

半導體製造用超純水的 最新動向

～介紹HERO與EDI SYSTEM～

文／杉山 勇・知野 秀一

前言

對最近超純水製造系統、從半導體製程需要的條件而言(將進入 $0.13\mu\text{m}$ 製程)，其要求的條件如下列項目。

1. 低成本

為了對付競爭日益激烈的業界，對降低成本的要求非常迫切，從投資及運轉費用雙方面而言都要求低成本的系統是不容辯論的現實情況。

2. 對應環保

最近對環保問題衆人所知、愈來愈嚴格，因為對化學物質的廢液排放或處理的問題上尚無真正完善的解決，因此重點則放在如何削減化學物的使用量的課題上，最近美國有一家化學工廠甚至發出“Goal is Zero”的口號，即在2000年底將化學物質的排放量削減至“1987年”當時的90%為目標的宣言；另者也有某工廠透過網際網路，將該工廠的化學排放量公佈於世的做法等等，即是經由環保作業的透明化讓公眾瞭解該公司對世界環保的貢獻，也就是在投資時即需首先考慮環保問題的時代真正來臨了。

對純水系統而言，原水使用量、廢水量的削減(回收率的提升)、化學藥品使用量的削減及UTILITY削減量的消耗(節能)等等都是極重要的課題。

3. 性能的提升

半導體製程愈來愈精細，因此對超純水的品質要求也愈來愈高，愈嚴格，例如日本東北大學的未來情報社會研究館所計畫的超純水系統的金屬成分之目標值為 $20\text{ppq}(\text{pg/l})$ 極低的數值，惟欲達到此數值需有極精密的分析方法，始可達到目標，其它還要求系統設備裝設面積的削減、縮短交期的要求等等。

超純水製造設備

圖1為超純水製造設備的概略圖，超純水製造設備大都分為：前處理部分、1次純水部分、2次純水部分及回收部分。

1. 前處理部

將原水(工業用水或井水等)中的大部分懸濁物質去除，以減輕後段系統負擔為目的之部分，由凝集沉澱槽及砂過濾塔為主要設備，以最近的系統設備而言，回收使用過的純水再利

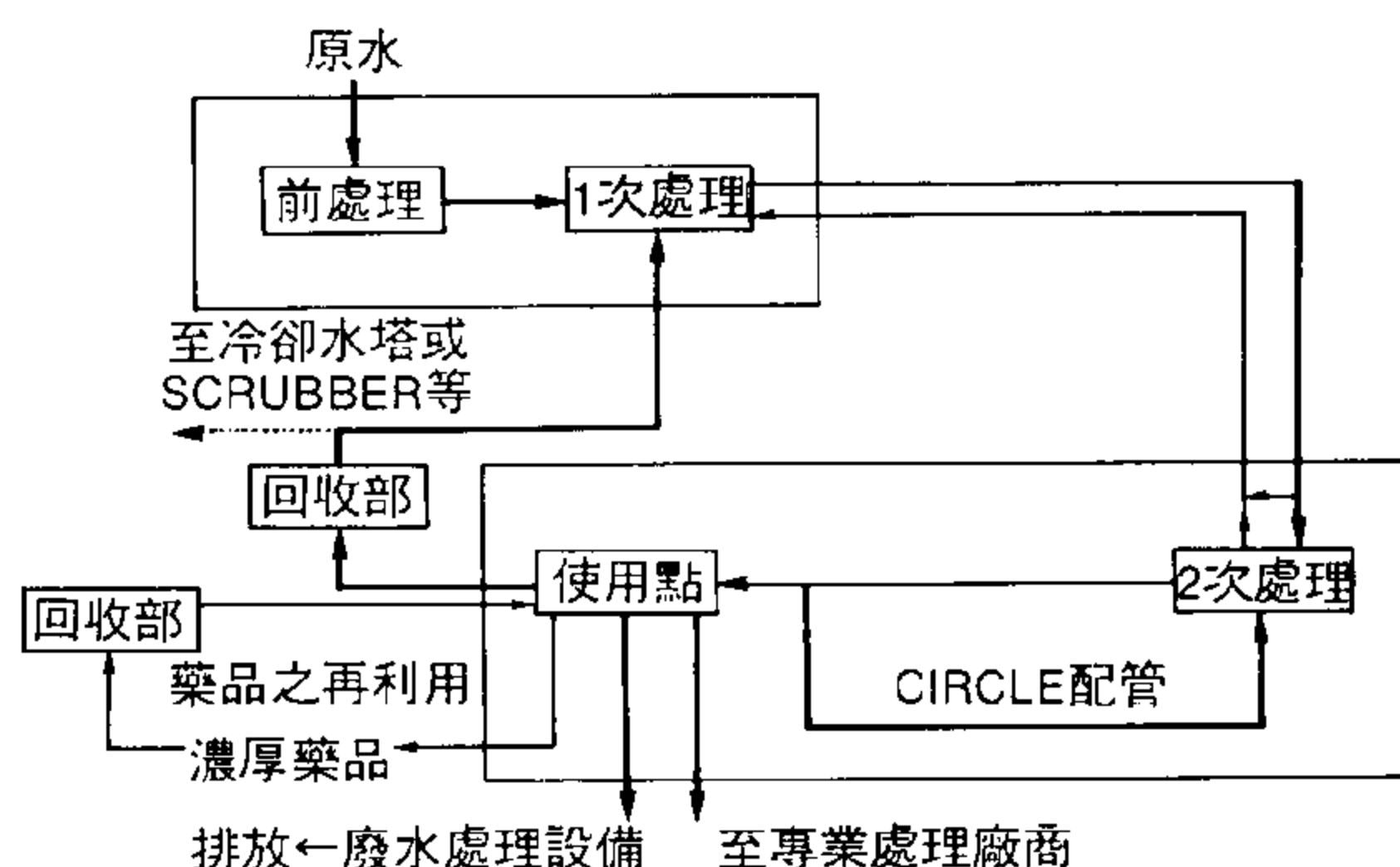


圖 1 超純水製造系統的全部構造

用的比率愈來愈高的趨勢中，原水使用量的比率愈來愈低，以最近的系統觀之，在Use Point僅補給超純水使用量的30~40%之原水的情形為常見，因此依其性能而言，主要功能為補給水的處理系統之性質有加強的趨勢。

2. 1 次純水部分

更進一步去除含於前處理及回收處理水中的不純物，將水質提高到末端超純水的標準為目的，主要設備有逆浸透設備(RO)、離子交換塔(2B3T・MB)真空脫氣塔(VDG)、有機物分解用UV(TOC-UV・UV-OX)等。

3. 2 次純水部分

更加去除 1 次純水中所含的不純物，將純水水質提升到所要求的標準，主要設備有 TOC-UV、非再生型離子交換塔(POLISHER)及限外過濾膜(UF)等。

4. 循環配管部

將超純水設備製造出來的超純水供給至無塵室內的使用點的設備及配管，雖然非製造超純水的系統，但在大型或大規模系統，往往有數百使用點，因此欲將這些超純水供給至各使用點，且不容水質的降低，而能安定順暢的維持要求的水量供給，仍為極重要的技術要素。

5. 回收部

清洗晶圓後的超純水的不純物濃度相當的低，因此最近將使用過的超純水加以回收並

表 1 一次純水系統的比較

前段RO方式	前段離子交換方式
原水—RO—MB(EDI) Stand-by樹脂塔—不必要。 高鹽濃度，高TOC原水也可以處理。 對Fouling物質較難應付。 水回收率要視Silica與Fouling物質濃度之多寡而變(一般是75%以下)。	原水—2B3T—RO Stand-by樹脂塔—必要。 需要多量再生用藥品。 有高的水回收率(一般為90%以上)。 也可以處理高濃度Silica含有水。

再利用的工作已算是很普遍的事，雖然晶圓是用各種不同種類的化學藥液洗淨，惟可依濃度與種類分為酸系、鹼性、氟酸系、有機系而各別回收的情形為多，增加回收率時，雖然不純物濃度也會增加，但一般而言，回收率在75%左右時，仍可回收比原水的不純物濃度低的回收水，以環保的立場來講，希望提高廢水回收率，惟因成本上的考慮，設定在75%的情形較多，本來是以水的回收為目的，即將回收水處理成純水系統的原水再利用的情形為多，惟最近情形有一點改變，就是從濃度高的廢水中回收使用過的化學藥液再利用(即所謂RECYCLE)的技術已在開發及應用。

最新の技術動向

日本已有許多廠家發表了各種新技術，以最近的傾向與動向而言，當然首先是以提升水質為主要關鍵，再之則是系統的簡單化、成本之削減及對環保之影響減少化等等都是新技術的發展目標，以下介紹最近在 1 次純水部分開始使用的技術、HERO 與 EDI 系統。

HERO系統

1. 何謂HERO系統

HERO(High Efficiency Reverse Os-

mosis System=高效率逆浸透系統)的簡稱，從高濃度Silica原水。用新RO系統以高回收率運轉是最近開發的技術^[1]。

(1)前段RO系統與前段離子交換系統

1次純水部系統大致分為前段RO系統與前段離子交換系統兩種，其特徵如表1，前段離子交換系統的最大優點是水回收率高，其回收率通常達到90~95%以上，另者對供給水中含Silica濃度高的水也可應用，惟對離子濃度高的原水即需增加再生頻度因此影響到效率，另在一定時間通水時，離子交換樹脂的能力會成飽和狀態，故需停止運轉並做樹脂塔的再生工作，因此連續運轉時需要Stand-by樹脂塔。

另一方面，對前段RO系統而言，即無必要加裝Stand-by樹脂塔，也可連續通水也可對應TOC與鹽濃度高的原水，但是原水的Silica濃度高時，為了防止Scaling，必須降低水的回收率，又對原水中的Fouling物質、RO即難應付，容易產生阻塞現象也是問題之一。

2. HERO系統的特長(如下述)

(1)可做含高Silica原水之RO處理：

因Silica的溶解度會上升，故藉RO設備可將含高Silica濃度的原水，以高回收率運轉，(運轉實績有Silica濃度80ppm的原水以回收率95%運轉、濃縮水Silica濃度1,600ppm)。由於上述實績，對後段的離子交換樹脂塔的離子負荷即變的很小，也使再生頻率激減，也因此再生用藥品量、再生廢液量、離子交換樹脂之有機物污染及有關再生的維護成本即可大幅減低。

(2)高去除率

在高PH領域、有機酸、Silica、硼素等弱酸性離子物質的離子化被促進，致使在RO設備的去除率增加。

(3)對Fouling的耐性高

在高鹼性領域運轉之故，供給水中的懸

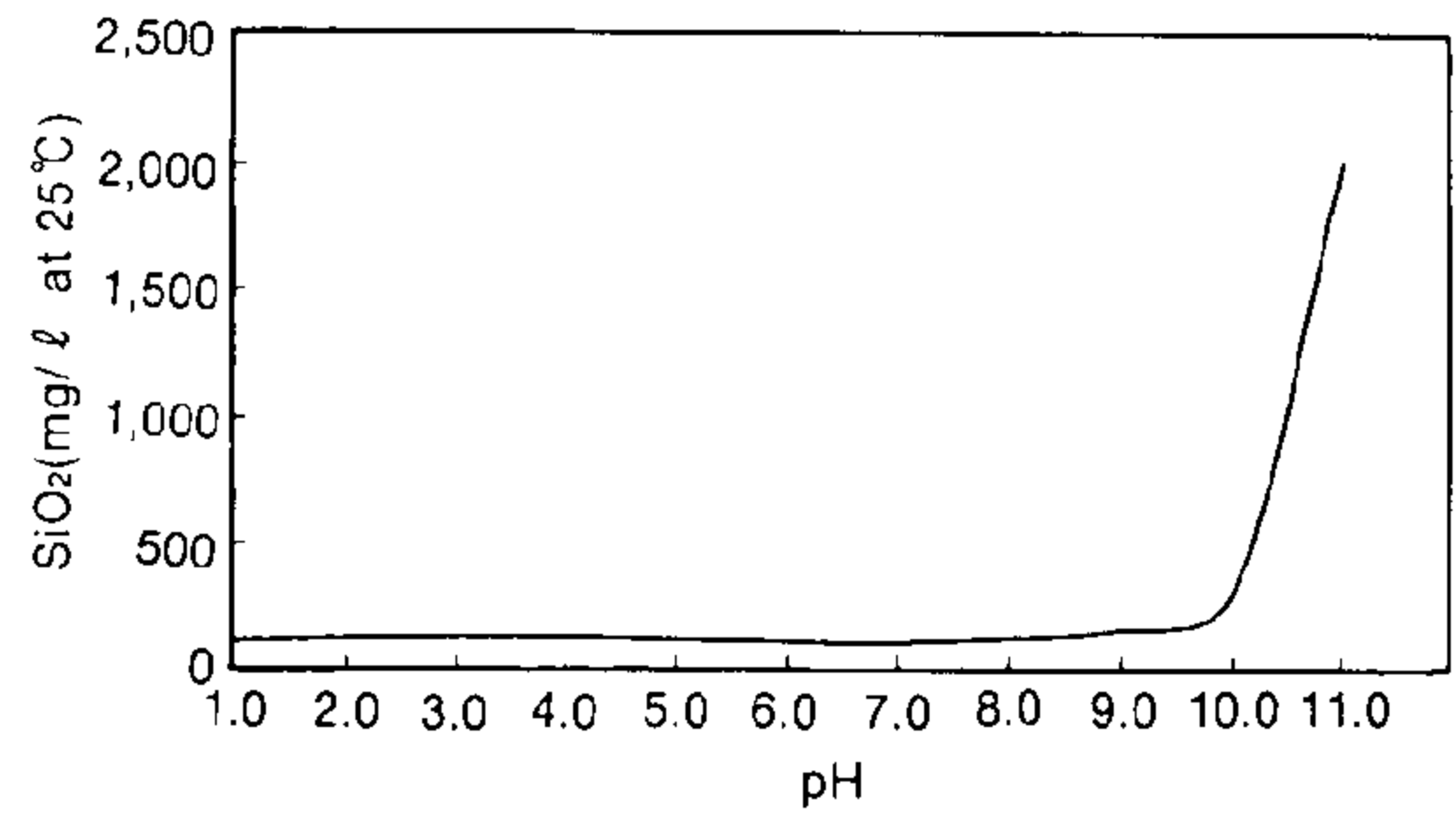


圖 2 Silica的溶解度與PH之關係

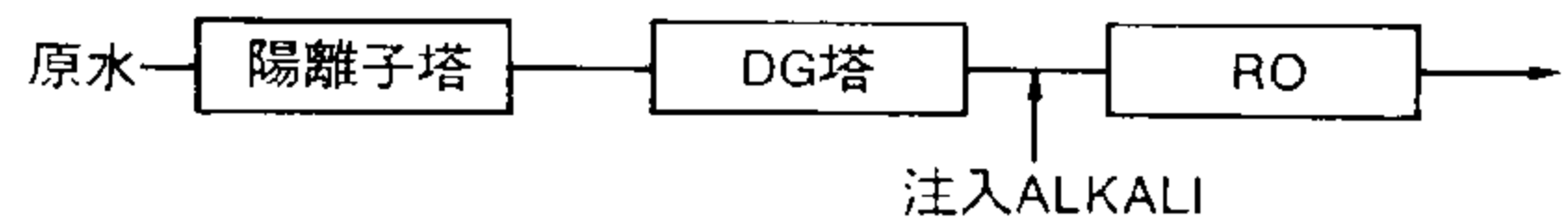


圖 3 HERO系統流程

濁物質不易附著在膜面，因此濁質成分相當多的原水也無問題，另者在高鹼的狀態下運轉之故，可防止低壓複合膜表面細菌的繁殖^[2]，因此雖是使用低壓複合膜的前段RO，其處理設備可以用簡單的系統來運轉。

(4)藥品使用量低

藥品使用量比原來的離子交換樹脂法(2床3塔+混床塔=3B3T+MB方式等)少。

(5)高Flux運轉

在高鹼領域，對膜面的Scaling較不易生成，因此RO Module每支的透過水量，比一般的RO，可設定高一點，也因而可減少需要的Module數量並可以較低的成本運轉。

(6)省Space

比原來的離子交換樹脂法可節省許多裝設空間與面積。

3. 原理

HERO系統運轉的原則大致分為如下兩項：

- (1)以高PH值(PH=10~11)運轉的RO系統。
- (2)完全去除RO供給水的硬度成分(Ca・mg)。

決定RO的回收率要素之一有濃縮水的Silica濃度，圖2即以圖表顯示Silica的溶解度與PH值的關係，Silica的溶解度在25°C、PH=7時約為120ppm，在原来的RO系統，濃縮水的Silica濃度必須維持在120ppm以下之情況下運轉，例如供給水中含有30ppm的Silica時，回收率必須設定在75%以下，因此供給水量的1/4即不能當純水使用而做為RO濃縮水被排放，一般原水會採用河川水或其他水，惟有原水成本與廢水處理成本的負擔變成龐大的問題存在。

但是從圖2可看出Silica的溶解度在PH=9以上時會急激的上升，在HERO系統即將PH提高使Silica離子化的同時也將溶解度提高，故提高回收率時也不會產生Silica Scale，也就是將RO在高PH領域(PH=10~11)運轉，即可以將回收率增加至90%或95%，就使用RO Module而言可以獲得PH=12左右的具有耐鹼性的Module。但需要注意的事項是：當RO在高PH運轉時由於鈣、鎂等高硬度成分的作用會形成因碳酸鹽及水氧化物的Scaling，因此為了防止上述缺失即在HERO前段裝設陽離子樹脂塔(Cation Resin Tower)/WC塔或WC/SC塔，以利去除硬度成分。另者，在WC塔後段設置脫氣塔，以去除因氧化碳而形成的Scaling，也因此在高鹼領域下也可

順利運轉RO系統。

4. 基本流程

圖3所示者為基本流程，HERO系統是將原水通過陽離子塔，先去除硬度成分，其次通過DG塔去除氧化碳，在DG處理水中添加鹼使PH成為鹼性(PH=10~11)，即為RO的供給水源，RO透過水做為處理水，處理水即在MB塔處理而得1次純水。

5. 實際運轉資料

(1)長期運轉試驗

圖4所示者為日本某地的井水以HERO系統處理的運轉的結果，該井水的Silica濃度約為40ppm，RO的回收率設定在90%運轉，經過150天的連續運轉，得知透過水量與供給水壓力均可安定運轉，其各點的水質分析結果請看表2，對TOC·Silica等都有很高的的去

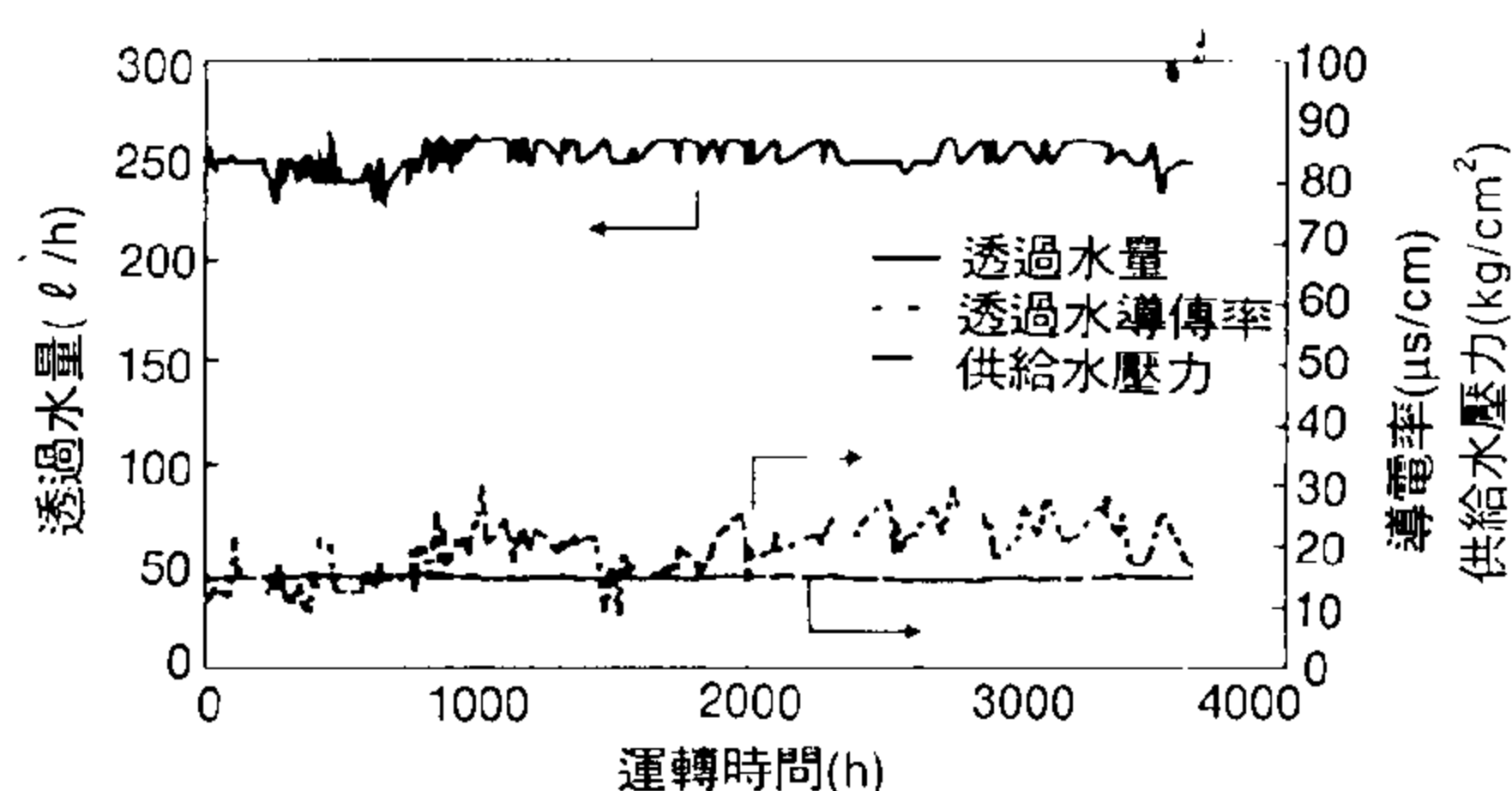


圖4 HERO系統長期間運轉資料

表2 水質分析結果(長期運轉試驗)

	原水	DG出口	RO入口	透過水	濃縮水	去除率
pH	7.2	3.8	10.3	9.8	10.4	—
TOC μg/ℓ as Each	300	240	1300	6	1300	98.0
SILICA mg/ℓ as Each	39	41	180	0.89	320	97.7
Ca μg/ℓ as Each	77000	9	37	≤0.05	40	≥99.9
Na mg/ℓ as Each	35	45	180	2	240	94.3
K μg/ℓ as Each	3800	1500	6200	90	7800	97.6
B μg/ℓ as Each	6.0	5.9	15	1.6	24	73.3
Cl ⁻ μg/ℓ as Each	23000	15000	75000	220	100000	99.0
SO ₄ ²⁻ μg/ℓ as Each	18000	24000	110000	66	160000	99.6
NO ₃ ⁻ μg/ℓ as Each	11000	16000	77000	890	120000	91.9

除率，另者，在其它的HERO系統，雖然最久只有2年左右的運轉實績，但據說都有非常安定的運轉結果。

(2)高Silica含有水處理試驗

圖5所示含Silica濃度80~85ppm的原水，以回收率90%及95%運轉時的結果，其水質分析的結果如表3，雖然濃縮水Silica濃度達1,600ppm但在RO未產生Scaling。

(3)高TOC含有水處理試驗

圖6所示者，將TOC濃度約5ppm的原水(海外井水)以回收率90%運轉時的結果，雖用高TOC原水處理，但在RO仍無產生Scaling的現象。

6. 其它的HERO資料

(1)在高PH運轉狀態下的Bio fouling的防止效果

欲確認在鹼性運轉下生菌繁殖抑制效果，日本廠商做了試驗，圖7示一般運轉方式與高PH運轉結果，這是將生菌數高的原水調整後同時供給至兩系列的RO系統，並計測其透過水量的變化者，試驗方式是將PH各別調整為中性與鹼性兩種，然以生菌數為 10^5 個/ml的標準下進行，其結果於中性運轉時的RO系統看出運轉數10小時後產生透過水量的減少，惟高鹼性下運轉的RO系統即很安定，由本試驗結果可知生菌數高的原水，如以HERO系統

做高PH運轉即可發揮Bio-fouling防止效果。

(2)冷卻水塔、Blow-down水(CTBD)處理資料

HERO系統也可應用到純水系統的原水處理以外的部分，在此介紹其它的應用實例，即是由冷卻水塔出來的Blow-down的水，利用HERO系統處理的例子，一般的CTBD水的處理流程如圖8，其水質如表4，其運轉資料示於圖9，如此Silica、TOC、TDS、離子濃度非常高的供給水等，也可利用HERO系統來處理。

(3)HERO濃縮水的處理試驗

從HERO系統會以RO濃縮水的狀態，連續排出高鹼、高Silica濃度水，茲對濃縮水中和後的Silica成分做了試驗，表5即其試驗結果，雖中和了HERO的濃縮水，但不會立刻

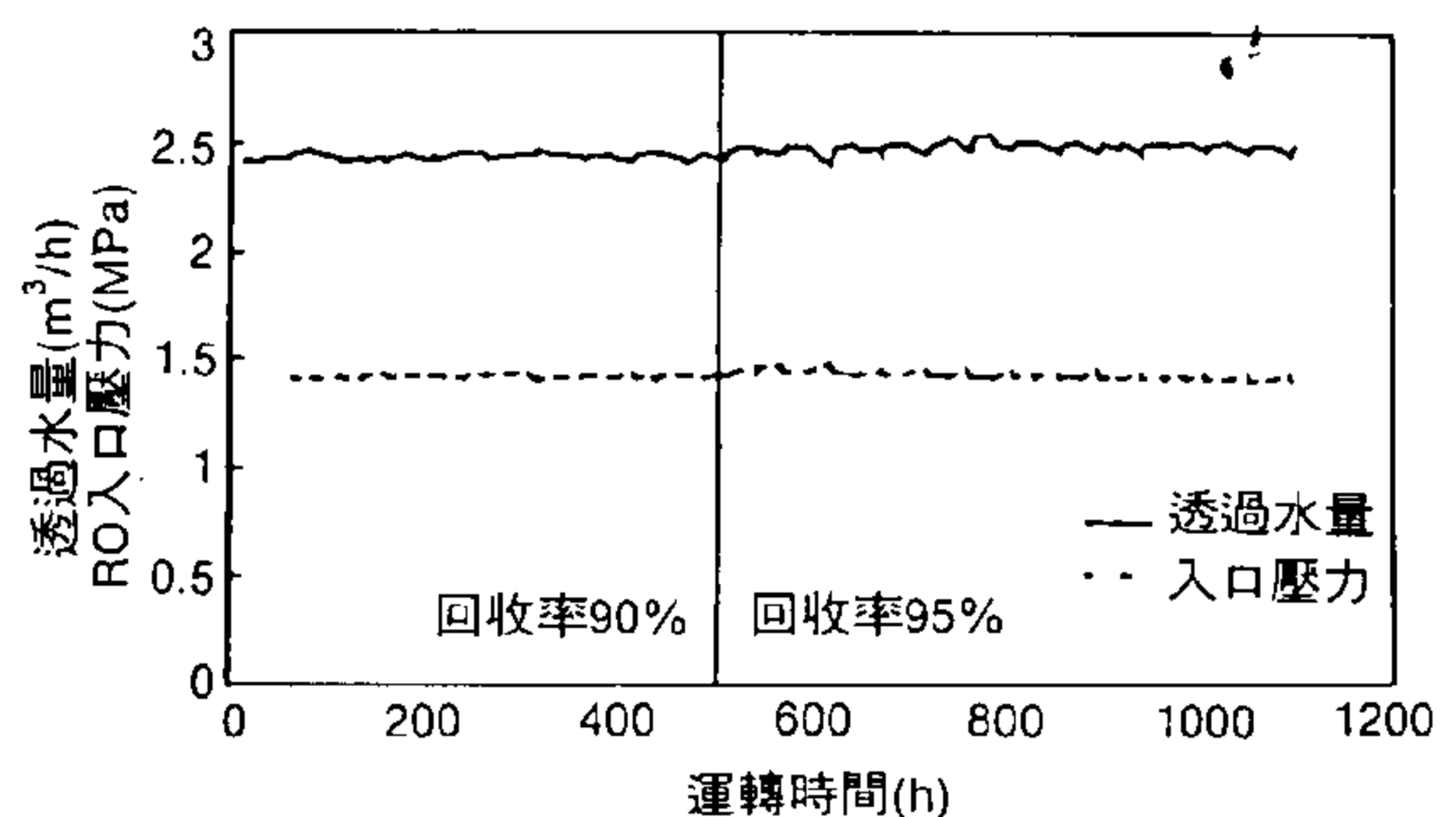


圖5 高Silica原水測試資料

表3 分析結果(高SILICA水處理試驗)

	原水	WC/SC出口	RO入口	透過水	濃縮水	去除率
pH	6.8	2.9	9.9	9.3	10.9	—
TOC $\mu\text{g}/\ell$ as Each	490	490	460	≤ 10	9400	≥ 98.0
SILICA mg/ℓ as Each	84	83	81	0.56	1600	99.3
Ca $\mu\text{g}/\ell$ as Each	28000	2.4	3	≤ 0.005	48	≥ 99.9
Na mg/ℓ as Each	56	4.6	85	2.9	1500	94.8
K $\mu\text{g}/\ell$ as Each	12000	240	400	3.1	13000	99.9
B $\mu\text{g}/\ell$ as Each	140	160	160	14	4100	90.0
Cl ⁻ $\mu\text{g}/\ell$ as Each	44000	43000	44000	710	910000	98.4
SO ₄ ²⁻ $\mu\text{g}/\ell$ as Each	23000	28000	27000	18	580000	99.9
NO ₃ ⁻ $\mu\text{g}/\ell$ as Each	110	110	130	5	1100	95.5

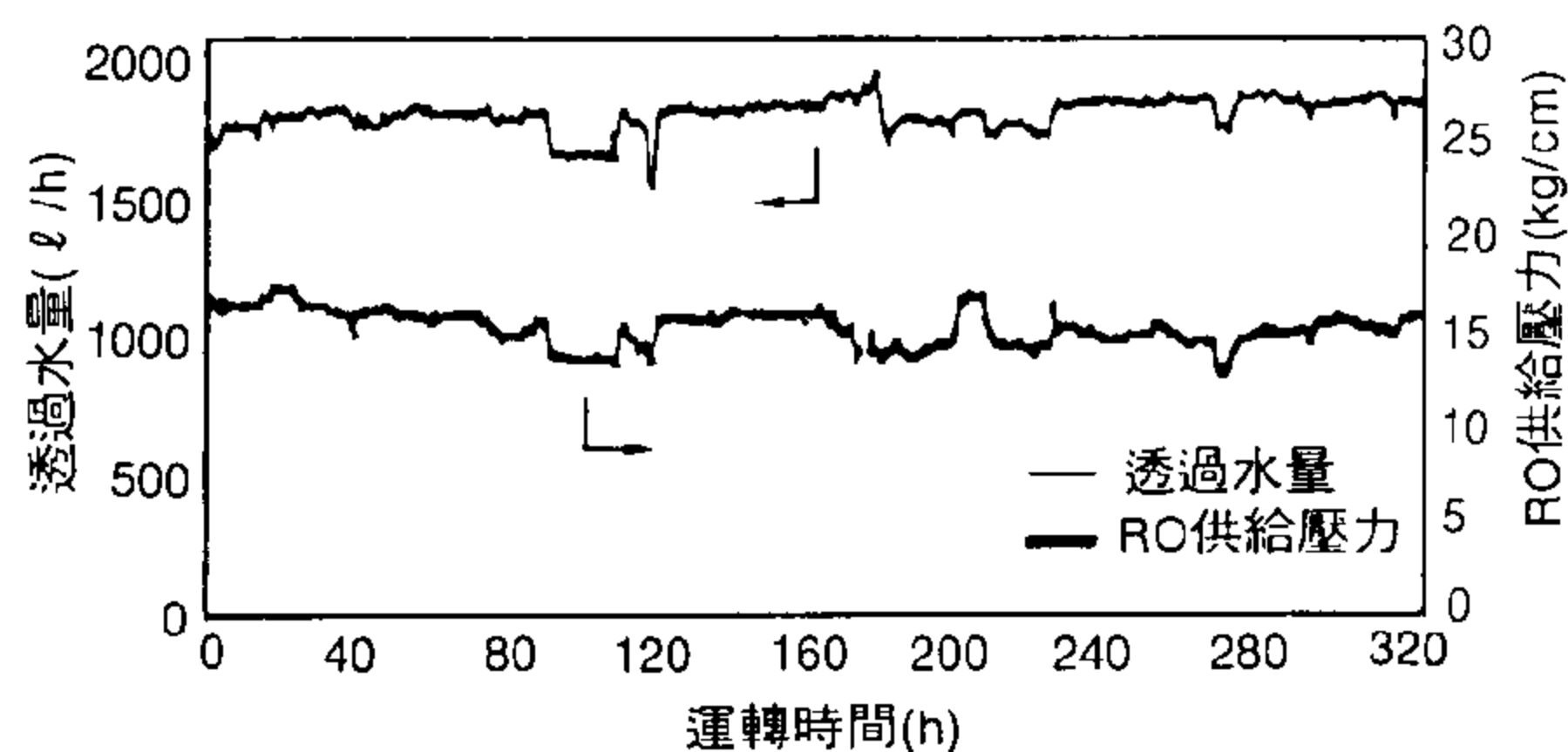


圖 6 高TOC原水處理運轉資料

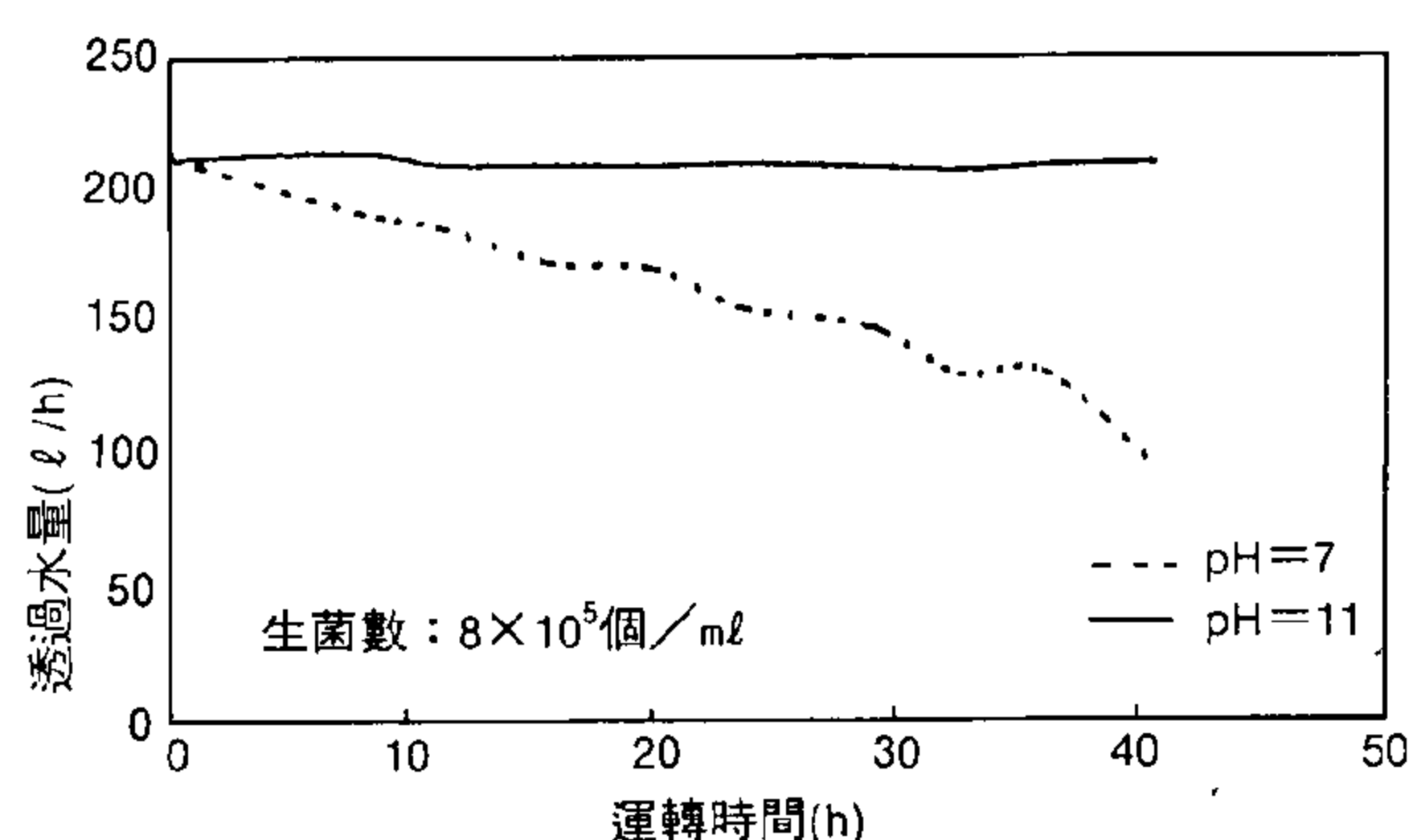


圖 7 防止由PH因素的Bio-fouling

產生Silica的沉澱現象，這是因為添加鹼的階段，Silica在水中的存在形態變化之故，在中和的時候一般的Silica溶解度雖有超過，但分析不出來原因，惟中和後，經長時間放置、增加硬度成分在4～6天後會產生沉澱現象，但在廢水處理設備內已做了稀釋等措施，惟以一般的工廠廢水來考量即應該沒有什麼問題。

7. HERO系統的總論

以上對新純水製造設備的HERO系統做了說明，總之本系統雖然是RO系統，但還可以將高濃度Silica的原水在高回收率的情況下運轉為其最大優點，除上述優點之外與原來RO系統比較，在RO的Silica與硼素的去除率

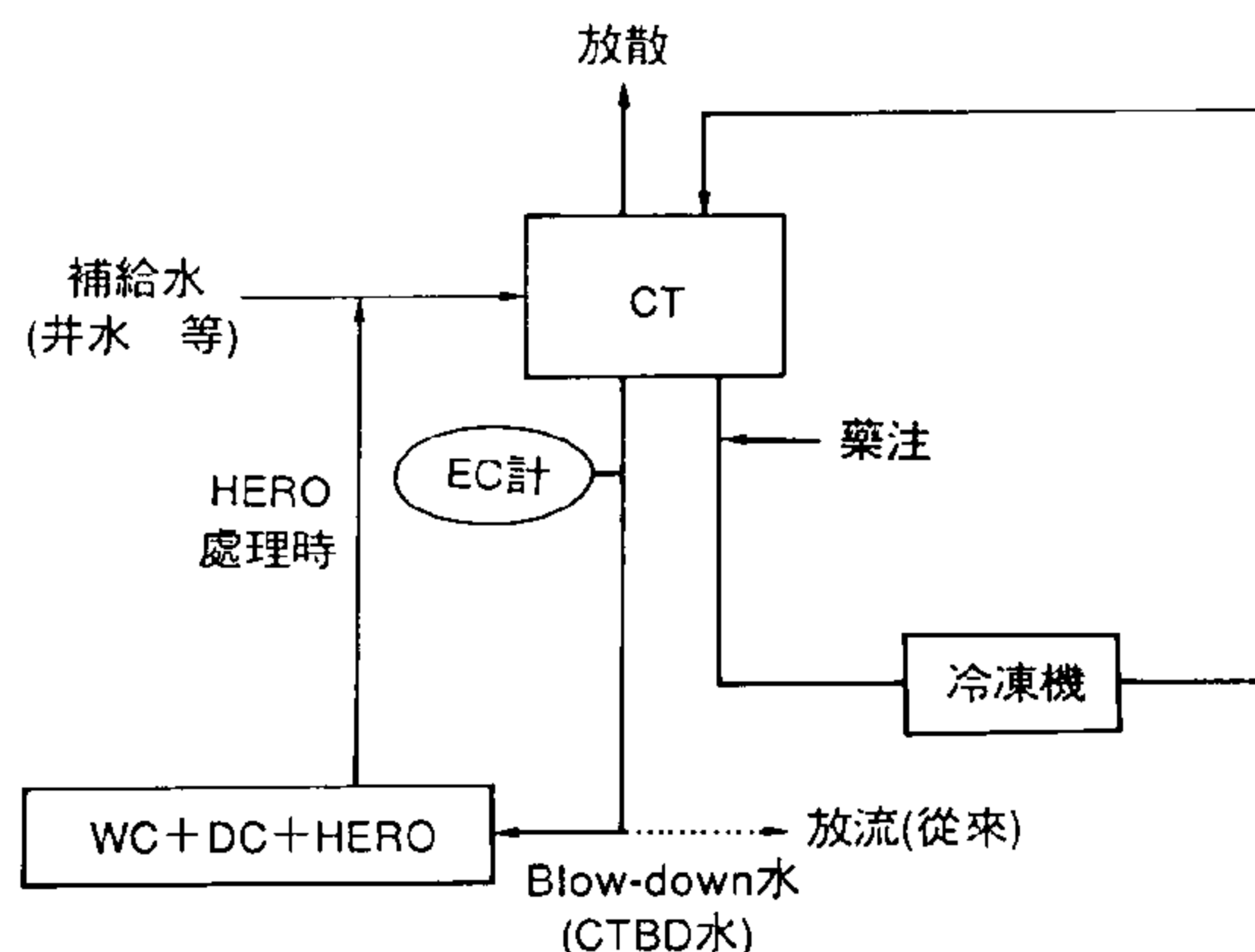


圖 8 冷卻水塔系統流程

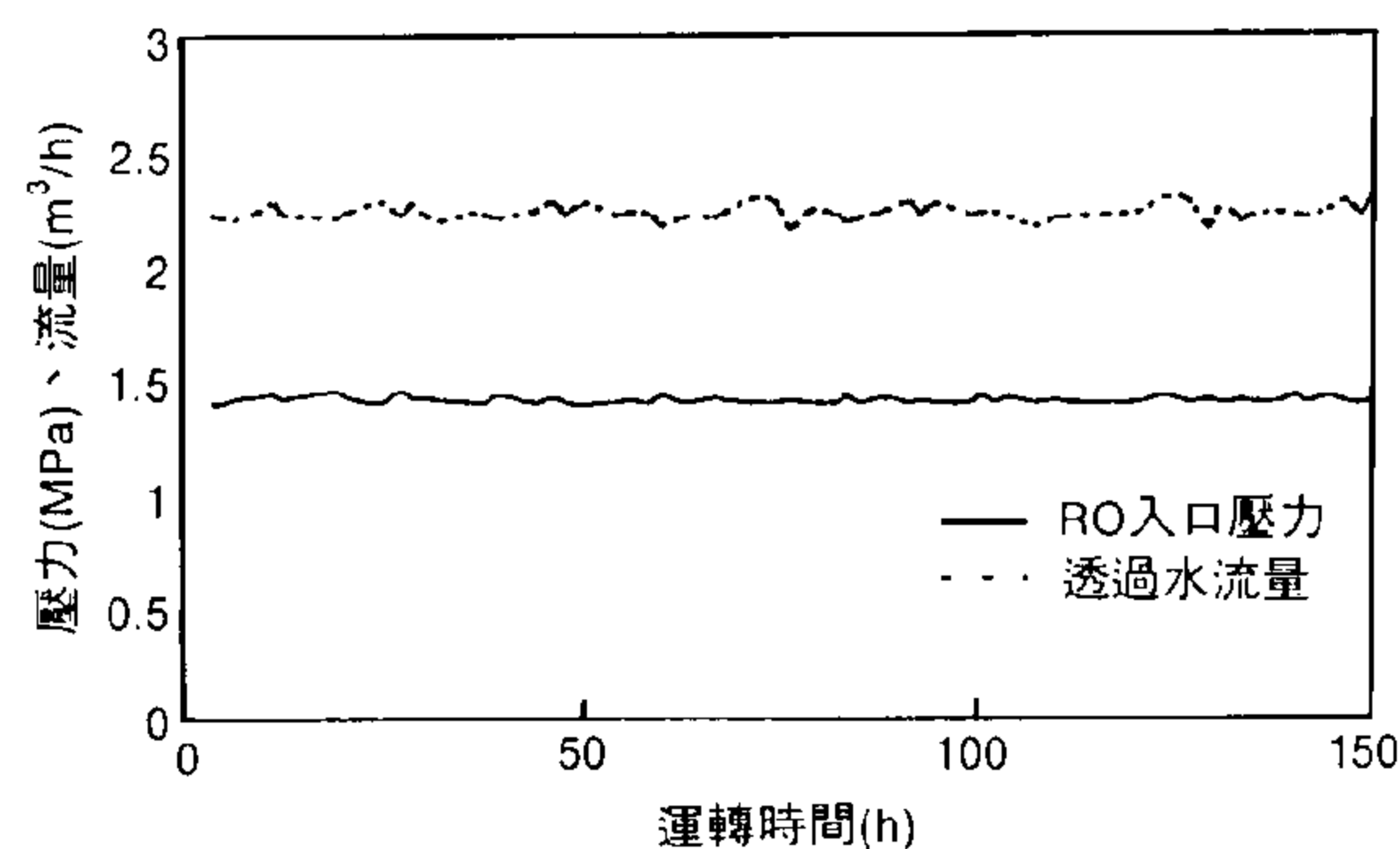


圖 9 CTBD處理運轉資料

表 4 一般的CTBD(Cooling Tower Blow-Down水)水質

pH	8 - 9	Na	200 - 400ppm as CaCO ₃
EC	1500 - 1600μS/cm	K	20 - 60ppm as CaCO ₃
TDS	1000 - 2000ppm	Cl	100 - 300ppm as CaCO ₃
SiO ₂	120 - 160ppm	SO ₄	150 - 300ppm as CaCO ₃
TOC	10 - 20ppm	NO ₃	50 - 80ppm as CaCO ₃
Ca	300 - 400ppm as CaCO ₃	M-ALKALI	400 - 600ppm as CaCO ₃
Mg	200 - 400ppm as CaCO ₃	SS	2 - 3

表 5 HERO濃縮水處理試驗結果

—：無變化 +：有白濁

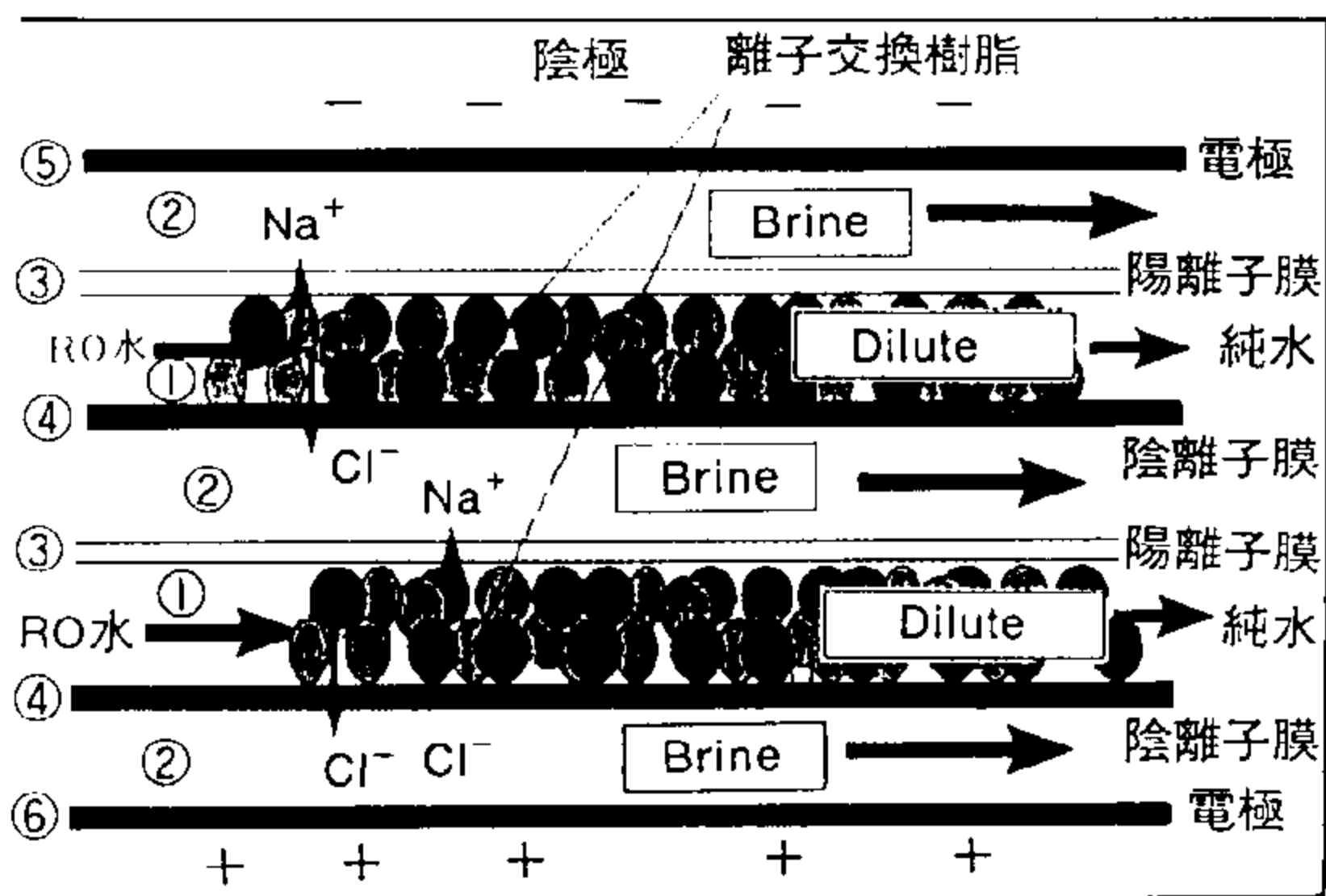


圖 10 EDI之構造

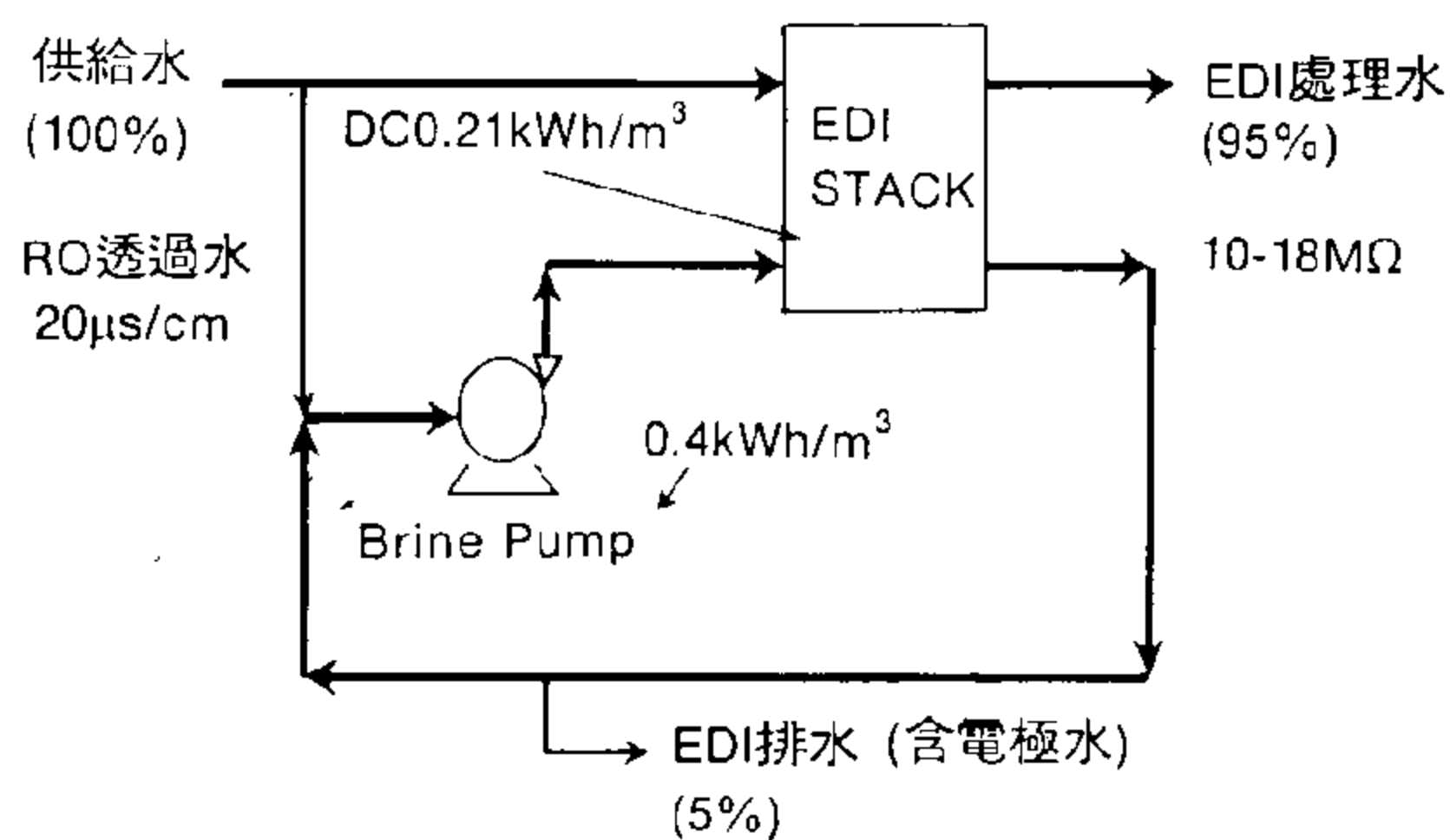


圖 11 EDI 系統結構

會增加，可防止生菌與微生物的Fouling及可減少原水使用量等特性。

另者HERO系統不但是一種純水的製造設備而已，甚至考慮尚可應用至其它用途，如冷卻水塔Blow-down水(CTBD)或CMP等排水回收與蒸發機的前濃縮操作等方面，也就是

應積極研討本系統的更廣泛的用途。

EDI

1. 何謂EDI

EDI為Electrode ionization的簡稱，被翻譯為電氣脫離子設備，EDI在1980年代正式開始研究其工業化，而在1990年代始被商品化的一種新技術。

圖10示 EDI的構造,EDI是由離子交換樹脂與離子交換膜組合而成,然其離子交換膜是由陽離子交換膜、陰離子交換膜與Spacer互相積層的Cell構成,另者,在離子交換膜之間相互充填了離子交換樹脂(陽離子交換樹脂與陰離子交換樹脂混合的狀態),只有充填了離子交換樹脂的層(Dilute)與Spacer的層(Brine)相互積成的構造,往EDI的供給水即通過夾著離子交換樹脂的Dilute層,而被濃縮的離子即流到Brine層,此Cell是由數十個Cell積層,而其兩端有電極,常時不斷加數十至數百伏特左右的直流電壓。離子成分是以下述的原理被去除,而供給水中的離子是由離子交換樹脂被離子交換,被離子交換的離子交換樹脂的表面的離子即由直流電流,陽離子即被陰極、陰離子即被陽極吸引後,在離子交換膜中移動,然後到Brine層,如再往Brine層的前方的話,即會被具有相反極性的離子交換膜阻止而不能移動,離子即在Brine層被濃縮,而被濃縮的離子即變成Brine水連續被排放至系統外,同時供

表 6 EDI的Silica去除率⁽⁴⁾

客 戶	發電廠 1	發電廠 2	IC廠 1	IC廠 2	IC廠 3	IC廠 4
EDI IN	306ppb	165ppb	642ppb	181ppb	393ppb	110ppb
EDI OUT	< 2ppb	< 2ppb	3.1ppb	2.1ppb	< 2ppb	1.7ppb
去 除 率	> 99.3%	> 98.9%	99.5%	98.5%	> 99.5%	98.5%

表 7 EDI的硼素去除率⁽⁴⁾

客 戶	發電廠 1	發電廠 2	發電廠 3	IC廠
EDI IN	14ppb	83.5ppb	64.4ppb	4.7ppb
EDI OUT	0.45ppb	2.8ppb	0.74ppb	0.23ppb
去除率	96.8%	96.6%	98.8%	95.1%

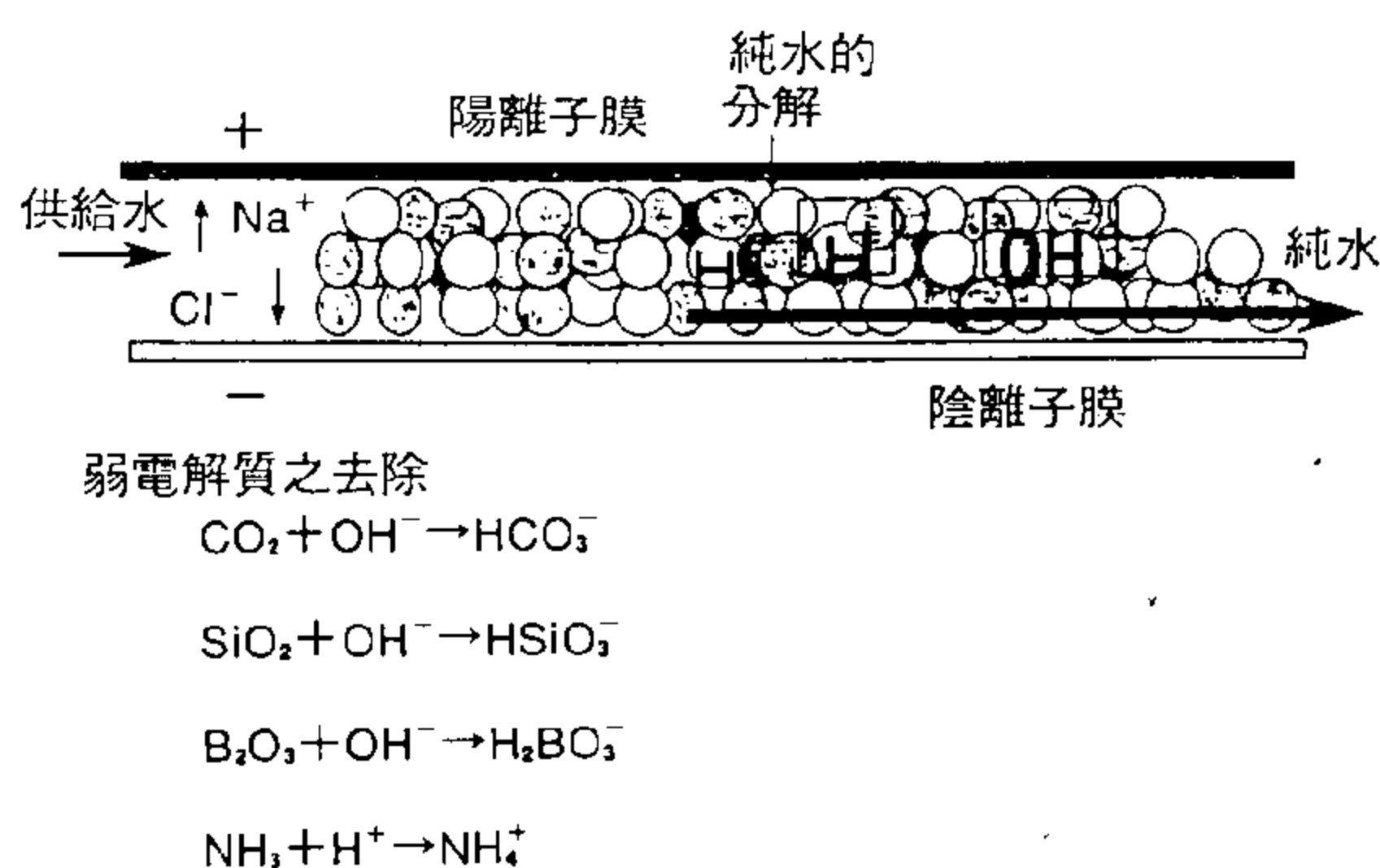
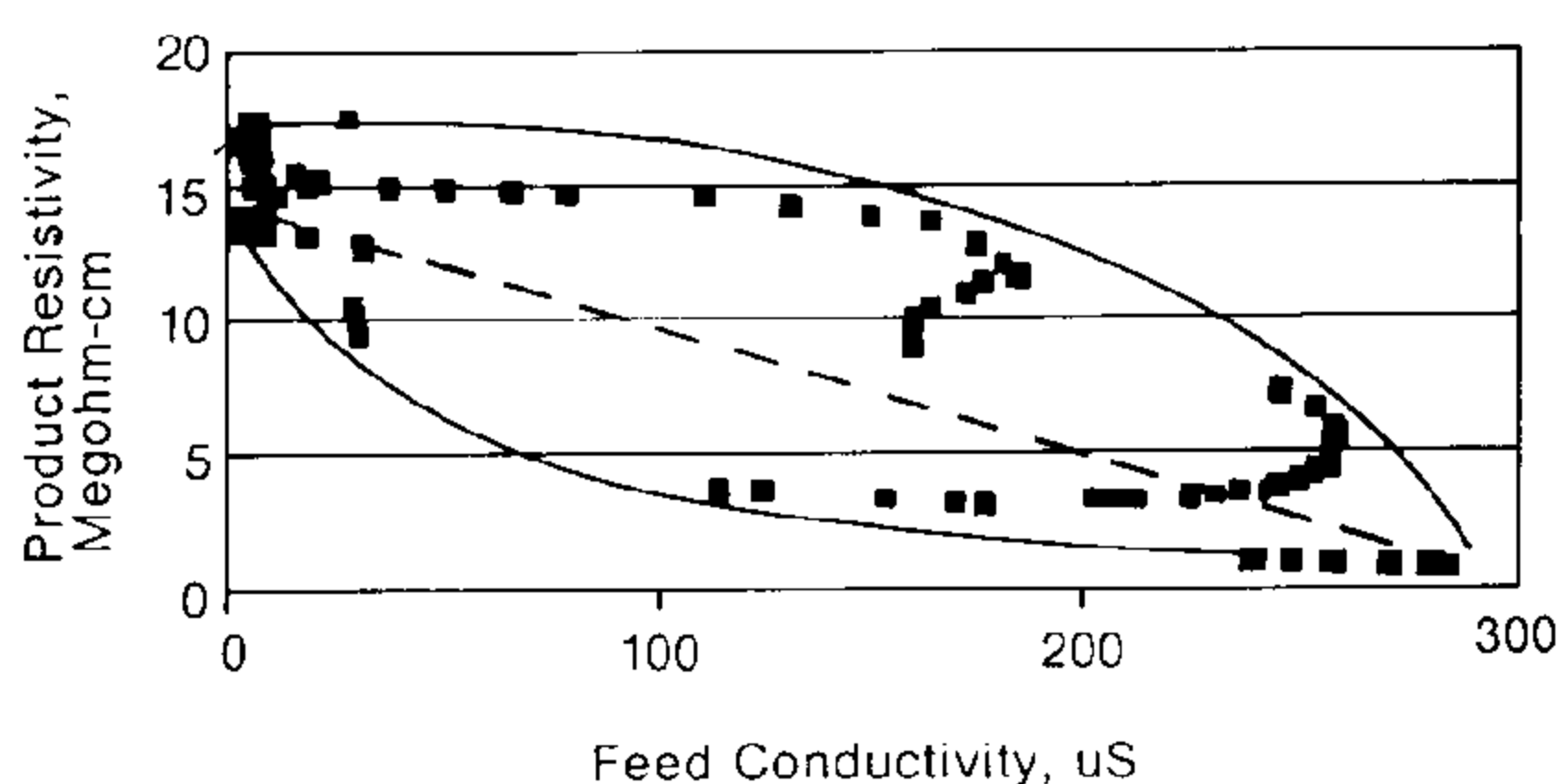


圖 12 由EDI做去除弱電解質的機構

圖 13 EDI應用至回收水⁽⁵⁾

給水中的不純物即被去除而成處理水，與RO等分離膜不同，供給水中的不純物會透過膜，但水分子是不會透過膜為其特徵。

圖11所示者為EDI系統的全部流程，Bri-

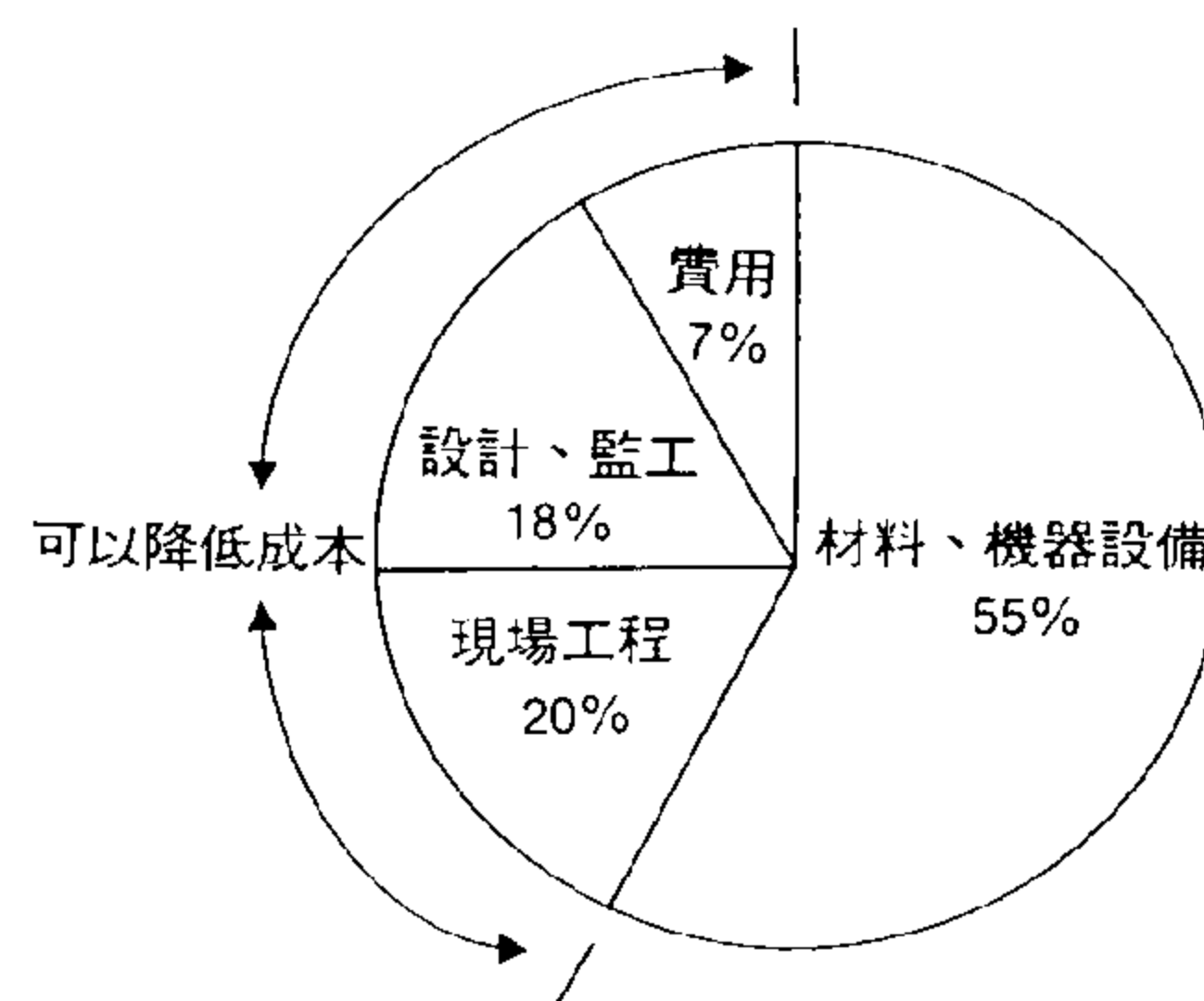


圖 14 PLANT COST的構成比率(大型系統)

ne水由循環幫浦的運轉、循環離子交換膜之間，一面循環一面濃縮離子，由於將Brine水的5%排放至系統外而連續製出純水，如此EDI在製造純水之中根本不需再生作業的一種不純物去除技術。

2. EDI的運轉資料

一般以自來水、工業用水等為原水的純水設備，會以RO+EDI的流程處理，在日本除了特殊的原水之外，RO透過水的導電率是在 $20\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下，如這種RO透過水通過EDI時的處理水比抵抗會達到 $10\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ 至 $16\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ ，以EDI而言，原來對弱電解質尤其對Silica與硼素的去除能力比較差，但用本方式的EDI即解決了上述的問題，EDI的出入口的Silica濃度及其去除率列於表6，而在離子交換樹脂中最難去除的離子的一種有硼素，其去除率即示於表7^[4]，Silica的去除率均為98%，硼素的去除率也在95%以上的高效率，這些弱電解質離子的去除率完全是在RO後端設置

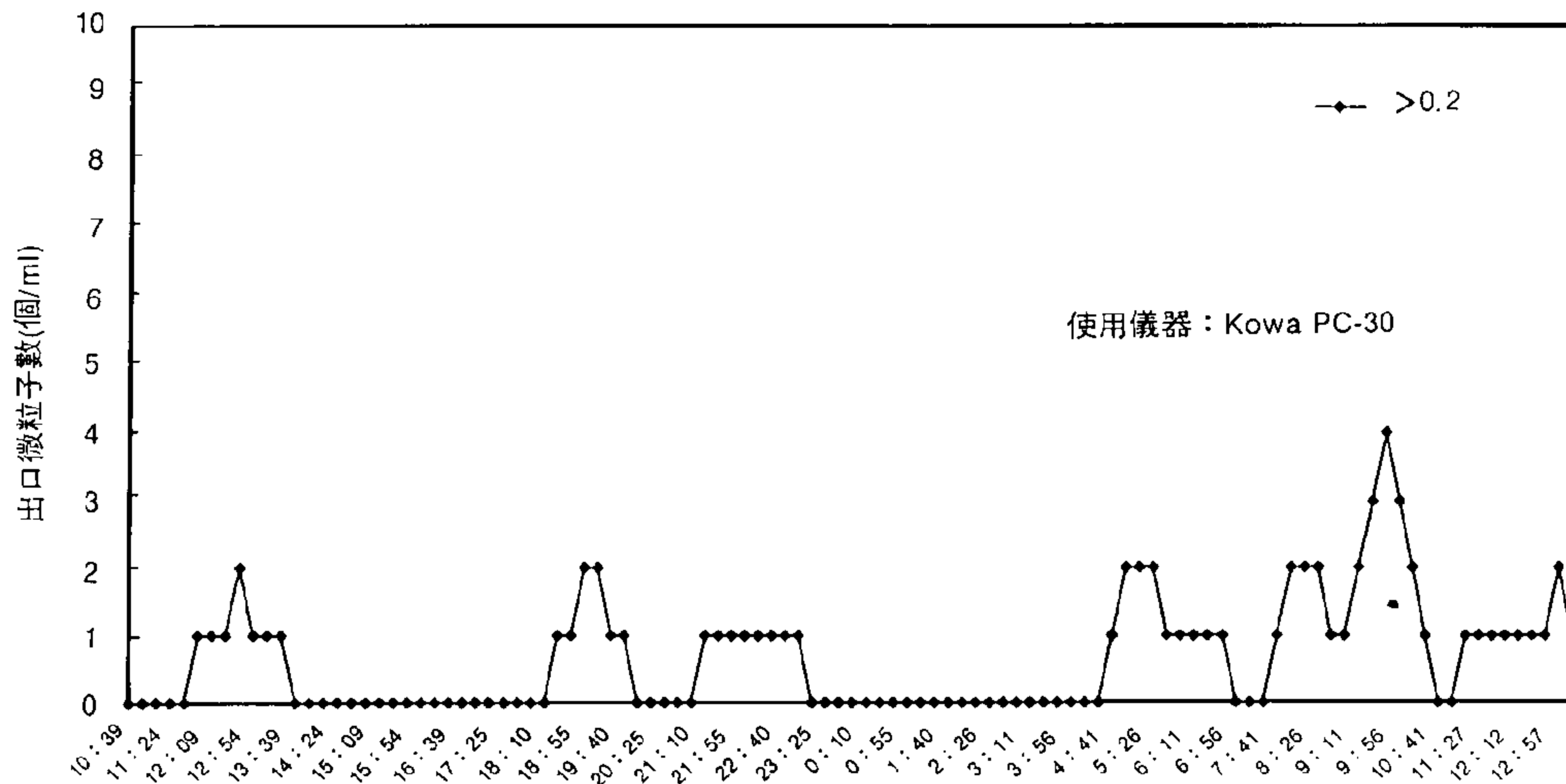


圖15 處理水出口微粒子的變化

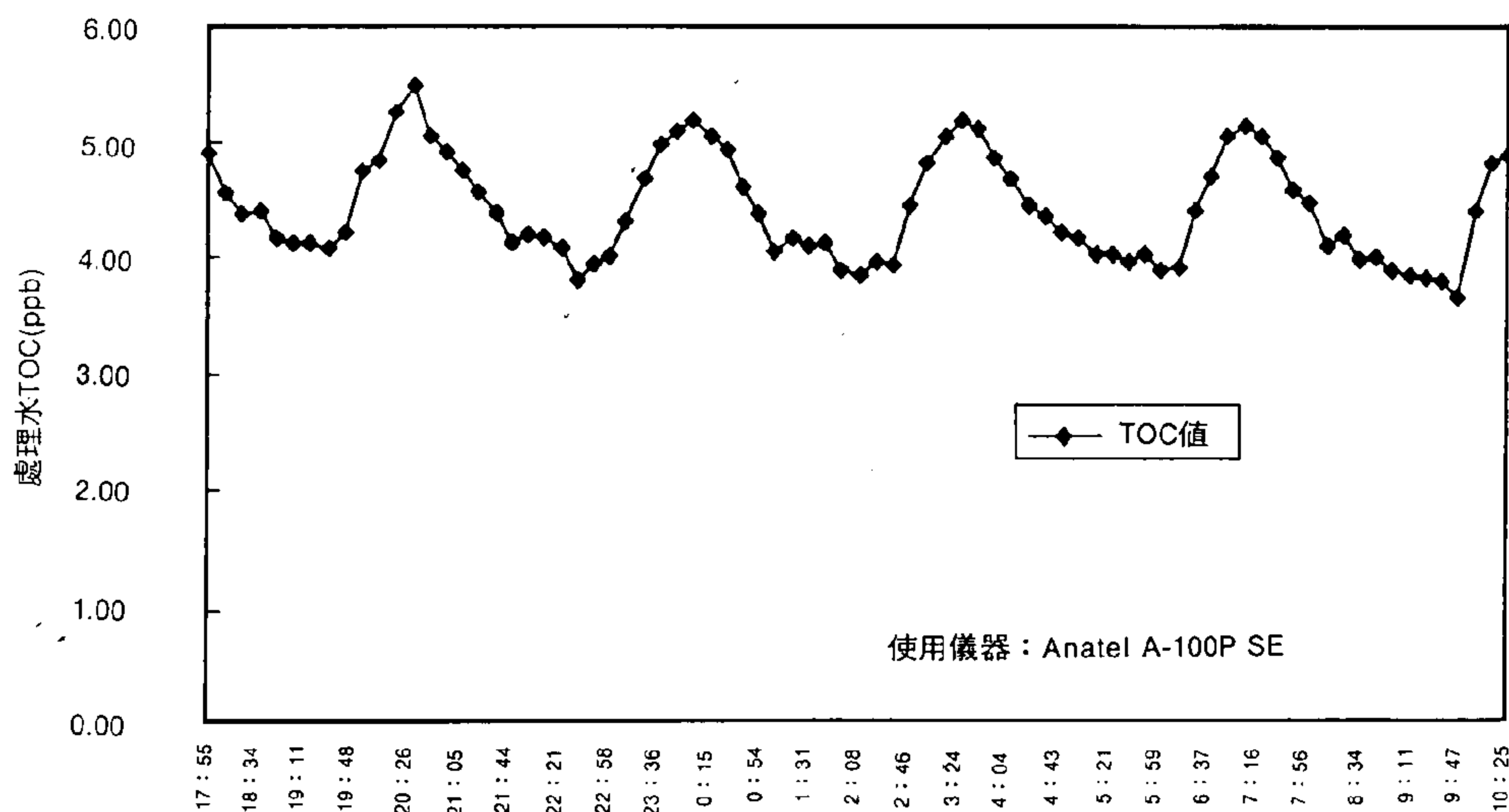


圖16 處理水出口TOC的變化

的EDI的功勞，因此RO+EDI的組合即可充分發揮良好的水質處理效果。

這些弱電解值如何在EDI設備中被去除的Mechanism 請看圖12，CO₂、SiO₂、BO₂、NH₃等在非離子狀態下即不能以離子交換樹脂去除，圖12即顯示EDI的Dilute側的斷面，如

NaCl等的強電解質離子用離子交換樹脂即簡單的被去除，但是一些弱電解質離子的去除即較為複雜，送往EDI的供給水，在最初階段即被去除了強電解質離子成為純水，而加電流於此純水，即在離子交換樹脂的介面，離子交換膜與離子交換樹脂的介面產生水的電解，



上示 H^+ 與 OH^- 使弱電解質離子化，而被離子交換樹脂去除，如此要做弱電解質的去除，需要經過兩階段的反應。

3. 應用到純水回收設備

由自來水與工業用水做為原水而用EDI製造純水的方法已開始普遍並在多方面被採用，最近有鑑於環保問題有人開始研究在回收設備上應用EDI，惟要使用EDI時即需注意鈣、鐵及鎂的濃度，因為這些都會成為降低EDI性能的原因，幸好在半導體工業中的回收水均不含這些成分，故在EDI的運轉上障礙較少，可是有PH低與導電率高的問題存在，一般回收水約在 $100\mu\text{S}/\text{cm} \sim 300\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右，比一般的EDI入口水質的 $20\mu\text{S}/\text{cm}$ 比較，即有相當高的數值，針對這個問題有學者發表了他的研究^[5]，圖13示EDI的入口導電率與EDI出口比抵抗的關係，EDI的入口導電率一增加即出口比抵抗有減少的現象，由此結果可知如欲將EDI應用在回收設備時，回收水質如在 $200\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下的範圍時即可充分發揮其功能。

4. 應用EDI的Unit-type型純水設備(開發NOMURAX)

日本N公司新開發一種再生時不必使用藥品充分發揮EDI優點的Compact設備，下面說明其開發的觀念及性能等。

(1)開發的基本觀念(概念)

一般 $10\text{m}^3/\text{H}$ 以上的純水設備，大部分在客戶的半導體工廠或液晶工廠內建造，但是為了節省建造成本只有從現場裝配、設計、管理費用等方面著手來節省，請看圖14因為材料與機械設備費用是固定的，實際上很難降低成本，因此為了降低成本及針對下面兩項重點去開發：

①事先設計所有的純水設備並予以標準化。

②從裝配組立至試車階段的工作都在純水設備製造工廠內進行，以求現場工

期的縮短。

因實施上述兩項工作，使得純水設備的標準化及高功率生產方法終於獲得實現。

(2)NOMURAX的性能

日本N公司製造的NOMURAX是以1次純水設備為目的而開發的，該設備的處理水質如圖15及圖16，可看出做為1次純水，其微粒子、TOC均有很安定的水質。

目前該公司的產品系列從 $10\text{m}^3/\text{H}$ 至 $100\text{m}^3/\text{H}$ 的純水設備均已標準化，可應用到IC與LCD工業。

結 語

純水設備的標準化及PRE-EAB化，可使IC與LCD製造廠的廠務人員減少勞力並縮短工期，除此之外，如前述超純水製造系統，其目的即是純水水質的提升之外，投資費用、運轉費用、設備占用空間、維修費用、廢棄物量的削減等問題，仍須不斷的努力去改良及開發才是最重要的課題。 4

參考資料

- [1] D. Mukhopadhyay and S.S Whipple, High Efficiency Reverse Osmosis System, Proceedings of the 16th Semiconductor Pure Water And Chemicals Conference, Vol.1, 1-20(1997).
- [2] Hamida, Ali B., Mock, Irving Jr., Controlling Biological Fouling in Open Sea Intake RO Plants without Continuous Chlorination, Desalination and Water Reuse. Vol. 6/3.
- [3] T. Ohmi(ed.), "Ultaclean Technology Handbook Vol. 1 Ultrapure Water", pp.268-277, Marcel Dekker Inc., New

York, New York(1993).

- [4] Brian Hernon, Hilda Zapanalidou, Li Zhang, REMOVAL OF WEAKLY-IONIZED SPECIES BY EDI, IWC-98-32, 1998.
- [5] RUSS PAREKER, Ph. D, ELCTRO-DEIONIZATION EVALUATION IN A SEMICONDUCTOR FAB RECYCLE SYSTEM, Proceedings of the 18th Semiconductor Pure Water And Chemicals Conference, Vol. 1, pp.219-238, SPWCC 99, 1999.

作者簡介

杉山 勇 日本野村MICRO-SCIENCE(株)開發部部長。

知野 秀一 日本野村MICRO-SCIENCE(株)開發部系統研究員。

1 月專輯主題計劃

資訊家電

專輯

杭學鳴

主編

主題：

資訊家電產業發展趨勢

潘泰吉

有線數位電視機上盒技術標準

王志民

資訊家電相關技術與發展

林寶樹／朱亞成／陳正君／吳炯憲

資訊家電產業的形成與發展

王振益

微機電系統與感測器
專輯

黃遠東

主編

主題：

淺談微冷卻器之技術開發

王志耀

微熱阻式紅外線陣列感測元件之設計與應用

李宗昇

微系統類 LIGA 製程與應用技術

楊啓榮／郭文凱／強玲英／謝佑聖／李裕德

熱輻射微感測元件技術

杜政勳

感測器電路設計的要點

劉台徽