

電子工業向けの排水回収システム事例の紹介

A Wastewater Recycling System for the Electronic Industry



環)技術部 計画第4課
阿野真隆
Masataka. Ano

The electronic industry requires a considerable amount of water for manufacturing processes and discharges various types of wastewater. Moreover, the wastewater sometimes contains refractory organic matter. The wastewater recycling system designed and constructed by Shinko Pantec is composed of treating units well suited to the characteristics of wastewater for to reuse it source water for pure water protection and as cooling water.

This paper describes a successful example of the system recently delivered to a commercial plant.

まえがき

工場から排出される産業排水は年々増加する傾向にあるが、環境保全、排水総量規制の点から排水削減への社会的要請は強くなってきている。加えて渇水等による水資源の不足も深刻化してきており、排水の再利用化による取水量の低減化対策が必要となっている。¹⁾

このような情勢の中、半導体、液晶製造等の電子工業においても水処理設備はクローズド化の方向に進んでいる。これは電子工業の急成長と共に、排水の環境に与える影響が大きいためである。電子工業排水は他の産業排水と比べフッ素、窒素等の無機薬品排水や、難分解性の有機排水が排出される等の特性がある。現在このような完全クローズ

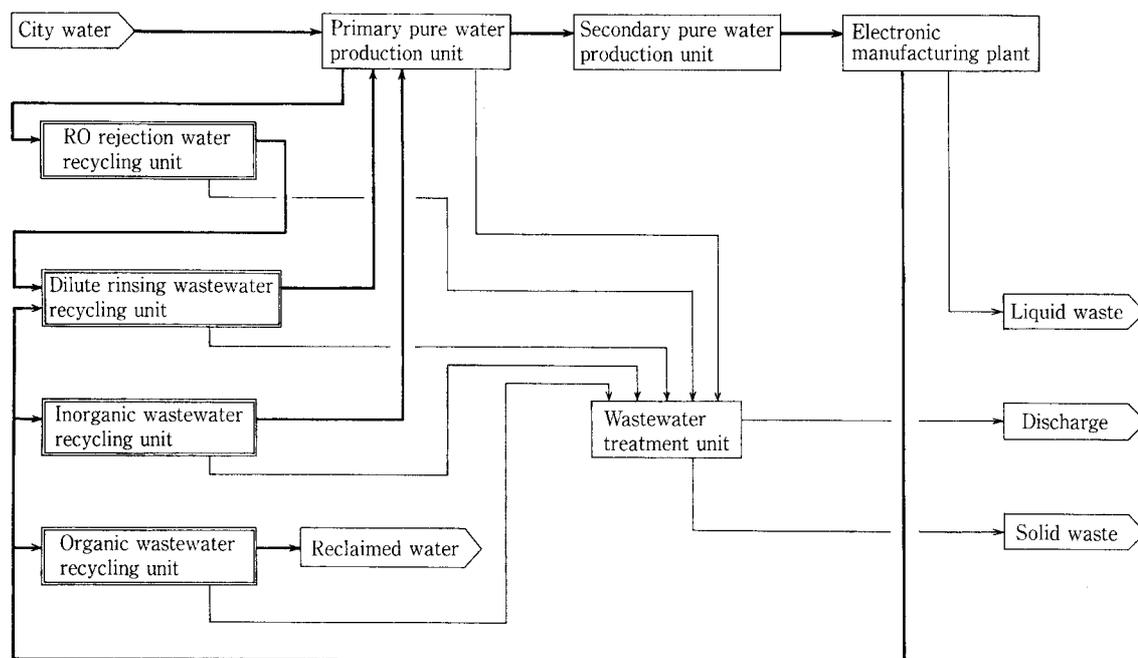
ド化を目指す過程において、工場では排水を回収再利用し、非回収排水を極力少量に削減するとともに、十分に処理をして環境に適合した水質にして排出するセミクローズドシステムが採用されている例も多い。このシステムは、排水回収率の適切な設計によって、水処理コスト削減が企てられるというメリットもある。²⁾

本稿では、電子工業に納入した排水回収システムの一例を取り、その概要を紹介する。

1. 設備フローと排水内容

第1図に今回紹介する液晶製造工場の排水回収システムの概略フローを、第1表にその排水内容の概略を示す。

この工場の場合、製造工程から排出される洗浄排水は、



第1図 排水回収システムのフロー

Fig. 1 Schematic diagram of the wastewater recycling system.

第 1 表 電子工業の排水例

Table. 1 Classification of wastewater in electronic industry

Type of wastewater	Main process	Contents
Inorganic wastewater	<ul style="list-style-type: none"> • Etching • Alkali-& Acid-rinse 	<ul style="list-style-type: none"> • HF, BHF, HNO₃ • NaOH, NH₄OH
Organic wastewater A (Ionized)	<ul style="list-style-type: none"> • Development 	<ul style="list-style-type: none"> • TMAH • Electrolyte etc
Organic wastewater B (Non-ionized)	<ul style="list-style-type: none"> • Abrasive rinse • Organic cleansing 	<ul style="list-style-type: none"> • Chemical cleanser • IPA • Phenol etc
Dilute rinsing wastewater	<ul style="list-style-type: none"> • Pre-rinse • Rubbing rinse • Finishing rinse 	<ul style="list-style-type: none"> • Neutral cleanser etc
<ul style="list-style-type: none"> • Regeneration wastewater • RO rejection water • Piping cleansing wastewater 	<ul style="list-style-type: none"> • Ion exchange • RO treatment • Sterilization 	<ul style="list-style-type: none"> • HCl, NaOH, H₂SO₄ • H₂O₂

薬品の種類が比較的少なく、濃厚と希薄排水が分けやすいといった特長がある。そのため排水を回収する場合の設備費及びランニングコストは、排水性状により分別回収した方が安価となる。このような理由により、洗浄排水はあらかじめ工場内で系統別、濃度別に分別排出される。その排水は製造工程によって性状が異なるが、回収水原水として有機系排水、希薄洗浄排水、無機系排水に分別される。また超純水の製造設備からも、ブロー水や洗浄排水が排出される。そのうち RO 濃縮水は回収水原水として回収される。

回収された排水は各々の性状に適した処理が施され、純水原水あるいは空調機等の補給水として再利用される。

1. 1 有機系排水の性状と処理方法

有機系排水は化学洗浄排水、IPA、フェノール等の非イオン性で TOC 成分を含んだ排水である。このような成分は RO 膜による除去が困難であり、イオン交換樹脂の汚染物質ともなり易いため、超純水製造設備の原水としては不適合である。そのため有機系排水の処理は、回収処理システムを設計する上での重要なポイントとなっている。処理方法は数百 mg/l の TOC 成分を生物処理により分解し数 mg/l にした後、MF 膜にて除濁し、RO 膜により脱イオンする方法が採用されている。

1. 2 希薄洗浄排水の性状と処理方法

希薄洗浄排水は、低濃度の TOC 成分を含んだ最終洗浄排水である。最終洗浄排水に含まれるイオン濃度は、純水レベルに近い値であるが、超純水製造設備で処理が難しい TOC 成分が微量に含まれている。従って、希薄洗浄排水の処理も TOC 除去がポイントとなる。処理方法は数 mg/l の TOC 成分を紫外線酸化分解により 0.2 mg/l 以下にする方法が採用されている。この方法は、水質及びコスト面から低濃度の TOC 処理に対して有効である。

1. 3 無機系排水の性状と処理方法

無機系排水は、HF、HNO₃等の成分が多く含まれた酸性の排水である。処理方法は、無機イオンをイオン交換樹脂により除去し、電導度を数 μ S/cm 以下にする方法が採用されている。

1. 4 RO 濃縮水の性状と処理方法

RO 濃縮水は、純水設備の主力装置である「II PLP」(2 段 RO 装置)の濃縮水であり、純水原水の数倍のイオン濃度である。処理方法は、イオン類をイオン交換樹脂により除去し、電導度を数 μ S/cm 以下にする方法が採用されている。

2. 設 備 概 要

排水回収システムは、製造工程から排出される洗浄排水を処理する有機系排水回収設備、希薄洗浄排水回収設備、無機系排水回収設備と純水製造工程からのブロー水を処理する RO 濃縮水回収設備から構成されている。また回収設備の保護のために、洗浄排水を水質により分別する機構を備えている。

このシステムにより、純水原水や空調機等の補給水に使用する市水の低減化が企てられている。

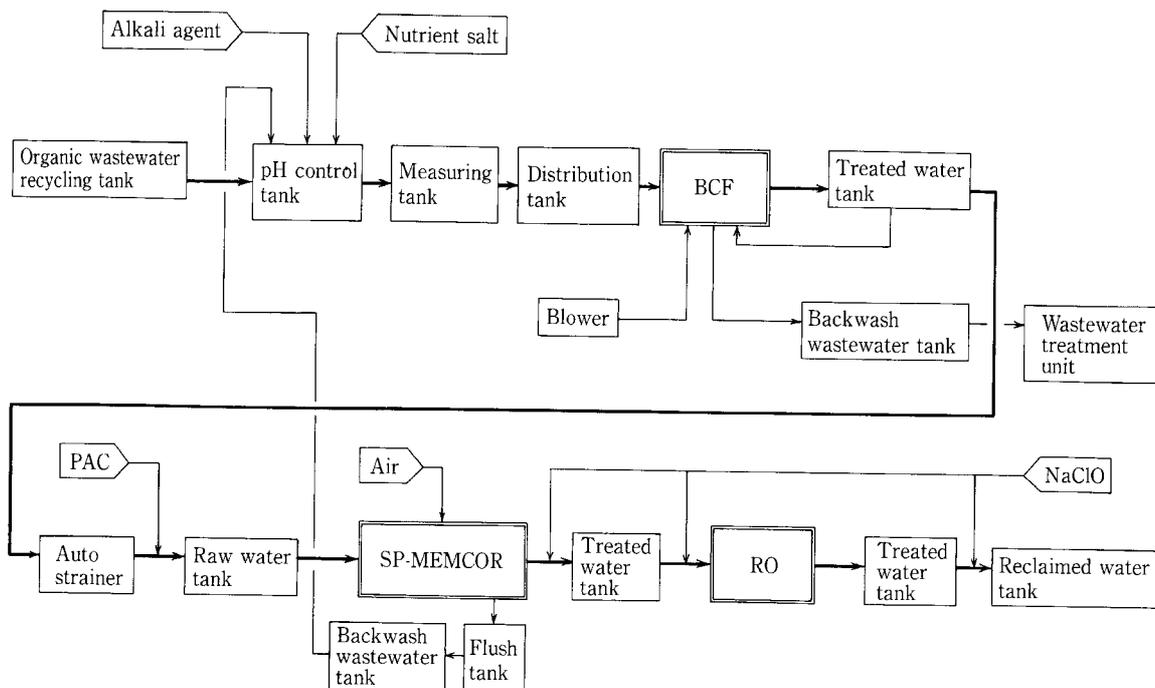
2. 1 有機系排水回収設備

本設備は、生物膜ろ過装置(当社商標:バイオ・コンタクト・フィルター「BCF」)による生物処理設備と、精密ろ過膜装置(略称:SP-MEMCOR)及び RO 装置による膜処理設備によって構成される。第 2 図に有機系排水回収設備のフローを示す。

2. 1. 1 生物処理設備

BCF は、好気性生物膜処理により排水中の有機物質を生物化学的反応によって分解除去し、同時に懸濁物質もろ過機能によって除去するといった 2 つの機能を備えた装置である。BCF は次の特長を有している。

1) 処理水水質が安定している



第2図 有機系排水回収設備のフロー
Fig. 2 Schematic diagram of recycling unit for organic wastewater.

ろ材は生物付着面積が大きいセラミック製の粒子媒体を使用しているため、多量の微生物を付着保持でき、粒子媒体の微粉化によるトラブルがない。その結果、負荷変動に対し高い安定性を示し、他の生物処理と比べ、幅広いBOD容積負荷に対応することができ、常に良好な水質が得られる。

2) 運転維持費が少ない

ろ層中で排水と空気とが向流接触するため酸素溶解効率がが高く、動力費は活性汚泥法の約半分に低減される。また効率的な洗浄方法により洗浄排水が低減される。

3) 設置面積が小さい

BOD容積負荷が高く酸素溶解効率がいため、高負荷運転により槽容量が小さく出来る。またろ過機能があるため沈殿池が不要となり、設備面積が小さくて済む。

4) 維持管理が容易である

活性汚泥法と異なり、返送汚泥がなくバルキング等の発生もないので、複雑な汚泥管理が不要である。

原水はまずpH調整槽へ送水され、アルカリ剤を注入しpH調整される。また同槽には有機物の分解に携わる生物に必要な栄養塩(窒素とリンの混合液)を注入している。pH調整された原水は分配計量槽、分配槽により各BCF槽へ均等に分配され、BCF槽を下向流で通過するうちに生物分解を受ける。

生物分解は槽内のろ材表面に馴養させた生物膜により行われ、原水中の有機物はCO₂、H₂O及びイオン類やその他の生成物に分解されるとともに、一部生物体に転換される。また分解に必要な酸素はろ層下部より曝気され、原水とろ層間で向流に接触する。この結果、ろ材表面の生物膜が成長していくが、処理機能の適性維持のために定期的に自動逆洗を行い、生物膜の厚み調整を行っている。逆洗排水は排水処理設備に送水され、凝集沈殿後、処理水は放流

され、汚泥は脱水されて廃棄物として引取される。

この設備の設計値は、原水水質 COD 100 mg/l 以下、BOD 600 mg/l 以下、TOC 250 mg/l 以下、SS 20 mg/l 以下、処理水質は COD 10 mg/l 以下、BOD 5mg/l 以下、TOC 10 mg/l 以下、SS 1 mg/l 以下である。

2. 1. 2 膜処理設備

BCF 処理水はオートストレーナーで 0.8 mm 以上の異物が除去された後、PAC 注入により濁質を凝集し、精密ろ過膜装置「SP-MEMCOR」へ送水される。

SP-MEMCOR は次の特長を有している。

1) 有機性 SS 処理に最適

生物処理後の有機性 SS に対して優れた除去性能があり、FI 値で 2~3 以下の処理水を安定して得ることが出来るため、RO 装置の前処理として適している。

2) 省スペース

0.2 μm のポリプロピレン性中空糸膜を使用し、大型膜モジュール化されている。設置面積は凝集沈殿・砂ろ過方式の 1/2~1/3 である。

3) 回収率が高い

ろ過方式は濃縮水をブローしない全量ろ過方式であるため、回収率が高い。

4) 長期安定運転

高圧エアによる強制逆洗方式により、中空糸膜を膨張させ、膜表面に堆積した濁質を完全に剥離し、洗浄水とともに除去することが出来る。この結果、長期にわたり高い透水性が維持出来る。

第3図にエア逆洗方法を示す。エア逆洗は10~20分通水毎に自動で行われ、逆洗排水はフラッシュタンクで高圧エアブローの衝撃と騒音を吸収した後、BCFの原水として再回収される。また高圧エアは膜保護のため、0.2 μmの除菌フィルターを通したオイルフリードライエアを使用し

ている。

この様に数々の優れた特長を持つ SP-MEMCOR により、原水中の $0.2 \mu\text{m}$ 以上の濁質及び微生物が除去され、処理水は RO 装置により脱イオンされる。

RO エLEMENT はスパイラル型の低圧合成複合膜であり、 15 kg/cm^2 以下の低圧運転で脱塩率は 99% 以上である。

RO 処理水は NaClO を注入し滅菌され、空調機等の補給水として回収される。

膜処理設備の設計値は、処理水水質 TOC 2 mg/l 以下、TDS 150 mg/l 以下である。

2. 2 希薄洗浄排水回収設備

本設備は、高圧 UV 酸化装置と活性炭塔によって構成される。第 4 図に希薄洗浄排水回収設備のフローを示す。

原水はまず高圧 UV 酸化槽へ送られる。槽内には TOC 分解を促進させるために H_2O_2 が添加され、空気にて攪拌されながら紫外線により、TOC 成分は CO_2 と H_2O に分解される。

UV 酸化の原理は、高圧 UV ランプより発生する 365 nm の紫外線のエネルギーによって励起された酸化剤（ヒドロキシラジカル）による有機物の酸化と、紫外線のエネルギーによる有機物の分解との相乗効果により、有機物の分子間結合を切断し有機酸とし、最終的には CO_2 と H_2O に分解することである。

UV 酸化処理水は活性炭塔へ通水され、 H_2O_2 が残存しても、分解除去出来るようにしている。活性炭塔処理水は NaClO を注入し滅菌され、純水原水として回収される。

この設備の設計値は、原水水質 TOC 数 mg/l 以下、処理水水質は TOC 0.2 mg/l 以下である。

2. 3 無機系排水回収設備

本設備は SC（強酸性カチオン樹脂）塔、WA（弱塩基性アニオン樹脂）塔、SA（強塩基性アニオン樹脂）塔を直列に通水するいわゆる三床三塔（3 B 3 T）方式で構成される。また SC、SA 塔はスーパーフロー型を採用しており、次の特長を有している。

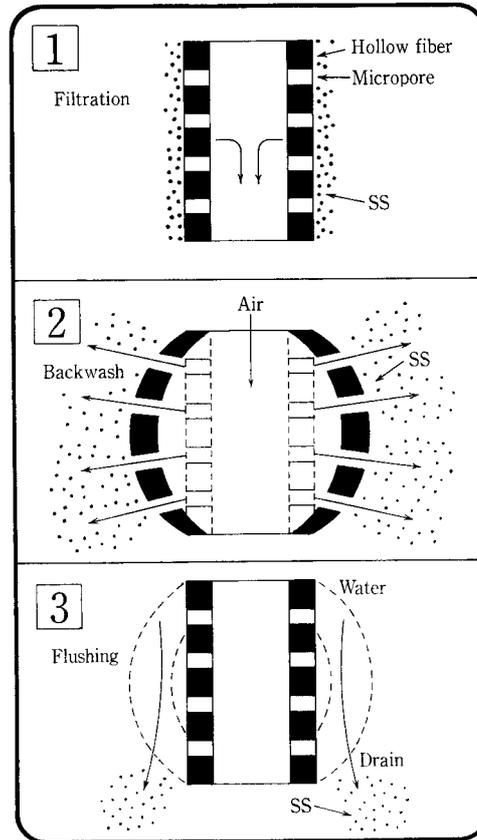
1) 運転維持費の低減

再生薬品は下向流でイオン交換樹脂と接触するいわゆる下向流再生である。そのためイオン交換樹脂の流動がなく効果的な反応が行われ、少ない再生薬品で効率の良

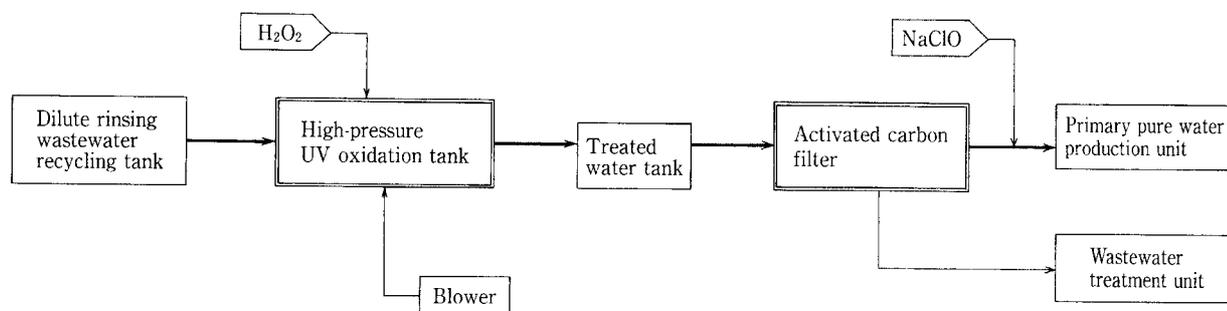
い再生が出来る。また洗浄も下向流で行うため、少ない水量で洗浄が行える。

2) 高純度な処理水

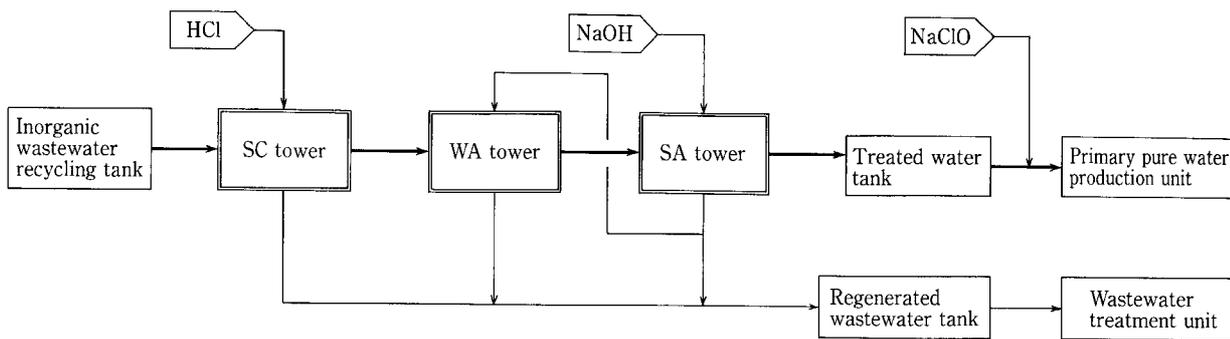
イオン交換樹脂の流動を防ぐため塔内の中間位置に特殊機構を設け、上向流通水を可能としている。それと下向流再生の併用により、原水は処理水出口のフレッシュなイオン交換樹脂と接触する。その結果、イオンリークの少ない高純度な水質が安定して得られる。



第 3 図 SP-MEMCOR のエア逆洗方法
Fig. 3 Mechanism of air backwash in SP-MEMCOR.

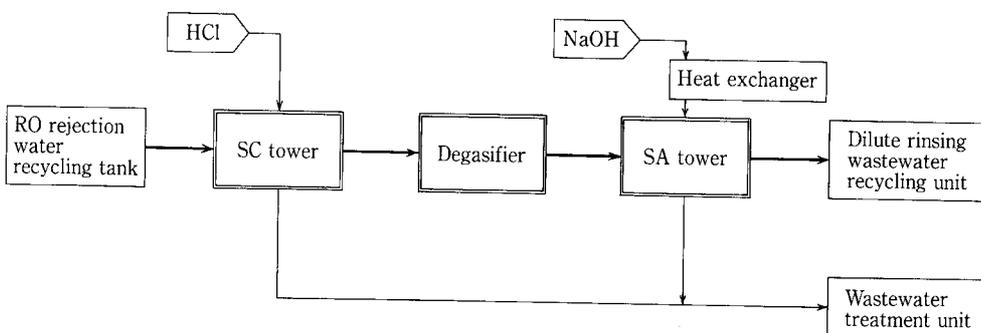


第 4 図 希薄洗浄排水回収設備のフロー
Fig. 4 Schematic diagram of recycling unit for dilute rinsing wastewater.



第5図 無機系排水回収設備のフロー

Fig. 5 Schematic diagram of recycling unit for inorganic wastewater.



第6図 RO濃縮水回収設備のフロー

Fig. 6 Schematic diagram of recycling unit for RO rejection water.

WA塔は、再生効率の良い弱塩基性アニオン交換樹脂を使用し、下向流通水、再生による並流方式の構造を採用している。また再生にはSA塔の一部の再生廃液を使用し、再生剤の低減化を行っている。第5図に無機系排水回収設備のフローを示す。

原水はまずSC塔内で NH_4^+ 等の陽イオンが除去される。次にWA塔内で F^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等の鉍酸性の陰イオンが除去される。最後にSA塔内でWA塔を少量リークしたアニオンや SiO_2 、 HCO_3^- 等のWA塔では除去出来ない弱アニオン性の陰イオンが除去される。3B3T処理水は NaClO を注入し滅菌され、純水原水として回収される。

設備の設計値は原水水質TC 50 mg/las CaCO_3 以下、TA 110 mg/las CaCO_3 以下、処理水水質は電導度20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下である。

2.4 RO濃縮水回収設備

本設備は、SC塔、脱ガス塔、SA塔を直列に通水するいわゆる二床三塔(2B3T)方式で構成されている。第6図にRO濃縮系排水回収設備のフローを示す。

SC、SA塔は無機系排水回収設備と同様、スーパーフロー型を採用している。また SiO_2 濃度が高いため、加温再生を行っている。

この設備は、TOC成分を除去する機能を持たないため、

SA塔処理水は希薄洗浄排水回収設備へ送水され、高圧UV酸化処理される。

設備の設計値は、原水水質TC 230 mg/las CaCO_3 以下、TA 260 mg/las CaCO_3 以下、処理水水質は電導度20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下である。

2.5 洗浄排水の分別

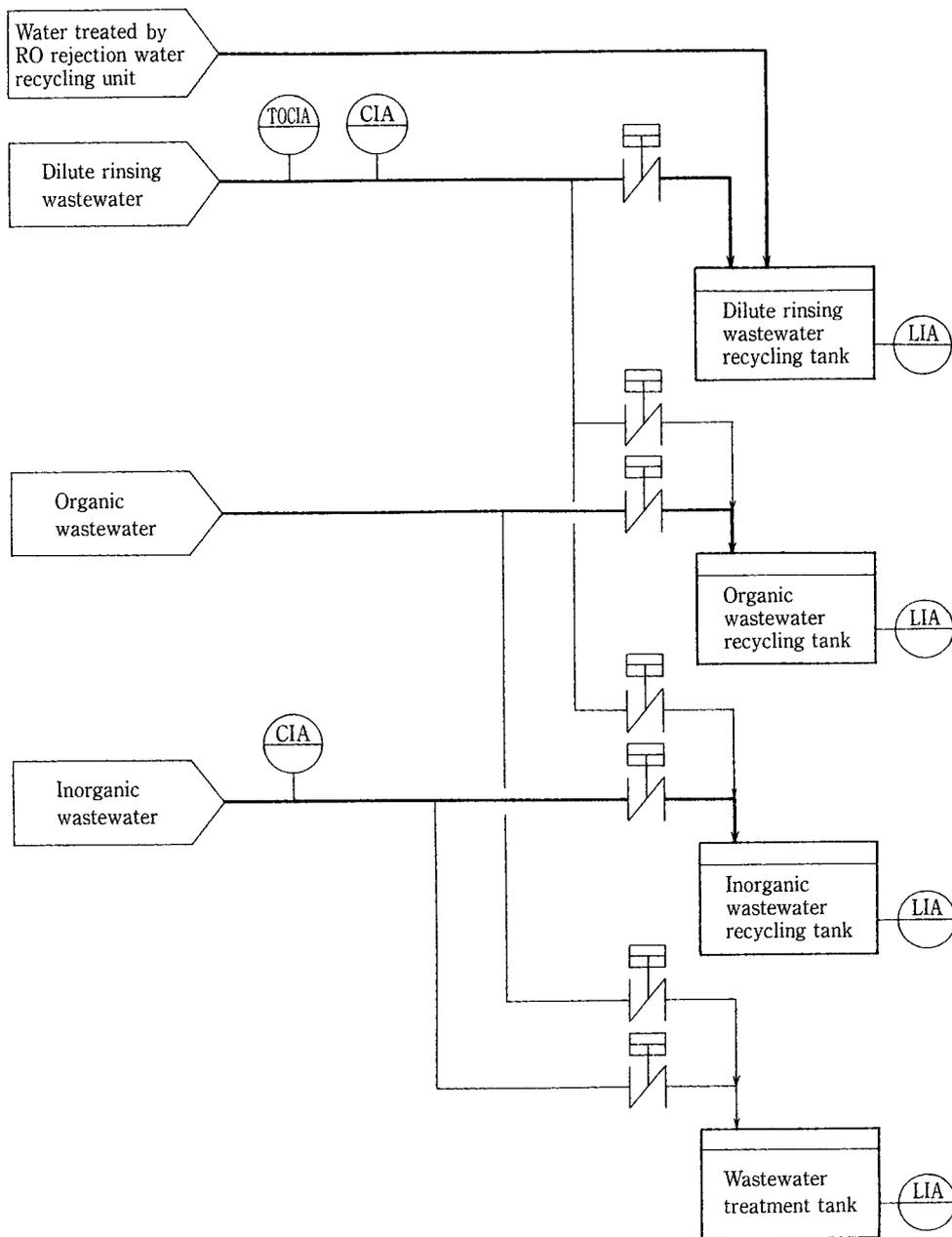
洗浄排水には、有機系排水、希薄洗浄排水、無機系排水があり、これらの排水は、工場内で分別排出される。しかし排水水質は、時間変動及び生産装置の改善等による変動や、トラブル、操作ミス等により、回収設備の設計値を越える可能性がある。そのため、回収設備側では、TOC計、電導度計等により自動弁の切替を行い、設計値を越えた排水が回収原水槽に混入するのを防ぎ、回収設備の保護及び処理水水質の安定化を行っている。第7図に洗浄排水の分別方法のフローを示す。

2.5.1 有機系排水の分別

有機系排水は有機系排水回収原水槽へ全量受け入れられる。これは回収設備が生物処理のため、多少の負荷変動に対する許容性があるためである。回収原水槽が高水位時は、振分により排水処理設備へ送水可能である。

2.5.2 希薄洗浄排水の分別

希薄洗浄排水はまずTOC計で分別し、高濃度時は有機



第7図 洗浄排水の分別方法
Fig. 7 Schematic diagram of fraction system for rinsing wastewater.

系排水回収原水槽へ、低濃度時は希薄洗浄排水回収原水槽へ送水される。希薄洗浄排水回収設備で処理された後、電導度が許容値以上の場合は、無機系排水回収原水槽へ送水される。回収原水槽が高水位時は、無機系排水回収原水槽または有機系排水回収原水槽へ送水可能である。

2. 5. 3 無機系排水の分別

無機系排水は電導度計で分別し、高濃度時は排水処理設備へ送水され、処理後、放流される。低濃度時は無機系排水回収原水槽へ送水される。回収原水槽が高水位時は、排水処理設備へ送水可能である。

3. 運 転 結 果

第2表に設備毎の回収率（受入排水量に対する回収水量）を、第3表に設備毎の受入排水水質とその回収水質を示す。

有機系排水回収設備、希薄洗浄排水、無機系排水及びRO濃縮水回収設備の回収率はそれぞれ71%、100%、94%、90%と満足した値であることが確認された。

回収水質は各設備とも設計水質以下の良好な水質であることが確認された。これは純水、超純水製造設備に対する負荷低減にも寄与している。

4. 運 転 管 理 上 の ポ イ ン ト

現状の回収率及び回収水質を維持するためにも、運転管理方法が重要なポイントになってくる。運転管理上のポイ

第 2 表 各回収設備の回収率

Table. 2 Recycling rate

Recycling unit	Recycling rate(%)
Organic wastewater recycling unit	71
Dilute rinsing wastewater recycling unit	100
Inorganic wastewater recycling unit	94
RO rejection water recycling unit	90

第 3 表 受入排水水質と回収水質

Table. 3 Comparison of water quality

Item	Recycling unit									
	Organic wastewater			Dilute rinsing wastewater		Inorganic wastewater		RO rejection water		
	Feed	BCF	RO	Feed	Treated	Feed	Treated	Feed	Treated	
SS(mg/l)	15	26	<5	<1	—	<1	—	<1	—	
pH	9.8	7.0	6.9	—	—	3.0	6.5	7.8	5.8	
TOC(mg/l)	142	1.8	<0.5	0.7	0.05	3.3	0.5	3.9	0.7	
COD(mg/l)	31	8.2	—	—	—	1.4	0.8	—	—	
BOD(mg/l)	140	<5	—	—	—	—	—	—	—	
Conductivity (μS/cm)	—	980	25	2.0	1.9	504	1.6	328	1.1	
TDS(mg/l)	70	694	4.0	<1	—	36	<1	267	<1	

ントを次に記す。

1) バクテリア汚染防止対策

バクテリア汚染による設備への影響は大きい。これは排水中の TOC 成分によって、バクテリアが繁殖し易いためである。バクテリアは膜や塔内へ付着すると通水量の低下等のトラブルを引き起こす原因となる。また配管中に繁殖したバクテリアが剥離し、後置の装置を閉塞さ

せた場合は、配管内及び閉塞した装置を全て洗浄しなければならない。

残留塩素計による殺菌剤注入の監視、生菌数の測定及び装置の差圧の監視とトレンド把握等により、バクテリアの異常繁殖に留意することが大切である。

2) 洗浄排水の管理

回収設備は、洗浄排水が正常に分別されて成立つ設備である。そのため、分別する水質計器が正常でない回収設備だけではなく、TOC 成分が生産装置へ通水され重大なトラブルを引き起こす可能性もある。

計器の適正時期での校正や、メンテナンスを行い管理することが大切である。また必要箇所へは、計器の二重化による対策も大切である。製造プロセスの変更等により、洗浄排水の水質及び水量は変化する事がある。そのため常時水質、水量を監視しておくことや排水条件の変更に関する情報が、生産サイドからタイムリーに提供されることが重要であり、常に設備設計条件内で管理していくことが大切である。

これらの運転管理の基本を守り、現状の排水回収システムは安定して運転されている。そのため、将来、ユーザーの水使用量増加あるいは無排水化計画に対応して、さらに完全クローズド化へシステムアップする場合も比較的容易に移行が可能である。

む す び

最新の電子工業に納入したこの排水回収システムは、設計条件を満足し、大幅な市水使用量の低減効果をもたらした。今後も適切な運転管理を行うとともに、ユーザーの要望に見合った設備の増強、改善を提案していく所存である。また本事例の紹介が各ユーザーへの参考となり、今回の成果を生かした設備の提案ができれば幸いである。

〔参考文献〕

- 1) 池上ほか：超純水の科学, (1990/9), p.163
- 2) 土居ほか：クリーンテクノロジー, Vol.3, No.1 (1993/1) p.54