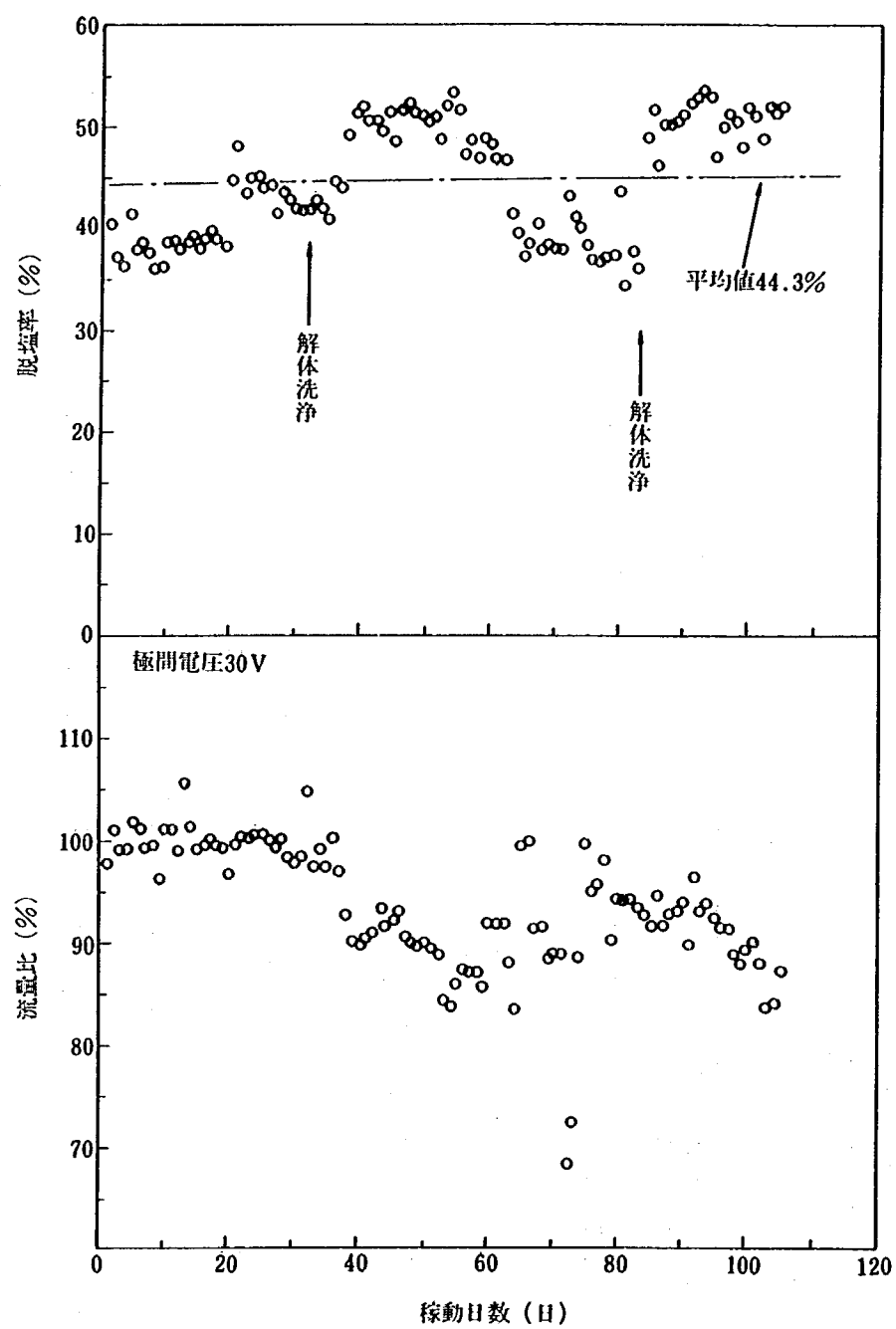


図-5・10 前期の脱塩率

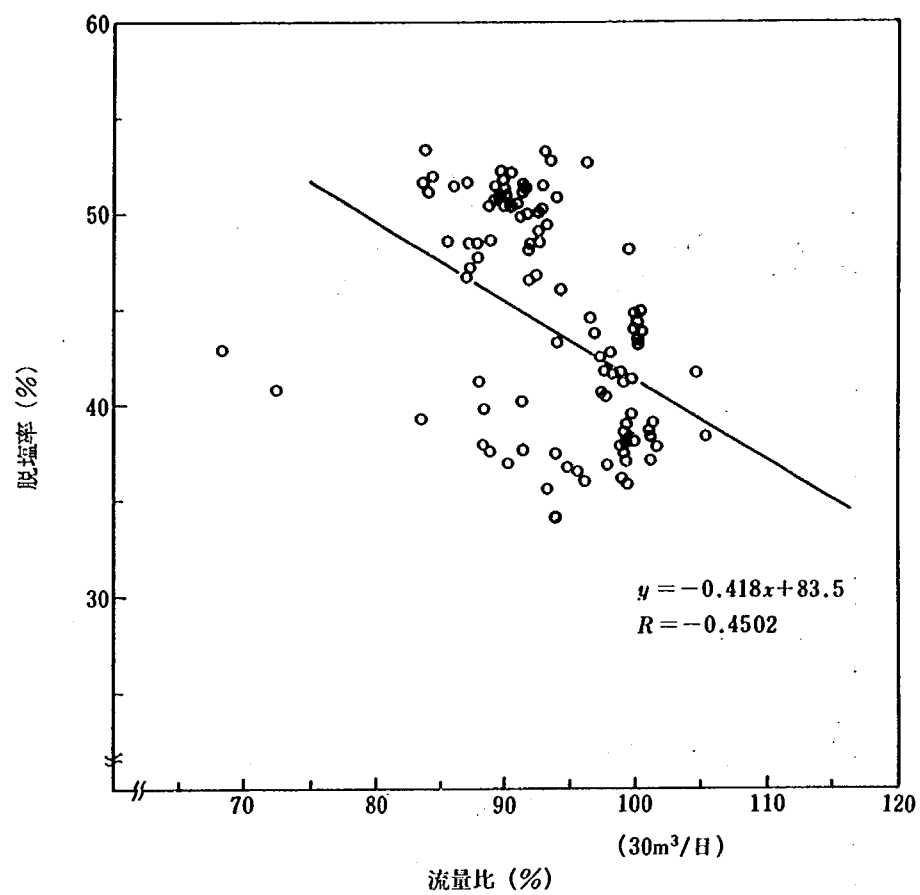


図-5・11 脱塩率と流量比

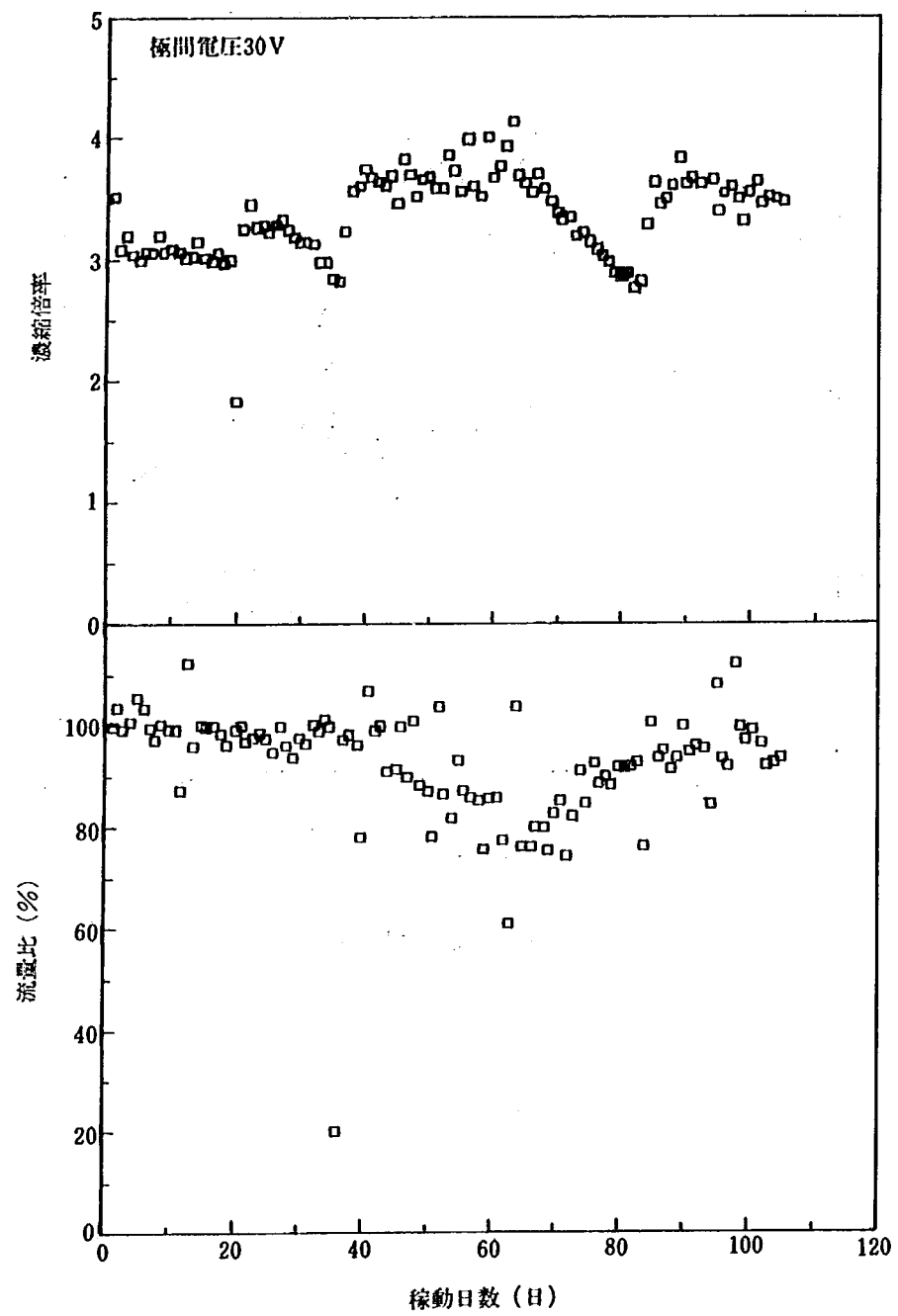


図-5・12 前期の濃縮倍率

いては食塩水での検量線を用いた方が整合性が高いため、これを採用している。

電流効率は直流が全てイオンの移動によって使用されれば100%の値となる。しかしながら電流は外部に漏電したり、水の加水分解にも消費され、また、イオン交換膜においても輸率が完全に1でないことから、対象外のイオンの移動もあり、通常電流効率は80~90%の値となるのが一般的である。実験期間中の電流効率は図-5・13に示す。脱塩側から見た電流効率は、全般にわたって安定したものが得られており、その平均値は93%となっている。この数値は前述の値よりやや高いものといえるが、これは電流効率が高かったことを示すものではなく、むしろ電流効率を算出するのに用いた数値に誤差があったと考えるのが妥当であり、換算により求めた塩類濃度が実際の塩類濃度より5~10%程度高い値となっている可能性が高い。濃縮側から見た電流効率はやや変動が大きく、数値も120%前後と、電流使用量以上に濃縮された形になっている。これは濃縮水には難溶性塩類の析出によるスケールの発生を防止する意味でpHを5程度にしておくための硫酸の添加を行っており、この分が加算される結果、濃縮水の塩類濃度が高くなるために生じたものであろう。

電流効率については、実験中の膜間通水速度の低下の影響は特に認められないようである。したがって運転条件が一定であれば安定した電流効率が得られよう。

ここでは電気透析法の処理としての安定性を判断する上で脱塩率、濃縮倍率、電流効率について述べてきた。結論から言えばこれらは実験期間中に多少の変動が見られたが、これらはおおむね原水供給量の変動など運転条件のずれに起因しており、運転条件を精度よく保持することにより、極めて安定した処理が可能であり、この点については信頼性は高いといえよう。

5.2.5 透析槽の洗浄方法について

前期での連続運転で発生した最大の問題点は生物スライムの発生による槽内圧力損失の増加とこれに伴う膜間通水速度の低下であった。この膜間通水速度の低下は脱塩率や電流効率などの処理成績にはほとんど影響を及ぼさないが、これを放置しておいた場合、物理的に水が流れなくなることにもなり、当然のことながら下限設定が必要である。これに伴い、下限に達した場合の対応策と、下限に達するまでの期間を長くとれるような方法も考慮しておく必要がある。

下限に達した場合の対応策としては解体洗浄が有効であろう。解体洗浄は透析槽を解体しイオン交換膜およびスパーサーを1枚1枚はがした後洗浄してゆく方法である。先のスライム状物質はスポンジタワシで軽くこするだけで簡単にはく離し、流水で洗い流すことにより完全に除去できるため、技術的には難しいものではないが、作業時間としては本装置（実装置と較べて膜面積は $\frac{1}{2}$ 、膜対数 $\frac{1}{4}$ ）で作業員3人で8~10時間程度を要している。本実験では全て手作業のみで行っており、また作業に不慣れな部分も多いため、実機でのある程度機械化・自動化の導入ができていないものは比較できないが、機械化・自動化のできそうもない部分も数多いようであり、作業時間としてはかなりの時間が必要のようである。このため、解体洗浄の頻度によっては装置の稼働率にかなり影響を与える可能性が高いといえよう。ちなみに、電気透析法を最も多く採用している製塩工業での解体洗浄の頻度は年間で3~4回程度とされており、1回の解体洗浄で80~120日程度運転可能といえる。

下水処理水を用いた本実験では解体洗浄後何もしない条件での運転可能日数は30日程度のものと

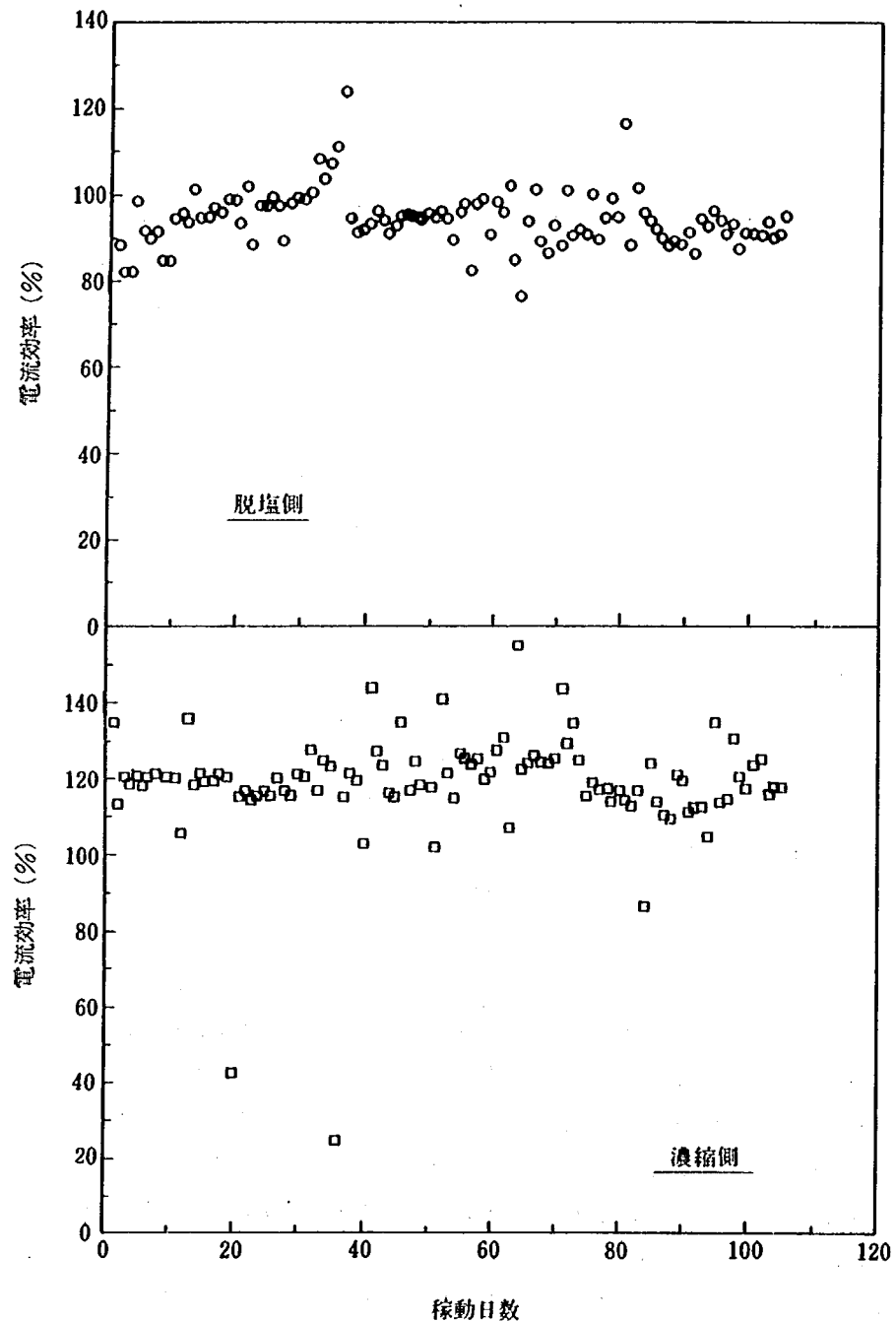


図-5・13 前期の電流効率

予想される。これは製塩の分野の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{4}$ の日数といえ、解体洗浄に3日要すると仮定すれば、これだけで稼働率は90%程度となり、点検、故障などを考えればさらに低下が予想されることとなる。したがって1回の解体洗浄当りの運転可能日数を引きのぼすことが稼働率を高めるうえで重要となる。

槽内圧力損失の増加とこれに伴う膜間通水速度の低下は生物スライムの発生・増殖によるものであり、槽内に付着した生物を滅菌してやることにより、運転可能日数をのぼすことができるのでは

と考えられる。この目的で前期運転期間中に、残留塩素を含む液を透析槽内に通す次亜塩素酸洗浄を数回実施した。ここでの洗浄は予備実験に行ったものであり、残留塩素濃度、洗浄時間等についての条件は一定ではなく、また、残留塩素濃度と洗浄効果の関係についての関係も明確なものは得られなかった。しかし、残留塩素を数100mg/ℓ含む液を透析槽に30～60分程度通すことにより、槽内圧力損失、膜間通水速度は若干回復し、さらに数日程度は低下が少ないことは確認され、定期的実施すれば運転可能日数をかなりのばしうる可能性が見い出された。

前期の連続運転で次亜塩素酸洗浄の有効性がある程度確認できたのを受け、後期（実稼動109日）においては洗浄をさらに効果的に行なえるよう、週1回および週2回の定期洗浄方式および次亜塩素酸の連続注入について検討を行った。結果を表-5・15および図-5・14に示す。

(1) 連続注入（RUN A）

この方式は原水をあらかじめ滅菌しておくことによって透析槽内に微生物が入ることを防ぎ、生物スライムの発生、増殖を抑える目的で実施したものであり、原水にOCl⁻として1ℓ当たり約4mg程度連続注入、混合を行い、残留塩素として2～4mg/ℓ含む原水を装置に供給したものである。この方式では添加した次亜塩素酸の一部は有機物に消費され、一部は脱塩効果で除去されるものの、生産水中にも含まれて出てくる（本装置では残留塩素として1～3mg/ℓ）ため、再利用時に滅菌が必要とされる場合でも、後段の滅菌操作が不要か、あってもごくわずかの塩素の追加で済む。また、運転を停止することなく実施できるので魅力的な方式といえる。

その効果であるが同図に示すように圧力損失の増加および膜間通水速度の低下は比較的大きく、他の方式と較べると劣っているようである。ただし、この方式はかなり圧力損失の高い時点、つまり槽内の閉塞がかなり進んでいる時点から開始していること、および実験期間としても長期間とれなかったことから、本方式を採用した場合の1回の解体洗浄での運転可能日数については明確なものは得られていない。運転可能日数がいくらあればよいかという問題とからめて考えて、その良否についての結論は得られなかったといえよう。なお、ここでの次亜塩素酸ソーダ（有効塩素約13W/V%）の使用量は、希釈側および濃縮側にも同量添加し、水回収率を80%とした条件のもとで生産水1m³当たり約38mℓ、本機の標準生産量30m³/日では約8ℓ/週必要である。

(2) 2回/週の洗浄（RUN B）

ここでの方式では洗浄の確実性を期すため、残留塩素濃度としては1000mg/ℓと予備実験と較べてやや高めとし、流入時間も1.3時間とやや長めにとって行った。この条件での2回/週の洗浄では同図に示すように希釈室側の圧力損失の増加および膜間通水速度の低下は極めて少なく、濃縮室側においては圧力損失の低下も認められた。この条件での洗浄を実施するならば、1回の解体洗浄当りの運転可能日数はかなり長期なものとなり、製塩の分野での80～120日を大幅に上まわることも可能であろう。

この条件での次亜塩素酸ソーダの使用量は洗浄液をどのように作成するかによって異なってくる。本装置では原水の供給を止め、希釈水槽（有効容量500ℓ）、濃縮水槽（同200ℓ）で調整し、循環通水するのが最も一般的である。この場合の使用量は1回当たり6.2ℓであり、週2回の洗浄でも12.4ℓ/週であり、先の連続注入と較べてもさほど多いものではない。

表-5・15 洗浄実験期間中の圧力損失・膜間通水速度

RUN No	条 件	月 日	稼働 日数 (日)	希釈室側 圧力損失 kg/cm ²	濃縮室側 圧力損失 kg/cm ²	希釈室側 循環水量 (ℓ/hr)	希 釈 室 側 膜間通水速度 (cm/sec)
A	0℃ ⁻ の 連続注入	57年 9月11日	1	0.72	0.21	1,980	6.67
		12日	2	0.73	0.20	1,970	6.63
		13日	3	0.73	0.21	1,940	6.53
		14日	4	0.74	0.21		
		15日	5	0.74	0.21		
		16日	6	0.70	0.21	1,950	6.57
		17日	7	0.74	0.21		
		22日	8	0.75	0.24	1,820	6.13
		23日	9	0.67	0.14	1,800	6.06
		24日	10	0.77	0.24	1,750	5.89
		29日	11	0.80	0.28	1,600	5.39
		30日	12	0.82	0.31	1,550	5.22
		10月 1日	13	0.83	0.33	1,490	5.02
		2日	14	0.83	0.35	1,400	4.71
		6日	15	0.84	0.34	1,520	5.12
		7日	16	0.84	0.33	1,500	5.05
		8日	17	0.83	0.32	1,500	5.05
B	2回/週の 洗 浄	9日	18			1,440	4.85
		13日	19	0.81	0.35	1,550	5.22
		14日	20	0.81	0.35	1,560	5.25
		15日	21	0.82	0.35	1,570	5.29
		16日	22			1,580	5.32
		20日	23	0.82	0.30	1,560	5.25
		21日	24	0.82	0.31	1,550	5.22
		22日	25	0.82	0.30	1,540	5.19
		23日	26			1,350	4.55
		24日	27	0.82	0.26	1,580	5.32
		25日	28	0.82	0.26	1,570	5.29
		26日	29	0.82	0.27	1,520	5.12
		27日	30	0.75	0.37	1,050	3.54
		28日	31	0.80	0.26	1,520	5.12
		29日	32	0.80	0.26	1,520	5.12
		11月 10日	33	0.83	0.24	1,350	4.55
		11日	34	0.84	0.25	1,310	4.41
		12日	35	0.84	0.25	1,350	4.55
		13日	36	0.84	0.26	1,350	4.55
		14日	37				
		17日	38	0.83	0.25	1,350	4.55
		18日	39	0.83	0.26	1,340	4.51
		19日	40	0.83	0.26	1,340	4.51
		20日	41	0.83	0.26	1,380	4.65
		25日	42	0.84	0.24	1,320	4.44
		26日	43	0.83	0.25	1,380	4.65
		27日	44	0.83	0.25	1,360	4.58
		28日	45				
C	1回/週の 洗 浄	12月 3日	46	0.37	0.18	2,400	8.08
		4日	47	0.37	0.18	2,400	8.08
		5日	48			2,400	8.08
		6日	49	0.38	0.18	2,400	8.08
		7日	50	0.39	0.29	2,400	8.08
		8日	51	0.38	0.29	2,400	8.08
		9日	52	0.38	0.29	2,400	8.08
		10日	53	0.39	0.21	2,400	8.08
		11日	54	0.39	0.20	2,400	8.08
		12日	55	0.39	0.19	2,400	8.08

RUN No	条 件	月 日	稼働 日数 (日)	希 釈 室 側 圧 力 損 失 kg/cm ²	濃 縮 室 側 圧 力 損 失 kg/cm ²	希 釈 室 側 循 環 水 量 (ℓ/hr)	希 釈 室 側 膜 間 通 水 速 度 (cm/sec)
	1回/週の 洗浄	57年12月13日	56	0.40	0.20	2,400	8.08
		15日	57				
		16日	58	0.42	0.21	2,400	8.08
		17日	59	0.42	0.20	2,400	8.08
		18日	60	0.42	0.20	2,410	8.11
		19日	61	0.42	0.21	2,400	8.08
		20日	62	0.43	0.21	2,400	8.08
		21日	63	0.43	0.21	2,400	8.08
		22日	64	0.42	0.21	2,400	8.08
		23日	65	0.43	0.21	2,400	8.08
		24日	66	0.43	0.21	2,400	8.08
		25日	67	0.45	0.21	2,400	8.08
		26日	68	0.47	0.21	2,400	8.08
		27日	69	0.46	0.22	2,400	8.08
		58年 1月 6日	70	0.49	0.21	2,400	8.08
		7日	71	0.49	0.22	2,400	8.08
		8日	72	0.39	0.22	2,400	8.08
		9日	73	0.51	0.27	2,400	8.08
		11日	74	0.51	0.22	2,400	8.08
		12日	75	0.52	0.22	2,400	8.08
		13日	76	0.52	0.22		
		14日	77	0.50	0.23	2,400	8.08
		18日	78	0.47	0.23	2,400	8.08
		19日	79	0.48	0.22	2,400	8.08
		20日	80	0.48	0.22	2,400	8.08
		21日	81	0.48	0.22		
		22日	82	0.48	0.22	2,400	8.08
		27日	83	0.53	0.23	2,400	8.08
		28日	84	0.53	0.23	2,400	8.08
		29日	85	0.53	0.23	2,400	8.08
		30日	86	0.56	0.23	2,400	8.08
		31日	87	0.57	0.23	2,400	8.08
		2月 1日	88	0.60	0.23	2,400	8.08
		2日	89	0.63	0.23	2,400	8.08
		3日	90	0.62	0.24	2,400	8.08
		4日	91	0.62	0.24	2,400	8.08
		5日	92	0.62	0.23	2,400	8.08
		6日	93	0.62	0.24	2,400	8.08
		7日	94	0.62	0.24	2,400	8.08
		9日	95	0.62	0.25	2,380	8.01
		10日	96	0.64	0.24	2,350	7.91
		11日	97	0.64	0.24	2,350	7.91
		12日	98	0.64	0.27		
		13日	99	0.64	0.26	2,320	7.81
		14日	100	0.64	0.27	2,320	7.81
		15日	101	0.64	0.27	2,350	7.91
		16日	102	0.64	0.28	2,350	7.91
		17日	103	0.64	0.27	2,300	7.74
		18日	104	0.64	0.28	2,300	7.74
		19日	105	0.65	0.28	2,290	7.71
		20日	106	0.65	0.28	2,280	7.68
		21日	107	0.65	0.28	2,290	7.71
		22日	108	0.65	0.29	2,290	7.71
		23日	109	0.63	0.29	2,300	7.74

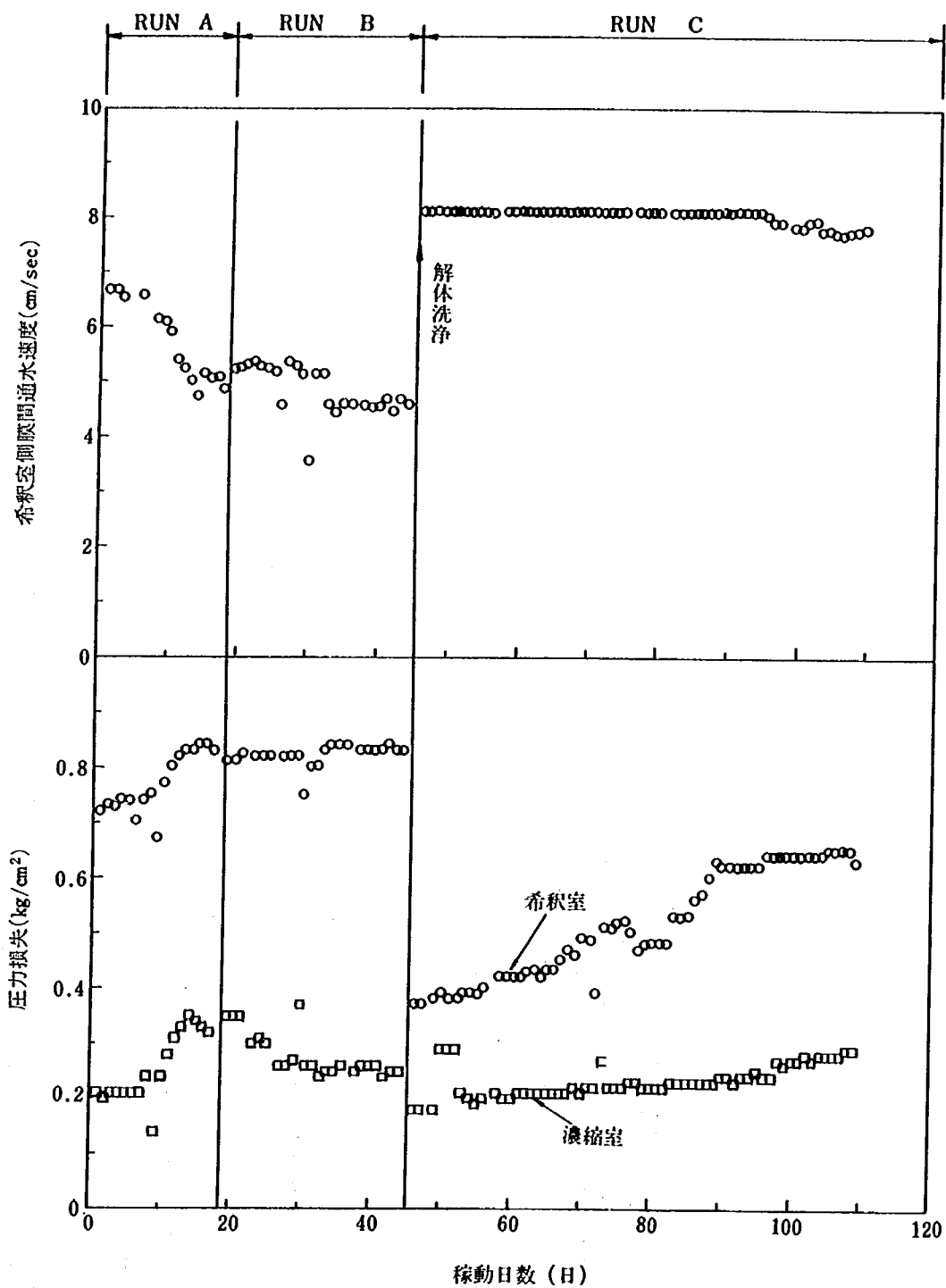


図-5・14 洗浄実験期間中の圧力損失, 膜間通水速度

洗浄液の循環通水では有効塩素の低下はそれほど大きなものではないため、例えば洗浄液の作成量を減らしても通水可能な次亜塩素酸ソーダの使用量は当然減少する。また、装置が複数台あって順次使用していく形をとっても1台当りの使用量は減少することとなり、使用量の減らすための余地はかなり残っているといえよう。

(3) 1回/週の洗浄 (RUN C)

1回/週の洗浄は、解体洗浄後に検討した。ここでの結果でも圧力損失の増加は認められたが、膜間通水速度に関しては63日間の実験期間内では当初設定した8 cm/secを大幅に下まわることではなく、終了まぎわでもこれに近い値でおさまっている。膜間通水速度の下限を3 cm/secと仮定した場合、100日以上は通水可能と判断できる。したがってこの条件の次亜塩素酸洗浄で、製塩の分野での解体洗浄の頻度と同一か、それ以上となるわけであり、次亜塩素酸ソーダの使用量もここで検討した3方式で最も少ない6.2 ℓ/週でよいこととなる。なお、使用量を減らす余地があるのはRUN Bと同様である。

実験期間全般を通して気付いたことであるが、槽内圧力損失の増加および膜間通水速度の低下は、装置の運転を数日にわたって停止していた場合に、大きく表われる傾向が見られる。したがって装置の運転を停止する場合、次亜塩素酸洗浄を行ってから停止するのが、運転可能日数をのばす上で効果が期待できる。

ここでは濃縮室側の膜間通水速度は述べてこなかったが、これは濃縮室側の設定膜間通水速度は3 cm/secと小さく、またポンプ容量が希釈室と同性能のものがついていたため、全期間にわたって設定値を維持でき、こちらは特に問題がなかったためである。

本実験では次亜塩素酸洗浄のみしか検討していないが、これに代わるものとして酸洗浄も有効と考えられる。有効と考えられる理由としては、①pHを下げることによって微生物を死滅させられること、②濃縮室側で析出・発生する可能性のある難溶性塩類のスケールも溶かしうること、③イオン交換膜を傷めないこと（残留塩素は交換膜を傷める物質の1つとされている）などがあげられよう。酸洗浄の効果および経済性については今後の課題といえよう。

最後に残留塩素がどの程度膜を傷めるかであるが、実験終了後の解体では特に異常が認められず、明確な結論は得られなかった。一般に膜寿命は10年程度とされているが、本実験では実働214日ということもあり、本条件での膜寿命を明らかにすることはできなかった。

5.2.6 水回収率について

電気透析法では原水の一部を濃縮側にも供給し、濃縮水は廃棄される。原水は通常前処理が必要であるため、濃縮水の量を少なくして水回収率を高めることが重要となる。

図-5・15に生産水量を一定(30 m³/日)とし、濃縮水量を増減することによって水回収率を変化させた場合の電流効率、脱塩率、濃縮率を示す。同図に示すように電流効率は水回収率の上昇に伴いやや低下する傾向が見られるものの、脱塩率としてはほぼ一定の値が得られている。電流効率の低下の理由は水回収率を上げると濃縮水量は減るわけであり、濃縮水の塩類濃度は増加すること

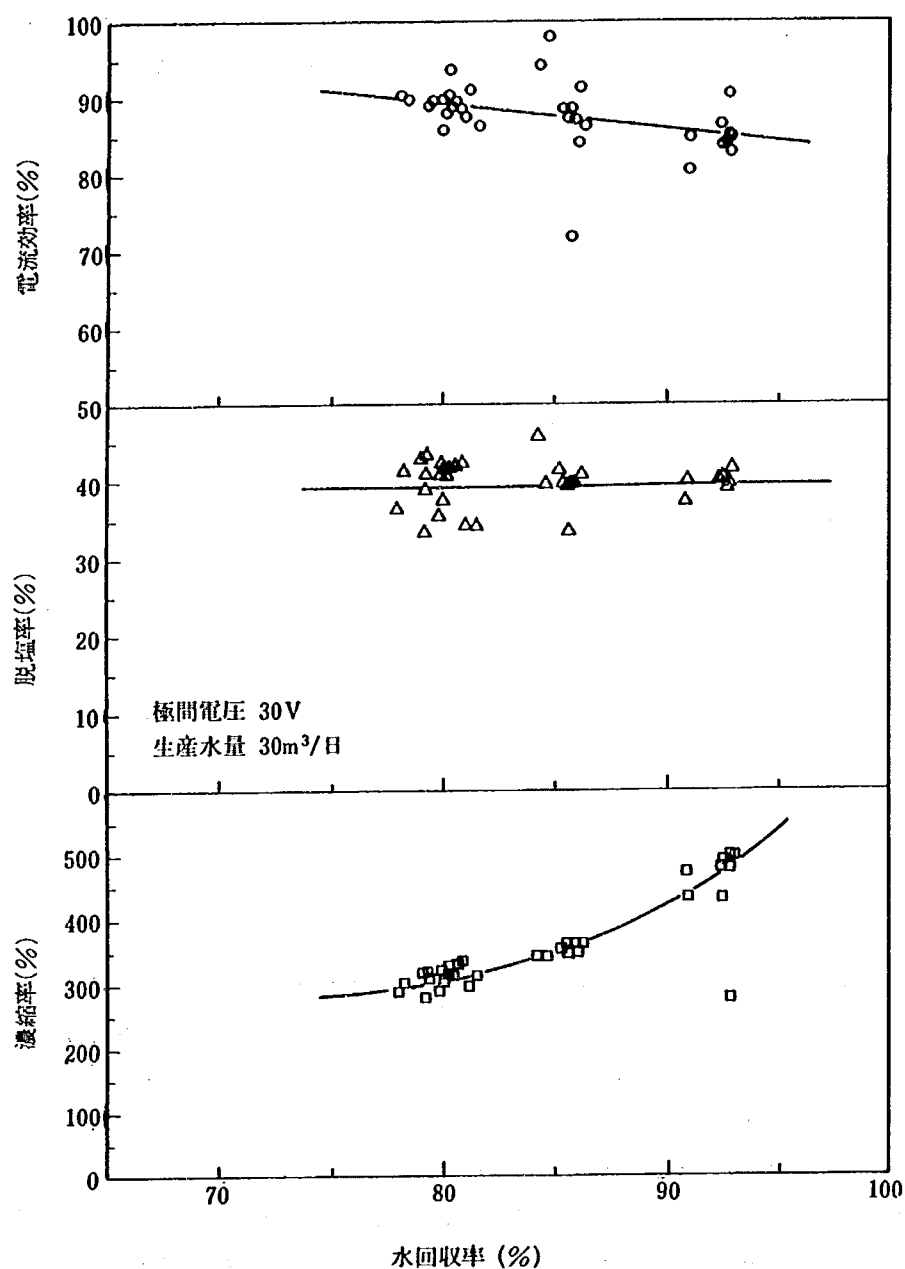


図-5・15 水回収率と電流効率, 脱塩率

となり、希釈側と濃縮側との濃度差が大となるため、逆流あるいは漏出する塩量が増加することによって生じたものと考えられる。脱塩率が一定なのは、濃縮側で電流を運ぶ塩類が増加したことにより電気抵抗が減少し除去量が増加する結果、逆流あるいは漏出した分に見合っているからと考えられる。

上述の結果からは、脱塩率はほぼ一定であり、濃縮水量が少なくなることから水回収率を高くとった方が有利であるといえる。但し、塩類濃度の増加によるスケールの発生、析出には十分に注意を払う必要があるのは先にも述べた通りである。

5.2.7 硫酸添加の有無と脱塩率

電気透析法での濃縮水は塩類が高濃度となるため、原水中に多量の CO_3^{2-} 、 HCO_3^- を含んでいた場合、あるいは過度に水回収率を高めた場合にスケールの発生、析出が起りやすい。スケールの成分としては CaCO_3 が主なものとされている。 CaCO_3 は酸性側では比較的溶解度が高いことから、濃縮側に硫酸を添加して液をやや酸性側とし、スケールの発生を防止する手法がよく採用されている。濃縮水の pH は通常 5～6 程度にする例が多いようである。

図-5・16 は濃縮水の pH を 5～6 の範囲となるように硫酸を添加して運転した場合と、添加しないで運転した場合（原水の pH は 7 前後のものであるが、濃縮水では若干上昇して 7.5 程度となる）の電流効率および脱塩率を比較したものである。この結果においては、電流効率については両者に大差ないが、脱塩率については硫酸の添加を行った方が高いものとなっている。したがって硫酸添加はその分コストアップとはなるが、スケール防止とともに脱塩率の向上にも役立つので、維持管理を考える上では有利となる。

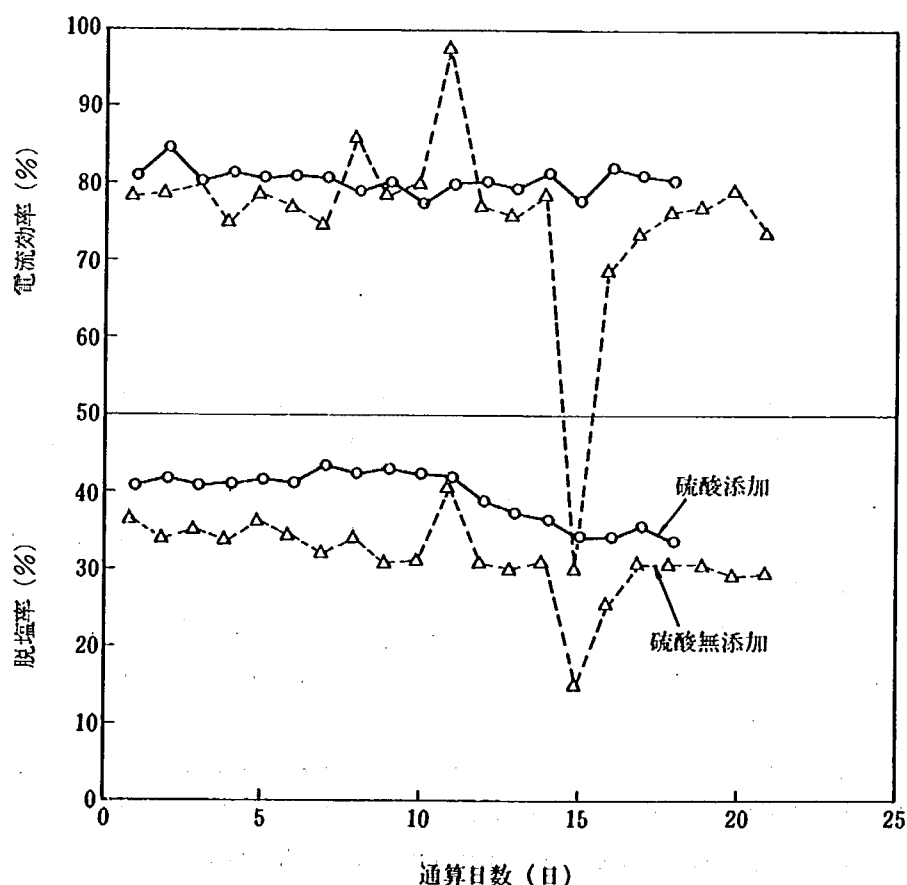


図-5・16 硫酸添加の有無による脱塩率の違い

硫酸は濃縮水のみならず陰極液においても使用する。陰極液については pH を 3 以下に保っておく必要があり、硫酸の使用は不可欠なものであるが、陰極液自体は密閉系で循環使用されているので、その使用量については正確なものは把握していないが、本装置では 100～200 cc/日と量的にはさほど大きなものではないようである。

硫酸の使用量については濃縮水および陰極液の両者の分をそれぞれ算出する必要があるが、本装置では分離して測定できる構造ではなく、また、流量計もないため、正確な量はとらえていない。このため、硫酸タンクに投入した量の概算値をもって代用しているが、その結果を表-5・16に示す。前期、後期を合わせて約290ℓの投入を行っている。

表-5・16 硫酸使用量

(前期)				(後期)			
年月日	通算日数	使用量	通 使 用 量 算 量	年月日	通算日数	使用量	通 使 用 量 算 量
56. 12. 4	8	6.5 (ℓ)	26.5 (ℓ)	57. 9. 11	1	10.0 (ℓ)	15.0 (ℓ)
12. 25	29	10.0	36.5	9. 16	6	8.0	23.0
57. 1. 6	34	5.0	41.5	9. 28	10'	5.0	28.0
4. 26	39	15.0	56.5	10. 8	17	10.0	38.0
5. 8	45	6.0	62.5	10. 20	23	12.0	50.0
5. 16	53	5.0	67.5	10. 25	28	10.0	60.0
5. 20	57	5.0	72.5	12. 2	45'	12.0	72.0
5. 24	61	5.0	77.5	12. 7	50	8.0	80.0
5. 29	66	10.0	87.5	12. 14	56'	10.0	90.0
6. 3	71	15.0	102.5	58. 1. 7	71	13.0	103.0
7. 2	81	5.0	107.5	1. 17	77'	15.0	118.0
7. 13	86	15.0	122.5	1. 30	86	12.0	130.0
7. 16	88	15.0	137.5				
7. 21	93	10.0	147.5				
7. 30	97	10.0	157.5				
8. 10	101	3.0	160.5				

濃縮水に硫酸を添加した場合の単位生産水量あるいは単位濃縮水量当りの使用は、運転条件、特に水回収率によって異なってくるといえる。前期は日生産水量30m³/日、水回収率80.6%の条件で運転したが、この時の硫酸使用量は160.5ℓで、105日間の総生産水量および総濃縮水量は表-5・17に示すように、2885m³、690m³となっており、生産水および濃縮水1m³当り、0.056ℓ、0.23ℓ使用したこととなる。

後期においては運転条件、特に水回収率を変えた運転を行っており、条件的には一定ではないが、濃縮水に硫酸添加を行っている期間(88日目まで)の使用量は118ℓであり、生産水1m³当り0.053ℓ、濃縮水1m³当り0.24ℓとなっている。

硫酸は工業用(純度98.5%以上)のものをを用いているが、20ℓ(34kg)を1800円で購入している。したがって濃縮水1m³当り0.24ℓ使用すると仮定すると、濃縮水1m³当り21.6円必要であり、水回収率90%の条件では、生産水1m³当り約2円の硫酸費用が必要となる。

5.2.8 通水方法と脱塩率

電気透析法では透析槽1回当りの通水での脱塩率は有効膜面積、透析電圧等装置条件、運転条件によって異なってくるが、30~70%、一般的には50%程度の値を採用する例が多い。したがって高脱塩率を得ようとする場合、透析槽を複数台あるいは複数回通すことが必要となる。小規模ではバッチ法により所定の脱塩率を得るまで循環を行う場合もあるが、連続して水を得ようとする場合、

表-5・17 生産水量, 濃縮水量

月 日	No	生産水 VOL. < m ³ >	生産水 T-VOL. < m ³ >	濃縮水 VOL. < m ³ >	濃縮水 T-VOL. < m ³ >
56年11月27日	1	19.5	20	4.8	4.8
28日	2	30.3	50	7.5	12.3
29日	3	29.7	80	7.2	19.4
30日	4	29.7	109	7.3	26.7
12月 1日	5	30.5	140	7.6	34.3
2日	6	27.8	168	6.8	41.1
3日	7	29.8	197	7.2	48.3
4日	8	29.8	227	7.0	55.3
5日	9	28.8	256	7.2	62.5
6日	10	30.3	286	7.1	69.7
7日	11	30.3	317	7.1	76.8
8日	12	29.7	346	6.3	83.1
9日	13	29.0	375	7.4	90.5
10日	14	30.4	406	6.9	97.4
11日	15	29.7	435	7.2	104.7
12日	16	29.8	465	7.2	111.8
13日	17	29.9	495	7.2	119.0
14日	18	29.8	525	7.1	126.1
15日	19	29.7	555	6.9	133.1
16日	20	16.9	571	4.2	137.2
17日	21	29.8	601	7.2	144.4
18日	22	30.1	631	7.0	151.4
19日	23	30.0	661	7.0	158.4
20日	24	30.1	691	7.1	165.5
21日	25	30.1	722	7.0	172.5
22日	26	30.0	752	6.8	179.4
23日	27	29.9	781	7.2	186.6
24日	28	30.0	811	6.9	193.5
25日	29	29.4	841	6.8	200.2
26日	30	29.3	870	7.0	207.3
27日	31	29.5	900	7.0	214.2
28日	32	31.4	931	7.2	221.5
1月 5日	33	26.8	958	6.5	228.0
6日	34	29.7	988	7.3	235.3
7日	35	29.2	1,017	7.2	242.5
8日	36	17.5	1,034	0.8	243.3
4月21日	37	29.1	1,063	7.0	250.3
25日	38	20.3	1,084	5.2	255.5
26日	39	27.0	1,111	6.9	262.4
27日	40	26.9	1,138	5.6	268.1
28日	41	27.1	1,165	7.7	275.7
29日	42	27.3	1,192	7.1	282.9
30日	43	28.0	1,220	7.2	290.1
5月 1日	44	27.4	1,247	6.6	296.6
8日	45	20.1	1,267	4.8	301.4
9日	46	27.9	1,295	7.2	308.6
10日	47	27.1	1,322	6.5	315.1
11日	48	26.9	1,349	7.3	322.4
12日	49	26.9	1,376	6.4	328.8
13日	50	27.0	1,403	6.3	335.1
14日	51	26.8	1,430	5.7	340.8
15日	52	26.6	1,457	7.5	348.2
16日	53	25.3	1,482	6.2	354.5
17日	54	25.1	1,507	5.9	360.4
18日	55	25.8	1,533	6.7	367.1

月 日	No	生産水 VOL. < m ³ >	生産水 T-VOL. < m ³ >	濃縮水 VOL. < m ³ >	濃縮水 T-VOL. < m ³ >
56年 6月19日	56	26.2	1,559	6.3	373.4
20日	57	26.1	1,585	6.2	379.6
21日	58	26.1	1,611	6.1	385.7
22日	59	25.6	1,637	5.5	391.2
23日	60	27.5	1,664	6.2	397.4
24日	61	27.5	1,692	6.2	403.6
25日	62	27.6	1,719	5.6	409.2
26日	63	26.4	1,746	4.4	413.6
27日	64	25.0	1,771	7.5	421.1
28日	65	29.8	1,801	5.5	426.6
29日	66	29.9	1,831	5.5	432.1
30日	67	27.4	1,858	5.8	437.9
31日	68	27.4	1,885	5.8	443.7
6月 1日	69	26.5	1,912	5.5	449.1
2日	70	26.6	1,938	6.0	455.1
3日	71	26.6	1,965	6.1	461.3
4日	72	20.5	1,985	5.4	466.6
5日	73	21.7	2,007	5.9	472.6
6日	74	28.7	2,036	7.1	479.7
9日	75	27.4	2,063	5.6	485.3
10日	76	28.5	2,092	6.7	491.9
11日	77	28.7	2,120	6.4	498.3
29日	78	23.2	2,144	5.1	503.5
30日	79	24.8	2,168	5.9	509.3
7月 1日	80	28.2	2,197	6.6	516.0
2日	81	28.2	2,225	6.6	522.6
3日	82	27.6	2,252	6.5	529.1
7日	83	23.3	2,276	5.6	534.7
9日	84	20.8	2,297	4.1	538.8
10日	85	35.4	2,332	9.4	548.2
11日	86	27.1	2,359	6.5	554.7
15日	87	27.4	2,387	6.9	561.5
16日	88	27.8	2,414	6.6	568.1
17日	89	27.8	2,442	6.8	574.9
18日	90	9.4	2,452	2.4	577.3
19日	91	26.9	2,478	6.8	584.2
20日	92	28.9	2,507	6.9	591.1
21日	93	27.9	2,535	6.9	598.0
22日	94	36.2	2,571	7.9	605.9
28日	95	27.7	2,599	7.8	613.7
29日	96	27.4	2,627	6.7	620.4
30日	97	27.4	2,654	6.6	627.1
31日	98	34.4	2,688	10.4	637.5
8月 4日	99	26.4	2,715	7.2	644.7
5日	100	26.8	2,741	7.0	651.7
6日	101	34.9	2,776	9.2	660.9
11日	102	25.2	2,801	6.7	667.6
12日	103	25.1	2,827	6.7	674.2
13日	104	25.2	2,852	6.7	680.9
14日	105	33.7	2,885	8.7	689.7

月 日	稼働 日数 <日>	生産水 VOL. < m ³ >	生産水 T-VOL. < m ³ >	濃縮水 VOL. < m ³ >	濃縮水 T-VOL. < m ³ >
57年 9月 11日	1	25.1	25	6.5	6.5
12日	2	30.9	56	7.6	14.1
13日	3	30.0	86	7.4	21.5
14日	4	29.9	116	7.4	28.9
15日	5	29.6	146	7.2	36.1
16日	6	29.4	175	8.1	44.3
17日	7	36.7	212	9.6	53.8
22日	8	29.8	241	7.0	60.9
23日	9	29.7	271	7.8	68.7
24日	10	37.9	309	9.5	78.2
29日	11	29.8	339	7.2	85.3
30日	12	28.9	368	7.5	92.9
10月 1日	13	28.2	396	7.0	99.9
2日	14	36.7	433	10.3	110.2
6日	15	32.3	465	7.3	117.5
7日	16	32.3	497	7.5	125.1
8日	17	29.1	526	7.3	132.4
9日	18	37.2	564	9.8	142.1
13日	19	28.3	592	7.0	149.2
14日	20	29.4	621	7.1	156.3
15日	21	29.4	651	7.3	163.6
16日	22	39.8	690	9.5	173.1
20日	23	22.5	713	6.1	179.2
21日	24	30.1	743	7.5	186.7
22日	25	30.2	773	7.5	194.2
23日	26	8.5	782	2.3	196.4
24日	27	30.3	812	7.5	203.9
25日	28	30.2	842	7.4	211.3
26日	29	29.9	872	7.3	218.6
27日	30	29.8	902	7.3	225.8
28日	31	29.6	932	6.6	232.4
29日	32	30.0	961	7.3	239.7
11月 10日	33	23.8	985	5.6	245.4
11日	34	29.3	1,015	6.8	252.2
12日	35	28.8	1,043	7.1	259.3
13日	36	30.4	1,074	7.1	266.3
14日	37	27.9	1,102	7.5	273.8
17日	38	30.7	1,132	6.8	280.6
18日	39	32.0	1,164	8.4	289.0
19日	40	32.0	1,197	8.4	297.5
20日	41	36.5	1,233	9.8	307.3
25日	42	25.7	1,259	7.1	314.4
26日	43	30.9	1,290	8.2	322.5
27日	44	30.0	1,320	8.1	330.6
28日	45	29.7	1,349	7.6	338.2
12月 3日	46	20.2	1,369	4.7	342.9
4日	47	19.7	1,389	5.2	348.1
5日	48	19.8	1,409	5.4	353.5
6日	49	20.0	1,429	5.2	358.7
7日	50	19.5	1,449	5.1	363.8
8日	51	19.6	1,468	5.0	368.8
9日	52	19.6	1,488	4.9	373.7
10日	53	19.5	1,507	5.0	378.8
11日	54	19.8	1,527	5.2	383.9
12日	55	19.7	1,547	4.4	388.4

月 日	稼 動 日 数 <日>	生 産 水 VOL. < m ³ >	生 産 水 T-VOL. < m ³ >	濃 縮 水 VOL. < m ³ >	濃 縮 水 T-VOL. < m ³ >
57 年 12 月 13 日	56	9. 1	1, 556	3. 3	391. 6
15 日	57	3. 3	1, 559	0. 8	392. 4
16 日	58	9. 3	1, 568	3. 0	395. 4
17 日	59	8. 9	1, 577	2. 5	397. 9
18 日	60	11. 2	1, 588	2. 6	400. 4
19 日	61	9. 9	1, 598	2. 6	403. 0
20 日	62	10. 4	1, 609	2. 6	405. 6
21 日	63	10. 4	1, 619	2. 6	408. 2
22 日	64	10. 7	1, 630	2. 4	410. 5
23 日	65	10. 6	1, 640	2. 3	412. 9
24 日	66	10. 3	1, 651	2. 5	415. 3
25 日	67	26. 6	1, 677	5. 0	420. 3
26 日	68	30. 4	1, 708	5. 2	425. 5
27 日	69	32. 7	1, 740	5. 3	430. 9
58 年 1 月 6 日	70	29. 1	1, 769	5. 3	436. 1
7 日	71	29. 6	1, 799	5. 0	441. 1
8 日	72	29. 3	1, 828	4. 7	445. 8
9 日	73	32. 3	1, 861	2. 5	448. 2
11 日	74	22. 4	1, 883	1. 8	450. 0
12 日	75	28. 8	1, 912	2. 4	452. 4
13 日	76	31. 1	1, 943	2. 4	454. 8
14 日	77	39. 1	1, 982	3. 2	458. 0
18 日	78	29. 2	2, 011	4. 8	462. 8
19 日	79	29. 4	2, 041	4. 9	467. 7
20 日	80	29. 7	2, 070	5. 0	472. 7
21 日	81	29. 7	2, 100	5. 0	477. 6
22 日	82	29. 4	2, 129	4. 9	482. 5
27 日	83	23. 6	2, 153	2. 3	484. 9
28 日	84	30. 4	2, 183	2. 3	487. 2
29 日	85	29. 7	2, 213	2. 4	489. 6
30 日	86	30. 0	2, 243	2. 4	492. 1
31 日	87	29. 6	2, 273	2. 3	494. 3
2 月 1 日	88	28. 2	2, 301	2. 8	497. 2
2 日	89	29. 9	2, 331	7. 2	504. 4
3 日	90	29. 6	2, 360	7. 4	511. 8
4 日	91	29. 7	2, 390	8. 1	519. 8
5 日	92	29. 9	2, 420	7. 0	526. 8
6 日	93	29. 5	2, 450	7. 4	534. 1
7 日	94	37. 9	2, 488	9. 5	543. 7
9 日	95	29. 1	2, 517	7. 0	550. 6
10 日	96	29. 2	2, 546	7. 2	557. 9
11 日	97	29. 1	2, 575	7. 2	565. 1
12 日	98	29. 1	2, 604	7. 2	572. 3
13 日	99	28. 9	2, 633	7. 1	579. 5
14 日	100	29. 0	2, 662	7. 1	586. 5
15 日	101	29. 2	2, 691	7. 1	593. 6
16 日	102	29. 2	2, 720	7. 2	600. 8
17 日	103	29. 2	2, 750	7. 2	608. 0
18 日	104	29. 0	2, 779	7. 0	614. 9
19 日	105	29. 0	2, 808	6. 9	621. 9
20 日	106	29. 2	2, 837	7. 6	629. 4
21 日	107	29. 4	2, 866	7. 1	636. 6
22 日	108	29. 4	2, 896	7. 0	643. 6
23 日	109	28. 9	2, 925	7. 6	651. 2

多段シリーズ法（複数槽を順番に通して行く方法）あるいは部分循環法（透析法を通った水の一部を連続的に取り出し、残りを循環させる方法）を採用する必要がある。本装置は部分循環法を採用しており、循環率を上げることにより高脱塩率を得ることができる。

図-5・17に循環率を変えた場合の結果を示す。下水処理水を用いた本実験では透析槽内の圧力損失の増加により、循環水量を一定に保てなかったもので、ここでも流量比で示してある。同図に示すように原水供給量をしばる（部分循環率を上げる）と高脱塩率を得ることができ、電流効率もほぼ一定である。

ここでの結果で多段シリーズ法および部分循環法について比較を行って見る。本装置の標準運転（1段の水量 $30\text{m}^3/\text{日}$ ）での2段シリーズを採用すると、1段の脱塩率は42%なので $(1 - (1 - 0.42)^2) \times 100 = 66\%$ の脱塩率が得られ、生産水量は2槽で $30\text{m}^3/\text{日}$ となる。これに対し、部分循環法で同一の脱塩率を得る場合の流量比は40%程度、水量としては $12\text{m}^3/\text{日}$ となり、同一規模で考えると多段シリーズ法の方が水量的には有利となる。図-5・18および表-5・18に各法のフローおよび特徴を示す²¹⁾。

後期の運転における処理データについては表-5・19および表-5・20に一括して示すので参照されたい。

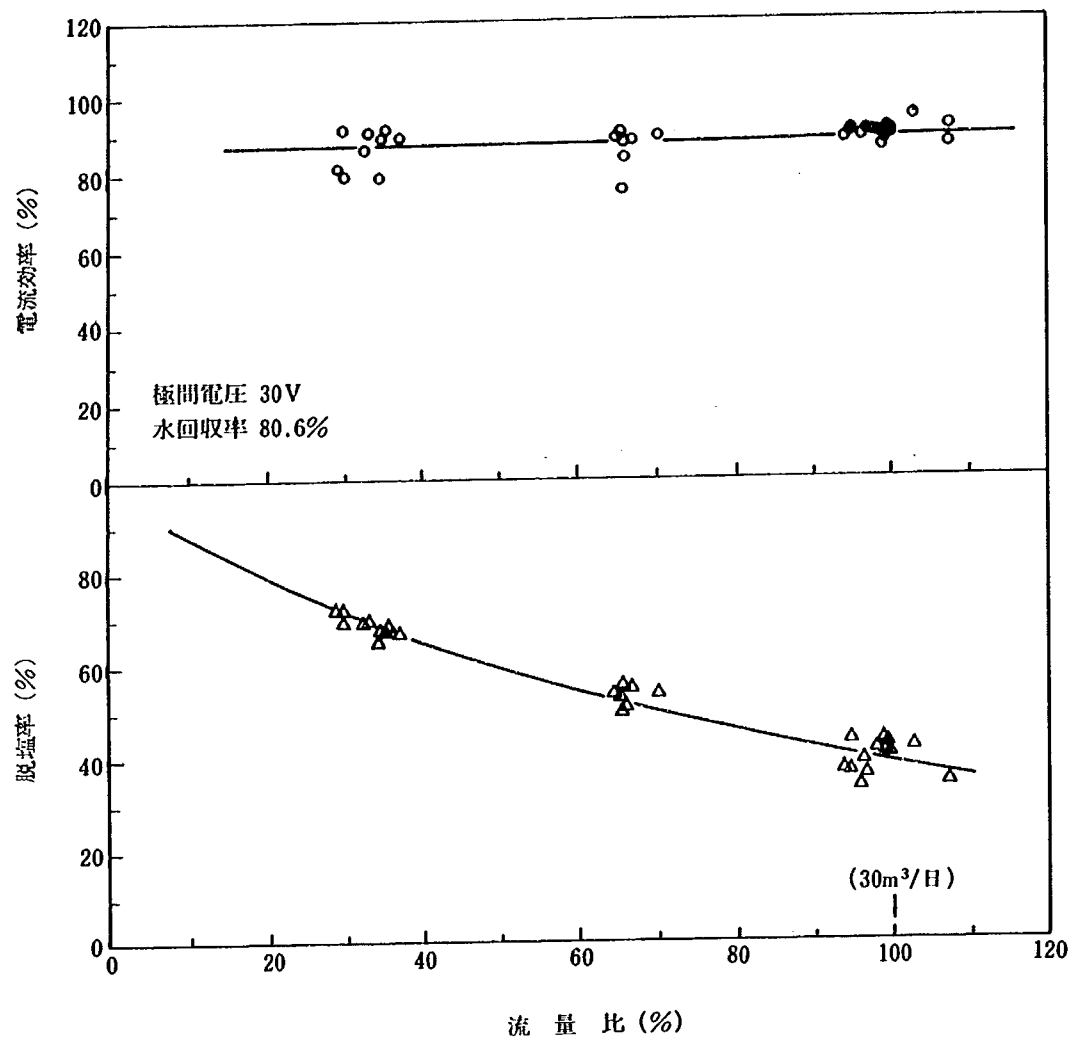


図-5・17 循環法と処理成績

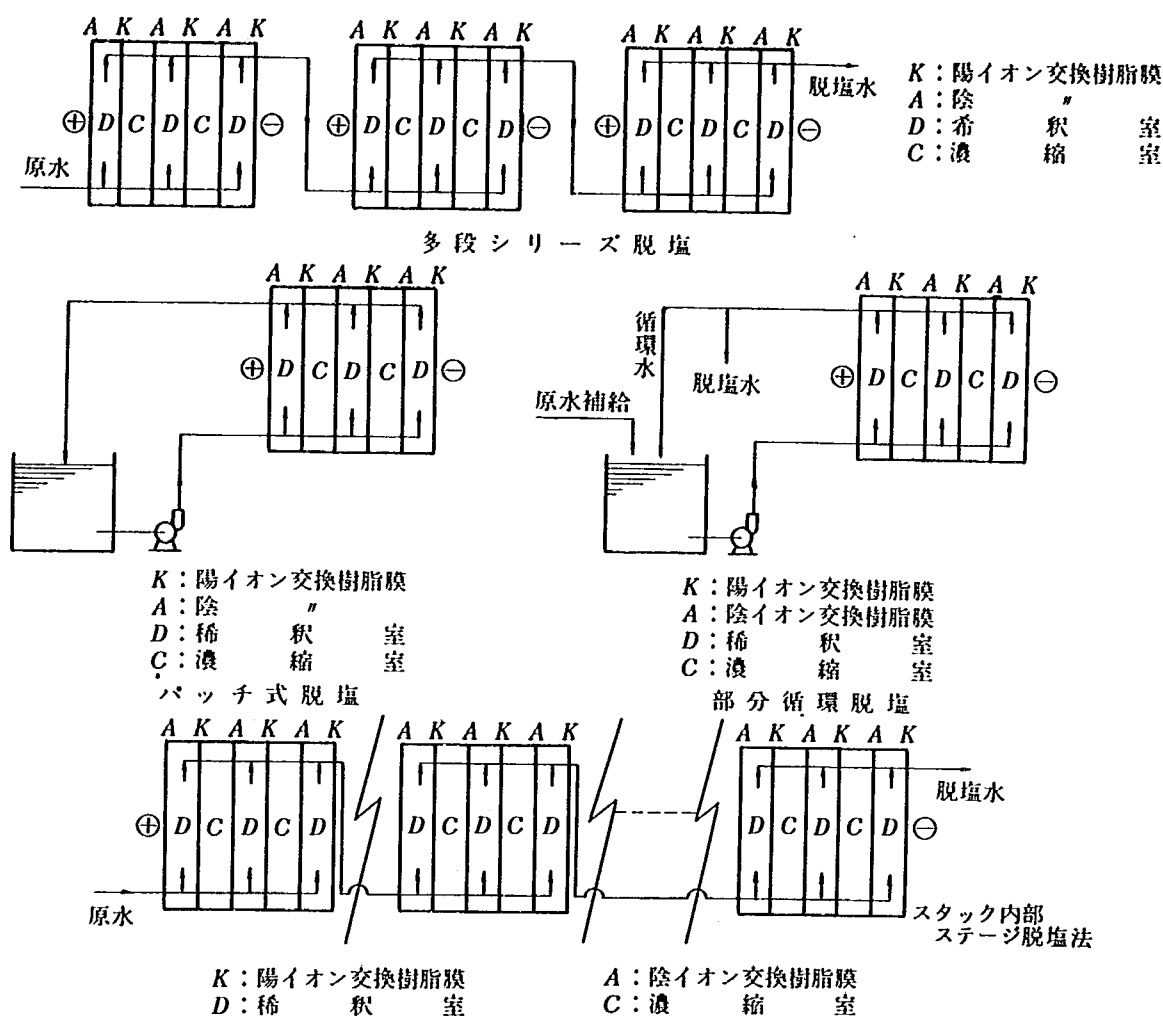


図 - 5・18 液の流し方のフロー²¹⁾

表 - 5・18 液の流し方の比較²¹⁾

方法	長所	短所
多段シリーズ脱塩法	1) 電力消費量が少ない 2) 各段の電圧調整により容易に製品純度を保てる 3) 連続的に製品が得られる 4) 大容量プラントに適している 5) 各段中の膜の平衡が最適条件にえらび得る	1) 原水濃度、温度の変化によって運転条件の調整が必要 2) 流量コントロールを厳密に行なう必要がある 3) 装置電気抵抗が上昇してくると性能劣化が速い
バッチ式脱塩法	1) 流速の変動が装置運転に影響を及ぼす程度は少ない 2) 原水の濃度、温度が変動しても影響は少ない 3) 電気抵抗が上昇してきても多段シリーズのごとくには急速に装置劣化を生じない 4) 小中容量装置に適する	1) 所要電力が大 2) 循環タンクを必要とする 3) 連続的に製品が得られない 4) 膜を常に最適平衡条件下で使用できない 5) 運転解析が困難 6) 計装費大
部分循環脱塩法	1) 連続的に製品が得られる 2) 供給水濃度が変っても安定した運転状態を保つことができる 3) 最適膜平衡状態下での運転が可能 4) 循環タンクが小さくてよい 5) 小容量装置に適する	1) 電力原単位が大 2) 循環タンクを必要とする 3) 大きな膜面積を必要とし計装費も大
スタック内部ステージ脱塩法	1) 高脱塩度が一ケのスタックで得られる 2) 連続的に製品が得られる 3) 電極が一組でよい 4) 小容量装置に適する	1) 所要膜面積が大 2) スタック内部圧大 3) 流量、膜抵抗変化に大きく性能が左右される

表-5・19 後期の運転データ (1)

RUN No	条 件	月 日	稼動 日数 <日>	原 水 EC μS/cm	生 産 水		脱塩率 <%>	稼 動 時 間 <hr>	透 析 電 流 <A>	電 流 効 率 <%>
					EC μS/cm	VOL. <m ³ >				
A 次亜塩素酸 連続注入	流量比 100%	57年 9月11日	1	1,207	714	25,079	408	200	3.28	89.7
		12日	2	1,000	583	30,921	417	240	2.73	93.7
	水回収率 80.6%	13日	3	861	510	30,031	408	240	2.35	89.0
		14日	4	856	505	29,940	410	240	2.31	90.3
	硫酸添加	15日	5	1,042	609	29,566	416	240	2.84	89.4
		16日	6	1,142	672	29,369	412	240	3.05	89.8
		17日	7	1,158	655	36,703	434	310	3.17	89.5
		22日	8	1,198	690	29,784	424	240	3.43	87.5
		23日	9	1,220	695	29,718	430	240	3.48	88.9
		24日	10	1,214	700	37,922	423	300	3.52	85.9
		29日	11	1,219	708	29,775	419	240	3.40	88.8
		30日	12	1,279	782	28,899	38.9	240	3.20	89.0
		10月 1日	13	1,290	808	28,197	37.4	240	3.06	88.1
		2日	14	1,309	832	36,742	36.4	310	2.98	90.3
		6日	15	1,216	799	32,264	34.3	240	3.09	86.4
		7日	16	1,337	879	32,268	34.3	240	3.22	91.1
		8日	17	1,359	874	29,073	35.7	240	3.11	89.9
		9日	18	1,276	847	37,242	33.6	310	2.75	89.2
B 週 2 回 洗 浄	"	13日	19	1,229	760	28,258	38.2	230	2.83	96.9
		14日	20	1,221	783	29,420	35.9	240	2.78	92.0
		15日	21	1,298	870	29,420	33.0	240	3.30	75.7
		16日	22	1,343	879	39,755	34.5	320	3.27	83.9
		20日	23	1,394	895	22,500	35.8	180	3.31	89.7
		21日	24	1,138	738	30,133	35.1	240	2.65	90.2
		22日	25	1,185	733	30,219	38.1	240	2.67	101.5
		23日	26	1,220	818	8,517	33.0	70	2.73	85.3
		24日	27	1,272	840	30,258	34.0	240	2.89	89.7
		25日	28	1,303	870	30,185	33.2	240	2.85	91.0
		26日	29	1,291	877	29,920	32.1	240	2.74	89.7
		27日	30	1,328	905	29,842	31.9	240	2.80	89.4
		28日	31	1,291	877	29,564	32.1	240	3.12	77.8
		29日	32	1,349	885	29,964	34.4	240	3.05	90.4
		11月10日	33	1,276	824	23,813	35.4	240	2.88	74.1
		11日	34	1,279	856	29,333	33.1	240	2.70	91.2
		12日	35	1,254	840	28,763	33.0	240	3.01	78.5
		13日	36	1,198	803	30,426	33.0	240	2.61	91.4
		14日	37	1,171	823	27,903	29.7	220	3.58	58.7
		17日	38	1,422	961	30,729	32.4	230	3.28	89.4
		18日	39	1,261	875	32,042	30.6	240	2.64	92.9
		19日	40	1,261	875	32,042	30.6	240	2.64	92.9
		20日	41	1,348	916	36,521	32.0	280	4.00	67.1
		25日	42	1,270	857	25,697	32.5	200	2.59	93.9
		26日	43	1,322	935	30,882	29.3	240	2.92	81.2
		27日	44	1,270	878	29,984	30.9	240	2.59	90.0
		28日	45	1,328	944	29,663	28.9	230	2.88	81.9
C 週 1 回 洗 浄	流量比 66.6%	12月 3日	46	1,222	562	20,188	54.0	230	3.10	89.0
		4日	47	1,248	559	19,726	55.2	240	3.07	87.8
		5日	48	1,352	672	19,754	50.3	240	3.56	74.9
		6日	49	1,272	575	20,030	54.8	240	3.15	87.9
		7日	50	1,134	534	19,569	52.9	240	2.60	89.6
		8日	51	1,178	554	19,588	53.0	240	2.70	89.8
		9日	52	1,232	572	19,483	53.6	240	2.88	88.6
		10日	53	1,254	584	19,480	53.4	240	2.91	89.0
		11日	54	1,438	702	19,814	51.2	240	3.48	83.1
		12日	55	1,256	569	19,710	54.7	240	3.07	87.5

RUN No	条 件	月 日	稼動 日数 <日>	原 水 EC μS/cm	生 産 水		脱塩率 <%>	稼 動 時 間 <hr>	透 析 電 流 <A>	電 流 効 率 <%>
					EC μS/cm	VOL <m³>				
C 週 1 回 洗 浄	流量比 33.3%	57年12月13日	56	1,273	358	9,058	71.9	25.0	1.95	80.9
		15日	57	1,231	345	3,345	72.0	9.0	1.72	91.2
		16日	58	1,277	389	9,322	69.5	23.0	1.99	86.1
		17日	59	1,247	378	8,933	69.7	24.0	1.95	79.0
		18日	60	1,452	479	11,152	67.0	24.0	2.42	89.0
		19日	61	1,270	381	9,904	70.0	24.0	1.93	90.5
		20日	62	1,258	407	10,353	67.6	24.0	1.96	89.2
		21日	63	1,250	405	10,392	67.6	24.0	1.95	89.3
		22日	64	1,245	398	10,671	68.0	24.0	1.97	91.0
		23日	65	1,249	407	10,559	67.4	24.0	1.93	91.4
		24日	66	1,425	490	10,308	65.6	24.0	2.43	78.7
		25日	67	1,227	663	26,620	46.0	24.0	3.16	94.3
	水回収率 86.2%	26日	68	1,234	722	30,357	41.5	24.0	3.48	88.6
		27日	69	1,310	787	32,742	39.9	25.0	3.57	91.4
		58年 1月 6日	70	1,305	786	29,120	39.8	21.0	3.50	97.9
		7日	71	1,296	774	29,580	40.3	24.0	3.51	87.3
	水回収率 92.6%	8日	72	1,278	758	29,262	40.7	24.0	3.50	86.3
		9日	73	1,259	738	32,292	41.4	26.0	3.63	84.9
		11日	74	1,274	775	22,355	39.2	18.0	3.46	85.3
		12日	75	1,248	744	28,821	40.4	24.0	3.44	83.8
		13日	76	1,255	755	31,060	39.8	24.0	3.41	90.4
		14日	77	1,336	803	39,145	39.9	31.0	3.71	86.4
	水回収率 86.2%	18日	78	1,284	778	29,170	39.4	24.0	3.41	84.1
		19日	79	1,268	771	29,445	39.2	24.0	3.33	87.2
		20日	80	1,230	737	29,726	40.1	24.0	3.32	87.6
		21日	81	1,251	752	29,714	39.9	24.0	3.32	88.6
	水回収率 92.6%	22日	82	1,324	878	29,410	33.7	24.0	3.62	71.9
		27日	83	1,273	764	23,598	40.0	19.0	3.55	84.8
		28日	84	1,240	741	30,370	40.2	24.0	3.53	85.2
		29日	85	1,264	754	29,745	40.3	24.0	3.56	84.5
		30日	86	1,306	781	30,015	40.2	24.0	3.70	84.5
		31日	87	1,309	795	29,560	39.3	24.0	3.64	82.8
	濃縮水へ の硫酸添 加 無 し	2月 1日	88	1,378	861	28,241	37.5	24.0	3.60	80.5
		2日	89	1,326	843	29,899	36.4	24.0	3.30	86.8
		3日	90	1,331	878	29,640	34.0	24.0	3.05	87.3
		4日	91	1,328	861	29,693	35.2	24.0	3.10	88.7
		5日	92	1,360	900	29,947	33.8	24.0	3.28	83.3
		6日	93	1,296	826	29,523	36.3	24.0	3.15	87.4
		7日	94	1,307	860	37,916	34.2	31.0	3.05	85.3
		9日	95	1,383	938	29,088	32.2	24.0	3.10	82.8
		10日	96	1,401	922	29,195	34.2	24.0	2.91	95.3
		11日	97	1,326	915	29,146	31.0	24.0	2.73	87.1
		12日	98	1,268	870	29,111	31.4	24.0	2.59	88.7
		13日	99	1,317	777	28,930	41.0	24.0	2.86	108.4
		14日	100	1,307	901	29,026	31.1	24.0	2.73	85.6
		15日	101	1,295	904	29,154	30.2	24.0	2.69	84.1
		16日	102	1,322	908	29,213	31.3	24.0	2.75	87.3
		17日	103	1,032	875	29,227	15.2	24.0	2.72	33.5
		18日	104	1,255	933	28,973	25.7	24.0	2.42	76.5
		19日	105	1,163	804	28,956	30.9	24.0	2.52	81.8
		20日	106	1,245	860	29,187	30.9	24.0	2.63	84.8
		21日	107	1,289	890	29,440	31.0	24.0	2.73	85.4
		22日	108	1,297	915	29,422	29.5	24.0	2.54	87.8
		23日	109	1,322	930	28,891	29.7	24.0	2.74	82.0

(注) 導電率、透析電流は自動計測器の日平均値
極間電圧 30 V

表-5・20 後期の運転データ (2)

条 件	月 日	稼動 日数 <日>	原 水 EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	濃 縮 水		濃縮率 <%>	稼動時間 <hr>	透析電流 <A>	電流効率 <%>
				EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	VOL. < m^3 >				
流量比 100% 水回収率 80.6% 硫酸添加	9月11日	1	1,207	3,730	6,495	309	20.0	3.28	118.9
	12日	2	1,000	3,194	7,624	319	24.0	2.73	121.6
	13日	3	861	2,826	7,384	328	24.0	2.36	122.5
	14日	4	856	2,694	7,427	315	24.0	2.31	117.2
	15日	5	1,042	3,311	7,215	318	24.0	2.84	114.4
	16日	6	1,142	3,451	8,132	302	24.0	3.05	122.1
	17日	7	1,158	3,685	9,561	318	31.0	3.17	117.1
	22日	8	1,198	4,008	7,037	335	24.0	3.43	114.4
	23日	9	1,220	3,869	7,777	317	24.0	3.48	117.4
	24日	10	1,214	3,918	9,505	323	30.0	3.52	113.2
	29日	11	1,219	4,009	7,168	329	24.0	3.40	116.7
	30日	12	1,279	4,033	7,543	315	24.0	3.20	128.8
	10月 1日	13	1,290	3,930	7,021	305	24.0	3.06	120.2
	2日	14	1,309	3,766	10,349	288	31.0	2.98	131.1
	6日	15	1,216	3,808	7,310	313	24.0	3.09	121.7
	7日	16	1,337	3,988	7,502	298	24.0	3.22	122.5
	8日	17	1,359	3,938	7,334	290	24.0	3.11	120.7
	9日	18	1,276	3,615	9,751	283	31.0	2.75	127.4
	13日	19	1,229	3,636	7,042	296	23.0	2.83	124.0
	14日	20	1,221	5,599	7,146	459	24.0	2.78	223.3
流量比 66.6%	15日	21	1,298	4,091	7,284	315	24.0	3.30	122.3
	16日	22	1,343	4,091	9,525	305	32.0	3.27	119.1
	20日	23	1,394	3,918	6,065	281	18.0	3.31	122.3
	21日	24	1,138	3,328	7,525	292	24.0	2.65	123.4
	22日	25	1,185	3,377	7,457	285	24.0	2.67	121.5
	23日	26	1,220	3,680	2,260	302	7.0	2.73	138.5
	24日	27	1,272	3,653	7,492	287	24.0	2.89	122.5
	25日	28	1,303	3,677	7,353	282	24.0	2.85	121.5
	26日	29	1,291	3,587	7,269	278	24.0	2.74	120.8
	27日	30	1,328	3,673	7,280	277	24.0	2.80	121.0
	28日	31	1,291	4,139	6,611	321	24.0	3.12	119.7
	29日	32	1,349	3,815	7,305	283	24.0	3.05	117.2
	11月10日	33	1,276	3,672	5,625	288	24.0	2.88	92.8
	11日	34	1,279	3,658	6,816	286	24.0	2.70	119.1
	12日	35	1,254	3,879	7,067	309	24.0	3.01	122.3
	13日	36	1,198	3,453	7,051	288	24.0	2.61	120.9
	14日	37	1,171	3,420	7,467	292	22.0	3.58	101.5
	17日	38	1,422	3,968	6,845	279	23.0	3.28	110.0
	18日	39	1,261	3,250	8,428	258	24.0	2.64	126.0
	19日	40	1,261	3,250	8,428	258	24.0	2.64	126.0
	20日	41	1,348	4,845	9,819	359	28.0	4.00	146.0
	25日	42	1,270	3,312	7,073	261	20.0	2.69	127.8
	26日	43	1,322	3,706	8,160	280	24.0	2.92	132.2
	27日	44	1,270	3,459	8,115	272	24.0	2.59	136.1
	28日	45	1,328	3,764	7,581	283	23.0	2.88	132.7
	12月 3日	46	1,222	3,954	4,676	324	23.0	3.10	85.3
	4日	47	1,248	3,975	5,192	319	24.0	3.07	91.5
	5日	48	1,352	4,756	5,376	352	24.0	3.56	102.0
	6日	49	1,272	4,056	5,249	319	24.0	3.15	92.0
	7日	50	1,134	3,555	5,083	313	24.0	2.60	93.9
	8日	51	1,178	3,653	5,017	310	24.0	2.70	91.2
	9日	52	1,232	3,866	4,912	314	24.0	2.88	89.1
	10日	53	1,254	3,886	5,044	310	24.0	2.91	90.5
	11日	54	1,438	4,587	5,150	319	24.0	3.48	92.5
	12日	55	1,256	3,982	4,442	317	24.0	3.07	78.3

条 件	月 日	稼動 日数 <日>	原 水 E C μS/cm	濃 縮 水		濃 縮 率 <%>	稼動時間 <hr>	透析電流 <A>	電流効率 <%>
				E C μS/cm	VOL. <m³>				
流量比 33.3%	12月13日	56	1,273	3,992	3,266	314	25.0	1.95	86.7
	15日	57	1,231	3,833	0,790	311	9.0	1.72	63.2
	16日	58	1,277	3,863	2,973	303	23.0	1.99	80.0
	17日	59	1,247	3,763	2,456	302	24.0	1.95	62.9
	18日	60	1,452	4,651	2,552	320	24.0	2.42	66.9
	19日	61	1,270	3,933	2,573	310	24.0	1.93	70.4
	20日	62	1,258	3,957	2,594	315	24.0	1.96	70.9
	21日	63	1,250	3,922	2,583	314	24.0	1.95	70.2
	22日	64	1,245	3,952	2,395	317	24.0	1.97	65.3
	23日	65	1,249	3,958	2,313	317	24.0	1.93	64.4
水回収率 86.2%	24日	66	1,425	4,754	2,479	334	24.0	2.43	67.4
	25日	67	1,227	4,217	4,962	344	24.0	3.16	93.1
	26日	68	1,234	4,418	5,240	358	24.0	3.48	95.1
	27日	69	1,310	4,557	5,317	348	25.0	3.57	92.1
	1月6日	70	1,305	4,466	5,260	342	21.0	3.50	107.7
水回収率 92.6%	7日	71	1,296	4,581	4,998	353	24.0	3.51	92.8
	8日	72	1,278	4,635	4,665	363	24.0	3.50	88.8
	9日	73	1,259	6,296	2,456	500	26.0	3.63	62.4
	11日	74	1,274	6,213	1,758	488	18.0	3.46	66.4
	12日	75	1,248	5,436	2,357	436	24.0	3.44	56.9
水回収率 86.2%	13日	76	1,255	3,504	2,427	279	24.0	3.41	31.8
	14日	77	1,336	6,433	3,232	482	31.0	3.71	68.2
	18日	78	1,284	4,678	4,764	364	24.5	3.41	92.2
	19日	79	1,268	4,432	4,885	350	24.0	3.33	92.1
	20日	80	1,230	4,320	4,993	351	24.0	3.32	92.2
水回収率 92.6%	21日	81	1,251	4,367	4,994	349	24.0	3.32	93.0
	22日	82	1,324	4,751	4,902	359	24.0	3.62	92.1
	27日	83	1,273	5,537	2,347	435	19.0	3.55	70.6
	28日	84	1,240	5,948	2,345	480	24.0	3.53	62.0
	29日	85	1,264	6,270	2,391	496	24.0	3.56	66.7
濃縮水への硫酸添加無し	30日	86	1,306	6,467	2,420	495	24.0	3.70	67.0
	31日	87	1,309	6,565	2,288	502	24.0	3.64	65.5
	2月1日	88	1,378	6,542	2,834	475	24.0	3.60	80.7
	2日	89	1,326	3,820	7,198	288	24.0	3.30	107.9
	3日	90	1,331	3,641	7,380	274	24.0	3.05	110.9
	4日	91	1,328	3,613	8,062	272	24.0	3.10	117.9
	5日	92	1,360	3,812	6,956	280	24.0	3.28	103.2
	6日	93	1,296	3,621	7,374	279	24.0	3.15	108.0
	7日	94	1,307	3,583	9,525	274	31.0	3.05	109.2
	9日	95	1,383	3,763	6,964	272	24.0	3.10	106.1
	10日	96	1,401	3,544	7,234	253	24.0	2.91	105.7
	11日	97	1,326	3,425	7,227	258	24.0	2.73	110.2
	12日	98	1,268	3,262	7,218	257	24.0	2.59	110.2
	13日	99	1,317	3,543	7,149	269	24.0	2.86	110.4
	14日	100	1,307	3,425	7,053	262	24.0	2.73	108.6
	15日	101	1,295	3,363	7,083	260	24.0	2.69	108.0
	16日	102	1,322	3,428	7,190	259	24.0	2.75	109.2
	17日	103	1,032	3,391	7,177	229	24.0	2.72	123.5
	18日	104	1,255	3,223	6,980	257	24.0	2.42	112.6
	19日	105	1,163	3,256	6,928	280	24.0	2.52	114.2
	20日	106	1,245	3,180	7,575	255	24.0	2.63	110.6
	21日	107	1,289	3,378	7,148	262	24.0	2.73	108.5
	22日	108	1,297	3,383	6,965	261	24.0	2.54	113.5
	23日	109	1,322	3,449	7,633	261	24.0	2.74	117.6

(注) 導電率、透析電流は自動計測器の日平均値
極間電圧 30 V

5.2.9 有機物、栄養塩類の除去率

電気透析法の有機物および栄養塩類の除去能力の検討のため、COD、アンモニア性窒素、硝酸性窒素および全リンについて測定を行った。結果を表-5・21, 5・22に示す。

有機物についてはCODの除去率が約5%と極めて低いことに示されるように除去は期待できない。したがって再利用時において有機物が問題となる場合、前処理段階で除去しておかな

ければならないという不利な面があるといえる。反面、除去されないということは濃縮水においても濃縮されないことを意味し、濃縮水のCODは原水のそれと大差ない。したがって濃縮水の処理・処分においては有機物については考慮しなくてよいという利点がある。

栄養塩類については全リンの除去率が脱塩率とほぼ同程度であり、アンモニア性窒素、硝酸性窒素については脱塩率以上の除去率が得られている。下水中の栄養塩類は通常、二次処理までに無機化され、大部分はイオンの形で存在している。また、栄養塩類は一般の塩類より選択性が高いので高除去率が期待できる。

5.2.10 導電率と塩類指標との相関性

下水処理水を用いた実験での導電率と塩類指標との相関であるが、結果を図-5・19, 5・20, 表-5・23, 5・24に示す。原水および生産水については各指標（導電率、溶解性物質、塩素イオン）間の相関性は極めて高く、前期、後期の回帰直線の係数も似かよったものとなっている。濃縮水については後期については相関性は高いが、前期については相関性は低い。また、濃縮水での回帰直線の係数も原水および生産水でのそれとは若干異なっているようである。

上述の結果からは、原水および生産水の塩類のモニターとして、導電率が十分に使用できる用途はついたといえよう。各種塩類指標と相関をとっておくことで、日常の測定には導電率で十分であろう。濃縮水については、導電率が使用できるかどうかは、検討を要するようである。仮に使用できたとしても、換算を行う場合、その係数については原水および生産水とは異なる可能性が高く、濃縮水独自の相関を求める必要があろう。

下水処理水を用いた本実験での塩類濃度の算出には、導電率を測定し先の食塩水の実験での検量線（塩濃度＝導電率×0.521）より算出した。下水処理水の塩類組成は複雑なものが予想され、合成処理水での検量線を用いた方がより実際の組成に近いものとも考えられるが、ここでの導電率と溶解性物質の相関から判断する限りにおいては食塩水での検量線がより実勢に合っているようであり、これを採用している。すなわち、原水および生産水の導電率と溶解性物質の相関関係での回帰直線は下記のようになっており、

$$\text{前期, } y = 0.522x + 5.8$$

$$\text{後期, } y = 0.497x + 38.2$$

ここで x ; 導電率 y ; 溶解性物質

表-5・21 有機物、栄養塩類の除去率

項 目	原 水 度 (mg/L)	希 釈 水 度 (mg/L)	除 去 率 (%)	濃 縮 水 度 (mg/L)	濃 縮 率 (%)
COD	5.5	5.3	45	6.4	116
全リン	43	2.5	42.0	8.4	196
アンモニア性窒素	10.7	38	64.5	42.8	400
硝酸性窒素	15	0.7	50.3	5.6	371

(注) 前期(105日間)と後期(109日間)の全ての平均値

表 - 5・22 原水, 生産水, 濃縮水の有機物, 栄養塩類

月 日	原 水				生 産 水				濃 縮 水			
	COD (mg/l)	T-P (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	COD (mg/l)	T-P (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	COD (mg/l)	T-P (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)
56年12月 3日	40	6.7	10.7	1.9	3.8	4.6	3.8	1.2	5.0	1.11	57.2	5.2
9日		5.2				4.4				20.1		
18日	5.1	3.8	11.8	1.7	4.5	2.7	4.4	0.8	5.8	9.6	47.6	5.8
24日	4.8				4.8				5.8			
25日	5.2	5.8	13.8	0.4	4.9	4.0	5.4	0.1	6.1	12.7	53.6	2.2
57年 1月 5日	6.5				6.3				7.6			
4月21日	5.2				4.4				6.9			
26日	7.6				5.9				6.4			
30日		0.7	14.5	1.2		0.4	4.7	0.6		1.7	61.8	6.1
5月10日		9.1	9.3	1.7		5.6	2.9	0.6		33.9	41.8	4.8
17日	5.5				5.6				7.8			
19日		1.0	13.7	2.5		0.8	4.3	1.2		4.5	57.6	1.9
26日	6.4				5.3				9.3			
27日		2.7	12.1	2.2		1.8	4.5	1.0		4.8	54.6	2.5
31日	5.7				5.0				6.9			
6月 9日	5.3				5.3				6.9			
10日		3.5	10.4	1.0		1.8	4.3	0.5		5.1	44.4	3.8
29日	4.7				4.4				6.4			
7月 1日		2.1	12.1	0.1		1.7	5.6	0.0		8.7	29.6	0.5
15日		1.2	12.6	0.3		0.7	2.8	0.1		3.6	48.2	1.3
29日		1.8	10.2	0.1		1.4	2.0	0.1		5.0	49.6	0.3
8月 4日	5.0				5.0				6.5			
5日		1.0	6.2	1.5		0.9	0.3	0.6		2.9	31.0	6.5
11日		1.5	10.4	0.0		0.6	3.1	0.0		3.5	47.1	0.6
13日	5.4				4.7				6.5			
9月14日	4.9				4.6				4.9			
16日		5.7	3.8	3.8		4.4	0.9	2.1		12.7	16.3	15.0
22日		2.8	6.5	2.7		2.1	0.5	1.2		6.3	32.5	7.8
24日	4.0				4.9				5.1			
30日		2.3	9.6	0.3		1.8	3.6	0.7		4.6	41.6	2.5
10月 6日	5.0				4.4				6.2			
13日	5.9				5.6				6.5			
14日		2.3	10.0	0.7		1.8	4.6	0.4		4.5	40.0	0.4
20日	6.0				5.6				6.7			
21日		1.1	8.4	0.1		0.9	3.9	0.0		1.8	35.0	0.1
28日	5.4				5.1				6.2			
11月11日	5.3				5.6				6.0			
12日		2.9	2.6	3.5		2.2	0.1	2.2		5.1	11.8	12.7
18日		4.4	7.8	2.2		3.7	3.4	1.5		7.4	30.5	7.3
19日	5.4				5.4				6.0			
20日	5.4				5.5				5.9			
26日		3.9	10.6	1.5		2.9	5.7	0.8		6.5	38.5	3.0
27日	4.9				5.0				5.2			
12月 3日		4.2	10.0	1.6		2.8	2.9	0.3		16.1	40.6	6.3
7日	4.9				4.9				5.7			
10日		5.4	10.8	3.1		3.8	2.4	1.3		10.4	38.8	13.3
11日	5.1				5.2				6.2			
20日	5.9				5.9				6.4			
22日		5.0	8.9	2.1		2.7	0.3	0.4		11.3	33.0	7.8
58年 1月 6日	6.0				6.2				6.9			
7日		5.2	12.0	4.0		4.2	4.3	2.1		10.3	11.2	19.2
11日	5.9				5.8				6.5			
13日		6.0	11.7	2.8		4.3	5.2	1.4		14.9	76.0	21.0
20日		4.4	11.3	3.5		3.6	4.2	1.6		8.0	49.0	15.5
21日	6.7				5.7				5.9			
29日	7.0				6.8				7.0			
31日		5.1	18.0	0.1		3.5	7.5	0.0		9.3	10.7	0.1
2月 3日		1.5	14.3	0.2		1.3	11.2	0.1		1.9	50.8	0.6
5日	6.8				6.5				6.7			
12日	5.8				5.9				6.2			
17日		0.7	13.7	0.9		0.6	7.1	0.5		0.9	37.5	2.4

(注) 全て午前10時のスポットサンプル

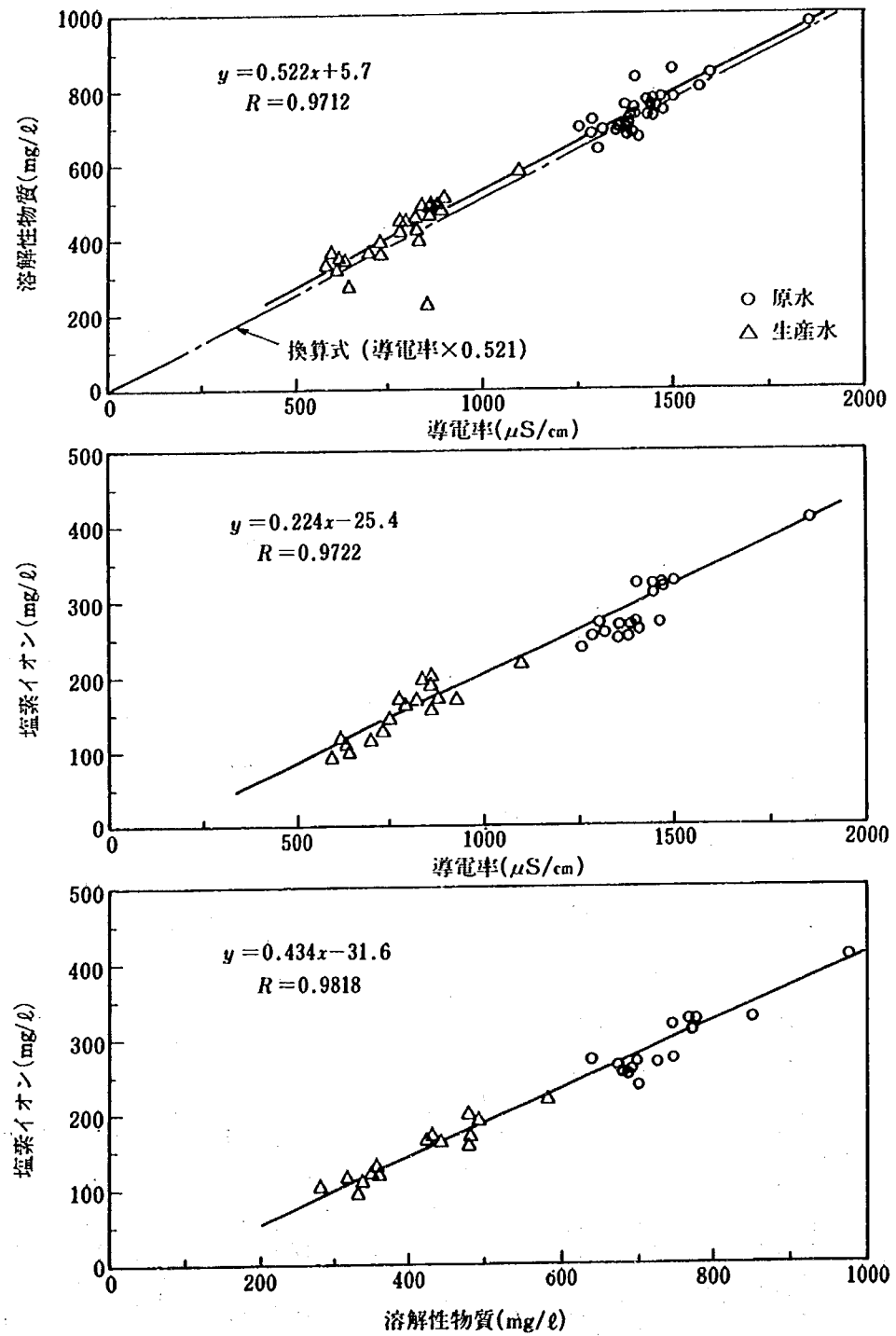


図 - 5・19(1) 導電率, 溶解性物質, 塩素イオンの相関性 (前期)

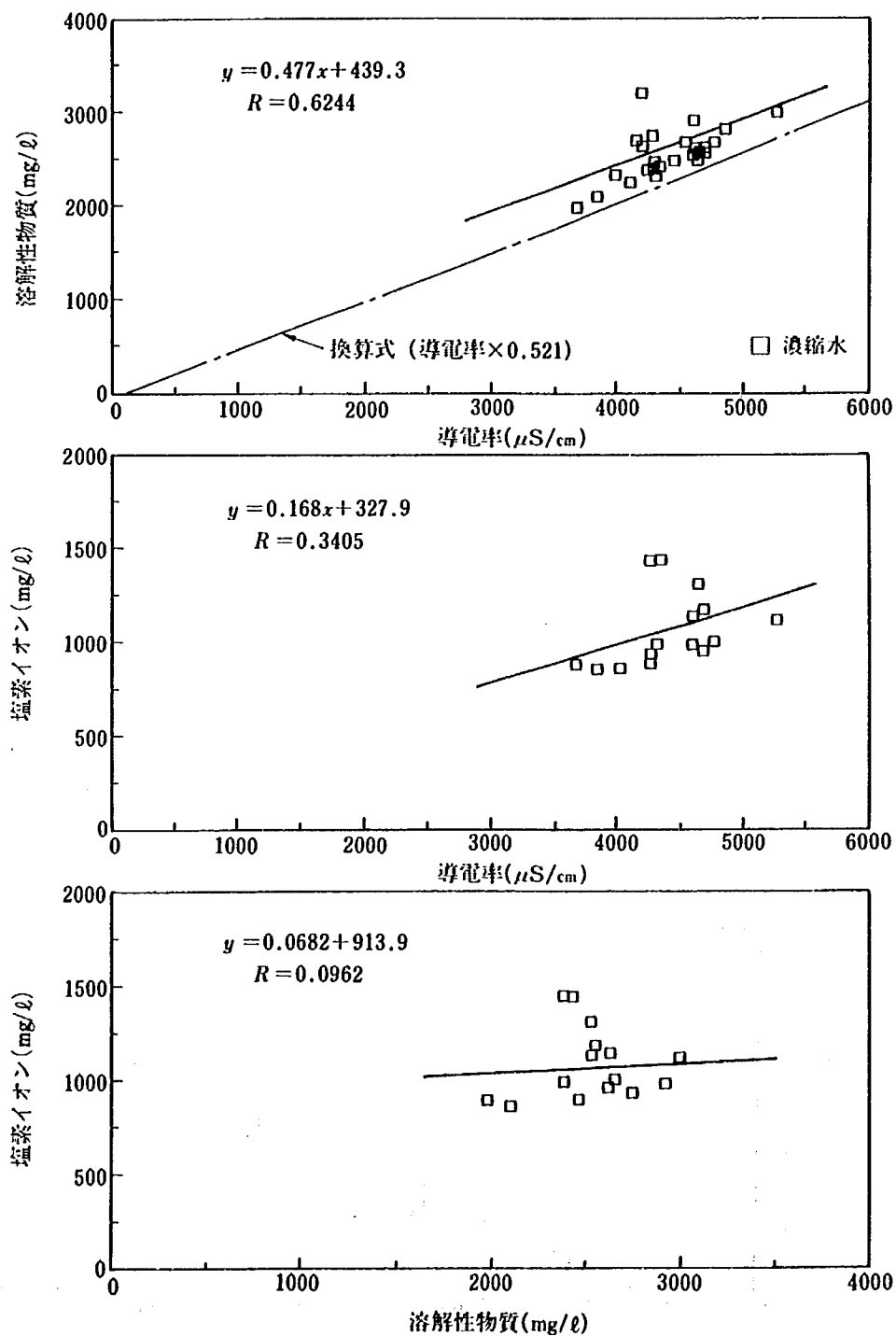


図-5・19(2) 導電率，溶解性物質，塩素イオンの相関性（前期）

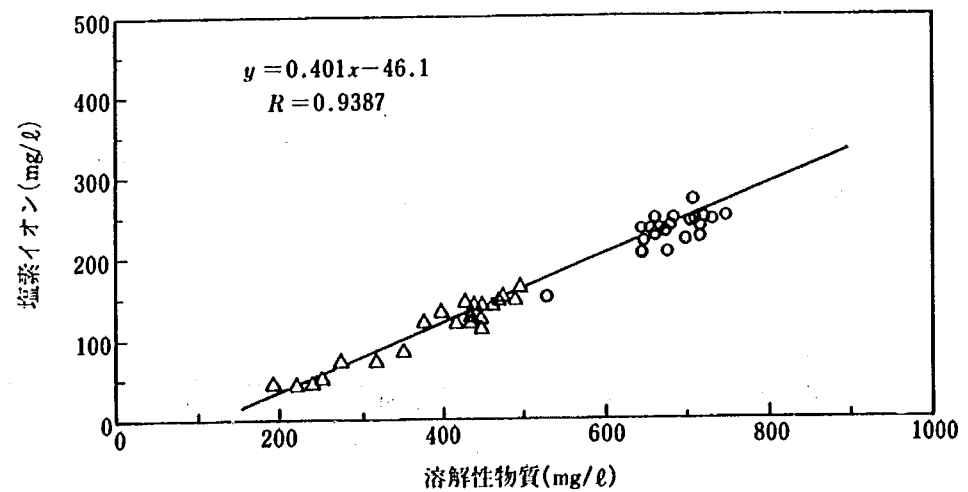
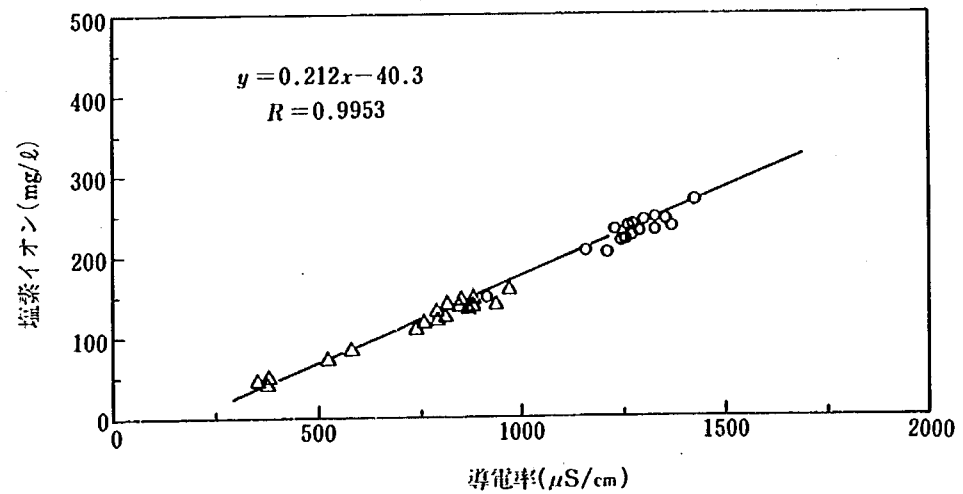
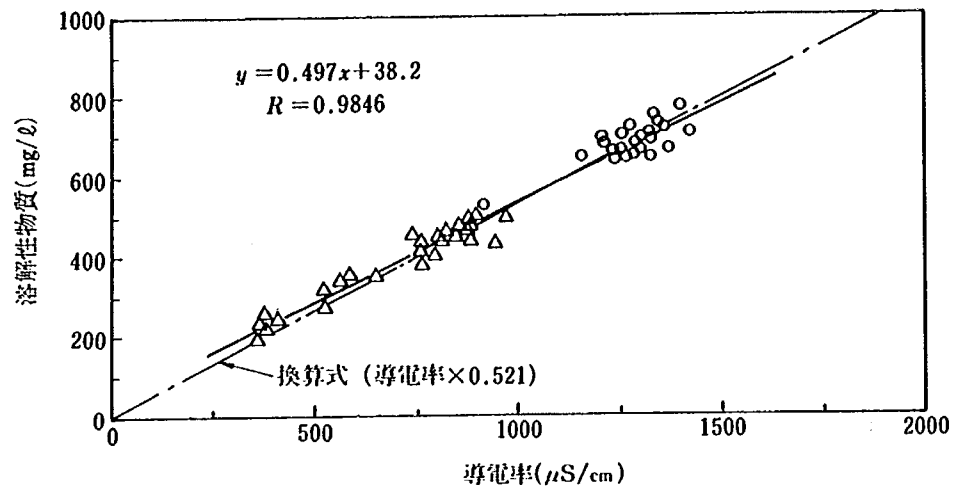


図-5・20(1) 導電率，溶解性物質，塩素イオンの相関性（後期）

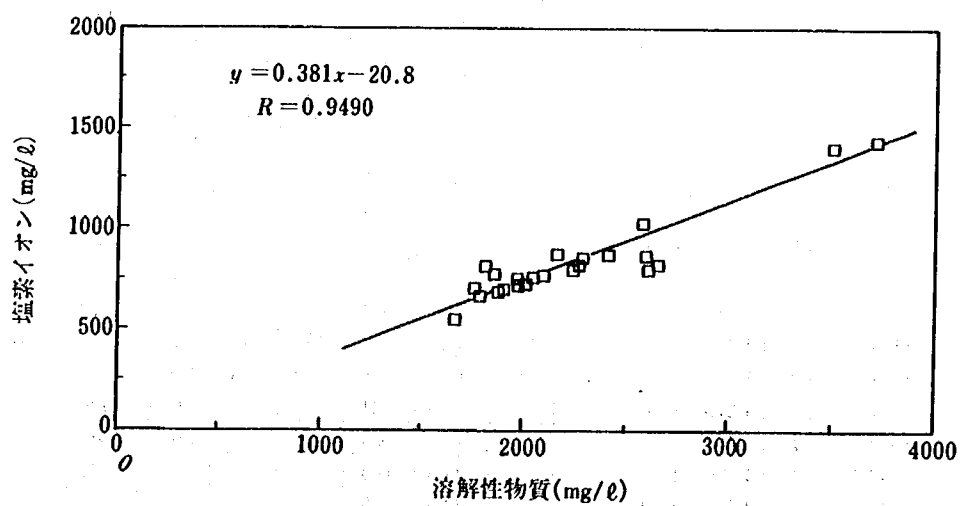
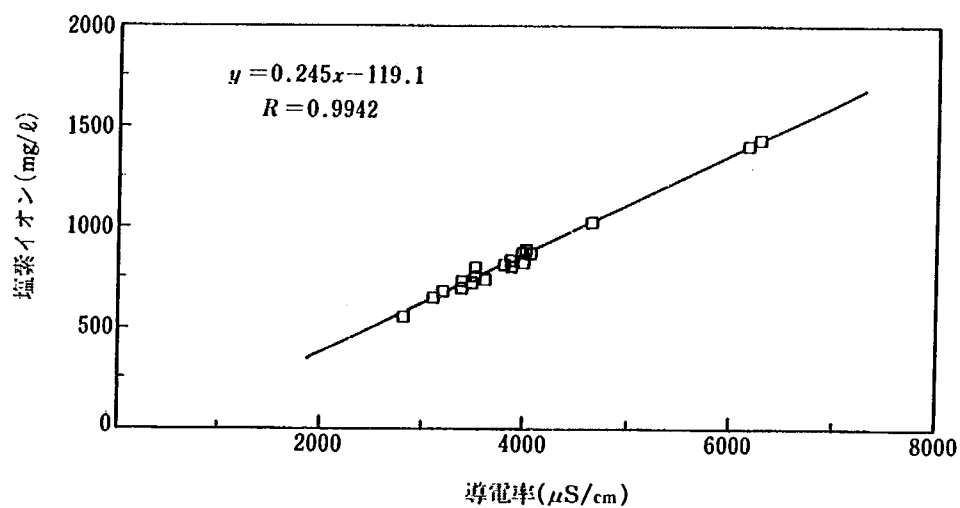
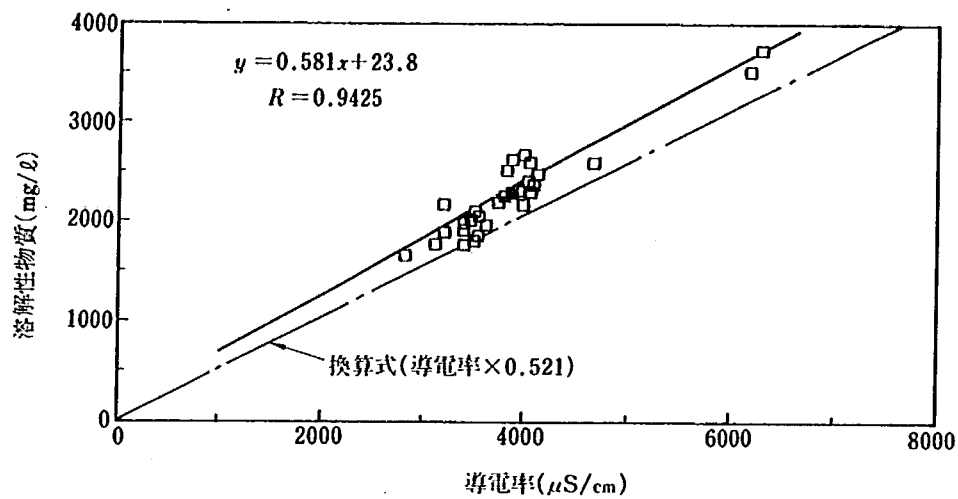


図-5・20(2) 導電率, 溶解性物質, 塩素イオンの相関性(後期)

表-5・23 原水、生産水、濃縮水の導電率・溶解性物質、塩素イオン（前期）

月 日	通 算 日 数 <日>	原 水				生 産 水				濃 縮 水			
		EC <1> μS/cm	EC <2> μS/cm	TDS mg/ℓ	Cl mg/ℓ	EC <1> μS/ℓ	EC <2> μS/ℓ	TDS mg/ℓ	Cl mg/ℓ	EC <1> mg/ℓ	EC <2> mg/ℓ	TDS mg/ℓ	Cl mg/ℓ
56年11月27日	1	1,380	1,445	749		820	830	402		4,320	4,230	2,390	
28日	2	1,360	1,420	726		820	832			4,090	4,190	3,201	
30日	4	1,290	1,362	754		810	819	462		3,900	3,980	2,327	
12月 1日	5	1,340	1,426	753		840	857	478		4,100	4,200	2,644	
2日	6	1,410	1,492	773		875	893	472		4,300	4,430	2,475	
3日	7	1,360	1,432	764	320	850	858	479	199	4,200	4,280	2,389	1,441
4日	8	1,320	1,384			830	837			4,100	4,170		
7日	11	1,335	1,389	825		835	839	490		4,100	4,150	2,694	
8日	12	1,335	1,388		321	840	840		196	4,000	4,050		
9日	13	1,355	1,491	848	324	840	861	491	190	4,820	4,850	2,828	
10日	14	1,360	1,421	765		845	852	224		4,150	4,240	2,381	
11日	15	1,365	1,420			860	861			4,090	4,350		
12日	16	1,415	1,467			865	867			4,250	4,350		
14日	18	1,395	1,437			870	877			4,160	4,240		
15日	19	1,370	1,426			855	873			4,100	4,210		
16日	20	1,410	1,455	774	322	800	777	425	167	4,430	4,630	2,532	1,314
17日	21	1,400	1,649			775	834			4,530	4,840		
18日	22	1,400	1,449			765	786			4,600	4,750		
19日	23	1,430	1,484			805	815			4,600	4,770		
21日	25	1,380	1,435	769	309	785	795	442	161	4,450	4,600	2,551	1,140
22日	26	1,380	1,432			785	791			4,500	4,630		
23日	27	1,400	1,448			800	814			4,410	4,550		
24日	28	1,400	1,459	742	316	810	820	432	171	4,520	4,670	2,563	1,179
25日	29	1,540	1,562	804		855	858	464		4,500	4,620	2,572	
26日	30	1,450	1,502			855	861			4,520	4,630		
57年 1月 5日	33	1,525	1,590	840		890	896	510		4,550	4,640	2,480	
6日	34	1,250	1,292	635	268	745	748		144	3,600	3,670	1,979	895
7日	35	1,380	1,433			835	841			3,880	3,900		
8日	36	1,410	1,455			795	793			4,080	4,140		
4月21日	37	1,380	1,433	725		720	727	391		4,700	4,700	2,586	
26日	39	1,270	1,325			630	633			4,620	4,590		
27日	40	1,290	1,343	692	265	615	612	318	115	4,650	4,610	2,634	1,140
28日	41	1,360	1,414			690	688			4,980	4,930		
29日	42	1,390	1,458			695	693			5,090	5,080		
30日	43	1,285	1,330			615	615			4,920	4,900		
5月 1日	44	1,320	1,380			645	654			5,050	5,120		
8日	45	1,240	1,306			635	641			4,580	4,610		
10日	47	1,230	1,269			580	593			4,580	4,600		
11日	48	1,220	1,275	675	251	610	617	352	118	4,270	4,280	2,747	940
12日	49	1,280	1,304	685	256	630	631	340	111	4,600	4,600	2,921	985
13日	50	1,270	1,317			635	641			4,690	4,720		
14日	51	1,300	1,356			640	655			4,650	4,680		
17日	54	1,280	1,328			605	603			4,720	4,740		
18日	55	1,620	1,707			660	749			4,660	4,940		

月 日	通 算 日 数 <日>	原 水				生 産 水				濃 縮 水			
		EC <1> mg/cm	EC <2> uS/cm	TDS mg/l	Cl mg/l	EC <1> uS/cm	EC <2> uS/cm	TDS mg/l	Cl mg/l	EC <1> uS/cm	EC <2> uS/cm	TDS mg/l	Cl mg/l
57年 5月19日	56	1,330	1,386			680	686			4800	4,820		
20日	57	1,320	1,363	674	251	70	702	360	116	4,700	4,880	2,632	960
21日	58	1,340	1,392			720	725			4,720	4,740		
22日	59	1,320	1,369			655	662			5,250	5,270		
24日	61	1,290	1,351			680	692			5,120	5,180		
25日	62	1,330	1,394	669	260	720	733	357	126	5,190	5,270	2,995	1,120
26日	63	1,730	1,778			900	910			5,530	5,590		
27日	64	1,320	1,368	706		770	785	450		4,260	4,300	2,320	
28日	65	1,324	1,282			795	811			4,450	4,510		
29日	66	1,330	1,367			870	883			4,650	4,690		
31日	68	1,295	1,345			800	811			4,620	4,640		
6月 1日	69	1,680	1,737			950	967			4,770	4,790		
2日	70	1,230	1,266			770	781			4,100	4,120		
3日	71	1,300	1,354			815	830			4,320	4,360		
4日	72	1,385	1,425			850	873			4,510	4,530		
5日	73	1,340	1,386			800	811			4,250	4,270		
9日	75	1,360	1,373	722	265	760	861	479	155	4,300	4,330	2,425	1,440
10日	76	1,310	1,348			810	841			3,980	4,040		
11日	77	1,360	1,388	728		880	885	492		4,080	4,100	2,253	
29日	78	1,210	1,246			765	774			3,590	3,640		
30日	79	1,340	1,384	744	270	860	878	482	170	3,800	3,840	2,103	965
7月 1日	80	1,410	1,451		270	850	926		170	3,970	4,020		865
2日	81	1,800	1,852	974	407	1,030	1,092	579	216	4,250	4,310	2,386	990
9日	84	1,190	1,227			600	595			4,040	4,120		
10日	85	1,360	1,424			630	641			4,560	4,730		
15日	87	1,260	1,317			640	645			4,400	4,500		
16日	88	1,280	1,338	681	248	640	641	280	101	4,620	4,760	2,662	1,005
17日	89	1,280	1,332			640	636			4,600	4,720		
18日	90	1,280	1,316			620	620			4,500	4,590		
19日	91	1,060	1,458			540	639			4,200	4,640		
20日	92	1,210	1,247			570	568			4,460	4,580		
21日	93	1,240	1,642			590	700			4,550	5,000		
22日	94	1,250	1,293			590	592			4,500	4,630		
28日	95	1,600	1,633			770	743			4,630	4,590		
29日	96	1,280	1,328			650	635			4,600	4,660		
30日	97	1,580	1,679			720	735			4,890	5,060		
31日	98	1,310	1,358			635	644			4,720	4,880		
8月 4日	99	1,200	1,246	695	235	590	591	333	95	4,150	4,280	2,474	895
5日	100	1,170	1,222			570	577			4,200	4,310		
6日	101	1,200	1,277	713		610	598	364		4,380	4,530	2,686	
11日	102	1,290	1,373			645	646			4,520	4,660		
12日	103	1,300	1,360			635	634			4,550	4,680		
13日	104	1,280	1,376			640	647			4,530	4,700		
14日	105	1,320	1,378	680		640	642	282		4,600	4,760	2,675	

(注) EC<1>は自動計測器の日平均値、他は午前10時のスポットサンプル分析値

表-5・24 原水、生産水、濃縮水の導電率・溶解性物質、塩素イオン（後期）

月 日	通 算 日 数 <日>	原 水				生 産 水				濃 縮 水			
		EC <1> μS/cm	EC <2> μS/cm	TDS mg/ℓ	CL mg/ℓ	EC <1> μS/cm	EC <2> μS/cm	TDS mg/ℓ	CL mg/ℓ	EC <1> μS/cm	EC <2> μS/cm	TDS mg/ℓ	CL mg/ℓ
67年 9月11日	1	1,010	1,026			580	576			3,300	3,280		
12日	2	970	996			575	572			3,110	3,150		
13日	3	680	701			405	401			2,220	2,220		
14日	4	880	908	525	148	520	521	317	70	2,800	2,820	1,665	550
15日	5	1,080	1,107			640	641			3,420	3,350		
16日	6	1,130	1,169			660	666			3,410	3,470		
17日	7	1,170	1,202	687		640	645	349		3,700	3,750	2,180	
22日	8	1,190	1,226			680	687			3,850	3,910		
23日	9	1,210	1,248			695	700			3,870	3,940		
24日	10	1,140	1,171			660	664			3,740	3,770		
29日	11	1,235	1,279	671	230	750	759	416	117	3,980	4,070	2,29	863
30日	12	1,280	1,320	682	246	790	795	399	131	3,900	3,990	2,165	873
10月 1日	13	1,320	1,366			840	850			3,820	3,910		
2日	14	1,320	1,361			865	860			3,770	3,780		
6日	15	1,300	1,340	727	245	845	855	473	143	3,980	4,050	2,600	868
7日	16	1,350	1,390			890	902			4,000	4,060		
8日	17	1,350	1,396	767		885	894	499		3,900	3,940	2,293	
9日	18	1,205	1,234			820	817			3,390	3,360		
13日	19	1,180	1,208	675	203	760	759	435	118	3,490	3,490	2,018	723
14日	20	1,190	1,229			780	780			3,510	3,540		
15日	21	1,260	1,292	689		805	799	416		3,770	3,820	2,506	
16日	22	1,300	1,332			840	841			3,830	3,890		
20日	23	1,320	1,358			850	854			3,580	3,820		
21日	24	1,120	1,146			730	735			3,190	3,200		
22日	25	1,200	1,241	644	218	805	811	436	126	3,370	3,400	1,914	695
23日	26	1,315	1,238			925	793			5,000	3,560		
25日	27	1,290	1,322	641	233	880	883	439	140	3,570	3,610	1,976	750
26日	28	1,280	1,347			885	901			3,580	3,610		
28日	29	1,340	1,381			880	889			3,910	3,990		
29日	30	1,380	1,398			905	913			3,800	3,870		
11月10日	31	1,270	1,300			835	843			3,700	3,750		
11日	32	1,200	1,227	654	232	815	820	464	140	3,490	3,510	2,096	765
12日	33	1,170	1,198			760	763			3,350	3,400		
13日	34	1,200	1,242			820	830			3,410	3,480		
17日	35	1,290	1,318			880	884			3,450	3,490		
18日	36	1,245	1,277			865	872			3,290	3,300		
19日	37	1,225	1,268	714	237	865	875	490	145	3,120	3,200	1,886	688
20日	38	1,270	1,317	702	243	870	881	478	148	3,350	3,390	1,984	725
25日	39	1,210	1,246	657	226	840	847	448	138	3,130	3,130	1,786	658
26日	40	1,250	1,287			860	870			3,300	3,340		
27日	41	1,240	1,277	647		870	877	435		3,200	3,210	2,171	
12月 3日	42	1,195	1,232	635		570	563	340		4,020	4,120	2,468	
4日	43	1,220	1,250			555	539			3,850	3,920		
5日	44	1,220	1,282			570	562			3,980	4,040		
6日	45	1,200	1,247			565	568			3,930	4,040		
7日	46	1,130	1,155	642	205	535	525	276	73	3,510	3,530	2,053	755
8日	47	1,210	1,240			595	586			3,710	3,730		
9日	48	1,205	1,234			565	562			3,810	3,850		
10日	49	1,280	1,308			605	596			3,930	4,000		
11日	50	1,240	1,281		231	580	581	351	84	3,920	4,000	2,659	820
12日	51	1,250	1,281			570	474			3,990	4,050		
13日	52	1,300	1,353			390	380			4,110	4,180		
15日	53	1,220	1,255			350	323			3,740	3,770		

月 日	通 算 日 数 <日>	原 水				生 産 水				濃 縮 水			
		EC <1>	EC <2>	TDS	Cl	EC <1>	EC <2>	TDS	Cl	EC <1>	EC <2>	TDS	Cl
		μS/cm	μS/cm	mg/l	mg/l	μS/cm	μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	μS/l	mg/l	mg/l
57年12月16日	54	1,220	1,256	640	235	380	362	196	44	3,780	3,810	2,257	803
17日	55	1,240	1,277	677	237	380	372	241	44	3,800	3,870	2,278	823
18日	56	1,280	1,331	745	249	395	381	253	50	3,980	4,030	2,419	880
19日	57	1,245	1,283			400	396			3,910	3,950		
20日	58	1,235	1,279			400	387			3,920	3,990		
21日	59	1,210	1,249	695	220	400	381	221	43	3,820	3,880	2,611	798
22日	60	1,220	1,258			400	380			3,980	4,030		
23日	61	1,250	1,285	679		420	408	240		4,000	4,070	2,373	
24日	62	1,230	1,268			385	373			3,920	4,000		
25日	63	1,235	1,271			725	729			4,230	4,330		
26日	64	1,205	1,246			715	720			4,410	4,500		
27日	65	1,195	1,232			695	702			4,420	4,550		
58年 1月 6日	66	1,300	1,352	709	244	790	798	444	123	4,560	4,660	2,582	1,023
7日	67	1,285	1,324			760	773			4,480	4,570		
8日	68	1,270	1,316			760	770			4,630	4,650		
9日	69	1,280	1,321			760	795			6,490	6,650		
11日	70	1,220	1,263	714	225	730	742	449	110	6,080	6,290	3,726	1,433
12日	71	1,240	1,303			745	760			6,250	6,540		
13日	72	1,255	1,302			750	754			6,250	6,460		
14日	73	1,260	1,318			760	777			6,320	6,520		
18日	74	1,260	1,307			755	768			4,500	4,590		
19日	75	1,235	1,279			745	755			4,320	4,430		
20日	76	1,240	1,283			745	753			4,250	4,330		
21日	77	1,250	1,283			750	754			4,350	4,370		
22日	78	1,280	1,336			770	787			4,420	4,510		
27日	79	1,245	1,293	658	244	750	762	379	118	5,950	6,190	3,510	1,403
28日	80	1,270	1,328			765	782			6,250	6,480		
29日	81	1,270	1,328			765	783			6,270	6,530		
30日	82	1,315	1,368			790	808			6,500	6,750		
31日	83	1,290	1,344			805	824			6,400	6,670		
2月 1日	84	1,315	1,377			790	828			4,520	4,420		
2日	85	1,335	1,398			880	902			3,710	3,720		
3日	86	1,340	1,405			880	906			3,680	3,710		
4日	87	1,290	1,351	717	247	850	871	460	137	3,500	3,530	1,859	775
5日	88	1,290	1,367			825	865			3,610	3,660		
6日	89	1,300	1,367			835	865			3,590	3,660		
7日	90	1,365	1,435			915	945			3,630	3,670		
9日	91	1,340	1,405			900	926			3,570	3,630		
10日	92	1,350	1,419	704	268	940	971	496	160	3,460	3,510	1,816	800
11日	93	1,290	1,359			910	938			3,290	3,330		
12日	94	1,280	1,347			860	922			3,270	3,310		
13日	95	1,320	1,393			910	949			3,400	3,450		
14日	96	1,295	1,365	661	236	905	938	429	140	3,340	3,390	1,772	705
15日	97	1,310	1,382			915	948			3,380	3,430		
16日	98	1,320	1,397			920	956			3,400	3,470		
17日	99	1,295	1,365			925	959			3,320	3,350		
18日	100	1,210	1,275			850	882			3,180	3,230		
19日	101	1,175	1,243			825	853			3,000	3,010		
21日	102	1,300	1,379			920	956			3,360	3,440		
22日	103	1,300	1,372			925	956			3,380	3,420		
23日	104	1,345	1,422			955	788			3,480	3,550		

(注) EC<1>は自動計測器の日平均値、他は午前10時のスポットサンプル分析値

溶解性物質を全て塩類と仮定した場合、その重量濃度は食塩水での換算式とほぼ近似していると思われるからである。なお、ここで求めた塩類濃度は実際の塩類濃度よりやや高めとなっている可能性が高いことに留意しておく必要がある。これは溶解性物質の測定値には無機塩類のほか、一部塩類の結晶水および溶解性有機物の重量が含まれていることに起因するのは先に述べたとうりである。

濃縮水についても同一の換算式を用いているが、こちらの方はかなり誤差が大きいようであるが、統一性を考えて採用した。

5.2.11 電気透析法の処理コスト

電気透析法における処理（脱塩）コストは、設備の大きさ、目標とする脱塩率などによって異なってくる。処理コストの算定項目としては表-5・25に示すものが必要とされている。このうち装置の稼動に要する電力費、薬品費および労務費の一部については本装置でのおおよその算出が可能であり、本装置での処理コストを算出して見た。なお、運転条件としては脱塩率を50%、水回収率を90%、解体洗浄時を除く年間稼動日数を300日（稼動率82%）と仮定して計算している。

まず、生産水量および濃縮水量であるが、脱塩率50%を得る場合、流量比は80%程度（図-5・17参照）であり、本装置での生産水量は $24\text{m}^3/\text{日}$ である。水回収率が90%なので濃縮水量は $2.7\text{m}^3/\text{日}$ である。週1回、2時間の次亜塩素酸洗浄を実施するとして、年間の総水量は

$$\text{生産水量} = 24\text{m}^3/\text{日} \times (166\text{時間} / 168\text{時間}) \times 300\text{日} \div 7110\text{m}^3$$

$$\text{濃縮水量} = 2.7\text{m}^3/\text{日} \times (166\text{時間} / 168\text{時間}) \times 300\text{日} \div 800\text{m}^3$$

となる。

電力費についてはポンプ等動力分が約 1.7kWh 、透析および計装用が約 0.5kWh 使用しており、料金を $15\text{円}/\text{kWh}$ と仮定すると

$$\text{電力費} = 2.2\text{kWh} \times 24\text{時間} \times 300\text{日} \times 15\text{円}/\text{kWh} = 237,600\text{円}$$

となり、年間238千円必要である。

薬品費としては硫酸および次亜塩素酸ソーダの費用が計上できる。硫酸は濃縮水 1m^3 当り 0.24ℓ 必要であり、年間では $0.24\ell/\text{m}^3 \times 800\text{m}^3 = 192\ell$ 必要であり、ここでの購入単価 $90\text{円}/\ell$ で約17千円である。次亜塩素酸ソーダは $6.2\ell/\text{週} \times 43\text{週} = 266.6 \div 270\ell$ 必要で購入単価 $145\text{円}/\ell$ で約39千円必要である。

労務費については解体洗浄に要する作業員を、1回普通作業員3人（単価は $8,977\text{円}$ 、三省協定に基づく公共事業調査結果、建設物価83.12）、年3回実施するとして約81千円となる。

ここまでの結果でそのコストは生産水量 1m^3 当り約53円（内訳は電力費63%、薬品費15%、労務費22%）ということとなる。

上述の数値はあくまでも試験装置上のものであり、ポンプ、計装機器は生産水量に比して過大のものや、不必要なものも含まれており、実機における単位生産水量当りの電力量としては本機の半分以下と予想され、薬品費についても効率的な循環利用を図ることにより単位生産水量当りの使用量は大幅に下げうること、大量購入により単位が下げられることなどから大幅な削減が可能といえる。また解体洗浄についても自動化、機械化を進めることで削減が可能といえる。したがってこれらの項目は実機ではスケールメリットが働くことにより、上述の $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}$ の値にはなるう。

実際の処理（脱塩）コストは上述のもののほかに、大きなものとして総建設費の償却費、膜交換費、修繕費、一般管理費などが必要であり、これらも加えた総運転費は数10円のオーダーとなろう。これは脱塩率50%の場合であり、脱塩率の上げるため、透析槽を2段、3段と増やすほど運転費が高くなることを考えれば決して安価とはいえないようである。

表-5・25 処理コスト算定項目

建設費	運転費（円/日）
主建設費	電気代（透析・その他）
原水供給設備	薬品代（ H_2SO_4 ・ NaOCl ）
生産水貯水設備	修繕費
建物	労務費
臨時費	一般管理費
設計費	償却（x年）
建設期間の利子	膜交換費
土地	税金・保険料
	利子
総建設費	総運転費

$$\text{生産水コスト} = \text{総運転費} / \text{生産水量}$$

5.2.12 電気透析実験の終りに当って

電気透析法による連続実験をふり返って見て、気づいた点について書きとめておくと、維持管理面では、生物スライムの発生により循環水量の低下の問題があったものの、これは定期的に次亜塩素酸洗浄を行うことで解決できるので特に問題ではない。装置の故障についても、ポンプの故障が一度あったきりで、目立った故障はなかった。脱塩率等性能面でも条件設定を変えない限り安定しており、処理としての安定性については高い信頼性が得られると考えられる。

処理コストについては決して安価なものではないことが確認されたが、これは他の脱塩法についても同様であろうし、水資源を新たに求めようとする場合に、新規の水源開発のコストと比較となり、一概には判断できない。

最後に本実験で得られた生産水の水質については表-5・26のようになっており、これを評価すると、全ての測定項目ともこれまでに提出されている提案値（目標値）を下廻っており、再利用を行っても特に問題はないといえよう。

表-5・26 生産水の平均水質

BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)	濁度 (mg/L)	T-P (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	溶解性物質 (mg/L)	塩素イオン (mg/L)
3.0*	5.3	2.0*	0.7	0.5*	2.5	3.8	0.7	402	123

（注）*は原水（活性炭処理水）の57年度の平均値、他は全期間の平均値

6. ま と め

本報告を総括すると以下ようになる。

1. 下水処理水の無機塩類の現状

- (1) 下水処理水の無機塩類の指標としては蒸発残留物より溶解性物質を用いた方が整合性が高い。
また、溶解性物質と塩素イオンでは基準値が設定された場合、溶解性物質の方で制限を受ける場合が多いようである。
- (2) 家庭下水での無機塩類の流入源としてはし尿が約20％、合成洗剤がそれ以上の割合を占める。
- (3) 下水処理場では無機塩類の除去は期待できず、むしろ増加することが多い。
- (4) 水の使用によって付加される無機塩類は溶解性物質で1ℓ当たり約200mgと推定される。

2. 食塩水および合成処理水における電気透析実験

- (1) 電気透析法で定電圧、定流量で運転すると脱塩率は一定となる。このため原水の塩類濃度の変動は直接生産水に影響を与える。
- (2) 電気透析法では部分循環を行い循環率を上げることにより、脱塩率を上げることができる。
この手法は生産水濃度を一定とする場合、原水の濃度変動対策に有効である。
- (3) 脱塩率は水回収率の高低に影響されない。したがって濃縮室でスケールが発生しない範囲内で水回収率を高めた方が有利となる。
- (4) 単位膜面積当りの脱塩量は電流密度に比例する。したがって電流密度を増すために極間電圧を高め設定することが脱塩率向上に重要となるが、限界電流密度について十分注意を払う必要がある。

3. 下水処理水での電気透析実験

- (1) 原水の溶解性物質、塩素イオンの平均値はそれぞれ711、255mg/ℓであり、平均的な下水処理水よりやや高い。濃度変動は小さく、安定していた。
- (2) 原水濃度の影響は2の場合と同様、生産水に影響を与える。
- (3) 下水処理水での実験で発生した最大の問題点は透析槽内で生物スライムが発生し、これにより槽内圧力損失が増加し、希釈室側の膜間通水速度が一定に維持できず低下が大きかったことがあげられる。
- (4) 膜間通水速度の低下は週1回、残留塩素1000mg/ℓを含む液を1.3時間透析槽に通液する次亜塩素酸洗浄でかなり防止できる。解体洗浄のひん度は製塩の分野とはほぼ同程度でよい。
- (5) 下水処理水での運転でも、脱塩率、濃縮率、電流効率は安定したものが得られており、処理としての信頼性は高いといえる。
- (6) 電気透析法では濃縮室側でのスケールの発生防止のために硫酸添加を行うが、これは脱塩率向上にも寄与する。
- (7) 高脱塩率を得るための手法としては部分循環法のほか、複数槽を連続的に通して行く多段シリーズ法がある。同一規模、同一脱塩率ならば多段シリーズ法が水量的に有利である。

- (8) 電気透析法では有機物の除去は期待できない。栄養塩類については脱塩率以上の除去が期待できる。
- (9) 導電率と塩類指標である溶解性物質、塩素イオンとの相関性は高い。したがって日常的な測定は導電率で十分対応が可能である。
- (10) 電気透析法の処理コストはパイロットスケールである本装置（生産量 24 m^3 / 日）で、脱塩率50%、水回収率90%の場合、電力費、薬品費、労務費のみで 1 m^3 当り53 円となった。実機ではスケールメリットが働くため、この項目については、 $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{4}$ にはなるだろうが、全てを含めた総運転費では数10円のオーダーを予想され、決して安価なものではないようである。
- (11) 本実験で得られた生産水質は極めて良好であり、十分再利用できるものであった。

お わ り に

ここでは下水処理水の直接再利用を行う場合に考慮すべき無機塩類の現状と問題点、除去手法、および除去手法の1つである電気透析法の実験結果を中心に述べてきた。無機塩類については再利用を行う場合を除けば問題となることは極めてまれであり、再利用においても目標水質に明確なものがないためなど、これまでは見落されることが多かったように思える。しかしながら、循環方式での再利用率の増加、あるいは水源として塩類濃度の高い処理水しか得られない場合など、再利用の本格化とともに問題となってくることが多くなろう。特に直接再利用が有効とされる地域は海岸部の大都市が多いことから、下水処理場が海岸近くに立地していることも多く、塩類濃度が高い例がかなり見られるなど、注意すべき点が多い。現在の脱塩プロセスが決して安価なものでないことと合せて、無機塩類についての認識を高めておく必要が大といえよう。

最後に電気透析実験を行うにあたり多大な協力をいただいた千葉県都市部下水道二課、千葉県花見川処理場の関係各位、ならびに本資料の作成にあたり貴重な御指導をいただいた小堀和夫前三次処理研究室長に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 建設省都市局下水道部；日本の下水道，日本下水道協会，1983年9月
- 2) 下水道年鑑；1981年版，水道産業新聞社
- 3) 安中；下水処理水の再利用と処理技術の現状，土木技術資料，Vol. 21, No 9, 1979年9月
- 4) 東京都首都整備局；水の循環利用適合性予備調査報告書，1973年3月
- 5) 農業公害ハンドブック；1977年7月，地人書館
- 6) 近藤；富栄養化のための「有リン合成洗剤追放」への疑問，公害と対策，Vol. 16, No 9, 1980年
- 7) 小山，半田，杉村；湖水・海水の分析，講談社，1972年9月
- 8) 衛生試験法注解 1973年，日本薬学会編
- 9) Demineralization of Wastewater by Electrodialysis, EPA-600/2-75-047 Oct. 1975
- 10) 岡崎；逆浸透膜法による塩類除去と実例，栗田工業株式会社
- 11) 谷口，加藤；逆浸透法，水処理技術，Vol. 11, No 6, 1970
- 12) 水処理実験法；日本工業用水協会編，コロナ社 1972年4月
- 13) 内田，平松；わが国最初の大型造水プラントを訪ねて，造水技術，Vol. 5 No 2 1979年
- 14) 宮原，大曲，酒井；実用イオン交換，化学工業社，1972年1月
- 15) 堀尾他；逆浸透膜式脱塩装置の運転実績，火力発電，第198号，1973年3月
- 16) 川崎；冷凍法の原理とその応用，造水技術，Vol. 8, No 1, 1982年
- 17) L N G 冷熱利用海水淡水化について，造水技術，Vol. 6, No 4, 1980年
- 18) 後藤；太陽エネルギー利用脱塩技術，造水技術 Vol. 7, No 4, 1981年
- 19) 後藤；太陽熱利用による海水淡水化の現状，造水技術 Vol. 5, No 2, 1979年
- 20) 後藤，中嶋；太陽熱脱塩の現状，造水技術，Vol. 6, No 4, 1980年
- 21) 三原，加藤；イオン交換膜脱塩装置の設計，化学工業，第29巻，第6号，1965年

下水中の無機塩類の現状と電気
透析法による除去実験報告書

ISSN 0386-5878

土研資料第 2043 号

昭和59年 3 月(1984)

下水道部三次処理研究室

キーワード：下水処理水，再利用，無機塩類，電気透析

要旨

下水処理水の直接再利用の際に問題となる無機塩類について、規制、現状を調査するとともに、その除去法である電気透析法の実験結果についてとりまとめたものである。



郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十円切手
をはって下
さい

茨城県筑波郡豊里町

大字旭一番地

建設省土木研究所

下水道部三次処理研究室 御中

No. _____

配布先氏名

配布先住所



No. _____

土木研究所資料第2043号 部
下水中の無機塩類の現状と電気透析法
による除去実験報告書
上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印