

電子工業向け水処理クローズドシステムにおける 蒸発濃縮装置実績例の紹介

The Evaporation Concentrator in a Water Treatment Closed System for the Electronic Industry



(環)技術部 計画第3課
齊 藤 正 男
Masao Saito
石 川 卓 男
Takao Ishikawa

The electronic industry produces several kinds of wastewater in large quantities. It is required, therefore, to treat the wastewater to almost the same quality as ground water for discharge or as process water for re-use. An evaporation concentrator has been applied for final treatment after independent separation and concentration processes for each wastewater. This is an interim report on operation during the year after the start-up.

ま え が き

近年、工場より排出される各種の排水を、合理的なプロセスにより処理し、回収再利用に努めるとともに、自然界へ放流する場合にも、原水として取水した地下水、工水等の水質とほぼ同グレードまで排水を浄化することが環境保全を考えた工場の立地条件から求められている。すなわち、自然界に存在しない物質は、基本的には放流せず、ミネラル成分についても、放流先の生態系のバランスに影響を与えるような濃度にならないレベルまで、処理することを要求されるようになってきている。

当然、排水を全く出さず、すべて回収再利用するクローズドシステムの水処理設備においても、同様の処理技術が、要求されるものである。

工場より排出される排水中には、種々の無機系、有機系薬品が含まれているが、これらの成分は、吸着、生物分解、凝集沈殿、ろ過、膜分離等の単位プロセスを組み合わせた排水処理システム、回収システムにより分解、分離除去される。この分離除去された汚染物は、そのまま自然界へは排出出来ないため、出来る限り濃縮減量し、濃縮塩、又は固形物の形で場外へ搬出の上、別途処分する方法が取られている。この減量、濃縮処理プロセスの一つである蒸発濃縮装置は、水処理設備全体の中で、多くの設備と関わりのある最終処理であり、その運転の適否が、設備全体の処理能力、安定操業の鍵となり、非常に重要な要素であることは明らかである。

本稿では、電子工業向けに最近納入した蒸発濃縮装置の運転経過について、その概要を紹介する。

1. クローズドシステムにおける蒸発濃縮設備の重要性

今回紹介する蒸発濃縮設備は、大きく次の4系統よりの廃液を濃縮処理するために設置されている。

- (1) 無機系排水のイオン交換樹脂吸着後の再生廃液
- (2) 有機系排水の生物処理水をRO処理する際に分離される濃縮液

(3) 1次純水設備のイオン交換処理後の再生廃液

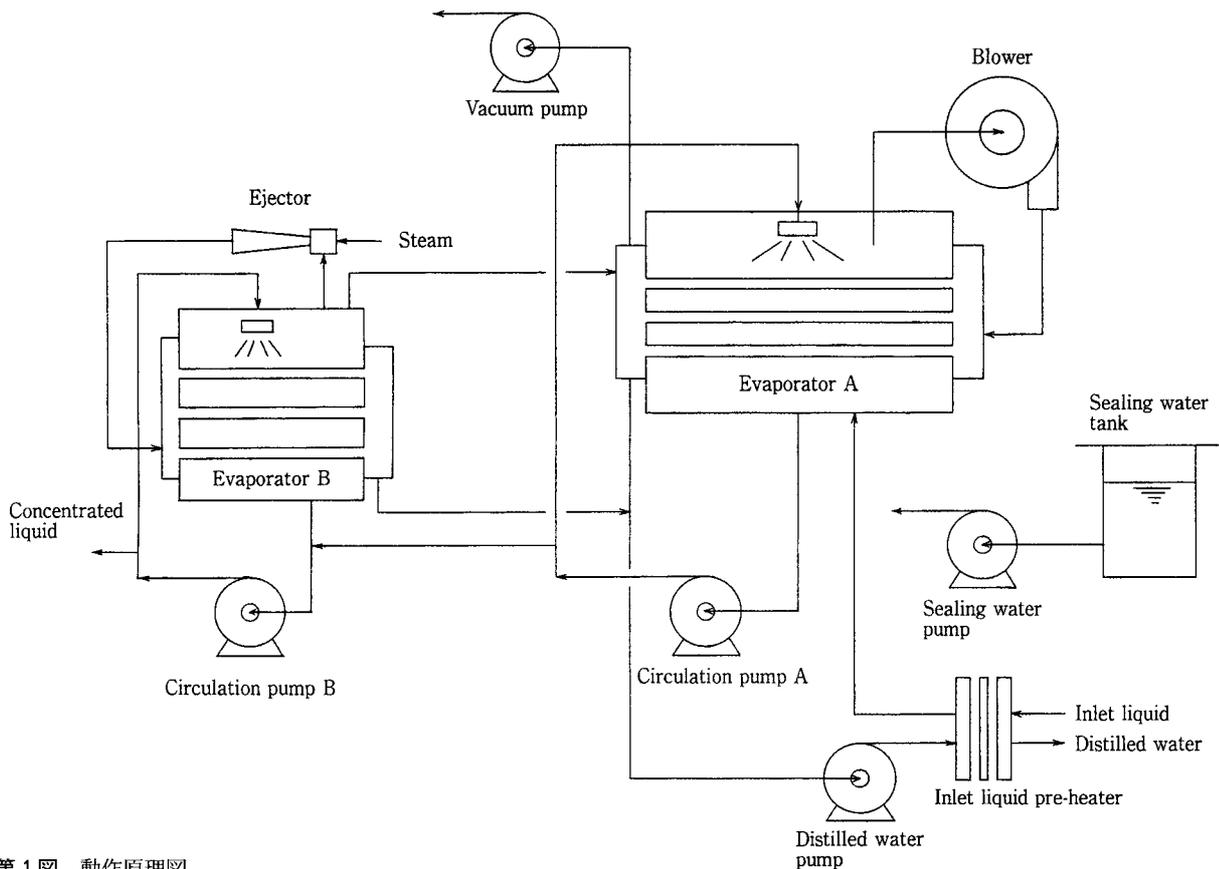
(4) MF, RO等膜処理設備の定期薬品洗浄廃液

第1表に、それぞれの系統より持ち込まれる物質の代表的な成分を示す。

蒸発濃縮装置は、全体プロセスの中で、イオン交換、RO膜処理等の重要な単位操作より、分離濃縮される液を、最終的に約1/20まで減量するために設置されている。この処理能力が低下すれば、水処理設備全体の能力にも大きな影響を及ぼす、重要な設備である。すなわち、処理能力の低下により、濃厚廃液原液槽のレベルが上昇すれば、イオン交換装置再生の渋滞、MF, RO膜の薬品洗浄時期延期による処理水量の低下等を余儀なくされることになる。反対に、濃縮倍率を少しでも高くとる運転を維持出来れば、

第1表 蒸発濃縮装置の系統別原液成分
Table 1 Contents of water for evaporation concentration.

Classification of inlet liquid	Contents
Ion-exchanger regeneration waste from inorganic waste treatment unit	F, NH ₄ , NO ₃ , Na, SO ₄ , Cl
RO brine of treated water from organic waste treatment unit	NO ₃ , SO ₄ , Chemical cleanser
Ion-exchanger regeneration waste from primary pure water production unit	Na, SO ₄ , Ca, SiO ₂ , Cl
Cleaning waste of MF, RO membrane	Na, SO ₄



第1図 動作原理図
Fig. 1 Principle of operation.

濃縮水量の減量につながり、水処理設備のランニングコスト低減に寄与することになる。

2. 蒸発濃縮設備の概要

今回採用されている装置は、水平伝熱管構造の機械圧縮+蒸気エゼクター方式を採用した高効率の真空蒸発濃縮装置である。装置本体の外観は、写真1の通りである。

2.1 動作原理

本装置の動作原理図を第1図に示す。蒸発器内に供給された原液は、循環ポンプにより蒸発管群の上に散布され、蒸発濃縮される。管外で発生した蒸気は、ブロワーにより加圧・昇温され伝熱管内部に送られ、循環液と熱交換し、凝縮する。

蒸発器Aにより得られた濃縮液は、蒸発器Bに送られ、再度濃縮される。蒸発器Bにより発生した蒸気の一部は、エゼクターにより加圧・昇温され蒸発器Bの加熱媒体として、残りの蒸気は蒸発器Aの補助熱源として使われ、伝熱管で凝縮された水は、凝縮水ポンプによって排出される。

濃縮液は、循環ポンプ吐出管より分岐され、系外に排出される。蒸発器内は、低温で蒸発が起こるように、真空ポンプで真空に維持されている。

2.2 本装置の特長

- (1) 伝熱係数が高い
伝熱管内の蒸気流速を大きくし、凝縮液膜が薄くなっていることと、管外は薄膜蒸発のため、液膜による蒸発抵抗も少ないため、通常型多管式加熱管方式

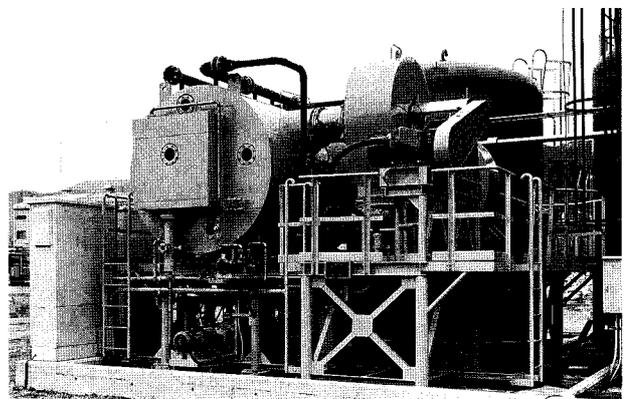


写真1 装置の外観
Photo. 1 Outside view of evaporation concentrator.

- の1.5～3倍の伝熱係数である。
- (2) コンパクト
水平管チューブのため、コンパクトな蒸発缶に大きな伝熱面積を装備可能である。
- (3) 省エネルギー
低濃縮と高濃縮を分離したプロセスにより、蒸発濃縮の大部分が小さい伝熱温度差で蒸発させることが可能。
- (4) スケール付着、汚れ付着が少ない
伝熱温度差を小さく設計しているため、単位面積当

たりの蒸発量が少なく、伝熱管表面での熱負荷が小さいため、スケールの付着は少ない。また、伝熱管外面に多量の液を散布させることで、落下による液の流れによって汚れの付着も少なくなる。

濃縮倍率 約16.7 wt 倍
(20 vol 倍)
寸法 8.7 mL×5.1 mW×5.2 mH
重量 24 t

2.3 装置基本仕様

(1) 装置性能

型式	真空蒸発方式(機械圧縮+蒸気エゼクター)	
設計能力	原液最大処理量	6 000 kg/h
	蒸発量	5 640 kg/h
	凝縮水量	5 940 kg/h
	(エゼクター蒸気ドレン300 kg/h 含む)	
	濃縮液量	360 kg/h

(2) 機器仕様

主要機器の仕様を第2表に示す。

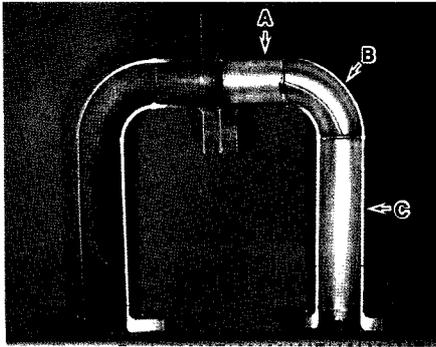
3. 運転経過

運転開始以来約1年が経過し、現状においても処理能力は、設計能力を十分満足しており、順調な運転を継続している。但し、設計当初にては予測困難であったいくつかの原液条件の相違により、一時処理量の低下、水処理設備への負荷の増加等の現象が見られ、一部装置内の改良、洗浄条件の変更、材質調査等の対策を実施した。

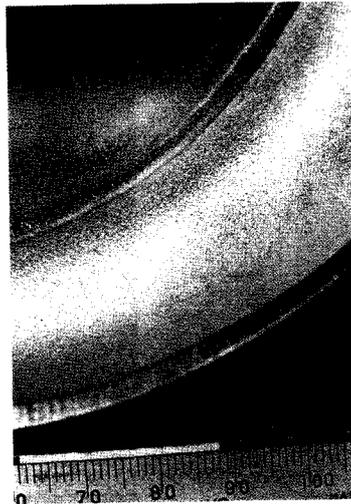
第2表 主要機器の仕様

Table 2 Specifications of equipment.

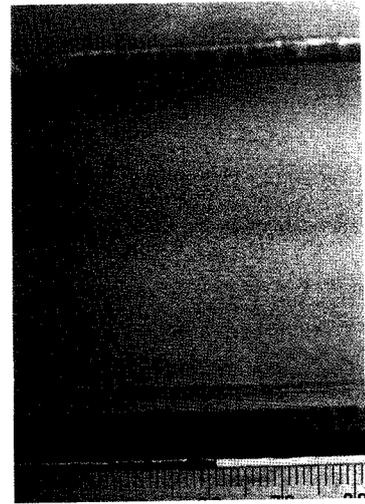
(1) Evaporator A	Type Evaporating volume Heat transmitting area Materials	Vacuum evaporator with horizontal tube 5 140 kg/hr 502 m ² Vessel SUS316L Tube SUS316L Tube plate SUS316L Others SUS304, SS400
(2) Evaporator B	Type Evaporating volume Heat transmitting area Materials	Vacuum evaporator with horizontal tube (violent film flow type) RHC 500 kg/hr 37.3 m ² Vessel SUS316L Tube SUS316L Tube plate SUS316L Others SUS304, SS400
(3) Ejector	Type Steam pressure Steam consumption Materials	Steam ejector 4.0 kg/cm ² G (saturated) 270 kg/hr SUS304
(4) Pre-heater	Type Heat transmitting area Materials	Plate type 11.6 m ² Plate SUS316 Gasket EPDM Nozzle SUS316
(5) Blower	Type Specifications Materials	Turbo-blower 30 000 m ³ /hr × 75 kw Casing SS400 + SP coating Impeller SUS304 Shaft S45C
(6) Circulating pump A	Specifications Materials	165 m ³ /hr × 12 mH × 11 kw SCS14/SUS316
(7) Circulating pump B	Specifications Materials	35 m ³ /hr × 18 mH × 5.5 kw SCS14/SUS316
(8) Vacuum pump	Specifications Materials	120 m ³ /hr × -600 mmHg × 5.5 kw SCS13/SUS304



Scale on the right half is removed



Part B



Part C

写真 2 循環配管内面の外観
Photo. 2 Inner surface of pipe.

このような事例とその際実施した対策を紹介する。

3.1 Ca スケーリング

工場よりの排水中には、Ca 成分は含まれないが、運転当初水処理設備の RC 水槽よりの溶出によるものと判断される Ca スケールの発生が蒸発器内にみられた。蒸発管に付着した CaSO_4 のスケールは、5%硝酸の10時間程度の侵漬洗浄を実施することにより、ほぼ完全に除去出来た。

3.2 Cl イオンによる腐食

Cl イオン濃度は、原液で200 mg/l、濃縮液は4000 mg/l 程度まで上昇した時期があったため、蒸発器内の水平管チューブ (SUS316L 製) における、Cl 腐食の発生が懸念された。腐食状況を確認する目的で、該当チューブはサンプリングが困難なため、同条件の液質が流れる同材質の循環配管の1部を取り外し、調査を行った。

調査内容及び結果は次の通りであった。

(1) 外観拡大観察

配管内面の腐食状況及び表面付着物の状況を観察するため、半割にして半裁管の一方のみ電解脱錆法を用いて、表面付着物を除去した後、拡大観察を実施した。(写真2)

(2) 局部腐食深さ測定

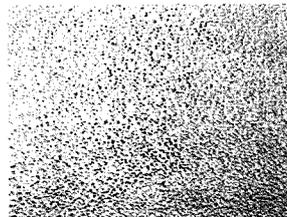
金属顕微鏡を用いて、局部腐食深さを測定し、極値解析より、水平管チューブの最大孔食深さを推測した。(写真3)

(3) 断面マイクロ組織観察

孔食の進行状況や割れの有無を確認し、マイクロ組織の観察により、材料側に起因した腐食について調査した。(写真4)

(4) 調査結果

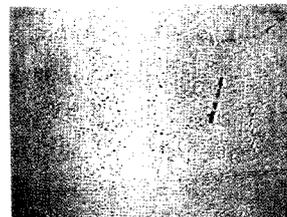
循環配管内面は、極軽度の孔食が見られるが、孔食深さは20 μm 程度と浅く、極値解析より水平管チューブの孔食深さを推定しても、問題となるような腐食は生じていないと判断される。



Inside surface ($\times 6$)



Inside surface ($\times 14$)



Outside surface ($\times 6$)



Outside surface ($\times 14$)

写真 3 循環配管内面の拡大観察 (脱スケール後の C 部)
Photo. 3 Microscope observation of pipe's inner (Part C after removing scale)

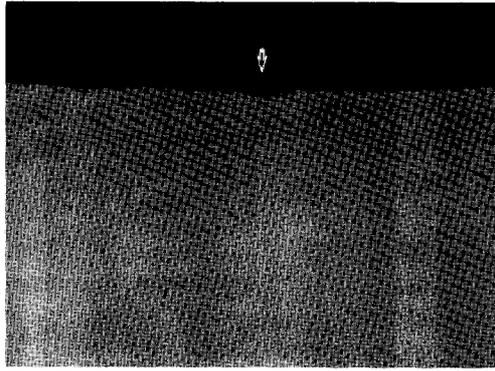
断面観察より、孔食は浅い皿上の形状で、腐食の程度は軽く、材料側に起因した腐食は認められなかった。

3.3 発泡による凝縮水水質異常

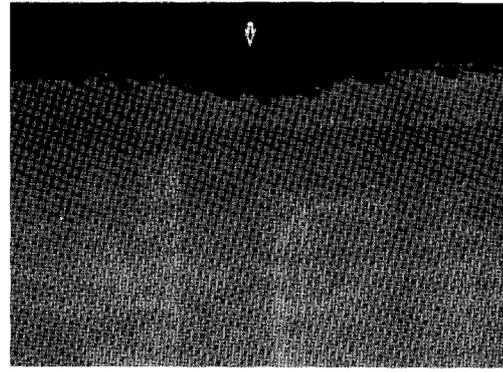
原液中に含まれる微量の界面活性剤のため、濃縮中に発泡が見られ、その飛沫が凝縮水側にも混入し、水質の悪化につながった。凝縮水は、アンモニア成分の除去のため、生物処理、膜処理されるが、それらのプロセスにも影響を与えた。その後、泡の検知器を設置し、発泡時のみ消泡剤を注入する設備を追加することにより解決した。

4. 運転管理上のポイント

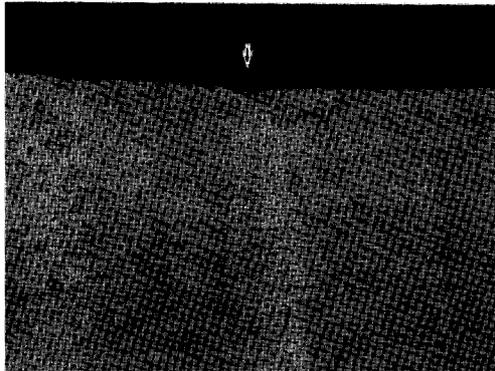
前述のような運転経験により、電子工業向け水処理クロージドシステムに設置される、蒸発濃縮装置の運転管理上のポイントを述べる。



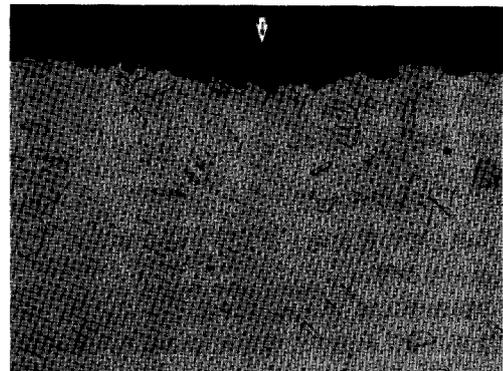
After mechanical polishing (×50)



After mechanical polishing (×200)



After etching (×50)



After etching (×200)

写真 4 循環配管断面の拡大観察 (C 部)

Photo. 4 Microscope observation of pipe's cross section. (Part C)

(1) 早期薬液洗浄の実施

Ca によるスケーリングは、原液中には Ca 成分が含まれなくとも、場内用水として使用されている雑用水や、RC 水槽よりも混入され、発生する可能性はある。

定期的に原液分析を行い、スケール発生が予測される場合は、早期に薬液浸漬洗浄を実施する。

(2) 定期的腐食調査の実施

SUS316L 製材料部の Cl イオンによる腐食については、原液の pH が管理された運転が行われていたため、許容限度と考えられる濃度域であっても、腐食の程度は軽いものであった。しかしながら、今後の経年的腐食の進行状況を確認してゆくために、定期的に同様の調査を継続する必要がある。

(3) 原液性状変化の把握

工場より排出される排水の性状は、生産状況に応じ変動する可能性は充分あり、水処理設備の最終段の

濃縮プロセスとなる蒸発装置の原料には、その影響は大きく現れる。装置能力を常に設計レベルに維持しておくためには、早期にもとの排水の性状変化の情報を入手し、大きなダメージを与える恐れのある蒸発原液は、前処理の運転条件を変更することや、装置に導入前に別途場外処分等の予防処置も重要となる。

む す び

本型式の蒸発濃縮装置は、大容量処理としては、他機種と比べ、最も高効率で信頼性の高いものと考えられるが、その性能を常時維持して運転を継続してゆくためには、不測事態が生じた際にも、適切な調査、対策をタイミングを逃さず実施することが重要である。

また、産業廃棄物として処分している濃縮液も、乾燥機等の設備と組み合わせることにより、肥料として再利用出来るため、今後採用の検討必要な事項でもある。

本稿が、他の用途の蒸発濃縮装置の運転管理においても、参考となれば幸いである。