

ヒートポンプ式真空蒸発濃縮装置の紹介

The Vacuum Evaporator with a Heat Pump



技術開発本部 第1研究室
小林 俊 幸
Toshiyuki Kobayashi
佐伯 一丸
Kazumaru Saeki

The vacuum evaporator is a water treatment system to separate distilled water from concentrated waste containing pollutants by means of evaporation and condensation, thus reducing disposal volume and disposal costs.

Evaporation is efficiently performed by using vacuum and heat pump technologies. The vacuum allows evaporation at a low temperature and the heat pump saves energy and energy cost.

This paper gives an outline of the vacuum evaporator with a heat pump and its applications in several fields.

まえがき

1996年年初からロンドン条約の改正に伴って、産業廃棄物の海洋投棄処分が原則的に禁止になった。このような背景から、各社とも操作が簡単で手間がかからず、経済的な処理方法を模索している。

今回ここに紹介するヒートポンプ式真空蒸発濃縮装置は、イタリアのLED ITALIA社が1989年に開発した装置で、主に廃水の蒸発濃縮に利用されている。ヨーロッパの写真分野と金属表面処理分野等で既に200台以上の実績がある。

第1図に本装置による廃水処理フローを示す。本装置は蒸発操作であるため、完全な廃水処理を行うことは出来ないが、本装置を使って蒸発濃縮し減量すると、減量分の処理費を削減することが出来る。本装置の最大の特長は、ヒートポンプ方式であるため、消費エネルギーが低く、ランニングコストが安いことである。その上、蒸発水は洗浄水としてリサイクル出来ることが多く、濃縮液が薬品（例えばメッキ溶液等）の場合には、リサイクル出来る等経済的な処理を行うことが出来る。

本稿では、装置の概要と、各種分野の廃水への適用例を

紹介し、その蒸発濃縮処理結果を報告する。

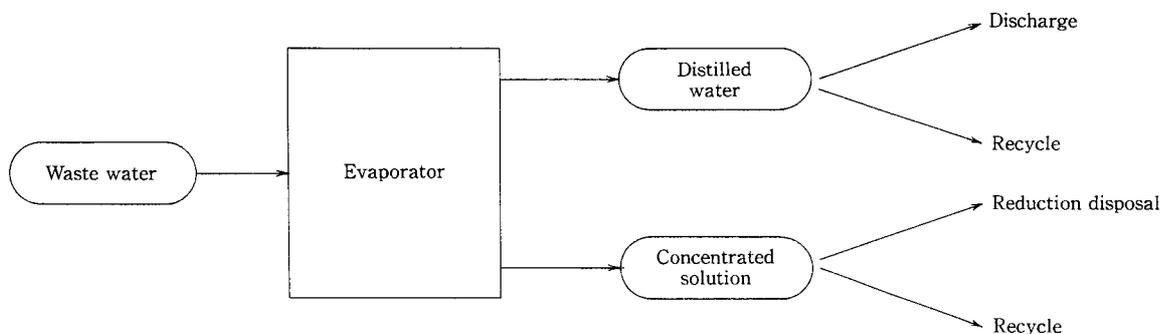
なお、本装置はLED社の豊富な実績と装置の簡便さを活用すべく、神鋼パンテック環境管理㈱が輸入販売するものである。

1. 真空蒸発濃縮装置の概要

1.1 原理

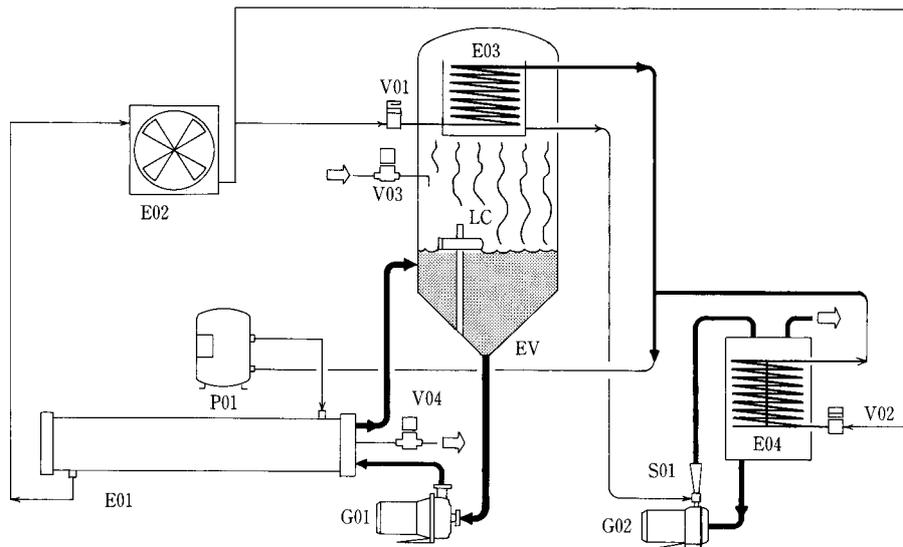
本装置のフローを第2図に示す。蒸発缶内（図中；EV）の水分が蒸発して、蒸発缶内の液面が低くなると、自動弁（V03）が開き原廃水を間欠的に缶内に真空吸引する。そしてポンプ（G01）で廃水を蒸発缶と加熱器（E01）との間で循環しながら、加熱器で加熱し、蒸発缶に戻った時にフラッシュ蒸発する。蒸気は蒸発缶内のコンデンサー（E03）で凝縮し、水エゼクター（S01）に引き込まれて蒸発水タンクに送り出す。蒸発水はこの水エゼクターの駆動水の働きをし、オーバーフローによって外部に排出する。濃縮液は、加熱器に接続した自動弁（V04）からタイマー設定により、間欠的に外部に排出する。

冷媒は圧縮機（P01）で加圧され高温となり（約50℃）、加熱器内に入って廃水を加熱する。そこで冷媒は凝縮して



第1図 蒸発濃縮装置による廃水処理フロー

Fig. 1 Flow of treatment of waste water by the evaporator.



G01 Waste circulation pump	E03 Condenser	LC Level control
G02 Water circulation pump	E04 Condenser	V01 Expansion valve
P01 Compressor	S01 Ejector	V02 Expansion valve
E01 Heater	EV Evaporator	V03 Pneumatic valve
E02 Air cooler		V04 Pneumatic valve

第2図 真空蒸発濃縮装置のフロー (700型)
Fig. 2 Flow of the vacuum evaporator (WTS E 700).

液体となり、エアクーラー (E02) で廃熱を放散した後、膨張弁 (V01) で断熱膨張をして低温となり (約15°C)、蒸発缶内のコンデンサーに入る。そこでは蒸発缶内で蒸発した蒸気を凝縮する。この時、冷媒は水蒸気から凝縮潜熱を受け取って蒸発し、ガスとなって圧縮機に戻ってくる。このサイクルを繰り返す。なお、冷媒は代替フロン R22 を採用している。

エアクーラーを出た後の冷媒の一部は、蒸発水タンク前の膨張弁 (V02) で低温になり、蒸発水タンク内のエゼクター駆動水を冷却する。そうすることにより、蒸発缶内の真空を5.3~6.7kPa (40~50Torr) の一定の水準に保つことが出来る。

ヒートポンプとは、熱を温度の低い所から高い所に汲上げるためのもので、その低温の熱を有効利用するためのものである。本装置では、冷媒ガスの圧縮機がこれに相当する。冷媒ガスがコンデンサーで回収した低温の凝縮潜熱を、圧縮機で圧縮して高温にすることにより、加熱に再利用出来る。圧縮機の動力に対して、どのくらいコンデンサーで熱量を回収しているかを表す成績係数は、約6である。ゆえに、電熱ヒーター加熱による蒸発と比較すると、1/6のエネルギーで済むことになる。

1.2 特長

本装置の特長は次の通りである。

1) 省エネタイプである

ヒートポンプ式のため、電熱ヒーター加熱に比べて1/6程度のエネルギーで済む。

2) コンパクトである

共通ベース上に必要な機器がすべてコンパクトに組

込まれている。このことにより、据付スペースが小さく、据付が容易で、現地工事が大幅に短縮出来る。

3) 電源接続のみで済む

スチームボイラーや、冷却水が不要であり、電源だけを供給すればよい。

4) 自動運転が出来る

原廃水の供給は液面調節制御により行われる。濃縮液抜出、消泡剤注入はタイマー設定により間欠的に自動で行われる。また圧縮機の圧力が異常上昇した時や、蒸発缶内の液面が異常低下した時には、装置が自動停止する等のフェイルセーフシステムにより、無人運転が可能である。

5) 蒸発温度が低い

蒸発缶内の真空度は約6.7kPa (50Torr) であり、廃水は約40°Cで蒸発する。このため分解ガスが抑制出来、蒸発缶や加熱器の腐食も抑制出来る。

1.3 装置標準仕様

第1表に型式別の標準仕様を示す。本装置の型式は、蒸発能力別に WTS E 150, 500, 700, 2000, 4000, 5000, 8000 の7機種がある。それぞれの数字は、1日あたりのおおよその蒸発水量 [ℓ/day] を表す。濃縮倍率は、廃水の種類によっても異なるが、一般的に5~10倍程度である。また、標準材質は AISI 316L (SUS 316L 相当)、ポリプロピレンである。

150, 500型の2機種は、外套加熱方式である。第3図にフローを示す。缶底をクリーニングするためのスクレーパー付攪拌機が標準装備されている。濃縮液は比重約1.4まで処理可能である。

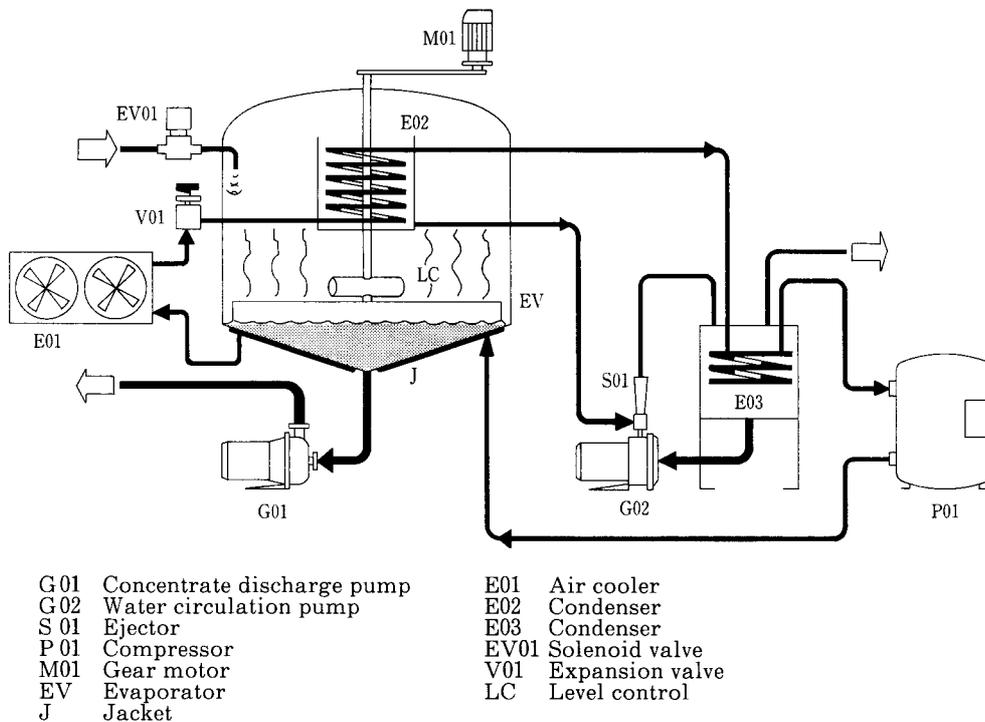
第 1 表 WTS E 標準仕様書

Table 1 Standard specifications of WTS E

Type	WTS E	150	500	700	2 000	4 000	5 000	8 000
Frequency	Hz	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/
Distillate production (with water)	ℓ /hr	7.5	22.5/23.5	31.5/31.8	91.5/102.3	158/175	230/248	330/
Power consumption	kW	2.7/2.7	7/7.5	6.2/8.4	16.2/20	28/36	39/50	56/
Voltage *)	V	220	400/220	400/220	400/440	400/440	400/440	400/440
Efficiency	kWh/ℓ	0.33/0.36	0.30/0.32	0.19/0.26	0.17/0.19	0.177/0.206	0.17/0.20	0.17/
Discharged heat	kcal/hr	2 150/2 580	7 740/9 300	5 600/6 708	10 200/12 600	17 000/20 000	40 000/56 000	33 000/
Air required	m ³ /hr	1 000/1 100	4 500/5 310	4 500/5 310	6 700/8 100	15 600/17 900	14 000/20 000	28 000/
Refrigerant		R22	R22	R22	R22	R22	R22	R22
Empty weight	kg	160	640	380	1 050	1 150	2 000	2 200
Width	mm	670	1 500	650	1 150	1 200	1 800	2 000
Length	mm	710	1 100	1 200	2 000	2 000	2 400	2 800
Height	mm	1 350	2 030	1 940	2 465	2 450	2 900	3 000
Noise power level	dB(A)	80.6	80	79	80	< 79	81	80
Materials in contact with wastes		AISI 316L+PP						
Scraper		○	○	×	×	×	×	×
Automatic antifoam dosage		○	○	○	○	○	○	○
Automatic concentrate discharge (valve)		option	option	○	○	○	○	○
Automatic concentrate discharge (volute pump)		×	option	○	○	○	○	○
Distillate pH control		option	option	option	option	option	option	option
Boiling point	°C	35~40	35~40	35~40	35~40	35~40	35~40	35~40
Vacuum	Torr	40~50	40~50	40~50	40~50	40~50	40~50	40~50

*) Voltage 220 : Single phase
 400 : Three phases+Neutral
 440 : Three phases

○ : with
 × : without



第 3 図 真空蒸発濃縮装置のフロー (150, 500型)

Fig. 3 Flow of the vacuum evaporator (WTS E 150, 500).

700型以上の機種は外部強制循環加熱式で、蒸発缶の外部に加熱器がある。大型化ができ、スケールの付着を抑制出来る。また、比重約1.3まで処理可能である。

1.4 適用分野

本装置の適用分野を第2表に示す。適用例が多いのは写真分野(35%)、金属表面処理分野(35%)、化学分野(20%)である。写真分野では現像廃液、定着廃液及び洗浄廃水の蒸発濃縮処理を行う。金属表面処理のメッキ分野では、洗浄廃水を処理し、蒸発水は洗浄水としてそのままリサイクルし、濃縮液もメッキ浴液としてリサイクルする。化学分野では、各種生産工程から出るプロセス廃液や、洗浄廃水の蒸発濃縮処理を行う。

廃水中に溶剤が含まれている場合、溶剤の多くは水より沸点が低く、水と共に蒸発して蒸発水中に混入する。蒸発水がそのままでは放流基準を満たさず、放流出来ない場合には、活性炭塔やイオン交換塔等で簡単な処理を施して放流することが出来る。また洗浄水としてリサイクルしている場合も多い。

廃水中に溶剤がなく、無機塩類のみが含まれている場合、蒸発水は蒸留水であり、洗浄水としてリサイクルすることも、そのまま放流することも十分可能である。

次章より、写真廃液、電気亜鉛メッキ洗浄廃水等の適用例を示す。

2. 写真廃液への適用

現像所から出る写真廃液には、有害な物質が含まれている。このような廃液は下水道に放流することはもちろん出

来ず、廃液処理業者に外部委託処理しているのが、従来、一般的である。従って本装置を使って廃液を減量し、蒸発水は簡単な後処理を行って放流し、濃縮液のみを処分する方法が、自然環境に配慮した、より経済的な方法と考えられる。

2.1 写真薬品の組成

写真現像処理工程に使われる主な薬品は、現像液(developer)と定着液(fixer)である。現像液と定着液の組成例を第3表、第4表に示す。現像液は、写真材料であるゼラチン上のハロゲン化銀を露光後、露光を受けたハロゲン化銀のみを銀に還元するのに用い、これにより画像が形成される。定着液は、現像後に未感光物質を取除いて再び感光しないようにする処理に用いられる。

2.2 処理工程

写真廃液処理プロセスの全フローを第4図に示す。このプロセスにより処理を行えば、蒸発水は河川に放流出来るようになる。

各々の貯槽の容量は、真空蒸発濃縮装置が故障で一時的に停止しても、それに関係なく所定の現像作業が行えるような、余裕を持った容量にしてある。また、装置への供給液の性状が一定になるように、種々の廃液を混合して均一化出来るだけの容量が必要である。

定着廃液からは銀を回収するが、なお廃液中には100~200 ppmの銀が残る。銀回収を終えた定着廃液は、アンモニア水溶液の平衡条件を移動させるために、硫酸を加えてpHを酸性に調整する。

第2表 適用分野
Table 2 Application fields

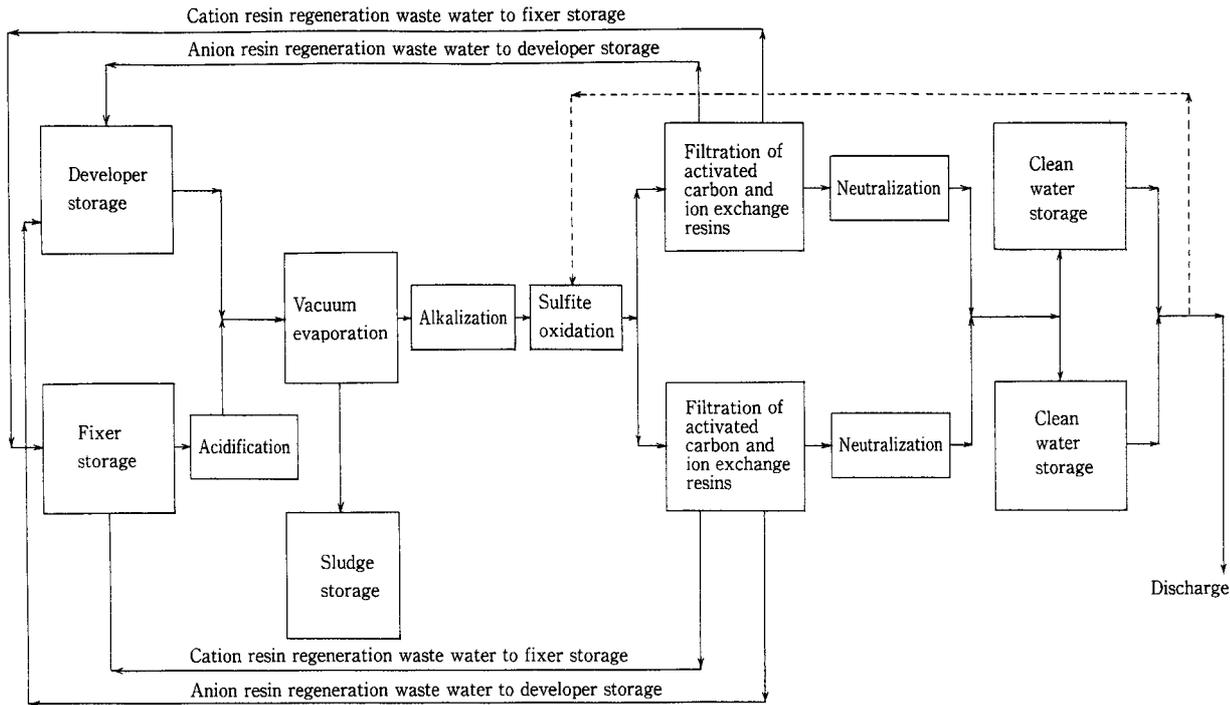
Field	Applications
Photography	Concentration of waste developer, fixer and wash water
Surface treatment of metals	Recovery of plating solutions Recovery of wash water
Chemicals Pharmaceuticals Cosmetic	Concentration of waste process solutions and wash water
Printing	Concentration of waste wash water containing ink or sensitive resins
Electronic Precision machine	Concentration of waste wash water
Machining	Concentration of oily emulsions and waste wash water
Disposal of waste	Concentration of landfill leachate Concentration of waste wash water from flue gas scrubber
Others	Re-concentration of high density waste water from separation unit

第3表 現像液の組成
Table 3 Typical composition of developer

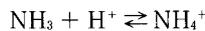
Paraphenylenediamine	g/l	5
Benzyl alcohol	g/l	10
Potassium carbonate	g/l	20
Potassium bromide	g/l	5
Sodium sulphite	g/l	5

第4表 定着液の組成
Table 4 Typical composition of fixer

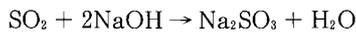
Ammonium thiosulphate	g/l	100
Sodium sulphite	g/l	10
Acetic acid	g/l	5
Aluminium sulphate	g/l	10
Silver	g/l	5



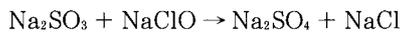
第4図 写真廃液処理フロー
Fig. 4 Flow of treatment of photographic solutions.



留出した蒸発水に、水酸化ナトリウムを加えてpHをアルカリ性に調整し、 SO_2 を Na_2SO_3 に変える。



アルカリ性の蒸発水は貯槽に送られ、次亜塩素酸ナトリウム(NaClO)で酸化する。



続いて蒸発水はサンドフィルターで浮遊物を除去した後、活性炭塔及びイオン交換塔で処理する。活性炭塔では有機物を除去し、イオン交換塔で汚染イオンを吸着する。こうして蒸発水は放流出来るようになる。

イオン交換塔の再生廃液は、種々の除去物質を含んでおり、貯槽で中和処理を行った後に、蒸発濃縮処理を行う。

なお濃縮倍率は、定着廃液で5倍程度、現像廃液で10倍程度である。

2.3 蒸発濃縮処理結果

現像廃液、定着廃液をそれぞれ本装置で蒸発濃縮処理した場合の蒸発水(distillate)、濃縮液(concentrate)の分析結果を第5表、第6表に示す。これを見てわかるように、蒸発水はそのままでは放流出来ない場合が多いが、その後でアルカリ化、酸化、活性炭処理、イオン交換処理、中和処理を行えば放流出来るようになる。

第7表に、定着廃液と現像廃液を混合した廃液(混合比3:2)を、蒸発濃縮処理した結果を示す。本実験は、硫酸によって原廃液を酸性にpH調整して行った。蒸発水のアンモニウムイオンの量は、第5表、第6表のそれと比べて非常に少なくなっていることがわかる。下水道への放流基準は、神戸市を例にしてみると、沃素消費量(Iodine consumption)は 220 mg/l 以下である。ゆえに、蒸発水は第4図のプロセスに従って処理するか、3倍程度の希釈で放流出来るようになる。

また実験結果は次の通りである。

濃縮倍率	4.2倍 (vol)
原廃液量	216 l
” 比重	1.084
濃縮液量	52 l
” 比重	1.311
蒸発水量	164 l
運転時間	9時間

本実験はセミバッチ形式で行い、濃縮液の拔出は運転中に行っていない。また本実験で使用した装置はWTS E 700型である。蒸発能力は約 20 l/hr になり、水のみを運転をした場合の蒸発能力より、塩の効果で減少している。

3. 電気亜鉛メッキ洗浄廃水への適用

3.1 メッキ液の組成

亜鉛メッキは、鉄の防食力が大きく、メッキの色合いが美しい等の理由から、防食被膜や装飾被膜として広く利用

第 5 表 現像廃液の蒸発濃縮処理分析結果
Table 5 Analysis on vacuum evaporation of waste developer

Parameter	As is	Distillate	Concentrate
Concentration yield	100	97	3
COD mg/ℓ	20 960	640	610 000
Silver mg/ℓ	1.17	0.00	35.00
Iron mg/ℓ	0.43	0.01	12.81
Sulphites mg/ℓ	1 590	0.83	47 000
Ammonium ion mg/ℓ	1 878	372	45 600

第 6 表 定着廃液の蒸発濃縮処理分析結果
Table 6 Analysis on vacuum evaporation of waste fixer

Parameter	As is	Distillate	Concentrate
Concentration yield	100	72	28
COD mg/ℓ	290 500	2 320	1 031 700
Silver mg/ℓ	9 400	0.17	33 880
Iron mg/ℓ	1 290	0.10	4 620
Sulphites mg/ℓ	52 000	3 060	177 920
Ammonium ion mg/ℓ	71 600	2 020	250 610

第 7 表 写真廃液の蒸発濃縮処理分析結果
Table 7 Analysis on vacuum evaporation of waste photographic solutions

Parameter	As is	Distillate	Concentrate
COD mg/ℓ	46 900	176	191 000
Ammonium ion mg/ℓ	7 130	4.33	29 500
Iodine consumption mg/ℓ	69 400	556	236 000

第 8 表 電気亜鉛メッキ浴槽の組成
Table 8 Composition of galvanizing bath

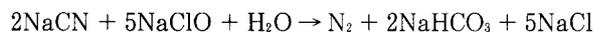
Sodium cyanide	g/ℓ	60-70
Zinc	g/ℓ	30
Sodium hydroxide	g/ℓ	80
Sodium carbonate	g/ℓ	30

されている。メッキ浴液の一例を第 8 表に示す。

メッキ処理を行った後、メッキ浴槽を出る製品を水洗槽ですすぎ洗浄を行う。このため水洗槽には少量のメッキ浴液が混入することになる。水洗槽は普通 2～3 段に分かれており、水洗槽に含まれるメッキ浴液の濃度は、水洗が進むにつれて順々に低くなっている。

3. 2 処理工程

処理フローを第 5 図に示す。洗浄廃水の前処理として、次亜塩素酸ナトリウムでシアン化合物を酸化する。

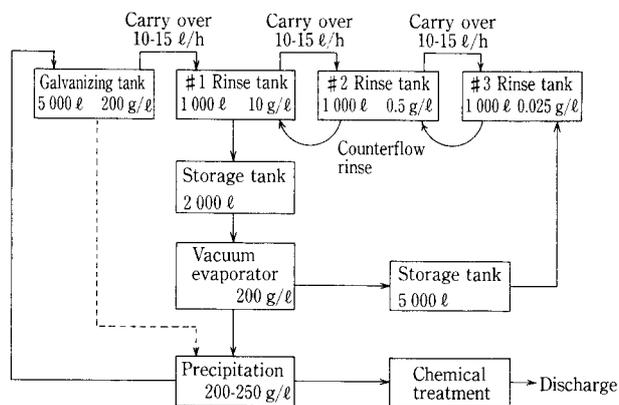


その後、水酸化物で亜鉛を沈澱させる。

第 1 すすぎ槽から流れてくる洗浄廃水は、貯槽に集められる。その液の組成は 98～99 % が水で、1～2 % がメッキ浴液であり、約 10 g/ℓ の塩が溶込んでいる。この液を蒸発濃縮処理して、蒸発水 94～96 % と、塩濃度が 200～250 g/ℓ の濃縮液 4～6 % とに分離する。蒸発水は洗浄水としてリサイクルするために、第 3 すすぎ槽に返送する。一方濃縮液は、メッキ浴液と組成が同じなので、そのままメッキ浴液としてリサイクルされる。

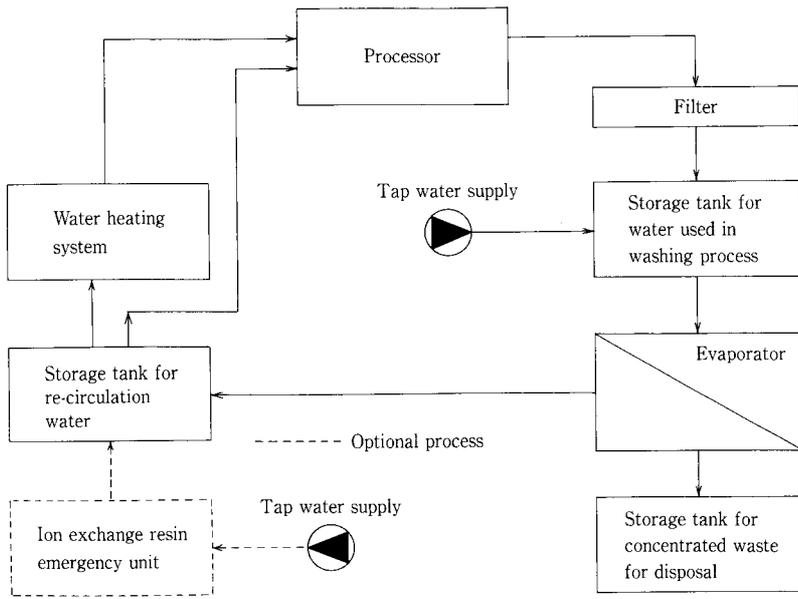
4. 印刷分野廃水への適用

一口に印刷といっても、オフセット印刷、フレキソ印刷、スクリーン印刷等様々な種類がある。ここではフレキソ印



第 5 図 電気亜鉛メッキ溶液リサイクルシステム
Fig. 5 System of galvanizing solution recycling.

刷の製版工程洗浄廃水への適用例を挙げる。フレキソ印刷とは、ゴム凸版または感光性樹脂凸版を原版とする印刷方法で、主に段ボールや包装紙等への印刷に用いられている。まずガラス上にネガフィルムを置き、その上に感光性樹脂を塗り、その下から紫外線を当てて露光し、画像を形成する。そして未感光樹脂部を除去することにより現像する。



第6図 フレキソ印刷製版工程の洗浄廃水処理フロー
 Fig. 6 Flow of treatment of wash water from flexographic plate preparation.

この除去剤に水を使用する。この水は硬度0.1程度の軟水でなければならず、さらに分離したポリマー濃度が高くなるのを避けるために、非イオン界面活性剤を添加してある。ゆえに、この製版工程から出る洗浄廃水には、ポリマー、モノマー、溶剤、非イオン界面活性剤が含まれており、COD（化学的酸素要求量）も5000 mg/lを超えている。さらにこのような廃水は、粘着性のポリマーを含んでいるため、生産ラインへのリサイクルにも適していない。

蒸発濃縮装置を組み込んだ処理フローを第6図に示す。洗浄工程から出た廃水は、フィルターでポリマー片を除去し、貯槽に集められ、蒸発濃縮処理が行われる。濃縮液は貯槽に集められ、別途処理される。蒸発水は貯槽に集められた後、一部が加熱され、洗浄工程で必要な温度になって、洗浄水としてリサイクルされる。

蒸発水の分析結果を第9表に示す。蒸発水の硬度は0.1以下の軟水である。補給水の投入位置を蒸発濃縮装置の前にすることにより、補給水のための軟水装置も不要となる。

CODの値はまだ高く、このままでは下水道に放流することは出来ない。さらに、蒸発水中には有機溶剤の細かいエマルジョンを含んでいるため透明ではない。CODの値が高いのはこの溶剤によるものと考えられる。この蒸発水が洗浄水としてリサイクル可能かどうかを検証するために、長期間のテストを行った。その結果、蒸発水のCODは次の通りであった。

- 1ヶ月のリサイクル：725 ppm
- 3ヶ月のリサイクル：1425 ppm

この程度のCOD値でも蒸発水のリサイクルは可能との報

第9表 フレキソ印刷製版工程の洗浄廃水の蒸発濃縮処理蒸発水分析結果

Table 9 Analysis of distillate on vacuum evaporation of waste wash water from flexographic plate preparation

pH		4.97
COD	mg/l	580
Sulphites	mg/l	0.64
Phenol	mg/l	2.42
Aldehyde		absent
Hardness	°F	<0.1
Distillation yield	%	94.5

告であった。

5. UF膜と蒸発濃縮装置との組合わせによる廃水処理

5.1 膜処理と蒸発濃縮処理

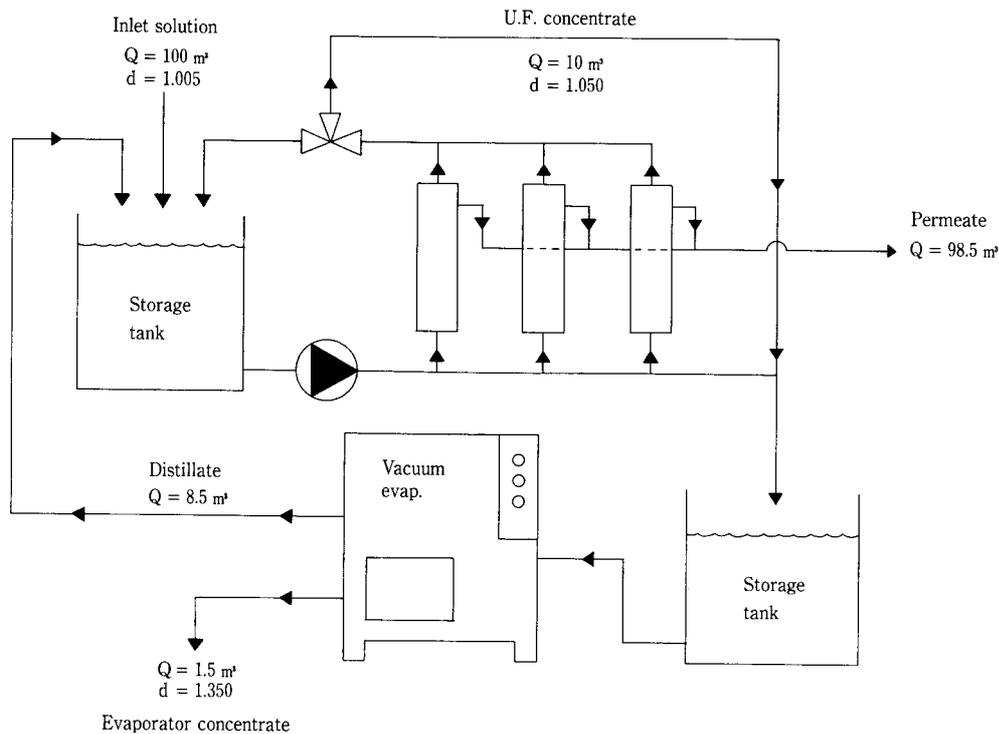
UF (Ultrafiltration: 限外ろ過) 膜はスパイラル状で、フィルターカートリッジの中に収められている。きれいな水は膜を通過し、汚染濃縮物は内部に残る。廃水の濃度を十分に高くするために、数回のろ過処理を行う。

膜処理は、消費エネルギーが低く (20~30 kWh/m³)、処理量が大いにもかかわらず、設置スペースが小さいという長所を持つ反面、膜の強度が弱く、定期的に交換しなければならず、そのコストが高くなること、また通常は、高濃度に濃縮できない (50 g/l以下) という短所を持つ。一方蒸発濃縮処理は、処理能力が小さく、消費エネルギーが大い (200~300 kWh/m³) という短所を持つ反面、高濃度濃縮ができ (350~400 g/l)、摩耗性のある固形物の分離も可能という長所を持つ。ゆえに、この2つの処理方法を組み合わせることによって、より理想的な廃水処理プロセスが構築出来る。

適用分野としては、機械工業から出る油エマルジョン、電気メッキ浴液、電子工業、化学プロセス、医薬品製造時の洗浄廃水等が挙げられる。

5.2 適用例と処理フロー

一例として化粧品分野の廃水処理フローを第7図に、その処理結果を第10表に示す。第7図において、原廃水貯槽へ供給される原廃水量100 m³に対し、膜透過水は98.5 m³である。この透過水は下水道に放流するか、洗浄水としてリサイクルする。続いて10 m³の膜濃縮液が蒸発濃縮処理され、8.5 m³の蒸発水と1.5 m³の濃縮液とに分離される。蒸



第7図 化粧品分野廃水処理フロー
Fig. 7 Flow of treatment of waste water in cosmetic production.

第10表 化粧品分野廃水の処理結果
Table 10 Analysis on treatment of wastes in cosmetics production.

SAMPLE 1: Blow down solution			
Parameter		Inlet	Distilled solution
COD	mg/l	705	310
Surface active agent	mg/l	270	0.7
pH		6.5	7.2
Distillation yield	%		90
SAMPLE 2: Blow down solution from a complete production line			
COD	mg/l	1 550	220
Surface active agent	mg/l	1 208	0.6
pH		5.7	6.9
Distillation yield	%		70

発水は第10表の通り、そのままでは下水道に放流出来ない場合もあるので、再び原廃水貯槽に返され、この処理プロセスを循環する形になる。つまり、100 m³の原廃水が1.5 m³の濃縮液に減量出来たことになり、濃縮倍率は約67倍にもなる。

むすび

本稿では、ヒートポンプ式真空蒸発濃縮装置(LED社製蒸発濃縮装置)の概要と、写真、金属表面処理、その他の分野への適用例について紹介した。廃水の発生現場で処理を行い、蒸発水や濃縮液をリサイクル出来、省エネタイプの環境に優しい本装置への要求は益々高まっていくと考えられる。また、この装置は単体として使用するだけでなく、例えば各種膜装置との組み合わせや、総合的な廃水処理システムの一部に組み込むといった使用方法も大いに期待される場所である。

〔参考文献〕
・LED ITALIA 社、技術レポート