

高効率イオン交換装置「スーパーフロー」

"SUPER FLOW" High Efficient Ion Exchanger

環境装置事業部製品開発室

赤 司 敏 彦

Toshihiko Akashi

広 岡 隆 志

Takashi Hirooka

A highly efficient ion exchange process demineralizer, the "SUPER FLOW" featuring upward flow service and downward flow regeneration has been investigated.

Any advantages of the "SUPER FLOW" demineralizer include low chemicals and rinsing water consumption, consistently superior effluent quality, use of non-treated water for diluting regenerants and for rinsing the bed and backwashing in the column without an additional backwash tank.

This paper presents flow diagrams, column construction, regeneration schedules, and test run results of our pilot plant as well as a full-scale field plant.

上向流通水，下向流再生による高効率イオン交換装置「スーパーフロー」に関する開発を行った。

スーパーフロー脱塩装置は，再生薬品必要量および洗浄水量が少ない，処理水質が良く，しかも安定している，再生薬品の希釈水および洗浄水に原水を使用できる，同一塔内で逆洗でき，特別に逆洗水槽を設ける必要はない，など多くの特長を有している。

今回はパイロット装置および実装置に関するフローシート，塔構造，再生行程，運転結果などについて報告する。

1. ま え が き

イオン交換装置に向流接触技術が応用されてから，十数年が経過した。この間に，向流再生を実現するため，多くのアイデアや技術が生まれ，実用化されている。

向流再生方式には，下向流通水で上向流再生と，上向流通水で下向流再生の2方式があり，当社では，前者について，既に商品化を行ない販売してきた。今回，新しく開発したイオン交換装置スーパーフローは，後者の方式を採用しており，特に，再生薬品費の低減を計り，イニシャルコスト，ランニングコスト両面で優れた装置として，商品化を行なった。

以下にスーパーフローの概要，およびパイロット装置，実装置による運転の結果を紹介する。

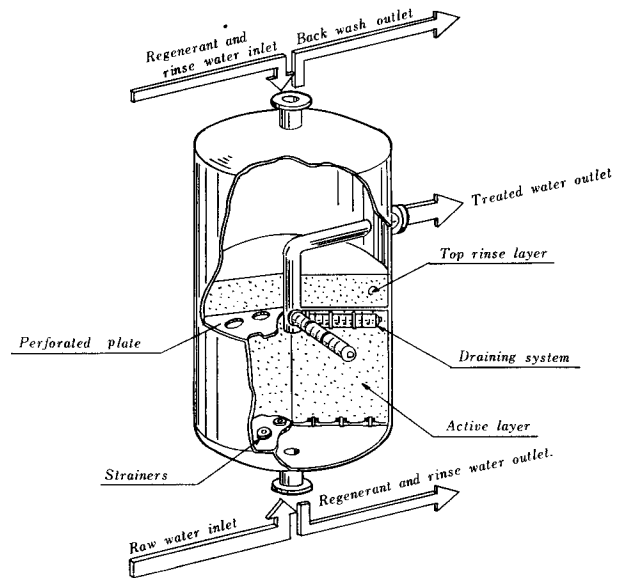
2. スーパーフローの概要

2.1 スーパーフローの構造

第1図に，スーパーフローの構造を示す。イオン交換塔の内部には，2枚の仕切板があり，下部の仕切板には，ストレーナを取り付けている。このストレーナは，イオン交換樹脂は通さず，水のみを通す構造となっている。中央の仕切板は，イオン交換樹脂と水が自由に出入りできる孔を，一定の間隔で配置した多孔板である。

多孔板のすぐ下には，集水コレクタを一定の間隔で配置しており，処理水を均等に集水できるようになっている。

イオン交換樹脂は，通常，この多孔板の上部，200~300mmまで充填される。多孔板上部のイオン交換樹脂層を，リンス層と呼び，再生時の洗浄水を塔内で製造するために



第1図 スーパーフローの構造

Fig. 1 Column structure

用いる。これに対し，多孔板下部のイオン交換樹脂層を，活性層と呼び，通水時に，イオン交換負荷のかかるところである。リンス層上部の空間は，イオン交換樹脂を逆洗時展開させるためのスペースである。

再生は下向流で行なう。再生薬品，および洗浄水はイオン交換塔頂部より流入し，下部のノズルから流出する。

逆洗を行なう時は，イオン交換塔下部より頂部へと水を流し，この水流によりイオン交換樹脂を塔内上部空間に展開させて行い。

2.2 スーパーフローの特長

向流再生方式によるイオン交換装置の特長は，従来の並流再生方式と比べ

1. 再生薬品の利用効率（再生効率）が高い。

2. 洗浄水量が少ない。
 3. 原水のイオン濃度，および組成の影響を受けにくく，安定した高度な処理水が得られる。
- 等が掲げられる。

スーパーフローは，これらの向流再生方式の特長に加え

4. 被処理水で洗浄が行なえる。
 5. 上向流通水のため逆洗の頻度が少なくすむが，特別に逆洗槽を設ける必要がなく，同一塔内で逆洗が可能である。
 6. 下向流再生のため薬液注入時イオン交換樹脂層は下向に固定され，薬品と十分な反応が行なわれる。
- 等の特長をもつ，ユニークなイオン交換装置である。

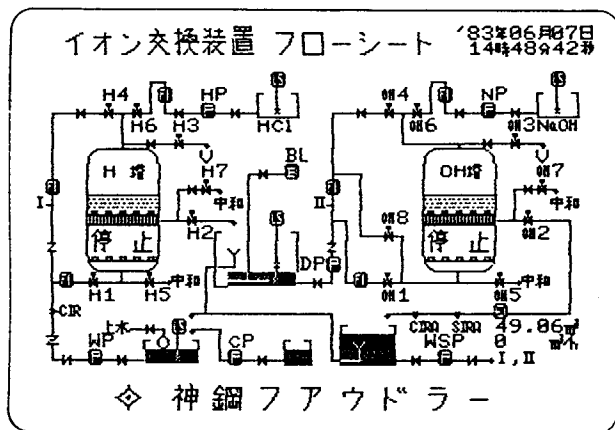
3. パイロット装置による運転結果

3.1 パイロット装置の概要

第2図に，パイロット装置のフローシートを示す。原水は，原水槽から原水ポンプ(WP)によりポンプアップされ，カチオン交換塔(H塔)下部より上向流で塔内へ流入し，脱カチオンされた後集水コレクタから流出し，中間槽へ流入する。中間槽では，ブロー(BL)で空気ばっ気を行い，カチオン塔処理水中の炭酸ガス(CO₂ガス)を追い出す。炭酸ガスが除去された脱炭酸水は，中間ポンプ(DP)により，アニオン交換塔(OH塔)下部より上向流で塔内へ流入し，脱アニオンされた後集水コレクタから流出し，積算流量計(FQ)，シリカ計(SIRA)，電気伝導度計(CIRA)を通して純水槽へ流れる。純水は，一部原水槽へ戻し再利用するとともに，薬品の注入によりイオン濃度を調整している。

カチオン交換塔(H塔)の再生は，まず，再生薬品(HCl)をHCl計量槽から塩酸ポンプ(HP)により，カチオン交換塔頂部より下向流で流入させ，リンス層，および，活性層と接触させ，塔下部から流出させる。つぎに，原水を同様に塔頂部より下向流で流入させ，リンス層で脱カチオンし活性層を洗浄する。

また，アニオン交換塔の再生は，再生薬品(NaOH)をNaOH計量槽から苛性ポンプ(NP)により，アニオン交換塔頂部より下向流で流入させ，リンス層，および活性層と



第2図 パイロット装置のフローシート (画面コピー)
Fig. 2 Flow sheet of pilot plant (CRT copy)

第1表 パイロット装置の仕様
Table 1 Specification of pilot plant

Raw water tank : PVC	
□ 940×1,030 ^H	0.9m ³
Raw water pump : FC (Centrifugal type)	
1.33 m ³ /min×23 mAq×7.5 kW	
Cation exchange column : SUS 304	
φ 500×1,638 ^H	
Ion exchange resin Lewatit S100 WS 200ℓ	
Degasified water tank : PVC	
φ 1,380×1,510 ^H 2m ³	
Rootstype blower : FC	
2 Nm ³ /min×5.5 mAq×5.5 kW	
Decationized water pump : SUS 304 (Centrifugal type)	
50ℓ/min×50 mAq×5.5 kW	
Anion exchange column : SUS 304, PVC	
φ 500×1,638 ^H	
Ion exchange resin Lewatit M 600 WS 200ℓ	
Chemical injection pumps	
HCl pump	4ℓ/min×9 mAq×0.15 kW
NaOH pump	220ℓ/min×10 mAq×0.75 kW
Mineral pump	140cc/min×2 plunger×0.1 kW
Piping : PVC (main size 40A)	
Valves : Pneumatic air operated	
Sanders type valve FC (R.L)	
PVC ball valve	
Controller and Consol	
Personal computer	
Color CRT display	
Serial printer	
Interface unit	
Panels	
Power supply panel	
Solenoid valves panel	
Invertor for decationized water pump :	
	200 V×5.5 kW

接触させ塔下部から流出させる。そして，脱炭酸水を同様に塔頂部より下向流で流入させ，リンス層で脱アニオンし活性層を洗浄する。

第1表に，パイロット装置の仕様を示す。カチオン交換塔，アニオン交換塔はともにφ500×1,638^Hの寸法で，活性層160ℓ，リンス層40ℓのイオン交換樹脂を充填している。イオン交換樹脂は，カチオン交換塔に LEWATIT S100 WS，アニオン交換塔に LEWATIT M 600 WSを，それぞれ使用した。

なお，パイロット装置の制御には，パーソナルコンピュータを利用し操作性の向上を計っている。

写真1に，カチオン，アニオン交換塔，および配管類を，写真2に，パーソナルコンピュータ，周辺機器，および電気盤を示す。

3.2 パイロット装置の運転

第2表に，パイロット装置のシーケンス表を示す。逆洗は，カチオン交換塔で3か月に1度，アニオン交換塔で6か月に1度行なう。(ただし原水水質により変化する。)

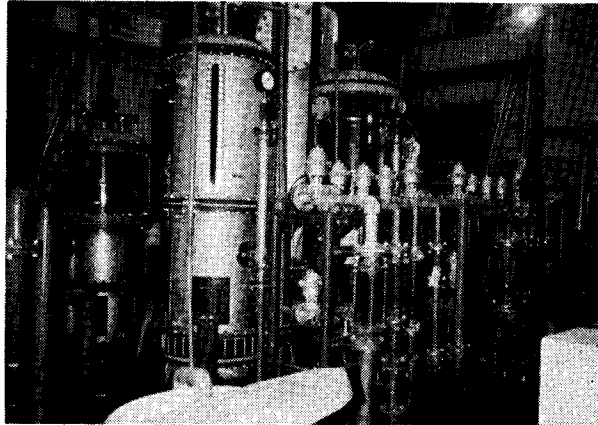


写真1 カチオン(中央), アニオン(右側)交換塔, および配管類(パイロット装置)

Photo.1 Cation and anion exchangers and pipe lines

第2表 パイロット装置のシーケンス表(画面コピー)

Table 2 Sequence table of pilot plant

		H 塔						OH 塔						
		HHHHHHHWHB						DDDDDDDCN						
		1234567PLP						12345678PPP						
通水	1/2	●●						●●						3000
逆洗	1/2	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	0020 0000
再生	1/2	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	4000 2000
	3/4	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	0030 0000
	4/5	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	3500 0000
		●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	4000 0000
		●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	0006 0000

イオン交換装置 シーケンス '83年06月07日 14時50分02秒

◇ 神鋼ファウドラ

逆洗を行う場合は逆洗(第2表逆洗1参照)後、押水工程(第2表逆洗2参照)に入り、その後、再生を行なうが、この場合、通常の1.5~2倍の薬品を使用する。

通常の再生(逆洗を行わない場合)は、まず、薬注工程(第2表再生1参照)から入るが、再生薬品の注入時間をカチオン交換塔15分、アニオン交換塔20分に設定している。

つぎに、洗浄工程に入り、カチオン交換塔の場合、2.5~3BV(Bed Volume)、アニオン交換塔の場合、3~4BVを、SV3~5h⁻¹の流量で洗浄する。(第2表再生2, 3, 4参照)。

洗浄が終ると解し工程(第2表再生5参照)に入り、洗浄中に圧密された活性層内のイオン交換樹脂にかかる圧力を緩和する。

以上で、再生は終了し、通水工程に入る。したがって、逆洗を行わない場合、再生所要時間は約2時間である。

原水は、神戸市水に、CaCl₂、MgSO₄、NaHCO₃を薬品ポンプ(CP)で注入し、Na% (全カチオンに対するNaの比率)、Alk% (全アニオンに対するアルカリ度の比率)を変化させた合成水を用いた。(1部、純水を再利用)第3表に、合成原水のイオン組成例を示す。

通水流量は、4~8m³/h、線速度は、20~40m/hで運転した。

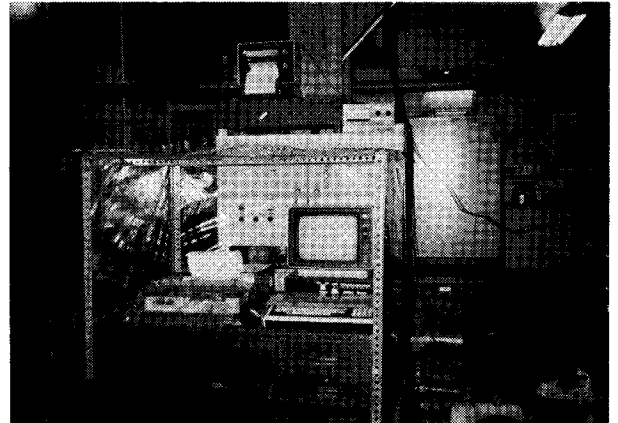


写真2 パーソナルコンピュータ, 周辺機器, および電気盤(パイロット装置)

Photo.2 Controller, consol and panels

第3表 合成原水のイオン組成例

Table 3 Synthetic raw water analysis (mg CaCO₃/ℓ)

Date	Na ⁵⁾	Ca	Mg	TC ⁴⁾	HCO ₃	Cl	SO ₄	CO ₂ ³⁾	SiO ₂ ²⁾
5/11	49	47	19	115	45		70		10
5/12	89	44	15	148	48		100		10
5/17	56	42	22	120	60		60		10
5/18	50	42	18	110	50	42	18		10
5/19	53	43	16	112	52		60		10
5/20	56	42	16	114	54		60		10
5/23	21	70	22	113	23		90		10
5/24	25	68	18	111	26		85		10
5/25	25	68	19	112	27		85		10
5/26	80	24	6	110	80		30		10
5/27	84	22	8	114	84		30		10
5/30	81	22	5	108	83		25		10
5/31	77	22	8	107	27		80		10
6/1	69	33	11	113	33		80		10
6/8	81.3	20.9	7.5	109.7	23	79.2	7.5		10

- Note 1) Raw water was adjusted by means of chemical injection in the tap water.
 2) SiO₂ was approximate 4~9mg/ℓ in the tap water.
 3) CO₂ was assumed to be approximate 5mg/ℓ after degasifier.
 4) [TC]=[HCO₃]+[Cl]+[SO₄]
 5) [Na]=[TC]-[Ca]-[Mg]

3.3 運転結果

第4表に、パイロット装置の運転結果例を示す。なお運転はカチオンブレイクを先行させて行なったため、アニオン交換樹脂の交換容量 operating capacity A (イオン交換樹脂単位容量当りの交換したイオン量)、化学量論係数 stoichiometric coefficient A (再生に要する薬品量と実際に交換したイオン量との比率)は、貫流点の値を示していないので注意頂きたい。

また、再生レベル(イオン交換樹脂単位容量当りの再生

第4表 パイロット装置の運転結果例
Table 4 Operating results of pilot plant

Date	Break through column	Treated water quantity m ³	Na %	AlK %	WA %	Operating Capacity (g CaCO ₃ /t-R)	Stoichiometric coefficient	Chemical dosage (g/t-R)
						C/A	C/A	C/A
5/11	C	65.0	42.6	39.1	12.5	46.7/32.0	1.15/1.46	40/42
5/12	C	59.0	60.1	32.4	9.1	54.6/39.9	1.04/1.32	40/42
5/13	C	55.0	31.1	43.9	14.3	36.8/23.6	1.54/2.22	41.26/42
5/16	C	74.8	45.3	40.0	18.2	35.1/25.4	1.61/2.07	41.26/42
5/17	C	60.4	46.7	50.0	14.3	45.3/26.0	1.36/2.02	45/42
5/18	C	69.6	45.5	45.5	14.3	47.9/30.0	1.29/1.75	45/42
5/19	C	69.1	47.3	46.4	14.3	48.4/29.8	1.27/1.76	45/42
5/20	C	68.9	49.1	47.4	14.3	49.1/29.7	1.26/1.78	45/42
5/23	C	64.7	18.6	20.4	10.0	45.6/39.8	1.35/1.32	45/42
5/24	C	61.6	22.5	23.4	10.5	42.7/36.0	1.44/1.46	45/42
5/25	C	62.7	22.3	24.1	10.5	34.9/36.6	1.40/1.19	45/35
5/26	C	69.0	72.7	72.7	25.0	47.4/17.0	1.30/3.01	45/42
5/27	C	69.1	73.6	73.6	25.0	49.2/17.0	1.25/3.08	45/42
5/30	C	75.8	75.0	76.9	28.6	51.2/16.4	1.20/3.21	45/42
5/31	A	66.8	72.0	25.2	11.1	44.7/37.0	1.38/1.37	45/42
6/ 1	C	83.0	61.1	29.2	11.1	58.6/46.1	1.05/1.14	45/42
6/ 8	A	70.7	74.1	21.0	10.7	48.5/42.1	1.27/1.04	45/35

はそれぞれの活性層イオン交換樹脂量について示す。)

これらの運転結果から、化学量論係数は、カチオン交換樹脂については、1.1~1.4、アニオン交換樹脂については、1.2~1.4程度の値が得られた。なお、カチオン交換樹脂の貫流点は、電気伝導度で5μS/cm、アニオン交換樹脂の貫流点は、SiO₂で0.1mg/l(SiO₂として)とした。

通水中の到達電気伝導度は、0.5~2μS/cmであった。

4. 実装置による運転結果

4.1 実装置の概要

第3図に、実装置のフローシートを示す。カチオン交換塔の原水には、工業用水を凝集沈殿ろ過した処理水を用いている。カチオン交換塔処理水は、真空脱気塔で脱炭酸処理され、アニオン交換塔を通して純水槽へ流れる。

再生用水は、カチオン交換塔では原水を、アニオン交換塔では純水を用いている。

カチオン交換塔は、φ1,900×3,340^Hで、活性層4,000ℓ、リンス層800ℓ、アニオン交換塔は、φ2,250×3,340^Hで、活性層6,000ℓ、リンス層800ℓのイオン交換樹脂を充填している。

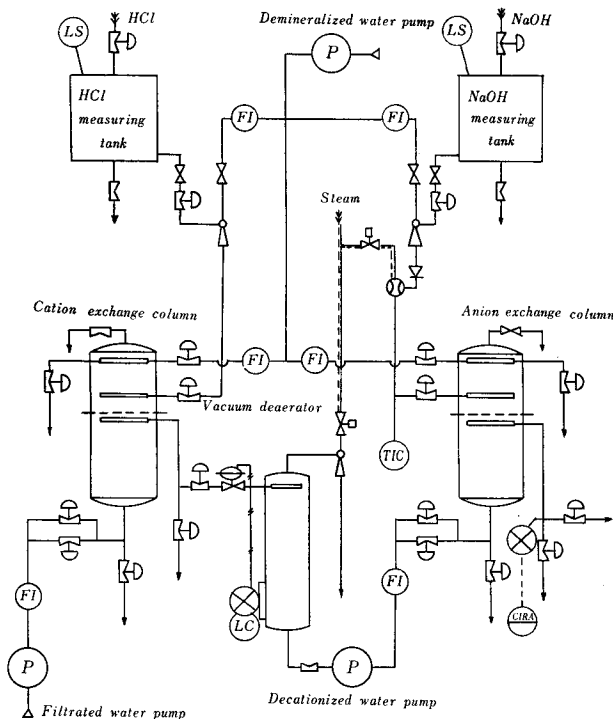
処理量は、1系列2,000m³/d(91m³/h)で2系列ある。

4.2 運転結果

第5表に、実装置の運転結果を示す。再生レベルは、カチオン交換樹脂(活性層)に対しては、42.9g/ℓ-R(100% HCl)アニオン交換樹脂(活性層)に対しては、39.3g/ℓ-R(100% NaOH)を採用している。

原水水質は、全カチオンで38.2~110.4 mg CaCO₃/ℓと大きく変動したため、採水量にも大きな差が見られる。しかしながら、処理水水質はほとんど影響を受けず、電気伝導度0.6~1.0 μS/cm、SiO₂ 0.01~0.03 mg/ℓ(SiO₂として)を維持している。

これらの運転結果より、化学量論係数はカチオン交換



第3図 実装置のフローシート
Fig. 3 Flow diagram of full scale plant

薬品の量)は、カチオン交換樹脂については、40、および45 g/ℓ-R(100% HCl)アニオン交換樹脂については、35、および、42g/ℓ-R(100% NaOH)を採用した。(再生レベル

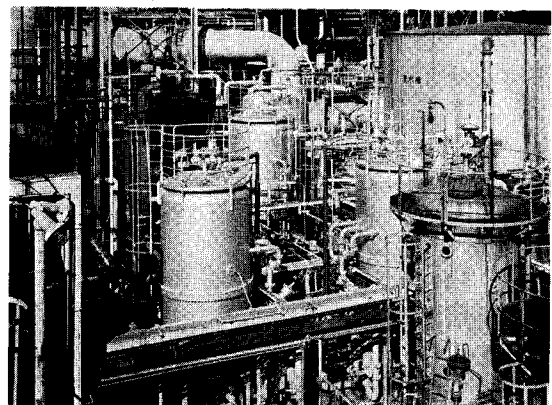


写真3 2,000m³/d純水装置
Photo.3 2,000m³/d Demineralizer

第5表 実装置の運転結果

Table 5 Operating results of full scale plant

Raw water analysis (mg CaCO ₃ /ℓ)												Breakthrough column and serial number	Treated water quantity m ³	Na %	AlK %	WA %	SO ₄ %	Operating capacity (g CaCO ₃ /t-R) C/A	Stoichiometric coefficient C/A
Date	Na	Ca	Mg	TC	HCO ₃	Cl	SO ₄	Others	TA	CO ₂	SiO ₂								
7/24	14.2	16.6	7.4	38.2	12.1	12.8	10.7	2.6	38.2	7.0	8.5	3 A	5,847					>55.4/39.3	<1.06/1.25
7/27	27.4	21.4	7.2	56.0	17.1	18.8	16.7	3.4	56.0	4.9	9.1	3 C=A	4,895	48.9	30.5	27.6	42.9	67.7/43.8	-/1.4
7/30	34.1	24.8	9.0	67.9	20.5	20.0	24.1	3.3	67.9	3.6	8.9	3 C	3,242	50.2	30.0	23.5	50.8	54.4/>33.5	1.09/<1.47
8/16	43.4	27.8	10.8	82.0	27.3	26.2	27.0	1.5	82.0	4.9	5.7	3 C	2,455	52.9	33.3	17.2	49.4	49.7/>27.0	1.18/<1.82
9/7	54.5	40.0	11.6	106.1	35.1	36.1	34.6	0.3	106.1	3.1	4.2	3 C	2,015	51.4	33.1	12.2	48.7	52.8/>27.2	1.11/<1.81
9/9	58.6	38.6	13.2	110.4	35.7	35.3	38.9	0.5	110.4	1.5	3.7	3 C	2,011	53.1	32.3	11.1	54.8	54.8/>28.2	1.07/<1.74

Note "C" : Cation breakthrough. "A" : Anion breakthrough

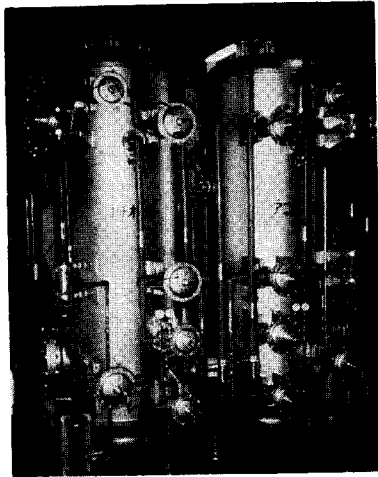


写真4
200m³/d 純水装置
Photo.4
200m³/d Demineralizer

樹脂については、1.05~1.2, アニオン交換樹脂については、1.25~1.4程度の値が得られた。これは、先に述べたパイロット装置での運転結果とほぼ同じ結果となっている。

なお、カチオン交換樹脂の貫流点は電気伝導度10μS/cm, アニオン交換樹脂の貫流点は SiO₂ 0.1mg/ℓ(SiO₂として)としている。

4.3 従来の装置(並流再生方式)との比較

本装置は、1972年に納入した2床3塔型純水装置の運転経費節減を目的として、改造したものである。従来の装置は、通水、再生ともに下向流で行なり並流再生方式であったが、今回、カチオン交換塔およびアニオン交換塔を再製作し向流再生方式のスーパーフローに変更した。

第6表に、並流再生方式との経済比較を示す。再生レベルは、並流再生方式の116g/ℓ-R(100% HCl)92g/ℓ-R(100% NaOH)に対し、42.9g/ℓ-R(100% HCl)39.3g/ℓ-R(100% NaOH)と37~43%に低減した。

1サイクル当りの薬品使用量についても、並流再生方式の1,290kg 35% HCl/cycle, 1,126kg 48% NaOH/cycleに対し、スーパーフローでは、495kg 35% HCl/cycle, 492kg 48% NaOH/cycleと38~44%に節減できている。した

第6表 並流再生方式との経済比較

Table 6 Comparison of chemical consumption between Co-current system and SUPER FLOW

	Co-current system	SUPER FLOW
Raw water analysis	Total cation 109 ppm (CaCO ₃)	109 ppm (CaCO ₃)
Capacity	100 m ³ /h × 20 h	91 m ³ /h × 22h
Time for regenerations	4h	2h
Ion exchange resins		
Cation resin	3,900ℓ	4,000ℓ (active)
Anion resin	5,900ℓ	6,000ℓ (layer)
Chemical dosages	116g/ℓ-Resin (100% HCl) 92g/ℓ-Resin (100% NaOH)	42.9g/ℓ-Resin (100% HCl) 39.3g/ℓ-Resin (100% NaOH)
Chemical consumption		
35% HCl	1,290 kg/cycle	495 kg/cycle
48% NaOH	1,126 kg/cycle	492 kg/cycle
Treated water cost per 1 m ³		
35% HCl	16.1 yen/m ³	6.2 yen/m ³
48% NaOH	33.8 yen/m ³	14.8 yen/m ³
Total	49.9 yen/m ³	21 yen/m ³

Chemical cost: 35% HCl 25 yen/kg
48% NaOH 60 yen/kg

がって、純水の製造コストは、薬品費について言えば、並流再生方式の49.9円/m³に対し、スーパーフローでは21円/m³となり、28.9円/m³の節約となった。

5. むすび

高効率イオン交換装置スーパーフローについて、概要および、パイロット装置、実装置による運転結果を簡単に述べた。スーパーフローは、向流再生方式の特長を十分生かしながら、並流再生方式の利点である被処理水による再生および同一塔内での逆洗を可能としたユニークなイオン交換装置である。

今後、イオン交換樹脂利用による脱塩分野で、スーパーフローが広く採用されることを期待して筆をおく。