

出國報告（出國類別：考察）

赴日本東京都水道局與大阪市水道局參訪考察淨水 處理實習場與實務訓練模式

服務機關：台灣自來水股份有限公司

姓名職稱：蔡侑霖 副處長

邱淑卿 組長

劉立偉 管理師

派赴國家/地區：日本/東京都、大阪市

出國期間：114年6月9日至114年6月13日

報告日期：114年8月4日

摘要

本次報告為台灣自來水股份有限公司於114年6月9日至6月13日，派員赴日本東京都水道局研修開發中心與大阪市水道局體驗型研修中心進行觀摩與交流的整理與心得。本次參訪旨在深入了解日本在高級淨水處理、人才培育模式以及自來水技術應用等方面的實務經驗，並針對國際訓練事務部分進行交流與請益。

在淨水處理實務上，東京都水道局多數淨水場採用臭氧與生物活性碳等高級處理程序，確保高品質供水，而大阪市水道局則運用兩段式臭氧處理結合顆粒活性碳有效去除錳，並自2000年起全面導入高級淨水處理程序。

人才培育上，日本兩水道局均強調實務導向訓練。大阪市水道局體驗型研修中心提供如100CMD 之高級淨水處理實習場模擬操作訓練，亦具備3.6CMD 的小型淨水處理裝置以模擬不同原水水質的操作模式，藉此強化本質學能。東京都水道局藉由在職訓練（On the Job Training, OJT）強化高級淨水處理職能，並透過每年參訪不同淨水場，讓受訓學員接觸不同設備。這些經驗對本公司在淨水處理實務訓練的發展與規劃極具參考價值。

在水質挑戰方面，日本原水水質普遍潔淨穩定。相對地，臺灣原水濁度高且波動劇烈，颱風後濁度甚至可達700NTU 以上。AI 應用方面，東京都水道主要考量技術人力逐漸老化退休且面臨工作人力不足、技術經驗傳承等因素，加速其利用 AI 預測最佳加藥率等在淨水操作的應用，而本公司也積極研討 AI 精準加藥。

本公司在高級淨水處理營運上面臨人力不足、核心操作技術過度依賴委外廠商的挑戰，導致自行操作能力培養不易。透過本次參訪東京都水道局與大阪市水道局的標竿學習，強化內部專業人員訓練機制，借鑒日本等先進高級淨水處理的訓練經驗，希冀提升高級淨水處理的自主操作與管理能力，確保供水品質與穩定性，降低營運風險。

本次參訪行程明快，獲益甚豐，且與東京都水道局主管與前輩們多次見面並飽受款待，內心充滿感激與敬意。感謝東京都水道局與大阪市水道局於百忙之際仍安排相關業務主管至現場介紹訓練與淨水操作實務與經驗分享，更感謝東京水道株式會社岸野經理的安排協調與全程陪同，使本公司能在短時間的參訪交流下獲得啟發與寶貴收穫。

關鍵字：高級淨水處理、人才培育、實務訓練、訓練與發展。

目錄

摘要.....	i
壹、 出國目的地與行程說明.....	1
貳、 高級淨水處理現況簡介、參訪單位簡介與行程安排.....	1
一、高雄地區高級淨水處理現況簡介.....	1
二、 參訪單位簡介.....	2
(一) 東京都水道局採用高級淨水處理歷程 ⁱ 與研修開發中心.....	2
(二) 大阪市水道局採用高級淨水處理歷程 ⁱⁱ 與體驗型研修中心.....	5
三、 行程安排.....	7
參、 參訪內容與研討重點.....	15
一、東京都水道局研修開發中心.....	15
(一) 淨水處理實習設施與技術細節.....	15
(二) 研修與維運管理.....	20
(三) 技術交流與討論.....	23
二、大阪市水道局體驗型研修中心.....	23
(一) 設施與功能介紹.....	23
(二) 實作訓練課程與淨水處理訓練項目.....	34
(三) 國際合作與實務應用.....	38
(四) 關於大阪府全氟化合物水源污染事件.....	39
肆、 參訪心得與建議.....	40
一、參訪心得.....	40
二、建議事項.....	44
參考文獻.....	a

圖目錄

圖 1 東京都水道局研修開發中心俯視圖	4
圖 2 東京都水道局高級淨水處理程序	4
圖 3 大阪市水道局體驗行研修中心與平面圖	6
圖 4 大阪市水道局高級淨水處理程序	7
圖 5 研修開發中心施工隔板 圖 6 本公司蔡侑霖副處長（右）致贈禮品	8
圖 7 左：兩天訪視淨水處理實習設施、右：淨水操作室	9

圖 8 東京都水道局研修開發中心入口處迎賓看板與當日訓練課表	9
圖 9 蔡侑霖副處長（持國旗者）偕台水同仁與東京都水道局合影	10
圖 10 大阪市柴島水表表位	11
圖 11 停復水實務訓練現場狀況	11
圖 12 左：本公司致贈禮品予大阪市水道局、右：聽取體驗型研修中心簡報	12
圖 13 左：井上先生與 Expo 2025海報、右：大阪市水道局歡迎畫面	12
圖 14 左：高級淨水處理實習設施、右：小型淨水處理裝置	13
圖 15 左：幫浦水流實驗設施、右：水都大阪 Aquatic Osaka 技術展示室	13
圖 16 本庄水管橋與說明	14
圖 17 本公司同仁與大阪市水道局合影	14
圖 18 淨水處理實習設施外觀與概要	16
圖 19 淨水處理實習設施淨水流程	16
圖 20 淨水程序沉澱狀況	17
圖 21 左：清水池取水採樣點、右：膠羽池取水採樣點	17
圖 22 原水取水採樣處	18
圖 23 左：膠羽池底部的觀察窗、右：膠羽池上方的觀察窗	18
圖 24 以黏土作為原水濁度調控的材料	19
圖 25 操作室儀器標示與訓練教材標示一致性	20
圖 26 東京水道集團（東京都水道局與東京水道株式會社）偕同營運	21
圖 27 虛擬實境（VR）相關設備	22
圖 28 杯瓶試驗與水質（氨）分析討論	22
圖 29 高級淨水處理實習設施與其淨水處理流程	24
圖 30 高級淨水處理實習設施高架線槽	25
圖 31 2F 中臭氧接觸筒與快濾池	25
圖 32 快濾池砂濾濾料	26
圖 33 後臭氧處理說明與不當處理警示	27
圖 34 臭氧分解筒（濾料為活性碳）	28
圖 35 左：2F 後臭氧接觸筒與 GAC 吸附池、右：1F 後臭氧接觸筒、GAC 吸附池、清水池 ...	28
圖 36 小型淨水處理裝置	29
圖 37 空氣壓縮機、空氣鋼瓶與臭氧產生器	30
圖 38 左：測試水中臭氧、右：臭氧檢測樣態（左瓶：成功，右瓶：失敗）	31
圖 39 幫浦水流實驗設施	31
圖 40 幫浦水流實驗設施控制裝置與後方透明管段	32

圖 41 水池幫浦配電箱	32
圖 42 Aquatic Osaka 技術展示室	33
圖 43 管網操作與停復水實作設備	34
圖 44 排水管加裝流量計	34
圖 45 大阪市水道局內技術訓練項目	35
圖 46 體驗型研修中心嶄新培訓項目	36
圖 47 114年6月12日大阪市水道局網站公告過去5年全氟化合物檢驗狀況	39
圖 48 大阪府田原淨水場全氟化合物檢驗狀況	40
圖 49 淨水操作實務訓練現場	42

表目錄

表 1 高雄市高級淨水場操作營運現況	2
表 2 淨水操作訓練仍以傳統淨水處理為主的因素	30
表 3 淨水操作 E-Learning 的測驗科目與結果	37
表 4 JICA 講師費（講師謝金）給予規定	39
表 5 傳統淨水處理與高級淨水處理操作差異	42

壹、出國目的地與行程說明

依據本公司113年度訓練委員會會議紀錄「…參訪東京都水道局的計畫，建議將考察重點著重在研修中心的實習場，研究其概念的應用與執行」，本次派員赴日本參訪，主要目的為配合公司政策，提升本公司在高級淨水程序操作方面的職能，並就高級淨水處理實習場在實務操作訓練與人才培育的應用進行觀摩與交流。日本東京都水道局與大阪市水道局作為亞洲地區領先的水務機構，該局在自來水處理技術、人員培訓及營運管理等方面的經驗，對本公司的發展具有重要的借鑒意義。此次參訪亦延續了本公司在2024年亞洲自來水事業人力資源發展網絡（A1-HRD）會議中與日本東京都水道局研修開發中心的交流，特別針對高級淨水處理程序的實務訓練需求進行請益。

本次參訪為期五天，行程安排如下：

- 第1天（114年6月9日，星期一）：由臺灣啟程，搭機前往日本東京。
- 第2天（114年6月10日，星期二下午1點30分至5點）：參訪東京都水道局研修開發中心，重點觀摩淨水處理實習場的配置規格、實務訓練及淨水操作應用。
- 第3天（114年6月11日，星期三）：由東京搭乘交通工具前往大阪。
- 第4天（114年6月12日，星期四下午1點30分至5點）：參訪大阪市水道局體驗型研修中心，了解其運作模式、實務訓練內容，以及海外人員受訓相關事宜。
- 第5天（114年6月13日，星期五）：由大阪啟程，搭機返回臺灣。

本次參訪由本公司第七區管理處蔡侑霖副處長（以自費公假方式參與，因其服務轄區高雄市內設有4座高級淨水場，對相關職能有高度需求）及邱淑卿組長（專業訓練中心）等人員共同參與，旨在透過實地參訪與深度交流，將日本先進經驗引入本公司高級淨水處理實務訓練與人才培育區塊。

貳、高級淨水處理現況簡介、參訪單位簡介與行程安排

一、高雄地區高級淨水處理現況簡介

本公司肩負提供民眾穩定且優質飲用水的重責，面對氣候變遷導致原水水質變化日益劇烈，以及社會對供水品質要求的提升，積極推動淨水場現代化，並引進高級淨水處理技術。高級淨水處理（Advanced Water Treatment）通常涵蓋了臭氧處理、活性碳吸附、離子交換、薄膜處理（如超過濾 Ultra Filtration、逆滲透 Reverse Osmosis 等）和生物處理等多種特殊淨水單元。這些技術的應用旨在確保原水即便受到不同程度的污染，處理後的水質仍能符合嚴格的飲用水標準，

達成「不缺水、喝好水」的目標。

而高雄自日治時期起便被規劃為南部的工業重鎮，光復後更是臺灣石化、鋼鐵、造船等重工業的發展基地。大規模的工業發展帶來了龐大的用水需求，過去工業發展過程中亦加劇了高屏溪下游的水質污染問題（如有機物、重金屬等），益加提升高雄地區的淨水處理難度。而高雄的主要水源高屏溪因坡度陡峭、流速快、集水區地質鬆軟（多為泥岩層），加上中上游缺乏大型水庫蓄水。這導致每逢颱風或豪雨，大量的泥沙會迅速沖刷而下，使得原水濁度瞬間飆高，甚至可達數萬 NTU。

面對這些挑戰，高雄市的自來水供應以高級淨水程序處理則成為必然的選項。大高雄地區自來水水質雖能符合飲用水水質標準，但有感於用戶在口感及味覺等適飲性不甚滿意，為辦理大高雄供水改善計畫，先後增設澄清湖、翁公園、拷潭及鳳山淨水場等高級淨水處理設備，大幅降低總硬度至150mg/L 以下，滿足高雄地區民眾對高品質飲用水之需求。目前高雄的高級淨水處理廠狀況如下表 1 所述。

表 1 高雄市高級淨水場操作營運現況

項次	淨水場名稱	淨水處理方式	委外操作承攬廠商	設計最大出水量
1	澄清湖高級淨水場	臭氧、生物活性碳（BAC）*	中宇環保工程	45萬 CMD
2	拷潭及翁公園高級淨水場	薄膜過濾（UF、RO）	惠民實業	26萬 CMD
3	鳳山高級淨水場	臭氧、生物活性碳（BAC）	東昕水務實業	30萬 CMD

*生物活性碳（Biological Activated Carbon, BAC）

二、參訪單位簡介

本次參訪的兩個主要單位皆在日本水務領域扮演關鍵角色，擁有豐富的技術與實務訓練經驗。

（一）東京都水道局採用高級淨水處理歷程ⁱ與研修開發中心

在1955至1964年左右，由於產業與人口過度集中於東京都，導致噪音、空氣污染、水質污濁等公害問題開始發生。特別是對於水源幾乎完

全依賴河川的東京都水道局而言，原水的污濁在確保潔淨飲用水方面，構成了極大的威脅與挑戰。在此情況下，多摩川下游地區發生了因洗滌劑而在調布取水堰飛揚的泡沫現象，以及玉川淨水場的原水與克山病（Kashin-Beck Disease）的關聯性成為問題，導致市民對水質的不安感擴散。東京都政府考量市民觀感，於1970年9月停止玉川淨水場（研修開發中心現址前身）的供水。

而自1975年起，河川與海域等公共用水域的水質逐漸恢復，但自來水水質問題卻日益多元，朝著異味、微量有機物質等方向改變；而1972年左右起，江戶川水系的金町淨水場開始接到自來水有霉味的客訴。為了解決當前的霉味問題，於1984年起在金町淨水場正式引進了粉末活性炭處理以對應藻類滋生問題。然而，粉末活性炭處理仍有其極限，例如難以應對因河川流量與水溫變化所導致臭氣物質濃度的急遽上升與劇烈變動；此外，注入大量粉末活性炭的應變措施，其顆粒流入快濾池易造成砂濾阻塞，使正常的過濾程序難以進行。

基於上述情況，東京都水道局為了能夠穩定且有效地去除產生霉味的物質，決定展開關於高級淨水處理方式的實驗調查。在高級淨水處理方法中，該局採取對於去除霉味特別有效的臭氧處理結合生物活性炭相的處理流程進行實證檢驗。為了達成將新的淨水處理方法導入實際設施，該局於1983年進行預備性的室內實驗，並從1984年至1988年實施小型模組廠的實驗（Plant-scale experiment）。

在小型模組廠實驗中，該局將高級淨水處理的去除對象設定為霉味物質等微量有機物，並以2-甲基異莰醇（2-MIB）、氨氮（Ammonia Nitrogen）、三鹵甲烷生成潛能（THM-FP）、以及紫外光吸收度（UV Absorbance）等作為指標進行了比較與探討。經過長達6年實驗驗證，結合臭氧處理與生物活性炭吸附處理的高級淨水處理系統是有效的。因此，1988年6月，正式決定在金町淨水場導入高級淨水處理設施。而作為導入高級淨水處理契機的霉味問題，自1999年後再也沒收到用戶相關投訴，顯示出當局對策的成效已確實地展現出來。

而東京都水道局研修開發中心於2005年啟用，占地約18,000平方公尺。2007年設置縮小版的淨水處理實習設施，其最大特色在於能夠透過人為方式添加濁度或氨等物質，模擬原水水質異常的狀況，讓學員實習

應對處理方法。此設計旨在提供一個貼近實際操作情境的學習環境，以應對突發的水質變化。關於東京都水道局高級淨水處理程序如下圖 2。

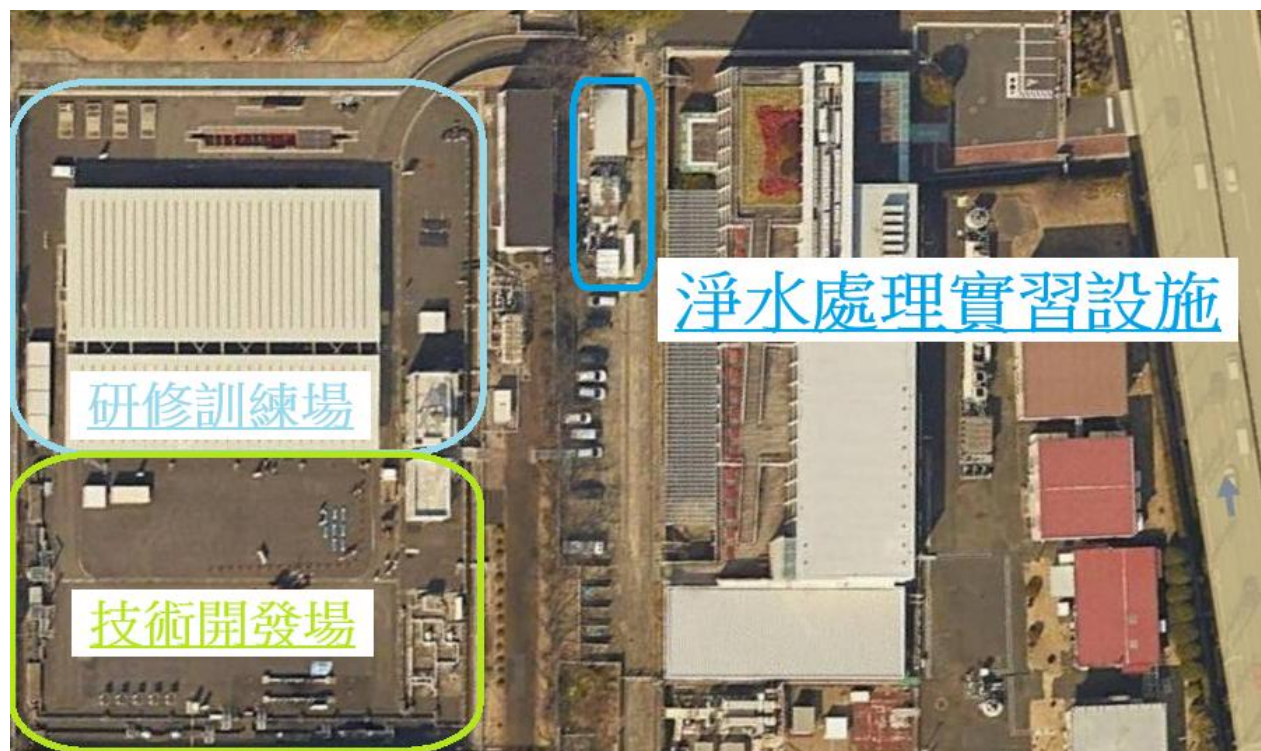


圖 1 東京都水道局研修開發中心俯視圖

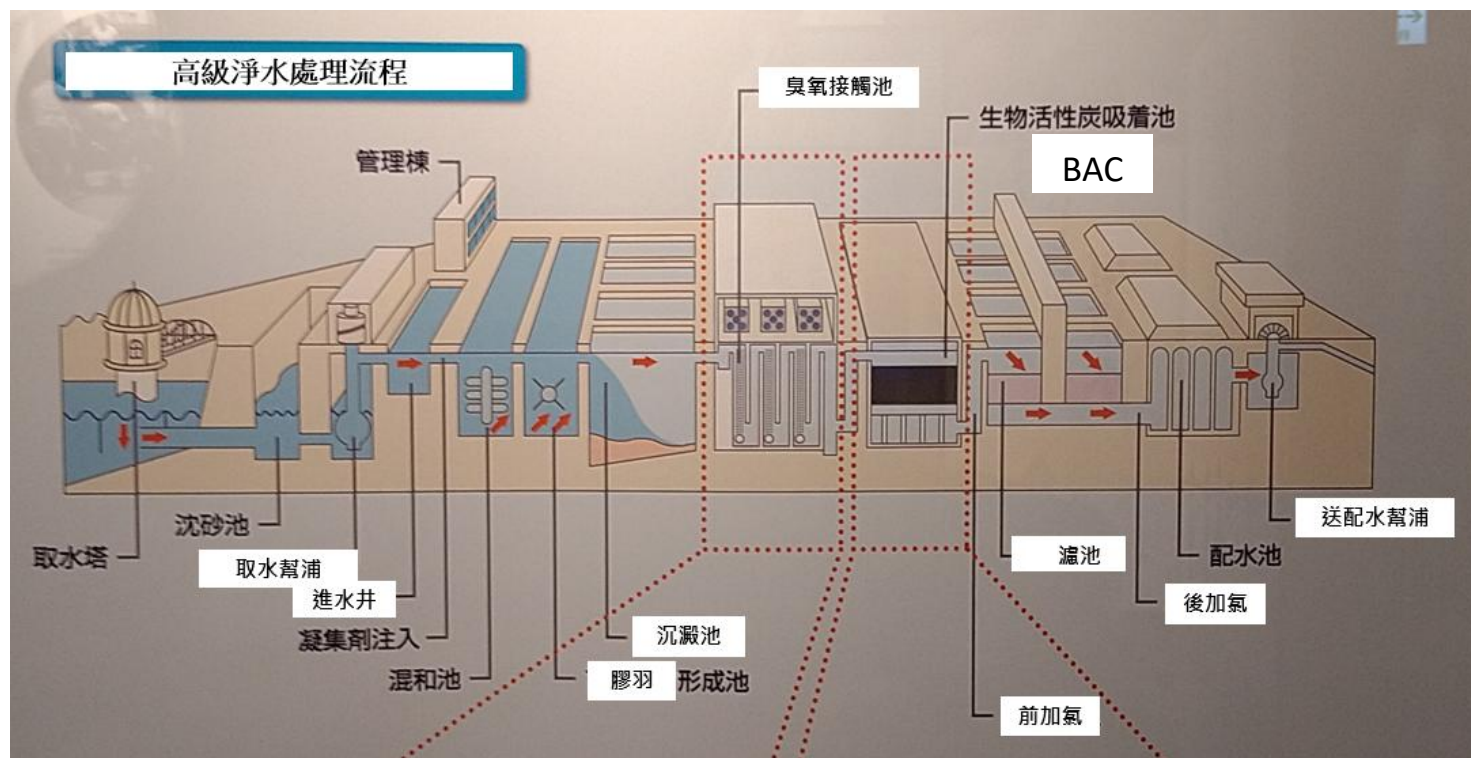


圖 2 東京都水道局高級淨水處理程序

（二）大阪市水道局採用高級淨水處理歷程ⁱⁱ與體驗型研修中心

大阪市水道局在1990年代中期發起高級淨水計畫，1992年正式啟動場站整備，於2000年3月完成全市範圍通水，成為日本政令市中第一個全面採用高級淨水處理的案例。透過臭氧、顆粒活性炭與生物處理等多重處理方式，顯著改善水質，特別在消除異味與降低三鹵甲烷方面成效卓著。大阪市作為日本第二大城，其發展歷程體現了採用高級淨水處理的必要性與緣由。

大阪被譽為「東洋的曼徹斯特」，其紡織、化學等重工業的發展需要大量且穩定的工業用水。自來水建設為大阪的工業化提供了不可或缺的基礎設施支持。穩定的供水不僅降低了工廠的生產成本，更吸引了大量資本與勞動力湧入，成為大阪經濟起飛的重要基礎。然而，這股工業化浪潮，特別是沿著淀川林立的重化工業，雖是經濟的引擎，卻也對其原水水質造成了嚴重的衝擊。戰後，日本的政策重心全力投入「經濟復甦」與「追趕西方」，在舉國追求經濟成長的目標下，環境保護的法制建設未能跟上工業發展的腳步。地方政府即便面對日益惡化的污染，在經濟發展的巨輪下也顯得有心無力，難以對企業的排污行為進行有效管制。

隨第二次世界大戰後日本產生的經濟奇蹟，大阪市工商業崛起亦帶動國民所得倍增，家庭電器普及，生活西化導致用水量暴增。但另一方面，嚴重的工業污染導致了公害問題，空氣、水源、土壤受到嚴重破壞，民眾健康受損，催生了區域性乃至全國性的市民環保運動。

種種因素下，日本國會於1970年代末通過了10逾項公害關係法，修正公害對策基本法而有了「公害國會」的稱號，嚴格的法規控制了惡性的工業污染，但過去數十年積累的污染導致水源優養化（Eutrophication），夏季時藍綠藻大量繁殖，產生了難以去除的霉臭物質（2-MIB 和 Geosmin）等有機物，傳統淨水處理方法無法消除的三鹵甲烷問題亦逐漸浮上檯面。

自1981年以來，大阪市的水源地琵琶湖幾乎每年都會散發出霉味，導致從琵琶湖-淀川水系引來的自來水帶有異味。在惡劣的水源條件下，當局初期採更嚴密的水質監測體系，試圖在污染物進入淨水場前預警，增加氯的投放量以分解部分污染物，但易導致消毒副產物如三鹵甲烷的增加。為了應對異味加劇的情況，當局也與東京都水道局採相同措施：

投入粉末活性炭進行改善，並改變原水中用於氧化有機物和金屬離子的加氯注入點等各種措施，但仍然無法充分去除異味。

1986年起，大阪市在柴島淨水場設置高級淨水處理實證試驗設施，加入臭氧處理與顆粒活性炭等程序，以改善淀川水源導致的霉味與三鹵甲烷等問題。淀川與琵琶湖的優氧化問題，以及高濃度汙染物管控需求，大阪市自1992年起啟動「高級淨水處理設施整備計畫」並擴大至其他給水廠。經過長達約10年整備，包括柴島、庭窪與豐野三座淨水場，最終於2000年3月完成全市供水系統的高級淨水處理設施整備。

高級淨水處理系統在傳統淨水方法上添加了臭氧和顆粒活性炭處理工序，去除了淨水場使用氯產生的霉味和三鹵甲烷，從而生產更安全與優質的自來水。這在當時並非日本一般淨水場所採行的淨水方法，亦將徹底消除黴菌等令人不安的氣味和味道，並大幅減少三鹵甲烷。此外，它還有望提高對隱孢子蟲等病原微生物的安全性，全面改善自來水水質。

大阪市水道局體驗型研修中心於2012年落成，其宗旨為培養肩負日本自來水事業人才，並作為技術傳承與技能訓練的據點，同時也服務國內外自來水相關人士的技術研究與訓練。體驗型研修中心是利用過去作為供水與配水相關研修場地的「水道技術中心」，以及「柴島淨水場第二配水泵站」的舊址，共約8,000平方公尺的土地所改建而成。中心由用於講課研修的研討樓（セミナー棟），以及淨水樓（浄水施設棟）、機電樓（機械電気棟）、配水樓（配水施設棟）、供水樓（給水施設棟）四棟實作訓練建築物所構成。

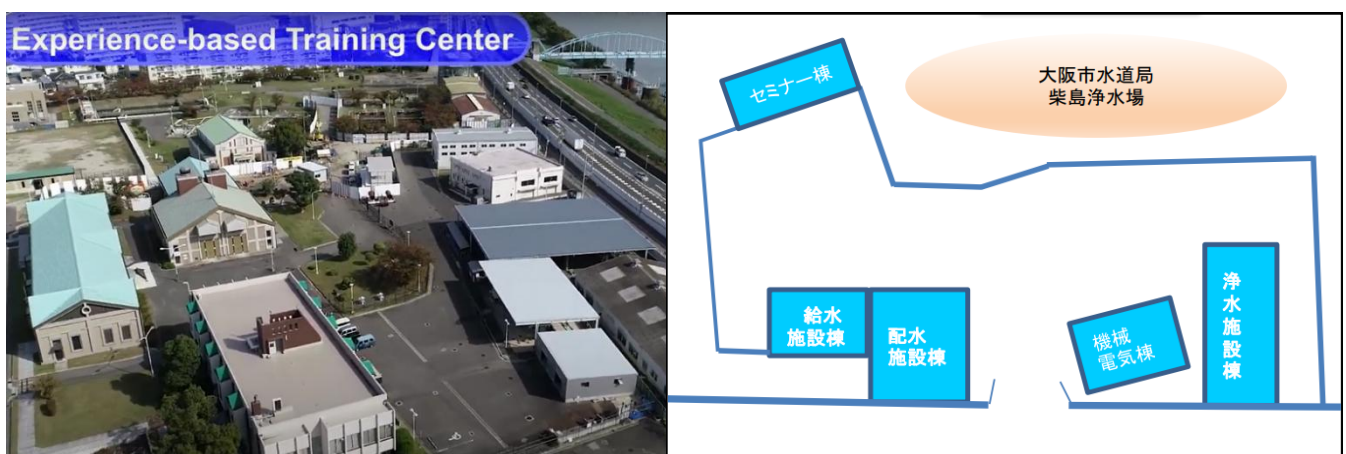


圖 3 大阪市水道局體驗行研修中心與平面圖

淨水樓與機電樓為室內設施，而配水樓及供水樓也設有屋頂，即使在雨天也能進行研修。此外，由於中心緊鄰柴島淨水場，因此也可以將研修課程與淨水場的參觀行程結合安排。

該中心設施完善，涵蓋淨水處理、機械電氣、配水與給水等多個面向的實務訓練場域，特別注重操作與維護的實際演練。大阪市水道局自2000年起已在轄區內3座淨水場全面採用高級淨水處理設備供應自來水，藉其豐富的經驗為自來水技術訓練提供了堅實的基礎。關於大阪市水道局高級淨水處理程序如下圖4所示。

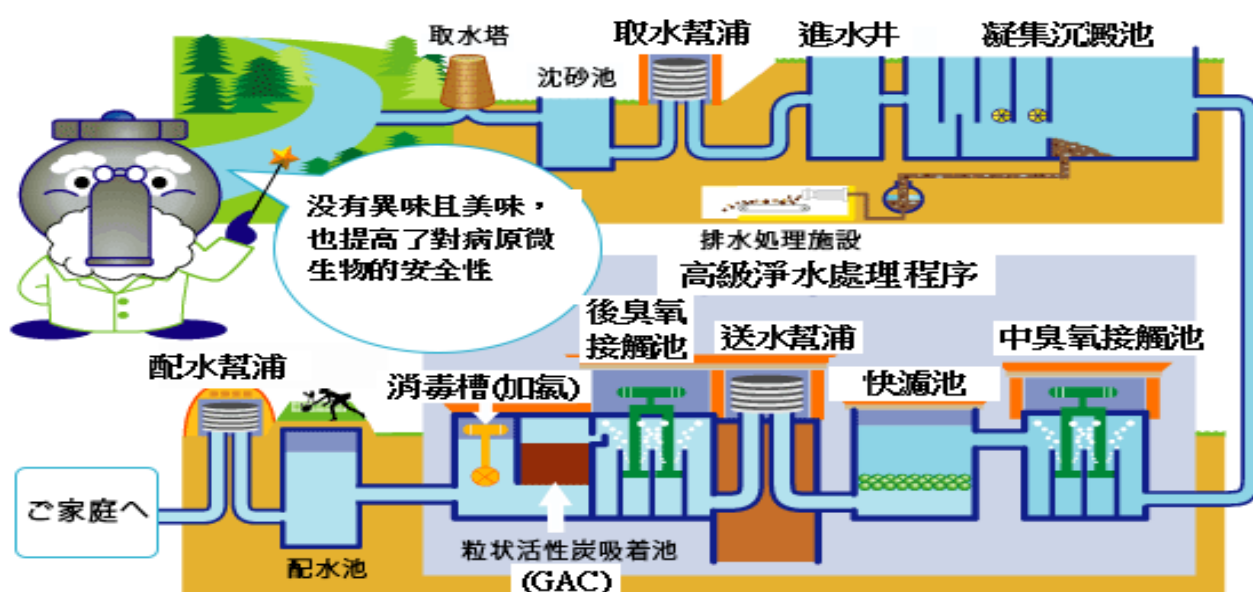


圖 4 大阪市水道局高級淨水處理程序

三、 行程安排

本公司於113年10月31日偕同東京都水道局參訪韓國首爾市自來水博物館與蠶島阿利水淨水中心（Ttukdo Arisu Purification Center），並於中午時間餐敘，有幸於用餐時刻交流互動，探究自來水事業在不同的文化脈絡下，其實務運作上會有哪些差異。該局研修開發中心的桑德斯先生（化名）在參訪結束時問道，台水公司專業訓練中心明年（114年）是否有參訪東京都水道局的計畫，而這段對話也促成本次參訪的契機。

行程第2天（114年6月10日）原定搭乘地鐵至九品佛站再步行至東京都水道局研修開發中心，因6月適逢關東地區雨季，東京都當日大雨滂沱，而為了回應東京都水道局的協助與支持，我們人手攜帶伴手禮與眾多公務禮品下，決定改

搭優步（Uber）前往。表定下午1點30分開始的參訪，在我們1點5分抵達研修開發中心時赫然發現岸野經理已隨同國際事務承辦人津田主任與研修課鈴木課長、澤村課長代理與大塚先生一同在門口等待時，頓時倍感親切與溫暖。

本次參訪由蔡侑霖副處長率隊，而研修開發中心的金山所長因與蔡副處長已於去年韓國首爾一同參訪並餐敘的機緣，再次見面的熟悉感與融洽氣氛自是不在話下。金山所長首先告知因研修開發中心已開始進行建築體內部全面翻修尚請我們見諒，但日本職人工藝與優異案場管理維護，若沒有金山所長提醒實在看不出研修開發中心進行全面整修的狀況（圖5）。雙方在寒暄互動並互贈紀念品後，為本次參訪開啟新的篇章。



圖 5 研修開發中心施工隔板



圖 6 本公司蔡侑霖副處長（右）致贈禮品

在國際事務承辦人津田主任的開場後，首先由研修課增子先生說明研修開發中心淨水處理實習設施（浄水処理プラント）基本規格、淨水流程、實務訓練中的實驗操作與變數調整，我方亦針對該局在淨水操作處理的實務訓練向增子先生請益。

經過簡報概述淨水處理實習設施相關內容與實務訓練模式後，隨後至戶外參訪該實習模組廠。即便是大雨紛至的當下，不減損我們對知識與經驗的期盼，而研修開發中心很貼心為我們準備了雨衣好方便我們在雨天中行動。

即便是17年前（2008年）啟用的設備，現場觀摩實習模組廠的當下確實有許多細節值得學習：從行政維護層面的預留維修空間與通道，職業安全衛生方面的高架化線路配置，與訓練發展端的看板管理、情境學習幫助訓練移轉的效果，在與東京都水道局增子先生與老師傅的互動中收穫甚豐。



圖 7 左：雨天訪視淨水處理實習設施、右：淨水操作室

東京都水道局 Bureau of Waterworks Tokyo Metropolitan Government		本日のイベント案内 Schedules of Today's events				6/10(火) 17:01	
	301・302	304・305	306・307	308	大口徑配管実習場	小口径配管実習場	
8:00							
9:00							
10:00							
11:00							
12:00	9:00 - 17:00 令和7年度職層別研修「マネジメントⅠ（管理職）」				8:45 - 16:30 東京水道株式会社・令和7年度 実務研修「配管実習Ⅰ（大口徑）」		
13:00							
14:00							
15:00			13:30 - 17:00 TAIWAN WATER CORPORATION				
16:00							
17:00							
18:00							

館内（フィールド含む）及び周辺道路は喫煙

圖 8 東京都水道局研修開發中心入口處迎賓看板與當日訓練課表

最後的座談會裡，除了研修開發中心出席外，淨水處理與水質管理相關主管亦到達現場，並就高級淨水處理訓練與淨水設備維護與其他議題如漏水防治及 AI 應用等方面進行交流討論。



圖9 蔡侑霖副處長（持國旗者）偕台水同仁與東京都水道局合影

行程第3天（114年6月11日）為移動日，從東京車站搭乘希望號（のぞみ）東海道新幹線（JR 東海，東海旅客鐵道株式會社）至新大阪車站，再從淀川（大阪市水道局原水來源）北側搭乘地鐵至新今宮站鄰近的住宿點。

第4天（114年6月12日）依約前往於大阪市水道局體驗型研修中心。當日發生的小插曲是，雖然該訓練單位於柴島淨水場旁且鄰近地鐵站，但在當日中午想尋找一間在地餐廳用餐，卻走了近半小時也找不到1間店，只好尷尬地走回柴島車站搭到下一站鄰近商店街的淡路站用餐。在找尋餐廳的路途中亦觀察到一個令人印象深刻的細節。即使建物經過改建，當地居民依然會依照規定，確保水表周圍有足夠的空間，以利公共事業執行抄表、換表與維修等勤務。這份為公眾利益著想的默契與精神，衷心期盼有朝一日在臺灣也能普及。



圖 10 大阪市柴島水表表位

初次踏入體驗型研修中心，觀察到現場停復水實務訓練的硬體設備與人員配置，講師/助教與學員的比例幾乎是1比1的狀態，經詢問後得知學員為協力廠商員工，而講師與助教為大阪市水道局100%控股子公司：大阪水道總合服務株式會社（Osaka Water General Service Co., Ltd）具備實務經驗的員工擔任。



圖 11 停復水實務訓練現場狀況

在蔡副處長向體驗型研修中心負責人井上先生介紹伴手禮，烏龍茶與環保餐具組並寒暄後，井上先生即向我方介紹體驗型研修中心概況與訓練內容。大阪市水道局作為日本第二大會區的供水主體，且遭遇數次颱風與1995年阪神大地震等天然災害經歷，相較於東京都水道局，大阪市水道局在淨水處理相關訓練上的參數設定更貼近本公司的實務操作。井上先生後方掛的海報就是本年度大阪世界博覽會吉祥物脈脈（ミャクミャク，音近喵Y枯喵Y枯）與其主題「いのち輝く未来社会のデザイン」，以及三不五時在中心裡看到世博相關宣傳內容，在在體驗大阪人對於在地主辦世界博覽會所顯現的驕傲與自豪。



圖12 左：本公司致贈禮品予大阪市水道局、右：聽取體驗型研修中心簡報

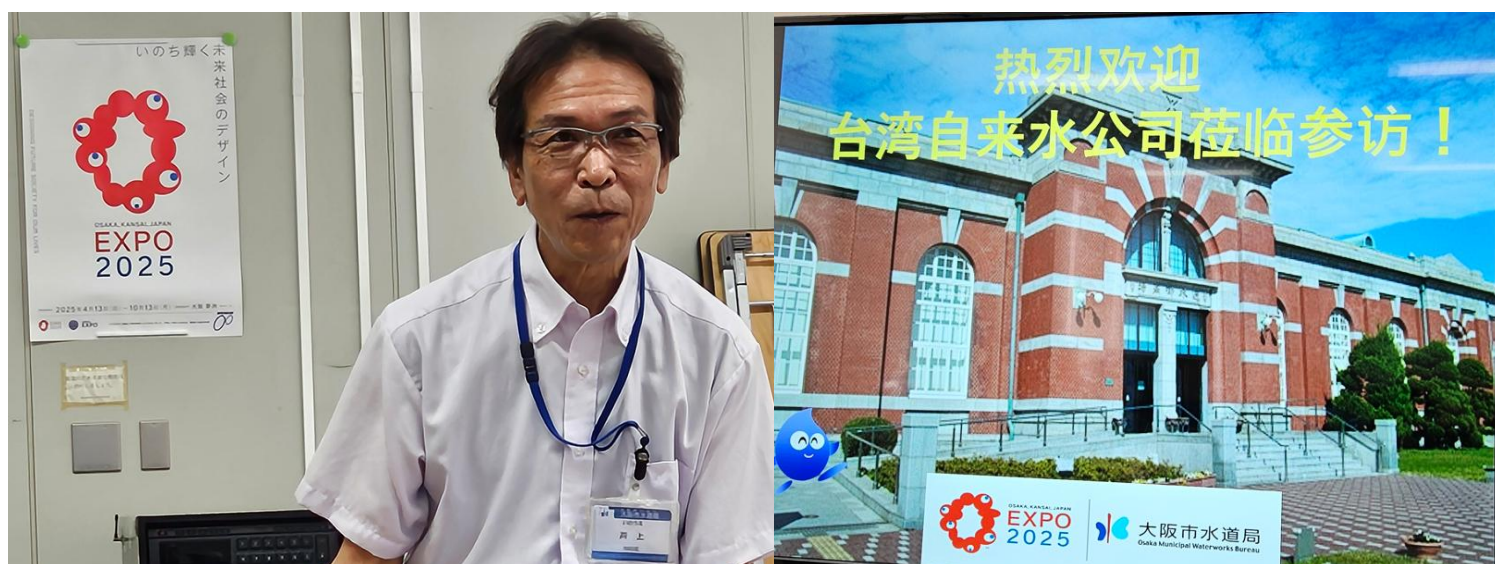


圖13 左：井上先生與 Expo 2025海報、右：大阪市水道局歡迎畫面

井上先生先帶領我們參訪該中心的高級淨水處理實習設施，由於該設備在其淨水樓單一建築體內，相關實習設備皆在室內，不但易於維護且無須額外增設外殼等保護措施。也因為場域空間充足，像是實習設施 SCADA、杯瓶試驗組及小型淨水處理裝置皆設置於淨水樓內。



圖 14 左：高級淨水處理實習設施、右：小型淨水處理裝置



圖 15 左：幫浦水流實驗設施、右：水都大阪 Aquatic Osaka 技術展示室

在淨水樓隔壁的機電樓1樓處設置幫浦水流實驗設施，能讓學員實際學習泵浦設備、流量計等測量儀器的構造與水流量控制方法。該處也保留了舊有自來水廠的 PLC 設備（順序控制儀器），可讓學員在親身體驗操作的過程中，學習控制電路的組裝和故障排除方法。而該棟2樓自2023年3月開設技術發表展示室，陳列大阪市水道局協力廠商的新興自來水應用技術，並取名為水都大阪 Aquatic Osaka，其名稱"Aquatic"源自於『大阪水科技資訊中心』（Aqua technology information center Osaka）的縮寫，旨在彰顯大阪在水資源科技領域的樞紐地位。該展示室主要為了因應開發中國家所面臨的水資源問題的技術支援與協助，並活用體驗型研修中心作為政府開發援助（Official Development Assist, ODA）訓練基地的角色，向來訪大阪的海外自來水事業機構等職員，宣傳日本自來水相關技術資訊。

之後井上先生再帶我們回到研討樓進行大阪市水道局供水調度中心的淨水操作實務訓練、緊急應變處理，最後由池田係長說明該局的國際合作模式並進行討論。在體驗型研修中心移動過程裡，其中心與淨水場交界處一隅，陳列著走入歷史的本庄水管橋，該輸水管於1911年啟用，旨在把該中心鄰近的柴島淨水場的清水輸送到淀川南邊的大阪市區。該設施採用鉚釘接合工法，而當時並沒有將鋼板相互接合的通用技術，因此在製作上將鋼板與鍋爐板鑽孔，再透過凸緣（法蘭）接頭進行接合與組裝。此外，在桁架橋的交界處設置了伸縮接頭功能的耐震延性鑄鐵管，在當時為相當先進的技術。作為大阪水道職人創新的見證，見證了明治維新時期大阪市水道設施整備現代化的歷程，至今仍留在園區作為繼往開來的象徵。

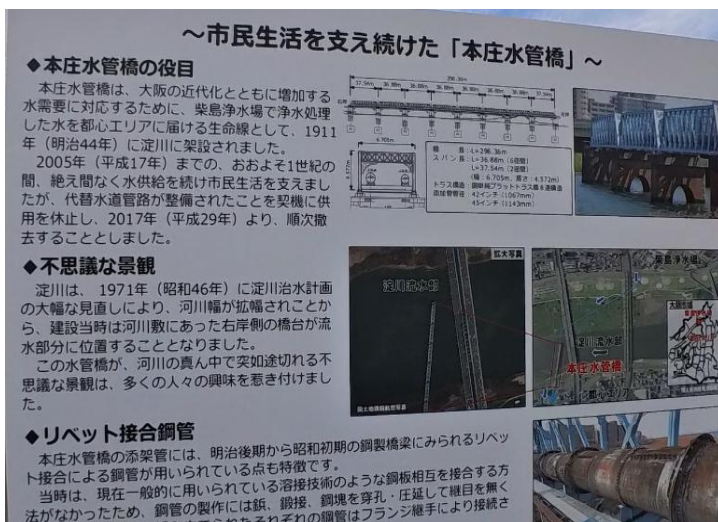


圖 16 本庄水管橋與說明



圖 17 本公司同仁與大阪市水道局合影

透過上述議程安排，本公司得以全面了解日本兩大水務機構在高級淨水處理的人才培育與技術應用上的先進做法。

參、 參訪內容與研討重點

一、東京都水道局研修開發中心

（一）淨水處理實習設施與技術細節

東京都水道局研修開發中心的淨水處理實習設施是一個縮小版的淨水處理模組場，專為技術訓練而設計。該場能透過人為添加濁度或氨等物質，模擬原水水質異常的情況，讓學員實習應對處理方法。實習設施主要由水質計器室（含濁度計、pH 計、餘氯計等）、膠羽沉澱池、砂濾池及配水池四個部分組成，實際水流方向由右至左（如圖 18 淨水處理實習設施外觀與概要）。

該實習設施設有兩套獨立的處理系統（圖 19 淨水處理實習設施淨水流程），每套出水量100CMD，總處理能力為200CMD。這種雙系統設計允許將學員分成兩組進行實習，並透過調整原水條件或藥品注入量（如聚氯化鋁 PAC、粉狀活性炭、次氯酸鈉、硫酸鋁等），進行比較實驗與分析並親眼觀察水質的變化。將實習設施設計為兩套獨立系統不僅能針對加藥量的自變數操作進行比對驗證，對雙系統各自設置原水槽並與其對應的物質注入裝置（氨、濁質、酸鹼調整、活性炭）也能夠針對兩組不同原水條件進行實驗操作，增加了實作訓練項目的彈性。而該局也提及現今主要淨水場皆採高級淨水處理程序，（粉狀）活性炭不論在實作訓練或實際供水場域使用率相當低。

每段淨水程序皆設置取水採樣的水龍頭以利學員採檢分析水質狀況，每個淨水階段的高低處設有觀察窗，學員可透過該窗戶觀察到膠羽結塊逐漸變大、體積增大後沉澱下來的過程；雖然實習設施的膠羽沉澱池長度不到6公尺，透過觀察窗能夠明顯看出靠近原水端的池底沉澱物與污泥較多，靠近砂濾池端的池底沉澱物較少且較乾淨（如圖 20 淨水程序沉澱狀況）。研修結束後，沉澱槽底部的沉積物由人工處理排泥。

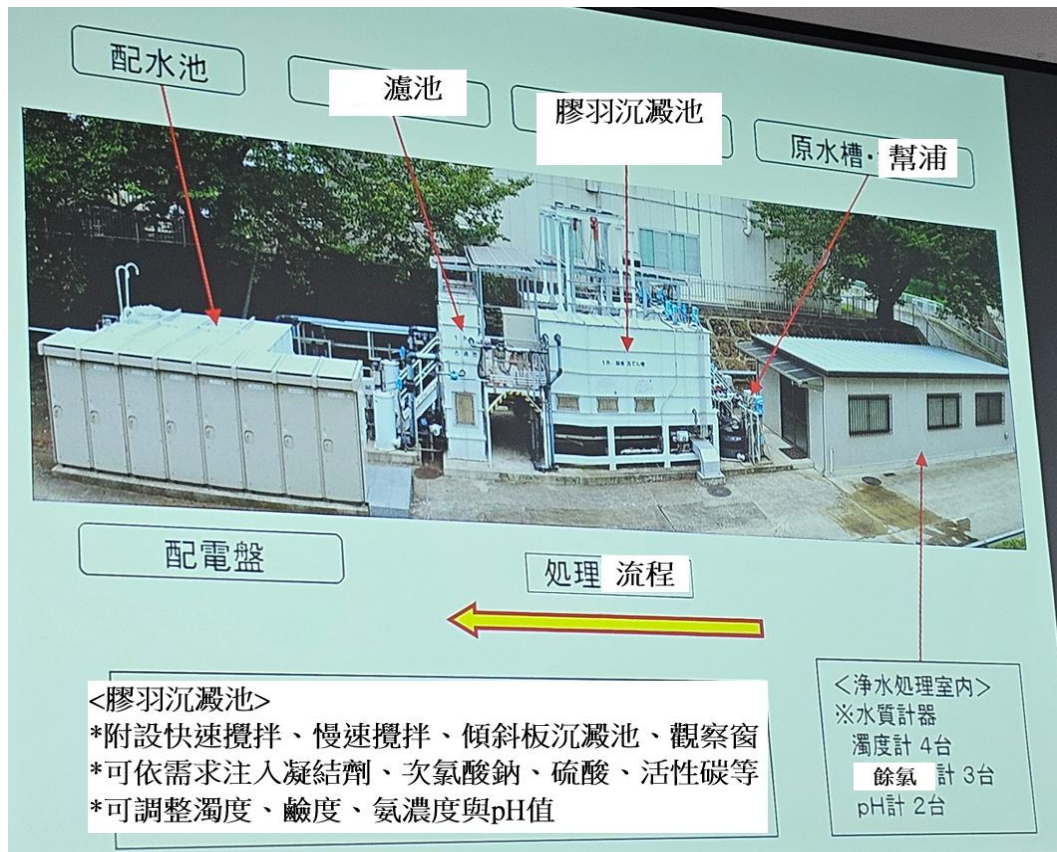


圖 18 淨水處理實習設施外觀與概要

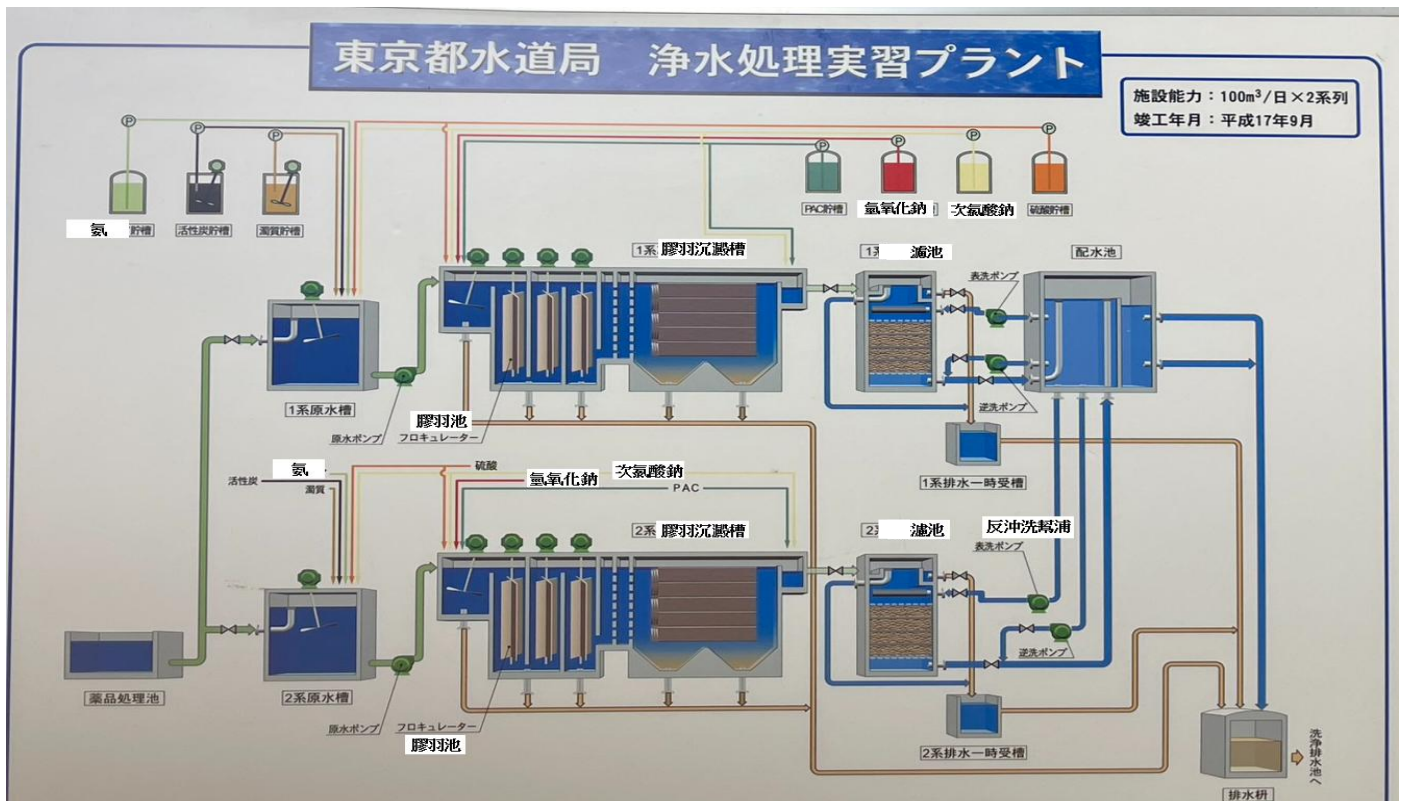


圖 19 淨水處理實習設施淨水流程

因研修開發中心前身：玉川淨水場已停止供水，沒有原水來源下，藉由鄰近的玉川給水所供應足量自來水，在自來水中添加濁質成分，以作為實習設施所使用的原水。



圖 20 淨水程序沉澱狀況



圖 21 左：清水池取水採樣點、右：膠羽池取水採樣點



圖 22 原水取水採樣處



圖 23 左：膠羽池底部的觀察窗、右：膠羽池上方的觀察窗

由於淨水實習設施至於室外，其觀察窗外側設置雙側鐵蓋能夠有效減少日曬與有機物滋生俾利維護管理外，藉由觀察窗我們發現，該局實習設施的沉澱物呈白色而非常見的黃褐色，經詢問後告知其濁度調配主要是以黏土進行調整，目的為變數控制容易與強化訓練示範效果：

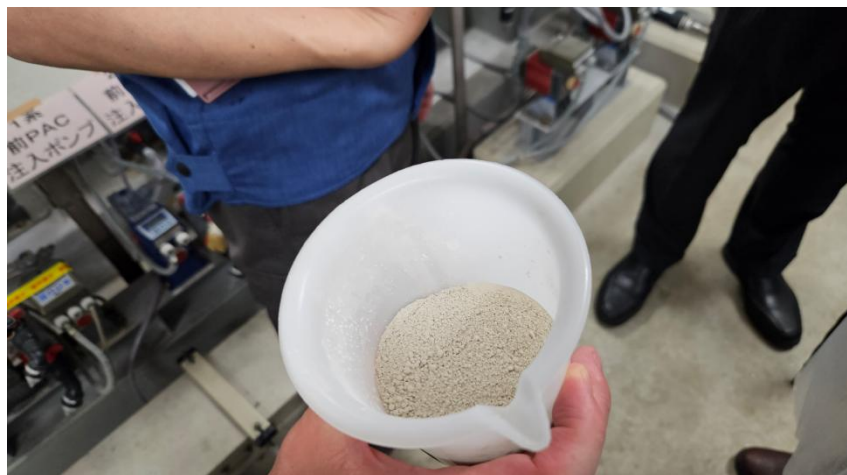


圖 24 以黏土作為原水濁度調控的材料

- 1.使用純淨的自來水，再加入黏土粉末，可以穩定地創造出任何想要的濁度，例如精準調配出濁度為10NTU 或50NTU 的原水。這讓學員可以清楚地比較在不同條件下，淨水操作（如加藥量、pH 值調整）所產生的效果，實驗結果才具再現性和高度對比。使用白色的黏土，可以製造出比實際原水相對單純的濁度狀況，讓學員能清晰地觀察到膠凝、膠羽、沉澱等物理化學現象，而不會被色度、有機物等其他變因混淆。
2. 黏土容易取得、價格低廉，並且黏土的粒徑非常細小，沉澱速度也恰到好處，與處理後變乾淨的清水之間形成非常強烈的視覺對比，讓「水變乾淨了」結果一目了然，教學效果極佳。此外，乾淨無菌的黏土粉末，遠比抽送、儲存可能含有病菌或污染物的真實河川原水來得安全、衛生且方便管理。

淨水操作室裡可以發現所有的線路（電線、訊號線、網路線）皆高架化，對於儀器校正並兼顧安全層面，大幅減少感電的風險。此外，現場設備儀器除了明確標示名稱外還額外以鮮明顏色標籤顯示（圖 25），而該設備顏色圖示與現場看板與訓練紙本教材上的標示一致，得以使新進學員在最短時間內理解操作室相關設施。看板管理為日本豐田生產模

式一大重點，當局整合實務訓練現場設備標示與訓練教材標示製作的一致性，完全符合學習理論中的認知負荷（Cognitive Load Theory）與訓練移轉（Training Transfer）構念，利用降低外在環境負荷與元素相似性，有效降低新進成員理解負擔，並加速學習曲線，提升操作信心與安全感。



圖 25 操作室儀器標示與訓練教材標示一致性

（二）研修與維運管理

在人員配置方面，淨水處理實習設施由3名東京都水道局職員與5名水道局子公司：東京水道株式會社¹（Tokyo Water Co., Ltd）具備操作實務的維護人員共同運作，總計8人。設備維護方面，僅在年度保養或整修時才關機整備，平日未使用時仍舊通水運作（清水循環未加藥），經詢問後得知持續運作下的淨水處理設備比較不容易故障，對實務操作訓練的準備與執行較有利；藥品泵浦等機材約每5至7年更換一次，而儀器校正過去由資深員工每月執行一次，但因退休無人接應，目前由委外廠商執行。

在淨水處理實習設施的使用上，依其年度計畫會有22次的實作訓練：

- 1.【內訓】實務訓練（初級）水質管理基礎（1次），4月
- 2.【內訓】實務訓練（初級）淨水操作管理（4次），6、7月
- 3.【內訓】實務訓練（初級）淨水處理實習（2次），10、11月
- 4.【日本水道協會】淨水場設備技術實務訓練、水道技術者資格取得講習會（12次），整年
- 5.【千葉縣企業局等】淨水處理訓練（3次），11月

¹ 為因應勞動力不足與經驗傳承等因素，東京都水道局與其子公司部分員工屆齡退休後再雇用已為常態。



圖 26 東京水道集團（東京都水道局與東京水道株式會社）偕同營運

關於研修開發中心高級淨水處理的實務訓練，該實習廠本身並未設置高級淨水處理設備。相關課程會帶領學員至實際的大型淨水場如金町、朝霞、東村山等進行參訪與學習，且每年會更換參訪地點，以利學員接觸不同設備與操作環境。

在供水處理方面，特別強調基於「水安全計畫（Water Safety Plan）」的講座式培訓。土木工程類培訓透過施工安全會議和安全課程，傳達維護與施工事故的預防資訊。環境檢測類則高度重視淨水事故處理的基礎，並提供以水質事故為主題的危機管理實踐演練。機械類則有停電、臭氧洩漏、水質惡化等事故應變演練。培訓內容涵蓋 VR 設備模擬施工事故（如圖 27 虛擬實境（VR）相關設備）、安全濃度下體驗臭氧氣味和化學品（濃硫酸、氫氧化鈉）。

東京都水道局努力確保訓練內容與實際淨水場的工作場域一致，特別著重於混凝和沉澱過程，並解釋實際沉澱池中注入藥品量的處理效果與成本（如圖 28 杯瓶試驗與水質（氨）分析討論）。儘管如此，學員在培訓後無法獨立操作設備的常見挑戰包括即時應變能力、因「熟悉工作」導致的人為錯誤、各淨水場設備配置差異以及藥品注入等基於經驗的技能難以傳承。為解決這些問題，該局採取持續性實務訓練、施工安全會

議並高度仰賴在職訓練，並規劃利用 AI 作為技術能力與經驗不足、人力不足的解決方針。

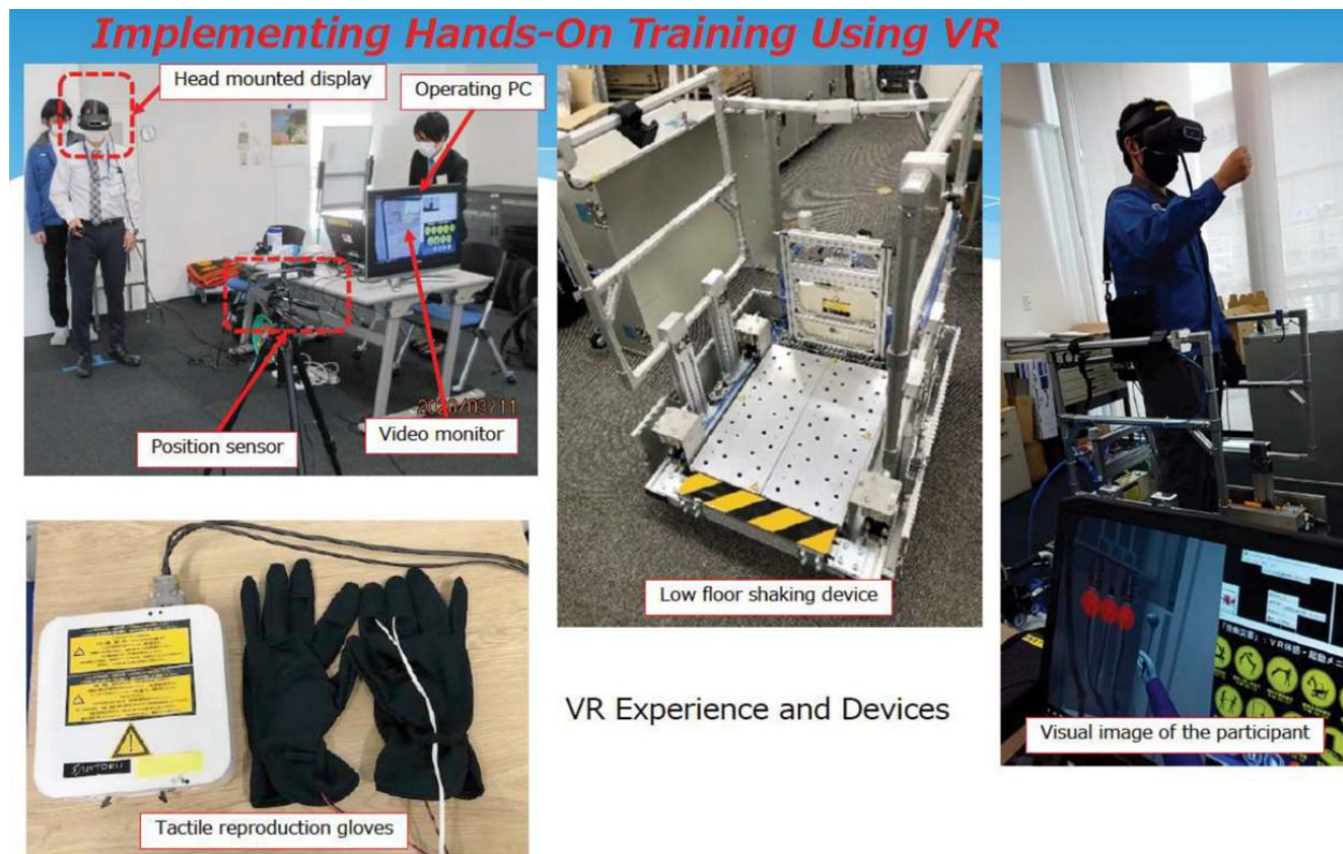


圖 27 虛擬實境（VR）相關設備



圖 28 杯瓶試驗與水質（氨）分析討論

（三）技術交流與討論

在技術交流中，本公司提出目前正研討利用 AI 收集數據以達成智慧加藥，東京都水道局表示他們目前雖未將其作為正式項目納入訓練，但已有專門部門在收集各淨水場的河川原水數據，藉其大數據建立模型運算，並讓 AI 學習以預測最佳藥品注入率。這顯示台日對 AI 應用於水務的共同關注與發展方向。

原水水質差異是雙方討論的另一個重點。東京都水道局的原水（多摩川）水質非常乾淨且穩定。然而，臺灣的原水濁度高出許多，平時約 300-500NTU，颱風或大雨過後甚至可達 700NTU 以上。據此，關於台日兩國在原水濁度上的顯著差異，對各自的淨水處理技術上的細節處理也會有所不同。

在漏水檢測方面，對於澎湖地區因風勢過大等惡劣環境所造成的檢漏挑戰，日方表示目前沒有突破性的測漏技術。主要仍採用傳統做法，包括透過閥門將管網切分成小區域進行流量監測的分區計量（DMA），以及使用相關式漏水探測器。若區域內漏水點過多，最快的方式是直接汰換該區的全部管線。

值得注意的是，在東京都水道局的淨水處理實習設施中，對於像全氟化合物（PFAS 及 PFOS）這類地下水污染物，僅在訓練的課堂講授中提到其存在於地下含水層且淨化困難，並未實際進行相關測試。此外，儘管該局在裂縫識別和水庫淤積進度監測方面已應用無人機與 AI 技術，但目前尚未將 AI 或數位孿生等新技術直接納入訓練項目中；而為了確保穩定供水，針對淨水場等水道設施中使用的泵浦與控制盤等設備機器進行日常點檢作業，亦透過技術募集方式進行產官學研合作案，活用感測技術對設備異音（如故障產生的異音等）進行遠端監控，以及透過 AI 分析所收集的設備運轉數據，偵測機器的異常或故障徵兆，藉此達到節省人力與故障防範的效果。機械操作方面，員工通常需要約六個月到一年的時間才能達到基本監控與操作的獨立作業，淨水部的木矢課長代理也再次強調新人入職半年內的在職訓練皆由業師在旁指導新人進行淨水操作，以期達到穩定供水與新進同仁核心職能學習成長的結果。

二、大阪市水道局體驗型研修中心

（一）設施與功能介紹

大阪市自2000年起已全面供應高級淨水處理自來水。其高級淨水處理方式採用中臭氧處理和後臭氧處理的兩段式臭氧處理，以及顆粒活性炭吸附。這種兩段式臭氧處理在日本國內是獨特的做法，能有效減少總臭氧注入量並提升處理效果。而體驗型研修中心作為知識傳承與水道實務技術轉化的中繼站，讓我們有機會探究其高級淨水處理的緣由。

在淨水樓的設施，最重要的就是高級淨水處理實習設施（圖29）。該設施分成2個系統，1組為高級淨水處理程序，另1組為傳統淨水處理程序，每組供水量100CMD，並同樣以淀川作為實習場的原水。與東京都相同，兩組原水槽前皆有調整池進行原水條件的操作處理，且實習設施區分為傳統淨水與高級淨水兩組系統，學員能藉不同系統比較其淨水處理結果外，亦可透過改變藥品注入率等各種條件，實際觀察處理後的水質變化。此外，淨水樓也設置與實際淨水場相同的各式水質檢測儀器，讓學員能夠學習儀器的校正、保養與檢修。平時維護與實務操作訓練皆由水道局4位講師負責處理，經簡易故障處理程序仍無法排除問題時再委由廠商進場處理，而該設施未操作使用的方式同東京都水道局作法，藉由未加藥的持續通水以利實習設施的永續操作。

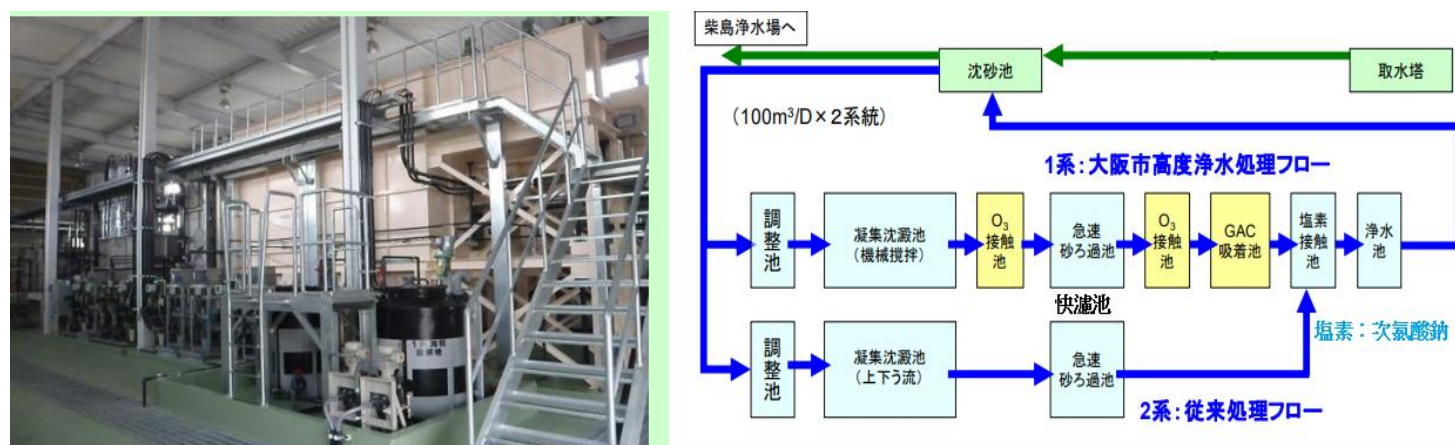


圖 29 高級淨水處理實習設施與其淨水處理流程

該實習設施也與東京都相同採高架電纜橋架方式，而大阪以上下兩層線槽區隔強弱電線路。強電如驅動馬達、泵浦、監控等設備的電線【動力】（上排），與弱電如感測器（如濃度、壓力、流量計）、控制閥門、變頻器等設備的儀控信號線或控制線【計裝／制御】（下排）。動力線的強電磁場恐或干擾儀控信號線，導致信號失真、儀表讀數偏差、控

制系統誤判或失靈，高架線槽並明確標示，以空間分隔的方式避免訊號處理過程被干擾，也易於後續維護與未來擴充。

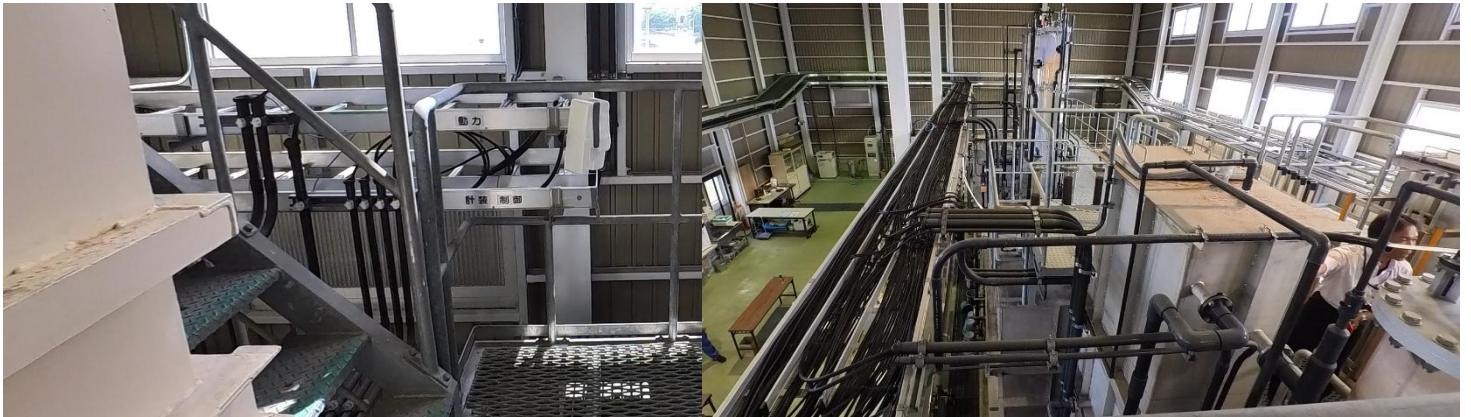


圖 30 高級淨水處理實習設施高架線槽

大阪市水道局的高級淨水處理程序是，原水經過膠羽沉澱池（凝集沈殿池）後會與臭氧（ O_3 ）進行接觸。大阪採用「中臭氧處理」和「後臭氧處理」的兩段式處理法；在第一段的「中臭氧處理」中利用臭氧的氧化能力進行錳的處理，將其從溶解性狀態變為非溶解性狀態，以便能在後續的快濾池（急速砂ろ過池）中被去除。

該設施濾料由大、中、小與0.55mm 粒徑濾材共4組由大到小組成。當快濾池出水濁度超標或水頭損失過高時必須執行反沖洗程序。操作人員需依序操作進水閥、排水閥、反沖洗水閥、空氣逆洗閥等，將濾床中的髒污沖洗乾淨。反沖洗時需監控砂床的膨脹是否均勻、反洗廢水是否由濁轉清。

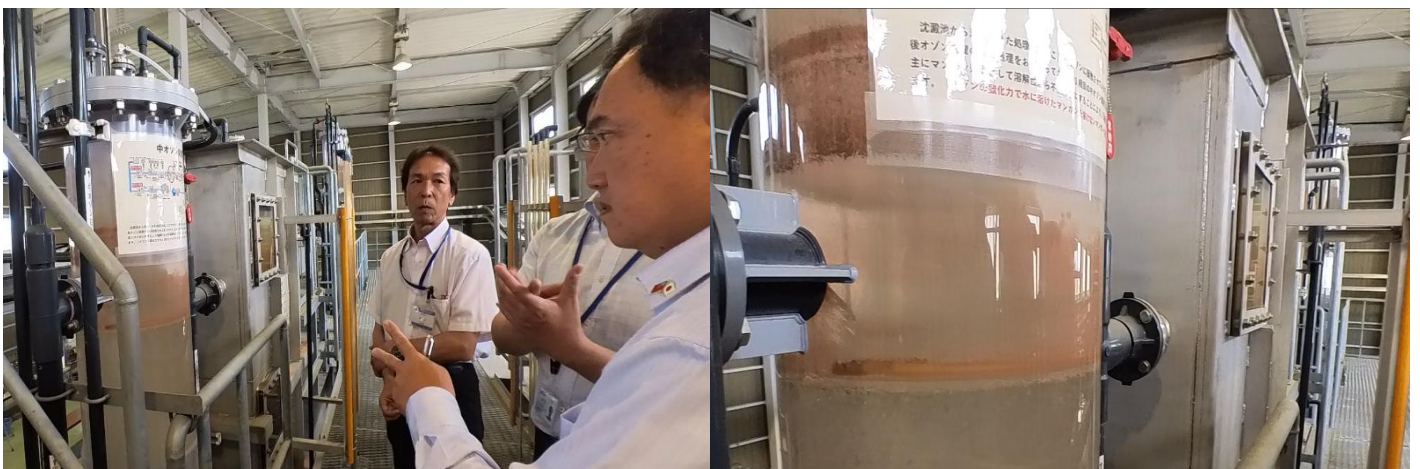


圖 31 2F 中臭氧接觸筒與快濾池



圖 32 快濾池砂濾濾料

經過快濾池的水，會進行第二段的「後臭氧處理」，目的也是利用臭氧的氧化能力以分解霉臭味物質、三鹵甲烷前驅物等有機物，並達到消毒的效果。該流程的標語也強調，若水中仍存在溶解性錳，在後續的加氯處理過程中會與氯反應，導致水體變黑混濁（溶解性のマンガが存在すれば、塩素処理の際に塩素と反応して黒く濁ってしまう）。該標語也提醒了操作者，淨水處理是一個環環相扣的連續過程，任何一個環節的成敗都會直接影響後續步驟；標語不僅陳述一個化學事實，更藉由錯誤管理訓練（Error Management Training）的方式，透過培養操作人員的系統性思維、風險意識和責任感，提醒淨水處理的嚴謹性。

顆粒活性炭（Granular Activated Carbon, GAC）程序則是利用活性炭的吸附作用，旨在去除經過臭氧處理後殘留的霉臭味物質、三鹵甲烷前驅物等有機物，並以生物分解經由臭氧處理後變得更容易分解的有機物為目的處理流程。



圖 33 後臭氧處理說明與不當處理警示

在快濾池到後臭氧設備中間發現這組貌似 GAC 管槽（圖34），井上先生提醒這並非淨水處理程序設備，卻與淨水場安全息息相關。臭氧分解筒，3根透明管材分別對應臭氧行經設備：中臭氧槽、快濾池、後臭氧槽與顆粒活性炭 GAC 槽，目的在分解所排放出來的廢棄臭氧。臭氧氣體會注入水中進行殺菌和氧化，但並非所有的臭氧都會溶解於水，未溶解的臭氧會隨著空氣從接觸槽的頂部溢出，形成含有高濃度臭氧的廢氣，直接排放恐造成空氣污染並危害廠區人員安全。當含有臭氧的廢氣通過這個 GAC 床時，GAC 的表面會催化臭氧 O_3 快速分解成無害的氧氣 O_2 。



圖 34 臭氧分解筒（濾料為活性碳）



圖 35 左：2F 後臭氧接觸筒與 GAC 吸附池、右：1F 後臭氧接觸筒、GAC 吸附池、清水池

在淨水處理最後階段的氯接觸池中，透過控制氫氧化鈉的注入，使 pH 值調整為 7.40。同時，為了使餘氯濃度達到目標值（允許誤差為 -0.1 mg/L），也會控制次氯酸鈉的加藥量。在加氯注入點前，pH 會微調至 7.50，並根據水質檢驗部門所指定的目標值，進一步控制氫氧化鈉與次氯酸鈉的投藥量以符合水質標準。

高級淨水處理實習設施所建置的程序與設備和實際場站的池槽趨近一致，能夠預期產生良好的訓練轉化效果，然而對於新進人員來說，初入職場所需要的是淨水處理的基礎：膠羽沉澱的形成與處理內容進行研修訓練，短時間內即進行整套供水設備的操作有其困難。而實習設施處理量能達一定規模雖可貼近實際淨水工作場域的情境，但淨水處理著重的劑量反應關係常常需要數小時方能觀察到變數條件改變對於水質的影

響與效果。此外，大阪市水道局為模擬颱風等強降雨情境，其濁度設定會拉高至1,000NTU²，但模擬高濁度所需添加相關材料甚多，勢必影響實務訓練的準備與淨水實驗操作的效率。

基於上述種種原因，該中心設置了小型淨水處理裝置，從原水到完成沉澱處理、砂濾的所需時間可縮短至約30分鐘（出水量3.6CMD）。該中心設計透過小規模設備進行「淺顯易懂」且「多功能」的研修，也可因應水源污染風險的多樣化，能夠輕易地規劃組合出各式各樣的研修課程。可以透過人為改變原水水質（濁度、pH 值），來學習因應水質驟變的混凝沉澱及快濾池相關淨水處理技術。此外，也能讓學員學習當淀川水系發生因高濁度、油污，或含氯廢水上溯等流入所造成的水質異常時，所需的應變方法與處理能力。



圖 36 小型淨水處理裝置

該中心也針對小型淨水處理裝置種種優勢，設計以下凝集沉澱的異常情境供學員進行實務研習：

1. 混凝劑的注入量不足（例如：加藥機故障等）
2. 膠羽過於細小，沉降性不佳（原因：急速攪拌不足或混合後 pH 值不佳）
3. 膠羽發生溢流（Carry-over）現象（原因：表面負荷率過大）

²相較於東京都水道局訓練單位設定的50-100NTU 與韓國水資源公社華松 AI 淨水場所遭遇的300NTU，該設定標準較接近臺灣狀況。

另外高級淨水處理操作實作訓練部分，大阪與東京都皆以在職訓練為主。體驗型研修中心在高級淨水處理設備的訓練重點放在原理理解、設備監控與維護保養上。在得知大阪市水道局的訓練時程安排多在1-2天的狀況下，觀察其淨水操作訓練仍以傳統淨水處理為主的因素彙整如下表2。

表 2 淨水操作訓練仍以傳統淨水處理為主的因素

比較項目	傳統淨水處理： 膠羽沉澱（混凝絮凝）	高級淨水處理： 臭氧、GAC 處理
操作變數	清楚、可控	複雜、交互影響大
訓練效果	視覺明顯、易觀察	淨水效果需儀器檢測
設備需求	簡單、成本低	昂貴、需特殊防護
安全性	高	需注意臭氧洩漏與壓力
實作頻率	常見、訓練容易	訓練現場難以實施

井上先生也提醒，高級淨水程序須特別注意臭氧產生器的安全問題。由於臭氧產生程序所需的高電壓與臭氧高度助燃性，一旦發生電路短路、接觸不良或散熱不佳，都可能導致局部過熱，引燃絕緣材料或周邊易燃物，進而引發火災與爆炸。而臭氧本身為有毒物質，洩漏將危害淨水場人員且易導致火災問題。



圖 37 空氣壓縮機、空氣鋼瓶與臭氧產生器

關於臭氧是否永遠存在高級淨水處理設施，井上先生也向我們演示水中溶解臭氧濃度檢測。下圖38的藍色小瓶子為靛藍三磺酸鉀（Potassium Indigo Trisulfonate）化學試劑，水中臭氧的濃度越高，與靛藍反應越劇烈，褪色的程度就越明顯（顏色變得越淡）。圖中左邊瓶子顏色變淡，代表水樣中確實含有臭氧，臭氧成功破壞了指示劑的顏色，右邊瓶子顏色未變，代表著水樣沒有臭氧（或濃度極低），無法使指示劑褪色，表示臭氧注入失敗或該水樣取自未加臭氧的流程點。人工檢測的目的除了驗證監控儀器效度外，也有備援機制與技術訓練與維持的應用概念。

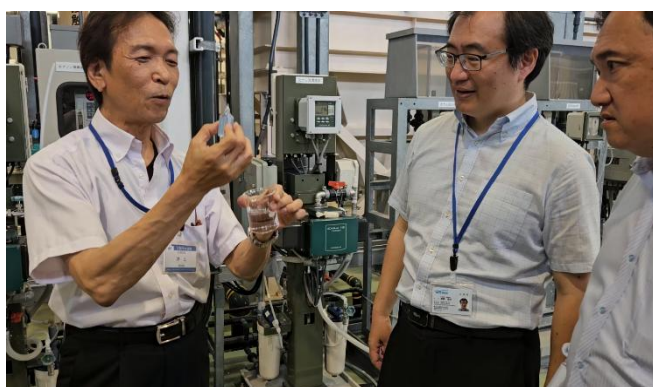


圖 38 左：測試水中臭氧、右：臭氧檢測樣態（左瓶：成功，右瓶：失敗）

機電樓提供設備操作、維護檢查培訓，包括高壓受配電盤實訓、幫浦水流實驗裝置和順序控制實訓裝置。該中心表示其充分利用其舊有設備作為實作的訓練情境；在幫浦水流實驗裝置的應用上，其水管為透明管段並搭配壓力計與流量計等，學員在操作上更能理解淨水場的馬達壓力操作對出水量的變化與影響。



圖 39 幫浦水流實驗設施

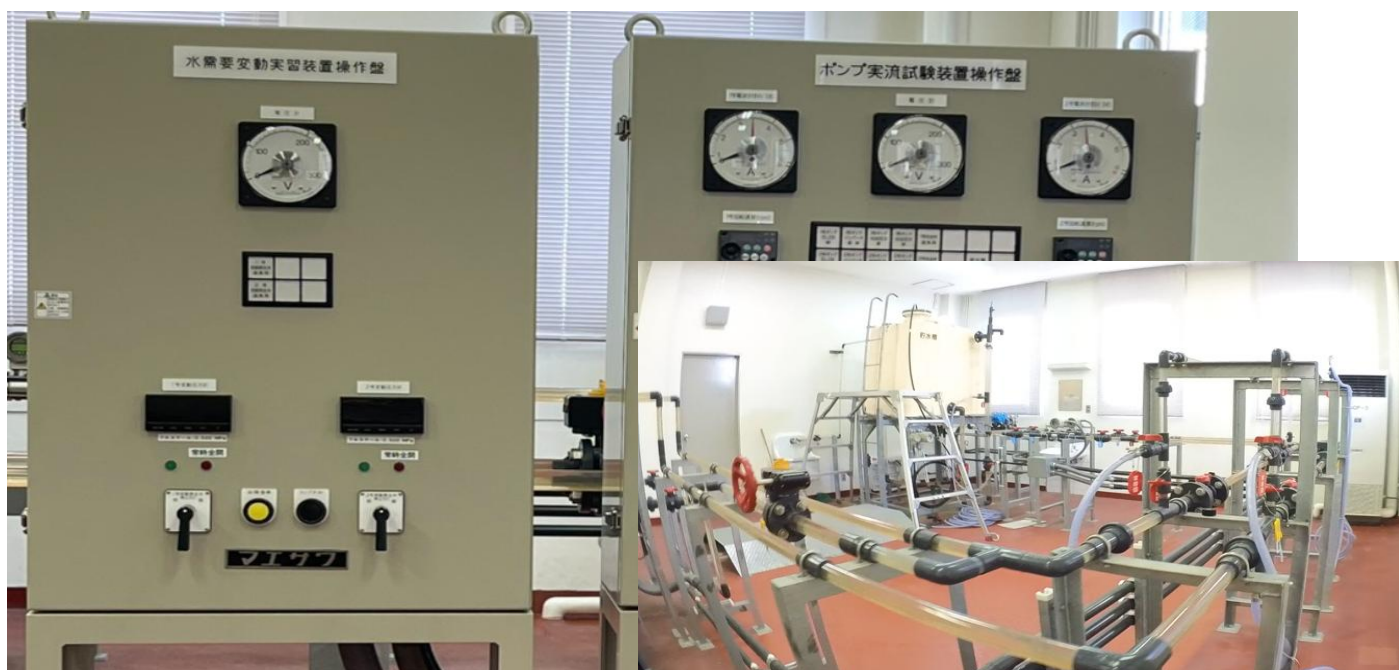


圖 40 幫浦水流實驗設施控制裝置與後方透明管段



圖 41 水池幫浦配電箱

機電樓的2樓作為水都大阪 Aquatic Osaka 的技術展示室，目前共有9組實體設備（模型、製品）展示、11組壁報看板（パネル）展示與4組影音（動畫）展示，相關設備展示皆由大阪市水道局邀請廠商提供。該局總務部海外事業擔當的池田係長表示，大阪市水道局為了協助海外自來水單位的供水問題改善，與許多同樣參與國際自來水事業的日本民間企業進行合作。透過讓海外的自來水事業成員了解這些組織與企業的產品與技術，促進各地區水務事業的改善。針對訓練或技術交流而來訪大阪市水道局的海外水道事業體職員，當局活用體驗型研修中心的場地，實際展示該局合作企業所能解決海外水道課題的產品與技術，以此進行宣傳。自2023年起，Aquatic Osaka 作為日本水道技術資訊傳播據點，讓前來大阪的海外自來水事業職員與長官，能親眼觀看、親手觸摸日本民間企業的產品、模型、海報與影像等，藉此傳遞資訊，期望能成為海外面臨自來水技術困境時的解決方案提供者。

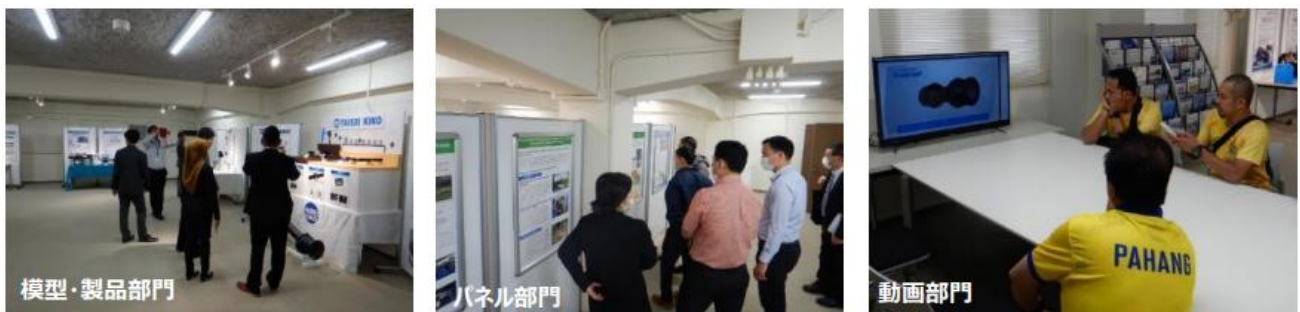


圖 42 Aquatic Osaka 技術展示室

配水樓則設有實際配水管和漏水調查區域，包括地下坑道模擬現場水管接合、漏水檢測（聽音棒和相關式漏水探測器）以及活水（不斷水）修漏作業的培訓。給水樓則涵蓋閥門操作與維護、給水裝置維護（分水栓穿孔、水量計更換），並利用透明壓克力管實現「可視化」清洗排水效果。由於我方參訪完機電樓經過給水樓時，當日停復水實作課程已結束，助教已將管中自來水排出並以黑色塑膠布把透明壓克力管包覆避免日曬脆化與管內有機物孳生，也發現該局即便在復水前的管中汙水排放實作訓練仍接上流量計檢測，推斷目的：

- 1.理解有效沖洗流速，確保管線洗淨品質：要有效清除附著在管壁上的沉積物，管內的水流需要達到一定的速度。
- 2.避免水錘效應造成破管：在恢復通水時，需要緩慢且穩定增減控制下

讓水流進入管線以排出空氣並避免壓力劇變產生水錘（Water Hammer）而損壞管線或用戶設備。流量計能幫助操作人員監控流量並維持在一個安全的初始流速。



圖 43 管網操作與停復水實作設備

對於初次接觸管網操作者與修漏人員，藉由工具（流量計）了解現場流量控制（水壓、流速樣態）、幫助學員判斷其閥門啟閉的開度，對其實作訓練效果會有更理想的訓練效果。



圖 44 排水管加裝流量計

（二）實作訓練課程與淨水處理訓練項目

1. 實作訓練課程

大阪市水道局體驗型研修中心提供多樣化的培訓課程。針對新入職技術職員和局內調動人員，設有11門實務培訓課程，涵蓋配水管工程設

計與施工管理、管網信息管理、管道沖洗與管網維護、停水與通水作業、閘門類作業、漏水調查與修復、淨水部門基礎技術、設施部門基礎技術、順序控制、受配電設備、儀表設備、泵設備等。而技術研修項目共31項。

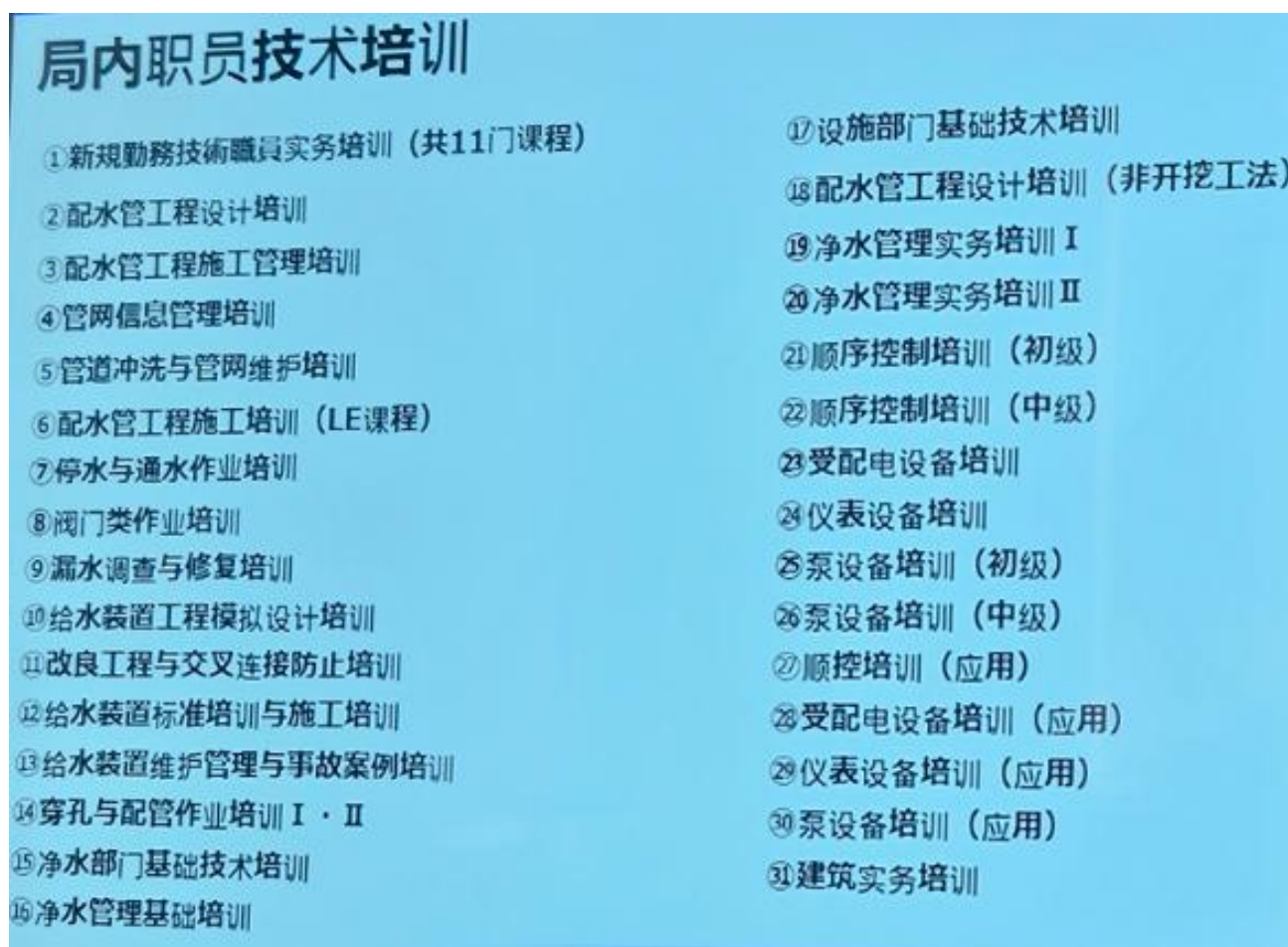


圖 45 大阪市水道局內技術訓練項目

2024年度新增設安全操作訓練，用於地下式消防栓鐵蓋開閉練習和大錘使用練習，旨在減少實際作業現場的傷害和事故。特別針對地下式消防栓啟閉與大槌開啟陰井蓋的實作課程也讓人耳目一新，原來地消與陰井在經年累月下難以開啟的困境非臺灣獨有，而該局規劃實務訓練課程的職能養成以彌補現場作業中難以克服的常見問題，再次讓人感受大阪市水道局的務實風格。



圖 46 體驗型研修中心嶄新培訓項目

中心也對所有水道局職員（包括管理職）進行緊急應變供水講習課程，學習災害對策基礎知識、緊急應變水車操作以及向水池補水的方法。培訓內容包括移動式給水栓連接消火栓進行應急供水，從實際組裝開始學習。

根據2024年度數據，該中心總參與人數達2,400名，局內職員培訓528名，其中，技術研修366名，一般研修162名，外部培訓課程1,872名。

2.淨水處理訓練項目

大阪市水道局淨水部木村先生針對供水調度中心的人才育成進行教育訓練計畫說明，由於供水調度中心面臨操作員不足的挑戰，每年約需培養4-5名成員方足以應對人事調動。為此，訓練目標是建立持續提升全局技術水平的內部培訓項目，並在操作員分配到供水調度中心之前培養出具備其職能的人才。在3人輪班的供水調度中心裡，即使成員來自水質、機電、土木等不同背景，皆須參與淨水操作實務訓練，當成員皆具備淨水操作處理職能時方能在緊急應變時瞭解供水現場、做出正確判斷以達到供水韌性的效果。培訓內容包括針對新學員的 E-learning 基礎培訓、

理論課程和在職訓練，以及針對已受訓學員的在職訓練。E-learning 課程涵蓋法規、電氣機械、土木、化學、數位儀表操作、砂濾、配送水系統、臭氧設備運作等17個項目，並要求正確率達80%以上，未達標準者需再次受訓和測試直到達成考核標準。培訓後會進行問卷調查以評估訓練效果並藉此改善訓練內容。

- (1)【針對新進同仁與輪調同仁】使用線上學習（E-learning）系統的基礎研修：7月～9月
- (2)【針對新進同仁與輪調同仁】課堂授課（1日）：10月～3月
- (3)【所有供水調度中心同仁】供水調度中心在職訓練（6日）：10月～3月

若是一班授課訓練形式，一個班會排到30人。關於淨水處理的實作訓練，以12個學員、3人1組、每組1位助教的方式進行實務訓練操作，但該局強調若為小班制，也會有一位業師帶領一位學員的實務操作訓練師生比。實務訓練受訓人員以入職10年內員工優先指派受訓為原則。

表3 淨水操作 E-Learning 的測驗科目與結果

	研修名	受講者A	受講者B	受講者C	受講者D	受講者E	受講者F
1	関係法令に関する知識	100%	92%	92%	100%	91%	92%
2	電気・機械設備に関する基礎知識	100%	80%	100%	100%	100%	100%
3	土木基礎	1. 相關法令知識 2. 電機、機械相關知識 4. 化學相關基礎 5. 數位儀表和操作 6. 砂濾 7. 配水與送水系統間的水量調度支援 8. 臭氧設備運作 11. 能源 13. 硫酸鋁 14. 氫氧化鈉 15. 次氯酸鈉					
4	化学に関する基礎						
5	LCD操作						
6	砂ろ過						
7	配水及び送水系統間の水量応援						
8	オゾン設備運転						
9	取水・揚水						
10	粒状活性炭吸着池						
11	エネルギー						
12	配水						
13	硫酸アルミニウム						
14	水酸化ナトリウム						
15	次亜塩素酸ナトリウム						
16	濃硫酸	100%	100%	100%	100%	88%	100%
17	粉末活性炭	100%	82%	82%	100%	82%	100%

異常時判斷與應對能力提升為重點培訓項目，該訓練係根據2022年

修訂的淨水場事故應對手冊進行。手冊明確說明水安全判斷基準與決策者、應對級別（0-3級）及決策者，並設定恢復目標（水壓恢復至事故前標準、濁度 NTU 低於1度、進線諮詢件數減少）。同時，根據現況修改已制定緊急郵件範本並將事故即時訊息發送相關單位以利迅速傳達資訊。

（三）國際合作與實務應用

大阪市水道局自1992年起，受日本國際協力機構（Japan International Cooperation Agency，下稱 JICA）邀請成為其水務部門的研修承辦據點，並從1994年開始接收海外技術人員進行培訓。JICA 負責從各國招募學員並負擔培訓費用，包括講師費和住宿安排，這些費用由日本政府外交主管機關（外務省）預算支付。大阪市水道局提供技術性專業知識，而民間企業則主要提供硬體產品與技術；隨體驗型研修中心設立後，其國際合作的深度與廣度得以進一步。

該中心也為大阪市以外的其他事業單位提供培訓，自2014年度起實施，涵蓋19門技術課程和4門行政課程，主要服務關西地區的事業單位，但也包括來自中國、四國、九州和沖繩等縣的事業體。中心也和民間企業合作，在實習設施內開設 Aquatic Osaka 展示空間進行流量計和漏水探測器等產品的實地演示，使學員能更直觀地理解產品技術內容。

然而，在國際培訓中也面臨挑戰。大阪市水道局主要水源為河川水，缺乏處理地下水（特別是鹽化水井淡化）或應對嚴重漏水問題（如開發中國家普遍存在的超高漏水率或竊水狀況）的實務經驗，因此在回答相關問題時可能僅能提供教科書知識而非實務解決方案。此外，該中心不提供住宿與用餐服務，但會配合學員的宗教需求（如禱告方位與空間）進行安排與處理。

我們也詢問了關於該局與 JICA 合作的收費金額，當局表示 JICA 主要根據講師費用、教材費用（稿費）、中心的場地與器材租賃費用進行給付。而前述費用皆有 JICA 與體驗型研修中心各自的規定做該金額的計算。雖然場地與器材等租賃費用趨向一致，但由於每次辦理 JICA 國際研習訓練的講師組成不同，所以每年針對國際合作訓練的預算金額亦因條件不同而略有變化。

表 4 JICA 講師費（講師謝金）給予規定

標準単価		分野別職位級							
区分	時間単価 (円)	大学の職位・ 平均勤続年数		官公庁 (本省)	地方公共団 体等	民間企業等	その他	NGO	教育機関
①	11,300 <14,200>*	学長級	17 年以上	事務次官 ・ 長官級	知事・ 市町村長	会長・代表 役員級	著名人等	代表・代 表理事級	都度決定
②	9,700 <12,200>	副学長・ 学部長級		局長・ 部長級	副知事・ 副市町村長	役員級	—	理事級	教育長級
③	7,900 <9,900>	教授級		審議官級	局長・ 部長級	工場長級	—	事務局長 級	部長・ 次長級
④	6,100 <7,700>	準教授級	12 年以上	課長級	課長級	課長級	—	事務局次 長級	校長級・ 指導主事級
⑤	5,100 <6,600>	講師級	12 年未満	課長補佐級	課長補佐級	課長代理級	—	グループ 長級	教頭級・ 指導主事級
⑥	4,600 <5,800>	助教級		係長級	係長級	係長・ 主任級	—	主任・ 職員級	主任・ 教員級

*夜間費用は講師所在時區從晚上6點到早上8點講座等的每小時費用。

（四）關於大阪府全氟化合物水源汙染事件

由於大阪市水道局表示其原水水源為河川水，不論是原水或清水皆符合國家法規標準，並表示持續定期監控全氟化合物相關檢測數據，尚無針對全氟化合物進行淨水處理程序的調整與訓練。

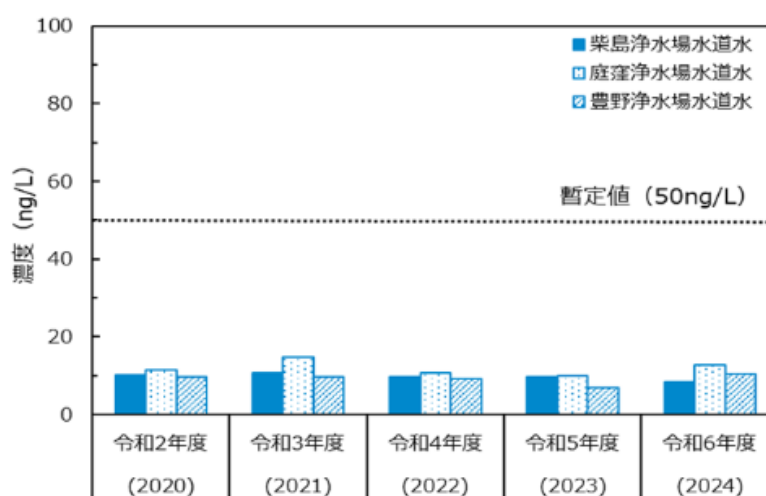


圖 47 114年6月12日大阪市水道局網站公告過去5年全氟化合物檢驗狀況

然而，根據大阪府水道局資料³發現，2020年10月，負責供應大阪府自來水的大阪廣域水道企業團（Osaka Water Supply Authority），其田原淨水場取用的地下水檢測出 PFOS 及 PFOA（全氟化合物）超過了暫定目標值（50ng/L）。由於全氟化合物難以分解，預計將長期殘留在環境中，田原淨水場取水的地下水水質預期難以大幅改善。

面對此情況，為提供更安全的自來水，大阪府於2020年11月將上田原區及下田原區的配水切換至村野淨水場系統。雖然 PFOS 和 PFOA 的暫定目標值並非《水道法》規定的水質基準項目³，但基於提供安全飲用水的使命，大阪府最終決定在2023年3月底廢止田原淨水場，並持續從村野淨水場系統配水。

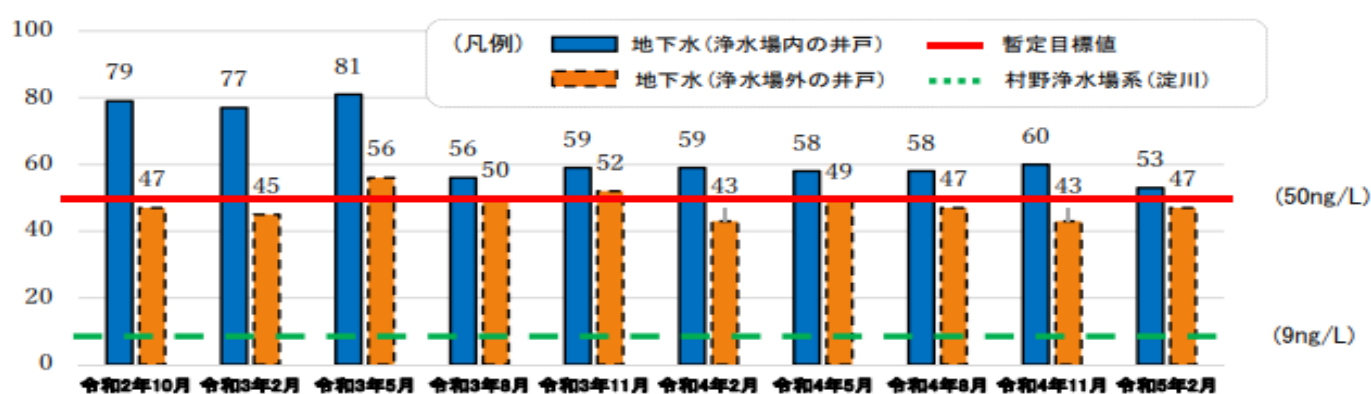


圖 48 大阪府田原淨水場全氟化合物檢驗狀況

肆、 參訪心得與建議

本次參訪日本東京都水道局研修開發中心與大阪市水道局體驗型研修中心，對本公司在人才培育、淨水技術與營運管理方面，提供了深刻的啟發與寶貴的借鑒。兩地各有側重，但皆展現了日本水務事業的卓越與前瞻性。

一、參訪心得

（一）實務導向的培訓模式

兩座研修中心都極為重視實務操作與情境模擬。東京都的淨水處理實習設施能依濁度與其他變數自動製造水質異常狀況進行訓練，而大阪的高級淨水處理實習設施則在其淨水棟內配合 SCADA、杯瓶試驗、臭氧

³ 日本於2020年（令和2年）5月28日，由環境省（環境部）和厚生勞動省（衛服部&內政部）共同將 PFAS 中的 PFOS（全氟辛烷磺酸）與 PFOA（全氟辛酸）納入水質管理目標，並設定了 50 ng/L 的暫定目標值。

產生器等相關設備進行全方位操作，特別是小型淨水裝置能在短時間內模擬處理多種異常水質。這種「做中學」的模式，有助於培養員工快速應變的能力。

（二）高級淨水處理的訓練與發展

東京都水道局及大阪市水道局在「高級淨水處理」的實作訓練上，至今仍高度倚重在職訓練，採行師徒制進行技術傳承。相對地，訓練單位的實務訓練課程，則多半以混凝沉澱原理與實驗操作等傳統淨水處理為核心。探究其原因，主要可歸結為以下兩點：

1. 實務訓練人力配置的高額成本

實作訓練對師資有著極高的要求。經詢問，東京與大阪的講師、助教對學員的配置比例普遍為1:3至1:4，在大阪參訪當日，現場的師生比甚至達到1:1的程度。如此高昂的師生配比，一方面體現了水道局對技術傳承的重視，確保每位學員都能得到充分指導；但另一方面，這也意味著極高的內部人力成本，形成巨大的財政負擔。

2. 訓練時間與反應週期的根本矛盾

非在職的集中實作訓練，必然會帶來高昂的人力與機會成本，因此訓練時程無法安排過長。不論是東京或大阪，常規實務課程多為1至2天，至多不超過3天。然而，在重視劑量反應與變數控制的淨水處理課程中，這樣的時間限制對傳統與高級處理帶來了截然不同的教學效果。傳統的混凝沉澱，具有即時的回饋反應，學員在幾分鐘內就能親眼看到調整加藥量後，膠羽生成與沉澱的變化。

相對地，高級淨水處理（如臭氧、GAC）的成效，需要更長的反應與分析週期來驗證。例如，臭氧對有機物（TOC）的去除率、或是否產生過量副產物（如溴酸鹽），皆需耗時數小時甚至整天的精密儀器分析；而活性炭（GAC）的吸附效能評估，其週期更是以「週」或「月」為單位。

在這樣的現況下，短時間的課程安排，顯然無法讓學員完整經歷「調整參數→等待反應→採樣分析→驗證結果」的完整學習迴圈，從而大幅降低了實作訓練的成效與意義。



圖49 淨水操作實務訓練現場

綜上所述，考量到高昂的師生比成本與高級處理的反應驗證時間，日本當局的訓練策略呈現出清晰的務實考量：將有限、短期的集中訓練資源，投入在能夠即時回饋、建立扎實基礎的傳統淨水處理上；而對於需要長期觀察、系統性理解、且操作變動性較低的高級淨水處理，則回歸到成本效益更高、學習週期更長的在職訓練模式，由資深人員在日常工作中進行引導與傳承，方為最有效率的策略。彙整傳統淨水處理與高級淨水處理操作差異如下表5所述。

表5 傳統淨水處理與高級淨水處理操作差異

面向	傳統淨水處理（膠羽沉澱+快濾）	高級淨水處理（臭氧+GAC/BAC）
操作反應靈敏度	高：對加藥量、水質變化立即有反應	低：反應趨勢需數小時～數天才能觀察
現場變異性與即時判斷	高：須依濁度、水溫、pH、絮體狀況即時調整	中：系統固定參數、回應慢，靠監控數據決策
手動調整比例	高：如混凝劑、助凝劑需依水況微調	低：多數自動控制，調整頻率低

面向	傳統淨水處理（膠羽沉澱+快濾）	高級淨水處理（臭氧+GAC/BAC）
效果觀察難易度	易：膠羽形成與濁度改善可立即肉眼觀察	難：須靠儀器分析（TOC、味度、穿透點等）
設備操作頻度	高：如加藥泵、反沖洗、清洗等每日操作	中～低：大多穩定運行，重點在監測與保養
知識深度	中：須理解混凝機制、水理與沉澱理論	高：需理解氧化化學、吸附、生物降解等原理
故障處理與異常應變	高：須現場快速反應，操作主導性高	中：以監控、預警、計畫性應變為主，更依賴數據分析

（三）精準控制與務實凝鍊的實務訓練

東京都水道局研修開發中心的訓練模式，核心在於「降低認知負荷，強化訓練成效」。透過精準控制各項變因，為學員打造一個如教科書般清晰、可控的訓練環境。

- 1.標準化的快速響應：訓練直接採用自來水加入黏土粉末模擬特定濁度。這不僅能與課程目標完美對應，更大幅縮短了講師與助教的備課時間，提升了訓練的整體效率。
- 2.視覺化的直覺學習：從現場的儀器設備、看板到書面教材，關鍵設備如次氯酸鈉加藥機均以醒目的顏色統一標示。這種標準化與一致性，在常規訓練時程僅能半天至一天下，在有限時間內幫助學員快速建立起設施與知識的連結。
- 3.低耗損的永續訓練：相較於使用原水與天然泥沙，採用自來水與易於取得且價格便宜的黏土粉末，無論是在事前準備或事後清理的階段，都顯著降低了時間與維護成本，讓訓練更具可持續性。

相較之下，大阪市水道局的訓練雖未追求極致的標準化，卻在空間、時間與挑戰的整合上展現了務實的智慧。其核心在於一座多功能的「淨水樓」，讓學員能在同一場域中，進行多工、高效的實作。

- 1.空間的集約運用：學員可在淨水樓中，同步進行杯瓶試驗、操作臭氧產生器、監控 SCADA 系統，乃至運轉一座完整的小型淨水處理裝置。這種設計最大化了空間的使用效率，也培養了學員多線程處理任務的能力。
- 2.挑戰的真實模擬：不同於東京以100NTU 為基準，大阪在部分科目中，會將原水濁度設定提升至1,000NTU，讓學員直接面對更嚴苛、更貼近真實水質異常的挑戰。

3.實作的極致效率：為了在基礎訓練中快速反饋實驗結果，大阪利用「小型淨水處理裝置」快速模擬完整的淨水流程，讓學員在短時間內完整觀察到從調整參數到產出淨水的全過程。

因此，相較於東京都如教科書般精準、可控的訓練模組，大阪更展現在空間、時間與成本運用上的務實與凝鍊。

（四）AI 與數位轉型的萌芽

儘管兩處研修中心目前尚未將 AI 直接整合到培訓課程中，但東京都水道局已積極收集河川原水數據，建立模型以預測最佳藥品注入率。大阪也透過 AI 技術在淨水場營運中實現部分智慧化控制，這與本公司在智慧水網與 AI 應用（如漏水檢測、精準加藥）上的努力方向一致。

（五）人才培育體系與國際合作

大阪市水道局透過 E-learning、OJT 與實務操作訓練相結合的方式，系統性地培養淨水操作人才，並定期評估學習成效。與 JICA 的長期合作使其成為國際水務技術交流的重要平台，日本政府透過 JICA 提供資金支持，吸引了來自不同國家的學員。

（六）維護與管理細節

日本水道局對設備維護的重視，如東京都定期更換藥品泵浦和校正儀器，以及大阪利用職員兼任講師與設備日常維護的模式，且淨水實習設施即便未開課亦持續通水運作以確保實作訓設施的長期有效運作。

二、建議事項

基於本次參訪心得，以下建議供未來規劃與執行參考：

（一）維護管理細節能力提升

由於本公司傳統淨水處理實習廠現階段使用頻率較低，每到訓練課程開始前始開啟運作；待淨水處理實訓需求提升後，可參考日本在未開訓期間持續清水通行淨水處理實習設施的方式以利設備維護與備課需求。

另外本公司管網操作實習場的透明管段亦可參考大阪市水道局體驗型研修中心作法，未使用時以黑色塑膠布包覆以提升透明管段的使用年限並減少管內有機物孳生。

（二）實習場域與書面教材的視覺化整合

東京都水道局透過將關鍵設備的圖示、顏色與標示進行高度整合，有效加速新進同仁的學習效率。在其研修開發中心的實體場地與訓練教

材中，可以看到如次氯酸鈉（黃色）、PAC（藍色）、氫氧化鈉（綠色）等不同加藥設施，都配有專屬且一致的視覺標示，不僅讓學員能直覺地將書本知識與實體設備連結，更大幅縮短了從認知到獨立操作所需的學習曲線。

該概念可進一步從訓練場域推廣到所有的實際工作場域。若具備從單一廠所、單一區處，乃至全公司通用的關鍵設施整合圖示系統，不僅能大幅降低跨廠區支援或緊急應變時，因環境陌生所導致的操作失誤風險，更能建立起一套本公司通用的視覺化「共同語言」。

（三）強化高級淨水處理操作能力：

東京都水道局與大阪市水道局在淨水操作處理上皆透過職員或其子公司進行操作營運，本公司亦可借鑒其經驗，逐步減少高級淨水場操作委外，轉而強化內部人員的專業職能實務訓練，特別是針對高級淨水處理技術（如兩段式臭氧處理、生物活性炭）的精進，以逐步提升本公司供水韌性與自主營運能力。

（四）深化實務模擬訓練：

學習東京都與大阪市的人為水質異常模擬技術，在本公司訓練課程中建立類似的模擬情境，特別針對臺灣原水高濁度、水質變動大的特性，設計更具挑戰性的實務情境訓練。同時，可參考大阪利用透明管段「可視化」水流與沉積的設計與加裝流量計以提升學習效果。

（五）擴大國際合作與知識交流：

積極參與 A1-HRD 等國際平台，並考慮與國際機構建立類似大阪市水道局的合作模式，爭取國際訓練項目來台舉辦，不僅能提升本公司在國際水務領域的能見度，也能引進更多元的技術與經驗，同時提供本公司同仁與海外專家交流的機會。

（六）優化人才培育體系：

推廣 E-learning 與 OJT 相結合的培訓模式，建立完善的線上課程體系，讓員工能彈性地學習基礎知識。針對不同年資與職位的員工，設計分級分眾的進階課程與專業訓練。同時，鼓勵資深員工擔任實務講師，傳承寶貴的經驗，並將經驗知識化、手冊化，解決部分技能難以傳達的問題。

参考文献

i . 東京近代水道125年史

<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/suidoigyo/gaiyou/rekishi>

ii . 大阪市水道事業概略

https://www.gef.or.jp/globalnet202008/globalnet202008-2/?utm_source=chatgpt.com

iii . 田原浄水場廃止

<https://www.wsa-osaka.jp/material/files/group/22/tawarajyousuijyouhaisinituite.pdf>