

出國報告（出國類別：研修）

海水淡化及伏流水技術研習

服務機關：經濟部水利署

姓名職稱：林美香簡任正工程司、葉俊明科長
董士龍課長、趙永楠副研究員

派赴國家：日本

出國期間：105年11月27日至12月3日

報告日期：106年3月2日

摘要

臺灣屬脆弱的海島型水文環境，面對極端氣候衝擊，亟需積極發展多元化水資源，以穩定供水。經濟部水利署目前辦理海淡廠及伏流水工程等計畫，希望強化水資源基礎建設，以降低區域缺水風險。為多方汲取經驗，本次參訪日本的水務事業主管機關、海淡技術專研單位及實際營運中之大型海淡廠，希望能廣泛蒐集日本海淡技術，瞭解海淡廠系統運轉可能遭遇之問題，並參訪伏流水取水技術之產業，俾提供臺灣辦理後續計畫之參考。

本次研習成果與建議:日本政府對企業拓展海外水利產業有全面之協助與支援，值得我們在推動南向政策時參考。在規劃公共設施時考量循環經濟之整合，才能有創新永續的前瞻性。而在自來水售價尚低情況，補貼部分海淡產水營運費用與自來水價之差額，將有助於推動海淡廠，增加區域供水穩定。未來規劃施設伏流水工程時，宜將日本經驗納入參考，於規劃設計階段納入產品之全生命週期概念，使成本較高但較耐用之產品亦獲採用機會，增進投資之永續效益。

關鍵字：海水淡化、伏流水、逆滲透、水利產業

目 次

摘 要	2
目 次	3
圖 目 錄	4
表 目 錄	9
第 1 章 目的.....	10
1.1 緣由與目的.....	10
1.2 研修行程.....	11
第 2 章 過程.....	13
2.1 經濟產業省.....	13
2.2 一般財團法人造水促進中心	17
2.3 參訪 NAGAOKA 那賀株式會社	24
2.4 北九州水廣場（Water Plaza）	45
2.5 福岡市海之中道奈多海水淡化中心	58
2.6 沖繩縣北谷淨水場與海水淡水化中心	77
第 3 章 心得與建議	96
3.1 心得.....	96
3.2 建議.....	97
附 錄	99

圖目錄

圖 2.1-1 拜會經濟產業省與接待人員合影.....	13
圖 2.1-2 基礎設施整體輸出的戰略目標.....	14
圖 2.1-3 基礎設施整體輸出的推動策略.....	15
圖 2.2-1 拜會一般財團法人造水促進中心.....	17
圖 2.2-2 海水淡化造水工法.....	18
圖 2.2-3 逆滲透原理及回收率與壓力之關係.....	19
圖 2.2-4 不同海水淡化工法之設置量及趨勢變化.....	20
圖 2.2-5 一般逆滲透海淡廠之處理流程示意.....	21
圖 2.3-1 拜會 NAGAOKA 那賀株式會社總公司並進行雙邊會談-1 ..	24
圖 2.3-2 拜會 NAGAOKA 那賀株式會社總公司並進行雙邊會談-2 ..	25
圖 2.3-3 與 NAGAOKA 那賀株式會社董事會成員合影.....	25
圖 2.3-4 那賀過濾器示意圖.....	26
圖 2.3-5 那賀取水技術包括深井、輻射井、寬口井及集水暗管等....	26
圖 2.3-6 那賀株式會社解決中國凌源市用水不足問題之方法.....	27
圖 2.3-7 那賀株式會社之集水暗管反沖洗系統.....	28
圖 2.3-8 伏流水設施含水層水流動速度愈快愈容易帶動砂粒.....	29
圖 2.3-9 伏流水取水過濾器開孔率大含水層水流動速度慢.....	30
圖 2.3-10 傳統的海水取水方法.....	30
圖 2.3-11 直接取水設備的海洋生物附著問題.....	31
圖 2.3-12 海洋性生物附著的解決方法.....	31
圖 2.3-13 間接取(海)水與直接取(海)水方式之比較.....	32
圖 2.3-14 福岡海之中道奈多海淡中心間接引取海水.....	33
圖 2.3-15 HiSIS 取水方式與傳統型滲透面積之比較.....	34
圖 2.3-16 那賀株式會社研發之高速海底滲透取水技術 HiSIS.....	34
圖 2.3-17 高速海底滲透取水技術 HiSIS 搭配反沖洗管示意圖.....	35
圖 2.3-18 於阿布達比進行 HiSIS 試驗之成果.....	35
圖 2.3-19 於中國渤海灣進行 HiSIS 試驗之成果.....	36
圖 2.3-20 模組化設計之 HiSIS 取水設施(多套系統可串聯).....	36

圖 2.3-21 與那賀株式會社研究發展中心同仁合影.....	38
圖 2.3-22 營業部主任劉魯安協助解說.....	39
圖 2.3-23 HiSIS 取水技術與傳統直接取水之單元與佔地比較.....	39
圖 2.3-24 高速海底滲透取水技術 HiSIS 之操作原理動態展示.....	40
圖 2.3-25 那賀株式會社貝塚工廠位置.....	41
圖 2.3-26 那賀株式會社貝塚工廠出貨情形.....	42
圖 2.3-27 那賀過濾器之主要製程說明.....	42
圖 2.3-28 再組裝上合適之兩端配件即成為取水過濾器.....	43
圖 2.3-29 社貝塚工廠廠長帶領參觀初步製作之過濾器並解說.....	43
圖 2.3-30 準備出貨之不同間距過濾器(孔隙間距 1.0mm 及 0.6mm).....	43
圖 2.3-31 那賀株式會社生產的過濾器近照.....	44
圖 2.3-32 與那賀株式會社貝塚工廠廠長及總公司同仁合影.....	44
圖 2.4-1 水廣場整體組織組成.....	45
圖 2.4-2 與水廣場濱田英明所長合影.....	46
圖 2.4-3 於海淡前處理 UF 模組前合影.....	46
圖 2.4-4 水廣場污水處理結合海水淡化處理流程.....	47
圖 2.4-5 傳統活性污泥處理系統與 MBR 處理流程比較.....	48
圖 2.4-6 MF 膜過濾方式.....	48
圖 2.4-7 北九州水廣場 MBR 系統.....	49
圖 2.4-8 北九州水廣場所採用 MF 膜.....	49
圖 2.4-9 MBR 系統模型.....	50
圖 2.4-10 MBR 模組.....	50
圖 2.4-11 UF 過濾膜過濾方式.....	51
圖 2.4-12 UF 過濾膜構造.....	51
圖 2.4-13 UF 中空絲膜模型.....	52
圖 2.4-14 UF 前處理系統.....	52
圖 2.4-15 RO 膜過濾方式.....	53
圖 2.4-16 平板式 RO 膜構造.....	53
圖 2.4-17 低污垢 RO 膜.....	54

圖 2.4-18 汗水處理 RO 系統	54
圖 2.4-19 海水處理 RO 膜系統	55
圖 2.4-20 一般海水淡化設備與水廣場系統產水率比較.....	56
圖 2.4-21 一般海水淡化設備與水廣場系統造水成本比較.....	56
圖 2.4-22 遠眺新小倉火力發電廠.....	57
圖 2.5-1 福岡海淡中心外觀.....	61
圖 2.5-2 福岡海水淡化中心入口大廳.....	61
圖 2.5-3 福岡海淡廠設施平面圖.....	61
圖 2.5-4 廠內空間配置情形.....	61
圖 2.5-5 參訪通道設置施工歷程之圖像紀錄.....	61
圖 2.5-6 施工歷程紀錄.....	61
圖 2.5-7 海上工事施工紀錄.....	61
圖 2.5-8 取水設施及導水設施之施工紀錄.....	61
圖 2.5-9 海中道奈多海水淡化中心位置圖.....	62
圖 2.5-10 海淡廠系統流程圖及機械槽體規格.....	63
圖 2.5-11 海水淡化處理流程圖(含加藥系統).....	64
圖 2.5-12 UF 前處理系統.....	65
圖 2.5-13 UF 前處理系統及過濾器.....	65
圖 2.5-14 高壓 RO 泵及能源回收裝置.....	65
圖 2.5-15 RO 處理系統(後方).....	65
圖 2.5-16 中央監視控制室之說明.....	65
圖 2.5-17 中央監視控制室.....	65
圖 2.5-18 宮島所長解說各項設備元件.....	65
圖 2.5-19 參訪通道之部分動線設計.....	65
圖 2.5-20 浸透式取水設施構造.....	66
圖 2.5-21 取水設施佈設概要圖.....	66
圖 2.5-22 浸透取水系統之模型說明.....	67
圖 2.5-23 浸透取水系統之結構.....	67
圖 2.5-24 浸透取水裝置之集水管說明.....	67

圖 2.5-25 浸透取水裝置之集水管構造	67
圖 2.5-26 UF 前處理系統	68
圖 2.5-27 UF 過濾膜之模型說明	68
圖 2.5-28 高壓逆滲透之中空絲膜模型說明	69
圖 2.5-29 低壓逆滲透膜	69
圖 2.5-30 UF 膜使用實體展示	70
圖 2.5-31 SWRO 逆滲透膜展示	70
圖 2.5-32 海淡廠濃縮海水與污水廠放流水混合放流	71
圖 2.5-33 放流設施相對位置圖	72
圖 2.5-34 海淡水與淨水場清水混合供水圖	73
圖 2.5-35 海淡水造水成本分析-2012 年	75
圖 2.5-36 海淡水造水成本分析-2014 年	76
圖 2.6-1 沖繩縣水道事業供應區位圖	78
圖 2.6-2 沖繩縣主要淨水場及其水源	79
圖 2.6-3 北谷淨水場全景圖(左側建物為海淡廠)	80
圖 2.6-4 北谷淨水場處理工程圖	81
圖 2.6-5 與北谷淨水場當真亨課長合影	81
圖 2.6-6 三鹵甲烷前驅物濃度與去除率變化	82
圖 2.6-7 各處理流程之需氯量及減少率變化	82
圖 2.6-8 移除硬度後之碳酸鈣結晶顆粒(左)	83
圖 2.6-9 硬度削減處理流程示意圖	84
圖 2.6-10 海水淡化中心位置圖	86
圖 2.6-11 海淡廠系統流程圖	88
圖 2.6-12 逆滲透膜元件結構	90
圖 2.6-13 逆滲透機組(8 組)	90
圖 2.6-14 海淡廠參訪解說情形	90
圖 2.6-15 施工前取水塔設備	91
圖 2.6-16 施工前放流塔設備	91
圖 2.6-17 取水與放流方式及佈設規劃	92

圖 2.6-18	海淡廠產製之瓶裝水	93
圖 2.6-19	放流擴散模擬示意圖	94
圖 2.6-20	放流塔周遭生態監測成果展示	94

表 目 錄

表 1.2-1 研習團員名單.....	11
表 1.2-2 研習行程與技術交流重點.....	12
表 2.2-1 日本國內大型海淡廠規格比較.....	22
表 2.3-1 不同粒徑砂粒之始動速度.....	29
表 2.3-2 直接取水和 HiSIS 運行成本的比較.....	37
表 2.5-1 福岡地區水源和開發水量.....	59
表 2.5-2 海中道奈多海水淡化中心之興辦歷程.....	60
表 2.5-3 海中道奈多海水淡化中心設施概要.....	62
表 2.5-4 高低壓 RO 膜之差異.....	69
表 2.5-5 海水淡化處理之薄膜更換周期.....	70
表 2.6-1 沖繩海水淡化中心之興辦歷程.....	86
表 2.6-2 海水淡化中心設施概要.....	87
表 2.6-3 沖繩海淡廠設備諸元概要.....	89
表 2.6-4 原水水質與產水水質比較.....	93

第 1 章 目的

1.1 緣由與目的

民國 104 年臺灣遭逢 67 年來最嚴重枯旱，造成部分地區需採行二或三階段限水措施，已影響到民眾生活與工商發展。鑒於未來極端氣候仍頻，臺灣又屬脆弱之海島型水文環境，亟需積極發展多元化水資源，以綢繆因應。經濟部水利署刻正規劃辦理臺南海水淡化廠以及高屏地區伏流水工程等計畫，俾強化水資源基礎建設，以降低區域缺水風險。

同為海島的日本共有 370 餘座海淡廠，其中沖繩縣日產 4 萬噸廠(1997 年完成)及福岡市日產 5 萬噸廠(2005 年完成)為 2 座大型海淡廠，皆已有多年的營運管理經驗。該國之產、官、學、研等相關單位並積極發展薄膜處理核心技術(RO 及 UF)、熱法淡化技術 (MSF 與 MED)、地下及海水取水技術、系統整合技術等，技術成熟且輸出至全球。鑒於日本的水資源環境背景與臺灣相近，相關海水取水技術、薄膜處理淨水技術、海水淡化廠營管經驗等皆有多年經驗，技術領先國際；而正待推動大型海淡廠與伏流水計畫的臺灣，可就近至鄰近日本進行研修，深入地瞭解大型海水淡化工程與伏流水取水之系統技術、實際操作與營運狀況，以及可能遭遇之問題，以提早於規劃階段即納入週全評估，俾提供我國相關興辦及營運之參考。

本研習規劃參訪日本的水務事業主管機關、海水淡化技術專研單位及實際營運中之大型海水淡化廠，希望能多方蒐集、交流日本及國際新近海水淡化技術與研究成果，並透過大型實廠操作經驗，深入瞭解海淡廠系統運轉可能遭遇之問題，包括取水與排水工法、薄膜處理效能、水質礬處理技術、彈性供水機制、鹵水排放影響與再利用可行性等，並參訪伏流水取水技術之水利產業，蒐集相關地下取水技術、過濾器設備操作營運經驗。這些規劃技術與營管經驗將可提供臺灣辦理後續海淡廠與伏流水計畫之參考，增加計畫成效與週全性。

1.2 研習行程

本次 105 年度台日技術合作計畫研習主題為海水淡化及伏流水技術，行程規劃透過一般財團法人日本國際協力中心（JICE）的協助安排，分別參訪日本在海水淡化與伏流水領域之產、官、學、研等單位。其中先至負責推動水利事業的政府機關-經濟產業省，研習日本政府在推動相關水利事業之政策與推動策略；其後參訪淡化技術研究機構一般財團法人造水促進中心，就海水淡化技術之發展與趨勢進行研修、討論與交流，同時亦至日本 2 座大型海淡廠進行參訪，蒐集 2 廠過去工程規劃與設計理念，多年來之營運管理經驗等。另外參訪企業與政府合作之 Water Plaza 北九州水廣場試驗計畫，觀摩海水淡化與污水再利用整合規劃之研究成果。在水利產業方面，參訪株式會社 NAGAOKA 總公司及研發中心和工廠，瞭解其伏流水取水技術與施工經驗等。本次經濟部派赴出國研習之團員名單如表 1.2-1，派赴參訪之時間為 105 年 11 月 27 日至 12 月 3 日，相關行程規劃、研習重點與技術交流主題內容，摘述如表 1.2-2。

表 1.2-1 研習團員名單

姓名	職稱	單位
林美香	簡任正工程司	水利署南區水資源局
葉俊明	科長	水利署水源經營組
董士龍	課長	水利署中區水資源局
趙永楠	副研究員	水利署水利規劃試驗所

表 1.2-2 研習行程與技術交流重點

日期	地點	研習行程	研習重點與討論主題
11/27	桃園 → 東京	去程	--
11/28	東京	經濟產業省	1.世界水務市場現況與未來發展 2.日本水務事業的全球化發展
		一般財團法人造水促進中心	1.日本海水淡化技術交流 2.海淡水水質礫之處理課題討論 3.海淡廠鹵水排放議題討論
11/29	大阪	株式會社 NAGAOKA 總公司	1.伏流水工程取水技術交流 2.過濾系統防堵塞技術交流 3.高速海底滲透取水系統(HiSIS)
		株式會社 NAGAOKA 研發中心／貝塚工廠	1.高速海底滲透取水系統之示範裝置與操作 2.NAGAOKA 過濾器製造程序介紹
11/30	福岡	Water Plaza 北九州	1.海水淡化與污水再利用整合系統規劃 2.水資源統合利用與節能系統試驗
12/01	福岡	海之中道奈多海水淡化中心 (Mamizu Pia)	1.福岡市自來水供水概況、水管理中心運作系統等經驗交流 2.研習該廠滲流式取水工法之特色、施工地質條件、操作維護等技術 3.鹵水排放與污水廠共構之規劃 4.鹵水排放對生態環境之影響
	福岡 → 沖繩	搭機	--
12/02	沖繩	北谷淨水場	1.沖繩縣水資源利用現況 2.北谷淨水場營管經驗交流 3.臭氧與活性碳處理之高級淨水技術交流
		北谷海水淡化中心	1.沖繩縣自來水供水概況、水管理中心運作系統等經驗交流。 2.研習該廠排水工法特色-射流工法之營運操作情形、成效影響 3.產水之彈性操作機制與備援規劃技術交流 4.鹵水擴散之模擬情況與實際現況成效交流 5.鹵水排放對鄰近海域生態環境之影響探討
12/03	沖繩 → 桃園	返程	--

第 2 章 過程

2.1 經濟產業省

本次研習第一站來到經濟產業省，由製造產業局轄下的國際水務推動辦公室為我們說明日本水務海外推展的概況。



圖 2.1-1 拜會經濟產業省與接待人員合影

2009 年 7 月，經濟產業省設立國際水務推動辦公室，以促進日本企業如薄膜領域及其他設備製造等相關水務產業技術整體輸出拓展海外市場。

在 2013 年 1 月日本經濟復甦第三屆年會上，為提高海外收益日本首相指示基礎設施系統整體輸出的政策，同年 3 月召開第一次的經濟合作會議，直至 2016 年 8 月已召開 26 次會議。2013 年 5 月第 4 次會議上提出 2020 年爭取 30 兆日圓訂單的目標，在 2010 年 10 兆日圓基準下，2014 年實際訂單金額達 19 兆日圓，其中通訊類(9.1 兆日圓)佔最大宗，其次是能源(5.6 兆日圓)，水務事業(含供水及水再生利用)約佔 0.4 兆日圓。

＜統計等に基づくインフラ受注実績(注)＞



圖 2.1-2 基礎設施整體輸出的戰略目標

為促進產業技術整體輸出，日本政府與民間企業及法人也整合建構公私協力、跨域合作的架構模式。除了政府政策制定及各部門溝通協調推動外，公私部門也成立專責機構共同推動，如 JETRO(日本貿易振興機構，屬於日本政府的官方組織，其工作是促進日本與世界其他地方之間的貿易往來及投資，致力促使外國投資者直接將資金投放日本，並協助日本的中小型企業盡量擴展其出口至世界各地)、JICA (獨立行政法人國際協力機構，是日本對外實施政府開發援助的主要執行機構之一，隸屬於日本外務省，旨在促進國際合作，協助開發中地區的社會經濟發展，追求日本經濟穩定及全球經濟健全發展，資金全部來自政府財政預算)、JBIC (國際協力銀行屬於政策性銀行，也是日本政府對外實施政府開發援助 (ODA) 的主要執行機構之一，全額負責 ODA 中有償資金 (即日元貸款) 部分)、NEXI(獨立行政法人日本貿易保險機構，協助不能由現行商業保險提供之有效外國交易保險業務)等等提供行政、資金及保險相關協助。

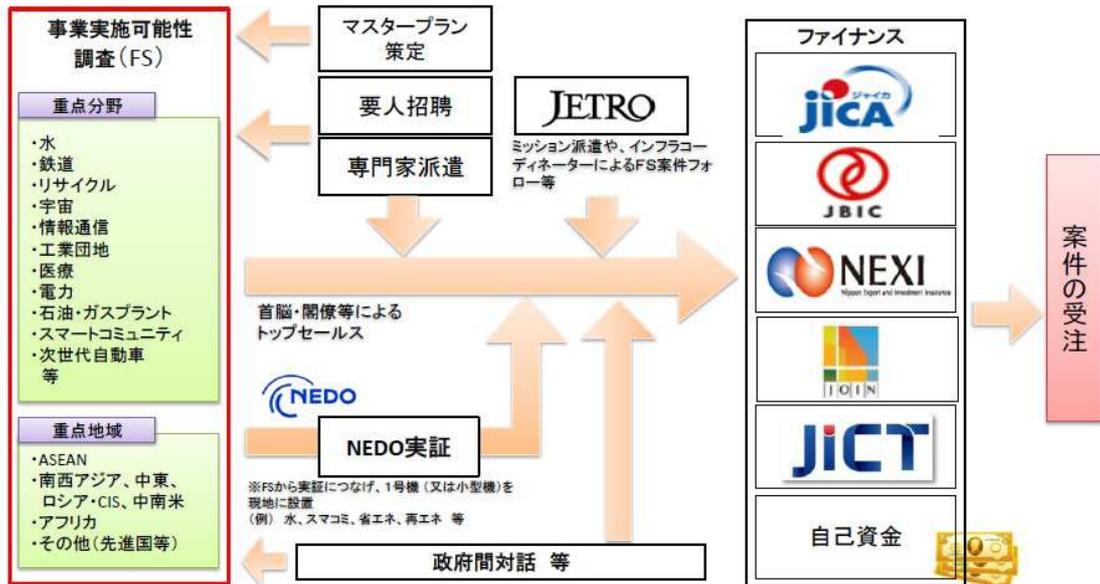


圖 2.1-3 基礎設施整體輸出的推動策略

另 NEDO(新能源及產業技術總合開發機構，由日本官方以及民間集結資金、人力以及技術力組織而成，主要來自通產省，由通產省的資源能源廳、工業技術院以及基礎產業局共同管理)提供技術及實務規劃(可行性規劃調查委託計畫)的支援。最後則是由政府高層首長藉由各種參訪機會大力向海外推展。

為加速推動海外拓展，2015 年 5 月亞洲開發銀行與 JICA、JBIC 等相關機構合作，未來五年內在亞洲地區提供約 1100 億美元（約 13 兆日圓）高質量基礎設施的融資，擴大和加速與各機構的合作；2016 年 5 月更擴大到 2000 億美元與 JICA、JBIC、NEXI、JOIN (海外交通、都市開發支援機構)、JICT(海外通信、傳播、郵政事業支援機構)、JOGMEC (石油天然氣金屬礦產資源機構)等機構合作，確保每個機構的財政支援。具體措施包括：加快核貸時程，以政府機構而言由目前的 3 年縮短為 1 年半，非政府機構也由目前的 5 年縮短為 1 年半；放寬 JICA、JOIN、JICT 的持股比例；NEXI 的投資保險由 15 年延長到 30 年，擴大貸款保險的國家風險與 100%投保範圍擴展；加強人才育成支援等。2013 年 1 月至 2015 年底間，日本首相到訪 62 個國家，經濟產業大臣也訪問 30 個國家，積極推展擴大對基礎設施輸出銷量。

三菱商事株式會社、日立造船公司合作承攬建造日產水 16.35 萬噸的卡達

海水淡化廠及由日立為代表財團、法國 OTV 公司及阿拉伯承包商聯合組成，為伊拉克自籌資金(250 億日圓)建造該國內規模最大的 RO 膜淨水廠及日元貸款總額 240 億日圓的 RO 前處理設備與取供水設施等均為實際較大規模水務輸出案例。

2015 年全球水務市場約有 83.6 兆日圓的產值，其中供水事業有 36.0 兆日圓佔總額 43.1%、污水處理 31.6 兆日圓佔總額 37.9%，此二項的設施及營運管理業務就佔了水務市場總量的 80%以上。預估 2020 年整體水務市場產值約有 100.7 兆日圓，且污水處理行業相對有較高的增長速度，約年平均的 3.9%。以地理區域來分類時，東亞和太平洋地區是 27.5 兆日圓佔 33.0%，是最大的市場區域，其次是歐洲及俄羅斯(前蘇聯)的 22.0 兆日圓佔 26.4%，再者是北美地區 16.6 兆日圓佔 24.0%，這三個區域就佔市場總量 80%以上；預估至 2020 年時平均年增長率最高的是南亞 10.0%，中東及非洲的 6.3%次之，可見原為貧困地區的供水和污水處理基礎設施相對較晚，其未來開發有較大增長潛能。

供水和污水處理等公共事業，在人口增加及生活水準提升下需求迅速增加，引進民間投資或營運管理也變得迫切及必須。近年來，在需求上升、政府財務緊縮情況下，民間參與情勢已成必然，形式也變得多元，包括 BOT、DBO、管理合約的委外經營、PPP 等全球都有案例。

日本企業在水務事業領域上，因國內長期經驗累積，技術及設備產品不僅滿足國內市場需求，在全球市佔率也高，例如 RO 膜約有 60%市佔率，MF、UF 膜也約佔 20%。在海外拓展水務時應予 LCC(生命週期成本)評估納入，將得到很高的評價。例如 JICA 在馬尼拉污水處理和衛生設施改善案籌備調查中引入 LCC 評估，在優化設計建設的建議中提出了有限空間最佳配置及適合當地水質的設備，贏得主辦單位很高的評價，取得訂單。

2.2 一般財團法人造水促進中心

1973 年日本基於確保水資源與環保目的，由經濟產業省出面邀集民間公司、團體等共同籌組成財團法人形態之試驗、研究機構，即為現今一般財團法人造水促進中心，其主要任務有：(一) 海水淡化技術開發及推廣 (二) 廢水處理、再生利用技術之研發及推廣 (三) 合理化用水技術研發及推廣(四)海外技術協助交流。此次參訪為我們說明海水淡化技術現況與發展。



圖 2.2-1 拜會一般財團法人造水促進中心

目前世界上海水淡化所使用方式主要可分為蒸餾法(Distillation)及薄膜法(Membrane)兩大類，蒸餾法又包括多效蒸餾法 (MED)、多級閃蒸法 (MSF) 及蒸汽壓縮 (VC) 法，薄膜法則有逆滲透法 (RO) 及電透析法 (ED)。

各種淡水化の方式

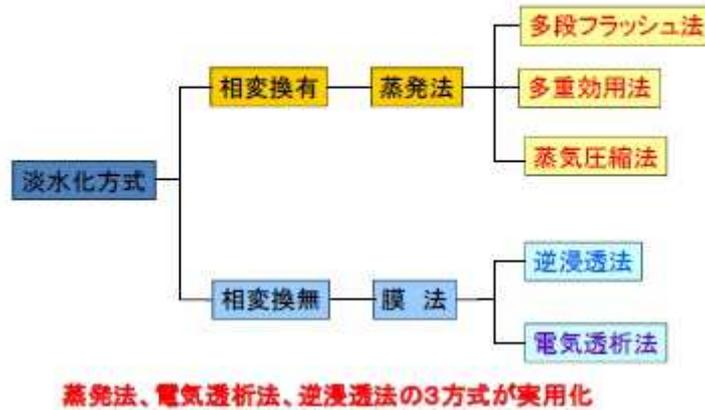


圖 2.2-2 海水淡化造水工法

多效蒸餾法（MED）是海水淡化技術中較早發展成功的方法之一，它的原理是利用高溫蒸氣和海水的溫差進行熱交換後，使受熱沸騰而蒸發的海水冷凝並收集而得到淡水。它的處理過程是把海水和蒸氣分別引入第1道槽內，進行熱交換，蒸氣被冷凝成淡水，海水則被蒸發。蒸發的蒸氣進入第2槽內和較濃的海水在第2道槽中進行熱交換，這裡的壓力較第1道槽低。持續進行蒸發，並在不同的槽中重複蒸發和冷凝，收集冷凝後的水就是所得到的淡水。

由於多效蒸餾法的海水在熱交換表面上蒸發，因此有礦物質沉澱而積垢的現象，針對多效蒸餾法積垢較嚴重的缺點而發展出多級閃蒸法（MSF），其原理是利用液體在沸點時產生蒸氣的原理，把溶液中的水分轉變成蒸氣，而和溶解於溶液中的鹽分分離。閃化以減壓方式降低液體沸點，並產生蒸氣，使蒸氣冷凝後就可製得淡水。多級閃化製程主要分成兩個系統，一是加熱區，做為進料海水的預熱使用，一般多採用蒸氣做為熱源，蒸氣冷凝後回到鍋爐。另一是閃化區域，是一多級閃化和回收區，通常是16級至50級不等。它的過程是把海水加熱到一定溫度後，引入閃化室。由於閃化室中的壓力控制在低於熱鹽水溫度所對應的飽和蒸氣壓之下，因此熱鹽水進入閃化室後就急速地部分汽化，使得熱鹽水自身的溫度降低，汽化所產生的蒸氣冷凝後就是所生產的淡水。它具有設備簡單可靠、防垢性能好、易於大型化、操作彈性大、可利用低位熱能和廢熱等優點，主要應用在中東阿拉伯灣地區大型的海水淡

化廠，並常和火力發電廠配合運轉，利用火力發電廠汽輪機使用過的低壓廢蒸氣，做為淡化過程中加熱海水的熱源。

蒸汽壓縮（VC）法和多效蒸餾法相同，主要的差異是通過導管內的鹽水所產生的蒸氣不被立即單獨冷凝，而是經壓縮機壓縮至外殼側，讓蒸氣凝結在導管上，同時放出潛熱而蒸發更多的鹽水。因此蒸發能源並非來自前述的兩種蒸發法中的加熱蒸氣，而是來自蒸氣壓縮機的能量轉換。壓縮的作用是使蒸氣溫度升高，以提供由蒸氣至鹽水的熱傳送潛力。由於這項技術並不需要大量蒸氣做為熱源，可用以替代多效蒸餾法、多級閃蒸法等海水淡化程序。此外，它具有易組裝和可搬遷的特性，在蒸氣取得不易的地區，例如沒有熱源的島嶼地區，頗具吸引力。

逆滲透法是利用只允許溶劑透過、溶質不透過的半透膜，把海水和淡水分隔開，這時淡水會通過半透膜擴散到海水一側，使海水一側的液面升高，直至一定的高度才停止。這個過程稱為滲透現象，海水一側高出的水柱靜壓就稱為滲透壓。如果對海水一側施加一大於海水滲透壓的外壓，海水中的純水會反滲透到淡水側中，這種現象就稱為逆滲透。它是利用海水滲透壓的原理，把海水經高壓水泵加壓處理，產生大於滲透壓的壓力，使淡水透過半透膜而反滲出來，濃鹽水則由另一端排放出去。逆滲透法的最大優點是節能，它的操作能耗遠低於電透析法和蒸餾法。

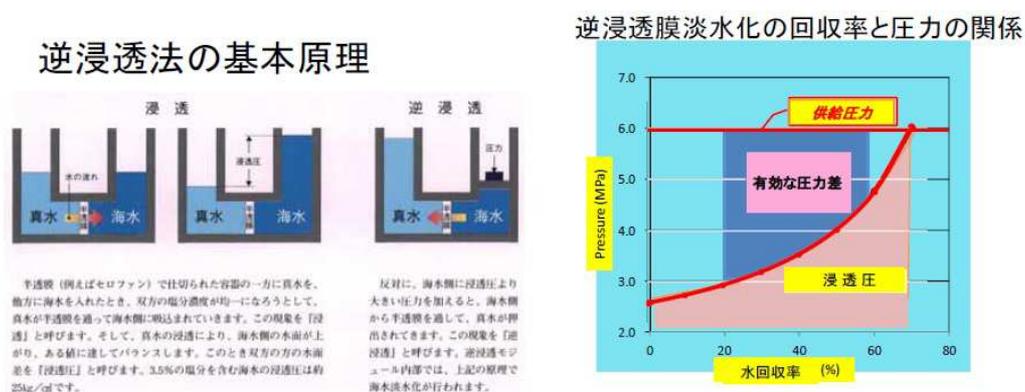


圖 2.2-3 逆滲透原理及回收率與壓力之關係

電透析法是把很多的陰／陽離子薄膜交錯地並、串聯在一起，電解質溶液則在膜間流動。兩側施以直流電電壓後，陽離子會移向陰極，而陰離子會移向陽極。陰離子可順利通過陰離子膜，但是再往前時卻會被鄰近的陽離子膜阻擋。反之，陽離子也僅能通過陽離子膜，而無法通過陰離子膜。最後得以分離出低電解質濃度的溶液（淡水），和高電解質濃度的溶液（濃鹽水）。電透析法需耗用大量的電能，且隨著海水變淡水所造成的電阻增加，電流強度無法提升而影響效能。此外，海水所含的總溶解固體量（total dissolved solids, TDS）較高，若以這方法淡化海水，每噸水耗費的電量會較逆滲透法高，不符合經濟效益。

全世界海水淡化不論其原料水的來源係海水、半鹹水或廢水，造水量在每日 100 噸以上的最主要技術仍為 MSF 及 RO。中東海灣國家以 MSF 為首選，因為它具有超大型化，適用於污染重的海灣水和預處理費用低的優勢；在中東以外地區，則以 RO 為首選，因為在能耗和成本上都較具優勢。然而，究竟哪種方法最好，不是絕對的，要根據規模大小、能源費用、海水水質、氣候條件、技術和安全性等實際條件而定。由於近年來新的薄膜材質和能源回收改良技術都已達商業化階段，不但使淡化成本降低且造水率提高，除鹽率高達 99.5 %，而膜管平均使用壽命延長至 5 年以上，較能被一般中東之外的非產油國家接受。這可從全球統計圖中 2004 年之後 逆滲透法(RO)設置總量逐年攀升至大幅領先蒸餾法(MSF+MED)設置總量看出其趨勢。

ROとMSF+MEDの設置能力の年別推移

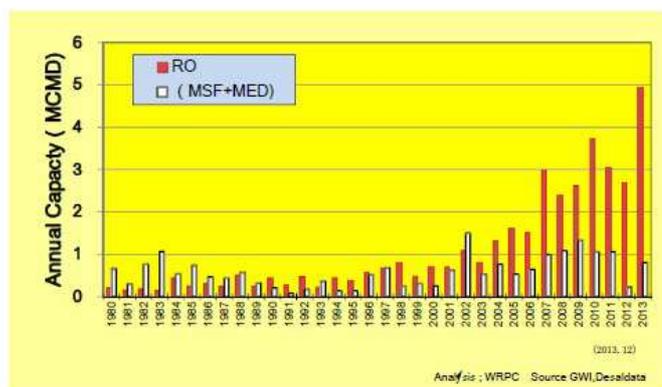


圖 2.2-4 不同海水淡化工法之設置量及趨勢變化

美國對於海水淡化的需求起因於 1950~1960 年代，因海外駐軍須確保飲用水來源而加強研究，而日本則肇始於 1960 年代因人口增加、生活的改善、經濟發展致使需水急增，也因為 1970 年代石油危機加速在 RO 膜法上的研究。逆滲透海水淡化設施主要有取水設備、前處理設施、逆滲透設備、高壓泵和能量回收設備、後處理設備、加藥設備、膜的清洗（化學）設備、廢水處理設施、放流設備、電氣、儀表設備等。

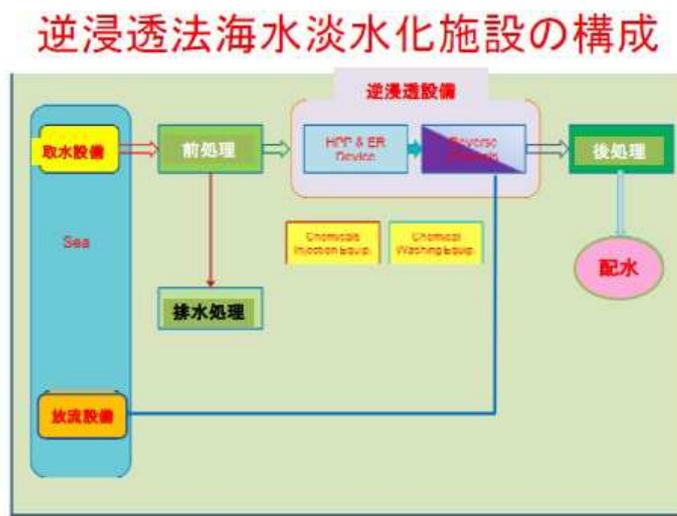


圖 2.2-5 一般逆滲透海淡廠之處理流程示意

取水設備選定必須考慮：清潔海水、穩定的溫度、穩定的海水成分、選擇合適的位置、海相變化、取水能力設計、海洋生物附著對策等等因素。從事海水淡化時，通常須對海水做前處理，以保護淡化廠，並降低淡化成本。以逆滲透法而言，主要是過濾去除懸浮微粒，以保護 RO 膜免於受損。一般商業用的 RO 膜材質可分為醋酸纖維(Cellulose Acetate)及聚醯胺(Polyamide) 兩類，前者之單位面積流率高，適用於管筒型及螺旋型，後者則因其單位體積具有大表面積，適用中空纖維(中空絲)型。一般而言，聚醯胺類材質擁有較長壽命。螺旋型與中空絲型這二類 RO 膜產水效率差不多，中空絲型可加氯作消毒，但氯會傷害螺旋型的 RO 膜，不可使用於此類型作為消毒用劑。在海水淡化廠 RO 膜屬消耗品，一般 5~7 年更換一次。對於海水淡化而言，能量損耗是直接決定成本高低的關鍵，高壓泵和能量回收設備則是產水成本能否降低的重要因素，所以致力於此的研究將是未來海水淡化能否普及化的關鍵技術。

後處理設備是因應後端目的用水而作的水質調整，典型的調整項目如：pH、硼的調整及氯氣消毒等，以符合生活用水或工業用水所需水質要求。發展海水淡化產業的同時，也應注意大規模海水淡化所產生的海洋環境污染問題。海水淡化所排出的大量濃鹽水，含鹽量一般是海水的兩倍，且溫度高於海水，通常直接排入海洋中。因此廢海水中的熱能會使局部海域水溫升高，導致某些浮游生物急遽繁殖和高度密集，造成海洋生物大量死亡。海水水溫的升高還會使海水中的溶氧量降低，影響生物的新陳代謝，甚至使生物群落發生改變，破壞海洋生物的棲息環境。此外，蒸餾法淡化廠易於腐蝕，可能會把一些重金屬，例如銅，排入廢液。逆滲透法也有類似的問題，它需要用化學品作預處理和清潔薄膜，這些化學品最後也成為廢液。為解決海洋環境的污染問題，廢液須於排放前先做處理，排放的濃鹽水則引入大海深處，讓濃鹽水和天然海水自然混合，以解決濃鹽水的區域性污染問題。此外，濃鹽水須控制在適當的溫度後再排放。

日本大型海水淡化廠有沖繩及福岡海淡廠，其基本資料彙整如下表。

表 2.2-1 日本國內大型海淡廠規格比較

項目	沖繩廠	福岡廠
建設年	1996	2005
設備能力	40,000m ³ /d	50,000m ³ /d
短期容量組數	5,000m ³ /d X 8 Units	10,000m ³ /d X 5 Units
取水方式	深層取水方式	浸透取水方式
前處理方式	凝集過濾方式 (壓力式二層濾過)	UF 膜過濾方式 (螺旋 PVDF 膜)
RO 膜形式	螺旋型(聚酰胺複合膜)	中空絲型 (三醋酸纖維素膜)
RO 回收率	40%	55-60 %
運轉壓力	7 - 7.5 Mpa	8 MPa
能源回收系統	逆轉泵型	佩爾頓輪式
後處理方式	無	除硼 (RO)
濃縮水放流方式	水中擴散噴流系統	混合污水放流

因兩者環境不同所採處理模式均有不同；沖繩廠建造較早採深層取水塔方式，RO 膜採螺旋型，又因建置於淨水場內，其 4 萬 CMD 產水量與淨水場內 20 萬 CMD 水量混合，無須做後處理，濃縮水排放則採射流水中擴散型式。福岡廠建造較晚採滲透集水管較無海洋生物附著問題，且採用 UF 前處理程序取得潔淨水質，RO 膜採中空絲型，並作去硼的後處理，濃縮水則與汙水處理後之放流水混合降低鹽度後排放。

一般淡化廠之造水成本分析可分為建造成本與營運成本兩大類，建造成本包括設廠建築、淡化裝置、取排水管線及能源設施等，而營運成本則包括化學藥品、操作維護、膜管更換、人員薪資及投資利息等。根據各項除鹽造水技術在經歷數十年商業化的運轉操作實績評估，海淡廠的建造成本以逆滲透法最經濟，而營運成本則與原水水質之 TDS 成正比，並與淡化廠的造水量成反比，依近年淡化成本趨勢分析來看，各種淡化成本均有顯著下降現象。日本平均海水淡化造水成本約 200~300 日圓/噸，因後續行程將參訪該兩廠，實際資訊再請參考廠內說明。另外，日本在海水淡化新技術研究著重於取水技術及能量回收設備二大方向，濃鹽水(鹵水)再利用案例在日本並不多見。

2.3 參訪 NAGAOKA 那賀株式會社

2.3.1 參訪 NAGAOKA 那賀株式會社總公司

☞ 接待人員：

代表取締役社長	三村 等
専務取締役 營業本部長	山田克彦
取締役 エンジニアリング開発本部長	大岩忠男
營業本部・取水營業部 理事部長	里 美隆
營業本部・國際水ビジネス營業部主任	劉 魯安
開發エンジニアリング本部・水處理事業推進部 主任	西村拓朗
管理本部・總務部・廣報秘書課 課長	久保知世

1. 拜會 NAGAOKA 那賀株式會社總公司



圖 2.3-1 拜會 NAGAOKA 那賀株式會社總公司並進行雙邊會談-1



圖 2.3-2 拜會 NAGAOKA 那賀株式會社總公司並進行雙邊會談-2

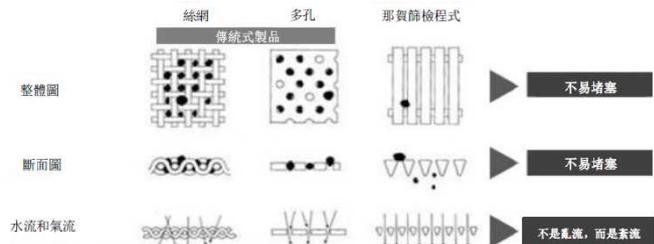


圖 2.3-3 與 NAGAOKA 那賀株式會社董事會成員合影

日本 NAGAOKA 那賀株式會社創業於 1934 年 10 月，截至 2016 年 7 月 1 日止之員工人數為 214 人，除於日本大阪府貝塚市設有製造工廠外，於中國北京及大連亦分別設有銷售子公司與製造工廠。其事業領域則包括水、能源及環境等三大面向，其中伏流水取水等涉及入滲或過濾產品之設計與製造均為該公司之專業強項，其產品可承受高壓、高溫及腐蝕等極端情況，已廣泛應用於石油化學工業(作為石油精煉、石油化工之核心部件，應用於反應、抽出、分離等流程)、食品加工廠(例如不同尺寸花生之篩選分離)、淨水場取

伏流水設施及海淡廠取海水設施等。

那賀過濾器



那賀過濾器係由鋼線經冷軋形成三角形，再繞圈電焊於骨架上，初期為圓型(如上圖)，之後可依需求切割攤平(如圖右)或做成其他形狀。

圖 2.3-4 那賀過濾器示意圖

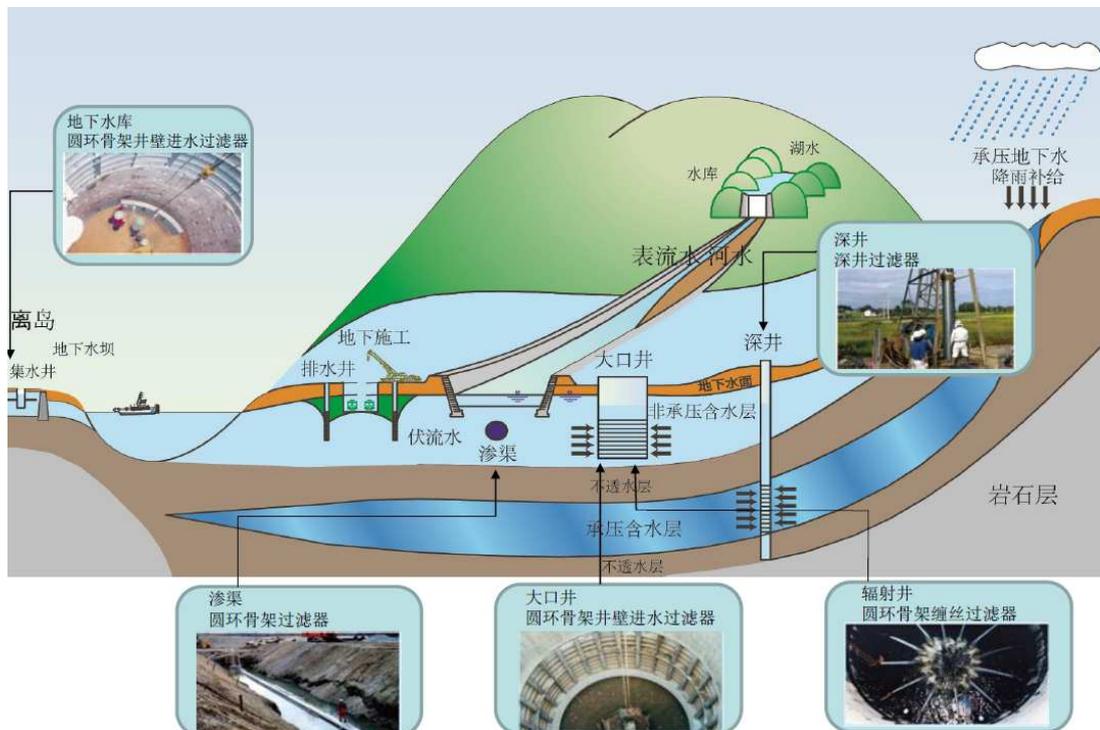


圖 2.3-5 那賀取水技術包括深井、輻射井、寬口井及集水暗管等

就取水技術部分，NAGAOKA 那賀株式會社之技術除獲日本水道協會採用刊登於「水井管理技術手冊,2014」、「水道施設設計指針,2012」、「水井的改修及更新事例集,2000」等文獻外，並於 2012 年憑藉高效率的過濾器解決中國凌源市用水不足問題之取水技術獲得 International Water Association(IWA 國際水協會)頒發項目創新獎項之東亞地區冠軍殊榮。

中國遼寧凌源市之項目背景

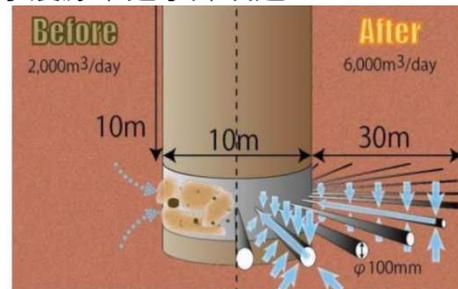
- (1)年降雨量少，水源以地下水為主。
- (2)2009 年因嚴重枯旱，取水量減少 76%。
工業用水完全停止，生活用水一天一次。
- (3)新建水井的時間及預算不足。



NAGAOKA 那賀株式會社針對凌源市之解決方案→將寬口井改造成輻射井，增大取水半徑→增加出水量



中國遼寧凌源市之水井改造



辐射管改造工程
Φ100mm×30m×24方向

取水量
2,000m³/日⇒6,000m³/日

施工单位
重庆渗滤取水工程有限公司



圖 2.3-6 那賀株式會社解決中國凌源市用水不足問題之方法

2.NAGAOKA 那賀株式會社取水技術說明

(1)NAGAOKA 那賀株式會社生產的那賀過濾器，優點在於不易阻塞，因此使用壽命較長。至於其不易阻塞的關鍵有二，一是埋設集水暗管時一併於集水暗管上方濾砂層中布設反沖洗管，以利定期擾動沉積於河床及濾砂層中較輕之土壤或細砂，讓其藉由水流帶走；另一則是有效控制水通過過濾器之速度，以避免過濾器周邊砂的流動。

(2)反沖洗：一般反沖洗主要採高壓空氣或者是高壓水來進行反沖洗，至於 NAGAOKA 那賀株式會社之集水暗管反沖洗系統係採用高壓空氣進行反沖洗，其反沖洗管布設示意圖如下：

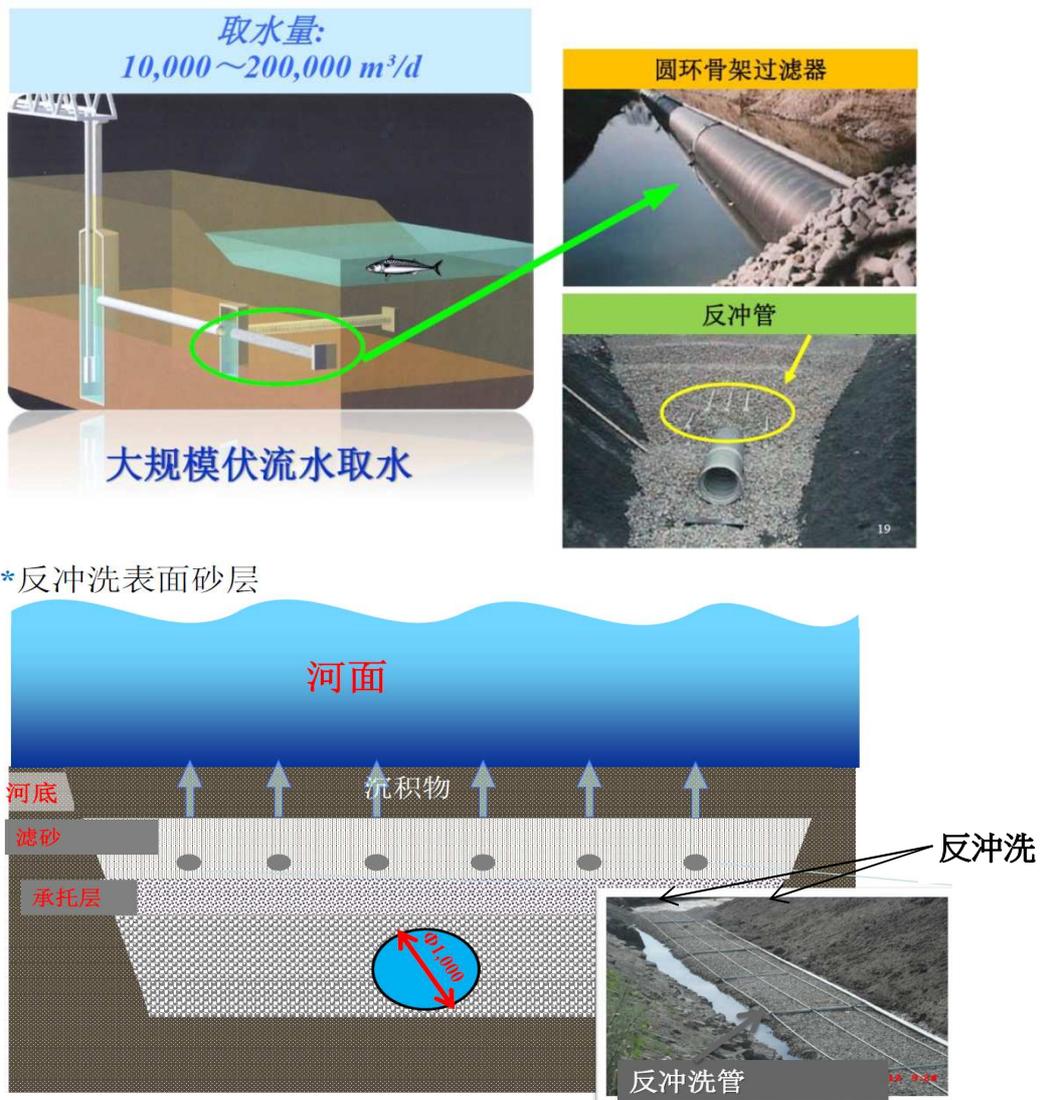


圖 2.3-7 那賀株式會社之集水暗管反沖洗系統

(3)控制進水速度：NAGAOKA 那賀株式會社預防過濾器阻塞的原理之一，係控制過濾器周邊砂的移動，而為避免砂的移動，須透過控制進水速度來達成。亦即傳統的過濾器之進水速度選擇是採用小於 3cm/sec，但水流速度 3cm/sec 仍可能造成細砂及中砂之移動，並進而造成阻塞。

表 2.3-1 不同粒徑砂粒之始動速度

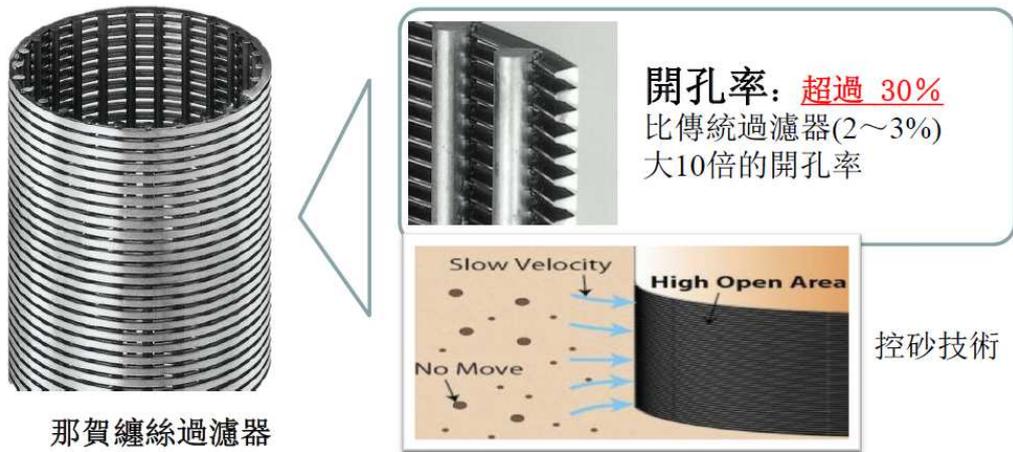
粒徑	細砂	中砂	粗砂
粒徑(mm)	0.05~0.25	0.25~0.5	0.65~2.0
始動速度(cm/sec)	1.0~1.5	1.5~1.7	1.7~3.7

資料來源：日本水道施設設計指針 2012 (註：相關數字係經驗值)



圖 2.3-8 伏流水設施含水層水流動速度愈快愈容易帶動砂粒

至於 NAGAOKA 那賀株式會社於設計時所採用之標準為進水速度小於 1cm/sec(註：由於須額外考量採取一定之安全係數，因此實際進水速度會更小)，而於相同長度取水管及相同取水量條件下，依 $Q=V*A$ 公式，為達成進水速度小之前提是單位長度取水管須有較大之開孔率。而 NAGAOKA 那賀株式會社所生產之過濾器，其開孔率約為傳統過濾器的 10 倍以上為其最大優勢。



那賀纏絲過濾器

圖 2.3-9 伏流水取水過濾器開孔率大含水層水流動速度慢

(4)NAGAOKA 那賀株式會社研發之高速海底滲透取水技術 HiSIS(High-speed Seabed Infiltration System) :

傳統海水取水方法包括直接取水與間接取水 2 種，其中直接取水方式之取水設備容易有海洋生物附著及取水濁度較高等問題。

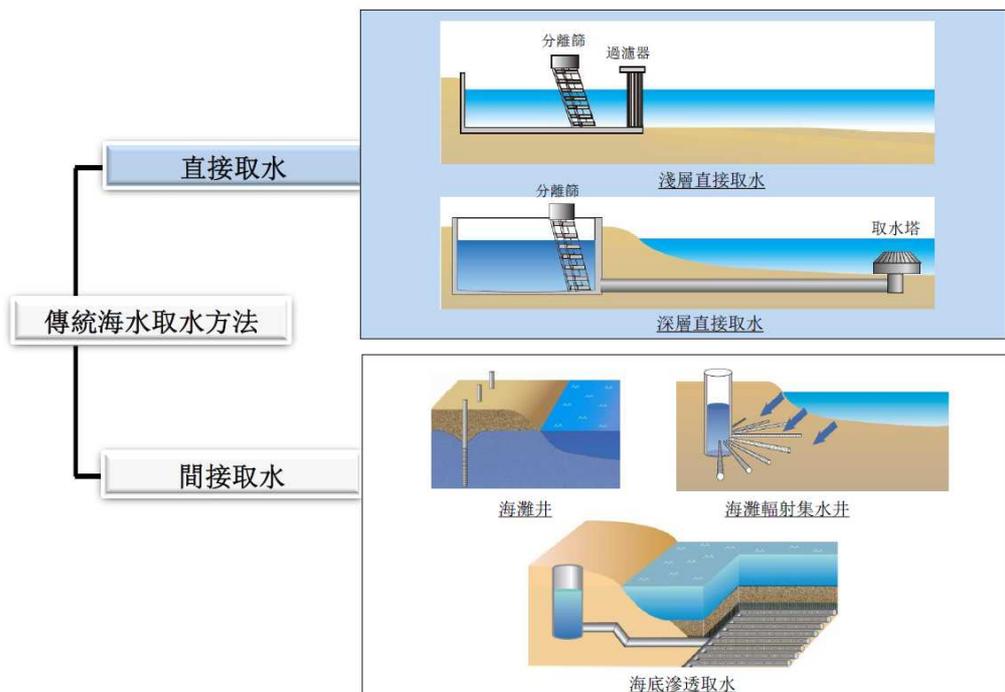
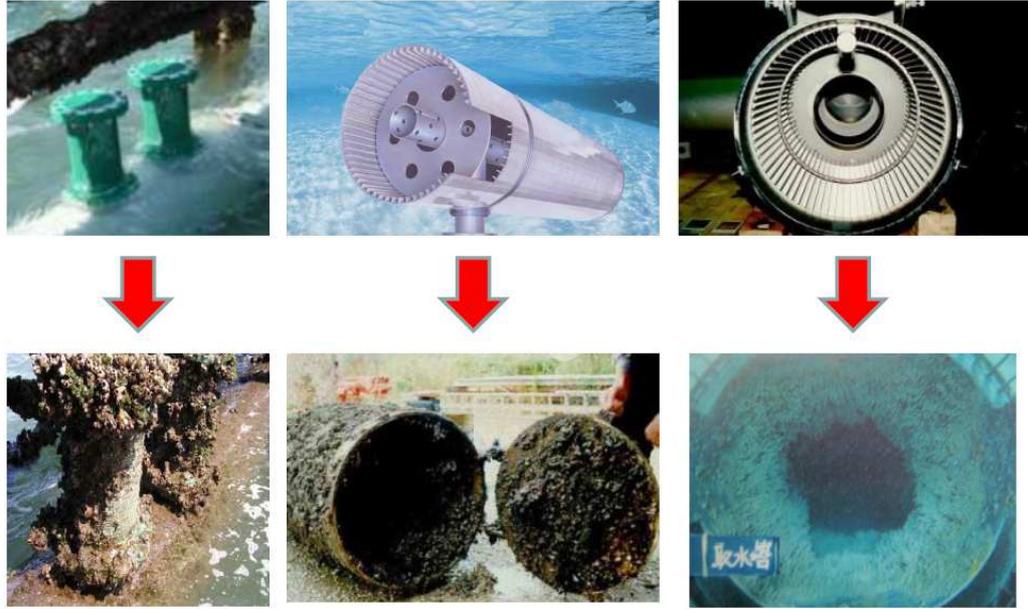


圖 2.3-10 傳統的海水取水方法



Detlef Gille, (2003), Seawater intakes for desalination plants, Joint EDS, WSTA and IWA conference on Desalination and the Environment Fresh Water for All UN International Year of Fresh Water, 156(1-3), 249-256

圖 2.3-11 直接取水設備的海洋生物附著問題

□ 物理除去法

- 專業技術人員
人工作業
- 反沖洗（空氣等）
- PIG工法



□ 化學除去法（如：加氯）

- 海洋環境污染
- 海洋性生物藥物抵抗力增強及其低分子化



RO膜的生物污垢

- 因加氯而形成的有機物低分子化是RO膜生物污垢的成因。
- 加藥沖洗次數的增加及RO膜使用壽命的短縮
- RO膜更換頻度的增加運行成本增加

圖 2.3-12 海洋性生物附著的解決方法

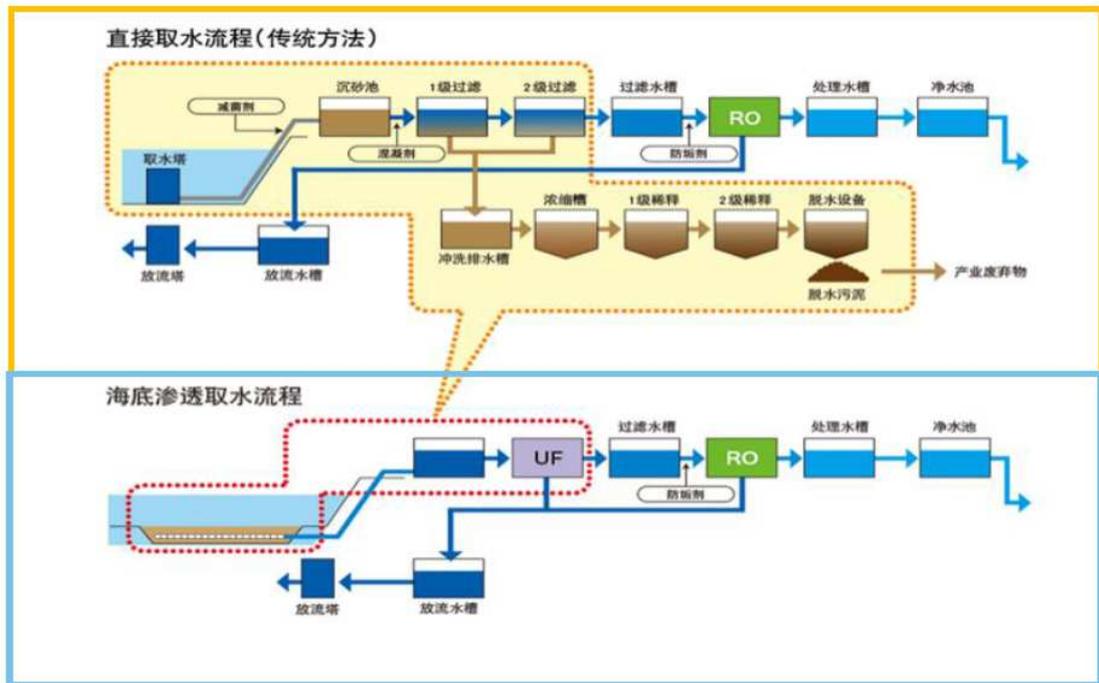


圖 2.3-13 間接取(海)水與直接取(海)水方式之比較

直接取(海)水方式因取得水質之濁度較高，必要時須配合混凝沉澱程序，增加後續污泥廢棄物之處理成本。至於間接取(海)水方式，取水水質較佳，通常可直接將水輸送至 UF 膜進行下一處理步驟，故可削減預處理設施之規模，亦可減少化學藥品使用量且毋須處理污泥等事業廢棄物，及避免海洋生物附著或隨海水進入處理系統。

惟其前期須投入較多之滲透處理設備；此外為能保證清澈取水、避免阻塞，並將水輸送至 UF 膜，間接取(海)水之速度通常設定較小，如此，為取得所需海水量，就需要較大的海洋用地面積(以日本福岡海淡廠為例，取水速度設定在 6m/day，其取海水設施之用地面積即約達 2 公頃)。



圖 2.3-14 福岡海之中道奈多海淡中心間接引取海水

NAGAOKA 那賀株式會社研發之高速海底滲透取水技術 HiSIS，雖與福岡海淡廠一樣都是間接取海水方式，2 者間之不同主要在於 HiSIS 取水速度大幅提高至 100m/day。在取水速度提高將近 17 倍的情況下，用地面積也可以因此大幅縮減為原本需求的 1/17。

以取水量 10 萬噸(以 SWRO 工法約可生產 5 萬噸海淡水)為例，如採 NAGAOKA 那賀株式會社研發之 HiSIS 取水，其取海水設施所需用地面積僅約 1,000 平方公尺(相當於 32m*32m)，約為福岡海淡廠設施規模的 1/20。

取水量100,000m ³ /d時的概算		
類別	HiSIS	海底滲透取水
滲透速度	100m/d	6m/d
需要取水面積	1,000m ²	17,000m ²

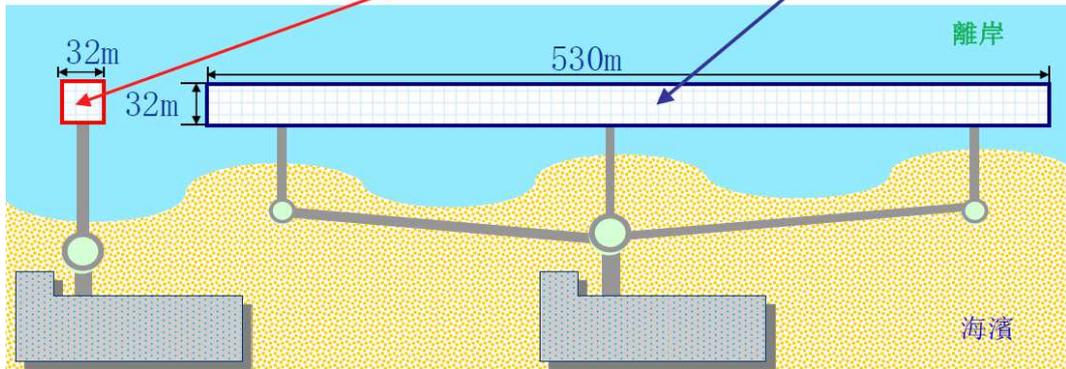


圖 2.3-15 HiSIS 取水方式與傳統型滲透面積之比較

HiSIS (高速海底滲透取水系統)

滲透速度: 100 m/day



圖 2.3-16 那賀株式會社研發之高速海底滲透取水技術 HiSIS

為何 NAGAOKA 那賀株式會社研發之高速海底滲透取水技術 HiSIS 能提高滲透速度呢?其中之關鍵在於透過模組化設計，於過濾管上方布設反沖洗系統，透過高壓水或空氣之反洗，避免濾層阻塞問題。這項技術已分別在阿拉伯海灣的阿布達比(與 Abu Dhabi Water and Electricity Authority (ADWEA)合作)及在中國渤海灣之曹妃甸海淡廠進行各 2 年之每日取水 400 噸及 4,400 噸之驗證，確認 HiSIS 在滲透速度=50m/day 及滲透速度=100m/day 的條件下可以穩定運行。

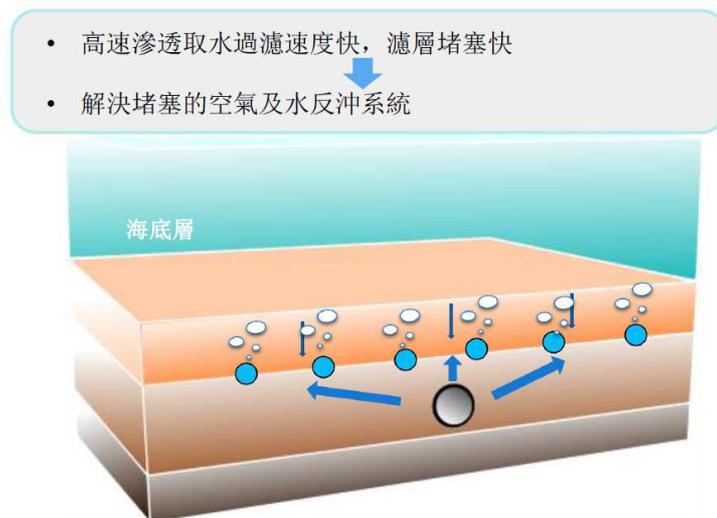


圖 2.3-17 高速海底滲透取水技術 HiSIS 搭配反沖洗管示意圖

測量項目	原水	HiSIS處理水	去除率(%)
濁度	6.02NTU	0.04NTU	99%
色度	9.86	1.36	86%
SDI ₅	17.79	7.45	58%
SDI ₁₅	6.39	3.82	40%
ATP	1.6×10^{-9} mol/l	2.0×10^{-10} mol/l	88%
葉綠素 a	2.67μg/l	0.43μg/l	84%
TEP	0.44 mg Xeq /L	0.24 mg Xeq /L	45%
BIO polymer	353 ppb	202 ppb	42%

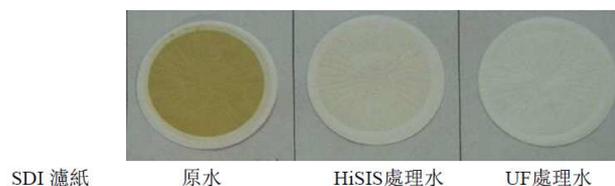


圖 2.3-18 於阿布達比進行 HiSIS 試驗之成果

測量項目	原水	HiSIS 處理水	去除率 (%)
濁度	8.0NTU	0.42 NTU	95%
SS	6.7 mg/l	0.6 mg/l	91%
SDI ₅	無法測量(Max:20)	8.6	57%
SDI ₁₅	無法測量(Max:6.67)	4.2	37%
TOC	1.04 mg/l	0.82 mg/l	21%

SDI 濾紙:



原水

HiSIS 處理水

UF 處理水

UF膜的藥物沖洗頻率對比:

	HiSIS 處理水	DAF 處理水
化學沖洗頻率	396小時/1次沖洗	134小時/1次沖洗

圖 2.3-19 於中國渤海灣進行 HiSIS 試驗之成果



圖 2.3-20 模組化設計之 HiSIS 取水設施(多套系統可串聯)

HiSIS 可實現高速滲透取水，減少滲透取水面積，且經 NAGAOKA 那賀株式會社經 2 年之海域驗證，進一步確認 HiSIS 的下列優勢：

- (1)可大幅減少海洋性附著物。
- (2)無需向取水設備投放化學藥物。

- (3)可削減預處理設施及污泥處理設施設備。
- (4)能直接輸送清澈海水（抑制 RO 膜的生物污垢）。
- (5)實際使用中，UF 膜的用藥洗淨次數少於傳統的處理方式。
- (6)取水設備可安裝在沿岸（無需連接離岸的配管）。

此外，就營運成本而言，HiSIS 取(海)水方式與採用直接取水的海水淡化設施的運行成本進行比較，採用 HiSIS 可降低 UF 膜、RO 膜的更換成本以及藥品費用，無需污泥處理費用，因此營運成本可以減少 0.0636 美元/噸。(註：表 2.3-2 並未考量初期建設成本之二者比較)

如以每日產水量 10 萬噸的海淡廠換算，依 NAGAOKA 那賀株式會社提供之數據，則海淡廠營運成本每年約可減少 464 萬美元(註：0.0636 USD/ m³×取水 200,000 m³/日×365 日÷464 萬 USD/年；約等於 1.5 億元台幣)。

表 2.3-2 直接取水和 HiSIS 運行成本的比較

(以下僅為採用HiSIS可能削減成本的項目)

單位：USD/m³

		採用直接取水的海水淡化化設施	採用HiSIS的海水淡化化設施	差額
預過濾膜		0.02	0.01	0.01
保安過濾器		0.01	不要	0.01
UF膜更換成本		0.027 (33.3%/年)	0.013 (16.7%/年)	0.014
RO膜更換成本		0.023 (16.7%/年)	0.017 (12.5%/年)	0.006
藥物費用	前加氯	0.00525	不要	0.0086
	混凝劑	0.0001	不要	
	還原劑	0.00325	不要	
淤泥處理費*		0.015	不要	0.015
合計		0.1036	0.04	0.0636

出處：根據Cost Estimating of SWRO Desalination Plants, THE MIDDLE EAST DESALINATION RESEARCH CENTER, 及 Ace Water Treatment Co., Ltd. 網頁編寫)

*沉砂池及UF膜的排水處理費用。

2.3.2 參訪 NAGAOKA 那賀株式會社研究發展中心

☞ 接待人員：

取締役 エンジニアリング開発本部長	大岩忠男
營業本部・國際水ビジネス營業部主任	劉 魯安
開發エンジニアリング本部・水處理事業推進部	
主任	西村拓朗
開發エンジニアリング部・開發課 課長	柳本洋一
開發エンジニアリング部・開發課	濱田浩志
開發エンジニアリング部・開發課	徐 曄洽
開發エンジニアリング部・開發課	孫 晉
開發エンジニアリング部・企画設計課	魏 明林



圖 2.3-21 與那賀株式會社研究發展中心同仁合影



圖 2.3-22 營業部主任劉魯安協助解說



圖 2.3-23 HiSIS 取水技術與傳統直接取水之單元與佔地比較

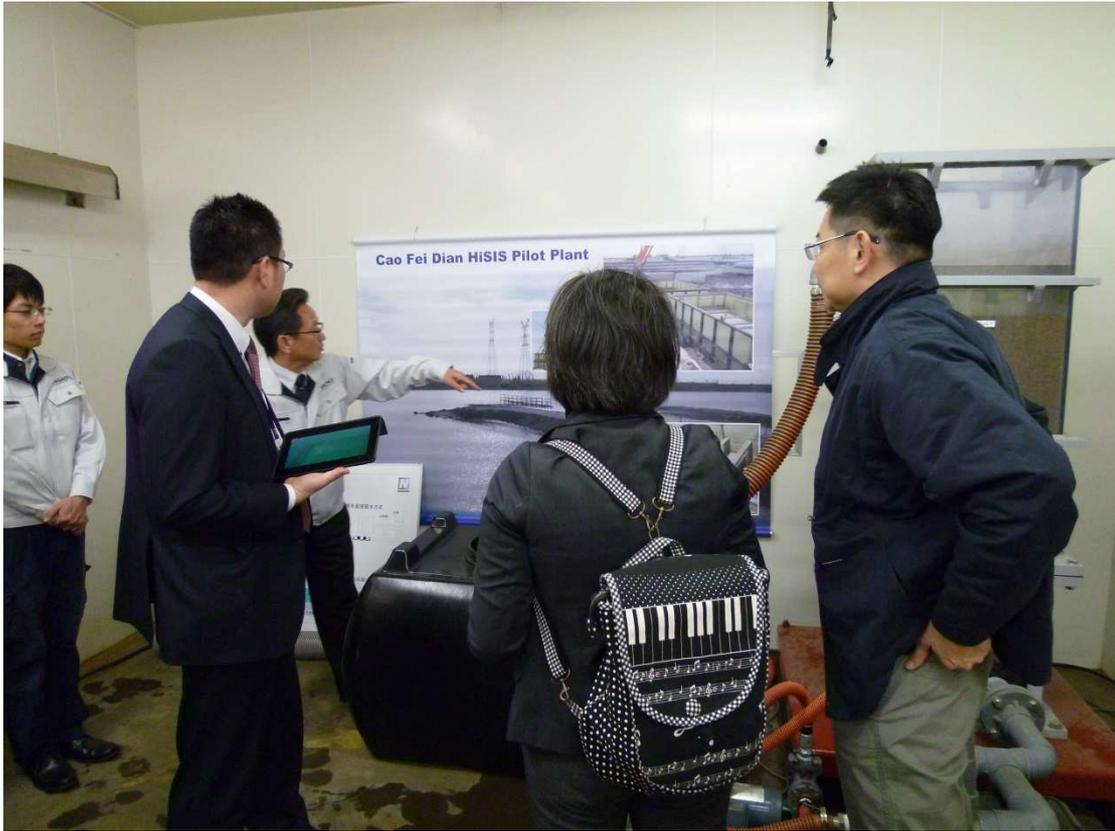


圖 2.3-24 高速海底滲透取水技術 HiSIS 之操作原理動態展示

於那賀株式會社總公司拜會該公司高層幹部，聽取簡報並進行討論後，隨即轉往該公司研究發展中心參觀。研究發展中心人員除現場展示那賀株式會社所研發之高速海底滲透取水技術 HiSIS 與傳統直接取海水技術在用地面積、單元數量及操作難易度上之優勢外，亦現場操作依 HiSIS 原理製作之動態模型機組，其顯示在高壓水反沖洗後，濾層上方之砂土(含濾層)均呈現鬆動狀態(類似煮開水時之沸騰現象)且整體濾層之高程上升(因此制式模組內所填濾層不會填到模組頂部，即是為了反沖洗時不會流失)，而反沖洗過程中較輕的淤泥會因水壓力而有往上之動力，預期當淤泥上升至模組頂部，將很容易被海流帶走，以此方式即可避免濾層持續淤積，以維持系統之持續入滲能力。

另由該研究發展中心之規模及人力，顯示那賀株式會社雖然於日本已屬技術領先，但仍不斷投入精進創新，實為企業永續經營之良好典範。

2.3.3 參訪 NAGAOKA 那賀株式會社貝塚工廠

☞ 接待人員：

取締役 エンジニアリング開發本部長	大岩忠男
營業本部・取水營業部 理事部長	里 美隆
營業本部・國際水ビジネス營業部主任	劉 魯安
開發エンジニアリング本部・水處理事業推進部 主任	西村拓朗



圖 2.3-25 那賀株式會社貝塚工廠位置

那賀株式會社貝塚工廠係於 2006 年 3 月竣工，位於港灣局管轄的人工島上，佔地面積為 10,817 平方公尺，廠房占地率約 51%，含 1、2 層在內之廠房面積達 7,479 平方公尺。在此設廠的好處是可透過碼頭通過駁船直接出口，大幅減少陸上運輸之不便。



出貨前的臨時組裝檢驗



在碼頭通過駁船出口

圖 2.3-26 那賀株式會社貝塚工廠出貨情形

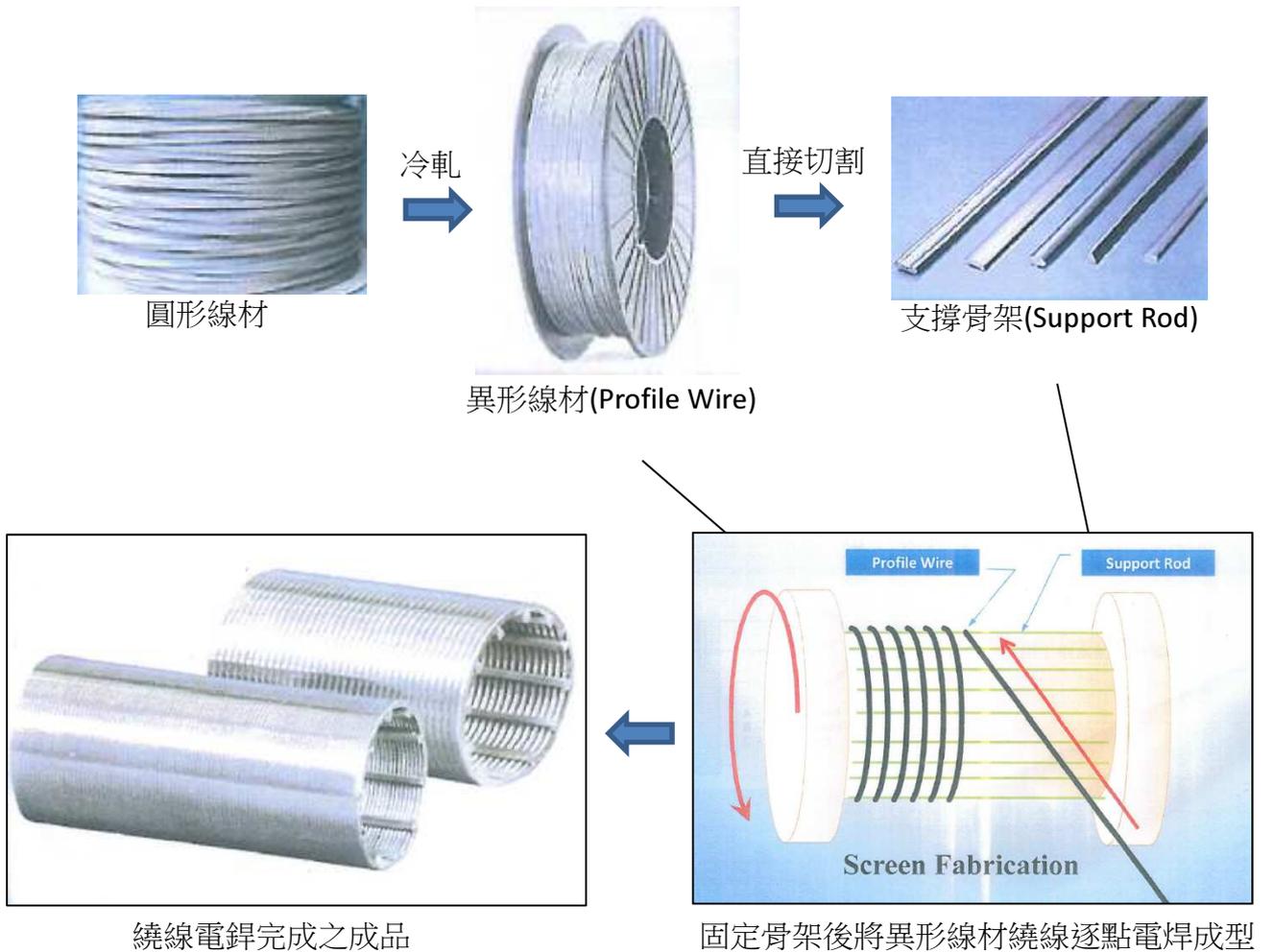


圖 2.3-27 那賀過濾器之主要製程說明



圖 2.3-28 再組裝上合適之兩端配件即成為取水過濾器

由於 NAGAOKA 那賀株式會社貝塚工廠內謝絕拍照，因此，那賀過濾器之生產過程透過前述方式簡介。惟工廠外有準備出貨之製品可供拍照及解說如下。



圖 2.3-29 社貝塚工廠廠長帶領參觀初步製作之過濾器並解說



圖 2.3-30 準備出貨之不同間距過濾器(孔隙間距 1.0mm 及 0.6mm)



註：那賀株式會社生產的過濾器顯示其開孔率大，鋼線與骨架均經電焊頗為堅固，且材質可選不銹鋼或不銹鋼再予鍍鋅加強其耐久性。

圖 2.3-31 那賀株式會社生產的過濾器近照



圖 2.3-32 與那賀株式會社貝塚工廠廠長及總公司同仁合影

2.4 北九州水廣場 (Water Plaza)

2.4.1 北九州水廣場簡介

因全球水資源不足現象日趨嚴峻，日本因具備高度尖端水處理技術，且為了開創水與人類和諧共存新紀元，而成立「水廣場」以解決世界水問題為目的，透過有效利用日本水處理技術與經驗，持續性的提供先進水循環利用設施與方案。「獨立行政法人新能源及產業技術發展機構」(The New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO) 為啟動節水與環境永續水循環利用工作，並透過海內外業務拓展不斷強化節能與產業競爭力，「水廣場」在由該機構得到與北九州市與周南市等地方政府合作條件下，結合「國際水循環利用方案技術研究協會」(Global Water Recycling and Reuse Solution Technology Research Association, GWSTA) 共同開發低耗能及低成本水循環處理設施(整體組織組成詳圖 2.4-1)，以從生活污水、工業廢水與海水分離出高品質水，最終目的為：1.提供有效結合各種節能且有益於環境的水資源解決方案、2.以具備實績之日本國產過濾膜構成的成套設備展示及 3.提供試驗場所用於開發各種有效利用水資源所需先進技術。



圖 2.4-1 水廣場整體組織組成



圖 2.4-2 與水廣場濱田英明所長合影



圖 2.4-3 於海淡前處理 UF 模組前合影

2.4.2 設施概要

1. 污水處理結合海水淡化處理流程

北九州水廣場佔地面積約為 6,000m²，現場有實際運轉中的成套展示設備和開發尖端科技的試驗場所，不僅僅研發更進一步開發設備實際應用。可近距離觀察之實際規模成套設備展示採用了先進的水循環系統，該新式產水系統透過海水淡化及污水再利用技術的合併使用，實現了低成本與低能耗之水回收處理系統，實際，目前場內污水處理結合海水淡化之整體水再生利用處理流程詳圖 2.4-4。

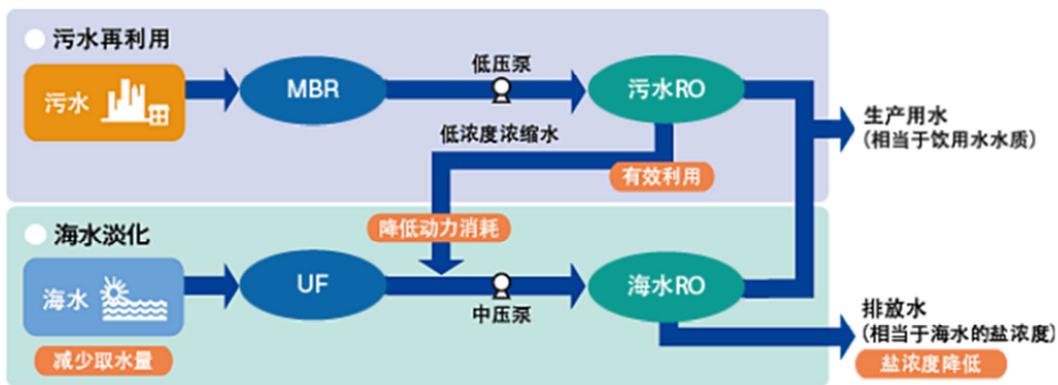


圖 2.4-4 水廣場污水處理結合海水淡化處理流程

2. MBR 處理

污水處理技術採用了「活性污泥薄膜處理」(MBR, Membrane Bio-Reactor)和「逆滲透」(RO, Reverse Osmosis)處理技術。MBR 是綜合了淨化處理與過濾處理的系統，使用微生物進行淨化處理，再採用過濾膜進行過濾，與傳統活性污泥處理方式差異如圖 2.4-5，因 MBR 無需施設沉澱池而較節省空間，另採用膜過濾技術，能夠得到高品質處理水。實際處理流程為先將污水送至 MBR 處理槽，槽內微生物能夠分解除掉水中的有機物、氮、磷等成分，同時浸沒在槽中的精密濾膜(MF、Microfiltration，過濾方式如圖 2.4-6)能夠去除微生物及細小顆粒等，該處理水經消毒後能夠作為公園等處作為遊戲與清潔用水。目前北九州水廣場內所採用 MBR 處理流程如圖 2.4-7，3 套 MF 諸元詳圖 2.4-8；本套系統經由圖中之①膜組件採垂直堆疊以利氣泡由下往上清洗膜表面、②採用微孔曝氣裝置清洗

膜表面及③依據好氧池內 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度調整曝氣量防止過量供氣以減少曝氣量，如此可減少 MBR 系統中最耗能之鼓風機送風量，並利用水位差代替過濾泵以減省電力以達成節能與降低運轉成本。由 MBR 過濾後水再透過 RO 膜濾除鹽分及離子等奈米級別的雜質，能夠得到相當於飲用水標準淡水。

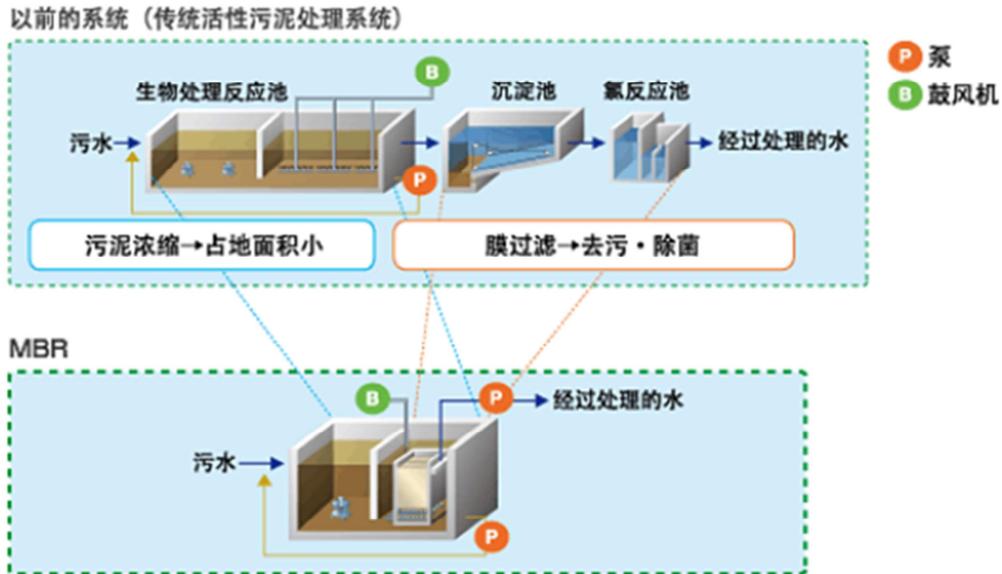


圖 2.4-5 傳統活性污泥處理系統與 MBR 處理流程比較

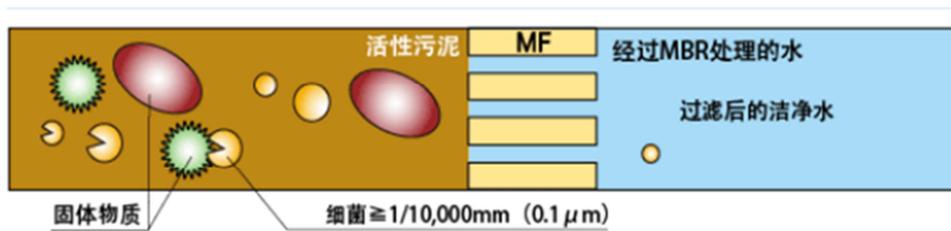


圖 2.4-6 MF 膜過濾方式



圖 2.4-9 MBR 系統模型



圖 2.4-10 MBR 模組

3. UF 處理

海水淡化技術採用前處理與後處理綜合技術，前處理使用超濾膜(UF、UltraFiltration)，後處理使用 RO 膜。所汲取海水於 UF 機組中進行前處理，海水通過 UF 膜過濾除去海水中細菌及微粒子成分。

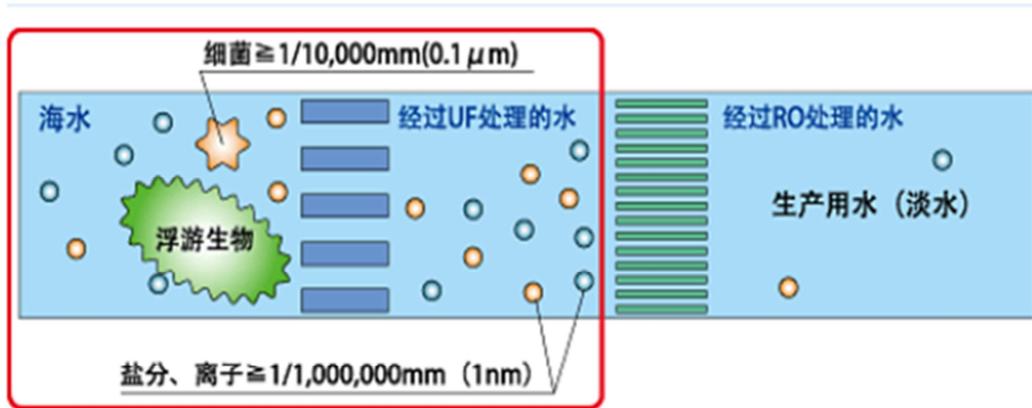


圖 2.4-11 UF 過濾膜過濾方式

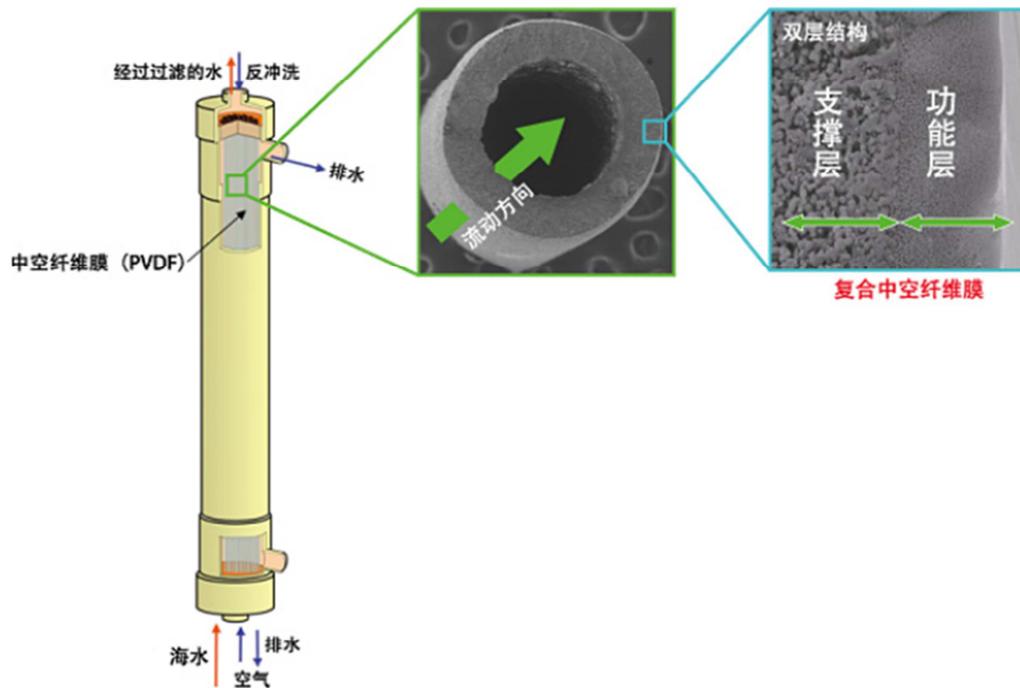


圖 2.4-12 UF 過濾膜構造



圖 2.4-13 UF 中空絲膜模型



圖 2.4-14 UF 前處理系統

4.RO 處理

污水處理廠排放水經由 MBR 預處理後，再透過低壓 RO 系統通過 RO 膜濾除鹽分及奈米級別離子雜質，過濾後能得到相當於飲用水標準淡水。由於經由 MBR 處理後水中含有微量礦物質與有機質而容易繁殖微生物，因此在污水 RO 特別採用不易附著微生物之尖端技術低污垢膜，使用低污垢膜可減少使用殺菌劑，而降低成本且較環保。污水 RO 處理系統採用 2 組各為 6 支與 3 支合計 9 支之 8"RO 膜管。

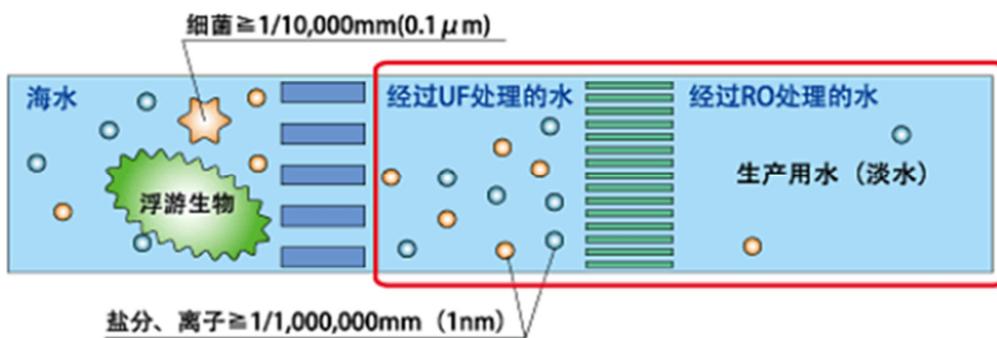


圖 2.4-15 RO 膜過濾方式

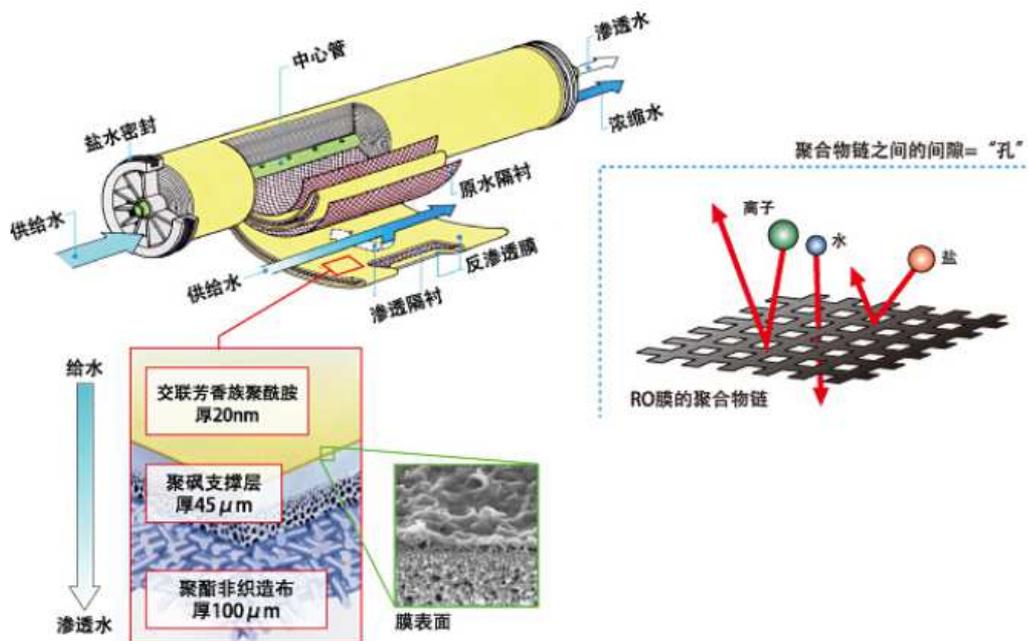
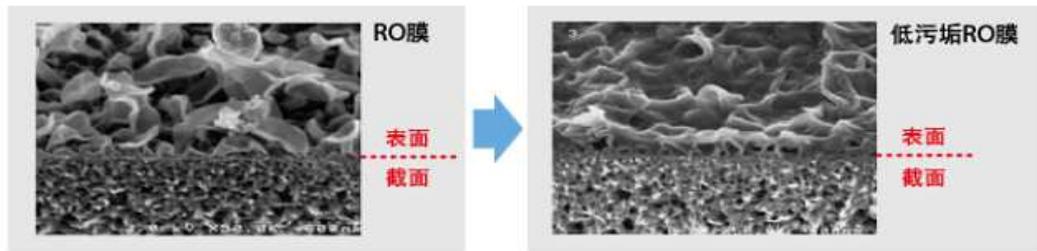


圖 2.4-16 平板式 RO 膜構造

不易附着微生物的低污垢RO膜



附着在膜面的微生物少

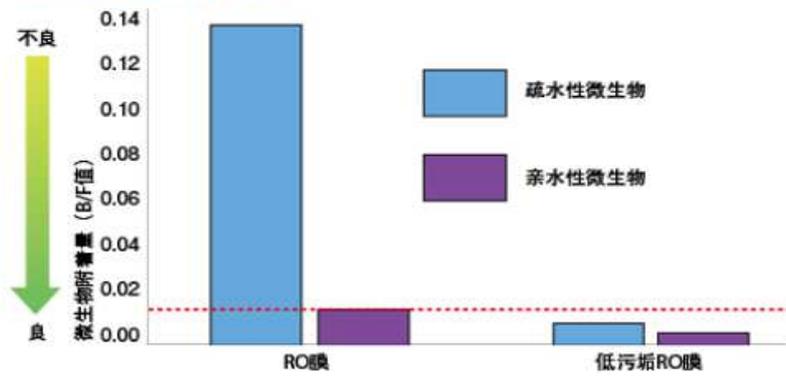


圖 2.4-17 低污垢 RO 膜



圖 2.4-18 污水處理 RO 系統

傳統 RO 系統因欲將高濃度鹽水海水處理成淡水，加壓於 RO 膜之壓力須非常大（約為 5MPa），也是傳統海水淡化系統最為耗能之處理程序，佔了整個污水處理系統大部分能耗。因此本套系統採用新對策，使用經污水 RO 處理過程產生之廢水與經過 UF 前處理後之海水混合稀釋海水鹽度，如此即可以中壓泵（約 2MPa）泵送海水通過 RO 膜，相較一般 RO 系統將更為節能且降低造水成本。而且因混合污水 RO 處理廢水，不但減少海水取水量，也使排放水鹽分濃度接近海水，因而降低排放水對海岸環境衝擊。本套 RO 系統採用 1 支 16" 與 3 支 8" RO 膜管，1 支 16" RO 膜管相當於 4 支 8" RO 膜管膜面積總和，因為整體配管少且結構簡單而能降低建設成本。



圖 2.4-19 海水處理 RO 膜系統

5. 產水利用與循環型經濟

水廣場自 2011 年 4 月啟用後至 2014 年 2 月將進 3 年期間，每日自該設備由海水與污水中分離出 1,400m³ 相當於飲用水標準清水，然後再輸送到約 2 Km 外九州電力株式會社新小倉火力發電廠，作為工業用水。經試驗證明，與一般海水淡化處理方式相比，本套系統採用污水 RO 處理過程

產生之廢水與經過 UF 前處理後之海水混合稀釋，整體能耗減少 39%
 (NEDO 項目目標值為 30%)，水處理成本降低 30%。

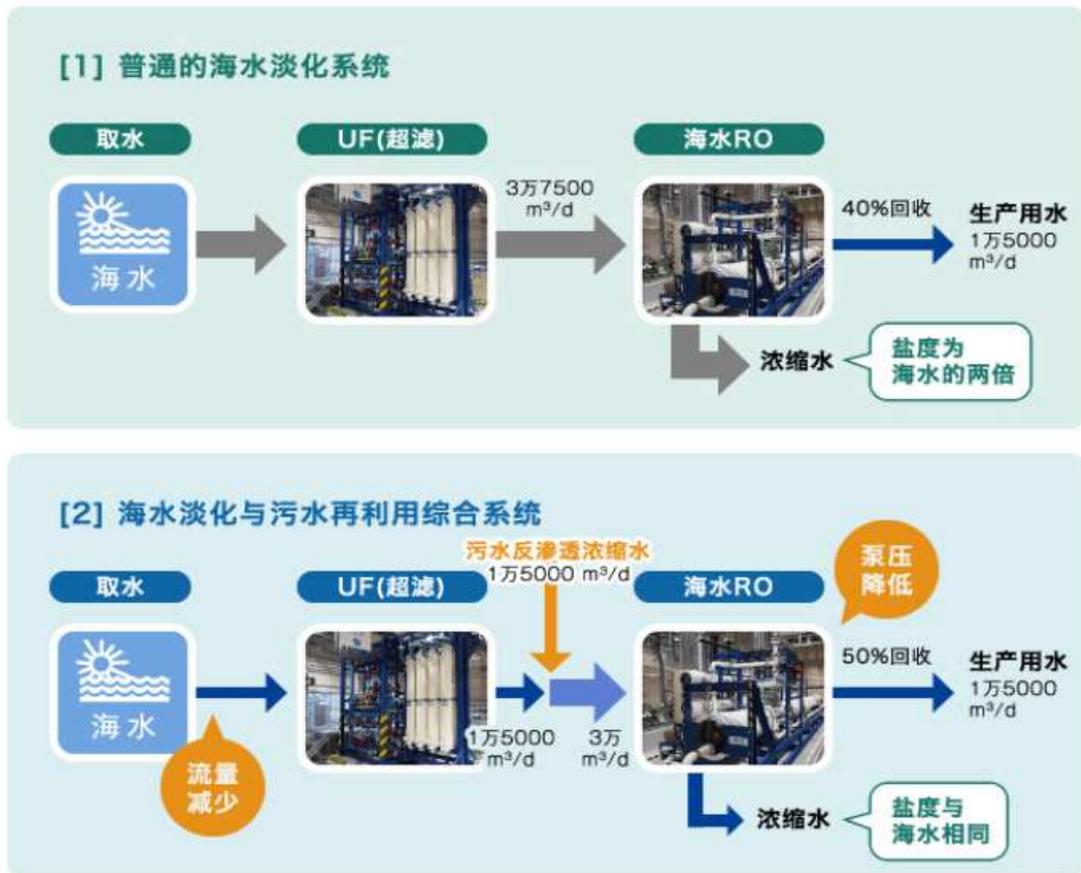


圖 2.4-20 一般海水淡化設備與水廣場系統產水率比較

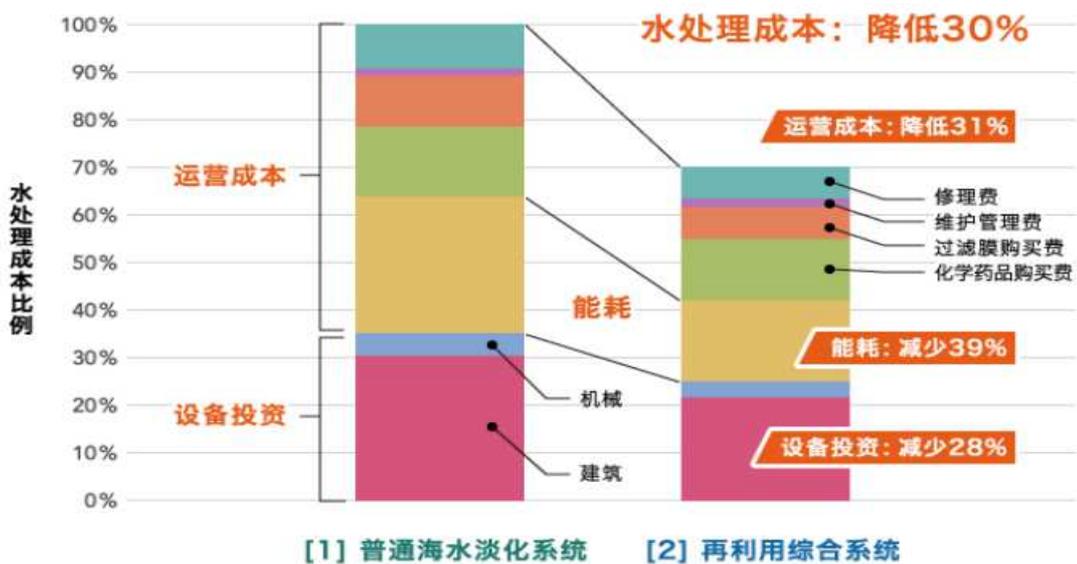


圖 2.4-21 一般海水淡化設備與水廣場系統造水成本比較

水廣場用電 80%係由鄰旁垃圾焚化爐發電、10%由污水處理過程污泥所生成甲烷燃燒與太陽能發電供應，水處理則結合污水處理、海水淡化與供應火力發電廠等，電能與水資源利用與周邊相關設施結合形成一資源整合運用之循環型經濟系統。

水廣場北九州的另一功能是作為試驗場(Test Bed)，提供場所供政府、研究機構與膜製造廠商進行各種泵、膜等設備或器材開發、驗證水處理核心技術，可同時進行多種驗證實驗。因此北九州水廣場具備的成套設備展示和試驗場對提高節能和降低環境負荷之水處理技術提供強力技術支援。



圖 2.4-22 遠眺新小倉火力發電廠

2.5 福岡市海之中道奈多海水淡化中心

海之中道奈多海水淡化中心位於福岡市東區奈多，為日本最大的海水淡化廠，本次參訪是由福岡地區水道企業團海水淡化中心宮島隆所長接待，宮島所長熱心地為我們介紹福岡地區的水資源現況，而後說明興辦本海水淡化廠之緣由、興辦過程以及營運管理經驗，最後就本團提出的問題交換意見。

2.5.1 福岡地區水資源現況

福岡都市圈位處九州北部，含括周邊 9 市 8 町組成，面積約 1169 平方公里。目前人口約 250 萬人，區域內未有一級主要河流，僅為 2 級河川，屬缺水區。為確保穩定供水，須從附近一級河川筑後川遠距離引水。但隨著人口增加，都市化發展以及生活水準的提高，對水資源的需求量有顯著的增加，加上用水效率不高，常有缺水事件發生。因此，1973 年(昭和 48 年)由福岡都市圈中的 6 市 7 町 1 企業團 1 事務合作社成立福岡地區水道企業團¹，由各地方政府出資及派員辦理，以企業團的經營方式，共同有效規劃使用區域供水、合理配置設施，以有效地經營管理區域水資源之供水與用水。

福岡地區水道企業團自 1983 年開始，從九州最大之筑後川遠距離引水，而後於牛頸淨水廠處理，再配送至 9 市 8 町 1 企業團的供水池，開啟「自來水供給事業」，而後再由各市町團體之自來水事業體供水給家戶使用，其任務與角色猶如「水批發商」。期間 3 度擴大事業規模，並於 1999 年取得海水淡化事業之許可，為第 4 次擴大規模，開始進行海水淡化工程之規劃，於 2005 完成 50,000CMD 海淡廠。

此企業團自 2005 年起供給福岡都市圈之總供水量約 250,800 CMD，約佔福岡都市圈自來水用量的 30%。目前福岡區域之水資源現況如表 2.5-1。該單位仍持續開發那珂川、筑後川等新水源，努力為用水戶提供安全穩定之供水服務。

¹ 企業團:為了共同處理縣、市、町等地方公共事務而設置的組織，與自來水、電力、瓦斯部門等地方公營企業共同處理有關經營管理之事務時，稱之為「企業團」。

表 2.5-1 福岡地區水源和開發水量

水系	水源名稱	水量(CMD)
筑後川	江川·寺內水庫	144,200
	合所水庫	28,100
	筑後大堰	6,500
多多良川	鳴淵水庫	22,000
玄界灘	海水淡化	50,000
已開發水量之小計		250,800
筑後川	大山水庫(2013 年供水)	52,000
那珂川	五山水庫(修建中)	10,000
合計		312,800

2.5.2 海淡中心設置背景與歷程

由於近年的氣候異常，降雨量偏少，致筑後川約每 2~3 年即有流況不佳之情形。昭和 53 年 (1978 年)福岡發生大枯旱缺水，於該年 5 月 20 至隔年 3 月 24 日實施限水，共 287 日，每日平均給水限制時間 14 小時，給水車出動台數 13,433 台，動員 32,434 人。後來到了平成 6 年 (1994 年)又發生嚴重枯旱缺水，實施取水限制措施，自該年 7 月 8 日至隔年 5 月 31 日止，福岡市實施了 295 日的給水限制措施，限水 10~55%。這些枯旱缺水事件與限水措施使得福岡地區體認到，需增加穩定水源，以因應天候降雨與河川流量不穩定之影響。

該中心自 1999 年開始施工，整體施工期約 6 年完成，費用 408 億日圓(含海淡廠建造費、用地費、管線、漁業補償費及排水混和池等)。海淡廠主體工程則約 209 億日圓。一般而言，中東地區的海水水質變化不大，短期試車即可，相對之下，日本變化較大，故本廠是以 1 年為試車運轉時間，以便觀察 1 年期間之水質變化。本廠之興辦歷程如表 2.5-2。

表 2.5-2 海中道奈多海水淡化中心之興辦歷程

年度	工程進度
1996	設立福岡都市圈海水淡化導入研討委員會(福岡縣)
1997	制定福岡地區協同供水整備計畫。 確定海淡事業之重要性，決定興辦主體。
1998	獲海水淡化事業許可
1999	開始施工，對取水及工程設備採取技術方案公開徵集評估。取得工程建設用地、導水管鋪設工程。
2000	簽訂「工程建造及取水設備」合約。漁業補償達成協議。打樁工程、取水井工程、豎井工程、導水管鋪設工程。
2001	土木工程(建物骨架工程)、機械設備工程、取水工程、排放設備設計、導水管鋪設工程
2002	土木工程(建物附設工程)、機械設備工程(機械製作、安裝和配管工程)、取水工程、混合設施工程、排水工程、導水管鋪設工程
2003	土木工程(建築物內裝、室外工程)、機械設備工程(膜元件製作、電氣測量)、混合設施工程、排水工程、導水管鋪設工程
2004	土木工程(室外)、混合設施工程、導水管鋪設工程、整體運轉測試
2005	開始供水



圖 2.5-1 福岡海淡中心外觀



圖 2.5-2 福岡海水淡化中心入口大廳



圖 2.5-3 福岡海淡廠設施平面圖



圖 2.5-4 廠內空間配置情形



圖 2.5-5 參訪通道設置施工歷程之圖像紀錄



圖 2.5-6 施工歷程紀錄

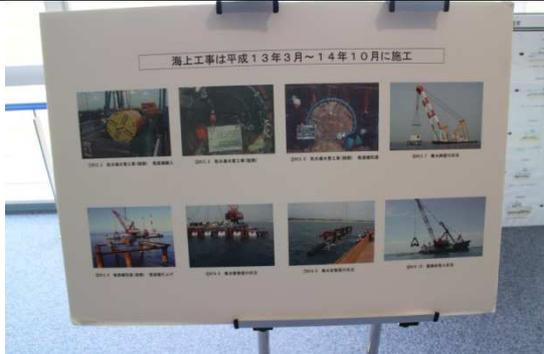


圖 2.5-7 海上工事施工紀錄



圖 2.5-8 取水設施及導水設施之施工紀錄

2.5.3 設施規模與處理程序

海中道奈多海水淡化中心位於福岡縣福岡市奈多地區，位置如下圖 2.5-9。本中心之設計產水量為 5 萬 CMD，佔地面積約 4.6 公頃，各設施概要整理如表 2.5-3。



圖 2.5-9 海中道奈多海水淡化中心位置圖

表 2.5-3 海中道奈多海水淡化中心設施概要

佔地面積	46,000 平方公尺
建築面積	16,000 平方公尺
建築構造	地上 2 層之鋼筋結構建築
取水方式	滲透取水(玄界灘)，最大取水量 103,000CMD，取水管於陸域端 540 公尺，海域端約 640 公尺
前處理	UF(ultra-filtration，超過濾)膜處理
海水淡化方式	逆滲透(RO)，最大產量 50,000CMD
處理效能	脫鹽率 99.3%，造水率 60%
排水方式	排放水與和白水處理中心的放流水混合排放入博多灣內
附屬設施	多多良混合設施、下原混合設施、導水設施(導水管半徑 800 mm 總長 21 公里)
總工程費	408 億日圓

本廠之海水淡化處理程序主要分 3 部分，為取水系統(浸透式)、前處理系統(UF)、逆滲透淡化系統(高壓 RO+低壓 RO)，整體除鹽率為 99.3%，其處理程序如下圖。UF 設置 6 套每套 1 萬 CMD，其中 1 套為備用，可於系統反沖洗或保養時，更替運轉。

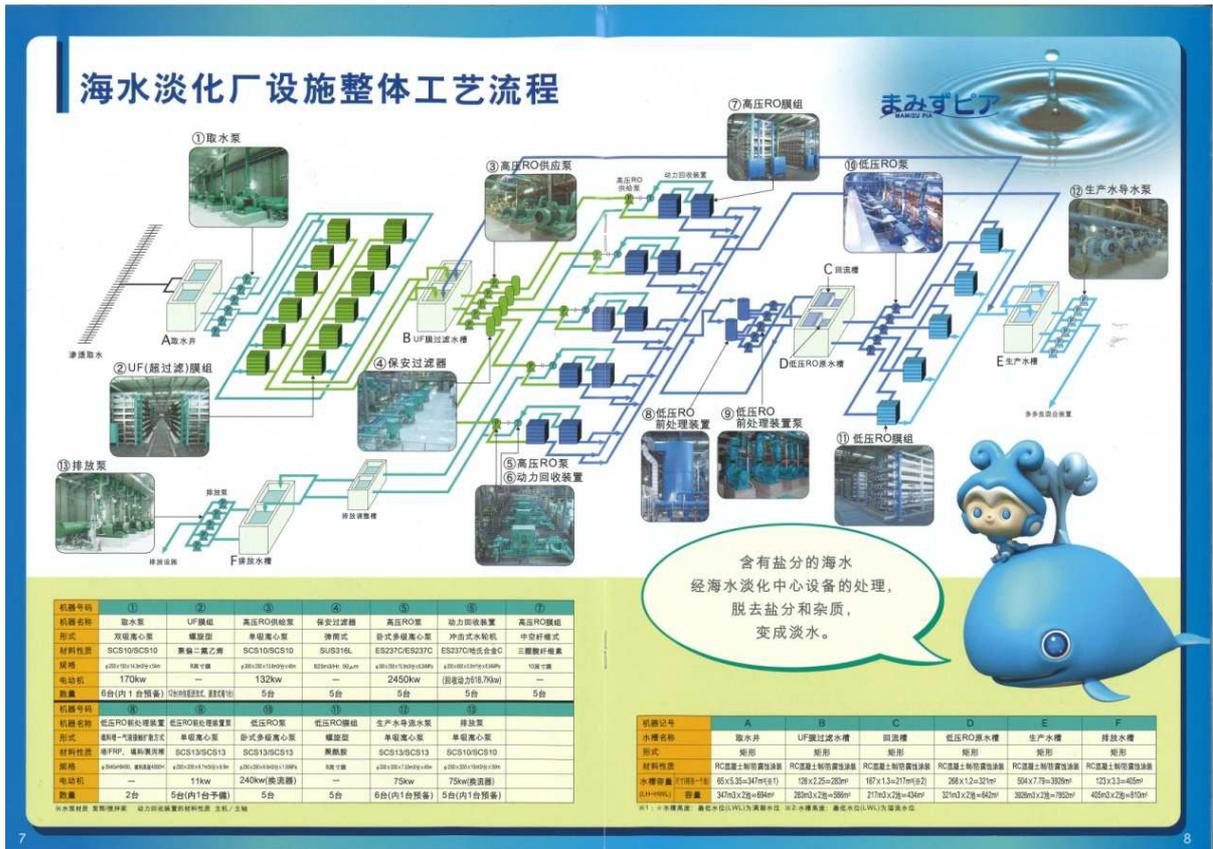


圖 2.5-10 海淡廠系統流程圖及機械槽體規格

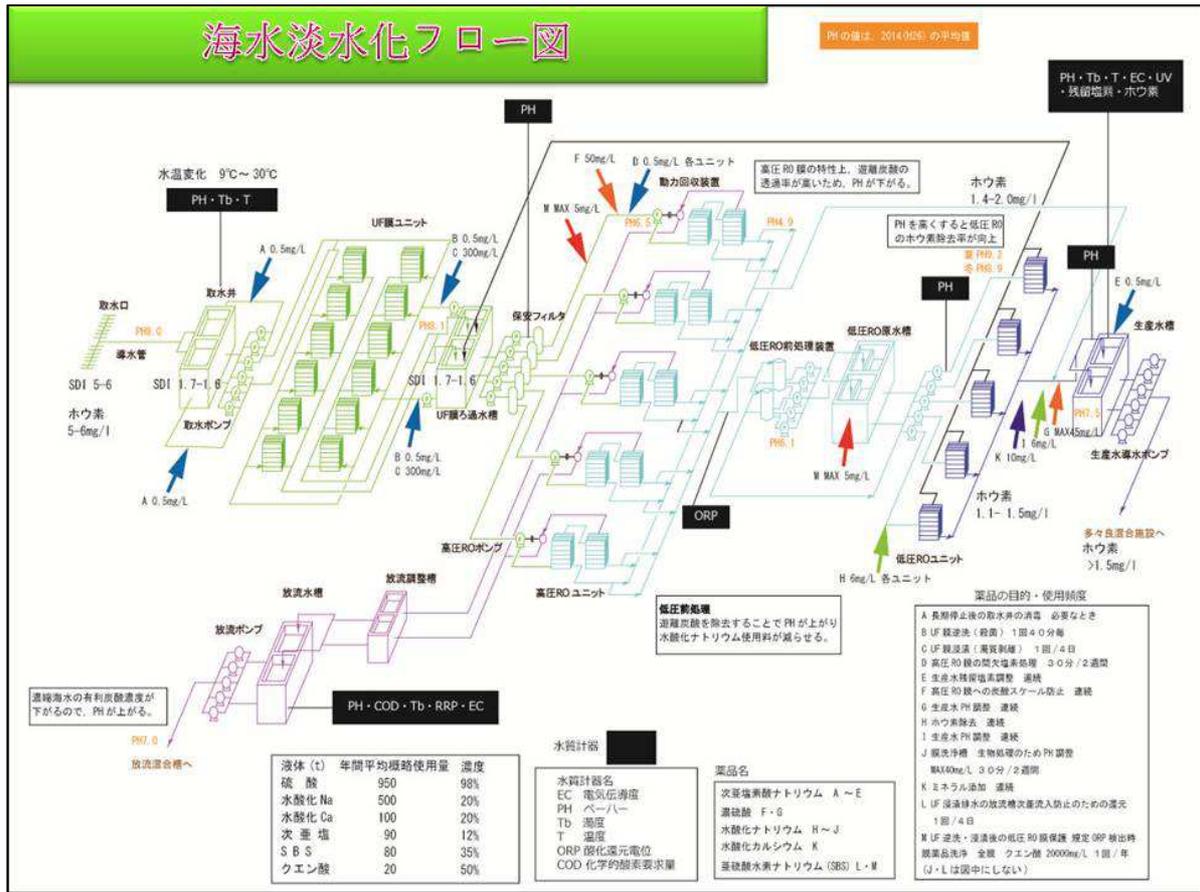


圖 2.5-11 海水淡化處理流程圖(含加藥系統)

目前整體福岡企業團之職員總共有 99 員，工作範圍包括牛頸淨水廠、水質中心、海淡中心等工作。其中海淡中心之營運管理工作為委外執行，由協和機電工業(株)營運管理中，其編制職員為 19 名。福岡企業團則派駐 10 名職員負責此海淡中心營運之監督。



圖 2.5-12 UF 前處理系統



圖 2.5-13 UF 前處理系統及過濾器



圖 2.5-14 高壓 RO 泵及能源回收裝置



圖 2.5-15 RO 處理系統(後方)



圖 2.5-16 中央監視控制室之說明



圖 2.5-17 中央監視控制室



圖 2.5-18 宮島所長解說各項設備元件



圖 2.5-19 參訪通道之部分動線設計

2.5.4 浸透取水方式

浸透取水方式又稱滲透取水，是指於海床下鋪設集水設施，進流水於海床先經砂層過濾後再取進系統，以滲透取水方式，可穩定地抽取清澈海水進入系統，為全球首創。其操作原理是用抽水機把取水井水位降低至海面下，利用其水位差，以濾砂停止移動之臨界速度抽取海水。本廠抽水機設置6台，其中1台備用。集水管材質為高密度聚乙烯，主管直徑 $\Phi 1800\text{mm}$ ，支管直徑 $\Phi 600\text{mm}$ ，取水設施構造如圖 2.5-20，佈設位置規劃如圖 2.5-21。



圖 2.5-20 浸透式取水設施構造

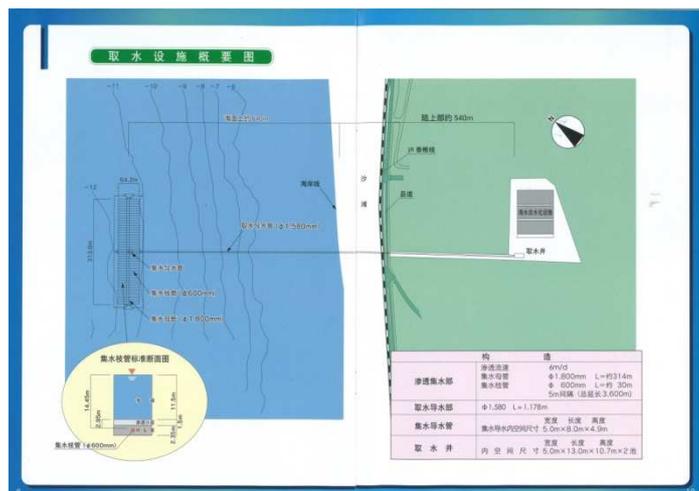


圖 2.5-21 取水設施佈設概要圖



圖 2.5-22 浸透取水系統之模型說明

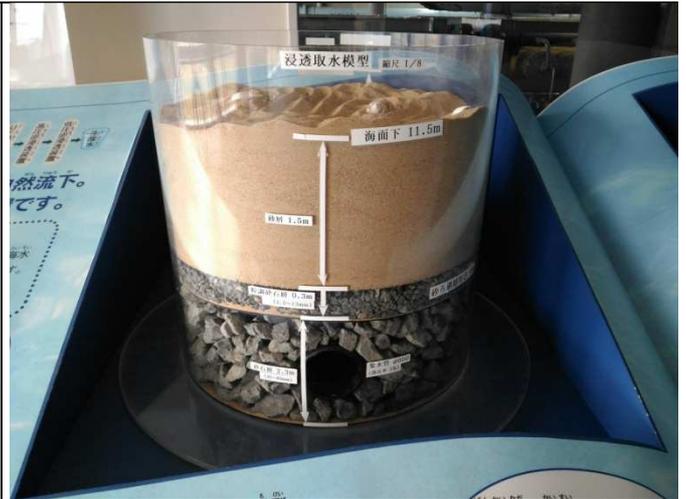


圖 2.5-23 浸透取水系統之結構



圖 2.5-24 浸透取水裝置之集水管說明

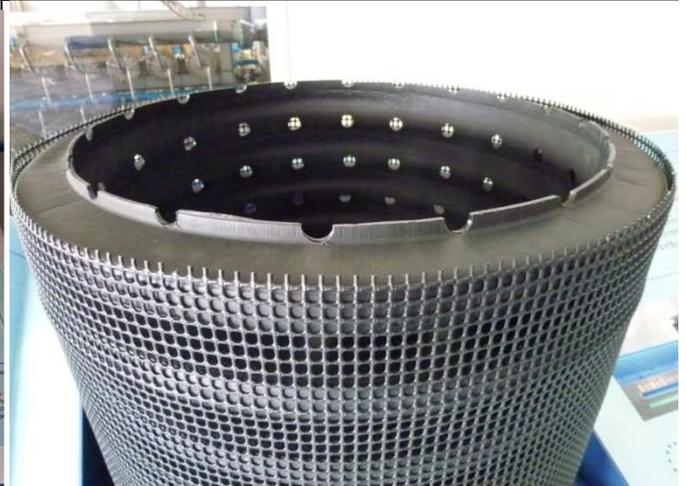


圖 2.5-25 浸透取水裝置之集水管構造

2.5.5 前處理程序

前處理工法採用 UF 超濾膜過濾系統，其材質為聚偏二氟乙烯系統螺旋型(PVDF)，以此濾膜過濾原水，可除去極細微粒與膠體(粒徑約 $10^{-5} \sim 10^{-7}$)以及微生物，以減輕 RO 系統之負荷。此與傳統混凝沉澱方式相比，因 UF 膜法不需使用混凝劑，能減少污泥量，且不會產生藥劑殘留，較能妥善控制後端 RO 進流水之水質，有助於延長 RO 膜之壽命，佔地面積亦較少。近年來，使用 UF 作為逆滲透海水淡化之前處理程序，已成國際趨勢。



圖 2.5-26 UF 前處理系統

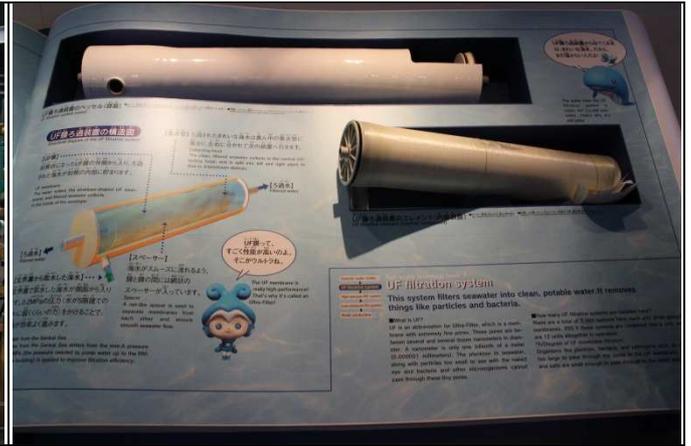


圖 2.5-27 UF 過濾膜之模型說明

2.5.6 採用高壓 RO 及低壓 RO 兩道逆滲透程序，提升產水水質

高壓 RO 膜材質型式為三醋酸纖維素中空纖維，將通過 UF 後之過濾水再透過此多束空心絲，以進行脫鹽淨化。一般海淡廠並不常用中空絲 RO 膜，因其耗電量較大（約 5.6kw/h），成本亦較貴，但中空絲膜之造水率較高（本廠造水率可達 60%，高於一般 RO 廠的 40%），能減少海水之抽取量及排放量，縮小前處理設施規模，進而降低成本。一般螺旋型高壓 RO 膜之去硼率可達 90%；但本廠以中空絲 RO 膜之去硼率約 70%，而後再透過低壓 RO 膜增加硼的去除率。

低壓 RO 膜為聚醯胺系統螺旋型，將通過高壓 RO 的水再進入此螺旋膜，以調整水質，包括因為水溫變化而造成之水質變動之調整，以及提升去硼效能。高低壓 RO 膜之差異如表 2.5-4 所示。

本廠之 RO 系統並未設置備載機組，因當初設廠時中央政府並未補助此部分，故未增設備載量。宮島所長建議最好應規劃備載機組，以防系統故障維護時之替代。本廠經費有 50%為中央政府補助，35%為當地地方政府出資。

一般冬夏季之海水溫度範圍約為攝氏 9~30 度，因夏天黏性降低，較易通過，壓力會較低（約 7.6MPa），耗電量較少些，但水質稍差些；冬天黏性提高，壓力會較高（約 8MPa），產水水質會較好。

表 2.5-4 高低壓 RO 膜之差異

	高壓 RO 膜	低壓 RO 膜
目的	海水鹽分之去除	由於水溫變化會造成水質變動，須以此持續調整水質
方式	以高壓泵將通過 UF 之產水泵入高壓 RO 膜系統	通過高壓 RO 膜後之一部分滲透水，再進入低壓 RO 膜
壓力	最大 8.24 Mpa (84kgf/cm ²)	最大 1.5 Mpa(15kgf/cm ²)

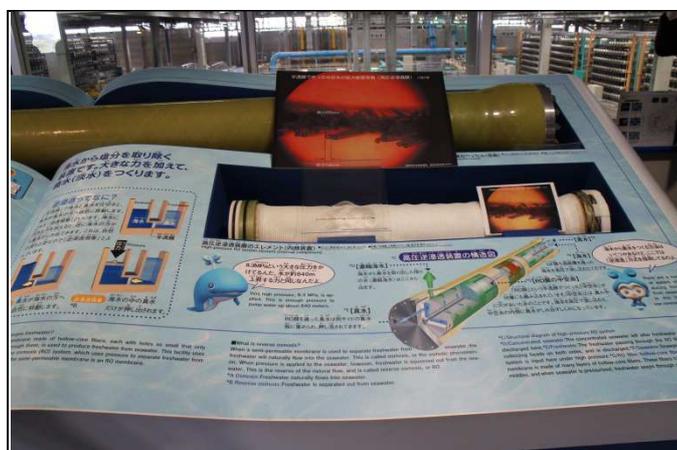


圖 2.5-28 高壓逆滲透之中空絲膜模型說明



圖 2.5-29 低壓逆滲透膜

2.5.7 薄膜壽命

在營運管理之情形，薄膜使用與耗費更新往往是重要的營運費用，根據本廠之統計，UF 系統及高低壓 RO 薄膜 2 組處理系統之更換周期如下表。惟此更換頻率受多種變數影響，如海水水質、前處理操作狀況、UF 及 RO 設備廠牌/品質與功能、保養/反洗之頻率、整廠操作營運方式等因素，皆會影響薄膜使用壽命。本廠所使用之薄膜更換頻率如表 2.5-5，現場展示之薄膜實體如圖 2.5-30。

表 2.5-5 海水淡化處理之薄膜更換週期

膜的種類	膜數	更換週期	年間交換率
UF 膜	3,060 支	6 年	17%
高壓 RO 膜	2,000 支	6~7 年	15%
低壓 RO 膜	1,000 支	5~6 年	20%



圖 2.5-30 UF 膜使用實體展示



圖 2.5-31 SWRO 逆滲透膜展示

2.5.8 濃縮海水(鹵水)和污水處理廠放流水混合放流

一般海水經淡化處理後，會產生鹽度濃度較高的濃縮海水，經放回海中透過海流擴散稀釋。本廠海水淡化後產生的鹵水鹽度約為 7~8%(一般為 5~8% 皆有，視海淡廠採用之程序/設備不同而有差異)，經先與附近的和白水污水處理廠放流水混合後，由於污水廠之放流水鹽度甚低或無，兩股水混合後可先降低排放水之鹽度，而後再排放入博多灣內海，此可降低對此內海之影響，以保護博多灣的水質，據廠長表示，此措施為國際先例。

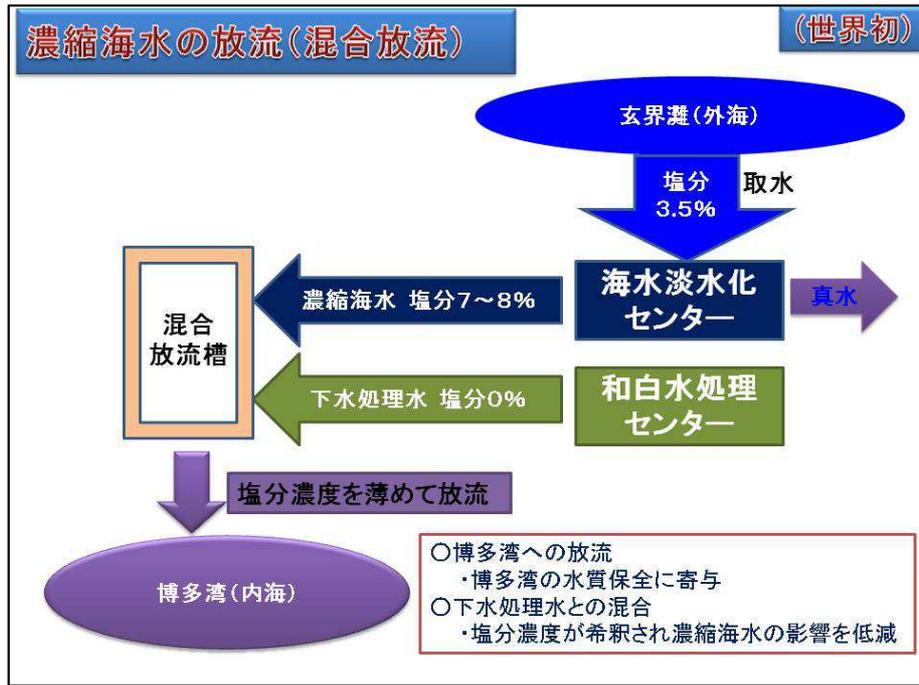


圖 2.5-32 海淡廠濃縮海水與污水廠放流水混合放流

由於博多灣屬內海，若高鹽度之濃縮海水排放於此，恐因水流條件不佳而不易擴散稀釋。此外，附近內海區內有 4 座污水廠，其排放水因仍含有污染物質，易造成內海水質之優養化，若有鹵水加以稀釋放流水的濃度，亦可防止內海發生紅潮現象。因此海淡廠處理後之濃縮海水即與和白水污水處理中心處理後之放流水一起混合稀釋，一方面可降低濃縮海水之鹽度，同時亦使處理廠放流水之殘留污染物濃度再稀釋降低，可謂一舉兩得，因此兩種水混合後共同排放於博多灣內海，達到互利雙贏，亦不致因為內海之水流擴散條件不佳而影響海水水質。此放流口設置於離岸約 360 公尺處，水深約 4 公尺，相關位置示意圖如 2.5-33



圖 2.5-33 放流設施相對位置圖

2.5.9 海淡產水與淨水場清水混合供水

本廠於 1999 年興建之時，考慮海淡水要調整與自來水相似的味道與礦物質含量，因此規劃 2 處混合設施。本廠海淡水先輸送至多多良混合設施，約 12.68 公里，在此處有一部分海淡水與多多良淨水場之清水進行混合後，輸送至松崎配水池，而後再供應到福岡市公共給水。另有一部分海淡水或混合水再從多多良混合設施輸送至下原混合設施，約 8.29 公里，在此處與來自牛頸淨水場之清水混合後，再輸往下原調整池(配水池)，再配給新宮、古賀、福津、宗像及福岡市。混合供水方式如圖 2.5-34。

由於海淡水與既有淨水場之清水以 1:1 混合後，其硼濃度從 1.4mg/L 降為 0.7mg/L，可降低硼的含量。

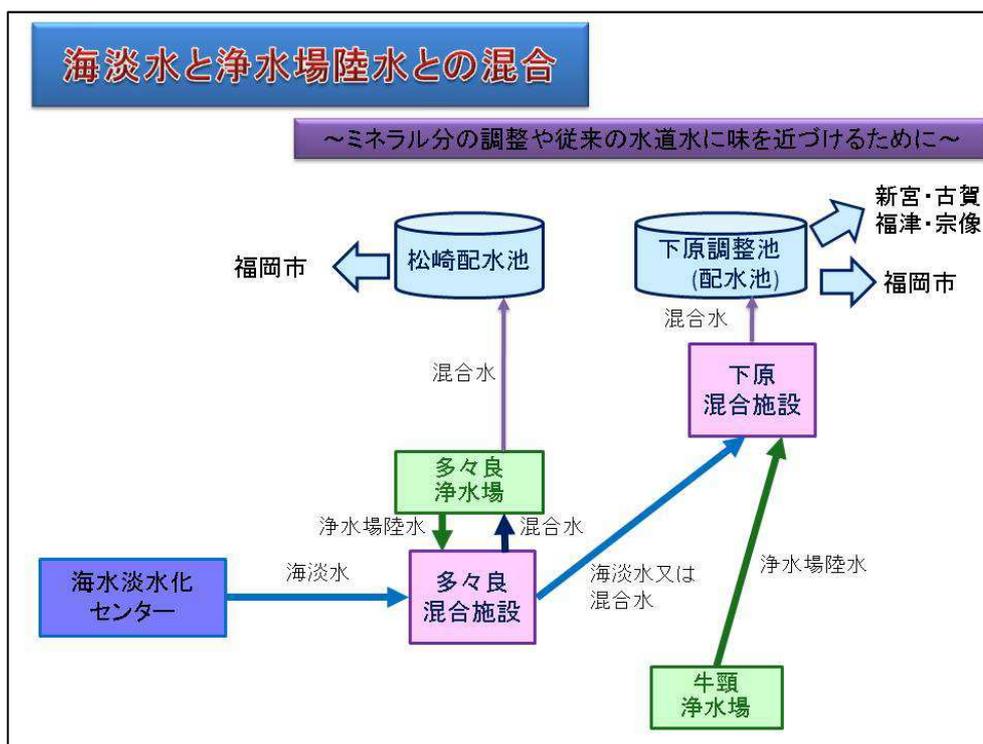


圖 2.5-34 海淡水與淨水場清水混合供水圖

2.5.10 海淡水之定位

根據海淡中心宮島隆所長說明，目前日本海淡廠之操作與營管之定位，係參考美國對海水淡化廠評估之指南(WPI, 2015, Analysis of Domestic and International Desalination to Outline the Decision Making Landscape for Implementation and Operation of Desalination Plants in the United States)，主要原則為先採取節約用水措施、做好調度管理之後，若尚有水資源不足，採取開發地下水、修建污水廠、從別區域調度供水，再有不足時，最後再考慮開發海淡水。

2.5.11 計畫產水量及彈性供水

本廠於 2012 年為止之產水規劃，設定於 7 至 9 月間全面運轉產水 5 萬 CMD，在其他 9 個月則設定為產水 4 萬 CMD，其他供水需求由川流水優先提供。但實際海淡水之產水量則須取決於實際需求量，以及筑後川流量變化

而定，最低約為 3 萬 CMD。實際的運轉情形則是常維持高運轉率，尤其在平成 22 至 23 年(2010~2011 年)之缺水時期，約有 5 個月的時間為全面運轉，超出原來規劃方案。

依據該廠運轉實績之統計，自平成 17 年度(2005 年)至 24 年度之統計資料顯示，平均每年之每日產水量約從 3 萬 CMD~4.2 萬 CMD。

而從平成 25 年(2013 年)開始，因大山水庫完成，開始供水，因此海淡廠操作策略有所調整。由於海淡水之產水成本約為陸地取水之 2 倍，因此當河川流量穩定、豐富時，優先取用川流水利用，而當缺水發生時，則以海淡廠增量運轉產水以增供水量。是以該廠於 2013、2014 兩年之運轉產水量即降低至只剩 2.1 萬、2.0 萬 CMD。

該廠預計自 2015 年度之後，每年預計之運轉產水量約 3 萬 CMD，但現在實際是 2 萬 CMD，操作對策是:全部 5 組 RO 逆滲透設備（無備用）之其中至少有 3 組保持常態運轉(契約電力變更為 3 萬 CMD)，剩餘的 2 組系統進行整備維護。

2.5.12 海淡水造水成本

該廠於平成 24 年(2012 年)之實際運轉平均產水量為 3.9 萬 CMD，依此估算之成本(含折舊攤提與維護管理費用)總額為 29.34 億日元，每 1 立方公尺之產水成本(稅後)為 207 日元，其中折舊攤提及利息支出佔 44%，維護管理費佔 56%，成本分析如圖 2.5-35 所示。若單就維護管理費用分析，總額為 16.57 億日元，每 1 立方公尺之產水成本(稅後)為 117 日元，其中電費支出佔 48%，薄膜更換費佔 14%，其他為 38%。惟相關單位產水成本之計算涉及不同海淡廠之個別成本、產水量、薄膜更換頻率與數量、定期檢查和維修之頻率等等因素，須依個別廠之運轉情況而定。

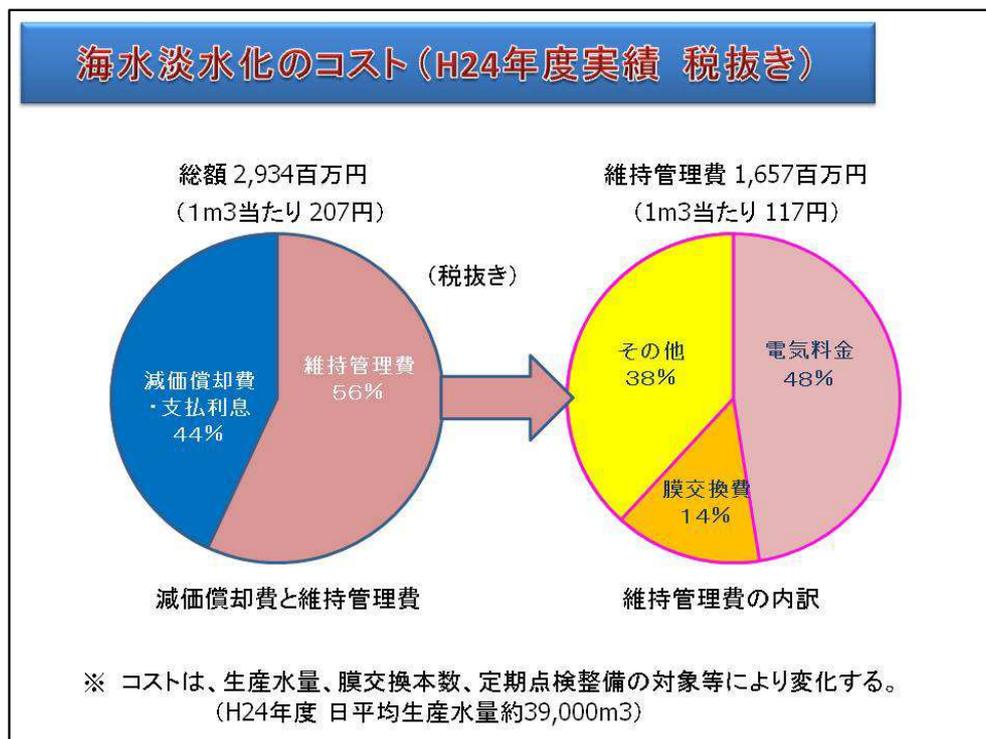
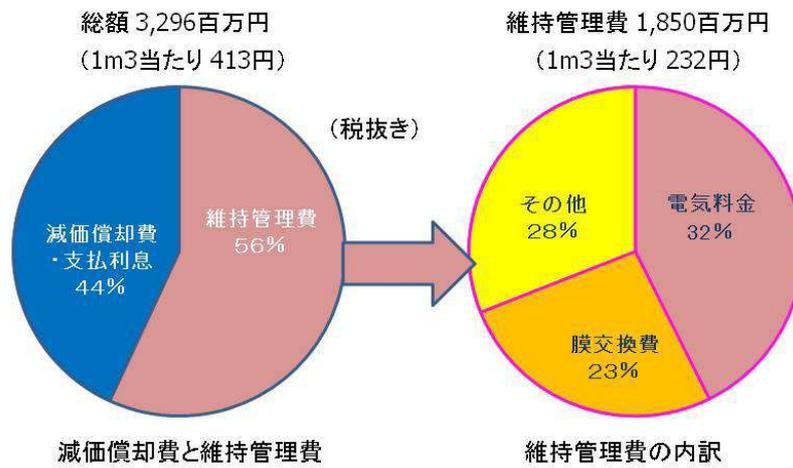


圖 2.5-35 海淡水造水成本分析-2012 年

此外，該廠再根據平成 26 年(2014 年)之實際運轉平均產水量 2.02 萬 CMD，估算折舊攤提與維護管理費用之成本，其總額為 32.96 億日元，每 1 立方公尺之產水成本(稅後)為 413 日元，其中折舊攤提及利息支出佔 44%，維護管理費佔 56%，分析如圖 2.5-36。而單就維護管理費用分析，總額為 18.5 億日元，每 1 立方公尺之產水成本(稅後)為 232 日元，其中電費支出佔 32%，薄膜更換費佔 23%，其他為 28%。

由上述 2012 年及 2014 年兩年成本分析之比較，2014 年的設備折舊、利息與維護管理費增多了 3.62 億日圓，其中管理費支出多了 1.93 億日圓，尤其在薄膜更換費增加最多，可見 2014 年可能為其薄膜大量更換時間，以致支出增加較多。

海水淡水化のコスト（H26年度実績 税抜き）



※ コストは、生産水量、膜交換本数、定期点検整備の対象等により変化する。
 (H26年度 日平均生産水量約20,200m3)

図 2.5-36 海淡水造水成本分析-2014 年

2.6 沖繩縣北谷淨水場與海水淡水化中心

沖繩北谷淨水場與海水淡水化中心(海淡廠)位於沖繩縣北谷町宮城，此淨水場為沖繩縣內最大的淨水場，被規劃為西海岸水資源發展計畫及海淡計畫之核心場所，兩計畫皆由沖繩縣企業局負責推動與執行。本次淨水場之參訪是由沖繩縣企業局北谷淨水管理事務所主幹兼淨水課長當真亨先生接待，為我們介紹沖繩縣水資源現況、北谷淨水場之操作現況、高級處理設備以及硬度削減計畫。海淡廠之參訪則由沖繩縣企業局北谷淨水管理事務所海淡廠廠長宮城壯一郎先生為我們說明興辦海水淡化廠之緣由、辦理過程以及營運管理經驗，而後引領我們參訪海淡設施。

2.6.1 沖繩地區水資源現況

沖繩縣的年均降雨量約 2,134mm，主要為 5、6 月梅雨季及不定期的颱風降雨，與日本全國 1,590mm 相較下，較為豐沛。但由於人口密度高，每人每年之平均分配量為 1,800m³，較全國 3,223m³ 少。

沖繩島於戰後為美軍統治，相關供水設施皆以美軍對水資源之需求為主，全島的自來水系統為美軍統合辦理。1958 年美軍協助成立琉球水道公社，整合了上水道系統及地方區域水源設施，為沖繩縣企業局前身。1972 年沖繩回歸日本，改以日本政府為開發水資源之主體，當時人口約 96 萬人，供水量 22.78 萬 CMD。到了 2012 年人口成長為 141 萬人，供水量增為 43.3 萬 CMD，其中生活用水量約 41.62 萬 CMD、工業用水量 1.64 萬 CMD。

縣內水源主要來自北部及中部的河川和水庫，但人口 8 成集中於中南部，因此施設長距離導水管線相互調配。全島之水資源供應共有 4 種水源，包括水庫、川流水、地下水及海淡水。其中水庫約 35 萬 CMD 佔 81%(平成 24 年/2012 年統計)，川流水佔 10.9%，地下水為 7.4%，其他 0.7%為海淡水。

水資源開發工作由中央政府負責，自來水之處理及輸送由縣企業局負責，分配則由地區市町村辦理配水事宜。沖繩縣的水道供應事業圖如圖 2.6-1，主要淨水場及其水源如圖 2.6-2。



圖 2.6-1 沖繩縣水道事業供應區位圖

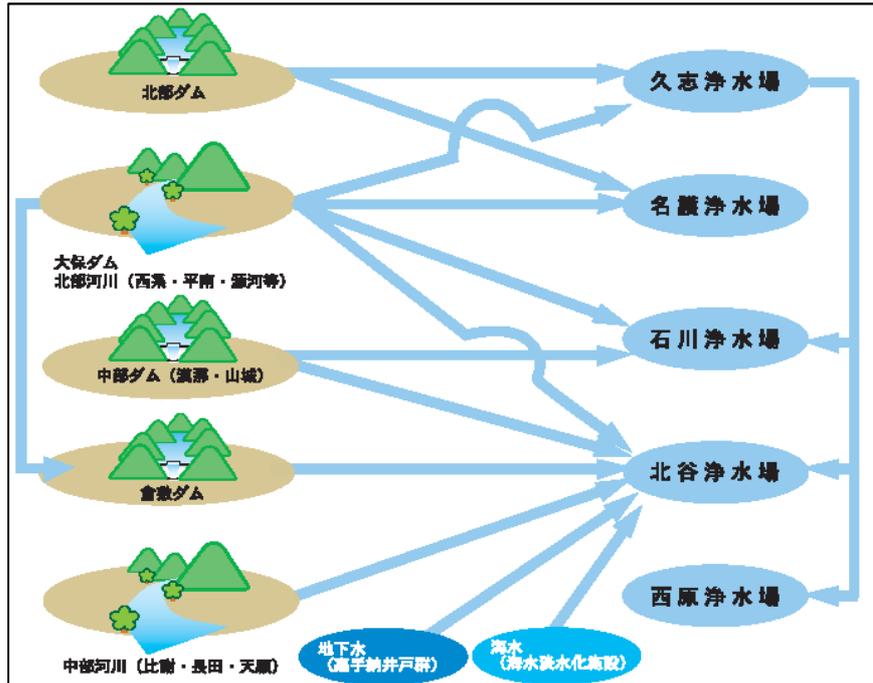


圖 2.6-2 沖繩縣主要淨水場及其水源

2.6.2 北谷淨水場及其高級淨水程序與硬度削減計畫

1. 北谷淨水場

北谷淨水場於 1989 年完成一般供水設施，供水範圍為沖繩市以南地區，包括本島的西南區域至那霸市部分，供水量約 20.7 萬 CMD~21.4 萬 CMD，經費 247 億日圓，現階段(2016 年)於此進行淨化處理之水源主要來自三類：

地表川流水：比謝川、長田川、天願川等

水庫：倉敷水庫及大保水庫

地下水：分布於美軍嘉手納基地及周邊的井網

後來因為中部都市的河川水質日益惡化，一般淨水處理程序已難以處理，經過相關水質驗證計畫之研究後，於 1992 年至 1994 年陸續完成高級淨水處理設備，導入 3 種高階處理程序以提升供水品質，另於 2003 年完成地下水硬度削減設施。



圖 2.6-3 北谷淨水場全景圖(左側建物為海淡廠)

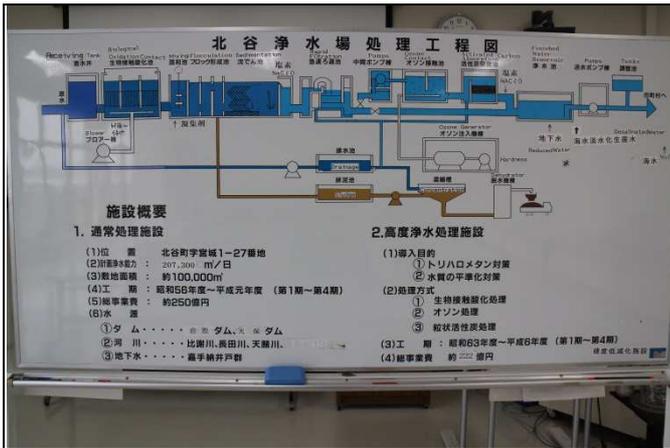


圖 2.6-4 北谷淨水場處理工程圖



圖 2.6-5 與北谷淨水場當眞亨課長合影

2.高級淨水處理

由於傳統淨水設施已不易去除日益惡化的水質，為提升供水品質，本淨水場經過一系列研究實驗及水質驗證後，決定導入三種高級淨水技術，包括生物接觸氧化處理、臭氧 (O₃) 反應處理及活性碳吸附處理，處理規模量約 18 萬 CMD，花費金額為 222 億日圓。

生物接觸氧化處理乃運用河川水質淨化作用之原理，以好氧性微生物進行氧化及分解有機物，去除氨氮、藻類等，並減少後續加氯量。此處理單元以循環曝氣水活化微生物，並使接觸濾材附生生物膜，達到高效的生物處理能力，如同河川水體的自淨機制。

臭氧接觸槽則利用臭氧的強氧化能力，進行有機物氧化分解、消毒殺菌、脫色、除臭，並能氧化酚類、陰離子界面活性劑、鐵、錳、氰化物以及腐植質(三鹵甲烷(trihalomethane, THM)的前驅物)。此處之臭氧產生器是先將空氣經過冷卻、乾燥裝置後，再以高頻、高壓 6,000~7,000V 產製生成臭氧。

在臭氧反應後，接續活性碳吸附處理，利用活性碳本身具有很強之吸附有機物能力，去除臭味與顏色、以及臭氧反應期間產生的有機物、酚類、陰離子介面活性劑等。由於經過臭氧反應後，水中溶氧較高，將有助於微生物大量生長於高表面積比之活性碳上，此猶如生物活性碳處理機制，可

提供更多的生物降解功能。

一般而言，在低於三鹵甲烷水質標準以下(夏天為 0.1mg/L 以下)，很難在供水系統末端控制其濃度。但在原淨水場之傳統處理流程中，陸續增加上述高級淨水處理程序後，自從 1992 年操作以來，對降低三鹵甲烷之處理成效，令人滿意。圖 2.6-6 顯示每個處理程序的三鹵甲烷生成潛勢/前驅物濃度以及與原水相比的去除率，其整體三鹵甲烷生成潛勢/前驅物之去除率可達 74%。

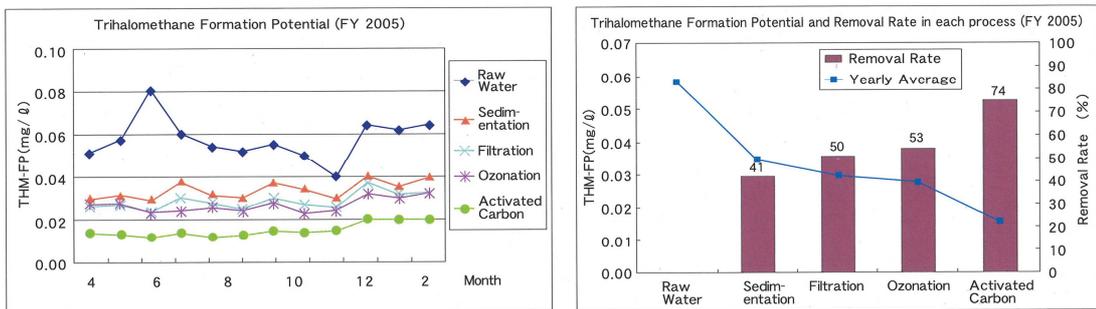


圖 2.6-6 三鹵甲烷前驅物濃度與去除率變化

而在降低需氯量(chlorine demand)部分，以生物處理及沉澱流程之降低效果最明顯，需氯量代表水中要持續保持適當的餘氯以維持消毒功能時，所需添加的氯量或過氯酸鹽。依下圖 2.6-7 監測資料，需氯量可從原水階段的 0.9~2.0mg/L 降到活性碳程序的 0.1mg/L，每個程序皆有降低需氯量之成效，在最後的活性碳處理階段可超過 90%之減少量，已可大量降低氯的添加劑量。

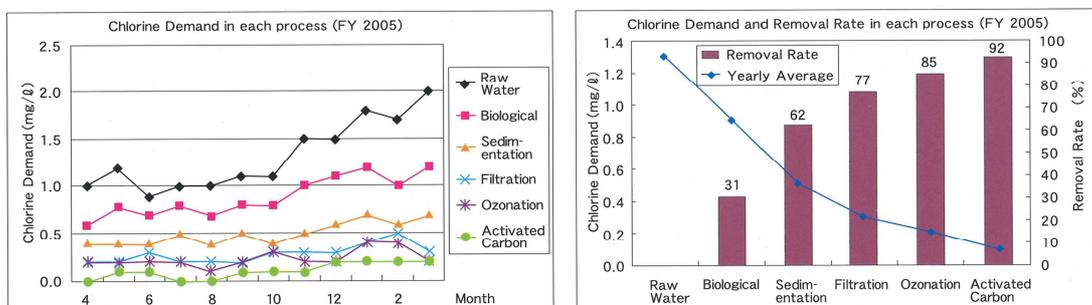


圖 2.6-7 各處理流程之需氯量及減少率變化

3. 硬度削減計畫

北谷淨水場的水質平均硬度比其他淨水場的硬度還高出 100 mg/L 以上，此乃因嘉手納地下水井群位於石灰岩地質區，含有高鈣高硬度所致，此無法透過一般淨水處理予以移除。此外，可口美味的水質標準之一為硬度需介於 10~100mg/L 之間，因此，為有效降低硬度，本場自 1985 年即開始進行相關硬度處理對策之研究與試驗，包括添加化學物質、離子交換、逆滲透及顆粒軟化劑(pellet softener)等測試。最後依據實驗結果評估，選定以顆粒軟化劑進行實質的建置。

其原理是利用將高硬度水之 pH 提高至 8 以上時，在流體化床反應槽內可使不溶性碳酸鈣結晶析出，但技術上為了防止碳酸鈣因結垢、膠結或水泥化而不易移除，需持續投入細粒進行植種(seed grains)，讓結晶長於此植種細粉上，反應槽內植種細粒的直徑會長大至 1~2mm 後下沉，再定期移除部份比例。

反應原理如下式：



註：左側為結晶產物，右為植種細粒

圖 2.6-8 移除硬度後之碳酸鈣結晶顆粒(左)

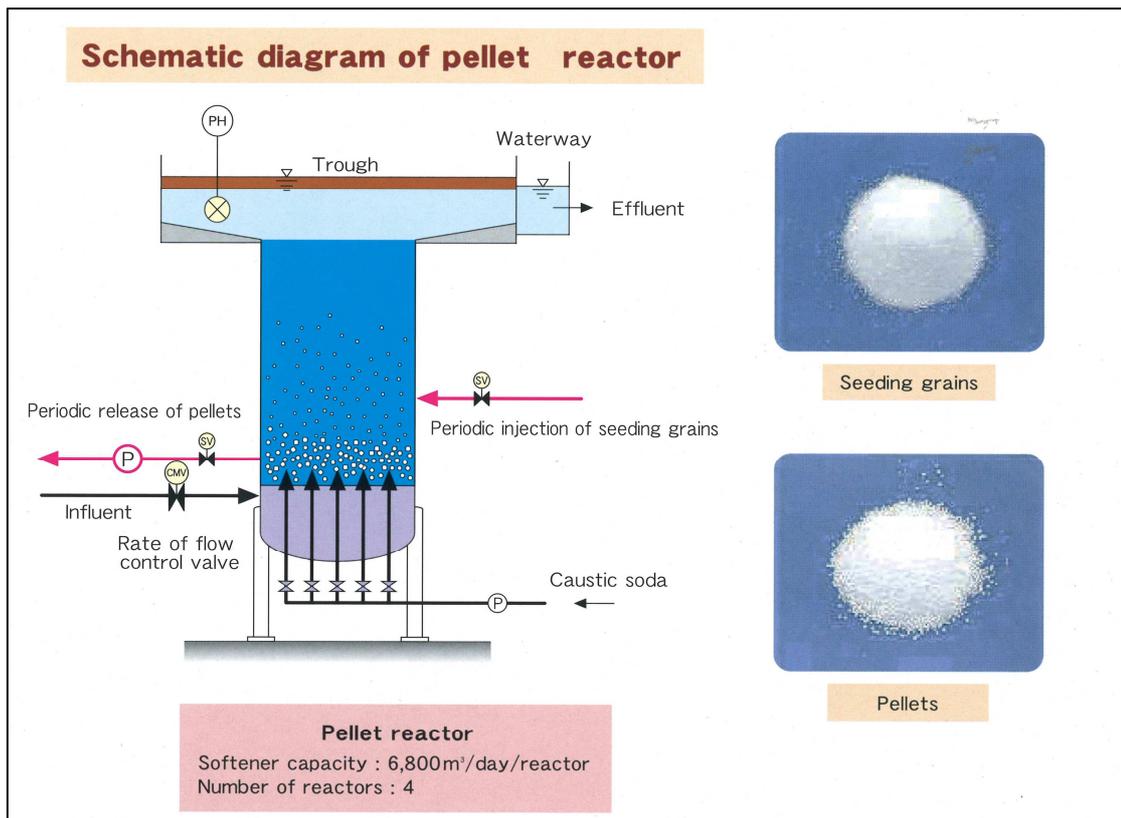


圖 2.6-9 硬度削減處理流程示意圖

此系統共有 4 座反應槽，每座反應槽處理量 6,800CMD，處理成效可將硬度從 300~330 mg/L 降到 80 mg/L 左右。選用此工法之優點為硬度去除效率高、結垢問題較少、水質較佳、易維護、無廢水產生、顆粒有多種再利用用途等。

2.6.3 北谷海水淡化中心(海淡廠)

1. 設置背景與興辦歷程

沖繩縣於 1972 年的每日需水量為 20 萬 CMD，之後由於快速的人口增加與經濟發展，以及觀光客人數增加等因素，到了 2003 年需水量增加到 42 萬 CMD，31 年間增加 2 倍。為了解決常態增加的用水，中央政府和沖繩縣執行幾項對策，包括西海岸的新水壩與川流水開發，但仍無法符合需求。

沖繩縣常常需限制供水，自從沖繩回歸日本政府後，已發生 14 次限水事件，1981 至 1982 年的乾旱造成 326 天限制供水，最近的 1991 年亦從 6 月到 9 月限水 64 天，最嚴重為整天 24 小時無水可用。

由於需求增加，供給水源有限，沖繩縣預估若僅透過開發水庫及川流水源，仍難以應付需求水量，因此決定推動海淡廠計畫。對沖繩縣民眾而言，能有效利用海島周邊的乾淨海水，且能不受氣候條件影響，建立持續生產所需水源的方式，是件值得長期珍惜的夢想。在沖繩本島興建海淡廠將能相當程度地疏緩沖繩的缺水問題。

沖繩海淡廠自昭和 52 年(1977 年)即開始進行初步的調查規劃，惟當時海淡廠尚不普及，規劃進度緩慢。後於 1989 年完成可行性調查及基本規劃，1990~1991 年辦理環境調查及環境影響評估等工作，再經施工 4 年後分階段完成供水，興建費用 347 億日圓，其中 85%為國庫補助。本廠之興辦歷程如表 2.6-1，位置如下圖 2.6-10。

表 2.6-1 沖繩海水淡化中心之興辦歷程

年度	工程進度
1977	厚生省委託財團法人造水促進中心辦理沖繩本島海水淡水化計畫調查(第 1 次)
1978	厚生省委託社團法人日本水道協會辦理沖繩海淡廠設施規劃
1980	厚生省委託財團法人造水促進中心辦理沖繩本島海淡廠基本規劃、逆滲透設施整備檢討
1988	辦理第 5 次計畫變更核可；逆滲透設施整備認可
1989	海淡廠可行性調查、完成基本規劃
1990	學者專家組成海淡設施建造委員會。海淡廠先期調查(1)、設施調整規劃與環境影響評估調查(秋冬季)
1991	海淡廠先期調查(2)、基本規劃與環境影響評估調查(春夏季)
1992	水道法及沖繩振興發展特別措施法頒布施行；海淡廠被視為水源設施；政府同意補貼海淡廠之建造
1993	建物建造開始
1995	海淡廠開始部份產水(1 萬 CMD)
1996	海淡廠產水量提昇(2.5 萬 CMD)
1997	開始供水(4 萬 CMD)

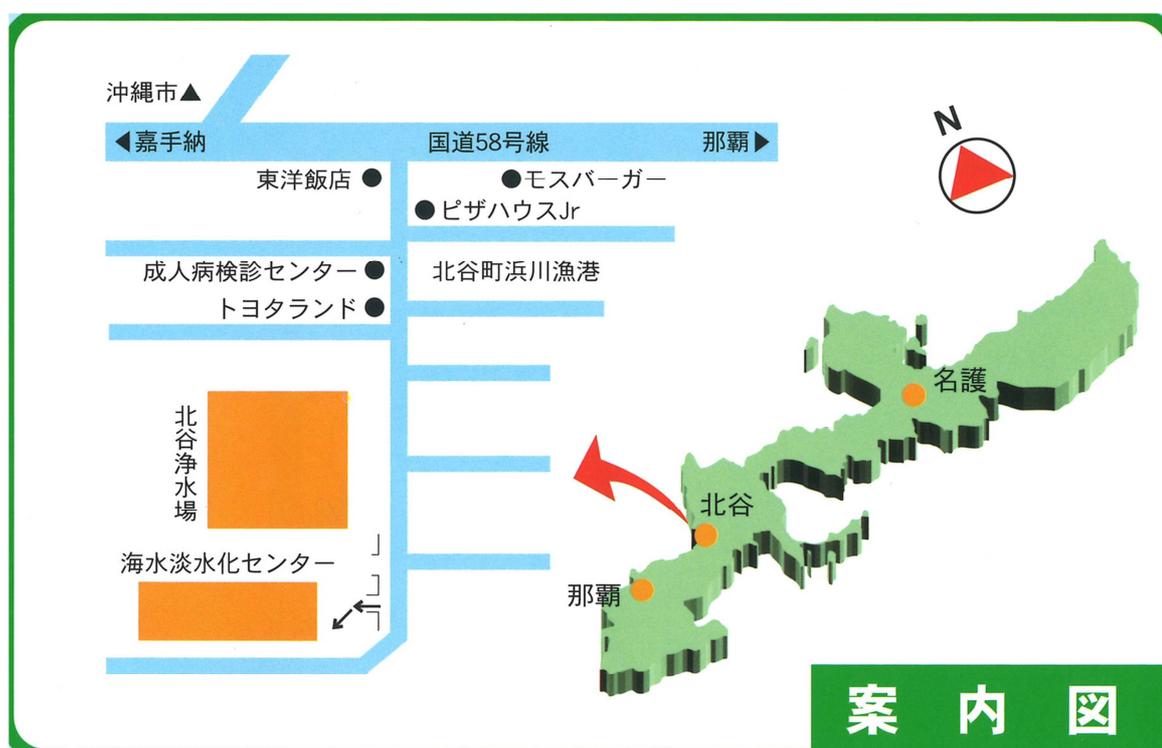


圖 2.6-10 海水淡化中心位置圖

2.設施規模與處理程序

本中心佔地面積約 1.2 公頃，設計產水量為 4 萬 CMD，處理程序採用 RO 逆滲透法。由於當時沖繩興建本廠之時，因為 RO 工法比蒸餾法、電解法有更省能源之特色，因此引起日本很大的關注與人氣。各設施概要整理如表 2.6-2。

表 2.6-2 海水淡化中心設施概要

佔地面積	12,000 平方公尺
建築面積	9,000 平方公尺(樓地板面積 17,600 平方公尺)
建築構造	RC 及 PC 結構(地下 1 層地上 4 層)
產水量	40,000CMD
海水淡化方式	逆滲透法(RO)
處理效能	造水率(回收率)約 40%，脫鹽率 99.8%
薄膜種類	多環芳香族聚醯胺複合膜，螺旋型
取水方式	海底取水管(取水塔)
放流方式	快速擴散放流(放流塔)
前處理	混凝過濾
建造成本	347 億日圓(85% 政府補貼)
主要供水區域	北谷町、沖繩市、北中城村、中城村、宜野灣市、那霸市及浦添市

沖繩海淡廠興辦時，所考量的幾項優點包括：

- (1)飲用水可從海水取得，無限制且不受季節或氣候條件影響。
- (2)海淡廠建造期程比一般水庫建造時間較短。
- (3)海淡廠所需佔地面積相對較小。
- (4)對海島國家而言，海淡廠能建造在需水地區附近，可以縮短管線的距離，就近利用。

本廠處理程序主要分 3 部分，分別為取水系統(取水塔式)、前處理系統(混凝加藥氯化鐵及過濾系統)、逆滲透淡化系統(RO)，整體除鹽率為 99.8%，其處理程序如下圖 2.6-11。

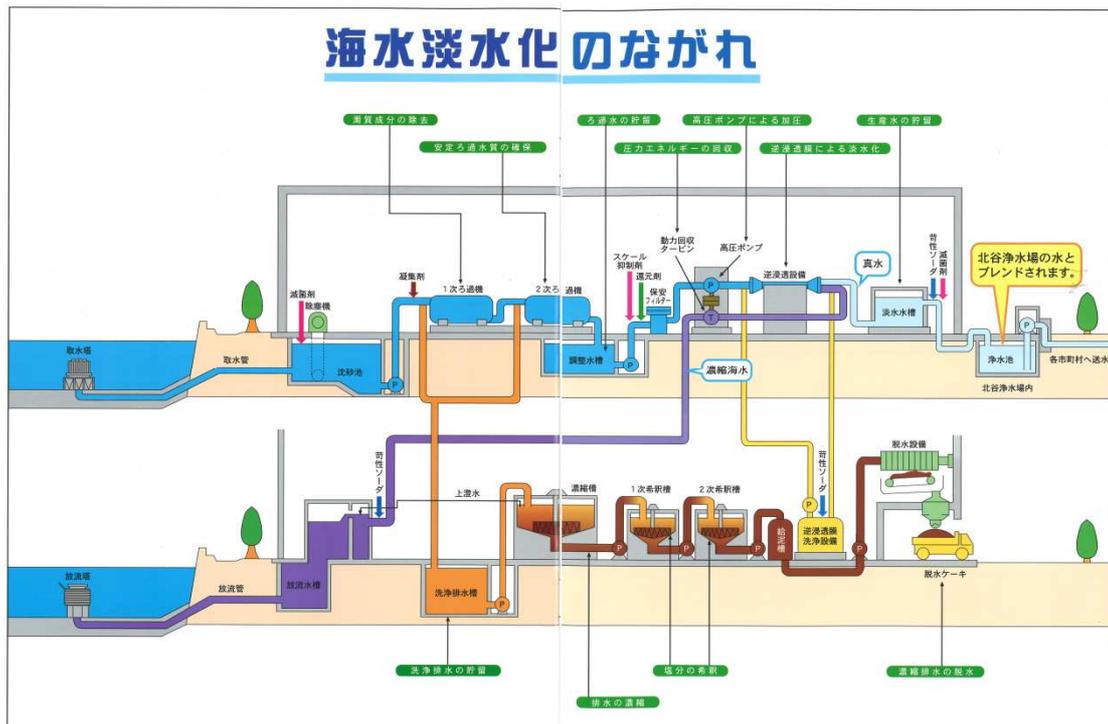


圖 2.6-11 海淡廠系統流程圖

本廠之海水淡化處理程序之核心為逆滲透單元，藉此設施處理海水變成淨水。逆滲透單元由逆滲透膜模組組成，每個模組(管)有 6 根元件，1 組單元包含 63 模組 (管，本廠有 7 列 9 段)，產水 5,000CMD，本廠共有 8 組單元，設備諸元與規格如表 2.6-3。

本廠逆滲透膜之設計重置更換時間為 5 年，但本廠自部分營運至今 21 年經驗裡，實際約 10 年才需更換 1 次，此可能因本廠水質佳、設施操作良好之故，此由入廠即須脫鞋換穿乾淨拖鞋之細緻管理即可體驗到其管理細微處，透過用心、細膩之管理應可延長設施之壽命，減低營運費用。逆滲透膜元件之結構則如圖 2.6-12。

表 2.6-3 沖繩海淡廠設備諸元概要

設備	設計諸元(40,000m ³ /日)	
1.原水設備	取水管	Ø1,200×220m×1 條(海底取水方式)
	沉砂池	W4.5m×L10.5m×H5.3m(有效高) ×2 池 (自動除塵機)
	取水泵	Q19.4 m ³ /min ×H48m×5 台(1 台備用)
2.調整設備	過濾裝置	直接凝集過濾(直接 2 段過濾) 1 次過濾裝置：32m ² /組×13 組(1 組備用) 2 次過濾裝置：33.6m ² /組×9 組(1 組備用)
	調整槽	容量 V=1,000 m ³ ×2 槽
3.逆滲透設備	供給泵	Q 8.97 m ³ /min ×H45m×9 台(1 組備用)
	保安過濾器	Q 537 m ³ /時×9 組(1 組備用)
	高壓泵	Q 8.91 m ³ /min ×H650m×8 台(預備)
	逆滲透設備	5131 m ³ /日×8 組(無備用) (6 元件/管×63 管(7 列 9 段)/組×8 組 =3024
	附帶設備	藥品洗淨裝置、能源回收裝置
	設施給水泵	Q 4m ³ /min×H40m×3 台 Q 0.8 m ³ /min×H40m×1 台
	淡水水槽	容量 V=200m ³ ×2 槽
4.放流設備	放流管	Ø700×230m×1 條(水中擴散放流方式)
	放流槽	容量 V=210m ³ ×1 槽
(排水處理設備)	洗淨排水槽	容量 V=330m ³ ×2 槽
	洗淨排水泵	Q 1.63 m ³ /min ×H20m×4 台(1 台備用)
(脫水設備)	濃縮槽	面積：94m ³ 容量：380m ³ 3 槽
	稀釋槽	面積：64m ³ 容量：260m ³ 2 槽
	脫水機	脫水機運轉：4~5hr/日 面積：A=100 m ³ ×2 組 脫水量：約 2.5 m ³ /日(含水率 65%以下)
5.藥品注入設備	--	氯化鐵注入裝置
	--	過氯酸鈉注入裝置
	--	硫酸注入裝置
	--	重亞硫酸鈉注入裝置
	--	氫氧化鈉注入裝置

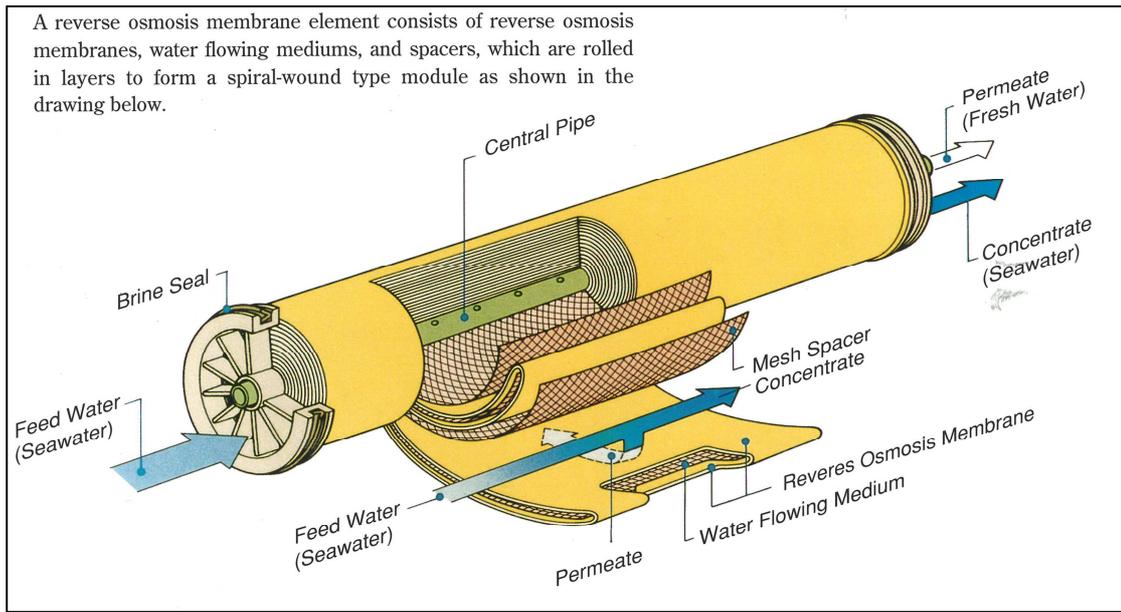


圖 2.6-12 逆滲透膜元件結構



圖 2.6-13 逆滲透機組(8 組)



圖 2.6-14 海淡廠參訪解說情形

3.取水設施及排水設施

本廠取水方式是以海底埋設管路及自然導水方式，透過取水塔取水。取水塔放置於水面下約深 9 公尺處，離岸約 200 公尺遠，其設施構造如圖 2.6-15。經取水管以導水進到沉沙池，經沉砂處理後再泵送進行凝集、過濾等前處理。取水量 10.8 萬 CMD，取水管長 223 公尺，直徑 1200mm。一般而言，取水塔方式對海域環境及生態衝擊較小。本海域環境水質良好，與別處海域無甚差別，亦無稀有魚類或鳥類。

排水方式採海底埋設管路及水中放流之方式，放流水經曝氣、pH 調整後，透過多噴嘴之放流水塔排放濃縮海水，排放速度約每秒 5~6 公尺，再經由潮汐擴散稀釋。排水塔寬度約 7 公尺，置於海面下水深 13 公尺處，離岸約 214 公尺遠，設施構造如圖 2.6-16。排水量 6.7 萬 CMD，放流管長 236 公尺，直徑 700mm。取水口及排水口相距約 62 公尺，其相對位置可參考位置圖 2.6-17。



圖 2.6-15 施工前取水塔設備



圖 2.6-16 施工前放流塔設備

取水・放流設備

取水設備：海水中に取水塔を設置し、取水管を経て沈砂池へ導水するものです。

放流設備：逆浸透設備からの濃縮海水等を放流槽で曝気およびPH調整を行い、自然流下によりマルチノズル式の放流塔から、海水中へ拡散放流するものです。

Schematic Drawing of Water Intake / Water Discharge System

取水放流設備概要図



圖 2.6-17 取水與放流方式及佈設規劃

4.海淡水與淨水場水源混合供水

一般而言，經過 RO 後初步產製之海淡產水水質為軟水，pH 低，具腐蝕性，容易在管內及設備內造成銹色水垢，因此常會透過後處理(或稱再礦化處理)添加硬度(如鈣)以防止腐蝕，不過因為本海淡廠旁邊即有一座大型淨水場，淨水場的水源為內陸水(川流水與地下水)，硬度較高，因此本廠將此海淡水與高硬度之地下水混合調整後，即可得到適當硬度、鹼度及相當美味的水源，故此處並不需要再加裝後處理/再礦化程序，也因為混合後硼濃度降低，因此亦毋需要特別作除硼處理。本廠的代表性水質如下表。

表 2.6-4 原水水質與產水水質比較

水質項目	原水(RO 供給水)	產水
氯離子(mg/L)	17,500	52.8
硫酸離子(mg/L)	1,550	0.4
鈉鹽及化合物(mg/L)	11,300	43.4
總硬度(mg/L)	6,327	1
導電度($\mu\text{s}/\text{cm}$)	50,900	427



圖 2.6-18 海淡廠產製之瓶裝水

5.環境影響及環境監測

本廠每天產製 4 萬 CMD 產水時，需進流 10 萬 CMD 海水，產生 6 萬 CMD 濃縮鹵水則再排回海中。一般海水鹽度 3.5%，濃縮鹵水鹽度 5.8%(視每廠處理程序、設備之不同而有差異)，因此他們亦十分關注排放水與周遭海水之稀釋混合情形，於興辦前模擬評估排水對附近海域之可能影響。依據模擬結果，排放口設計以噴嘴放流，產生噴流效果以有效地與週圍海水迅速混合稀釋，透過模式模擬排放濃縮海水後，離噴嘴 8 公尺處之混合稀釋鹽度已降為 3.6%，距離 12 公尺遠處之鹽度為 3.54%，擴散稀釋效果甚佳(如圖 2.6-19)。此外，沖繩沿岸的黑潮海流亦會降低海淡廠的影響，研究顯示海淡廠的放流水不會對附近的海洋生物造成明顯程度的影響。

另外，根據宮城廠長回應，本廠濃縮鹵水排放設施之興建與營運過程中，並未有民眾抗爭及擔心影響漁獲量之慮。雖然如此，本廠仍持續進行環境監測計畫，包括水質與動植物生態，環境監測資料結果概要可參如附錄，第 1 年與第 6 年相比，海域水質無逐年性長期變化，海洋生物皆在變動範圍內。自 1995 年~2006 年，每年 1 次環境監測，而後每 3 年 1 次進行放流管調查(如裂化檢查)。依據監測結果及觀測照片(圖 2.6-20)顯示，放流塔周遭生態良好，猶如人工島礁，可見四處游動之魚群與棲息生物。

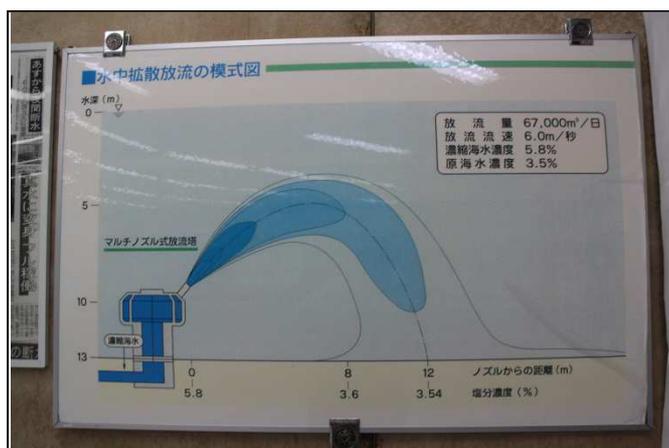


圖 2.6-19 放流擴散模擬示意圖



圖 2.6-20 放流塔周遭生態監測成果展示

6.產水成本及彈性運轉情形

針對海淡廠的造水成本分析，由於不同的操作條件會導致成本估算基準不一致，因此沖繩海淡廠在特定估算基準下(總建造成本 347 億日圓、產水量 4 萬 CMD、稼動率 90%、回收率 40%、以 20 年營運期間計算以及政府補貼 85%)，每噸水的操作成本約需 170 日圓(2004 年出版資料)。操作費最主要為電力費用，佔總費用之 33%，其他如固定資本費用(capital expense)為 28%、化學品 12%、薄膜更換費用 11%。而根據宮城廠長之說明，本廠目前單位耗電量約 7kwh/m³，另外在減少操作運轉時間及降低產水量下，海淡水產水成本約 302 日圓(含折舊及利息等)，在去年運轉量更少之條件下，其單位成本約 507 日圓。

由於目前水庫蓄水豐足，由此優先由水庫供水而不需產製海淡水，但為防止設備裂化及維持機件運作與保養所需，目前採每月運轉 2 週之作法，產水約 5,000CMD，平時約 80%由水庫供應水源，10%為河川，10%為地下水。但由於沖繩河川流短，若久未降雨仍會造成枯旱缺水，屆時海淡設施仍須全面運轉產水。

第 3 章 心得與建議

3.1 心得

1. 日本政府為促進產業技術整體輸出，除了政府政策制定積極推動外，與民間企業及法人也整合建構公私協力、跨域合作的架構模式。不僅橫向溝通聯繫務求無落差，縱向也串起各相關資源整合，讓彼此合作可以無縫接軌且縮短行政流程爭取時效，值得我們借鏡與學習。
2. 推動水利產業之發展策略:日本經分析其國內水利事業之優劣勢(產品品質佳但價錢亦高)，整體評估全球市場後，再設定發展出口區域為中東國家較適合(而東南亞國家則非其市場)，而後透過援助銀行之低利貸款，將基礎設施(水電交通建設等)，包裹輸出，以整體思維，搭配元首外交等外交政策，進行產業技術與產品之出口，同時發展國際經貿，有助水利產業之發展。此方法與我國過去的農耕隊作法完全不同，過去台灣農耕隊主力在於人員派駐當地、教育，未能結合產業，故效益僅限於單點、單面向，效益有限。
3. 北九州水廣場/再生水與海淡共構技術研究:海淡水廠與再生水廠因水質特性不同，具有相互輔助之效益。海淡廠產水的含硼濃度高，排放鹵水的 TDS 濃度高，水量多；再生水的含硼濃度低，排放水的 TDS 較低，其他水質濃度較高，兩者若能有地利之便而結合處理，可讓產水與排放水的水質混合稀釋，互蒙其利。但兩者因為設廠目的性之不同，設置地點往往有不同的考量，不易結合，因此需要因個案不同而考量。北九州水廣場周邊的循環經濟規劃，甚具參考價值，值得台灣借鏡學習。
4. 海水淡化技術研究:日本的海淡技術(RO 等薄膜技術)成熟，技術紮根於水利產業廠商，一方面又透過財團法人造水促進中心研究技術，產官學研互相搭配發展，可以搭配與國外交流及技術輸出，同時又有 2 大廠運轉，累積實務經驗。相關產業鏈形成，可相互支援整體海水淡化產業鏈與研究發展。
5. 日本福岡與沖繩 2 座海淡廠之興辦緣由，皆因久未下雨，造成區域水源不足與限水後，為穩定供水而興建海淡廠。其考量因素為海島國家可就近取得海水資源、不受氣候季節影響、所需面積及影響範圍小、興建時間短、且可就

近建於需水地區縮短供輸配之管線距離等優勢。

6. 受到氣候變遷降雨集中影響，河川原水濁度變動日趨升高，原水水質如超過淨水場處理能力就可能發生停水問題，嚴重影響供水穩定。故目前國內已積極推動以伏流水取水方式引取較潔淨之水源，惟相關設計施工規範尚在研擬中。此次參訪瞭解伏流水取水工法之取水應依設計取水量審慎操作，避免短期出水量過大反而造成含水層阻塞，此係因超量取水操作將導致進水速度大於細砂或中砂等細顆粒的始動速度，一旦細顆粒被帶動後，取水管很容易堵塞致中長期取水量大幅減少。因此伏流水工程之良莠，不宜僅以取水量多寡作為設計及施工之依據，而應將全生命週期可發揮之總取水功能納入考量。

3.2 建議

1. 水利產業:日本政府對企業拓展海外市場不管從行政程序、財務支援到風險分攤都有全面實質提供協助與支援，現我們的中央政府也正推動對外經貿戰略的新南向政策，建議應建構跨部會的專責機構以整合相關公私部門及跨領域機構進行溝通協調，務使縮短相關行政程序、蓄積能量協助產業以整體輸出模式向外拓展。
2. 循環經濟:以北九州水廣場的周邊規劃設施案例來看，廢棄物只要放到適當的位置，就會變成資源，此為達成循環經濟的主要規劃原則，因此在進行各種污水處理場、再生水廠、發電廠、焚化爐、淨水廠等等公共設施之規劃時，應拉高思維面向，從循環經濟的著眼點來思考，才能有創新、永續、通盤整體的前瞻規劃。
3. 海淡經費補貼機制:短期內台灣若要興辦海淡廠，在自來水售價低廉之情形下，經費分攤仍是重點，建議在自來水售價尚低且不合理之情況下，基於讓民生用水免於缺水之苦，若不得不開發海淡廠，可參考日本作法(中央補貼85%費用)，中央政府可考量補貼海淡廠之建設經費，亦可考量是否補貼部分海淡產水營運費用與自來水價之差額，未來再視水價調整情況減少補貼。
4. 海淡廠與污水廠或電廠結合共構:海淡廠排放鹵水之鹽度較高，若能就近與

污水處理廠放流水混合放流，可稀釋鹽度，減輕環境衝擊；此外，若海淡廠附近有發電廠(既有或新設)，亦可評估共構建廠之可行性，除了能源就近利用外，可利用電廠溫排水作為海淡廠進水，此可減少能耗，而海淡廠鹵水再與電廠排水混合稀釋排放，亦可降低鹽度濃度。惟相關結合共構之可行性，仍需視既有設施現況以及區域發展需求等主客觀條件。

5. 伏流水：未來我國規劃設計及施作之伏流水工程宜將日本經驗與技術納入參考，延長相關設施之使用壽命。另伏流水工程於規劃設計階段宜納入全生命週期概念，使成本較高但較耐用之產品亦能獲得採用之機會，以利相關投資能永續利用。

附 錄

北谷海淡廠海域環境監測資料

建設前に環境影響調査と実施
(平成23年度) 1990, 1991

1995 2006
平成7～18年度 海水淡水化センター海域環境調査結果の概要

		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2006	評価		
		供用前	供用1年目	供用2年目		供用3年目	供用4年目	供用5年目	供用6年目	供用11年目		
海域水質調査及び生物調査		平成7年11月	平成8年12月	平成9年7月	平成9年11,12月	平成10年7月	平成11年7月	平成12年8月	平成13年8月	平成18年7月		
放流水調査期間		2月～3月	8月～12月	6月～3月		6月～3月	6月～3月	8月～3月	7月～3月	7月～3月		
水質	n-ヘキサン抽出物質 (mg/l)	不検出	不検出	不検出		不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	排水基準値(鉱油類 5mg/l, 動植物油脂類 30mg/l)より遥かに低い値であり問題ない。	
	SS (mg/l)	<0.5～1.9	<0.5～4.2	<0.5～2.7		<0.5～6.4	<0.5～1.1	<0.5～3.1	<0.5～1.7	<0.5～14	排水基準値(200mg/l以下)より遥かに低い値であり問題ない。	
	水温 (°C)	25.4～26.6	22.3～22.8	26.4～27.5	23.8～24.2	27.3～30.3	26.8～27.9	24.7～27.5	29.2～30.5	26.5～28.0	ほぼ平年並みの範囲にある。	
	塩分	—	34.78～35.53	34.65～35.75	34.30～34.65	34.63～34.65	34.0～34.4	33.96～34.63	33.60～34.22	33.82～34.75	34.10～39.88	淡水の影響を受けていない他の沖縄沿岸域と同等な塩分濃度である。
	透明度 (m)	13.0～15.8	7.0～10.0	12.6～13.5	12.1～15.0	10.2～16.0	11.0～24.0	9.5～14.5	13.5～24.8	14.0～27.6	濁りのほとんど見られない他の沖縄沿岸域と同等な透明度である。	
	pH	—	8.3	8.2	8.2	8.2	8.2～8.3	8.2	8.2	8.2	8.2	環境基準値A類型(7.8～8.3)の範囲を全て満足している。
	SS (mg/l)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5～0.7	濁りのほとんど見られない他の沖縄沿岸域と同等に、低い値であり問題ない。
	COD (mg/l)	1.4～1.6	1.0～1.2	0.6～1.0	1.0～1.2	1.1～1.3	0.6～1.0	1.0～1.3	1.1	1.0～1.4	1.0～1.4	環境基準値A類型(2.0mg/l以下)を全て満足している。
	DO (mg/l)	6.9～7.0	6.9～7.0	6.6～7.0	6.9～7.0	6.8～7.7	5.8～6.6	6.7～7.0	5.6～6.3	6.6～6.8	6.6～6.8	環境基準値A類型(7.5mg/l以上)とB類型(5.0mg/l以上)の間の値である。飽和度は100%前後であり、問題ない。
	飽和度 (%)	(103～105)	(97～100)	(103～105)	(103～105)	(103～105)	(89.3～101)	(99.5～108)	(89.6～102)	(102～103)	(102～103)	
n-ヘキサン抽出物質 (mg/l)	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	環境基準値(検出されないこと)を全て満足している。	
大腸菌群数 [MPN/100ml]	<2～5	<2～2	<2	<2	<2～8	<2～33	<2～13	8～33	2～23	2～23	環境基準値A類型(100MPN/100ml以下)を全て満足している。	
海	植物プランクトン	種類数	13～21	18～24	15～20	10～15	21～24	23～33	21～31	15～20	9～26	種類数は9～26種類、細胞数は540～134,600細胞/Lであり、種類数、細胞数とも過去の変動範囲を下回ったが、自然界の変動範囲内と考えられ、施設稼働の影響はみられない。主な種類は珪藻類と経年的変化はみられず、沖縄の他の沿岸域における植物プランクトン相を呈している。赤潮発生の目安は一般に、単一種が10 ⁶ 細胞/L以上であり、本調査結果はその値を下回っている。
		細胞数	1,015～1,931	11,900～16,450	36,641～136,320	8,960～11,840	43,840～74,880	31,240～185,140	21,140～40,160	7060～10720	540～134,600	
	珪藻類	珪藻類	珪藻類	珪藻類	珪藻類	珪藻類	珪藻類	珪藻類	珪藻類	珪藻類	珪藻類	
	種類数	26～28	18～24	19～23	15～20	25～31	17～20	25～35	28～32	36～37	36～37	種類数は36～37種類、個体数は4,080～12,277個体/m ³ であり、種類数、個体数ともこれまでの調査これまでの調査範囲内であった。主な種類は尾虫類やカイアシ類であり、経年的変化はみられない。動物プランクトン相は、他の沖縄の沿岸域と同様な種組成となっている。
	動物プランクトン	種類数	245～1,359	137～345	1,500～5,720	728～1,526	2,380～16,836	2,325～6,376	120,510～344,244	11700～39720	4,080～12,277	
	個体数	245～1,359	137～345	1,500～5,720	728～1,526	2,380～16,836	2,325～6,376	120,510～344,244	11700～39720	4,080～12,277		
	カイアシ類	カイアシ類	カイアシ類	カイアシ類	カイアシ類	カイアシ類	カイアシ類	カイアシ類	カイアシ類	カイアシ類	尾虫類、カイアシ類	
	種類数	9～15	11～15	16	11	10～14	14～23	13～15	14～15	14～21	14～21	魚卵の種類数は14～21種類、個体数は767～989個体/100m ³ であり、魚卵の生息環境であるサンゴ類が白化により減少したことによる影響がみられた平成13年度に比べて個体数が増加しており、回復傾向にあると考えられる。稚仔魚はニシン科、スズメダイ科、ハゼ科等で、沿岸海域の種組成となっており、経年的変化はみられない。
	魚卵・稚仔魚	種類数	9～15	11～15	16	11	10～14	14～23	13～15	14～15	14～21	
	個体数	2,231～3,631	537～1,114	2,630～9,130	152～383	3,792～5,172	632～941	148～210	350～463	767～989	767～989	
無脂不整球卵	無脂不整球卵	無脂球形卵	ブダイ型卵	ブダイ型卵	単脂球形卵	単脂球形卵	単脂球形卵	単脂球形卵	単脂球形卵	単脂球形卵		
種類数	20～25	7～11	21～36	32～56	10～30	46～50	20～33	4～18	14～36	14～36	種類数は4～36種類、個体数は20～66個体/0.04m ² であり、これまでの調査の変動範囲内であった。主な種類は多毛類を含む環形動物であり、経年的変化はみられない。種組成については、他の沖縄の沿岸域と同様になっている。施設稼働による影響はみられない。	
底生生物	種類数	20～25	7～11	21～36	32～56	10～30	46～50	20～33	4～18	14～36		
個体数	93～266	22～25	84～197	110～182	42～147	159～460	35～75	5～27	20～66	20～66		
環形動物	環形動物	環形動物	環形動物	環形動物	環形動物	環形動物	環形動物	環形動物	環形動物	環形動物		
造礁サンゴ	種類数	2～13	2～15	2～15	2～14	2～18	2～17	2～17	2～15	0～12	種類数は0～15種類、被度は0～15%/m ² であり、種類数、被度、群体数とも減少した。主な種類は塊状ハマサンゴ等であり、経年的変化はみられない。種組成は、沖縄の他海域でも通常みられるものであった。平成10年及び平成13年に確認されたサンゴの白化現象による影響と考えられる。	
	被度 (%)	1～23	1～23	1～35	1～35	1～40	1～30	<1～35	<1～35	0～15		
	優占種	塊状ハマサンゴ属等	塊状ハマサンゴ属等	塊状ハマサンゴ属等	塊状ハマサンゴ属等	塊状ハマサンゴ属等	塊状ハマサンゴ属等	塊状ハマサンゴ属等	塊状ハマサンゴ属等	塊状ハマサンゴ属等	ハマサンゴ属	
ソフトコーラル	種類数	1～3	1～3	1～3	1～3	1～3	1～3	1～3	1～3	1～3	種類数は1～3種類、被度は30～80%/m ² 。これまでの調査と比べて被度が増加した。主な種類はカタサカ属であり、経年的に大きな変化はみられない。他の沖縄の沿岸域と比較すると施設稼働前からソフトコーラルの被度が高く、やや特異的な海域である。	
	被度 (%)	5～90	5～92	8～85	10～80	13～70	18～80	25～70	25～70	30～80		
カタトサカ属等	カタトサカ属等	カタトサカ属等	カタトサカ属等	カタトサカ属等	カタトサカ属等	カタトサカ属等	カタトサカ属等	カタトサカ属等	カタトサカ属等	カタトサカ属		
総括	当該施設の供用前と、供用1年目、2年目、3年目、4年目、5年目、6年目を比較すると、放流水と海域の水質は経年的変化はほとんどなく、平成10年と平成13年に水温が上昇した程度で環境基準値のA類型をほとんど満足している。また、ほとんどの海生生物については、これまでの変動範囲内にあり、経年的な変化はみられない。サンゴ類は、ソフトコーラルが増加し、造礁サンゴが減少した。これは平成10年度及び平成13年度に確認されたサンゴの白化現象による影響と考えられ、施設稼働の影響とは考えられない。											