

公務出國報告

(出國類別：實習、考察)

「觀摩學習日本高級處理廠、海水淡化廠之設計、操作及管理技術」心得報告

服務機關：台灣省自來水股份有限公司

出國人：工程員 陳文祥

出國地點：日本

出國期間：自 94 年 7 月 11 日至 94 年 7 月 22 日

報告日期：94 年 10 月 3 日

公務出國報告提要

出國報告名稱：觀摩學習日本高級處理廠、海水淡化廠之設計、操作及管
理技術心得報告

頁數：54 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣省自來水股份有限公司 陳文祥 (04) 22244191 轉 355

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：自 94 年 7 月 11 日至 94 年 7 月 22 日

出國地區：日本

報告日期：94 年 10 月 3 日

分類號/目

關鍵詞：自來水高級處理、微過濾薄膜、超過濾薄膜、逆滲透薄膜、電
透析薄膜

內容摘要：

在傳統淨水程序中，我們利用混凝、膠凝、沉澱及過濾的方式去除水中物理及化學性污染物的去除，最後再以消毒的方式去除水中致病性的微生物。其中快濾單元為最基本也是最重要的把關程序，但事實上以目前世界上的淨水品質提升的趨勢而言，這樣的淨水處理單元已經越來越受質疑，尤其在水中微生物部分，雖然在後端經過消毒處理才送到用戶端，但我們已漸漸了解到因未能完全去除所衍生的健康危害風險，其

中以梨型蟲及隱孢子蟲在淨水品質上被發現可能潛在的健康危機。

美國環保署自 1990 年代初期開始，就相關的淨水程序提升的議題上有了新的體驗，針對薄膜技術的導入，終將是一個值得開發深入探究的領域，經過了學界及實務界的討論，在 2003 年推出了「MEMBRANE FILTRATION GUIDANCE MANUL」技術手冊，藉以整合薄膜技術在淨水領域的研究及實際操作營運等實際利用的經驗，並透過這些醒思與探究，提出了未來對於薄膜技術在淨水領域的綱領及新契機。

日本是我們的鄰近國家，他的地理、氣候條件與台灣相類似，早在 1900 年代開始，即積極發展薄膜技術在淨水技術上的利用，經過 10 年的研究與開發，日本水道技術研究中心在 2002 年 7 月發表的「高效率淨水技術開發研究 ACT21」，即指出薄膜在未來淨水領域中的必要性及廣大的市場，而於同年 12 月即推出「水道用膜ろ過技術の新しい展開」以作為推動淨水薄膜技術的指導原則，相信在未來淨水薄膜技術將是一項革命性的新發展，深深影響淨水技術。

本次參訪學習，主動蒐集與瞭解日本的淨水處理技術與觀念，對於國內淨水技術與能力將有極大助益，也能滿足用戶對於自來水品質提升的殷切期待。

目 錄

壹、前言與考察目的	6
貳、考察過程	
一、考察行程	8
二、參訪單位概述	9
(一) 南串山町-小竹林淨水場	9
(二) 御狹市-野口淨水場	9
(三) 大島町-南部淨水場	10
(四) 沖繩縣-北谷海水淡化場	10
(五) Astom 公司研究中心	11
(六) AsahiKASAI 公司研究中心及薄膜工廠	11
(七) Toray 公司研究中心、實驗模廠及薄膜工廠	12
參、參訪心得	
一、薄膜程序在淨水程序中的發展及利用	14
二、逆滲透薄膜 (RO)	
(一) RO 淨水工程技術	18
(二) RO 淨水實例	21
三、微過濾 (MF) 及超過濾 (UF) 之淨水工程技術	
(一) MF、UF 淨水工程技術	26
(二) MF、UF 淨水實例	27
四、電透析離子交換薄膜 (ED)	
(一) ED 淨水工程技術	60
(二) ED 淨水實例	37
肆、結論與建議	52
伍、參考文獻	53

圖目錄

圖 1 各種薄膜去除污染物大小示意圖.....	15
圖 2 逆滲透示意圖.....	17
圖 3 RO 薄膜結構圖.....	18
圖 4 捲式 RO 薄膜示意圖.....	18
圖 5 RO 海水淡化模廠及流程示意圖.....	19
圖 6 北谷海水淡化廠流程示意圖.....	22
圖 7 MF/UF 薄膜的結構.....	25
圖 8 御坊市野口淨水場 MF 淨水流程圖.....	27
圖 9 陰離子交換薄膜化學結構.....	30
圖 10 陽離子交換薄膜化學結構.....	31
圖 11 離子交換薄膜示意圖.....	31
圖 12 電透析離子交換薄膜基本原理示意圖.....	32
圖 13 一價離子選擇性離子交換薄膜的示意圖.....	33
圖 14 電透析離子交換薄膜、逆滲透膜 (RO) 及離子交換樹脂 之原水濁度與每噸水耗電量比較圖.....	35
圖 15 電透析離子交換薄膜去除硝酸鹽示意圖.....	39
圖 16 為電透析離子交換薄膜處理機制圖.....	41
圖 17 大島町地區淨水場相關位置圖.....	46

表目錄

表 1 不同膜的諸元及用於淨水程序中去除的標的污染物.....	16
表 2 北谷海水淡化廠原水、清水水質.....	21
表 3 北谷淨水廠設備功能諸元.....	23
表 4 各種離子在海水及滷水中的百分比組成.....	33
表 5 各種淡化薄膜技術所使用的淡化示意.....	34
表 6 電透析離子交換薄膜與逆滲透薄膜去除膜硝酸鹽氮之比較.	37
表 7 電透析離子交換薄膜機組設備功能諸元.....	40
表 8 電透析離子交換薄膜機組處理前後水質.....	42
表 9 大島町北山淨水場、南部淨水場功能諸元.....	47
表 10 大島町北山淨水場、南部淨水場操作諸元.....	48

壹、前言與觀摩學習目的

一、前言：

本公司為台灣地區最大自來水供應事業，生產用水供應民生及工業使用，各式淨水場計有 570 座，另有以地下水加藥直接供應方式，每日總出水量為 830 萬噸，總服務人口約 1600 萬人，本公司經營自來水事業已經超過 30 年，在這些長時間的經驗累積下，我們創造了供水普及率高達 90% 以上的好成績，但不可諱言的，在淨水程序、技術的提升上還有許多值的努力的，藉以整合薄膜技術在淨水領域的研究及實際操作營運等實際利用的經驗，並透過這些醒思與探究，連結未來對於薄膜技術在淨水領域的綱領及新契機。

二、觀摩學習目的：

(一) 本公司部分淨水場原水特性水質變化大、高濁度等及所需達到的淨水目標，考察可資提供使用之各項有用之工程技術或商品設備，以及這些日本目前實場使用的現況及操作管理技術，以提供本公司淨水技術改善之參考。

(二) 了解目前先進薄膜技術用於海水淡化 (seawater desalination)、鹽井水 (brackish water desalination) 淡化及淨水高級處理 (硝酸鹽氮、氨氮、鐵、錳、砷、鈣、鎂、臭味、藻類、微囊藻毒等處理) 之應用實例 (實場操作運轉情形)，以檢討改善本公司目前操作營運中之機組，並探討先進技術於本公司使用之可行性。

(三) 考察薄膜製造商之薄膜製程、品管、研究、實驗及相關標準操

作程序 (SOP) 及維護制度建制，另薄膜膜組 (Modulus) 之規劃、設計、施工及相關設備之材料、材質、組裝設備等之工程技術，及新進開發的技術，以供本公司未來選購商品之參考及相關技術、工程合約規範之訂定。

(四) 蒐集日本淨水場淨水處理相關之政策、目標、技術以及未來發展趨勢，以作為本公司規劃淨水願景 (Vision) 之參考。

(五) 了解各相關製造商提供產品或高級淨水設備，以作為本公司模場試驗 (pilot - test) 之可行性及技術合作模式，以因應未來台灣地區日趨嚴格的飲用水質標準，作為本公司可採用先進淨水技術之先期研究及探討。

貳、考察過程

一、考察行程

考察期間為自 94 年 7 月 11 日至 94 年 7 月 23 日共計 13 日（含例假日）。

月	日	星期	工作記要
7	11	一	啟程赴日
7	12	二	觀摩長崎縣南串山町 ED 去 NO ₃ 淨水場
7	13	三	觀摩和歌山縣御坊市 MF 去微生物淨水場
7	14	四	拜訪富士 Asahi 及 Astom 公司薄膜製造廠及研發中心
7	15	五	觀摩東京都大島町 ED 去鹽井水淨水場
7	16	六	資料整理
7	17	日	轉赴京都
7	18	一	拜訪石山 TORAY 公司水處理總部
7	19	二	拜訪 TORAY 公司水處理技術部門
7	20	三	拜訪 TORAY 公司薄膜研發部門及檢驗技術研發中心
7	21	四	觀摩松山市 TORAY 公司模型場及 RO 製造工廠
7	22	五	觀摩沖繩 4 萬噸海水淡化廠
7	23	六	離日返台

二、參訪單位概述

(一) 南串山町-小竹林淨水場

小竹林淨水場位於日本長崎縣高來郡南串山町西部地區，該地區農業活動興盛，為日本著名的蔬果產地，主要作物為馬鈴薯及大根（蘿蔔），因此使用肥料及農藥情形相當普遍，區內沿海岸線地區是重要的溫泉觀光勝地，每年吸引大批外地觀光人口。

平成元年（1989）間該地區進行例行水質檢查時發現，硝酸鹽氮有上昇的趨勢，已逐漸逼近法規限值 10 mg/l，經過多次追蹤監測在平成 3 年發現上昇越趨明顯，於是相關單位決定進行水質改善計畫以去除水中硝酸鹽，當時評估的技術有兩類，一是電透析離子交換薄膜（ED），一是逆滲透薄膜（RO），進行為期 2 年的模場相關實驗，其模場實驗評定結果，認為電透析離子交換薄膜為較佳的水質處理技術，進行水中硝酸鹽去除有較佳的效果及穩定性，對於操作維護的人力及成本亦較低。

(二) 御坊市-野口淨水場

野口淨水場位於和歌山縣御坊市東方，該地區附近為主要的農牧發展區，隨處可見花卉、稻作等農耕，御坊市水道局創設於昭和 28 年，初期計劃供應人口 3 萬 1,750 人，總出水量 7,100 CMD，每人每日平均需水量為 150 公升，分別由野口淨水場（河南水系）及藤井淨水場（河北水系），至平成 16 年 4 月以本次參訪的野口淨水場而言（佔御坊市 40% 人口），計畫供應人口 2 萬 9,100 人，總出水量 7,350 CMD，每人每日平均需水量高達 720 公升，其水源來源為淺層地下水（井深 38M、25M），受到地面畜牧廢水污染嚴重排放，影響水質甚具，大腸桿菌、厭氧性芽孢菌在原水中被測出，原來使用次氯酸鈉消毒，但當地水質有機污染物

含量亦高，恐有因造成消毒副產物三氯甲烷高濃度生成，經過檢討決定採用 MF 薄膜進行微生物之去除，以確保飲水安全。

日本厚生勞動省對於原水中指標性微生物指標甚為重視，經檢出超過標準值，必須立即進行改善，本案經地方政府決定後，獲得中央支持，遂以向基金貸款方式進行淨水處理技術改善。

（三）大島町-南部淨水場

大島町位於東京都東南端伊豆群島，面積 91.06 平方公里，該群島係由火山爆發生成，隨處可見火山灰堆積或火山遺跡，造成當地地下水二氧化矽含量高達 50mg/l 以上，該島入民約 1 萬人，從事農耕及觀光事業。

因位處離島，地下水為飲用水主要來源，由島上的北山淨水場（3000 CMD）及南部淨水場（1500 CMD）供應自來水，但人口增加加上發展觀光事業，因地下水需求量增大，經常其超抽影響地下水逐漸鹽化而不適飲用，自 1991 年開始大島町檢討使用地下水去鹽技術，經考慮操作便利性、產品耐久性及經濟效益後，決定採用電透析離子交換薄膜進行鹽井水淡化。

（四）沖繩縣-北谷海水淡化場

因沖繩地區人口快速成長加上觀光客湧入，相關經濟活動快速發展，也因此對於水的需求量大增，在 1972 年需水量約 20 萬 CMD，到 2003 年則增加到 42 萬 CMD，短短 32 年間需水量增加一倍，未來更有需求成長。為因應龐大的需水，日本政府積極開發新水源，包括水庫興建、河川引水及鑿井等，但因其氣候及地理條件（河川短促），在降雨不豐時

期則會發生嚴重乾旱，在 1981 到 1982 年間曾經有 326 天未降雨的紀錄，造成該地區嚴重水源短缺及不穩定的問題，沖繩縣政府為解決當地水的問題，於是決定將環繞於四周豐沛的海洋資源作為用水的來源。

自 1977 年開始進行調查研究，1992 年完成整場設計，1995 年進行部份出水（1 萬 CMD），1996 年出水量增至 2.5 萬 CMD，1997 年全場興建完成 4 萬 CMD。

（五）Astom 公司研究中心

Astom 公司由 AsahiKASAI 公司及 Tokuyama 公司技術合作投資設立，並且為拓展歐洲市場與法國 EURODIA 公司策略聯盟，其主要商品為電透析離子交換薄膜，其應用範圍包括食品醫藥（脫鹽、去蛋白、胺基酸製造、有機酸製造等）、環境使用（海水淡化、鹽井水淡化、硝酸鹽去除、廢水處理等）以及深層海水製造及相關副產品，並且生產陽離子交換薄膜、陰離子交換薄膜、雙性離子交換薄膜及管狀薄膜（NEOSEPTA™），在 Astom 公司研究中心除了進行各項運用的開發外，更提供了各種不同需求用途的檢測，藉由該中心之各式測試模組，將客戶提供之原料樣本進程序檢驗及使用測試，找出最佳搭配組合建置適當模型機（pilot），經完成實驗分析後進行運轉機組測試，以達到最佳操作狀態。

（六）AsahiKASAI 公司研究中心及薄膜工廠

旭化成公司 2004 年總生產淨值超過 118 億美元，經營範圍主要包括化學、化學相關產品、纖維、電子、營建材料、醫藥等，其中薄膜部分係屬化學、化學相關產品，產品開發有 MF、UF（Hollow fiber Microza™ 系列產品）、離子交換薄膜等淨水用薄膜，以及醫藥用透析薄

膜（洗腎膜），另外並與 ASTOM 公司（原為子公司現已獨立）合作推展電透析離子交換薄膜，並提供薄膜清洗藥劑及相關技術支援，該公司並未生產 RO 薄膜，故在進行工程化時與 PALL 合作，尤其在廢水回收部份，MF 一般認為是 RO 的前處理程序，但目前該公司 MF 產品卻大多使用在單獨的淨水程序中，在近年來日本方面發展淨水技術中發現，採用 MF 技術於傳統淨水處理有高經濟性、低用地及操作穩定的優點，於是 AsahiKASAI 公司積極推動。

在 R&D 及實驗室部份，Asahi 的 UF/MF 系統主要研發為 Hollow fiber Type，系統每一列是由數十根病列模組排列而成，每一模組內部則由數千到數萬根中空絲薄膜所組成，其內徑約 0.7 mm，外徑約 1.3 mm，薄膜的孔徑大小（pore size）0.1 μ m，MF 的中空絲薄膜的材質是 PVDF 有較佳的抗氧化能力，模組外殼為 PVC，其 R&D 部門曾做過相關實驗當加入 0.2~1ppm 臭氧時，可大幅提昇通量（flux），R&D 部門亦針對 MF 摩的 CIP 及 EFM（enhance flux maintenance）清洗藥劑及清洗條件進行測試，實驗室主要的檢測項目為電子顯微鏡（SEM）膜結構及表面觀察、膜洩漏測試、膜洩漏流量測試、膜張力測試及老化測試、膜結垢物分析、各種清洗劑的浸泡試驗等，對於其產品管制相當嚴謹。

在 Hollow fiber 組裝工廠，目前有四條生產線，每月可生產 600~800 支六吋 MF 模組，主要製程為 PVDF 原料加溶劑及相關配方、加熱熔融、射出成型、乾燥、剪裁、固定、封裝、加壓測試、試漏流量測試及包裝等。

（七）Toray 公司研究中心、實驗模廠及薄膜工廠

Toray 公司成立於 1926 年，2004 年總生產淨值超過 120 億美元，員工人數超過 3 萬 2 千人，主要產品包括：纖維、塑膠、化學、通訊器

材、建築、醫藥及水處理等，其中在水處理領域以薄膜技術為最主要，投入相當人力財力進行研發，並利用與其他公司合作的綜合實力，開展海水淡化、自來水生產以及廢水再回收利用等。

在水處理事業中，從研發、系統、薄膜生產、工程事業、維護等建構完整的水處理組織，而其中 RO 之研發生產佔日本重要地位。

在松山市，Toray 公司為研發需求建置實驗模廠一座，對於不同海水水質進行系統組合測試，由實驗中累積操作參數及系統設計，更能有效提供實際海水淡化廠設計參考。

參、參訪心得

一、薄膜程序在淨水程序中的發展及利用

在傳統淨水程序中，我們利用混凝、膠凝、沉澱及過濾的方式去除水中物理及化學性污染物的去除，最後再以消毒的方式去除水中致病性的微生物。其中快濾單元為最基本也是最重要的把關程序，但事實上以目前世界上的淨水品質提升的趨勢而言，這樣的淨水處理單元已經越來越受質疑，尤其在水中微生物部分，雖然在後端接經過消毒處理才送到用戶端，但我們已漸漸了解到因未能完全去除所衍生的健康危害風險，其中以梨型蟲及隱孢子蟲在淨水品質上被發現可能潛在的健康危機。另外在消毒副產物部分(DBPs)，因諸多資料顯示 DBPs 對於人體健康的影響，因此，對於消毒藥劑的種類、添加量及有機物潛質等，有越來越多的討論，在跳脫傳統淨水程序的思維下，美國環保署自 1990 年代初期開始，就相關的淨水程序提升的議題上有了新的體驗，針對薄膜技術的導入，終將是一個值得開發深入探究的領域，經過了學界及實務界的討論，在 2003 年推出了「MEMBRANE FILTRATION GUIDANCE MANUL」技術手冊，藉以整合薄膜技術在淨水領域的研究及實際操作營運等實際利用的經驗，並透過這些醒思與探究，提出了未來對於薄膜技術在淨水領域的綱領及新契機。

雖然薄膜處理技術在近年來快速發展，但實際嘗試利用在淨水處理上是最近十年內的事，逆滲透(RO)自 1960 年代開始用於海水淡化，而 1980 年代才開始嘗試以 NF (nanofiltration) 進行軟化及有機物(TOC) 的去除，而商業上利用可逆洗的薄膜 UF (ultrfiltration)、MF (microfiltration)則是自 1990 年代才開始大量使用，而漸漸的受到淨

水領域的重視，而開始反思原有的淨水程序及相關的法規要求。

在 1986 年美國環保署頒布表面水處理規則 (SURFACE WATER TREATMENT RULE, SWTR) 要求淨水處理程序，梨型蟲 (Giardia) 須有 3 log 的去除率，病毒須有 4 log 的去除率，而且在就超過 1 萬人以上的供水系統需進行連續性的監測，以確保用水健康，以傳統淨水程序而言要達到上述的要求並不容易，許多淨水場以提高 CT 值的方式滿足要求，但考量消毒副產物及成本等問題，因此，對於薄膜技術的發展在淨水領域上的使用，遂變成一項重要的課題，不只是美國，日本在 1990 年代開始即針對淨水高級技術進行研究，由日本政府出資交由水道技術研究中心進行為期長達十年的研究計畫，除了重新檢討原有的淨水技術外，引進了學界多年經新開發的淨水新技術，而其中 38 項技術中，薄膜處理程序相關已接近半數，在 2002 年 7 月發表的「高效率淨水技術開發研究 ACT21」，即指出薄膜在未來淨水領域中的必要性及廣大的市場，而於同年 12 月即推出「水道用膜ろ過技術の新しい展開」以作為推動淨水薄膜技術的指導原則，相信在未來淨水薄膜技術將是一項革命性的新發展，深深影響淨水技術。

綜觀淨水薄膜處理技術乃以物理性的方式分離、去除水中不純物質，產出可供使用的自來水，因對於欲分離物質有其不同的去除對象適用範圍，如圖 1 所示，為不同膜的孔徑大小與相對的去除水中物質的大小示意圖，表 1 則為不同膜的諸元及用於淨水程序中去除的標的污染物，這許多的水中物質去除是傳統淨水技術所無法達到的，從這些資料顯示，在不久的將來，因人們對於飲用水品質要求的提升，相對的相關的處理技術將更被要求，以達到合乎民眾期待的水質，所以，高品質淨

水技術的提升，將是自來水供給事業必須面對，也將被要求走在民眾需求的前端，而淨水薄膜技術將這一新觀念的起點。

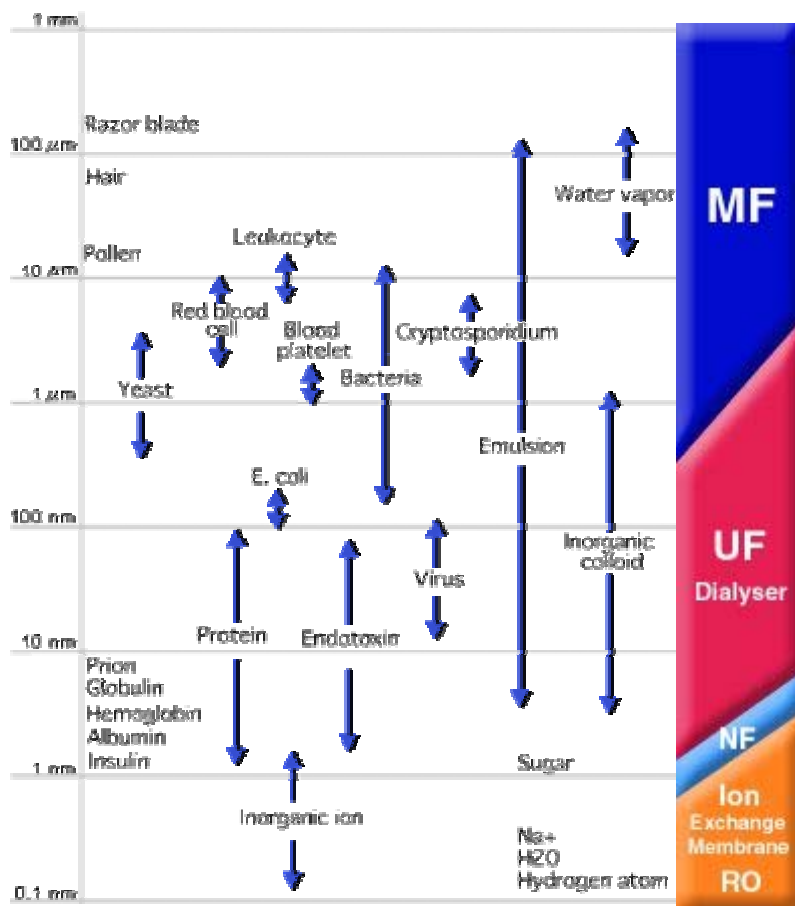


圖 1 各種薄膜去除污染物大小示意圖

表 1 不同膜的諸元及用於淨水程序中去除的標的污染物

	MF	UF	NF	RO
孔徑	0.01~10 μm	1 ~ 30 μm	-	-
去鹽率	-	-	5 ~ 93 %	93 %以上
通量	0.5 m/d (25°C 100kpa)	0.5 m/d (25°C 100kpa)	0.05 m/d (25°C 1Mpa)	0.05 m/d (25°C 1Mpa)
操作壓力 (KPa)	5~200	10~300	300~1,500	400~3,000
膜構造	均質、非對稱	均質、非對稱	非對稱、複合	非對稱、複合
膜材質	CE、PAN、PE、PP、 PS、PVA、PVDF	C、CA、CE、PAN、 PES、PS	CA、PA	CA、PA
製膜法	相轉換法、延伸 法、燒結法	相轉換法、 燒結法	相轉換法 (界面重縮合)	相轉換法 (界面重縮合)
膜型態	中空絲型、捲型、 管型、平膜型、模組型		中空絲型、捲型、平膜型	
除去對象	濁度、藍綠藻、大 腸桿菌、細菌、藻 類、黃酸	濁度、藍綠藻、大 腸桿菌、細菌、藻 類、病毒、黃酸	農藥、黃酸、腐植 酸	農藥、無機鹽類、 硝酸鹽類

二、逆滲透薄膜 (RO)

(一) RO淨水工程技術

RO薄膜在淨水程序中最常使用在溶解性污染物的去除，例如鈣、鎂離子移除的軟化程序或是淡化程序，在RO的去除效率，以分子重量去除率 (Molecular Weight Cut-Off, MWCO) 來表示，RO的分子重量去除率必須小於100 Daltons (單位質量，一個氫原子的重量)，也就是如同溶解性物質的分子篩，RO被視為半滲透薄膜，故不探究其薄膜孔徑，而是以滲透的觀念解釋溶解性物質的去除 (無法被滲透經過薄膜)。

滲透是自然界中流體受到驅動力而移動的行為，當薄膜兩關的濃度、亂度及溫度條件等所造成的流動趨勢 (fugacity) 會使流體產生移動直到平衡達成為止，而逆滲透則是將這種自然移動的趨勢加以逆轉，而產生與原來傳送方向相反的流動，下圖就是來說明滲透及逆滲透的行為，當 (a) 時，左邊注入海水，右邊注入清水，因流動趨勢不平衡，使得清水由右邊流向左邊 (b)，其中鹽類在左邊為高濃度照理應會流向右邊，但是受到薄膜阻擋無法通過，所以，只能由水流入左邊而達到平衡，而逆滲透則是在左邊外加能量 (通常為壓力) 逆轉這個趨勢，使水由左邊劉向右邊 (c)，而達到海水淡化的目的，一般RO逆滲透控制壓力在5.6-10.5 Mpa，清水回收率約在30~50% (是其提供壓力、溫度及海水TDS而定)。

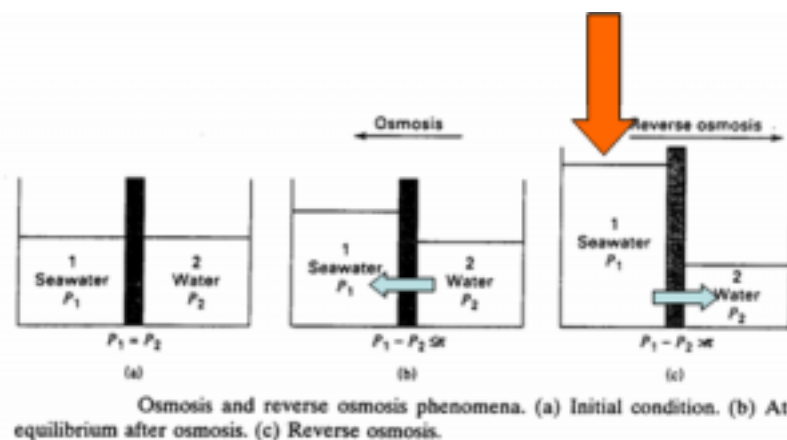


圖2 逆滲透示意圖

因為RO薄膜孔徑非常小，能有效濾除微生物，部分淨水場用於指標性微生物梨形蟲，隱孢子蟲的去除。圖3為RO薄膜的結構圖，與海水接觸的為薄膜主體（active layer）其厚度約僅有 $0.3\mu\text{m}$ ，是主要滲透反應的地方，其下方為 $45\mu\text{m}$ 的支撐層，以承受壓力並避免RO薄膜之破損及變形，最下一層為基礎織層，以固定薄膜整體結構。

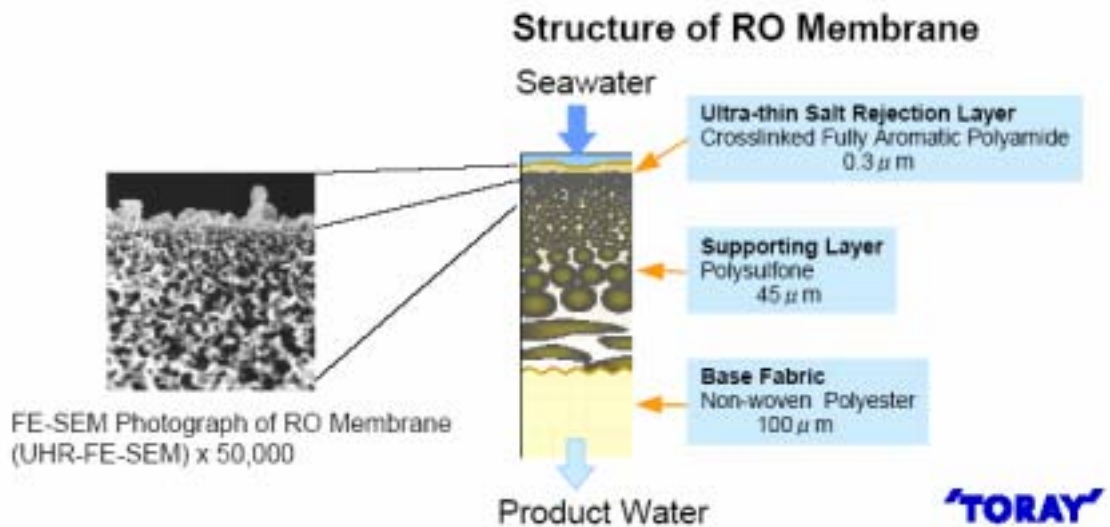


圖3 RO薄膜結構圖

在RO薄膜中最常見的形態就是捲筒式模組圖4，這樣的模組是將數片的薄膜捲起，各層薄膜間利用阻隔層（spacer）加以區隔，最後將過濾水到入中間的多孔中，而達到單位體積內最大的過濾面積。

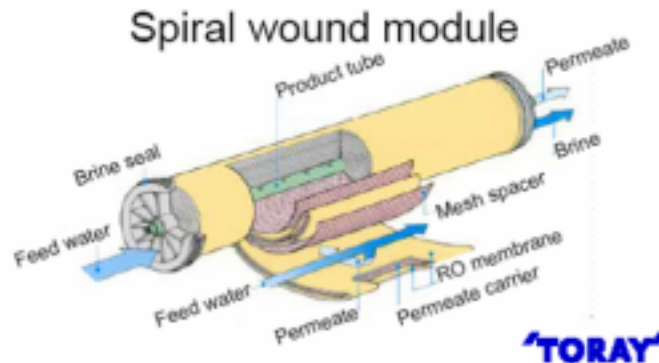


圖4 捲式RO薄膜示意圖

圖5為RO海水淡化模廠及流程示意圖，包括海水取水部、加藥程序（氯化鐵、次氯酸鈉）、快濾程序、中間貯槽、安全濾膜、RO薄膜處理程序以及後端清水貯桶，其中在安全濾膜部份，其孔徑為5~20 μm ，其目的為確保顆粒狀物質不進入RO薄膜系統內，與一般認知擔任過濾功能不同。

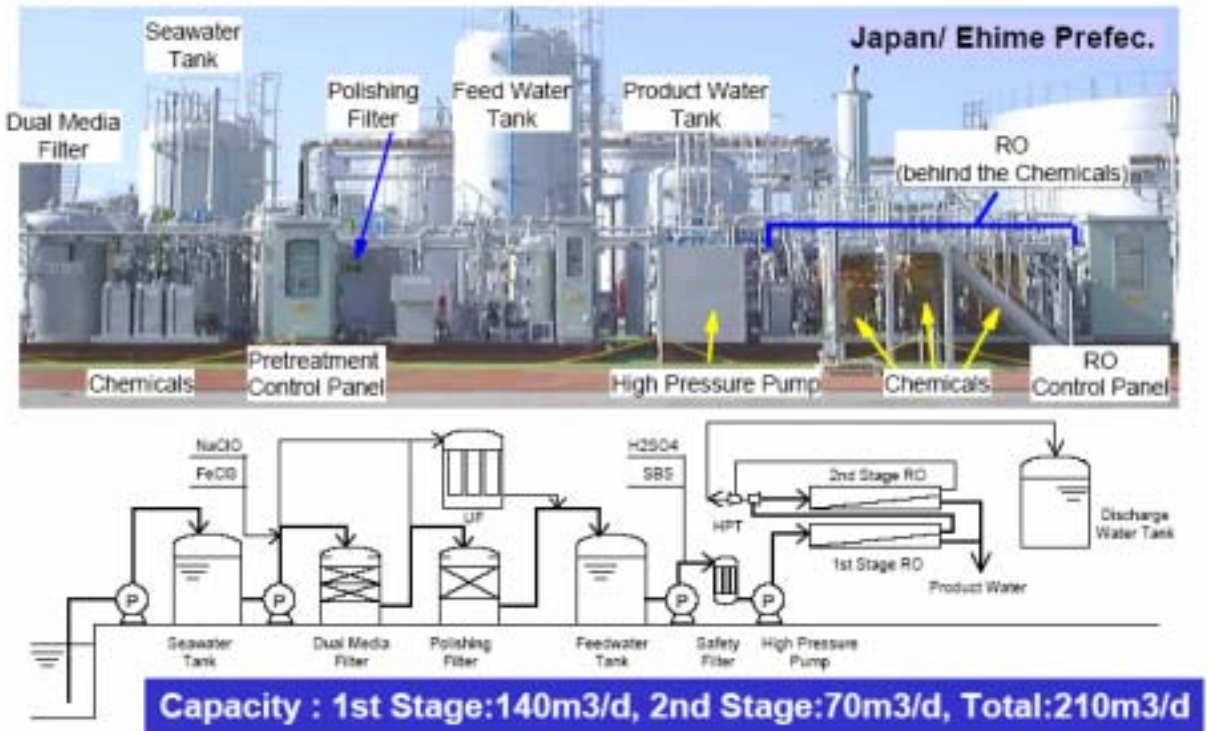


圖5 RO海水淡化模廠及流程示意圖

(二) RO淨水實例

沖繩位於日本南端，與日本本土相距約 1 千 2 百公里，為南方最大島，縣治那霸，該島呈狹長型，南北長 120 公里東西最寬 10 公里，中間有高山通過，有 20 條河川，流域面積小河川短促，主要水源來自梅雨及颱風降雨，目前共計設有 9 座水庫蓄水（6 座國管、3 座縣管），依據 2004 年統計自來水水源包括水庫（68.2%）、河川（21.4%）、地下水（7.7%）以及海水淡化（2.7%），每日需水量約為 43 萬 CMD，其百分比分配是當時水庫蓄水量而定，2004 年蓄水量豐沛，相對海淡廠出水較少，平均出水約 1 萬 CMD。

因沖繩地區人口快速成長加上觀光客湧入，相關經濟活動快速發展，也因此對於水的需求量大增，在 1972 年需水量約 20 萬 CMD，到 2003 年則增加到 42 萬 CMD，短短 32 年間需水量增加一倍，未來更有需求成長。為因應龐大的需水，日本政府積極開發新水源，包括水庫興建、河川引水及鑿井等，但因其氣候及地理條件（河川短促），在降雨不豐時期則會發生嚴重乾旱，在 1981 到 1982 年間曾經有 326 天未降雨的紀錄，造成該地區嚴重水源短缺及不穩定的問題，沖繩縣政府為解決當地水的問題，於是決定將環繞於四周豐沛的海洋資源作為用水的來源。

自 1977 年開始進行調查研究，1992 年完成北谷淨水場整場設計，1995 年進行部份出水（1 萬 CMD），1996 年出水量增至 2.5 萬 CMD，1997 年全場興建完成 4 萬 CMD，為日本第 2 大（2005 年福岡海淡廠 5 萬 CMD 正式運轉），世界第 15。

北谷海水淡化廠建造總經費 347 億日圓（台幣 101 億），其中尤中央出資 85%，佔地面積 1.2 公頃，建築物面積 0.9 公頃，所採用的是 RO 海水淡化技術。

當初選用 RO 海水淡化技術是基於下列因素：

- 1) 海水取之不盡，不會受到季節或是天候的影響，全年水源供給無虞。
- 2) 土建是海淡廠興建時間關鍵，建構海淡廠比興建水庫快速且便宜。
- 3) 海水淡化廠相對土地需求較傳統淨水場小。
- 4) 建築海水淡化場的地點可靠僅供水區域，管線建造成本較低。

北谷海淡廠清水回收率約 40%，故原水需求約為 10 萬 CMD，除了 4 萬 CMD 製成清水外，另有 6 萬 CMD 滷水排回海中，在沖繩當地海水總溶解固體物濃度 35,000 mg/l (3.5 %)，排出滷水 5.8 %，海水及清水水質如表 2，位避免對海洋生態造成影響，該場設計噴嘴式排放口，經過實際量測，在距離排放口 12 公尺外之 TDS 已經可以降至 3.54 %，海中生物的生活不受到影響。

表 2 北谷海水淡化廠原水、清水水質

	海水	海淡水
TDS (mg/l)	36,000	276
氯離子 (mg/l)	19,400	158
硫酸根離子 (mg/l)	2,270	3.0
鈉離子 (mg/l)	11,500	105
總硬度 (mg/l)	6,353	7.5
鹼度 (mg/l)	83	5
比導電度 (μ s/cm)	51,300	534

在操作成本方面，每一噸水為 170 日元 (台幣 49.3 元)，其中電力需求約占 33 %、維護 (建築物、設備) 28 %、化學藥劑 12 % 以及薄

膜 11 %，其他 16 % 為人事成本，基本而言海水淡化成本還是較傳統淨水較高，因經過薄膜處理之海淡水硬度較低且具腐蝕性，位防止送水管線被腐蝕產生紅水，在後端處理加入碳酸鈣，並且混入硬度較高的地面水，以防止腐蝕現象發生。該場處理流程如圖 6，功能諸元如表 3。

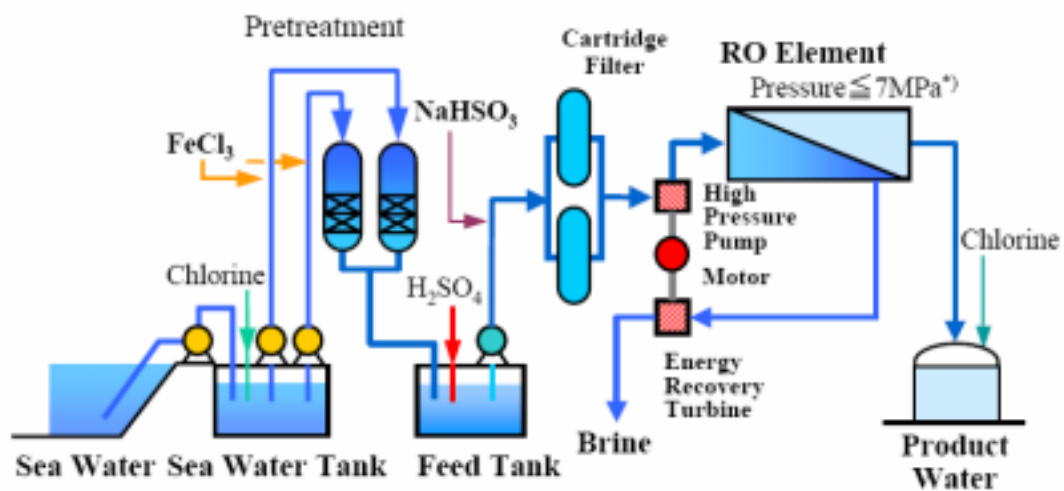


圖6 北谷海水淡化廠流程示意圖

表 3 北谷淨水廠設備功能諸元

Facility		Remarks
1) Raw Water Facilities	Intake Pipeline Intake Pits (Sand Sealing Basin) Intake Pumps	1,200mm X 220m (an Offshore Intake Pipeline located on seafloor) W 4.5m / L 10.5m / H 5.3m (effective height) X 2 pits (Travelling Water-Intake Screen) Q = 19.4 m ³ /min / H 48m >> 5 pumps (one pump is for reserve)
2) Adjustment Facilities	Filtration Equipment Regulating Tanks	Direct Coagulation and Filtration (Direct Two Stage Filtration) Primary Filtration Equipment 32 m ³ /unit X 13 units (one unit is for reserve) Secondary Filtration Equipment 33.6 m ² /unit X 9 units (one unit is for reserve) V = 1,000 m ³ X 2 tanks
3) Revers Osmosis	Feeder Pumps Security Filter High Pressure Pumps Membrane Assembly Attached Equipment Facility Supply Pumps Fresh Water Tanks	Q = 8.94 m ³ /min / H 45m X 9 pumps (one pump is for reserve) Facilities Q = 537 m ³ /hour X 9 units (one unit is for reserve) Q = 8.91 m ³ /min X H 650m X 8 pumps (no reserve pumps) 5,131 m ³ /day X 8 units (no reserve units) (6 elements/vessel / 63 vessels/unit X 8 units = 3,024elements) Chemical Cleaning Equipment, Energy Recovery Turbine Q = 4 m ³ /min >(H 40m X 3 units (one pump is for reserve) V = 200 m ³ / 2 tanks
4) Discharge Facilities	Discharge Pipeline Discharge Tank (wastewater Treatment Facilities) Cleaned Discharge Water Tanks Discharge Pumps (Dehydration Facilities) Concentration Tanks Dilution Tanks Dehydrators	700mm / 230m (an Offshore Discharge Pipeline located on seafloor) V = 210 m ³ X 1 tank V = 330 m ³ / 2 tanks Q = 1.63 m ³ /min X H 20 m X 4 pumps (one pump is for reserve) Separation Area = 94 m ² , V = 380 m ³ / 3 tanks Separation Area = 64 m ² , V = 260 m ³ / 2 tanks Operation :4 Shours/day Area= 100m ² >> 2 units Dehydrated Cake : about 2.5 m ³ /day (moisture Content: less than 65%)
5) Chemical Feeding Facilities		Ferric Chloride Feeding Facility Sodium Hypochlorite Feeding Facility Sulfuric Acid Feeding Facility Sodium Bisulfite Feeding Facility Sodium Hydroxide Feeding Facility
6) Power Receiving Equipment		Lead-in Equipment, Power Receiving Equipment, Transformer, Distribution Equipment
7) Power and Instrumentation Equipment		Power Equipment, Emergency Generator, Controlled Source, Supervisory and Control Equipment, Instrumentation Equipment

北谷海淡廠RO機組



沖繩地區用水概要圖照片



三、微過濾（MF）及超過濾（UF）之淨水工程技術

（一）MF/UF淨水工程技術

MF/UF是薄膜處理中運用最廣的技術，此二者的區別在於其薄膜移除懸浮微粒或膠體例子的能力，薄膜的機制類似分子篩的方式將顆粒移除，然而，薄膜的孔徑大小有其分布範圍，並非均一大小，所以也就無所謂標準薄膜孔徑，造成薄膜孔徑大小的分布在於其材質及製造過程，這樣的特質也造就了薄膜的去除能力，MF的孔徑大約在 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ ，最大可到 $10 \mu\text{m}$ ，而UF的孔徑大約在 $0.01 \sim 0.05 \mu\text{m}$ ，最小可到 $0.005 \mu\text{m}$ ，而UF因可去除較大的有機污染物，在實務上也有用MWCO來表示其去除能力，約10萬 \sim 50萬 Daltons，在淨水程序中，MF/UF用在懸浮微粒、濁度、微生物等去除，水質標準日益提升，MF/UF淨水技術已漸受重視，圖7為MF/UF薄膜的結構。

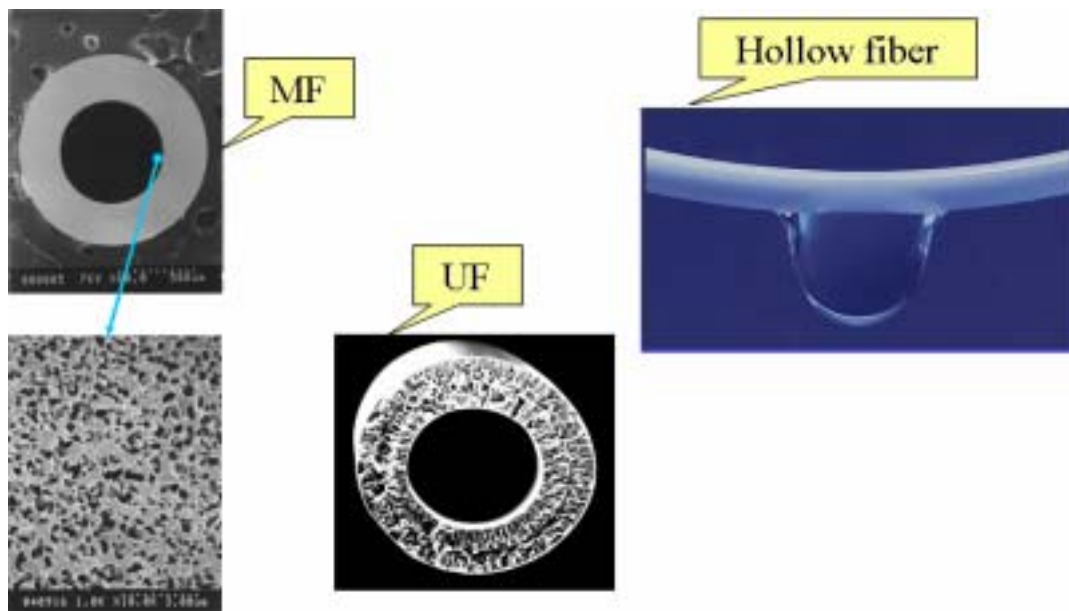


圖7 MF/UF薄膜的結構

(二) MF、UF淨水實例

御坊市-野口淨水場

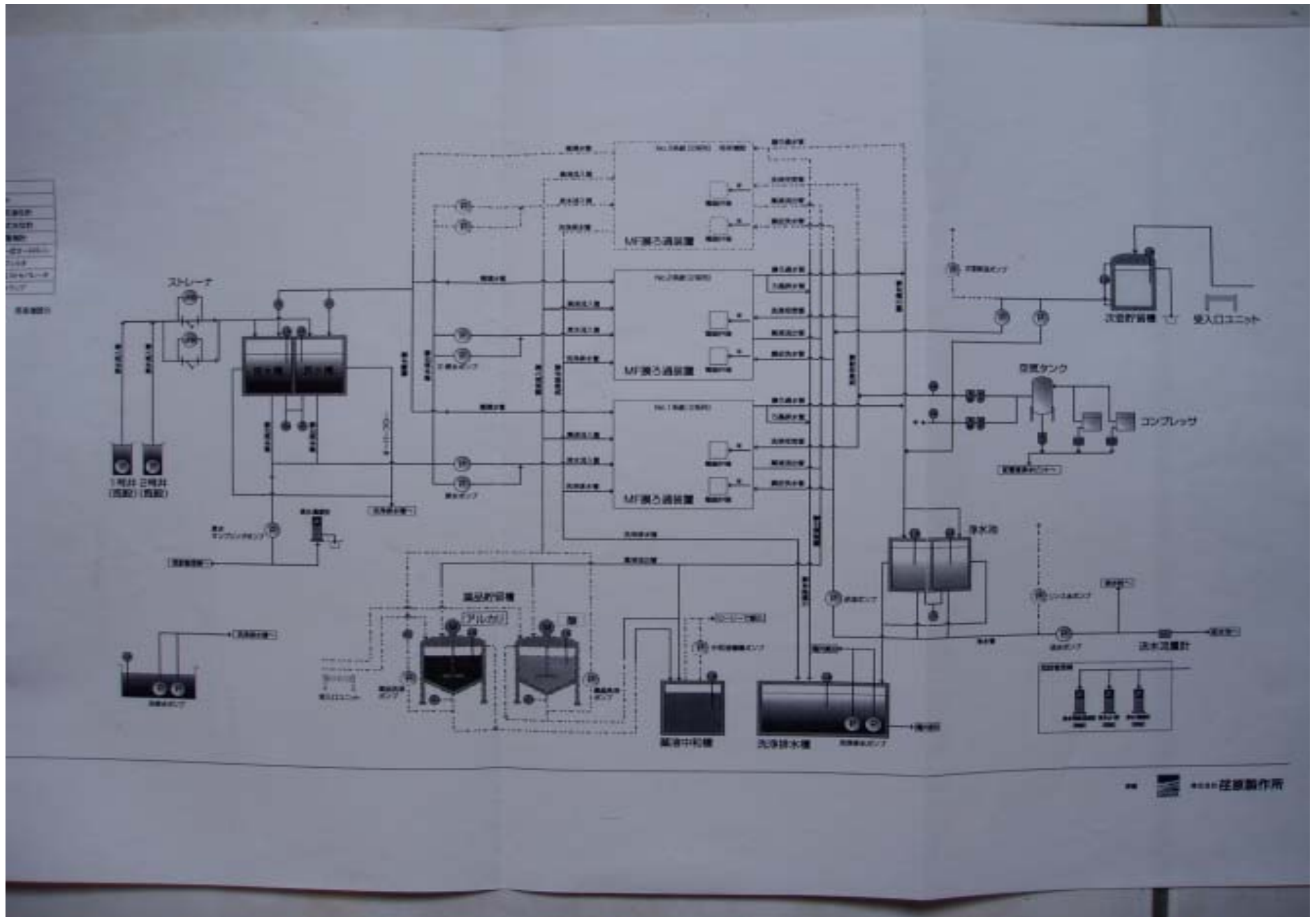
野口淨水場位於和歌山縣御坊市東方，該地區附近為主要的農牧發展區，隨處可見花卉、稻作等農耕，御坊市水道局創設於昭和 28 () 年，初期計劃供應人口 3 萬 1,750 人，總出水量 7,100 CMD，每人每日平均需水量為 150 公升，分別由野口淨水場 (河南水系) 及藤井淨水場 (河北水系)，至平成 16 年 4 月以本次參訪的野口淨水場而言 (佔御坊市 40% 人口)，計畫供應人口 2 萬 9,100 人，總出水量 7,350 CMD，每人每日平均需水量高達 720 公升，其水源來源為淺層地下水 (井深 38M、25M)，受到地面畜牧廢水污染嚴重排放，影響水質甚具，大腸桿菌、厭氧性芽孢菌在原水中被測出，原來使用次氯酸鈉消毒，但當地水質有機污染物含量亦高，恐有因造成消毒副產物三氯甲烷高濃度生成，經過檢討決定採用 MF 薄膜進行微生物之去除，以確保飲水安全，其淨水流程如圖 8，流程包括：原水 (取水)、原水槽、MF 薄膜過濾、次氯酸鈉消毒、清水池等。

日本厚生勞動省對於原水中指標性微生物指標甚為重視，經檢出超過標準值，必須立即進行改善，本案經地方政府決定後，獲得中央支持，遂以向基金貸款方式進行淨水處理技術改善。

薄膜設備包括：

- 1) 單一模組面積 50 M² / 組。
- 2) 4 套，每一套 11 個模組，4 套共 44 模組。
- 3) 為中空絲纖維薄膜。
- 4) 薄膜材質 PVDF

圖 8 御坊市野口淨水場 MF 淨水流程圖



MF薄膜淨水設備模組照片（1）



MF薄膜淨水設備模組照片（2）



四、電透析離子交換薄膜 (ED)

(一) ED 淨水工程技術

電透析離子交換薄膜在最近這幾年廣受注目，因它具備有較節省能源並且在處理過程中不產生相的變化，離子交換薄膜技術有別於其他分離、濃縮或是去鹽技術，在未來許多的領域中將會積極研發電透析離子交換薄膜的應用，目前，在商品上使用技術最成功、成熟的是自海水中生產各式的鹽製品，當然，電透析離子交換薄膜也應用在飲用水的製造，甚至是食品加工製成、製藥工業及纖維工業等。最近有機酸的製造更利用雙性離子交換薄膜配合電透析，直接由其鹽類中取得，而這樣的技術甚至使用於維他命C的萃取而製成生物可分解塑膠，以配合目前環境保護意識的需求。

1950年離子交換薄膜在美國由離子交換樹脂研發壓製成板狀成功，之後，許多大廠紛紛投入其研發工作，在日本則主要發展在海水製鹽的領域，相對的，在西方世界的國家，則將次項技術運用在鹽井水製成飲用水的領域。最近這幾年離子交換薄膜系統在日本每年生產超過1千3百萬噸的食鹽，這樣應用是使用此項技術最成功的商品之一，在台灣台鹽公司也引進了該項技術進行食鹽精製，而成功關鍵則是發展出一價離子選擇性離子交換薄膜，這種薄膜解決了石膏垢積的問題，因為這種薄膜允許製成較高濃度的滷水，而這些產物符合工業上的使用需求。電透析離子交換薄膜系統也被使用於離島地區的海水淡化技術以及農村地區因農業活動而導致的硝酸鹽氮濃度升高應用於去除的技術，目前皆有實場且操作營運狀況良好，電透析加上離子交換技術是一項省能源的技術，因為所有的組成物質並不產生相的變化，也因此，電透析離子交換薄膜技術在食品加工業、製藥業以大量被使用。

離子交換薄膜

基本上離子交換薄膜有兩類，一是陽離子交換薄膜，另一則是陰離子交

換薄膜，前者僅允許陽離子通過，而後者則僅允許陰離子通過，這種薄膜的是碳氫化合物，其組成材質大部分為 poly-styrene、divinyl-benzene 為主並添加適量人造纖維，離子交換官能基決定這個薄膜為陽離子交換薄膜（官能基sulfonate-、carbonate-、phosphate-）或是陰離子交換薄膜（官能基ammonium- or pyridinium-salt-）。

因有下列特點使得這種薄膜適合於工業用途：

- 1) 較高的傳輸係數
- 2) 較低的電阻抗
- 3) 較佳的化學穩定性
- 4) 對於溶質或溶劑有較低的擴散速度
- 5) 較高的物理強韌度
- 6) 較佳的型態穩定度

而對於食品加工業及製藥業的使用更有下列特點：

- 1) 各符合食品安全衛生法規要求
- 2) 較高的蛋白質或氨基酸回收率
- 3) 對於有機物有較佳的抗垢積情形
- 4) 較高的熱抗性

圖9及圖10是陰、陽離子交換薄膜的化學結構

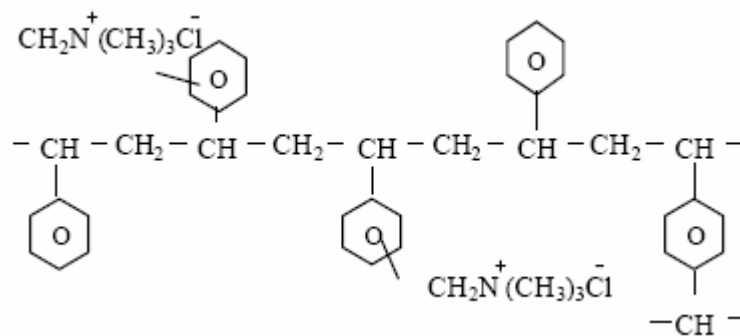


圖9 陰離子交換薄膜化學結構

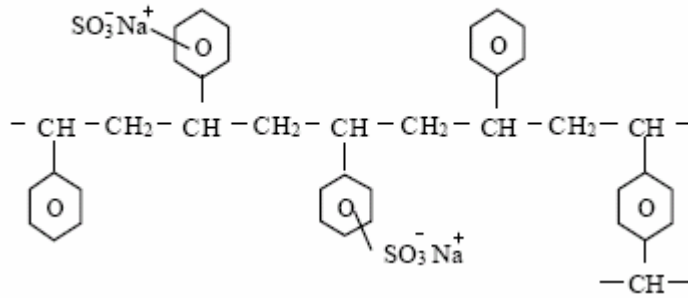


圖10 陽離子交換薄膜化學結構

電透析離子交換薄膜技術的基本原理

在兩個離子交換薄膜間的電解質溶液通以電壓，陽離子會移動到陰極端，而陰離子會移動到陽極端，這就是電透析離子交換薄膜的基本理論，陽離子透過陽離子交換薄膜而陰離子則會被陽離子交換薄膜阻擋，相對的，陰離子透過陰離子交換薄膜而陽離子則會被陰離子交換薄膜阻擋如圖11所示，因為上述的移動會在液體流通的管道上形成兩種形式，一是稀釋液管道，含有較低濃度的電解溶質，而在另一個管道則是含有高濃度的電解溶質，利用這種方式，可將溶液中高濃度電解溶質及低濃度電解溶質，可進行後端利用。

這樣的原理以圖12 來加以表示，所以，當控制流體的流速、施加的電壓等就可容易的控制或操作去鹽的百分比或者是濃縮液的濃度。

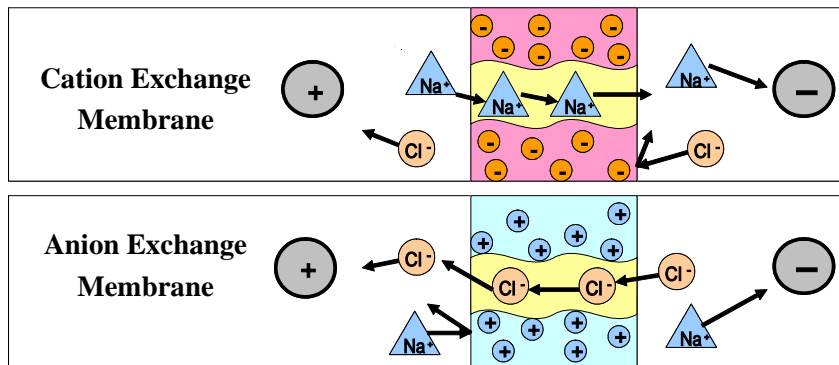


圖11 離子交換薄膜示意圖

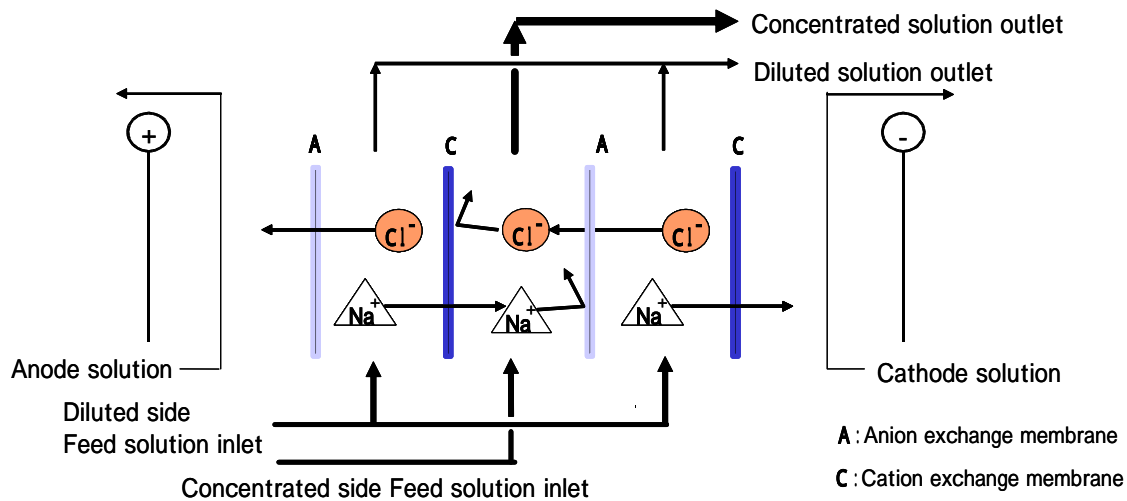


圖12 電透析離子交換薄膜基本原理示意圖

一價離子選擇性離子交換薄膜的優點及應用

進一步研發電透析離子交換薄膜，發展出一價離子選擇性離子交換薄膜，其原理是在原離子交換薄膜上塗佈新的材質（thin polymer），而達到限制一價離子可通過而其他離子無法通過的優點，利用這項優點可更加靈活使用電透析離子交換薄膜。圖13為一價離子選擇性離子交換薄膜的示意圖，透過這樣的薄膜在淨水技術中有其優越的性質，以海水中硫酸根離子為例其為二價陰離子，原可通過陰離子交換薄膜，但因表面塗佈thin polymer 層，而能使一價氯離子完全通過，而硫酸根離子僅能部分通過，若利用在海水淡化（或鹽井水淡化），則能利用電透析去除鈉、氯等離子而保留鈣、鎂等使得出流水的藍氏係數（LSI）不會因通過薄膜後而降低，造成管線腐蝕，表4是以海水淡化為例，將各種離子於原水（海水）及滷水（排放水）之百分比表現出來，從這些資料顯示一價

離子選擇性離子交換薄膜（含電透析），有不錯的表現。

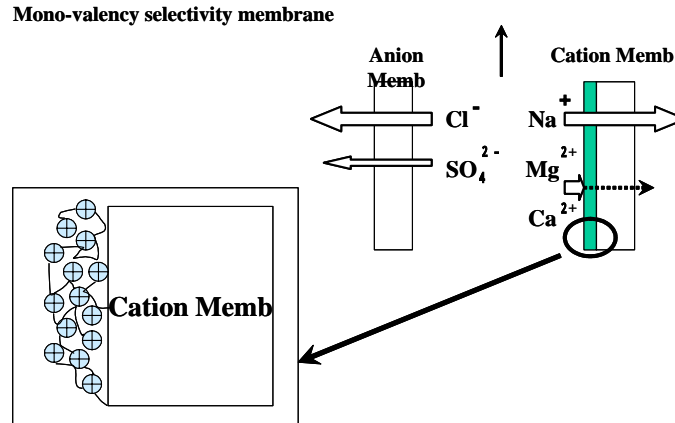


圖13 一價離子選擇性離子交換薄膜的示意圖

表4 各種離子在海水及滷水中的百分比組成

		Composition						Total
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
Product Brine	Conc.(N)	3.715	0.004	0.045	0.091	0.097	3.486	3.719
	Ratio (%)	99.9	0.1	1.2	2.5	2.6	93.7	100
Seawater	Conc.(N)	0.535	0.053	0.019	0.104	0.009	0.456	0.588
	Ratio (%)	91.0	9.0	3.2	17.7	1.5	77.6	100

	SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻		Ca ²⁺ +Mg ²⁺ /Na ⁺ +K ⁺
Product Brine	0.001	1/10	0.038
Seawater	0.099		0.265

使用電透析離子交換薄膜有下列優點：

1) 有較高的水回收率

在處理海水或鹽井水時，就膜的功能而言是進行離子的分離，與傳統NF或RO的阻絕方式不同，因此，水的回收率較高，一般而言可達到85%左右。

2) 對於原水中二氧化矽含量超過30 mg/l時對膜仍不傷害

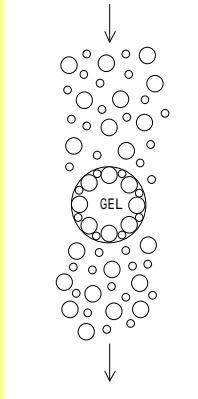
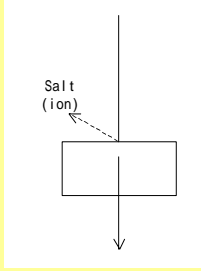
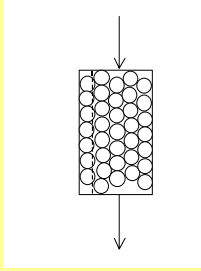
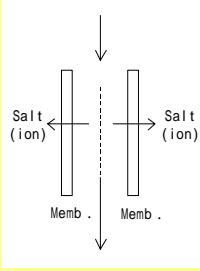
以薄膜進行去鹽（或淡化）時最困擾的問題之一是二氧化矽，當高濃度（超過30mg/l）的二氧化矽存在時會在薄膜表面產生垢積（fouling）而降低薄膜使用壽命，如前述，電透析離子交換薄膜是進行離子分離，在過程中並未而外施加壓力，故溶解二氧化矽也如其他離子一般分離，不易在薄膜表面形成垢積。

3) 有較長的薄膜使用壽命

薄膜的使用壽命與表面垢積、操作壓力、薄膜結構及薄膜強度有關，因此，與其他形式的薄膜相較電透析離子交換薄膜確實有較長的使用壽命，一般而言薄膜汰換率約每年8%。

表5為各種淡化薄膜技術所使用的示意圖，從這些圖14中可發現，電透析離子交換薄膜係利用孔徑大小及電壓強度來進行去鹽（淡化）。

表5 各種淡化薄膜技術所使用的淡化示意

	Gel Filtration	Reverse Osmosis(RO)	Ion Exchange Resin(IX)	Electrodialysis(ED)
Separation principle	Size Effect 	Size Effect 	Charge Effect 	Charge&Size Effect 
	Driving Force	Diffusion	Pressure	Adsorption/Dis-Absorption

目前電透析離子交換薄膜的操作成本與原水濁度有關，依據實驗分析，濁度（TDS）在5000 mg/l以下時，電透析離子交換薄膜的耗電量低於逆滲透膜（RO），而高於5000 mg/l以上時則相反，但除了耗電量外，對於維護、膜損耗等亦需列入總成本考量，因此，在TDS小於10000 mg/l以下就總操作成本而言，電透析離子交換薄膜有其優勢，圖6為電透析離子交換薄膜、逆滲透膜（RO）及離子交換樹脂之原水濁度與每噸水耗電量比較圖。

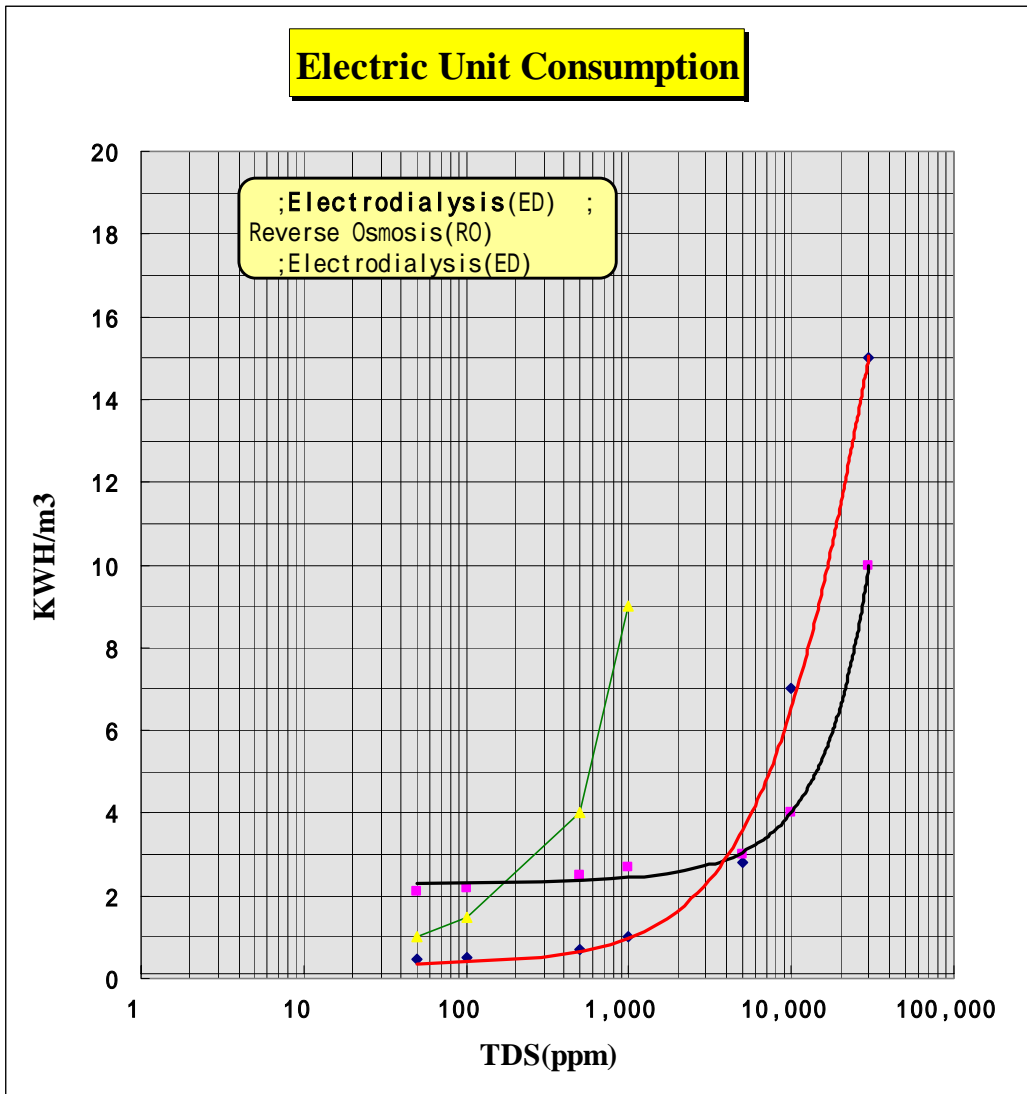


圖14 電透析離子交換薄膜、逆滲透膜（RO）及離子交換樹脂之原水濁度與每噸水耗電量比較圖。（換算成清水生成一噸電量）

(二) ED 淨水實例

電透析離子交換薄膜在世界各地有越來越多的淨水成功案例，針對原水淡化、硝酸鹽氮去除、軟化、鐵錳去除甚至是有機污染物的去除；以下將就筆者日前參訪日本現役淨水處理中使用電透析離子交換薄膜進行硝酸鹽氮去除及鹽井水淡化等進行實例說明，分享這些參訪心得。

硝酸鹽氮去除-小竹木淨水場

1. 背景介紹

小竹木淨水場位於日本長崎縣高來郡南串山町西部地區，該地區農業活動興盛，為日本著名的蔬果產地，主要作物為馬鈴薯及大根（蘿蔔），因此使用肥料及農藥情形相當普遍，區內沿海岸線地區亦是重要的溫泉觀光勝地，每年吸引大批外地觀光人口。當地地質屬沖積層壤土，平均高程海拔 150 公尺，年平均氣溫 17.10C 降雨量 1700mm，屬溫暖多雨型氣候。

2. 供水現況

南串山町西部地區飲用水來源早期是由各家戶淺井取得尚足支應，為便利供水，自昭和 44 年（1969）年政府部門鑿井 2 口並開始規劃興建配水系統，至昭和 52 年（1977）配合水道法令本區發展為簡易水道設施，將各分散水井集結以規範及限制地下水源的使用與開發，目前行政區內人口 4732 人、計畫給水人口 5500 人、實際給水人口 4553 人，供水普及率 96.2%，而小竹木淨水場出水量約 70 CMD，供水服務人口約 400 人。

3. 使用電透析離子交換薄膜進行水處理經過

平成元年（1989）間該地區進行例行水質檢查時發現，硝酸鹽氮有上升的趨勢，已逐漸逼近法規限值 10 mg/l，經過多次追蹤監測在平成 3 年發現上升越趨明顯，於是相關單位決定進行水質改善計畫以去除水中硝酸鹽氮，當時評估的技術有兩類，一是電透析離子交換薄膜（ED），一是逆滲透薄膜（RO），進行為期 2 年的模場相關實驗，其模場實驗評定結果如表 6，地方政府（町）依據上述結果認為電透析離子交換薄膜為較佳的水質處理技術，層轉中央水道局，當時中央以逆滲透薄膜（技術較為成熟為由要求使用，惟地方政府依據實際模場實驗結果（包含成本分析及操作營運條件）向中央陳述，最後以地方自治精神及責任施工的原則，最後選定電透析離子交換薄膜法，在平成 5（1993）年至 7 年（1995）間向厚生年金及國民年金融資興建。操作成本約 80 日圓/噸（台幣 24 元），售價 120 日圓/噸（台幣 42 元，該地區採低水價以便利居民使用，不足部分由觀光稅收彌補）。

表 6 電透析離子交換薄膜與逆滲透薄膜去除膜硝酸鹽氮之比較

項目	電透析離子交換薄膜	逆滲透薄膜
1. 原水回收率	90%	50~60%
2. 技術原理	將水中溶解之 NO ₃ 進入通過直流電之離子交換薄膜間，而達到分離去除的目的。	在高壓力下將原水通過緻密的逆滲透薄膜。而將水中溶解之 NO ₃ 濾除。
3. NO ₃ 去除率	調整入流速度及電壓強度，可改變去除率在 10~95% 間。	95% 以上。
4. 運轉遠端監控	因電器使用控制於遠端監	雖使用壓力操作運轉簡

	控操作較為容易運轉狀況。	單，經由遠端操作控制調整不易。
5. 藥品反洗	進行薄膜清洗時將鹽酸注入側槽後排出即可，操作簡便。	將膜洗淨之藥劑注入後需靜置、反洗等多次步驟。
6. 耗電量	1.5 KW/M ³	4 KW/M ³
7. 運轉狀況	低壓運轉 (2kg/cm ²)，所產生的噪音小 (70dB)，對於操作配管腐蝕性低，可安定運轉。	高壓運轉 (10kg/cm ²)，所產生的噪音小 (90dB)，對於操作配管腐蝕性高，不易安定運轉。
8. 連續運轉	拆解容易，約一年才需將膜拆除清淨。	RO 膜一年至少需四次線上洗淨，每月需定期維護交換膜擺放前後位置，以確保操作安定。
9. 原水全量處理	可依原水含 NO ₃ 濃度多寡及清水水質要求調整電壓及處理流量，可採全量操作或後端混和操作。	去除率固定，對於水質處理缺乏彈性，僅能由後端混和操作調整清水水質。
10. 操作成本	約 35 日圓/M ³ (以處理水量 70 CMD 計) (台幣：10.15 元/M ³)	約 50 日圓/M ³ (以處理水量 70 CMD 計) (台幣：14.50 元/M ³)
11. 設備費	約 3 千萬日圓 (以處理水量 70 CMD 計) (台幣 870 萬)	約 2 千 5 百萬日圓 (以處理水量 70 CMD 計) (台幣 7250 萬)
12. 耐用年限	薄膜耐用年限約 20 年，管材抗腐蝕超過 20 年。	薄膜耐用年限約 4 年，管材抗腐蝕約 10 年。

4. 設備概要

小竹木淨水場採用之小型電透析離子交換薄膜 (旭化成 SV-1 型)，流程如圖 15 所示，其原水來自 2 口地下水井，井深 103 公尺，每一口井設計出水量 120 CMD，目前實際出水量約 70 CMD，原水水質狀況，硝

酸鹽 20 mg/l、鐵 0.5 mg/，因考量鐵含量較高，為確保水質故於前端添加酸及空氣曝方式除鐵（濾砂反洗間隔約 72 小時），之後進入原水貯存槽，後續利用 120 對/系列兩套 ED 系統進行脫硝，進入清水池內，原水回收率約 94%。

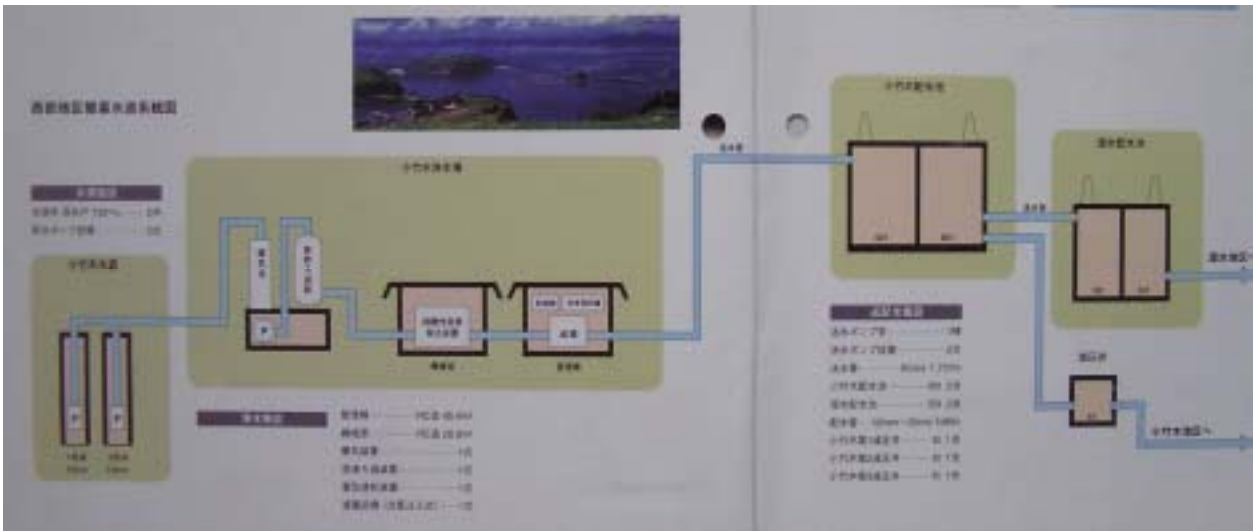


圖 15 電透析離子交換薄膜去除硝酸鹽示意圖

5. 電透析離子交換薄膜去除硝酸鹽

小竹木淨水場 ED 設備功能諸元如表 7，其原理為在兩個離子交換薄膜間的電解質溶液通以電壓，陽離子會移動到陰極端，而陰離子會移動到陽極端，這就是電透析離子交換薄膜的基本理論，陽離子透過陽離子交換薄膜而陰離子則會被陽離子交換薄膜阻擋，相對的，陰離子透過陰離子交換薄膜而陽離子則會被陰離子交換薄膜阻擋，因為上述的移動會在液體流通的管道上形成兩種形式，一是稀釋液管道，含有較低濃度的電解溶質，而在另一個管道則是含有高濃度的電解溶質。

在本場想要去除的標的物就是硝酸鹽，其原水回收可達 94%，相對

的排出的高度濃的硝酸鹽約為 6%，產量約 6~10 CMD，目前日本法規就淨水事業廢水硝酸鹽已開始進行管制，規範為 50mg/l 以下，該場將該廢水引流入附近農田澆灌。

表 7 電透析離子交換薄膜機組設備功能諸元

項目	處理能力、功能
水源	地下水 小竹木 #1、#2 (井深 103 M)
生產水量	設計 120 CMD (原水硝酸鹽 13 mg/l) 實際 70CMD
脫鹽能力	50 % (設計值)
原水水質	硝酸鹽 7~15 mg/l TDS 60~120 mg/l pH 7.1
清水水質	硝酸鹽 4~6 mg/l TDS 60~120 mg/l pH 7.2
原水回收率	94%
運轉方式	全自動無人運轉
前處理設備	除鐵氣曝設備
電透析離子交換薄膜機組	旭化成工業 (株) 製 SV-1 型 120 對/系列 * 2
耗電量	1.2 KW/M ³
建設費	含土建 7,800 萬日圓 (台幣 2,262 萬元)
作維護費	12 日元/噸 (台幣 3.4 元)

圖 16 為電透析離子交換薄膜處理機制圖，其中 NO₃⁻ 為陰離子能透過陰性離子交換薄膜，但會被陽離子交換薄膜阻擋，相對的同樣的情形發生在陽離子，所以產生下圖箭頭 D 的稀釋溶液區 (因為陰、陽離子都移

向兩側)，及箭頭 C 的濃縮溶液區（因為陰、陽離子都移入），在陰陽離子交換薄膜間，會置入間隔材質（SPACER），將流體順利導入正確槽位。

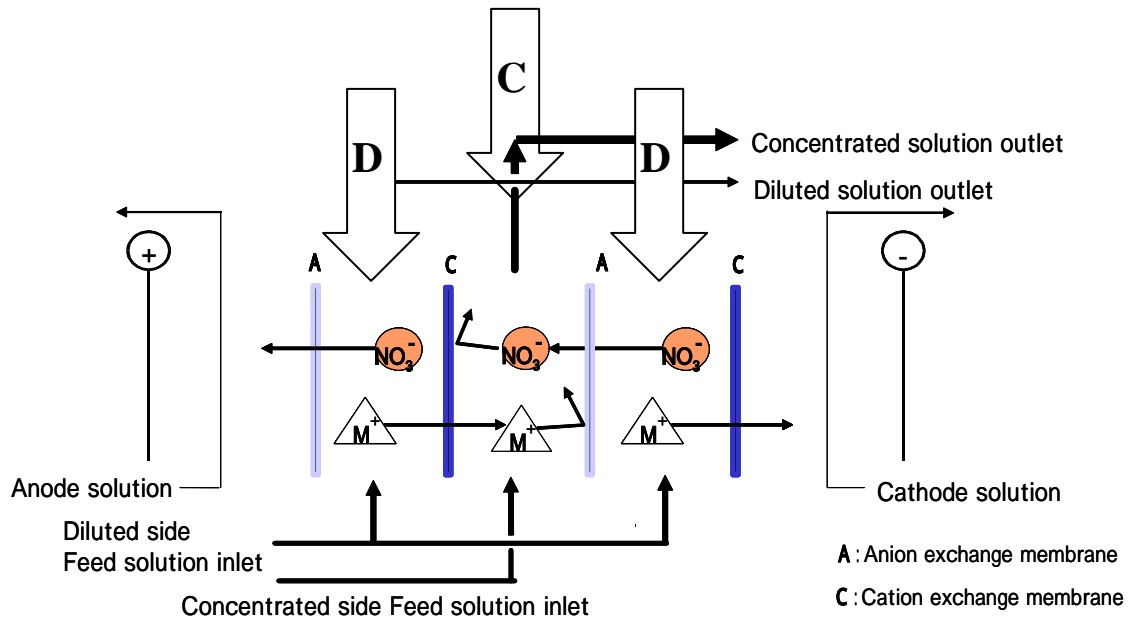


圖 16 為電透析離子交換薄膜處理機制圖

表 8 為處理前後水質資料，從這些資料可發現不論是陰離子或陽離子經過電透析離子交換薄膜（ED）後其濃度皆明顯下降，除標的污染物硝酸鹽外，反應在總硬度及總溶解固體物的下降非常明顯，因此，對於原水中溶解的離子，利用電透析離子交換薄膜法去除是有一定的成效。

表 8 電透析離子交換薄膜機組處理前後水質

		Raw Water ; #1 well	Product
COD		2.7mg/L	1.3mg/L
Fe		0.15	0.05 >
Mn		---	---
Conductivity		201 μ S/cm	106 μ S/cm
pH		7.1	7.2
Cation	Na ⁺	14.9 mg/L	10.8 mg/L
	Ca ⁺⁺	14.2 mg/L	6.2 mg/L
	Mg ⁺⁺	6.0 mg/L	2.8 mg/L
Anion	cl ⁻	14.9 mg/L	8.2 mg/L
	SO ₄ ⁻	2.4 mg/L	1.9 mg/L
	HCO ₃ ⁻	44.5 mg/L	26.2 mg/L
	NO ₃ ⁻	40.3 mg/L	19.2 mg/L
SiO ₂		66.0 mg/L	68.0 mg/L
Total		203.2 mg/L	143.3 mg/L
Nitrate Nitrogen 10mg/L		9.1mg/L	4.3mg/L
Na+	200	14.9 mg/L	10.8 mg/L
cl-	200	14.9 mg/L	8.2 mg/L
Hardness	300	60 mg/L	27 mg/L
TDS	500	203.2 mg/L	143.3 mg/L

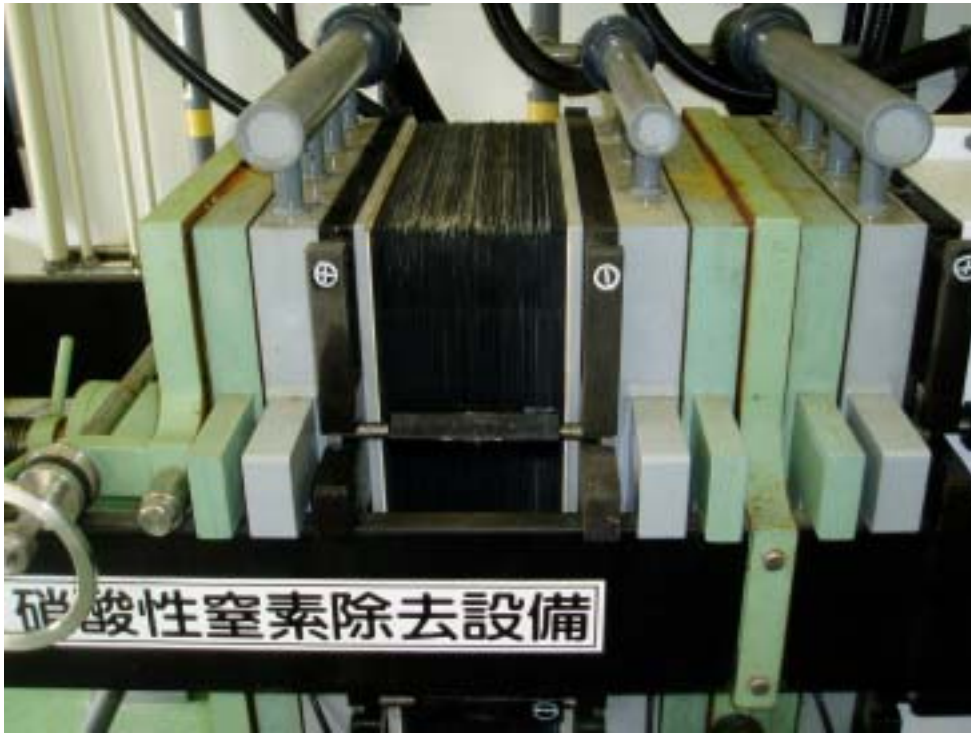
現場照片-除鐵氣曝設備



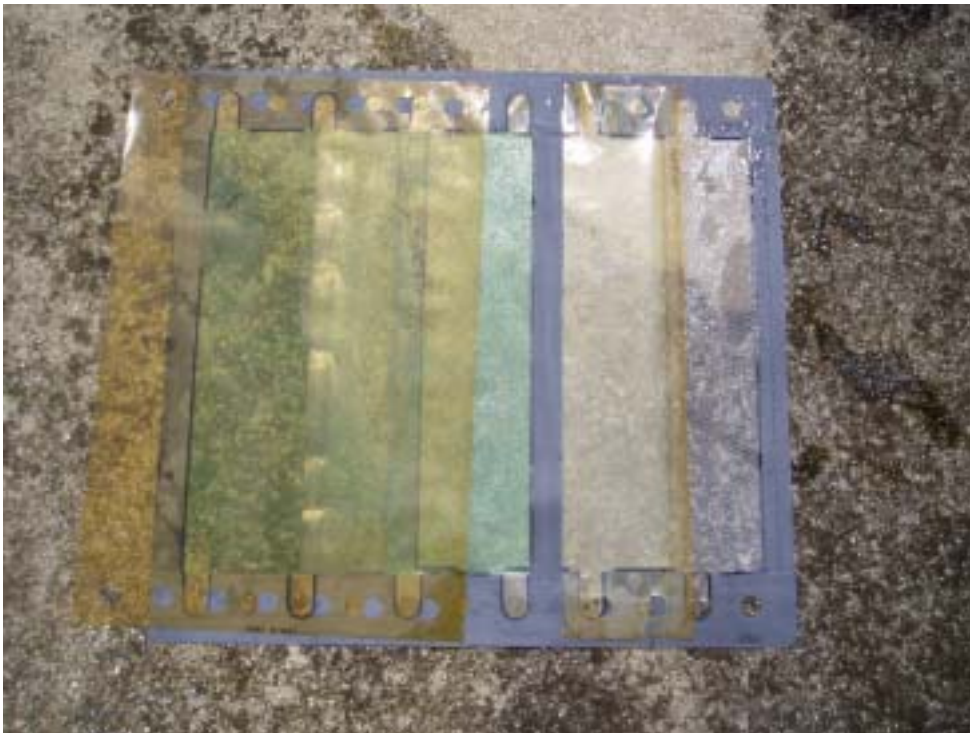
現場照片-電透析離子交換薄膜機組 (1)



現場照片-電透析離子交換薄膜機組 (2)



現場照片-電透析離子交換薄膜



鹽井水淡化-大島町

大島町位於東京都東南端伊豆群島，面積 91.06 平方公里，該群島係由火山爆發生成，隨處可見火山灰堆積或火山遺跡，造成當地地下水二氧化矽含量高達 50mg/l 以上，該島入民約 1 萬人，從事農耕及觀光事業，相關位置如圖 17。

因位處離島，地下水為飲用水主要來源，由島上的北山淨水場(3000 CMD)及南部淨水場(1500 CMD)供應自來水，但人口增加加上發展觀光事業，因地下水需求量增大，經常其超抽影響地下水逐漸鹽化而不適飲用，自 1991 年開始大島町檢討使用地下水去鹽技術，經考慮操作便利性、產品耐久性及經濟效益後，決定採用電透析離子交換薄膜，目前操作回收水量約 80%，平均每噸清水使用電量約 1~2 KWH/M³。

表9為北山淨水場及南部淨水場相關功能諸元，其設計依據原水總溶解固體物(TDS)加以規劃，因此，在出水回收量上略有差異，主要的考量在於不同季節地下水位變化及TDS變化時可採混合方式出水，以節省成本，清水TDS控制在450 mg/l以下，氯鹽也控制在150 mg/l以下。本場所使用的電透析離子交換薄膜形式為Acilyzer 140 每一格通道面積1.4 M²(每一對陰離子及陽離子交換薄膜)，其中北山淨水場採用每一單元318通道的模組、2單元*2段式、薄膜總面積3560 M²，南部淨水場採用每一單元300通道的模組、3單元(一組備用)*2段式、薄膜總面積5040 M²。

大島

位置 東経 139°21'から28' 面積 91.06km² 距離 東京から 120km
 北緯 34°40'から48' 東西 9km 熱海から 46km
 南北 15km 伊東から 36km
 周囲 52km 相取から 28km



圖 17 大島町地區淨水場相關位置圖

表 9 大島町北山淨水場、南部淨水場功能諸元

	Kitanoyama Plant(北山淨水場)	Nunbu Plant(南部淨水場)
Plant site	Ohshima Kitanoyama,Tokyo	Ohshima Nanbu,Tokyo
Production rate	3,000m ³ /day(at 1,200mg/l TDS) 1,500m ³ /day(at 3,000mg/l TDS)	1,500m ³ /day(at3,000mg/l TDS)
Raw water	Brackish water	Brackish water
Pruduct water	TDS;450mg/liter or less Chloride ion;150mg/liter or less	TDS;450mg/liter or less Chloride ion;150mg/liter or less
Electrodialyzer		
ED model	Acilyzer 140	Acilyzer 140
Effective membrane area	1.4m ² /cell	1.4m ² /cell
Stack composition	318cells/stack×2stacks×2trains	300cells/stack×3stacks×2trains
Total Membrane Area	3,560m ²	5,040m ²
Thickness of dil. cell	0.50mm	0.50mm
Thickness of conc. cell	0.50mm	0.50mm
Membrane	A101(AMX-SB)/K101(CMX-SB)	A101(AMX-SB)/K101(CMX-SB)
Gasket	Rubber/PP/PE Spacer Unified Type	Rubber/PP/PE Spacer Unified Type
Anode electrode	Pt/Ti	Pt/Ti
Cathode electrode	SUS316	SUS316
Operation style	2stages Full Automatic Operation	2stages Full Automatic Operation

表 10 為現場實際操作相關資料，北山淨水場實際出水 2610 CMD (TDS 1200 mg/l)，回收率 87%及南部淨水場實際出水 1390 CMD (TDS 1800 mg/l)，回收率 83%，平均使用電力 1.5 KW/M³，每對離子交換薄膜需電力 0.3V，以 300 對計算，每一單元操作電壓為 90V。

現場向操作人瞭解，該二場操作迄今約有十年時間，總薄膜汰換率約建廠時 60%，平均每年拆機組清洗離子交換薄膜一次，全場採全自動監控操作，目前計有職員二人負責此二場之操作營運及行政工作。操作營運成本約 70 日圓/噸(台幣 21 元)，售價 230 日圓/噸(台幣 69 元，該地區採高水價抑制水量使用)

表 10 大島町北山浄水場、南部浄水場操作諸元

		Kitanoyama Plant	Nunbu Plant
Flow rate	(m ³ /day)	2,610 (at 1,200mg/l TDS)	1,390 (at 1,800mg/l TDS)
Product water			
	TDS (mg/liter)	440	360
	Chloride (mg/liter)	145	145
	pH (-)	6.8	6.5
Electric unit consumption			
	Electrodialyzer (KWH/m ³)	0.10	0.08
	Motor Power (KWH/m ³)	0.65	1.57
	Others (KWH/m ³)	0.02	0.11
	Total (KWH/m ³)	0.77	1.76
Chemical unit consumption (as 98% H ₂ SO ₄)	(liter/m ³)	0.02	0.03
Raw water recovery ratio	(%)	87	83

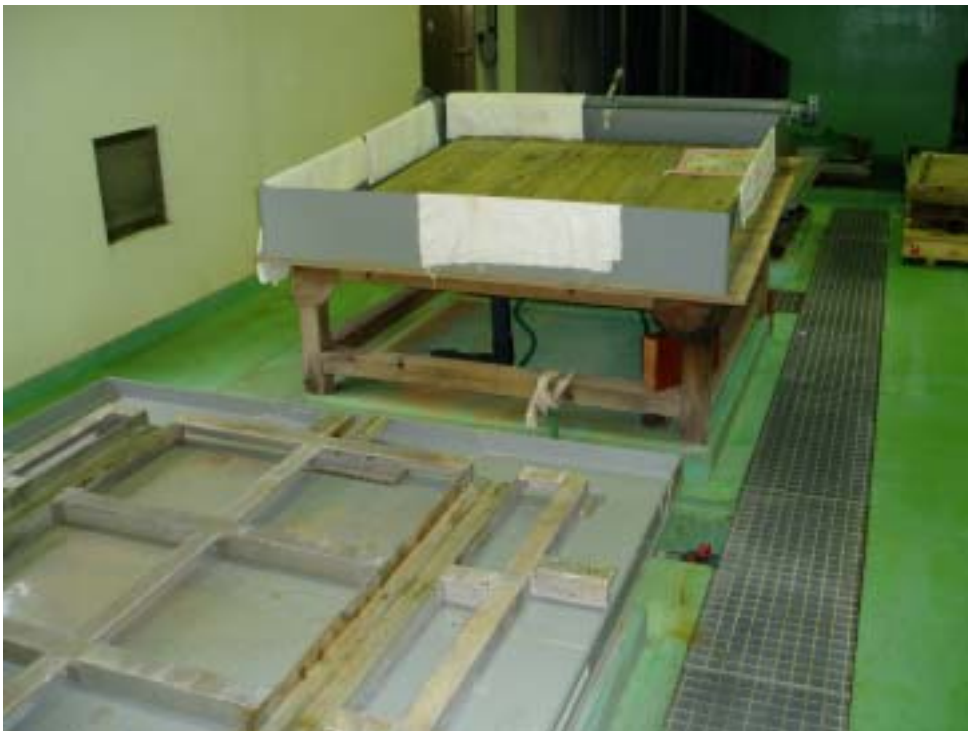
現場照片-電透析離子交換薄膜機組



現場照片-電透析離子交換薄膜機組



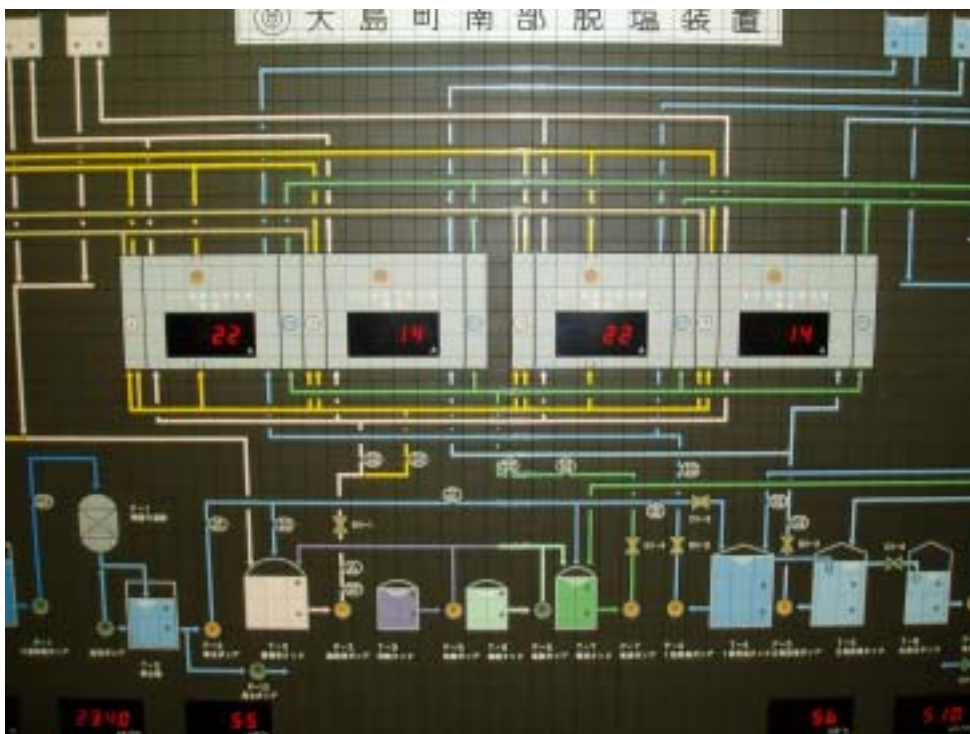
現場照片-電透析離子交換薄膜清洗槽



現場照片-待清洗電透析離子交換薄膜（有些微結晶）



現場照片-電透析離子交換薄膜機組控制面盤



肆、結論與建議

- 一、就本公司而言對於薄膜的接觸時間不長，而且尚未累積足夠的良好規劃、設計及操作營運經驗，在這個摸索期間，正需藉助世界各國薄膜發展的經驗與技術，傳統外加壓力以薄膜孔徑而濾除原水顆粒（或鹽類）的方式，以漸由其他創新的技術所取代，在追求高品質、低成本及簡易操作的同時，我們必須開闊胸襟放寬視野，在世界的淨水技術的潮流中，找出可努力的方向。
- 二、電透析離子交換薄膜在世界各地有越來越多的淨水成功案例，針對原水淡化、硝酸鹽氮去除、軟化以、鐵錳去除甚至是有機污染物的去除，在越來越多需求而成長的成熟商品化淨水技術，或許能為我們所面臨的淨水水質問題，找出一條出路。
- 三、本公司經營台灣地區自來水事業已經超過30年，在這些長時間的經驗累積下，我們創造了供水普及率高達90%以上的好成績，但不可諱言的，在淨水程序、技術的提升上還有許多值的努力的，尤其近年來國際社會對於淨水技術的大幅提升，而我們與國際接軌的速度、廣度及參與的程度明顯不足，在澄清湖高級淨水場的發展上，我們並未成為開發的先驅，只能暫時當個旁觀者，對於視淨水技術為核心的我們是一個嚴重的警訊，除了積極參與新淨水技術的操作營運外，必須要能走出來，以自己的步伐重新檢視對於高級淨水技術的需求與發展，讓我們不只是「賣水」的自來水公司，更是擁有淨水核心技術而得以輸出的領先者，唯有如此，才能確保公司營運之生生不息，也能為台灣地區甚至是世界上需要我們服務的人們，盡一份地球村民的責任。

伍、參考文獻

1. Isamu Azuma , “ Application of Electrodialysis System Technology in Japan
“ International Desalination Association World Congress: (2001)
2. Hamada M., “Brackish Water Desalination by Electrodialysis”, IDWR(1993)
3. Azuma I., Eguchi Y., Hamada M., Takiguchi M., Shiraki H., “Oshima Kansui Datsuen
Purantoni Tsuite”, presented at the 42nd Annual Symposium on Salt of the Soceity of
Seawater, Japan.
4. Matsumoto H., Matsuyama Y.,”Minamikushiyama Kotakegi Jyosuijyou Shousanseichituso
Jyokyo.
5. Setubi no Unten ni Tuite”, Japan Small Scale Water Works Association(1997).
6. Toyama Wan Shinsosui Wo Kangaeru Kai,. “Shinsosui towa Nani?”(2003).
7. 陳東煌， “離子交換膜的運用 “，化工第46卷第4期，（1999）。